

工学院大学総合研究所・都市減災研究センター  
(Research Center for Urban Disaster Mitigation: UDM)

平成23年度  
研究成果報告書

平成24年3月

工学院大学

# 工学院大学総合研究所・都市減災研究センター 平成23年度研究成果報告書

## 目次

|   |              |        |
|---|--------------|--------|
| はじめに  | 久田嘉章（センター所長） | i - ii |
| <b>研究成果報告</b>   |              |        |
| <b>テーマ1 都市型建築の効果的な耐震補強・改修法の開発と推進</b>  |              |        |
| 小課題 1.1) 首都圏直下地震・活断層等による強震動予測と超高層建物等の減災対策：  |              |        |
| 1.1 首都圏直下地震・活断層等による強震動予測と超高層建物等の減災対策（2011年度）<br>久田嘉章 山下哲郎 吉村智昭 久保智弘 松本俊明 新田龍宏 荒川洋輔<br>二井内信成 松澤佳 |              | 1-6    |
| 小課題 1.2) 鉄筋コンクリート造建築の効果的な耐震補強・改修法の開発と推進：  |              |        |
| 1.2-1 袖壁増し厚補強に用いる補強パネルのせん断強度に関する実験的研究<br>近藤龍哉 今岡理恵 山本泰年 加藤三晴 伴幸雄 大和征良                           |              | 7-14   |
| 1.2-2 シングル配筋ラーメン構造の実験計画<br>小野里憲一  |              | 15-18  |
| 小課題 1.3) 体育館の耐震性能評価と補強法に関する研究：  |              |        |
| 1.3 学校体育館のブレース構造の弾塑性応答変形に関する研究<br>山下哲郎 米田良祐 坂澤良寛 長島由香里  |              | 19-22  |
| 小課題 1.4) 都市型木造建物・伝統木造建物の耐震診断・補強法の開発と推進：   |              |        |
| 1.4-1 耐力壁とラーメンフレームを併用した木質構造の地震時挙動<br>河合直人 神田剛史  |              | 23-26  |
| 1.4-2 伝統木造建物の地震時挙動に関する解析的研究<br>河合直人 後藤治 松本憲幸  |              | 27-30  |
| 1.4-3 秋田県横手市増田町の町家（旧石平金物店）の耐震上の課題と改善案<br>落合智 後藤治  |              | 31-32  |
| <b>テーマ2 建築機能維持施設の効果的な耐震補強・改修法の開発と推進</b>   |              |        |
| 小課題 2.1) 建築の非構造部材・設備の耐震補強と改修に関する研究：   |              |        |
| 2.1-1 大変形加力装置振動台の動的特性の計測と分析<br>山下哲郎 西川豊宏 坂本有奈利 久保智弘   |              | 33-36  |
| 2.1-2 地震によるスプリング配管構造の強度<br>小林光男 生野雅也 後藤芳樹 一之瀬和夫 小久保邦雄<br>大橋一正 西川豊宏 山下哲郎                         |              | 37-38  |
| 小課題 2.2) 建築のライフライン設備の耐震性向上と長寿命化：  |              |        |
| 2.2-1 熱負荷を受けるねじ締結体の軸力挙動に及ぼすガスケットの影響<br>小林光男 丸山美紀子 吉本拓郎 後藤芳樹 一之瀬和夫 小久保邦雄                         |              | 39-40  |
| 2.2-2 構造用ボルトの疲労強度に及ぼす過大荷重の影響<br>後藤芳樹 藤田佑介 小林光男 一之瀬和夫 小久保邦雄                                      |              | 41-42  |
| 2.2-3 スロッシングとタンク強度の検討<br>小久保邦雄 小林光男 後藤芳樹 一之瀬和夫 長嶋利夫   |              | 43-44  |
| 2.2-4 補修・補強用締結構造の開発および強度評価方法<br>一之瀬和夫 小久保邦雄 小林光男 後藤芳樹 斉藤数馬 若林博之                                 |              | 45-46  |
| <b>テーマ3 震災廃棄物の再資源化と高機能化</b>   |              |        |
| 小課題 3.1) 震災廃棄物の再資源化と高機能化：   |              |        |
| 3.1-1 高炉スラグ細骨材のコンクリートへの有効利用に関する研究   |              |        |

|         |   |         |
|---------|---|---------|
|         | 上本洋 阿部道彦 鹿毛 忠継 浅野 研一  | 47-52   |
| 3. 1-2  | 住宅基礎の高耐久化に関する研究<br>海原則之 花野克哉 篠山彰 高橋大祐 外山明日香 阿部道彦                          | 53-56   |
| 3. 1-3  | 低品質骨材を用いたコンクリートの長期性状について<br>阿部道彦 矢島怜 関口祐平                                 | 57-60   |
| 3. 1-4  | コンクリートへの塩化物イオン浸透における<br>促進試験方法の検討に関する実験的研究<br>金子樹 須藤智大 阿部道彦               | 61-64   |
| 3. 1-5  | 混合セメントを使用したコンクリートの促進中性化試験の迅速化<br>中村則清 阿部道彦                                | 65-66   |
| 3. 1-6  | 鉄筋コンクリート造建築物における左官仕上材の躯体保護効果<br>鈴木志野 田村雅紀                                 | 67-70   |
| 3. 1-7  | 高温加熱を受けたコンクリートの基礎的物性と微細構造変化<br>石垣芙季 田村雅紀 嵩英雄 西祐宜 金子樹 田山隆文                 | 71-74   |
| 3. 1-8  | 長期供用の旧基準鉄筋コンクリート部材を想定した<br>鉄筋腐食ひび割れに関する予防保全診断技術の検討<br>岡晴貴 田村雅紀            | 75-78   |
| 3. 1-9  | 環境配慮型打継ぎ資材を用いたコンクリートの基礎物性評価<br>相良賢治 田村雅紀 前田圭一郎 三浦明人 金本廉来                  | 79-82   |
| 3. 1-10 | 再生骨材Mコンクリートのモルタル量が影響する長期材齢特性<br>須藤剛 田村雅紀 守屋健一 嵩英雄                         | 83-86   |
| 3. 1-11 | 植生の有機物骨格を利用した無機有機複合体の基礎的物性に関する研究<br>五十嵐 怜 田村雅紀                            | 87-90   |
| 3. 1-12 | 生体構造特性を有する海洋生物殻を混入した鉄筋コンクリートの動的劣<br>化特性<br>小室清人 田村雅紀                      | 91-94   |
| 3. 1-13 | 被災を受けた建築物を対象とした輸送時の環境影響評価<br>中村祐樹 田村雅紀                                    | 95-98   |
| 3. 1-14 | 都市地域における鉄筋コンクリート造建築物の解体・処理・輸送段階の<br>システム分析と環境負荷<br>山縣翔太 田村雅紀              | 99-102  |
| 3. 1-15 | 災害時におけるペット共棲住環境のQOL改善を目的とした<br>建築技術・システムに関する基礎的検討<br>田島三嘉 田村雅紀 金巻とも子 内田友賀 | 103-106 |
| 3. 1-16 | ホウ酸-ケイ酸ナトリウム処理による難燃化茅葺材を用いた文化財建物<br>の高度維持技法の開発<br>熊谷早織 田村雅紀 後藤治 山本博一      | 107-110 |
| 3. 1-17 | 茅勾配と改質処理を施した茅部材の含水特性とカビ劣化性状の評価<br>野村奈緒 田村雅紀 後藤治 山本博一                      | 111-114 |
| 3. 1-18 | 屋外暴露した改質こけら葺き屋根の物理的変状の評価<br>森田泰代 田村雅紀 後藤治 山本博一 清永美奈子                      | 115-118 |
| 3. 1-19 | 震災廃棄物の発生量に関する調査研究<br>鵜崎道樹 西村涼太郎 阿部道彦                                      | 119-122 |

#### テーマ4 災害対策拠点の分散化を支援する耐災害性の高い電源・通信システムの開発

##### 小課題 4.1) 災害対策拠点の分散化を支援する耐災害性の高い通信システム:

|        |                                       |         |
|--------|---------------------------------------|---------|
| 4. 1-1 | 減災情報通信システム実現に向けた方式検討<br>水野修 浅谷耕一 中里秀則 | 123-126 |
| 4. 1-2 | 災害時における省電力情報流通のための機器消費電力基礎調査<br>小林 亜樹 | 127-130 |

|          |   |         |
|----------|---|---------|
| 4. 1-3   | 耐災害性の高い通信システムにおけるサーバ計算機の性能と消費電力に関する考察<br>山口実靖   | 131-136 |
| 小課題 4.2) | 分散型非常用電源供給システムの構築：  |         |
| 4. 2-1   | 循環制御翼周りの流れに関する研究<br>佐藤光太郎 横田和彦  | 137-138 |
| 4. 2-2   | 自家発と新エネルギーの組み合わせに関する研究<br>荒井純一 山田修平 小林幹   | 139-140 |
| 4. 2-3   | 誘導電圧が原因で起こる太陽光発電設備の制御用電子機器の誤動作防止に関する研究<br>市川紀充 米盛弘信 荒井 純一 小林 幹  | 141-142 |
| 4. 2-4   | 独立型太陽光発電システムにおける蓄電部の改善と PV モジュール表面の防汚に関する検討<br>米盛弘信 市川紀充 荒井純一 小林幹   | 143-146 |
| 4. 2-5   | 非常時にも対応した自然エネルギー活用による電源と通信網の構築<br>自然エネルギー利用による効率的な非常電源の開発<br>『都市型コジェネレーションシステムに関する研究<br>(地震振動下におけるサブクール流動沸騰熱伝達に関する研究)』<br>大竹 浩靖 | 147-150 |
| 4. 2-6   | 尿素を燃料とする水素エネルギーシステム<br>雑賀高 浜野友紀   | 151-152 |

#### テーマ5 自治体・地域協働による震災時の都市機能維持

|          |  |         |
|----------|--|---------|
| 小課題 5.1) | 震災時における医療・福祉等施設の機能維持：  |         |
| 5. 1     | 首都直下地震を想定した新宿駅周辺の被災人口の推計<br>長澤泰 山下哲郎 笈淳夫 村上正浩 佐藤豪                                  | 153-160 |
| 小課題 5.2) | 超高層建築の防災計画・事業継続計画：   |         |
| 5. 2-1   | 超高層建築の防災計画・業務継続計画<br>超高層建築内における複合機の挙動実験について<br>久保智弘 山下 哲郎 坂本 有奈利 荒川 洋輔 大宮 憲司 小泉 秀斗 | 161-164 |
| 5. 2-2   | 大規模・高層建築物に係る防災管理のための消防計画に関する<br>東日本だいしんさいの実態調査<br>三好勝則                             | 165-166 |
| 5. 2-3   | 事業継続計画 (BCP) 策定のための工学院大学における<br>東日本大震災対応業務調査<br>吉田倬郎 村上正浩 久保智弘 宮村正光                | 167-170 |
| 小課題 5.3) | 地域防災拠点を核とした防災街区の形成と都市機能継続モデルの構築：   |         |
| 5. 3-1   | 地域防災拠点を核とした防災街区の形成と都市機能継続モデルの構築に関する研究<br>村上正浩                                      | 171-176 |
| 5. 3-2   | 地域防災拠点を核とした防災街区の形成と都市機能継続モデルの構築に関する研究<br>宮村正光                                      | 177-178 |

## 参考資料：

### 資料 1：平成 23 年度 新規導入設備

|       |           |  |         |
|-------|-----------|--|---------|
| テーマ 4 | 小課題番号 4.1 | 距離無線 LAN・非常用通信システム                     |         |
|       |           | 水野 修・浅谷耕一(工学院大学工学部情報通信工学科)、中里秀則(早稲田大学) | 179-180 |
| テーマ 4 | 小課題番号 4.2 | 独立型太陽光発電システム                           |         |
|       |           | 荒井純一・市川紀充・小林 幹(工学院大学工学部電気システム工学科)      | 181-184 |
| テーマ 5 | 小課題番号 5.3 | リアルタイム広域情報共有システム                       |         |
|       |           | 村上正浩、久保智弘・久田嘉章(工学院大学・建築学部・まちづくり学科)     | 185-186 |

### 資料 2：平成 23 年度 研究業績

|       |           |   |         |
|-------|-----------|---|---------|
| テーマ 1 | 小課題番号 1.1 | 久田嘉章(まちづくり学科)   | 187-190 |
|       | 小課題番号 1.2 | 近藤龍哉・小野里憲一(建築学科)  | 191     |
|       | 小課題番号 1.3 | 山下哲郎(工学部建築学科)   | 192     |
|       | 小課題番号 1.4 | 河合直人(建築学部建築学科)  | 192     |
|       |           | 後藤 治(建築学科)  | 193     |
| テーマ 2 | 小課題番号 2.1 | 西川豊宏(建築学科)  | 194     |
|       | 小課題番号 2.2 | 後藤芳樹(機械工学科) 小林光男(機械システム工学科)、<br>一之瀬和夫(機械システム工学科)、小久保邦雄(機械工学科) | 195     |
| テーマ 3 | 小課題番号 3.1 | 阿部道彦(建築学科)  | 196-197 |
|       |           | 田村雅紀(建築学科)  | 198-199 |
| テーマ 4 | 小課題番号 4.1 | 水野 修・小林亜樹(情報通信工学科)  | 200     |
|       |           | 山口実靖(情報通信工学科)   | 201-202 |
|       | 小課題番号 4.2 | 佐藤光太郎(機械創造工学科)  | 203     |
|       |           | 荒井純一・市川紀充(電気システム工学科)  | 204     |
|       |           | 米盛弘信(サレジオ高専)  | 205-206 |
|       |           | 大竹浩靖(機械工学科)・雑賀 高(グローバルエンジニアリング学部)                             | 207     |
| テーマ 5 | 小課題番号 5.1 | 長澤 泰(建築学科)、山下てつろう(建築学科)                                       |         |
|       |           | 笥 淳夫(建築デザイン学科)、村上正浩(まちづくり学科)                                  | 208     |
|       | 小課題番号 5.2 | 久保 智弘(まちづくり学科)  | 208     |
|       |           | 三好勝則(まちづくり学科)・吉田倬郎(建築学科)                                      | 209     |
|       | 小課題番号 5.3 | 村上正浩(まちづくり学科)   | 210-212 |
|       |           | 宮村正光(まちづくり学科)   | 213     |

### 資料 3：平成 22 年度研究成果報告会と外部評価の実施(2011 年 6 月 16 日)

|                 |                          |         |
|-----------------|--------------------------|---------|
| 研究成果報告会と外部評価の実施 |                          | 214-218 |
| 都市減災研究センター(UDM) | 第 1 回研究評価シート             | 219     |
| 都市減災研究センター(UDM) | 研究成果報告会(2011 年 6 月 16 日) | 220-221 |

## 平成22年度都市減災研究センター（UDM）研究成果報告書

### はじめに

工学院大学総合研究所・都市減災研究センター（Research Center for Urban Disaster Mitigation；略称 UDM）は、震災時における建築・都市の減災と機能継続に関する研究拠点を形成することを目的として2009年度より6年計画でスタートし、2010年度からは文部科学省・私立大学戦略的研究基盤形成支援事業（5年間）をはじめ、様々な支援により実施しています。

当センターは、表1に示すように建築・機械・電気・情報系の学内外の多数研究者との共同研究により、5つの研究テーマと、計12の小課題による研究推進体制を形成しています。さらに各テーマで行われる実験や防災訓練の実現には、学内外の多数の研究協力者や防災担当者の協力を頂き、実践的な防災・減災対策の推進を行える体制を整えています。都市型建築・設備の耐震診断・改修などハード面での1次災害の低減に加え、震災廃棄物の再利用、地域連携による非常時通信・情報共有体制の構築、高層建物・街区での防災計画・訓練の実施などソフト面での2次災害の低減を推進し、建築・都市の速やかな機能回復を可能とするための研究を推進しています。得られた成果は本学の位置する新宿（都心部）と八王子（郊外）において地元自治体、地域住民・事業者、医療機関等との連携による地域防災計画・マニュアルの策定や総合防災訓練の実施などの活動に利活用し、さらにセミナー・ワークショップなどを通して防災教育にも広く貢献しています。地震災害リスクを抱える大都市はわが国だけでなく、世界共通の課題であり、先導的な研究拠点の形成を目指しております。都市減災研究センターの運営組織として、2010年4月に運営委員会を設置し、2011年度には計7回の委員会を開催しました。

本報告書は、都市減災研究センター（UDM）が実施した平成23年度の研究成果をとりまとめています。また、参考資料1として、平成23年度に新規導入した研究設備である、①距離無線LAN・非常用通信システム、②独立型太陽光発電システム、及び、③リアルタイム広域情報共有システムの導入状況に関する報告を載せました。さらに、参考資料2として、本学の教員を中心とする平成23年度の研究業績の一覧を記載しています。一方、参考資料3には、外部委員による平成22年度の本センターへの評価結果も載せています。外部評価委員として、学外より福和伸夫 教授（名古屋大学）と中林一樹 教授（東京都立大学）、学内より木村雄二 教授（工学部環境エネルギー化学科）と野澤 康 教授（都市建築デザイン科）をお招きし、2011年6月に実施した研究成果報告会の際に外部評価を実施しました。多くの研究テーマの連携や方向性に関する貴重な意見を頂いており、今後の活動計画の参考にさせて頂いています。

2011年3月11日にマグニチュード9.0の東北地方太平洋沖地震（東日本大震災）が発生し、死者・行方不明者が2万名に近い未曾有の大災害が発生しました。震災当日、本学には多くの教職員・学生がいましたが、幸いにも傷病者は無く、新宿駅西口地域から約680名の帰宅困難者を受け入れました。今回の震災では、東京都の震度は5程度と大きくはありませんでしたが、通信機能や公共交通が麻痺し、多数の駅周辺滞留者・帰宅困難者の発生、道路の大渋滞など、首都機能が麻痺状態になりました。都市減災研究センター（UDM）でも、本学をはじめ、様々な関連機関と連携して多数の支援・社会貢献活動等を実施しています。また東京都や新宿区、八王子市、新宿駅周辺地域防災協議会など地元の事業者・関連機関と協働し、地域の防災・減災対策の見直しや、地元事業者向けの講習会やセミナー・報告会、地域防災訓練など多数の行事を実施しています。紙面の都合上、関連活動の詳細は割愛していますが、参考資料にありますように都市減災研究センター等のホームページに記載していますので、参考頂けると幸いです。

最後になりますが、被災された方には心よりお見舞い申し上げますとともに、皆様からも忌憚りないご意見を頂きたいと考えています。

2012年3月 センター所長 久田嘉章

表1 UDMの研究テーマ・小課題、と学内担当者及び主な学外研究者(2011年度)

| テーマ1 都市型建築の効果的な耐震補強・改修法の開発と推進           |                                  |   |
|---|----------------------------------|---|
| 1.1                                     | 首都圏直下地震・活断層等による強震動予測と超高層建物等の減災対策 | 久田嘉章、山下哲郎<br>吉村智昭(大成建設)   |
| 1.2                                     | 鉄筋コンクリート造建築の効果的な耐震補強・改修法の開発と推進   | 近藤龍哉、小野里憲一  |
| 1.3                                     | 体育館の耐震性能評価と補強法に関する研究             | 山下哲郎  |
| 1.4                                     | 都市型木造建物・伝統木造建物の耐震診断・補強法の開発と推進    | 河合直人、後藤 治   |
| テーマ2 建築機能維持施設の効果的な耐震補強・改修法の開発と推進        |                                  |   |
| 2.1                                     | 建築の非構造部材・設備の耐震補強と改修              | 山下哲郎、西川豊宏、三好勝則、<br>久保智弘、田中 孝(タナカ建築設備)   |
| 2.2                                     | 建築のライフライン設備の耐震性向上と長寿命化           | 小林光男、後藤芳樹、小久保邦雄、<br>一之瀬和夫、長嶋利夫(上智大学)、坂口<br>雅昭・若林博之(フセラシ)                          |
| テーマ3 震災廃棄物の再資源化と高機能化                    |                                  |   |
| 3.1                                     | 震災廃棄物の再資源化と高機能化                  | 阿部道彦、田村雅紀、後藤 治、<br>石川嘉崇(電源開発)   |
| テーマ4 災害対策拠点の分散化を支援する耐災害性の高い電源・通信システムの開発 |                                  |   |
| 4.1                                     | 災害対策拠点の分散化を支援する耐災害性の高い通信システム     | 水野 修、小林亜樹、山口実靖、<br>浅谷耕一、中里秀則(早稲田大学)   |
| 4.2                                     | 分散型非常用電源供給システムの構築                | 佐藤光太郎、荒井純一、市川紀充、<br>大竹浩靖、雑賀 高、横田和彦(名古屋工<br>業大学)、小泉安郎(信州大学)、米盛弘<br>信(サレジオ工業高等専門学校) |
| テーマ5 自治体・地域協働による震災時の都市機能維持              |                                  |   |
| 5.1                                     | 震災時における医療・福祉等施設の機能維持             | 山下てつろう、笥 淳夫、長澤 泰、<br>村上正浩   |
| 5.2                                     | 超高層建築の防災計画・事業継続計画                | 久保智弘、久田嘉章、村上正浩、<br>三好勝則、吉田倬郎  |
| 5.3                                     | 地域防災拠点を核とした防災街区の形成と都市機能継続モデルの構築  | 村上正浩、宮村正光、久田嘉章、後藤 治   |

参考文献・資料

- ・工学院大学・都市防災研究センター、およびその活動について  
<http://www.ns.kogakuin.ac.jp/~wwgt024/index.html>
- ・工学院大学、いのち・つなぐ・ちから、文部科学省・新たな社会的ニーズに対応した学生支援プログラム(学生支援GP)  
<http://www.kogakuin.ac.jp/inc/index.html>
- ・TKK3 大学連携プロジェクト、防災・減災・ボランティアを中心とした社会貢献教育の展開、文部科学省・戦略的大学連携支援事業「大学教育充実のための戦略的大学連携支援プログラム」  
<http://www.kobegakuin.ac.jp/~tkk/>
- ・社会貢献学会 <http://js-ss.org/>

## 首都圏直下地震・活断層等による強震動予測と超高層建物等の減災対策（2011年度）

キーワード 首都圏直下地震、海溝型巨大地震、活断層  
強震動予測、超高層建築、減災対策

久田嘉章\* 山下哲郎\*\* 吉村智昭\*\*\*  
久保智弘\* 松本俊明\*\*\*\* 新田龍宏\*\*\*\*  
荒川洋輔\*\*\*\*\* 二井内信成\*\*\*\*\* 松澤 佳\*\*\*\*\*

### 1. はじめに

昨年度<sup>1)</sup>に引き続き、首都圏で考慮すべき地震を対象に強震動評価を行い、各地震動特性に対応した効果的な超高層建物等の都市型建物の減災対策に関する研究報告を行う。具体的に行っているのは、①同一の震源・地盤条件で多数の強震動研究者・実務者の参加により結果を相互比較するベンチマークテスト、②大規模な活断層などにおける地震の震源のモデル化と震源近傍の強震動特性、および、③首都圏直下地震と海溝型巨大地震による超高層建築の地震防災対策に関する研究、である。

### 2. 強震動予測手法に関するベンチマークテスト

本研究は、第一線で活躍する研究者・実務者の参加により、同じ条件で様々な手法・計算コードの結果の相互比較を行い、その適用範囲やバラツキを検討するベンチマークテストを行い、使用したデータ・結果、マニュアルを公開することを目的としている。本テストは強震動計算の代表的な手法である3手法である、理論的手法（波数積分法、離散化波数法、薄層法など）、統計的手法（統計的グリーン関数法など）、数値解析手法（差分法、有限要素法など）、を用いて実施しており、2009年度（ステップ1、2）と2010年度（ステップ3、4）では、比較的単純な震源・地盤モデルを用いていたが、本年度（ステップ5、6）は、関東平野を対象とした現実の震源・地盤モデルを用いて実施している。

紙面の都合上、ここでは理論的手法による結果を報告する。表1に示すように、ステップ5では比較的小規模な地震である、T51（1990年神奈川県西部地震）、T52（1990年伊豆大島近海の地震）、T53（1992年東京湾の地震）の計3モデルで実施した。さらにステップ6はT61（1923年関東地震）を対象としている。地盤モデルは、地震調査研究推進本部による長周期地震動予測地図（2009年度試作版）による関

東平野の3次元深部地盤モデル<sup>2)</sup>を用い、出力点の直下の平行成層地盤を抽出した。出力点は図2に示した日本建築学会により強震観測データが公開されている関東平野内の19地点とした<sup>3)</sup>。

表1 理論的手法によるベンチマークテスト

| モデル     | ステップ5  |                                 |                                 | ステップ6                                 |
|---------|--|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------------|
|         | T51  | T52                             | T53                             | T61                                   |
| 対象地震    | 1990年神奈川県西部の地震 (Mj5.1)                           | 1990年伊豆大島近海の地震 (Mj6.5)          | 1992年東京湾の地震 (Mj5.7)             | 1923年関東地震 (Mj7.9)                     |
| 震源 (文献) | 点震源 (Sato, T. et al. 1998) <sup>4)</sup>         | 点震源 (山田・山中, 2003) <sup>5)</sup> | 点震源 (山田・山中, 2003) <sup>5)</sup> | 面震源 (Sato, H. ほか, 2005) <sup>6)</sup> |
| 地盤      | 関東平野の3次元深部地盤モデル <sup>2)</sup> を用い出力点直下の平行成層地盤を使用 |                                 |                                 |                                       |
| 減衰      | あり   |                                 |                                 |                                       |
| 振動数     | 0~0.33 Hz (3.0秒以上)                               |                                 |                                 |                                       |
| 出力点     | 19地点 (AIJデジタル強震データ集1996による観測記録 <sup>3)</sup> )   |                                 |                                 |                                       |

得られた結果が膨大であるため、以下ではT51による結果の報告を行う。使用した神奈川県西部地震は1990年8月5日16時13分に神奈川県西部付近で発生し、気象庁マグニチュードは5.1、震源深さは14kmの地震である。その震源モデルパラメータ<sup>4)</sup>を表2に示す。

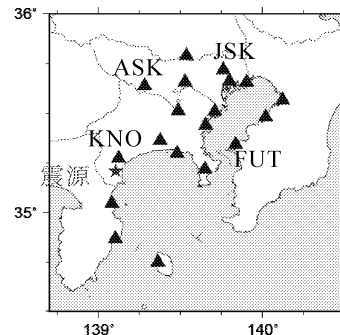


図1 T51（神奈川県西部の地震）の震源・出力点

\* : 工学院大学工学部まちづくり学科,      \*\* : 工学院大学工学部建築学科,      \*\*\* : 大成建設技術センター  
\*\*\*\* : 工学院大学学部大学院生,      \*\*\*\*\* : 工学院大学学部学生



表3にT51とT61モデルの参加チームとそれぞれが使用した手法を示す。「○」が参加を表し「-」は不参加を表す。参加チームは工学院大学の他に、東京理科大学の永野氏、港湾空港技術研究所の野津氏、京都大学防災研究所の浅野氏と地域地盤環境研究所の宮腰氏の合同チーム(以下、浅野・他または浅野)の合計4チームである。

表2 T51 (神奈川県西部の地震) 震源パラメータ<sup>4)</sup>

|              |                      |
|--------------|----------------------|
| 震源緯度 (°)     | 35.2133              |
| 震源経度 (°)     | 139.0998             |
| 震源深さ (km)    | 15.3                 |
| 走行角 (°)      | 215                  |
| 傾斜角 (°)      | 35                   |
| すべり角 (°)     | 40                   |
| 地震モーメント (Nm) | $3.3 \times 10^{16}$ |

表3 理論的手法の参加チームと使用手法

| 参加チーム | 工学院   | 永野  | 野津     | 浅野・他   |
|-------|-------|-----|--------|--------|
| 使用手法  | 波数積分法 | 薄層法 | 離散化波数法 | 離散化波数法 |
| T51   | ○     | ○   | ○      | ○      |
| T61   | ○     | ○   | -      | ○      |

結果の一例として、図2にはT51モデルの観測波形と計算波形の速度波形(NS成分)の比較を示す。比較の際には0.4Hzまでのハイカットローパスフィルターを施している。図の上段左からKNO(久野)、ASK(浅川)、下段左からFUT(富津)、JSK(本郷・東大地震研究所)で、それぞれの波形は基線をずらして上から観測波形、工学院、永野、野津、浅野・他を比較している。図中の+0.205などという数値は正負の最大振幅を示している。各参加チームの計算結果は、実用上ほぼ同じ値を示している。一方、観測波形との比較では、震源近傍点であるKNOでは直達実体波が主要成分であり、計算結果と良い一致を示している。一方、震源からやや離れたASKは地震基盤のごく浅いサイトであり、やはり実体波が使用成分であるが、観測波形と計算波形に差が見られる。震源の放射特性などのモデル化に検討の余地がある。一方、JSKやFUTのように震源から遠方になると、関東平野内で励起する堆積層表面波の影響により、継続時間が非常に長い観測波形が得られている。その結果、平行成層モデルによる計算結果では、後続波形の再現性は良くない。都心部では盆地などの地下構造の影響を考慮する必要がある。

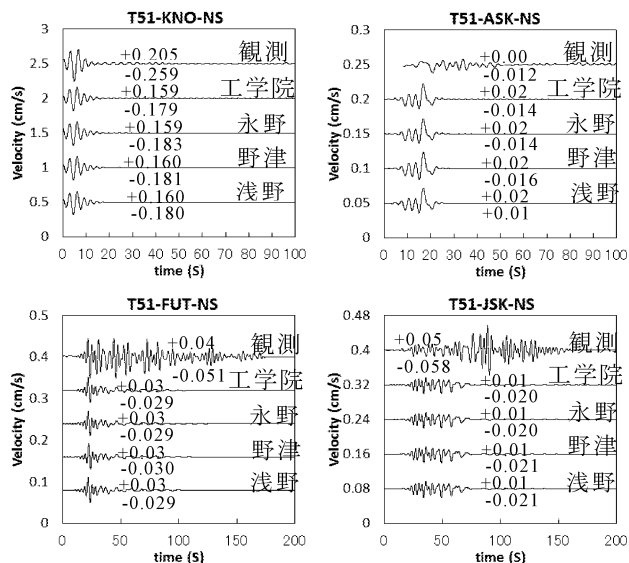


図2 T51の計算と観測の速度波形NS成分比較  
(上段KNO、ASK、下段FUT、JSK。各波形は上から観測波形、工学院、永野、野津、浅野・他)

### 3. 規模の大きな活断層による震源近傍の強震動

首都圏の立川断層や大阪圏の上町断層など、大都市圏では危険度が高い活断層が存在する。特に大規模な活断層により地震が生じた場合、その近傍では指向性パルスなど破壊力のある強震動が発生するだけでなく、地表断層に起因する地盤の大きな変形(フリリングステップ)や傾斜が生じ、建物に大きな被害が生じることが懸念されている。これまで地表断層近傍の強震動特性と建物の被害には不明な点が多く、殆ど対策がとられていないのが現状である。

本研究では、図3に示すように2011年福島県浜通り地震(M7.0)を対象に、その地表断層の近傍で建物被害調査を実施している。この地震は2011年4月11日17時16分に福島県浜通りの深さ6kmで発生し、2011年3月11日東北地方太平洋沖地震が誘発した地震と考えられている。M9の巨大地震により、この地域は東北東-西南西方向の張力場となり、本地震のような正断層型の地震が多数発生したと考えられている。いわき市や古殿町・中島村では最大震度は6弱であった。調査地域でのヒアリングからこの地震による地震動や被害は、本震である2011年東北地方太平洋沖地震を上回っていた。井戸沢断層の西側セグメント、湯ノ岳断層東部に被害が多く報告されており、死者3人、負傷者10人の人的被害を生じた。死者の原因は、田人町石住において崖崩れに伴う家屋倒壊によるものであった。

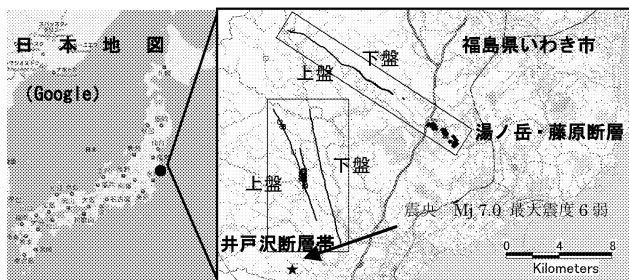


図3 福島県いわき市・調査断層位置

今回実施した建物被害調査は、2011年5月29、30日の2日間で、計7名の参加で実施した。図3に示すように、断層崖が顕著に現れた井戸沢断層と湯ノ岳断層を中心に、地表断層を挟む建物の悉皆調査を行った。主な調査地点は以下の地域である

- ・井戸沢断層西側セグメント…いわき市田人町黒田（田人中学校周辺）
- ・湯ノ岳断層東端部…いわき市常磐藤原町

表4に示すように調査した建物は全部で195棟である（但し、建築物に近い構造である寺院の山門や神社の拝殿、倉庫などを含む）。調査した建物は4棟を除き、地表断層から500m以内に位置している。

調査の方法は、日本建築学会災害委員会が作成した調査シートを参考とした。調査項目は、建築年、現状、建物用途、建物階数、構造種別、基礎形式、基礎被害、地盤変状、屋根形式、屋根被害、被害度（破壊パターン）、断層による地盤変状被害などである。被害度破壊は、岡田・高井による被害チャート図（図7<sup>7)</sup>によって、D0（無被害）、D1（軽微被害）、D2（一部損壊）、D3（半壊）、D4（全壊）、D5（一部崩壊）、D6（完全崩壊）の7パターンで判別した。

表5に構造種別と被害度の関係を示すが、調査した建物は木造が89%（174棟）と圧倒的に多数であった。一方、表6は外観目視による築年と被害度の関係である。D3以上の大きな被害を受けているのは全て築30年以上と思われる古い建物であり、築10年以下の新しい建物の被害は全てD1以下の軽微な被害である。D6（完全倒壊）の建物は無く、D4（全壊）以上の大きな被害を受けている建物数も13棟だけであり、全体の0.067%とごく少数である。すなわち、調査建物は地表断層のごく近傍であるにもかかわらず、強震動の破壊力としては大きくはなかったことを示している。

表4 断層と調査建物の位置

| 距離     | 棟数  |
|--------|-----|
| 断層直上   | 10  |
| 100m以内 | 67  |
| 200m以内 | 56  |
| 300m以内 | 26  |
| 400m以内 | 19  |
| 500m以内 | 13  |
| 500m以上 | 4   |
| 合計     | 195 |

表5 構造種別と被害度の関係

| 構造 | RC造 | S造 | 木造  | 不明 | 合計  |
|----|-----|----|-----|----|-----|
| D0 | 0   | 8  | 88  | 2  | 98  |
| D1 | 2   | 6  | 61  | 1  | 70  |
| D2 | 0   | 0  | 7   | 0  | 7   |
| D3 | 0   | 1  | 4   | 0  | 5   |
| D4 | 0   | 1  | 10  | 0  | 11  |
| D5 | 0   | 0  | 1   | 0  | 1   |
| 不明 | 0   | 0  | 3   | 0  | 3   |
| 合計 | 2   | 16 | 174 | 3  | 195 |

表6 築年（外観目視）と被害度の関係

| 被害度 | 築30年以上 | 築30～10年 | 築10年以下 | 不明 | 合計  |
|-----|--------|---------|--------|----|-----|
| D0  | 37     | 39      | 21     | 2  | 99  |
| D1  | 23     | 43      | 5      | 0  | 71  |
| D2  | 6      | 1       | 0      | 0  | 7   |
| D3  | 5      | 0       | 0      | 0  | 5   |
| D4  | 6      | 5       | 0      | 0  | 11  |
| D5  | 1      | 1       | 0      | 0  | 2   |
| 合計  | 78     | 89      | 26     | 2  | 195 |

表7は地表断層と建物の位置と被害度の関係である。地表断層の直上の建物は全10棟であるが、うち、D5が1棟、D4が7棟であった。ちなみに一部崩壊の建物（写真1）は住家ではなく、いわき市・建徳寺の山門であり、直下に1m程度の段差を持つ顕著な地表断層のすべり変位による破壊であった。また隣接する本堂（写真2）の直下にも地表断層が現れ、南西側に大きく傾斜し、D4と判別している。表7では断層直上でもD1やD2と軽微な被害の建物があるが、断層すべりによる変形が微小であったためである。このうち、D2と判定された1棟の建物には地盤変状による基礎の亀裂が見られたが、この建物は河川沿いにあり、盛土による地滑りに起因する可能性があった。またD1と判定した建物は、断層すべりに起因して建物全体が2度程度傾斜していたが、建物本体には被害が無かった。

断層直上の建物のなかで木造以外は、S造の古い体育館（田人中学校）であった。地表断層による地

盤変位により基礎が大きく変形し、D4 と判定された。一方、地表断層から離れた上盤側と下盤側は、殆どが D1 か D0 と軽微な被害であった。なかには D4(全壊)が上盤側に 1 棟、下盤側に 2 棟あった。この 3 棟のうち、2 棟は住家ではなく、老朽化した寺社の拝殿であり、耐震性は極めて劣ると思われる。逆断層の場合は、上盤側は激しく地盤変状を生じ、一般に建物被害も大きくなるが、今回の正断層では上盤・下盤で建物被害の大きさに違いは見られなかった。

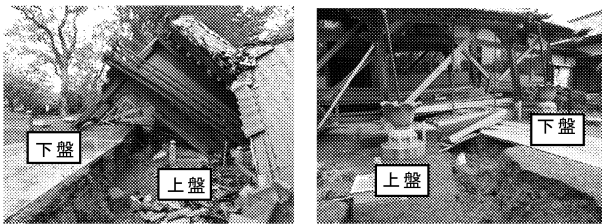


写真1 建徳寺 山門 D5 写真3 建徳寺 本堂・D4

表7 地表断層の位置と被害度の関係

| 断層位置 | 直上 | 上盤 | 下盤  | 不明 | 合計  |
|------|----|----|-----|----|-----|
| D0   | 0  | 28 | 69  | 2  | 99  |
| D1   | 1  | 24 | 42  | 4  | 71  |
| D2   | 1  | 1  | 5   | 0  | 7   |
| D3   | 0  | 1  | 2   | 2  | 5   |
| D4   | 7  | 1  | 2   | 1  | 11  |
| D5   | 1  | 0  | 0   | 1  | 2   |
| 合計   | 10 | 55 | 120 | 10 | 195 |

#### 4. 首都圏に建つ超高層建築物の地震防災

本研究では 2011 年東北地方太平洋沖地震の際、工学院大学・新宿校舎で観測された強震記録をもとに、その振動性状を整理し、建物被害との関係や 3 次元立体フレーム解析による地震応答解析を実施する。

新宿校舎は 29 階建ての鉄骨造であり、隣接する STEC 情報ビルとともに 1980 年の竣工時以来、地下

100 m から屋上まで計 30 チャンネルで強震強風観測を行っている。図 4 に新宿校舎における最大加速度・速度・変位・計測震度の分布を、図 5 は 1 階と 29 階の速度応答ペクトルを示す。応答ペクトルから 1 階での地震動は広い周期範囲でほぼ一定の振幅を示しているのに対し、29 階では 1、2 次モードに相当する約 3 秒と 1 秒に著しい卓越周期が見られる。また図 4 の最大振幅の分布から、変位では 1 階での約 10 cm から 29 階の約 40 cm まで、1 次モードが卓越する振幅分布を示している。一方、短周期が卓越する加速度や震度の分布では、高層階に節が現れる 2 次モードに近い分布をしている。従って、上層階だけでなく中層階でも大きな振幅を示している。

加速度や震度の分布は、室内被害の分布とも対応している。すなわち写真 3 に見られるように加速度に起因すると考えられる天井板の落下・たわみは、

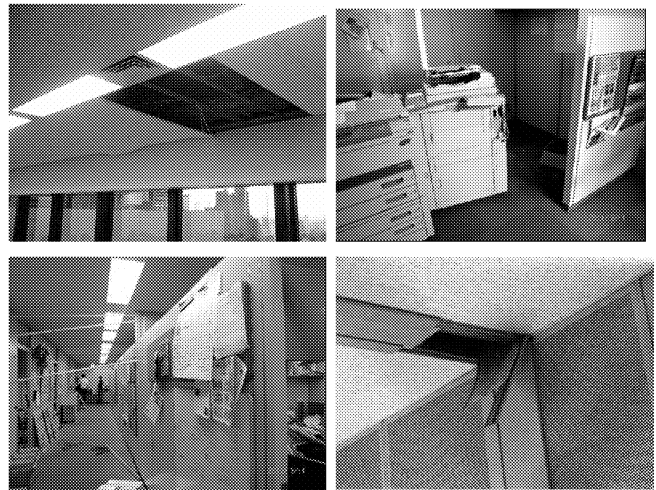


写真3 工学院大学における主な被害（左上から右下へ：天井落下、コピー機移動、間仕切り壁変形、EJ カバーの落下）

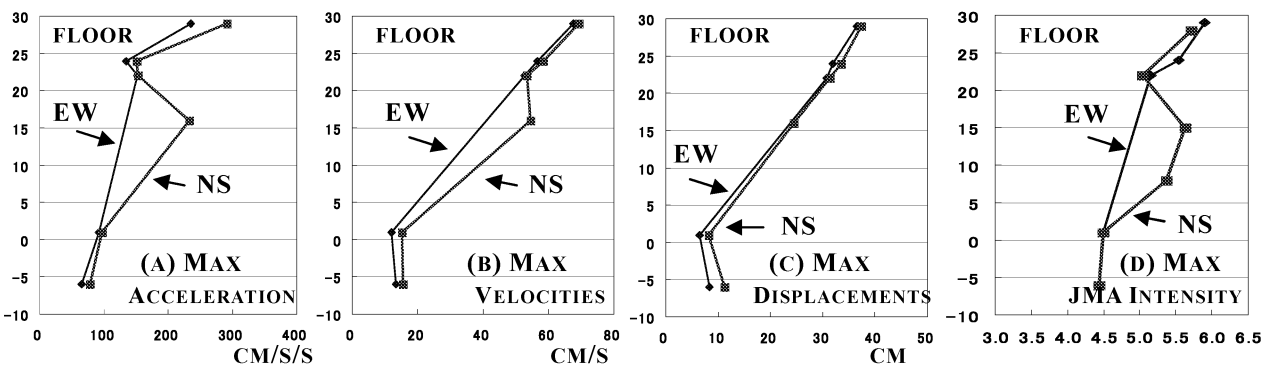


図 4 2011 年東北地方太平洋沖地震による新宿校舎で観測した最大振幅と計測震度の高さ方向分布（左から最大加速度・速度・変位、および計測震度）

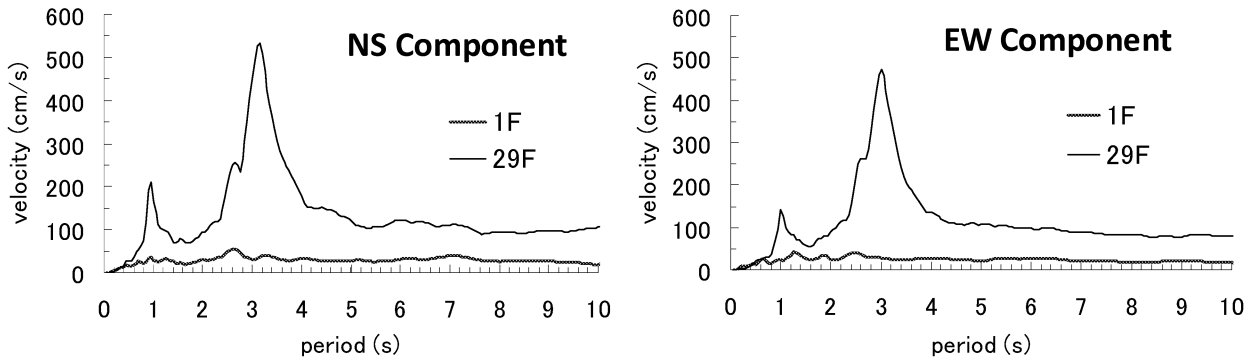


図5 2011年東北地方太平洋沖地震による新宿校舎で観測した1階と29階の速度応答スペクトル(5%減衰)

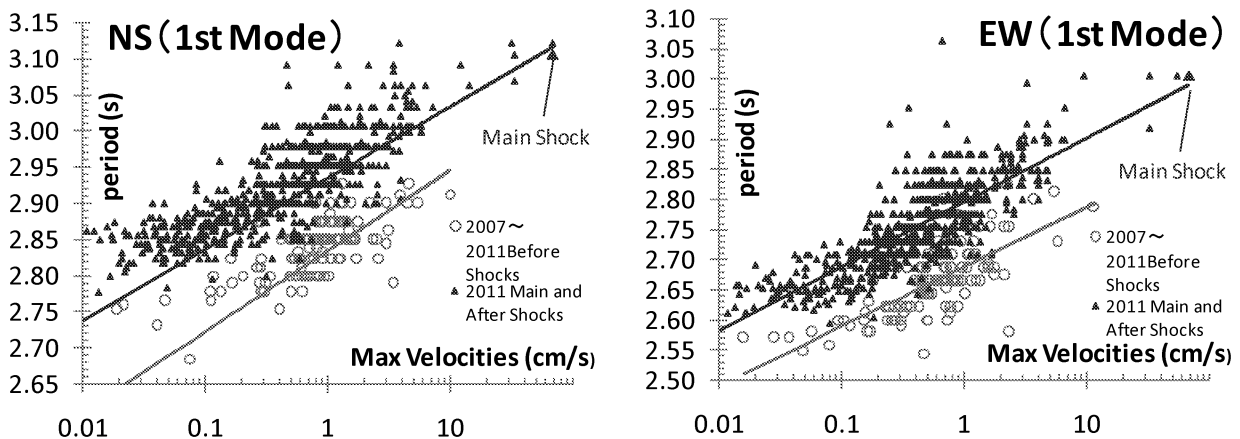


図6 2011年東北地方太平洋沖地震の本震より前と以降の強震記録による、新宿校舎29階の最大速度振幅と1次の固有周期との関係

28, 27, 26, 23, 21, 20, 16, 14階と中層から高層階に広く現れた。その他の主な被害として、TVやラックの落下(28, 16階)、固定していない本棚の転倒とそれによる間仕切り壁の変形(24階)、高層棟と中層棟とのエクステンションジョイントのカバーの破損・落下(2, 5, 6, 7階)、固定していないコピー機等の移動、などである。また非常用エレベータのロープと機器が破損し、3週間も使用停止になる被害が生じた。

一方、図6は東北地方太平洋沖地震の本震以前と、本震以降の強震記録を用いて、29階の最大速度振幅と1次モードの卓越周期に関係をプロットした図である。固有周期の振幅依存性が見られ、NS成分では約2.7秒から3.1秒まで、EW成分で約2.55秒から3秒程度まで増大している。さらに本震後の固有周期は本震前の値より系統的に5%ほど増大している。この詳細な原因は不明であるが、間仕切り壁やカーテンウォールなどの非構造部材の接合部に弛みが生じたためであると考えられる。

最後に昨年度に構築した3次元立体フレーム構造<sup>1)</sup>と、今年度に改善したモデルによる地震応答解析の比較検討を行う。昨年度のモデルの主な仮定条件は、以下の通りである。

- ・基礎は剛として、地上階のみモデル化
- ・各階の床は剛床 ・柱脚の支持条件は固定
- ・梁は床スラブの剛性・強度を考慮した合成梁
- ・柱は塑性化せず、常に弾性
- ・減衰定数1%のレーリー減衰
- ・ブレースは節点間距離を材長とし、実際のブレース長さ等を考慮した剛性を使用
- ・梁は材端バネモデルとし、バイリニア形の履歴特性を使用。また、全ての部材を合成梁として評価し正負で異なる全塑性モーメントを算出
- ・ブレースは両端ヒンジモデルとし、座屈を考慮した柴田・若林の履歴特性を使用
- ・パネルゾーンを剛域とする

一方、最後の仮定では建物の剛性を高めに評価するため、今年度は新たに以下を考慮したモデルを構築

し、解析を行った。

- ・パネルゾーンの剛性を考慮

表8に、東北地方太平洋沖地震の本震による観測結果と、解析モデルによる固有周期の比較を示す。各年度のモデルの固有周期と比べ、新しいモデルは観測記録に近い値となっている。また図7と図8に観測と解析モデルによる応答値の比較を示す。加速度・速度・変位とも新しいモデルは観測波形により近い振幅や性状を示し、モデルが改善されたことが分かる。

表8 観測と解析による新宿校舎の固有周期の比較

|        | 固有周期 |      |      |      | ねじれ |
|--------|------|------|------|------|-----|
|        | NS   |      | EW   |      |     |
|        | 1次   | 2次   | 1次   | 2次   |     |
| 本震後-観測 | 3.11 | 0.93 | 3.01 | 1    |     |
| モデル変更前 | 2.91 | 0.93 | 2.83 | 0.99 | 2.2 |
| モデル変更後 | 3.09 | 0.99 | 2.96 | 1.04 | 2.4 |

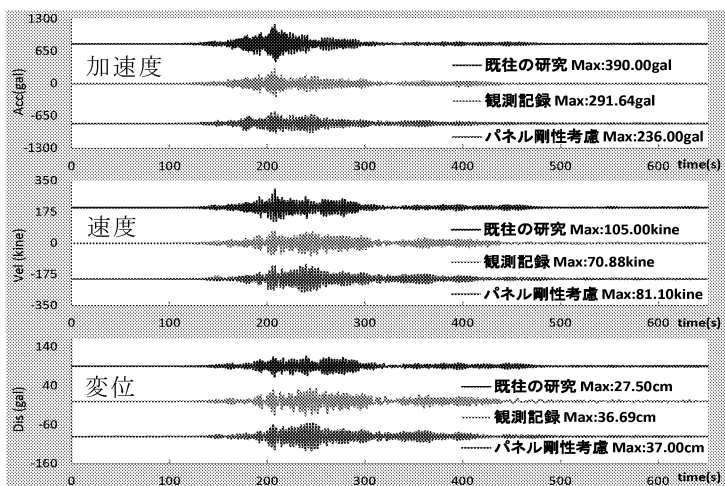


図7 2011年東北地方太平洋沖地震による新宿校舎29階の観測波形と計算波形の比較（NS成分）

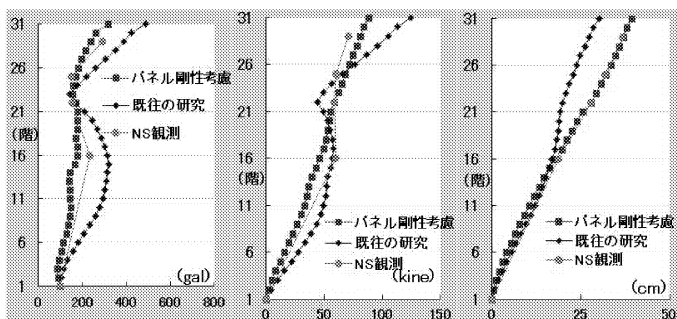


図8 2011年東北地方太平洋沖地震による新宿校舎の観測と計算による最大振幅の比較（NS成分）

## 5. おわりに

今年度は、①関東平野を対象とした震源・地盤モデルによる強震動予測手法のベンチマークテストの実施、②2011年福島県浜通り地震による地表断層近傍の建物被害調査、および、③2011年東北地方太平洋沖地震による超高層ビルの振動性状と被害の調査、および地震応答解析を実施した。ここで得られた成果は、関連する他のUDMプロジェクト研究にも活用されている。

## 謝辞

本プロジェクトの一部は、文部科学省・科学研費・基盤研究Bの研究助成で行われています。特に永野正行氏（理科大）、野津厚氏（港湾空港技術研究所）、浅野公之氏（京都大学）にはベンチマークテストの実施に際して多大な貢献を頂きました。また森川淳氏（小堀鐸二研究所）、および久田研の学生には福島県浜通り地震の調査で多大な協力を頂きました。また本調査に際しては工学院大学・125周年記念事業より補助を頂きました。記して感謝いたします。

## 参考文献

- 1) 久田嘉章、山下哲郎、吉村智昭、田中良一、辻口貴大、中野泰宏、首都圏直下地震・活断層等による強震動予測と超高層建物等の減災対策、総合研究所・都市減災研究センター（UDM）研究報告書（平成22年度）、2011
- 2) 地震調査研究推進本部：長周期地震動予測地図 2009年度試作版
- 3) 日本建築学会・強震観測小委員会：デジタル強震データ集、建築雑誌4月号、1996
- 4) Sato, T. et al, Estimates of regional and local strong motions during the great 1923 Kanto, Japan, earthquake (Ms 8.2). Part 1: Source estimation of a calibration event and modeling of wave propagation paths, Bull. Seismo. Soc. Am., Vol.88, No.1, pp.183-205, 1998
- 5) 山田伸之 他：関東平野における近い構造モデルの比較のための中規模地震の地震動シミュレーション、地震2第56巻 pp.111-123 2003
- 6) Sato, H. et al, Earthquake source fault beneath Tokyo, Science, 309, pp.462-464, 2005
- 7) 岡田成幸、高井伸雄：地震被害調査のための建物分類と破壊パターン、日本建築学会構造系論文集論文、No.524, pp.65-72, 1999

## 袖壁増し厚補強に用いる補強パネルのせん断強度に関する実験的研究

鉄骨枠付き湿式パネル、せん断耐力、実験、  
層間変形と耐力、ひび割れ状況

近藤龍哉\*<sup>1</sup>、今岡理恵\*<sup>2</sup>、山本泰年\*<sup>3</sup>  
加藤三晴\*<sup>4</sup>、伴 幸雄\*<sup>4</sup>、大和征良\*<sup>5</sup>

### 1. はじめに

既存建物、特に、集合住宅などを住まいながら耐震補強する工法の開発が急務である。2011年3月11日の東日本大震災においても多くの集合住宅で、主要構造部の大きな損傷は免れたものの、玄関際の二次壁やベランダ側の方立壁が大きく損傷して、住民たちは多大の経済負担を被った。被災後1年を経過した現在も未改修建物が数多く残されている。

二次壁やドア周りおよびサッシュの被害は、変形性能を多大に期待した構造設計に起因すると思われる。筆者らは、既存建物の耐震補強では、大きな変形性能に期待しない強度型補強が有効であると考え、2009年より強度型補強の一つである袖壁付き柱の袖壁増し厚補強工法（以後、新工法と記す。）の開発を行ってきた。

2009年度はせん断耐力と靱性能に関する実験研究を行った。2010年度は曲げ耐力と靱性能にかかわる実験を行った。研究で得られて知見を基に、緊急性の高い川口市、札幌市、川崎市などに建つ集合住宅の改修が行われている。

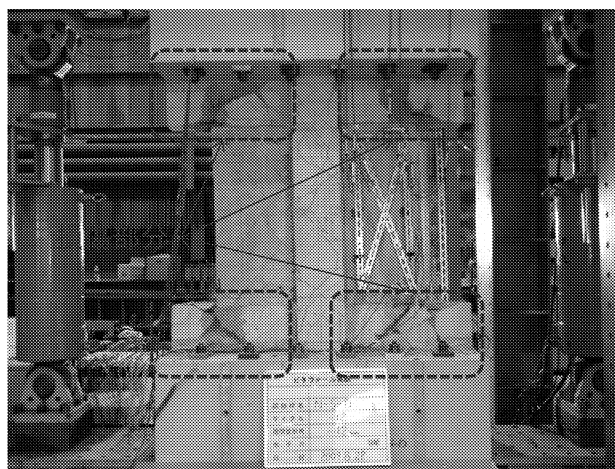
これまでの研究では、①新工法は在来工法に比べて耐力・靱性能は共に向上する：②補強建物が損傷する部位は鉄骨枠付き湿式パネル（以後、補強パネルと記す。）と既存躯体との接合部である：③よって、補強パネルによる補強は既存躯体梁の接合部強度が大きく影響する：④また、接合部を改善することで更に補強効果の向上が見込める、等の知見を得た。しかし、補強パネル自体の耐力は確認できておらず、よって、既存躯体梁の接合部強度を改善できたとき、補強パネルによる補強の上限値を把握できていない。

2011年度の実験研究では、接合部破壊を免れたとき、新工法による補強効果の上限値を見つけることを試みた。また、補強パネルの力学的メカニズムの解明も試みた。

本報告では袖壁増し厚に用いる補強パネルのせん断耐力の実験結果について報告する。

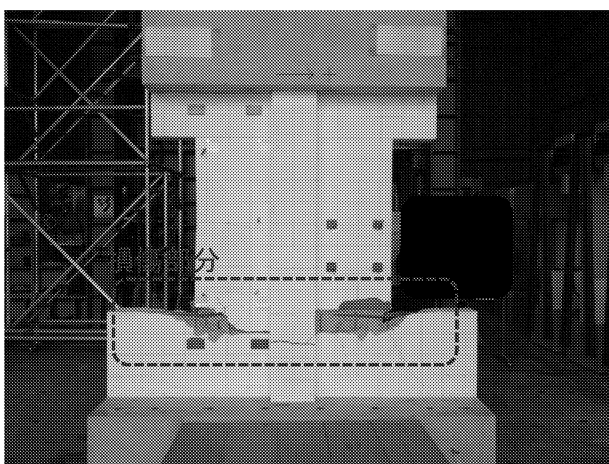
### 2. 2009年度・2010年度の実験結果概要

過年度の実験結果の概要を示す。新工法による補強では耐力性能、靱性能は共に向上した（参考文献1)~6)）。しかし、写真1、および、写真2に示すように、補強した袖壁付き柱の性能にかかわる損傷部



水平接合部のコーン状破壊の伴い既存躯体梁が損傷。  
他に大きな損傷は見られない。

写真1 せん断耐力実験（2009年度）結果



脚部水平接合部のコーン状破壊の伴い既存躯体梁が損傷。柱脚部に曲げひび割れ。他に大きな損傷無し。

写真2 曲げ耐力実験（2010年度）結果

\*1：工学院大学建築学部建築学科 \*2：工学院大学工学研究科大学院生、 \*3：芝浦工業大学名誉教授  
\*4：矢作建設工業株式会社 \*5：日本ヒルティ株式会社

位は水平接合部 (既存躯体の梁) で、補強パネルの損傷は軽微であった。よって、新工法は耐力性能と靱性能の向上に余地を残している。また、補強パネル自体の耐力性を把握できていない。

### 3. 実験

#### 3. 1 実験計画

補強パネルのせん断性能を把握し、力学機構を説明する目的で実験を行う。

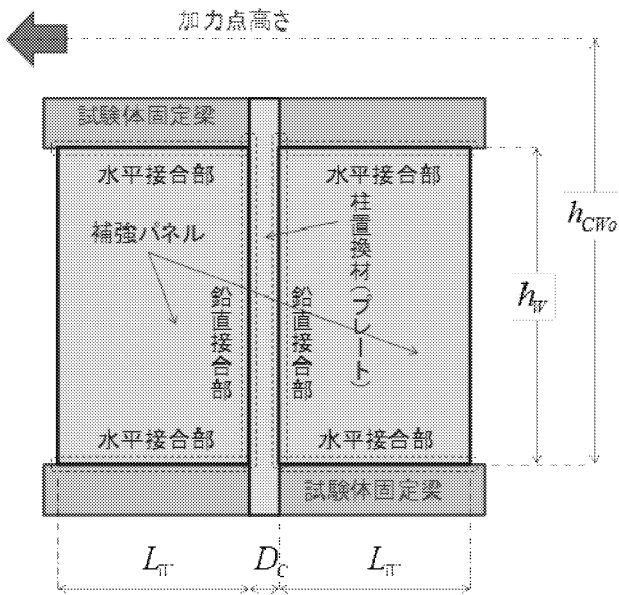


図 1 試験体概形状



写真 3 試験体設置状況

既往のせん断耐力の評価式では、せん断耐力は断面寸法、せん断スパン比、コンクリート強度、せん断補強筋比に加えて柱主筋比が関わりとされている。

よって、試験体には、柱主筋に代わる部材として柱置換材を設ける。柱置換材は鉛直力に対する抵抗要素であるが、せん断力に対しては抵抗力の小さな鋼製プレートを用いる (図 1 参照)。

また、境界梁が補強パネルに先行して損傷することを避ける目的で剛強な鋼製の梁 (試験体固定梁) を用いる (写真 3 参照)。試験体固定梁と補強パネルおよび柱置換材とは PC 鋼棒 (ボルト) で留め付けた。

#### 3. 2 試験体

試験体は 6 対で、ISW 試験体を基本形とする。これに、柱主筋量が倍増したことを想定して柱置換材の断面積を大きくした ISR 試験体、柱主筋量をゼロとみて柱置換材を置かない OSW 試験体、ISW 試験体の反曲点高さを高くした IMW 試験体、OSW 試験体の反曲点高さを高くした OMW 試験体、補強パネルを片側のみに配置した ISS 試験体である。

ISW 試験体、ISR 試験体、OSW 試験体の配筋詳細を図 2 から図 4 に例示する。また、鉄筋 (鉄骨棒) 組み立て状況を写真 4 と写真 5 に示す。そして、PC 鋼棒 (ボルト R17) の留め付け状況を写真 6 に示す。

鉄骨棒は山形鋼で端部を 45 度に切断して突合せ溶接して枱材を作った。縦横筋は鉄骨棒 (山形鋼ウェブ) にフレア溶接した。なお、横筋を台形状に折り曲げて重なり部の解消を図った。

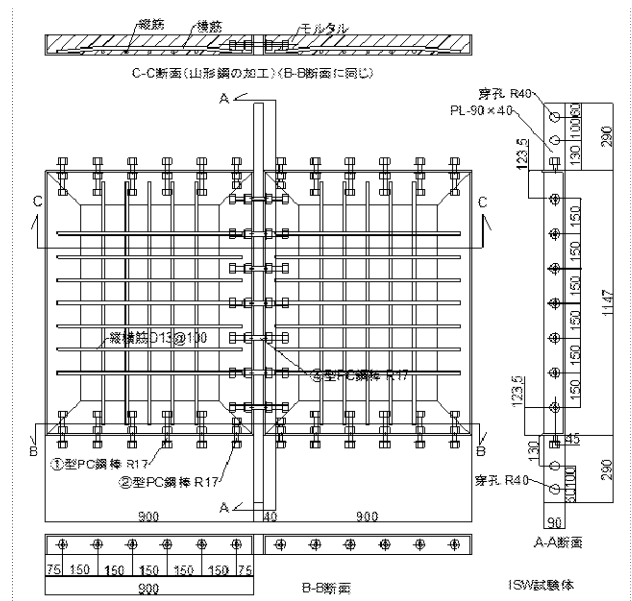


図 2 ISW 試験体 (基本形試験体)

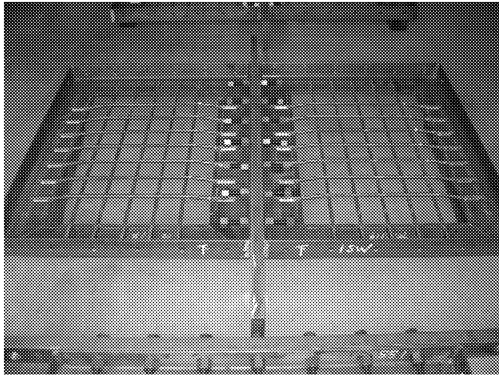


写真4 ISW試験体鉄筋組立状況

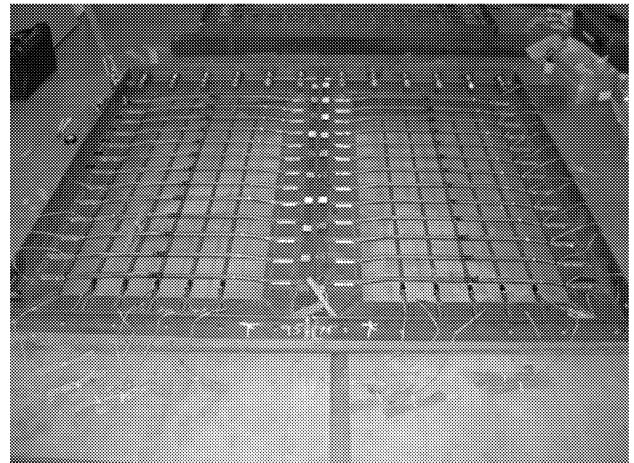


写真5 OSW試験体鉄筋組立状況

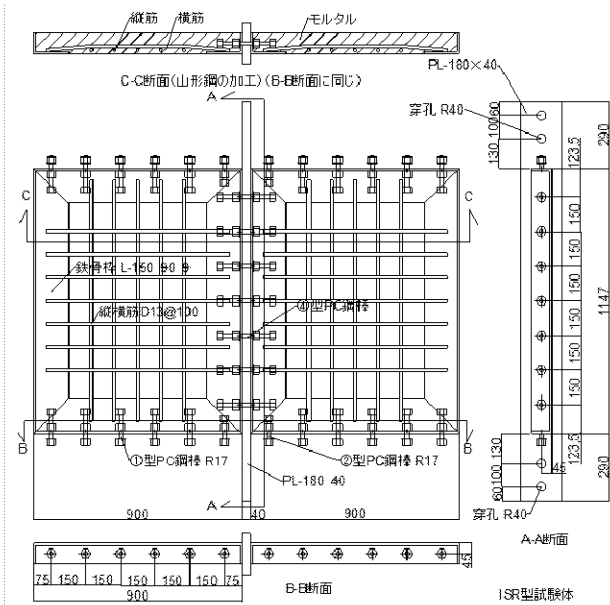


図3 ISR試験体 (柱置換材の断面積を倍増)

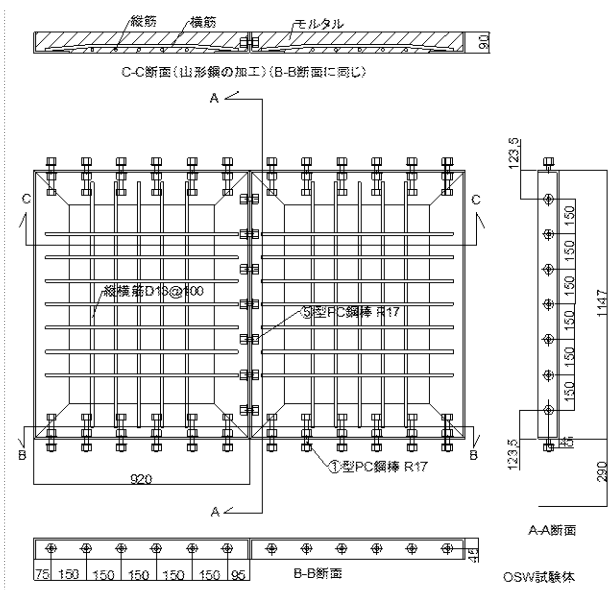


図4 OSW試験体 (柱置換材無し)

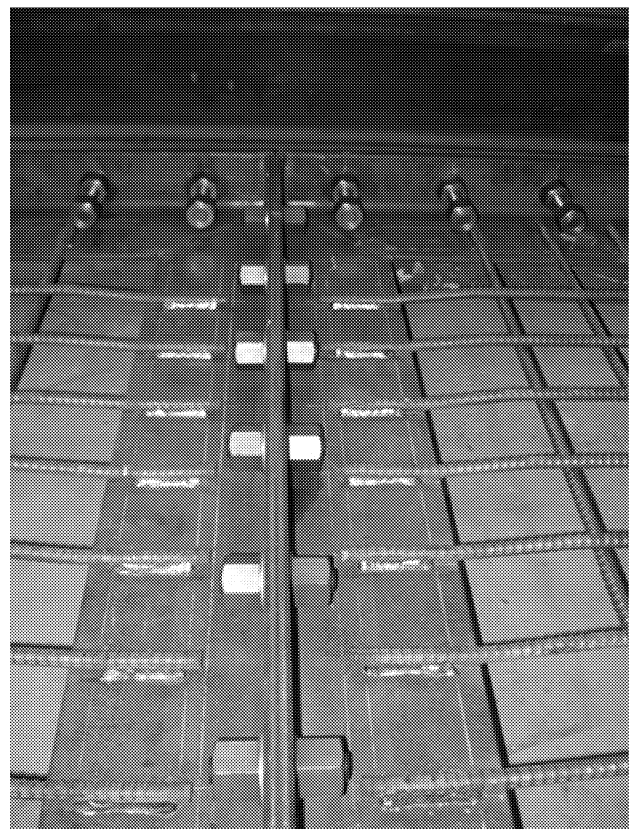


写真6 OSW試験体接合部状況

### 3. 2 材料強度

コンクリート圧縮試験結果を表1に記す。試験体製作 (コンクリート打設) 日は同一であるが、実験日が異なり、材齢に応じて試験体毎にコンクリート強度を変えた。なお、コンクリート圧縮試験は実験期間の間で3回行った。この結果を基に、試験体のコンクリート強度は材齢の2次関数と仮定して「推



定 $\sigma_B$ 」を算定した。

補強パネル縦筋横筋 (D13) の引張試験結果を表2に記す。

鉄骨枠 (山形鋼 L-150×90×9) の引張試験結果を表3に記す。山形鋼から試験片 (プレート) を切り出し引張試験した。

柱置換材 (40mm厚さのプレート) の材料試験結果を図5に示す。プレートは2点支持、2点加力曲げ

試験を行い、プレート表面の曲げ変形時の歪度を測定した。図で歪度 (横軸) はひずみゲージによる計測値で、応力度 (縦軸) は荷重 (計測値) に対する曲げモーメント (計算値) から算出した縁応力度である。

なお、降伏棚が不明確なため0.2%オフセット法で降伏値 ( $\sigma_y$ ) と降伏時 ( $\epsilon_y$ ) の歪度を記した。

表1 コンクリート圧縮試験強度

| 絶対日 | 材料試験日  | 実験日    | $\sigma_B$ (N/mm <sup>2</sup> ) | $\epsilon_{\sigma_B}$ ( $\mu$ ) | 推定 $\sigma_B$ (N/mm <sup>2</sup> ) | 備考  |
|-----|--------|--------|---------------------------------|---------------------------------|------------------------------------|-----|
| 1   | 11月7日  | 11月7日  | 30.1                            | 3085                            | 30.1                               | ISS |
| 3   |        | 11月9日  |                                 |                                 | 31.8                               | ISW |
| 5   |        | 11月11日 |                                 |                                 | 33.3                               | ISR |
| 8   | 11月14日 |        | 35.1                            | 3533                            | 35.1                               |     |
| 9   |        | 11月15日 |                                 |                                 | 35.6                               | OSW |
| 12  |        | 11月18日 |                                 |                                 | 36.8                               | IMW |
| 15  |        | 11月21日 |                                 |                                 | 37.6                               | OMW |
| 16  | 11月22日 |        | 37.7                            | 3707                            | 37.7                               |     |

表2 補強パネル縦筋横筋 (D13) 引張試験結果

| No.  | ヤング率(N/mm <sup>2</sup> ) | 降伏応力度(N/mm <sup>2</sup> ) | 降伏時歪度( $\mu$ ) | 最大強度(N/mm <sup>2</sup> ) |
|------|--------------------------|---------------------------|----------------|--------------------------|
| D131 | 207326                   | 370                       | 1786           | 511                      |
| D132 | 208671                   | 370                       | 1772           | 512                      |
| D133 | 211465                   | 372                       | 1758           | 510                      |
| 平均値  | 209154                   | 371                       | 1772           | 511                      |

表3 鉄骨枠材 (山形鋼) 引張試験結果

| No. | 平均断面積               | ヤング率                  | 降伏強度                            | 降伏時歪度                  | 最大強度                            |
|-----|---------------------|-----------------------|---------------------------------|------------------------|---------------------------------|
|     | A(mm <sup>2</sup> ) | E(N/mm <sup>2</sup> ) | $\sigma_y$ (N/mm <sup>2</sup> ) | $\epsilon_y$ ( $\mu$ ) | $\sigma_u$ (N/mm <sup>2</sup> ) |
| P3  | 597                 | 208722                | 321                             | 1539                   | 447                             |
| P4  | 599                 | 214175                | 322                             | 1504                   | 444                             |
| P5  | 515                 | 243113                | 367                             | 1509                   | 510                             |
| P6  | 584                 | 216531                | 330                             | 1523                   | 462                             |
| 平均値 |                     | 220635                | 335                             | 1519                   | 466                             |

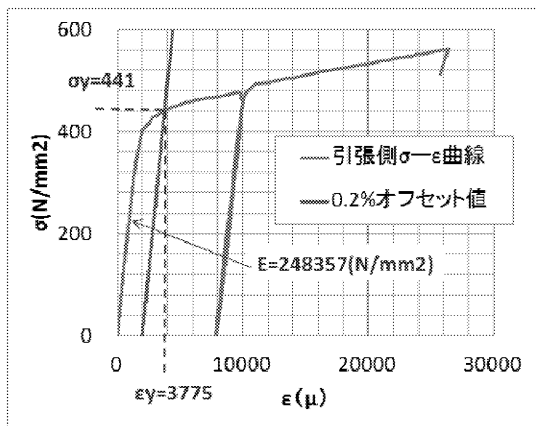


図5 柱置換材 (プレート) 曲げ試験結果

### 3. 3 実験結果

#### ○耐力と層間変位

実験結果 (荷重変形曲線) を図6から図11に示す。また、最大強度と最大強度時の圧縮側にある補強パネルのせん断変形角を表4に示す。

柱置換材がある試験体 (ISS、ISW、ISR、IMW) は最大耐力に達したのち7割程度耐力が低下して、その耐力を保ちながら大きな変形まで耐える傾向がある。

柱置換材の無いOSW試験体は柱置換材の有るものと比べて最大耐力に達した以降は変形の増加に伴い耐力は次第に低下する。

柱置換材が無く、加力点高さが高い（反曲点高さが高い）試験体（OMW 試験体・OMWS 試験体）は極めて脆く破壊した。OMW 試験体は脚部の回転変位が大きく層間変形角の計算値が加力方向と逆の負側に出る部分もある。

・対比考察

1) 補強パネルが片側のみと両側にあることに差異のある ISS 試験体と ISW 試験体を比較

ISW 試験体に比べて ISS 試験体の最大耐力は 60% 程度と小さい。また、最大耐力時の割線剛性も 17% 程度と極めて小さい。初期割線剛性（1/500rad 時で比較）も 45% 程度と小さい。

以上から、引張側の補強パネルの有無は最大耐力と剛性に関わる。

2) 柱置換材の断面積の大小と有無に差異の ISW 試験体と ISR 試験体と OSW 試験体を比較

ISW 試験体に比べて ISR 試験体の最大耐力は 111% 程度で大きい。しかし、割線剛性は 41% 程度、初期割線剛性は 78% と小さい。

また、ISW 試験体に比べて OSW 試験体の最大耐力

は 94% 程度で小さい。そして、割線剛性は 63% 程度、初期割線剛性は 91% 程度で小さい。

以上から、柱置換材の断面積の差異は最大耐力に影響する。しかし、剛性には影響しない。

3) 加力点高さに差異のある ISW 試験体と IMW 試験体を比較

ISW 試験体に比べて IMW 試験体の最大耐力は 87% 程度小さい。割線剛性は 56% 程度、初期割線剛性は 79% 程度で小さい。

以上から、反曲点高さの差異は最大耐力と割線剛性に関わる。

4) 加力点高さに差異のある OSW 試験体と OMW 試験体を比較

共に柱置換材の無い OSW 試験体と OMW 試験体を比較する。OSW 試験体に比べて OMW 試験体の最大耐力は 85% 程度で小さい。割線剛性は 68% 程度、初期割線剛性は 81% 程度で小さい。

以上から、柱置換材の有無に関わらず反曲点高さの差異は最大耐力と割線剛性に関わる。

表 4 最大耐力時の層間変形角等

| 試験体                | ISS   | ISW    | ISR    | OSW    | IMW    | OMW    | OMWS   |
|--------------------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 最大強度 $Q_{wu}$ (kN) | 409   | 665    | 738    | 625    | 576    | 534    | 542    |
| 最大強度比(対ISW)        | 0.62  | 1.00   | 1.11   | 0.94   | 0.87   | 0.80   | 0.82   |
| 最大強度時せん断変形角(rad)   | 1/134 | 1/493  | 1/182  | 1/329  | 1/320  | 1/263  | 1/1007 |
| 最大強度時割線剛性(kN/rad)  | 54806 | 327845 | 134316 | 205625 | 184320 | 140442 | 545794 |
| 割線剛性比(対ISW)        | 0.17  | 1.00   | 0.41   | 0.63   | 0.56   | 0.43   | 1.66   |
| 1/500rad時強度(kN)    | 297   | 665    | 517    | 608    | 525    | 489    | -      |
| 初期割線剛性比(対ISW)      | 0.45  | 1.00   | 0.78   | 0.91   | 0.79   | 0.74   | -      |

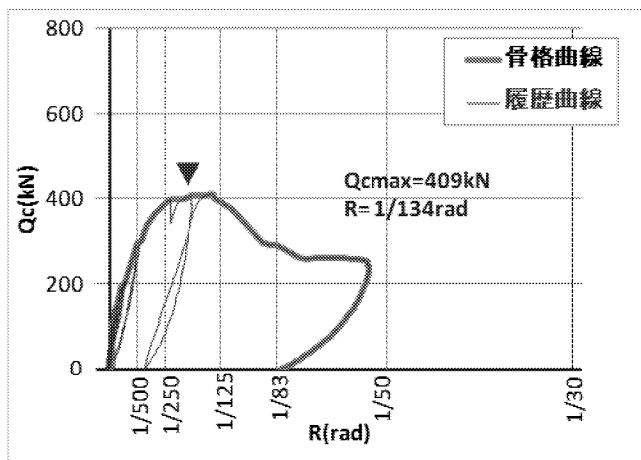


図 6 ISS 型試験体の実験結果

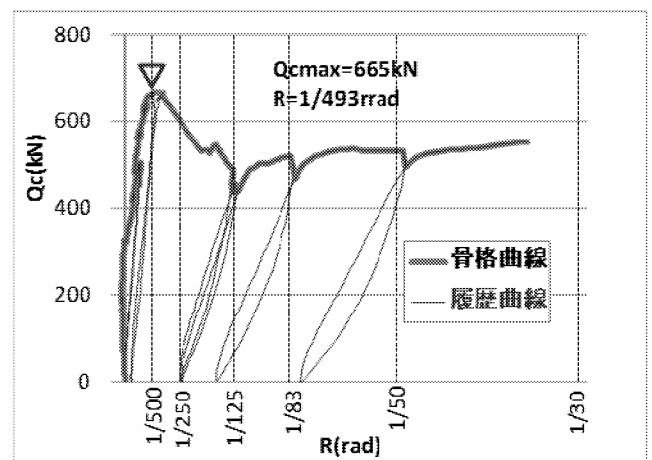


図 7 ISW 型試験体の実験結果

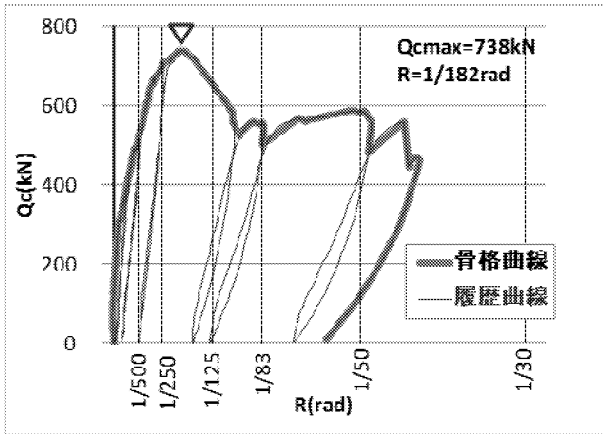


図8 ISR型試験体の実験結果

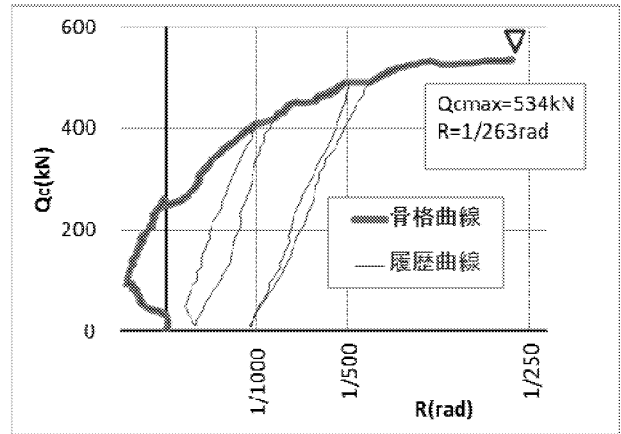


図11 OMW型試験体の実験結果

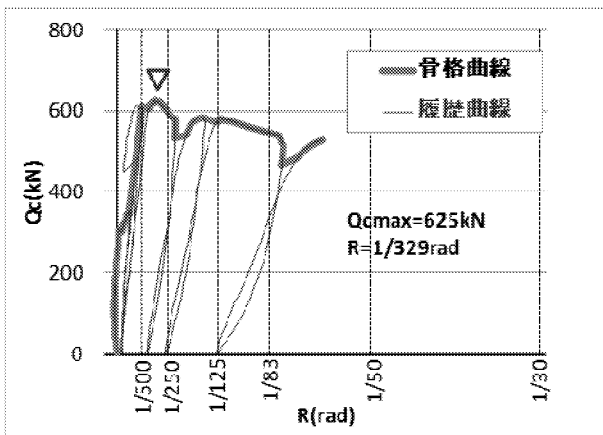


図9 OSW型試験体の実験結果

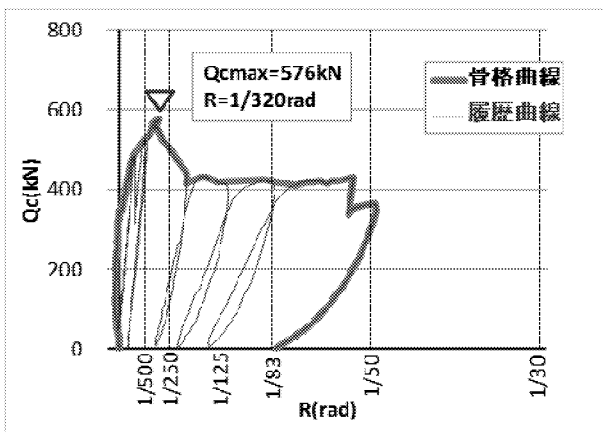


図10 IMW型試験体の実験結果

○ひび割れ状況

最大耐力直後の補強パネル表面のひび割れ状況を写真7から写真12に示す。

ひび割れ方の共通の傾向として、圧縮側補強パネルでは補強パネルの対角線に沿ったひび割れを生じ

る。また、脚部（圧縮支点付近）で圧潰などの状況は無い。

一方引張側補強パネルではひび割れの角度は対角線方向に比べて水平に近い。また、脚部ではひび割れ幅の広い水平ひび割れが生じている。

・対比考察

1) 補強パネルが片側のみと両側にあることに差異のあるISS試験体とISW試験体を比較

ISS試験体の補強パネルとISW試験体の圧縮側の補強パネルのひび割れ状況を比較する。ひび割れは共に補強パネルの対角線に沿っている。

以上から、引張側補強パネルの有無は圧縮側補強パネルのひび割れ状況に関わりが少ないと考える。

2) 柱置換材の断面積の大小と有無に差異のISW試験体とISR試験体とOSW試験体を比較

圧縮側補強パネルでは、3つの試験体は共に対角線に沿ってひび割れている。また、引張側補強パネルでは、共にひび割れ線の角度は対角線方向より水平に近い。そして、脚部ではほぼ水平に大きくひび割れている。ここで、脚部の水平のひび割れは、OSW試験体では引張側補強パネルの脚部から圧縮側補強パネルの一部まで進展している。一方、柱置換材の有る2体（ISW試験体、ISR試験体）では引張側補強パネル内に水平ひび割れは止まっている。

以上から、柱置換材の有無は引張側補強パネル脚部に生じるひび割れが圧縮側補強パネル脚部に進展する有無に影響する。柱置換材の断面積の差異は圧縮側補強パネルと引張側補強パネルのひび割れ状況に影響が少ないと考える。

3) 加力点高さに差異のあるISW試験体とIMW試験体を比較

ISW 試験体と IMW 試験体は共に、圧縮側補強パネルでは対角線方向にひび割れ場がある。また、引張側補強パネルのひび割れは圧縮側補強パネル脚部外端に向かう放射線状に、対角線に対して水平に近い角度でひび割れている。

以上から、反曲点高さの差異はひび割れ状況に影響が少ないと考える。

#### 4) 加力点高さに差異のある OSW 試験体と OMW 試験体を比較

共に柱置換材の無い OSW 試験体と OMW 試験体を比較する。圧縮側補強パネルのひび割れが対角線方向であること、引張側補強パネルのひび割れは圧縮側補強パネル外端に向かう放射状で対角線に対して水平に近い事、引張側補強パネル脚部に水平なひび割れを生じ、これが圧縮側補強パネル脚部内に進展していることが同一である。

以上から、反曲点高さの差異はひび割れ状況に影響が少ないと考える。



写真9 ISR 試験体ひび割れ状況

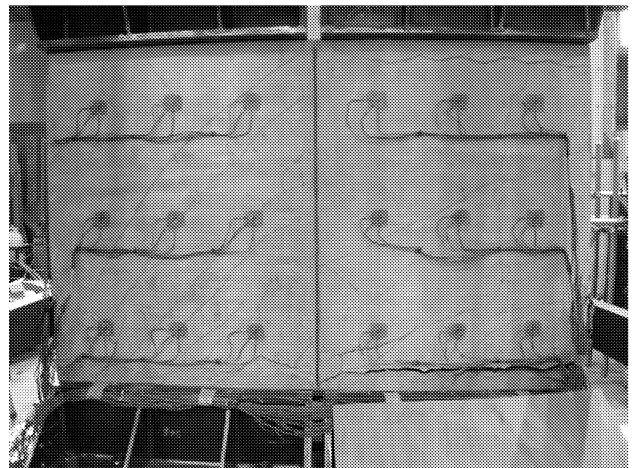


写真10 OSW 試験体ひび割れ状況

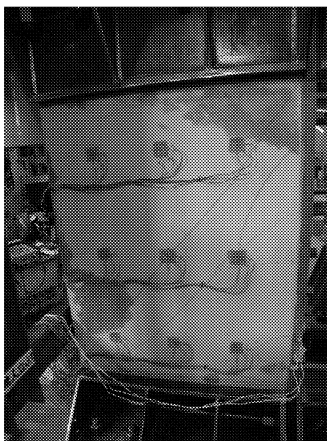


写真7 ISS 試験体ひび割れ状況



写真8 ISW 型試験体ひび割れ状況

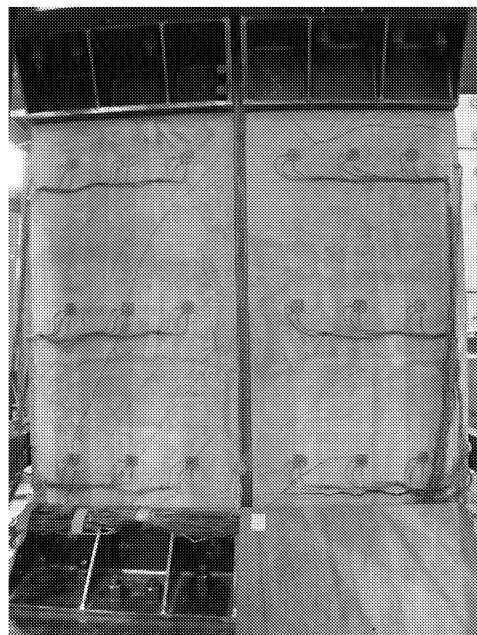


写真11 IMW 試験体ひび割れ状況

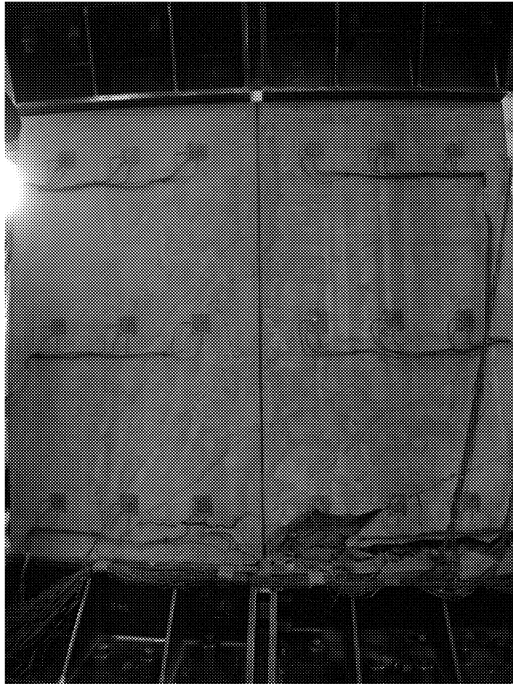


写真 1 2 OMW 試験体ひび割れ状況

○柱主筋・袖壁縦筋・袖壁横筋の歪状況

図 1 2 に ISW 試験体を例に袖壁縦筋・鉄骨縦枠材・柱置換材の鉛直方向の歪度を示す。A-G は圧縮側、P-V は柱置換材、H-N は引張側にある鋼材の歪度である。一部 (K, L) は降伏時歪度  $\epsilon_y$  を超えているものの他は未降伏である。

図 1 3 に袖壁横筋の歪状況を示す。左図は圧縮側にある袖壁横筋の状況で、右図は引張側横筋の歪度の状況である。左図 (圧縮側) では L2- L4 の横筋が  $\epsilon_y$  を超え降伏している。一方、右図 (引張側) では未降伏状態にある。

以上から、柱置換材を挟み圧縮側にある補強パネルがせん断破壊している。

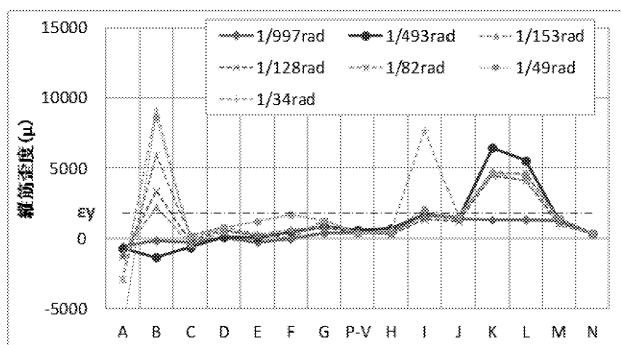


図 1 2 ISW 試験体縦筋の歪状況

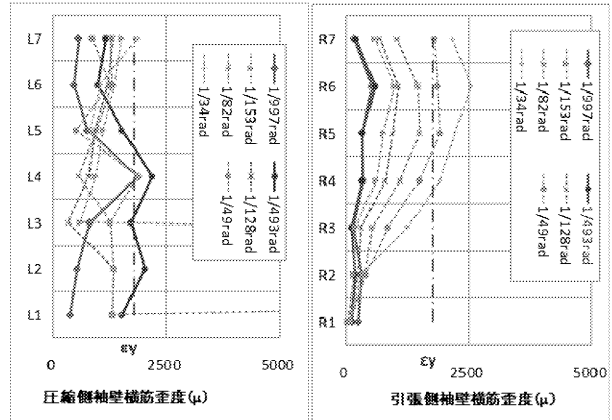


図 1 3 ISW 試験体の横筋の歪状況

4. まとめ

袖壁付き柱を想定して柱置換材を設けた補強パネルのせん断力に対する挙動を  $Q_c$ - $R$  曲線、ひび割れ、鋼材の歪状況から調べた。圧縮側横筋のみが降伏していること、 $Q_c$ - $R$  曲線が脆性的で無く 2 段になること、ひび割れ線の角度が左右で異なること、以上から、柱置換材を挟んで圧縮側にある補強パネルのせん断破壊が先行していることが分かった。耐力の評価において、左右の補強パネルは一体では無く、よって、既往の壁耐力評価式を用いることはできない。

今後は耐力評価式の提案など、実験結果の分析を進める予定である。

参考文献

- 1) 近藤龍哉、伴幸雄、加藤三晴、山本泰稔、既存建物袖壁付き柱のせん断補強に関する実験的研究、コンクリート工学年次論文集、Vo132 No2、997-1002、2010
- 2) 近藤龍哉、山本泰稔、加藤三晴、伴幸雄、鈴木隆史、立川紗緒美、既存鉄筋コンクリート造袖壁付き柱の補強法の提案と検証、日本建築学会大会学術講演梗概集、No23259~No23262、543-550、2010
- 3) 近藤龍哉、伴幸雄、加藤三晴、山本泰稔、既存建物袖壁付き柱の曲げ補強に関する実験的研究、コンクリート工学年次論文集、Vo133 No2、1345-1350、2011
- 4) 伴幸雄、山本泰稔、近藤龍哉、大和征良、既存建物袖壁付き柱の補強に関する群アンカーの実験的研究、コンクリート工学年次論文集、Vo133 No2、1423-1428、2011
- 5) 大和征良、山本泰稔、近藤龍哉、接着系あと施工アンカーの引張強度と靱性に関する実験的研究と各種設計式の設計引張耐力比較検討、コンクリート工学年次論文集、Vo133 No.2、1057-1062
- 6) 近藤龍哉、山本泰稔、加藤三晴、伴幸雄、大和征良、鈴木隆史、立川紗緒美、今岡恵理、既存建物袖壁付き柱の曲げ補強に関する実験的研究、日本建築学会大会学術講演梗概集、No23156~No23162、337-350、2011

## シングル配筋ラーメン構造の実験計画

小野里憲<sup>1\*</sup>

耐震補強、鉄筋コンクリート、ラーメン構造、シングル配筋、柱梁接合部、高強度鉄筋、高強度コンクリート

### 1. はじめに

昨年度はシングル配筋ラーメン構造による耐震補強工法 (図 1) の提案を行い、その短所と長所および検討課題について報告した。配筋ラーメン構造とは図 2 に示すように柱・梁の主筋をシングル配筋とした鉄筋コンクリートのラーメン構造である。図 2 に示すように主筋をシングル配筋とすることで、部材断面の幅を 200mm 程度に抑えることを可能としている。使用する材料には、コンクリート強度 60N/mm<sup>2</sup> 級、鉄筋には SD685 級を用いて高い補強効果を狙うことを目標としている。高強度鉄筋と高強度コンクリートを用いて行われるシングル配筋ラーメン構造は施工性に優れる半面、柱梁接合部の破壊、付着・定着破壊の危険が高いことを昨年度は問題点として報告した。これらに関してさらに調査を進めた結果、柱梁接合部に関してはこれまで考えられていた破壊メカニズムとは異なる破壊メカニズムが考えられるとする塩原らによる研究<sup>1)</sup>があり、この研究によるとこれまでは困難とされた柱梁接合部の補

強が容易に行うことが可能であることが分かった。本研究では、この塩原らの理論に基づいてシングル配筋ラーメン構造の柱梁接合部を補強し、問題点として報告した柱梁接合部の破壊が防止可能であるか実験により検証することを目的としている。

### 2. 既往の理論と塩原理論

塩原らは十字形柱梁接合部の実験終了後に試験体を切断してひび割れの発生状況を確認している<sup>1)</sup>。その結果はこれまで想定してきた破壊状況とは様相が極めて異なるひび割れ状況であることから、この点に着目して新しい理論を構築している。これまで想定してきた柱梁接合部のひび割れ状況とそれに基づいて考えられてきた応力伝達機構を図 3 に示す。既往の理論は柱梁接合部に生じるせん断力により柱梁接合部がせん断変形し、せん断ひび割れが発生するという状況から、せん断力による抵抗機構を想定してきた。しかし、塩原理論では図 4 に示すように十字形接合部では柱 2 本と梁 2 本からなる 4 つの領

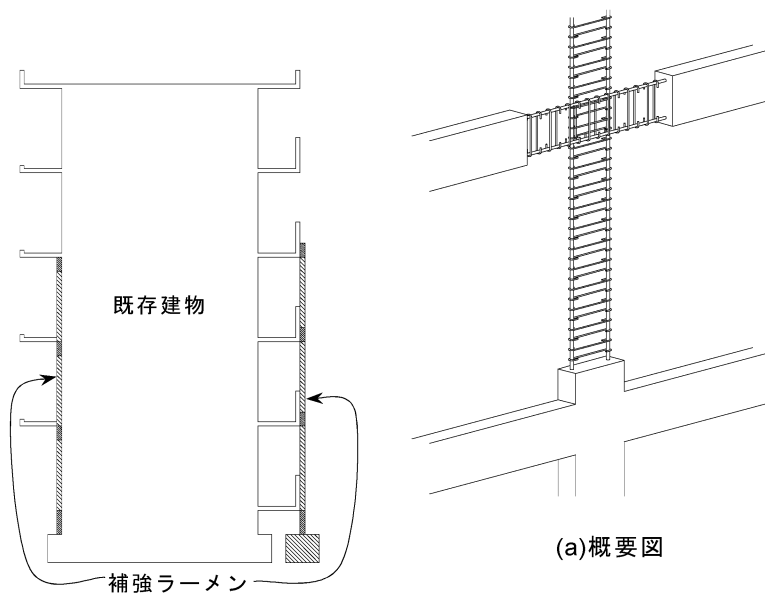
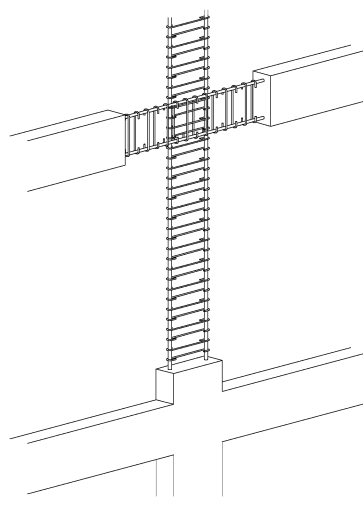
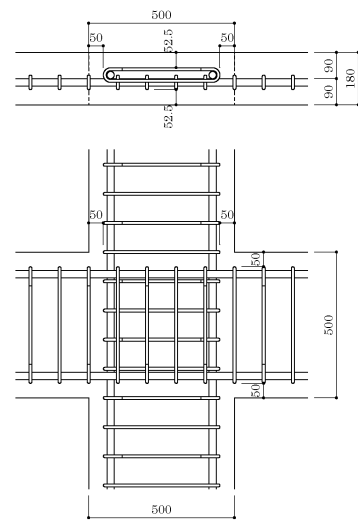


図 1 既存建物の補強例



(a) 概要図



(b) 主筋を D25、せん断補強筋を D10 とした場合の鉄筋の収まりの例

図 2 シングル配筋ラーメン構造

\*1: 工学院大学工学部建築都市デザイン学科 准教授

域が回転変形することにより、互いの接触部で引張力と圧縮力を伝達し合うモーメントの抵抗機構に基づいている。塩原理論によれば柱梁接合部のひび割れを防止するのではなく、柱梁接合部内で十分な曲げ強度を有するよう設計を行い柱梁接合部が部材端部に先行して破壊することを防止することが合理的であると考えられる。逆にいえば柱梁接合部内の曲げ強度は梁端の曲げ強度より小さくなる可能性があることが明らかにされており、これを防止するよう警鐘を鳴らしている。

### 3. 柱梁接合部内補強の提案

既往の研究では柱梁接合部内にどのように鉄筋を付加しても、僅かにせん断強度の上昇は見られるものの、せん断補強効果は極めて小さいといわれて

きた。塩原理論においても柱梁接合部内のせん断補強筋による斜めひび割れの防止効果を期待するものではないが、既往の実験結果においても斜めひび割れ発生が直ちに強度低下を招くものではないことは明らかである。塩原理論によって柱梁接合部内の曲げ強度を十分確保するとともに、柱梁接合部内でコンクリートの圧壊にともなう急激な強度低下が発生しないよう設計できれば柱梁接合部は耐震に必要な機能を有していると考えられる。昨年度の報告では、既往の理論に従い柱梁接合部のせん断破壊防止という観点から図5のような補強案を提示したが、塩原理論に従えば、より施工性のよい図6に示す補強方法も柱梁接合部の補強として有効である。本研究では図6(b)に示す補強を採用し、実験によりその妥当性を検証する。

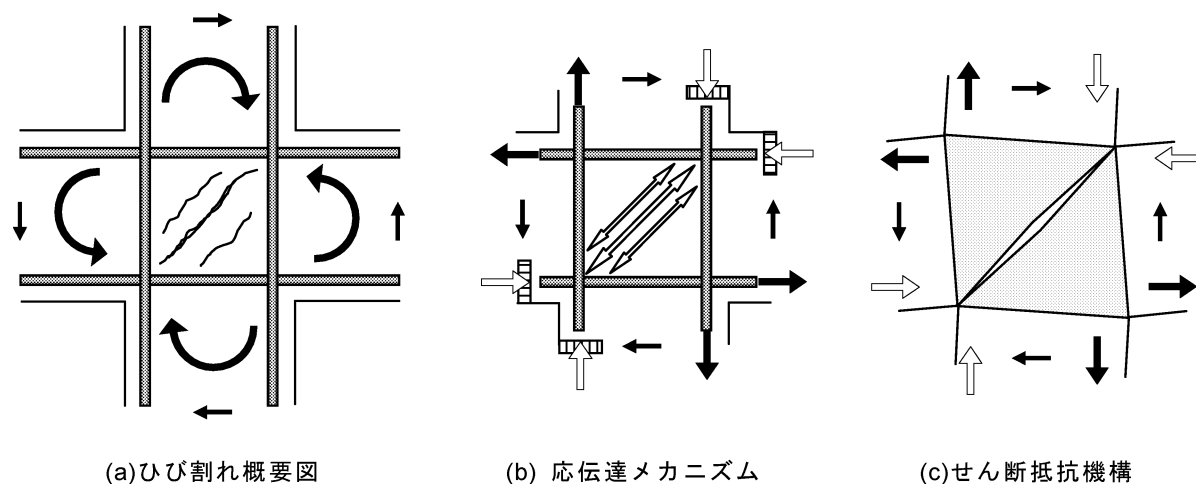


図3 これまで想定されてきたひび割れ状況と応力伝達メカニズム

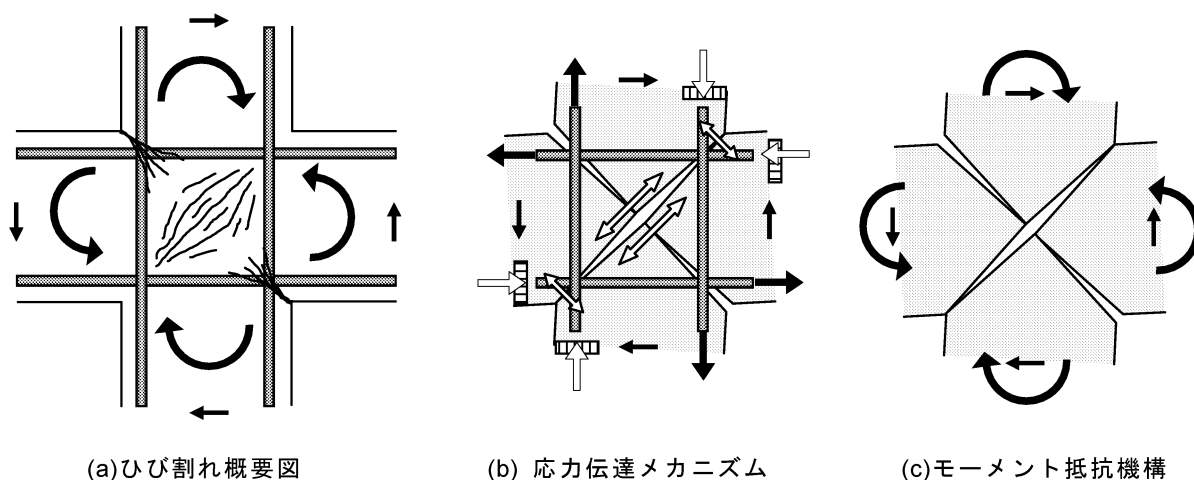


図4 塩原理論によるひび割れ状況と応力伝達メカニズム

#### 4. 柱梁接合部を補強した検証実験の計画

##### (a) 試験体

実験は柱梁接合部の強度が最も低いとされる L 形接合部について計画する (図 7)。試験体の大きさは実物の 1/2 スケールであるが、階高 3m、スパン 6m、柱梁せいとも 600mm、部材幅 240mm を想定しおいる。試験体は試験体記号を A、B、C、D とする 4 体であり、図 8 に試験体 A の詳細図を示す。試験体は階高中央とスパン中央の反曲点までの長さを模している。他の 3 体の試験体は接合部の形状と配筋が図 9 のように異なる他はすべて同じである。試験体 A は一般建築物の柱梁接合部と同様に梁主筋の柱への投影定着長さを柱せいの 3/4 とした試験体、試験体 B は定着長さの不足を補うために柱・梁主筋の定着の先端部分を相互の主筋の外側まで延長させた試験体、試験体 C はより長く定着長さを確保させるために柱・梁せいの 1/2 の長さを柱梁接合部から外側

に突出させた試験体、試験体 D は試験体 C と同じ配筋をしたうえで柱梁接合部内に補強筋を配置した試験体である。なお、シングル配筋ラーメン構造は材料にコンクリート強度 60N/mm<sup>2</sup> 級、鉄筋に SD685 級を想定しているが、今回計画した 1/2 スケールでは使用する主筋の大きさが D25 になり D685 級の鉄筋が市販されいないため使用できない。このため、鉄筋の強度が低い分、コンクリート強度も同様に低い強度のものを採用することとし、本実験では鉄筋に SD490 級、コンクリートに設計規準強度 27N/mm<sup>2</sup> を使用する。

##### (b) 加力方法

加力方法は図 10 に示すように試験体の横に取りつけたアクチュエーターにより正負繰返し交番加力を行い、荷重および変形を測定する。なお、試験体が薄いため面外方向に変形する恐れがあることから、面外に移動しないよう拘束を行う。

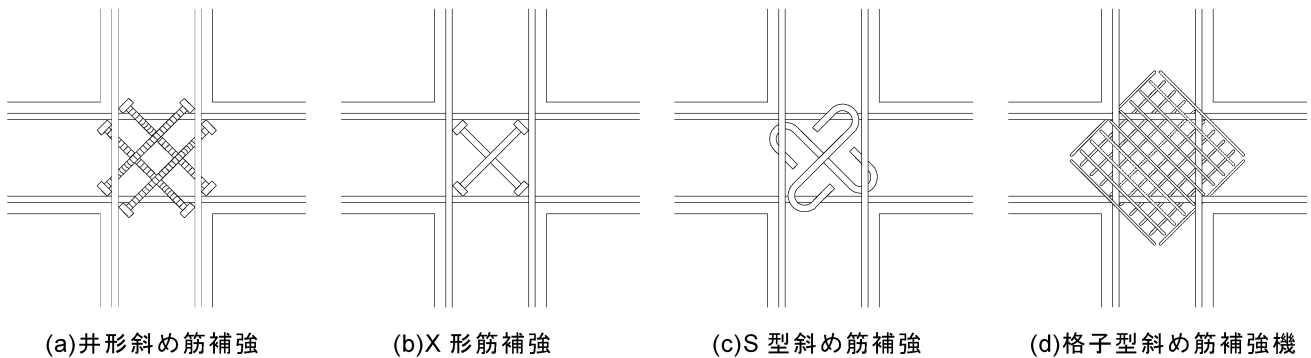


図 5 柱梁接合部のせん断補強の例

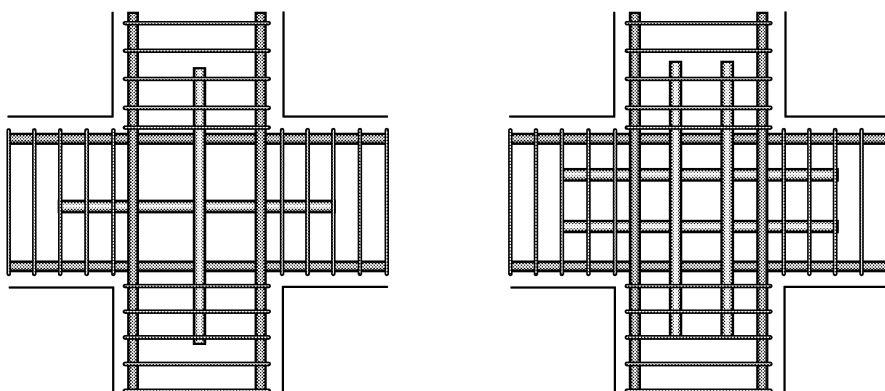


図 6 柱梁接合部のモーメント抵抗補強の例

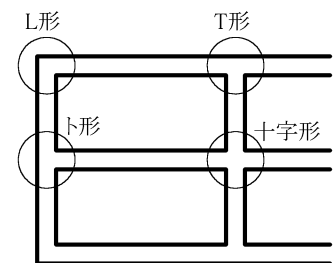


図 7 柱梁接合部の形状



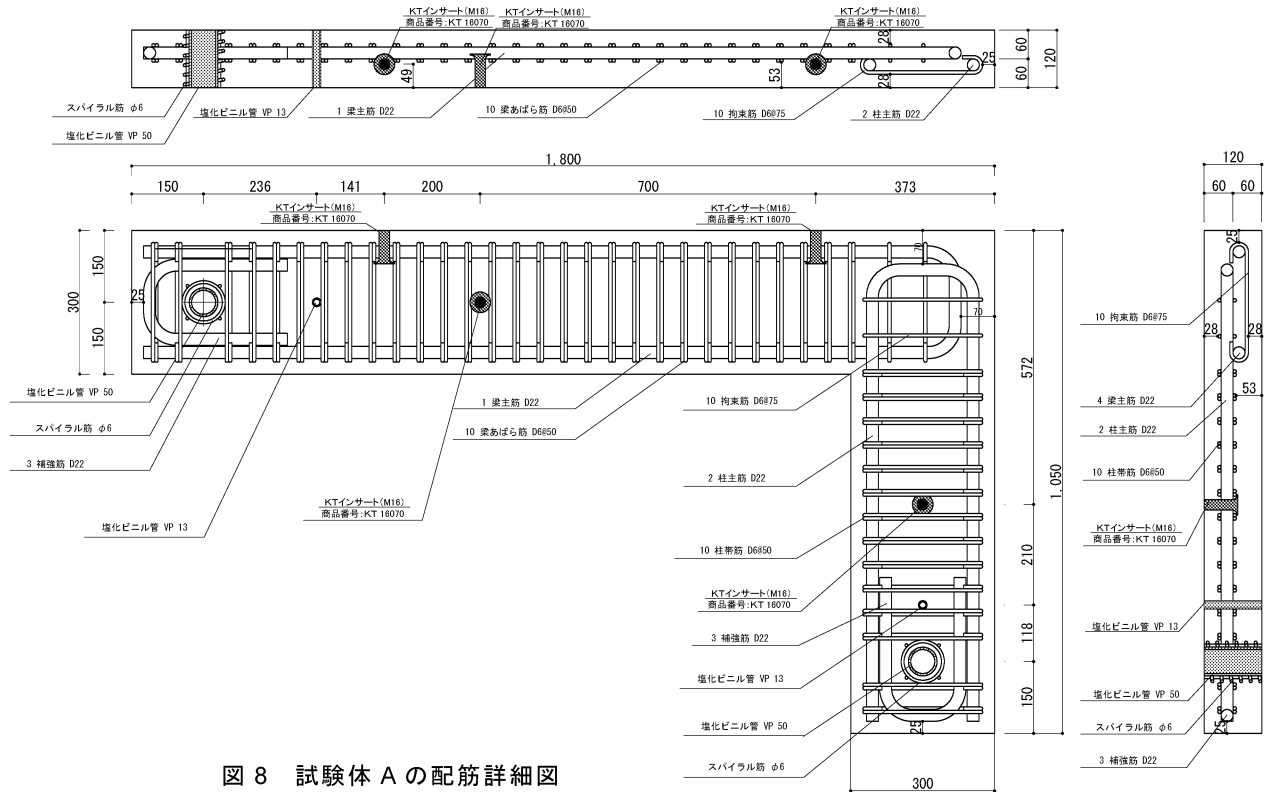


図8 試験体 A の配筋詳細図

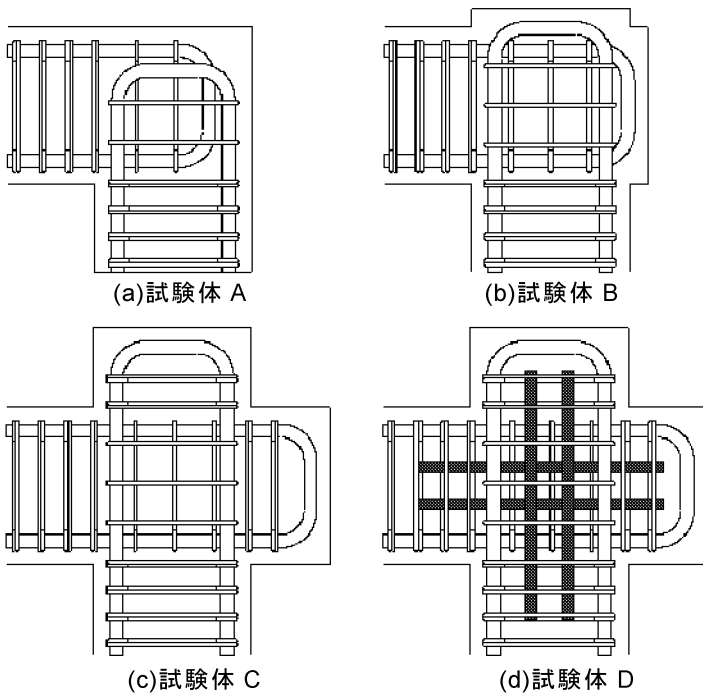


図9 接合部詳細

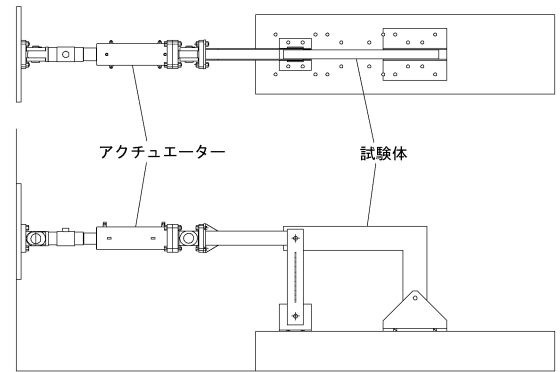


図10 試験体の加力方法

5. おわりに

現在は試験体の作製が完了し、加力治具の製作している。実験は次年度に予定をしている。

参考文献

- 1) 塩原等、鉄筋コンクリート柱梁接合部：見逃された破壊機構、日本建築学会構造系論文集、第73巻 第631号 pp.1641-1648、2008年9月

## 学校体育館のブレース構造の弾塑性応答変形に関する研究

学校体育館 ブレース構造 弾塑性応答 屋根面ブレース  
 限界耐力計算

山下哲郎\* 米田良祐\*\*  
 坂澤良寛\*\*\* 長島由香里\*\*\*

### 1. はじめに

学校体育館の地震被害の多くは屋根面を含むブレースの座屈、破断であり、ブレースの変形に伴う外装材の脱落、損傷なども多い。2011 年度はブレースの弾塑性応答変形に関する以下の研究を実施した。

- 1) 屋根面ブレースまで含めた弾塑性応答変形の推定法の検討と立体弾塑性モデルによる検証
- 2) 特性の異なる地震動に対する応答
- 3) 1 階 RC 造、2 階 S 造ブレース構造の弾塑性応答解析

### 2. 弾塑性応答変形の推定法の検討

#### 2. 1. 対象構造物と解析モデル

##### a) 対象構造物

関東近辺に実在する耐震補強設計が完了した 4 つの S1 タイプ<sup>1)</sup>の学校体育館 (以下モデル A-D) をモデル化し解析する。桁行構面と屋根面はブレース構造、梁間架構は H 形鋼の山形ラーメンである。架構形状を図 1.1 に示す。ブレースには一部を除き保有耐力接合された JIS 建築用ターンバックルを使用している。診断基準<sup>1)</sup>に基づき算出した補強後の桁行構面及び屋根面の耐震診断結果を表 1.1 に示す

(記号の定義は診断基準<sup>1)</sup>参照)。ブレースの靱性指標 F の値は一律 2.2<sup>1)</sup>である。 $\gamma$  は屋根面ブレース耐力の必要耐力に対する比率であり、必要耐力は  $I_{so}$  に対応する水平震度から定める略算法と、軸組構面の保有水平耐力から定める精算法により計算する。

##### b) 3 次元解析モデル

ブレースの降伏強さ  $\sigma_y=235\text{N/mm}^2 \times 1.2$  とする。ブレースの復元力特性を図 1.2 に示すような降伏後の 2 次剛性比 0.01 のバイリニア型完全スリップ履歴と仮定する。柱及び梁は弾性とする。小梁及びブレースをピン接合、山形ラーメンを剛接合とした。柱脚の支持条件は桁行方向に回転バネを設置したピン支持とする。

桁行方向の応答のみを解析するため、モデルは対称性を考慮して図 1.3 のように梁間方向 1/2 とし、対称面には屋根面中央部分に対象条件を設定した。

さらに、桁行構面上下のブレース設置構面数を 1 箇所ずつ増やした「+1」モデル、桁行構面上下のブレース呼び径のランクを 1 つ下げた「-1」モデルを追加する (表 1.1)。

#### 2. 2. 固有値解析結果

固有値解析結果より X 方向の有効質量比と刺激係

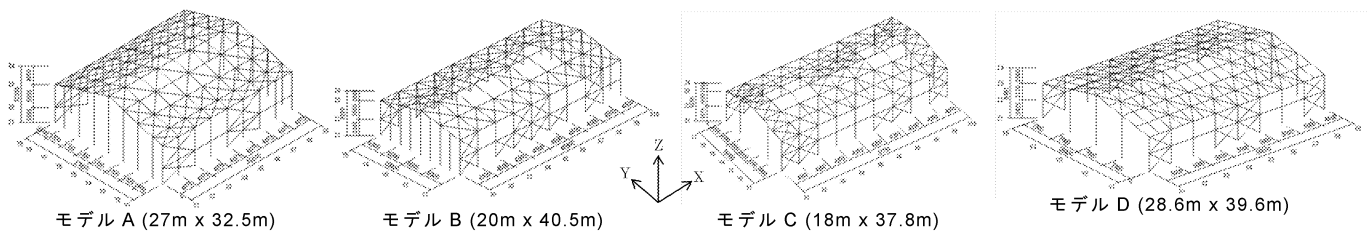


図 1.1 架構形状

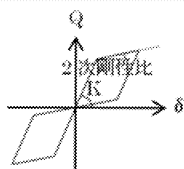


図 1.2 ブレースの復元力特性

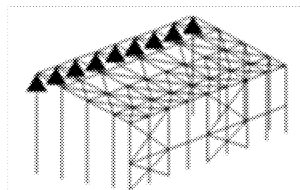


図 1.3 1/2 解析モデル

表 1.1 耐震診断結果

|          | Fes  | F    | Is   |      | q1   | q2   | 屋根面ブレース( $\gamma$ ) |      |
|----------|------|------|------|------|------|------|---------------------|------|
|          |      |      | Is1  | Is2  |      |      | 略算法                 | 精算法  |
| モデルA     | 1.00 | 2.20 | 0.76 | 0.94 | 1.39 | 1.72 | 1.54                | 2.42 |
| モデルB     | 1.00 | 2.20 | 0.99 | 1.03 | 1.80 | 1.87 | 1.48                | 1.79 |
| モデルC     | 1.00 | 2.20 | 1.24 | 1.04 | 2.25 | 1.90 | 2.68                | 3.07 |
| モデルD     | 1.00 | 2.20 | 1.09 | 1.33 | 1.99 | 2.42 | 1.16                | 1.26 |
| モデルA+1   | 1.00 | 2.20 | 1.15 | 1.42 | 2.08 | 2.57 | 1.54                | 1.64 |
| モデルB+1   | 1.00 | 2.20 | 1.16 | 1.29 | 2.10 | 2.34 | 1.48                | 1.55 |
| モデルC+1   | 1.00 | 2.20 | 1.49 | 1.31 | 2.70 | 2.38 | 2.68                | 2.46 |
| モデルD+1   | 1.00 | 2.20 | 1.37 | 1.66 | 2.49 | 3.02 | 1.16                | 1.01 |
| モデルA-1   | 1.00 | 2.20 | 0.62 | 0.77 | 1.13 | 1.40 | 1.54                | 2.96 |
| モデルB-1   | 1.00 | 2.20 | 0.80 | 0.84 | 1.46 | 1.52 | 1.48                | 2.18 |
| モデルC-1   | 1.00 | 2.20 | 0.95 | 0.83 | 1.74 | 1.50 | 2.68                | 3.90 |
| モデルD-1   | 1.00 | 2.20 | 0.84 | 1.03 | 1.54 | 1.86 | 1.16                | 1.63 |
| モデルA=0.7 | 1.00 | 2.20 | 0.76 | 0.74 | 1.39 | 1.35 | 1.54                | 2.60 |
| モデルA=1.2 | 1.00 | 2.20 | 0.76 | 1.21 | 1.39 | 2.21 | 1.54                | 2.43 |

\* : 工学院大学建築学部建築学科准教授, \*\* : 工学院大学大学院建築学専攻,  
 \*\*\* : 工学院大学工学部建築学科 (いずれも 2012 年 2 月 28 日現在)

数より桁行方向の支配的な振動モード(桁行 1 次モードと呼ぶ)を抽出すると、はモデル A、C では 5 次、モデル B では 6 次、モデル D では 4 次となる (図 1.4)。これらの固有周期は建築基準法<sup>2)</sup>による設計用 1 次固有周期に概ね一致する (表 1.2)。

### 2. 3. 入力地震動と解析条件

告示スペクトル<sup>2)</sup>を目標スペクトルとして El Centro、Taft、Hachinohe、Kobe の 4 波 NS 成分の位相特性を用いて作成した地震波 (図 1.5) を入力する。入力は桁行方向(X)のみとし、上下動と長期荷重は無視する。Newmark-β法(β=1/4)を用い、解析時間刻みは 0.001 秒、解析時間は 40 秒間とする。初期剛性比例型減衰で定数 2%とし、桁行 1 次モードに対して設定する。解析ソフトは SNAP ver5<sup>3)</sup>を用いる。

### 2. 4. $I_s$ 値と弾塑性応答

文献<sup>4)</sup>を参考に屋根面まで含め層を設定する (図 1.6)。最大応答層間変形角とブレースの塑性率を図 1.7、図 1.8 に示す。 $I_s$  の最小層で最大変形角を生じるが、モデル D では屋根面ブレースが降伏した。屋根面ブレースの検討においては耐力に余裕がないと屋根面ブレースの降伏を招くことがわかる。

最大層間変形角を生じる層の  $I_s$  と層間変形角の関係を図 1.9 に、塑性率の関係を図 1.10 に示す。解析結果を近似する直線として式(1)(2)を定める。

$$R_i = -0.04 \times I_{s_i} + 0.07 \quad (1)$$

$$\mu_i = -6.66 \times I_{s_i} + 14 \quad (2)$$

$R_i$  は層間変形角、 $\mu_i$  は塑性率である。大まかではあるが、 $I_{s_i}$  値で告示波相当の入力に対する層間変形角及び塑性率が推定できる。構造耐震判定指標  $I_s=0.7$  では最大層間変形角が 4/100 程度、塑性率が 9.4 程度となり、最大層間変形角を 1/100 以下に抑えるには  $I_s$  値が 1.5 程度必要である。

### 2. 5. 層せん断力分布とその近似

以下の層せん断力分布を図 1.11 に示す。

- ① 弾塑性応答解析結果 (4 波平均値)
- ②  $A_i$  を用いた層せん断力分布 (桁行 1 次固有周期、設計用 1 次固有周期の 2 種類を用いて算定)
- ③ 屋根面を剛床と仮定した 2 層の分布 ( $A_i$  分布、固有周期は軒高さより計算)
- ④ 弾性応答解析結果
- ⑤ 1~20 次モードを用いた SRSS 法<sup>5)</sup>による算定 (告示スペクトルと剛性比例減衰を使用)
- ⑥ 降伏耐力の分布 (後述する式(14)より算定)。

②③はベースシア係数を①に合わせた。 $A_i$  分布は弾塑性応答と近いが屋根層は比較的誤差が大きく、また診断で用いる一様震度ではない。SRSS と弾性応答はほぼ一致するが、弾塑性応答との差は大きい。  
 2. 6. 簡易質点系モデルを用いた限界耐力計算<sup>2)</sup>による変形推定

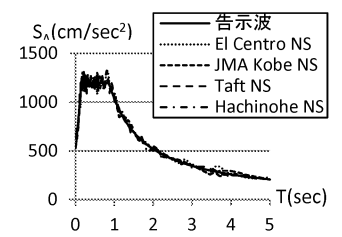
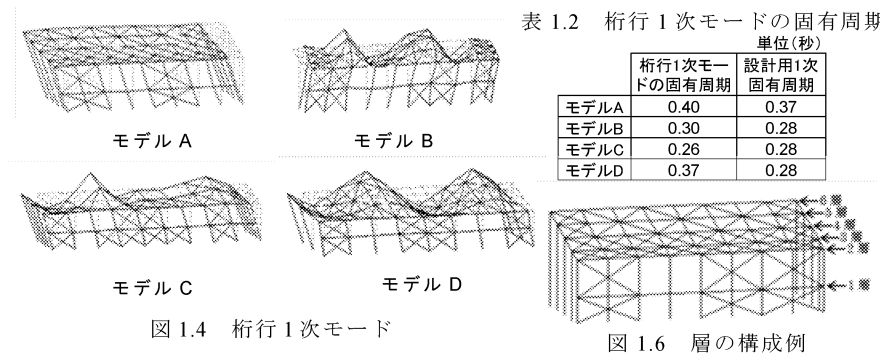


図 1.5 入力地震動

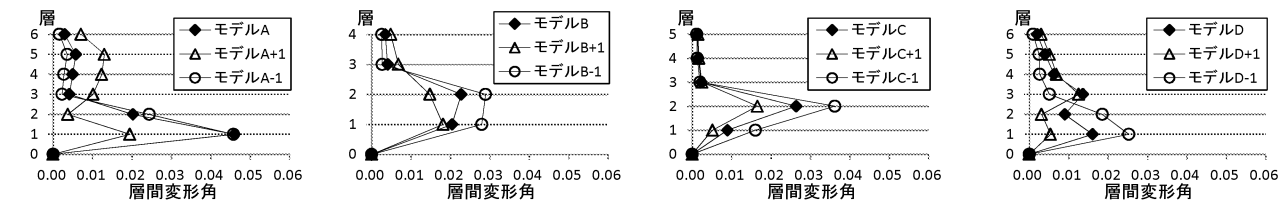


図 1.7 最大層間変形角分布

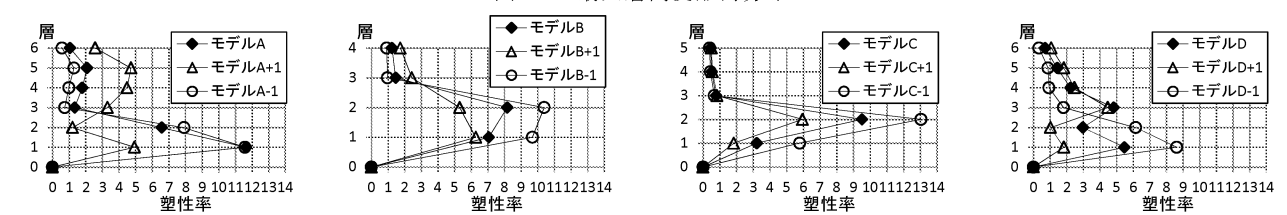


図 1.8 ブレース塑性率分布

a) 簡易質点系モデル

簡易な応答推定法である質点系モデルを用いた限界耐力計算<sup>2)</sup>の精度を検証する。桁行方向を図1.12のように屋根面も含めた多質点系モデル<sup>4)</sup>と、屋根面を剛床とみなした2質点系モデルにモデル化する。各層のバネ定数と降伏耐力は柱梁の変形を無視し、ブレースのみを考慮して、式(3)(4)より算出する。

$$K_i = \frac{E \times A_{bi} \times \cos^2 \theta_i \times n_i}{\ell_i} \quad (3)$$

$$P_{yi} = \sigma_y \times A_i \times \cos \theta_i \times n_i \quad (4)$$

$A_{bi}$  はブレース断面積、 $n_i$  はブレース構面数、 $\ell_i$  はブレース長さ、 $\theta_i$  はブレース角度を表す。降伏後の2次元配比は3次元モデルの静的増分解析結果から0.02とした。

b) 限界耐力計算による応答変形推定

立体三次元モデルでは弾塑性動的解析、質点系モデルでは限界耐力計算で得た応答層間変形角を図1.17に示す。等価粘性減衰定数 $h$ の算定には式(5)<sup>2)</sup>を用いた。

$$h = \gamma_1 \times \left( 1 - \frac{1}{\sqrt{D_f}} \right) + 0.02 \quad (5)$$

$\gamma_1$  は減衰特性を表す指標でブレース構造は0.2を用

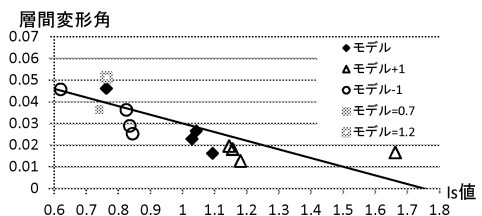


図 1.9  $I_s$  と層間変形角

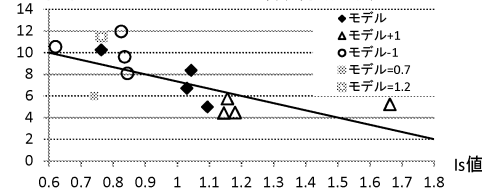


図 1.10  $I_s$  と塑性率

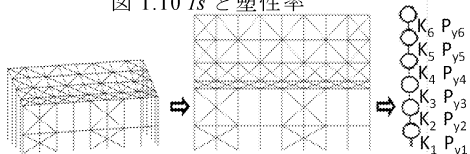


図 1.12 質点系モデル

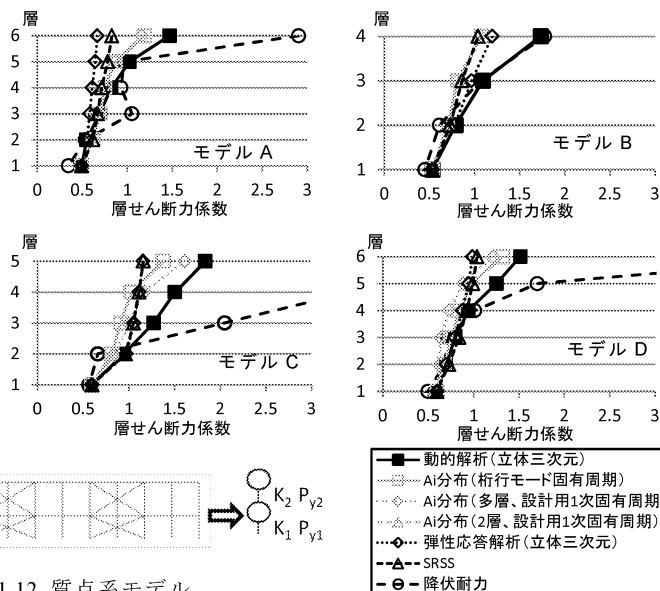


図 1.11 層せん断力係数分布

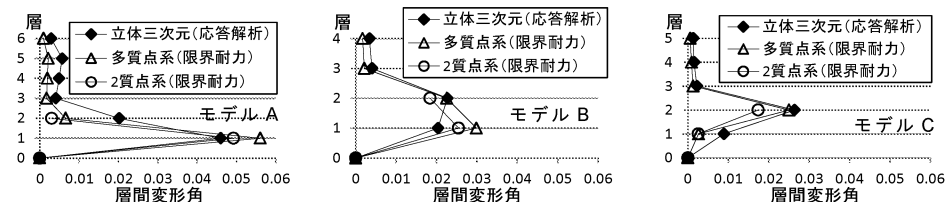


図 1.17 限界耐力計算による弾塑性応答変形推定精度

いる。 $D_f$  は等価1自由度系の塑性率である。設計用1次固有周期を用いて計算した $A_i$ 分布を用いる。

多少の誤差はあるが、概ね限界耐力計算で弾塑性応答変形を推定できる。屋根面が降伏しなければ簡易な2質点系で十分な精度が得られる。

2. 7. まとめ

1) 今回のモデルでは桁行方向の振動は4次以上の高次モードで生じ、その固有周期は建築基準法の略算式による計算値とほぼ一致した。

2) 最大変形層の応答層間変形角およびブレースの塑性率と $I_s$ 値の関係は式(1)(2)で表せる。

3) 弾塑性応答において屋根面を含めた層せん断力分布は $A_i$ 分布で概ね近似できる。

4) 質点系モデルを使用した限界耐力計算により、軸組ブレースの変形を推定できる。

なお、当研究では地震入力を桁行方向に限定したが、今後の課題として鉛直荷重と多方向入力の影響を調べる必要がある。

3. 特性の異なる地震動に対する応答

3. 1 目的

海溝型の東北地方太平洋沖地震と活断層型の新潟県中越地震では地震動の性質と構造物の応答が大きく異なる。ブレースの被害が多発するのは後者の地

震動であり、弾塑性応答解析で検証する。

### 3. 2 応答解析

モデルA-Dについて屋根面まで弾塑性質点系モデルに置換し(図1.12)、時刻歴応答解析を実施する。

1次に対して2%初期剛性比例減衰を仮定する。入力にはK-net観測波および2章の告示波と、弾性応答ベースシア係数が1.0となるよう観測波と告示波を基準化した地震動(基準化波)をそれぞれ入力する。

### 3. 3 結果とまとめ

層間変形と塑性率を表3.1(観測波+告示波)、表3.2(基準化波)に示す。観測波&告示波に対する層間変形角の最小値は東日本(牡鹿)の1/194、最大は新潟県中越地震(小千谷)の1/10である。基準化した地震動では最小が兵庫県南部地震の1/175、最大は新潟県中越沖地震の1/10である。海溝型地震は観測波、基準化波とも応答が小さい。活断層型と告示波は観測波、基準化波ともほぼ同じレベルの応答を示した。

## 4. 第1層RC造、第2層S造ブレース構造の応答

### 4. 1 目的

実在する7棟の第1層RC造、第2層S造(図4.1)の補強後の学校体育館の桁行方向の弾塑性応答解析を実施し、応答変形とIs値との関連を調べる。

### 4. 2 解析モデルと入力地震動

解析モデルは前章と同様、屋根面まで含めた質点系モデルとする。第2層と屋根面は前述した方法で弾塑性バネの特性を求める。第1層RC壁式構造の骨格曲線は2010年度の研究<sup>6)</sup>と同様に求め、履歴モデルは原点指向型とする。入力には2章の告示波を用いる。減衰は1次2%の剛性比例減衰とする。

### 4. 3 解析結果

図4.2に軸組ブレース層の弾塑性応答変形を、2自由度系の限界耐力計算による推定値<sup>6)</sup>と併せて示す。Is値の低い領域では両者の差が大きく、限界耐力計算の推定に補正が必要である。

### 謝辞

工学院大学名誉教授廣澤雅也博士より学校体育館の耐震診断計算書の提供を受けた。深謝を表す。

### 参考文献

- 1) 文部科学省:「屋内運動場等の耐震性能診断基準(18年度版)」、2006
- 2) 国土交通省:「2007年度版 建築物の構造関係技術基準解説書」2007
- 3) 構造システム:SNAP Ver.5テクニカルマニュアル、2009
- 4) 長屋敦士、柴田良一、中澤祥二、大家貴徳、加藤史郎:「桁行き方向に地震動を受ける体育館のリスクアナリシス:その1:等価質点モデル」日本建築学会大会学術講演梗概集、B-1分冊、pp.745-746、2009年
- 5) 日本建築学会:「建築物荷重指針・同解説」、2004年
- 6) 2010年度UDM報告書

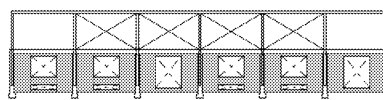


図4.1 1層RC造、2層S造の桁行構造

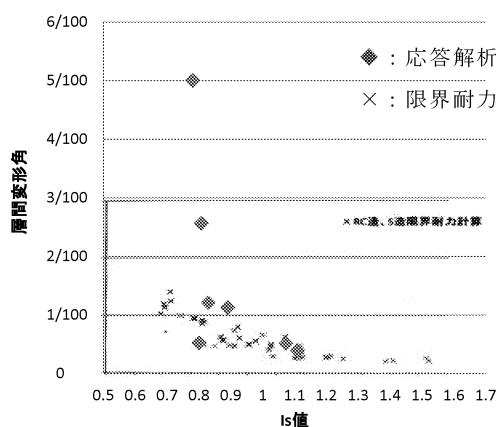


図4.2 ブレース層の応答変形とIs値

表3.1 観測波+告示波に対する解析結果

| タイプ | 入力地震波      | 観測地点   | 体育館A |      | 体育館B  |   | 体育館C |       | 体育館D |      | 平均    |      |       |      |      |      |
|-----|------------|--------|------|------|-------|---|------|-------|------|------|-------|------|-------|------|------|------|
|     |            |        | 層    | 塑性率μ | 層間変形角 | 層 | 塑性率μ | 層間変形角 | 層    | 塑性率μ | 層間変形角 | 塑性率μ | 層間変形角 |      |      |      |
| 海溝  | 十勝沖        | 広尾     | 1    | 3.6  | 1/67  | 2 | 7.4  | 1/49  | 1    | 5.4  | 1/63  | 1    | 5.1   | 1/66 | 3.68 | 1/88 |
|     | 東北地方太平洋沖   | 牡鹿     | 1    | 1.2  | 1/194 | 2 | 2.3  | 1/56  | 2    | 1.9  | 1/84  | 1    | 2.5   | 1/33 |      |      |
|     | 兵庫県南部      | JMA神戸  | 1    | 5.7  | 1/42  | 2 | 9.6  | 1/38  | 2    | 6.8  | 1/53  | 1    | 7.6   | 1/44 |      |      |
| 断層  | 新潟県中越(十日町) | 十日町    | 1    | 3.9  | 1/61  | 2 | 7.3  | 1/49  | 2    | 4.6  | 1/77  | 1    | 4.6   | 1/73 | 12.4 | 1/25 |
|     | 新潟県中越(小千谷) | 小千谷    | 1    | 25.0 | 1/10  | 2 | 27.9 | 1/13  | 2    | 20.0 | 1/18  | 1    | 28.3  | 1/12 |      |      |
|     | 新潟県中越沖     | 柏崎     | 1    | 17.3 | 1/14  | 2 | 6.1  | 1/59  | 1    | 10.2 | 1/33  | 1    | 13.9  | 1/24 |      |      |
| 告示  | 十勝沖        | 八戸     | 1    | 16.2 | 1/15  | 2 | 21.2 | 1/17  | 2    | 11.2 | 1/32  | 1    | 23.0  | 1/15 | 14.4 | 1/22 |
|     | 兵庫県南部      | 神戸     | 1    | 10.8 | 1/22  | 2 | 8.0  | 1/45  | 1    | 7.8  | 1/43  | 1    | 12.4  | 1/27 |      |      |
|     | El-centro  | エルセントロ | 1    | 12.9 | 1/19  | 2 | 10.9 | 1/33  | 2    | 8.8  | 1/40  | 1    | 15.1  | 1/22 |      |      |
|     | Taft       | タフト    | 1    | 16.6 | 1/14  | 2 | 15.6 | 1/23  | 1    | 15.3 | 1/22  | 1    | 24.1  | 1/14 |      |      |

表3.2 基準化波に対する解析結果

| タイプ | 入力地震波      | 観測地点   | 体育館A |   | 体育館B |       | 体育館C |   | 体育館D |       | 平均   |   |      |       |      |       |      |       |
|-----|------------|--------|------|---|------|-------|------|---|------|-------|------|---|------|-------|------|-------|------|-------|
|     |            |        | 倍率   | 層 | 塑性率μ | 層間変形角 | 倍率   | 層 | 塑性率μ | 層間変形角 | 倍率   | 層 | 塑性率μ | 層間変形角 | 塑性率μ | 層間変形角 |      |       |
| 海溝  | 十勝沖        | 広尾     | 0.76 | 1 | 2.7  | 1/90  | 0.40 | 2 | 3.4  | 1/105 | 0.65 | 2 | 3.0  | 1/118 | 0.61 | 1     | 3.9  | 1/88  |
|     | 東北地方太平洋沖   | 牡鹿     | 1.96 | 1 | 3.1  | 1/79  | 1.26 | 2 | 2.7  | 1/131 | 1.60 | 1 | 3.0  | 1/110 | 1.84 | 1     | 3.2  | 1/104 |
|     | 兵庫県南部      | 神戸     | 0.83 | 1 | 5.2  | 1/46  | 0.39 | 2 | 2.0  | 1/175 | 0.64 | 1 | 3.5  | 1/95  | 0.48 | 1     | 3.4  | 1/100 |
| 断層  | 新潟県中越(十日町) | 十日町    | 0.67 | 1 | 3.4  | 1/70  | 0.55 | 2 | 4.1  | 1/87  | 0.50 | 2 | 2.8  | 1/38  | 0.44 | 1     | 2.7  | 1/42  |
|     | 新潟県中越(小千谷) | 小千谷    | 0.20 | 1 | 3.3  | 1/72  | 0.36 | 2 | 6.7  | 1/53  | 0.39 | 2 | 7.4  | 1/49  | 0.28 | 1     | 6.0  | 1/56  |
|     | 新潟県中越沖     | 柏崎     | 0.89 | 1 | 12.5 | 1/19  | 0.66 | 2 | 5.8  | 1/61  | 1.08 | 1 | 9.6  | 1/35  | 1.30 | 1     | 34.7 | 1/19  |
| 告示  | 十勝沖        | 八戸     | 0.58 | 1 | 5.8  | 1/41  | 0.82 | 2 | 10.6 | 1/34  | 0.80 | 2 | 9.9  | 1/36  | 0.71 | 1     | 8.2  | 1/41  |
|     | 兵庫県南部      | 神戸     | 0.71 | 1 | 4.5  | 1/53  | 0.81 | 2 | 3.9  | 1/91  | 0.75 | 2 | 5.0  | 1/72  | 0.73 | 1     | 6.9  | 1/49  |
|     | El-centro  | エルセントロ | 0.68 | 1 | 7.5  | 1/32  | 0.92 | 2 | 8.7  | 1/41  | 0.73 | 2 | 4.4  | 1/81  | 0.99 | 1     | 14.9 | 1/23  |
|     | Taft       | タフト    | 0.61 | 1 | 9.1  | 1/27  | 0.77 | 2 | 7.0  | 1/51  | 0.74 | 2 | 7.5  | 1/48  | 0.66 | 1     | 12.2 | 1/28  |

## 耐力壁とラーメンフレームを併用した木質構造の地震時挙動

木質ラーメン、引きボルト、水平加力試験、振動実験

河合直人\* 神田剛史\*\*

### 1. はじめに

木造住宅の耐震補強においては、耐力壁の補強や新設が有効な手段として多く用いられているが、開口をふさがず住環境を変化させずに補強する方法としては、木質ラーメンを使用する方法がある。しかしながら、木質ラーメンは一般に木質耐力壁と復元力特性が異なり、特に比較的靱性が大きな耐力壁と、靱性の乏しい木質ラーメンを併用した場合の木造住宅の地震時挙動については不明な点も多く、適切な補強設計の方法も明確にされていない。

ここでは、耐震補強方法としてラーメンフレームを使用した木造住宅の耐震設計法のための基礎資料として、靱性の異なる木質ラーメン門型フレームの水平加力実験について述べるとともに、耐力壁とラーメンフレームを併用した場合の地震時挙動に関する振動実験結果との照合を行う。

### 2. 門型フレーム試験

#### 2.1 試験目的

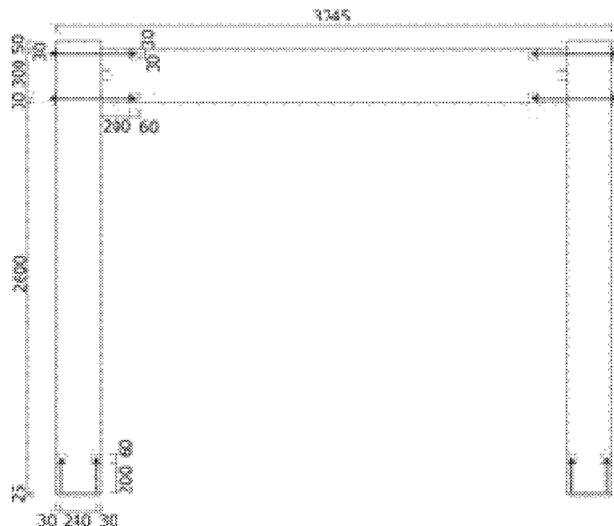
本試験では、木質ラーメンの門型フレームに水平方向に加力実験を行うことによってラーメンフレームの挙動確認及び許容耐力の把握を目的とする。

#### 2.2 試験体

木質ラーメンは引きボルト形式とし、「高剛性低靱性」タイプと「低剛性高靱性」タイプの2種類を設ける。高剛性低靱性タイプの柱断面は105(mm)×360(mm)、梁断面は105(mm)×450(mm)、引きボルトはM20（全ネジタイプ）を使用する。一方、低剛性高靱性タイプの柱断面は105×300[mm]、梁断面は105×360[mm]、引きボルトはSNR材のM16、 $\sigma_y = 330(N/mm^2)$ 程度のものを使用する。高剛性低靱性タイプ、低剛性高靱性タイプ共に柱梁接合部にはせん断受け金物を設ける。スパンは3.64(m)（4P）である。

試験体は高剛性低靱性タイプ3体、低剛性高靱性タイプ3体、それに各々のタイプに1.2(t)の錘で荷

#### 1) 低剛性高靱性タイプ



#### 2) 高剛性低靱性タイプ

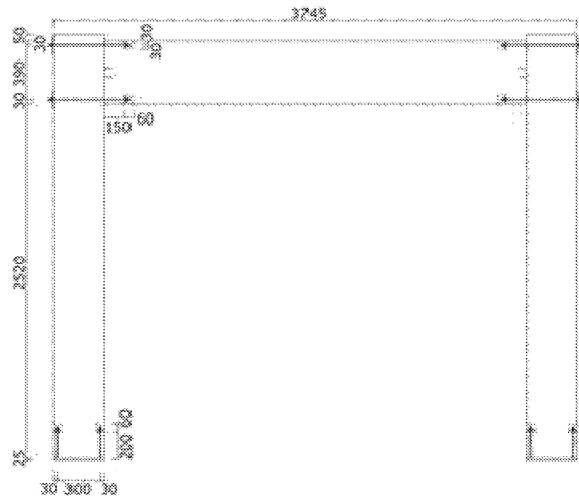


図1 門型フレームの各試験体概要図

重をかけて行うものが各1体、計8体によって試験を行う。

#### 2.3 試験方法

フレーム試験は、両柱脚及び柱梁接合部に変位計、柱梁側面にひずみゲージを配置し、加力治具を用いて梁の中央を加力点とし、水平に加力を行う。試験体はアンカーボルトにて、鉄骨基礎に固定する。

\* : 工学院大学建築学部建築学科, \*\* : 工学院大学工学部建築学科学部生

## 2.4 加カスケジュール

加力はアクチュエータによる正負交番3回繰り返しとする。 $\pm 1/450$ 、 $\pm 1/300$ 、 $\pm 1/200$ 、 $\pm 1/150$ 、 $\pm 1/100$ 、 $\pm 1/75$ 、 $\pm 1/50$ 、 $\pm 1/30$ [rad]を3回繰り返しした後、引張側に限界まで加力を行った。

## 3. 試験結果

### 3.1 荷重変形関係

図2に各試験体の包絡線を示す。大きな荷重低下は、引きボルトのナットの座彫り位置から木材にせん断破壊を起こしたところで生じている。

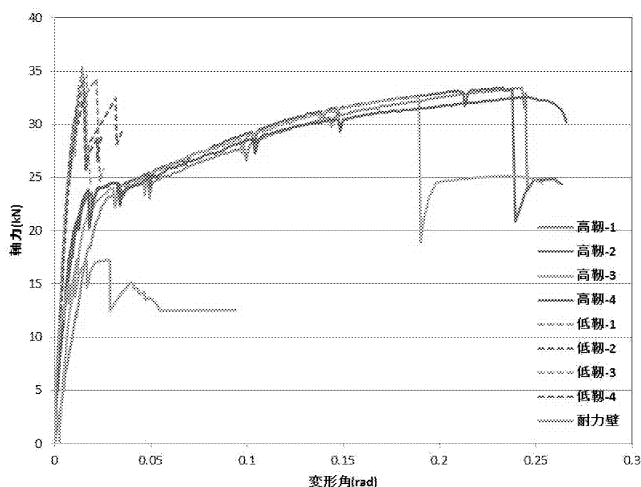


図2 実験結果－包絡線一覧

### 3.2 特性値

建築基準法施行令46条における木造軸組の大臣認定の場合に用いられる方法を用いて、各試験体の特性値として、荷重変形関係から定まる4つの指標(降伏耐力  $P_y$ 、終局耐力と靱性から決まる値  $0.2P_u\sqrt{2\mu-1}$ 、最大耐力  $P_{max}$  の2/3、特定変形時耐力  $P(1/150)$ )を算出した。

表1に各試験体の特性値を示す。低剛性高靱性タイプ2体目の試験体で値が小さく出ているが、低剛性高靱性タイプと高剛性低靱性タイプそれぞれにおいて大きな違いは見られない。

また、表2に集成材フレームと耐力壁との併用を想定した場合の特性値の加算値を示す。表2より、低剛性高靱性タイプにおいては  $P(1/150)$ 、高剛性低靱性タイプにおいては2体目を除き  $0.2P_u\sqrt{2\mu-1}$  が最小値となっていることがわかる。

表1 各試験体の特性値

|      | $2/3P_{max}$<br>kN | $0.2P_u/\sqrt{2\mu-1}$<br>kN | $P_y$<br>kN | $P(1/150)$<br>kN | $P(1/200)$<br>kN | $D_s$ |
|------|--------------------|------------------------------|-------------|------------------|------------------|-------|
| 高靱-1 | 22.29              | 22.22                        | 22.11       | 7.2              | 5.72             | 0.27  |
| 高靱-2 | 22.32              | 28.79                        | 22.29       | 14.36            | 12.36            | 0.21  |
| 高靱-3 | 21.71              | 22.61                        | 21.44       | 9.96             | 7.16             | 0.25  |
| 高靱-4 | 21.71              | 31.56                        | 22.65       | 15.88            | 12.44            | 0.19  |
| 低靱-1 | 23.57              | 13.39                        | 20.22       | 24.92            | 19.52            | 0.48  |
| 低靱-2 | 22.85              | 17.13                        | 19.92       | 24.44            | 18.48            | 0.35  |
| 低靱-3 | 23.07              | 11.51                        | 21.62       | 24.8             | 21.56            | 0.53  |
| 低靱-4 | 21.72              | 12.75                        | 21.95       | 19.44            | 19.44            | 0.45  |
| 耐力壁  | 11.52              | 15.55                        | 9.91        | 14.48            | 13               | 0.19  |

表2 集成材フレーム及び耐力壁の加算値

|      | $2/3P_{max}$<br>kN | $0.2P_u/\sqrt{2\mu-1}$<br>kN | $P_y$<br>kN | $P(1/150)$<br>kN | 短期許容耐力<br>kN |
|------|--------------------|------------------------------|-------------|------------------|--------------|
| 高靱-1 | 33.81              | 37.77                        | 32.02       | 21.68            | 21.68        |
| 高靱-2 | 33.84              | 44.34                        | 32.2        | 28.84            | 28.84        |
| 高靱-3 | 33.23              | 38.16                        | 31.35       | 24.44            | 24.44        |
| 高靱-4 | 33.23              | 47.11                        | 32.56       | 30.36            | 30.36        |
| 低靱-1 | 35.09              | 28.94                        | 30.13       | 39.4             | 28.94        |
| 低靱-2 | 34.37              | 32.68                        | 29.83       | 38.92            | 29.83        |
| 低靱-3 | 34.59              | 27.06                        | 31.53       | 39.28            | 27.06        |
| 低靱-4 | 33.24              | 28.3                         | 31.86       | 33.92            | 28.3         |

## 4. 併用構造の振動台実験について

### 4.1 試験目的

本試験では、靱性の異なる耐力要素を併用した構造物に対して振動台による加振を行い、その変形挙動を確認すると共に、耐力要素の荷重変形関係から構造物の荷重変形関係を推定する手法の妥当性を確認し、併用構造の設計法のための基礎資料とすることを目的とする。

### 4.2 試験体

箱形試験体は、変形性能の異なる耐力要素(木質ラーメン・耐力壁構造)を併用した  $4P \times 4P$  の平面を有する1層試験体である。

木質耐力壁構造部分の柱及び土台の断面は  $105(\text{mm}) \times 105(\text{mm})$ 、梁及び桁の断面は  $105(\text{mm}) \times 270(\text{mm})$  とする。構造用合板(厚さ  $24(\text{mm})$ 、 $N50$  釘@ $150(\text{mm})$ 以下)の耐力壁、長さ  $1820(\text{mm})$  ( $2P$ ) を加力方向に1構面、加力直交方向に2構面配置する。柱頭柱脚接合部金物については、構造用合板の両側の柱に  $25\text{kN}$  用 HD 金物を用いて接合する。

木質ラーメン部分は門型フレーム試験の試験体と同様、低剛性高靱性タイプと高剛性低靱性タイプの2種類とする。木質ラーメンの種類に対して、箱形試験体も低剛性高靱性タイプと高剛性低靱性タイプの2種類、計2体によって実験を行う。試験体の天井面には耐力要素の許容耐力に基づいて  $10[\text{t}]$  の錘を乗せる。試験体はアンカーボルトにて、鉄骨基礎に固定する。

図3に箱形試験体の概要図を示す。

表3 入力波

|               | BCJ-L1 | BCJ-L2 |
|---------------|--------|--------|
| 最大加速度(cm/s/s) | 207.3  | 355.7  |
| 最大速度(cm/s)    | 29.1   | 57.4   |
| 最大変位(cm)      | 19.7   | 46.1   |

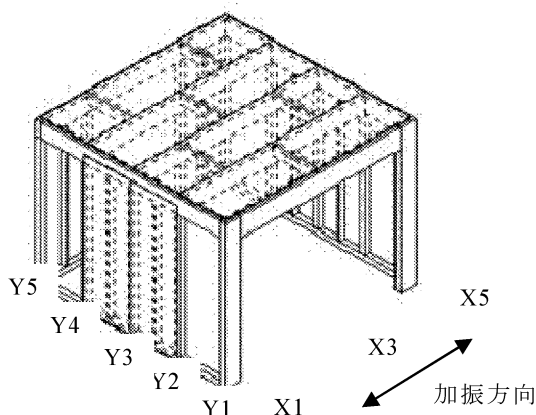


図3 箱形試験体概要図

### 4.3 加振方法

独立行政法人防災科学研究所の大型耐震実験施設において、建築基準法で想定される2種地盤の応答スペクトルに適合する人工地震波を用いて行った。加振方向は図3の矢印が示すように、ラーメンフレームに対して平行方向に行う。

### 4.4 入力地震波

入力地震動には、建設省建築研究所と法人日本建築センターによって、設計用入力地震動委員会財団が1992年(平成4年)3月にまとめた、設計用入力地震動作成手順技術指針に基づいて作成された時刻歴波形 BCJ-L1 及び BCJ-L2 の2種類を用いた。表3に入力波の最大加速度、最大速度、最大変位を、図4に加速度の時刻歴波形を示す。

### 4.5 測定方法

併用構造の加振実験では、試験体の主要な部分の加速度を加速度計により測定を行う。また、試験体と振動台の相対変位及び接合部の相対変位を変位計により測定する。さらに、フレーム及び耐力壁脚部の反力を三分力計により計測する。以上の測定機器を配置し振動台にて加振を行う。

## 5. 試験結果

### 5.1 破壊性状

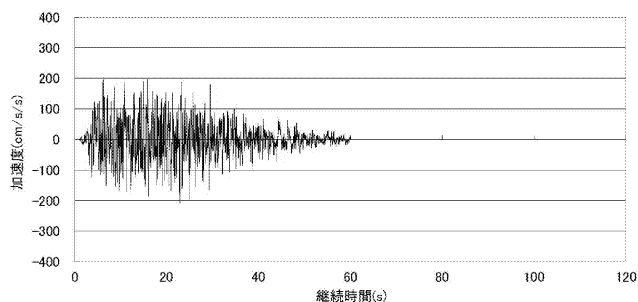
#### (1) 低剛性高靱性タイプ

BCJ-L1 加振では、構造用合板の釘がわずかに浮くのが観察された。BCJ-L2 加振では、集成材フレームの X3 通の柱頭で割裂破壊が生じ、耐力壁の構造用合板の釘が完全に引き抜けた。

#### (2) 高剛性低靱性タイプ

BCJ-L1 加振では、集成材フレーム X1 通の梁座彫

#### 1) BCJ-L1



#### 2) BCJ-L2

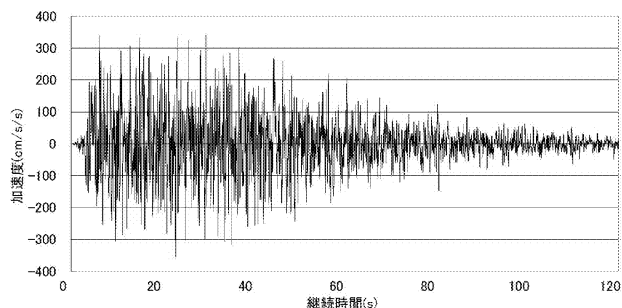


図4 入力波(時刻歴加速度)

り部分に亀裂が生じ、構造用合板の釘がわずかに浮いた。BCJ-L2 加振では、集成材フレーム X1 通の座彫り部分の木材のせん断破壊が進み、X5 通柱頭での同様のせん断破壊が生じた。構造用合板の釘が完全に引き抜け、一部せん断破壊が生じた。

### 5.2 応答変位

図5に BCJ-L2 加振時の集成材フレーム架構と耐力壁架構の応答変位を比較して示す。BCJ-L1 加振時には、どちらの試験体においても集成材フレーム架構および耐力壁架構は併進的な挙動をとっていたが、BCJ-L2 においては変形が進むにつれ、集成材フレーム架構と耐力壁架構で大きな変異のずれが生じていることがわかる。

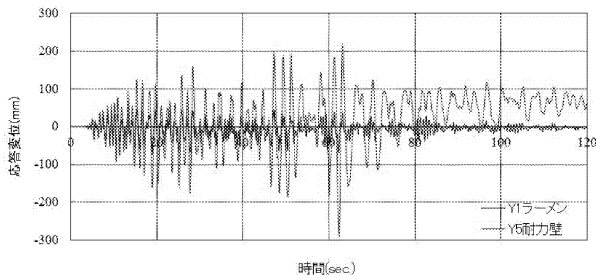
### 5.3 荷重変形関係の推定

静的加力試験の集成材フレームと耐力壁の荷重変形関係より、振動台実験の試験体の荷重変形を推定し、振動台実験で得られた荷重変形関係と比較する。

静的加力試験からの推定においては並進振動を仮定して荷重変形角を単純加算した場合と、ねじれ変



1) 低剛性高靱性タイプ BCJ-L2



2) 高剛性低靱性タイプ BCJ-L2

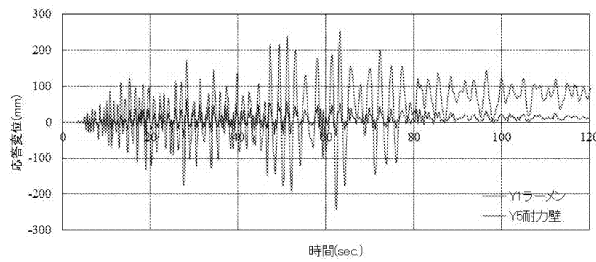


図5 各試験体の応答変位時刻歴

形を考慮して、集成材フレームと耐力壁に水平力が均等に加わるとして計算した場合の2通りの計算を行った。

図6に動的加力試験における静的加力試験の並進仮定による荷重変形関係の推定結果を、図7にねじれ考慮による荷重変形関係の推定結果を、それぞれ振動実験結果と比較して示す。

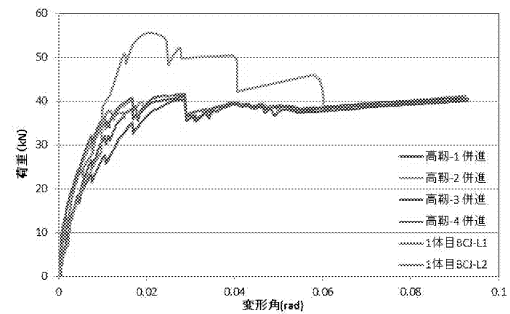
並進仮定による推定では、高剛性低靱性タイプに対し、振動実験による構造物の荷重変形関係よりも過大な予測となり危険側であるが、ねじれを考慮した場合には高剛性低靱性タイプでもほぼ振動実験と同等の予測を与えることが確認された。

6 おわりに

ラーメンフレームを併用した木造住宅の耐震設計法のための基礎資料として、靱性の異なる木質ラーメン門型フレームの水平加力実験を行うとともに、耐力壁とラーメンフレームを併用した場合の荷重変形関係について、静的加力試験の結果に基づく推定と振動実験結果との照合を行った。

併用構造の荷重変形関係の推定としては、並進仮定による推定では、特に低靱性タイプの集成材フレームが併用された場合は危険側の予測となるが、ねじれを考慮した推定の場合には、安全側の予測となることが確認された。

1) 低剛性高靱性タイプ



2) 高剛性低靱性タイプ

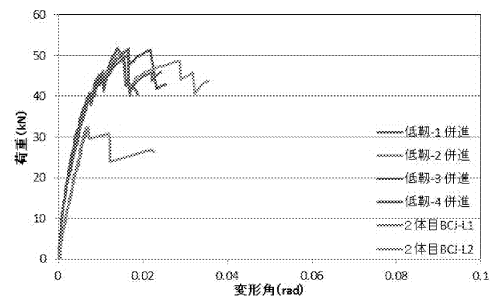
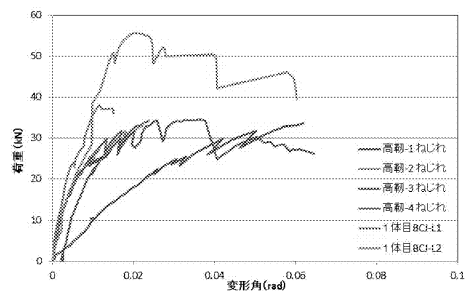


図6 並進仮定による荷重変形関係の推定

1) 低剛性高靱性タイプ



2) 高剛性低靱性タイプ

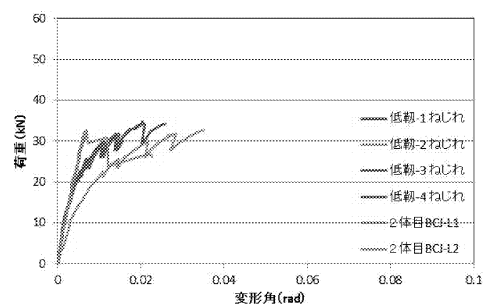


図7 ねじれ考慮による荷重変形関係の推定

参考文献

- 1) (財)日本住宅・木材技術センター：木造軸組工法住宅の許容応力度設計(2008年度版)、平成20年12月

## 伝統木造建物の地震時挙動に関する解析的研究

3次元モデル、時刻歴応答解析、水平構面、柱脚滑り

河合直人\*1 後藤治\*2 松本憲幸\*3

### 1. はじめに

伝統木造建物の耐震診断・補強法の検討には、構造物の地震時挙動に対する数値解析手法を確立し、補強効果を解析的に検討することが有効と考えられる。伝統木造建物では床や屋根などの水平構面の剛性が一般に低く、そのせん断変形を考慮する必要がある。また、石場建ての仕様に対しては、柱脚の浮き上がりや滑り挙動も生じる可能性がある。このような伝統木造建物の地震時挙動を把握には、水平構面のせん断変形や柱脚移動を考慮した3次元モデルによる地震応答解析が必要である。

ここでは、伝統木造建物の地震時挙動について、既往の震動台実験結果を参考にしながら、詳細な3次元モデルを用いて、地震波、水平構面剛性、柱脚の摩擦係数等をパラメータとして行った地震応答解析について述べる。

### 2. 解析方法

#### 2.1 解析モデルの概要

解析モデルは平屋の3次元モデルで、解析プログラム"Wallstat" (建築研究所中川貴文作成)を用い、耐力壁のみの単純な平面について、時刻歴応答解析を実施した。

図1に解析モデルの全体像を示す。

建物は平屋、柱列数は4列(加振方向)×3列(10.92m×7.28m)で、柱脚近傍には足固めを設けている。加振方向の鉛直構面には、長さ0.91mの耐力壁を8枚、各通りの両端部に2枚ずつ設置し、直交方向に長さ0.91mの壁を12枚、各通りに4枚ずつ配置している。部材断面寸法は柱150mm×150mm、足固め120mm×180mm、桁150mm×300mmとする。材料は全てスギとし、ヤング係数7kN/mm<sup>2</sup>、曲げ基準強度22.2N/mm<sup>2</sup>としている。

柱脚移動の場合の摩擦係数は、静止摩擦係数、動摩擦係数ともに0.3、0.4、0.5の3ケースとし、それぞれ柱軸力変動を考慮した場合(この場合には、

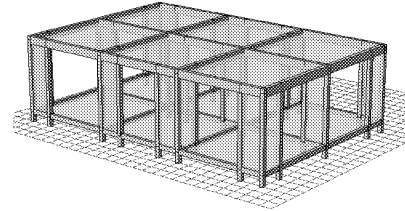


図1 解析モデル全体像

軸力が引張となった瞬間には摩擦力はゼロとする)と、考慮しない場合(軸力によらず摩擦力を一定とする場合)の解析を行う。また、柱脚浮き上がりタイプとして、滑りは許容しないが浮き上がりを許容するタイプも解析に加えた。

質量は2010年度試験体No.4を参考に1階上半分15184kg、1階下半分11209kgと仮定した。

解析モデルの荷重変形関係は2008年に行われた震動台実験<sup>1)</sup>A棟の荷重変形関係の履歴をトレースする形でバイリニア+スリップとし、耐力壁にこれを付与している。鉛直構面の耐力要素は耐力壁のみであり、部材端部の接合部はピン接合である。

震動台実験試験体A棟の荷重変形関係を図2に、モデルの荷重変形関係を図3に示す

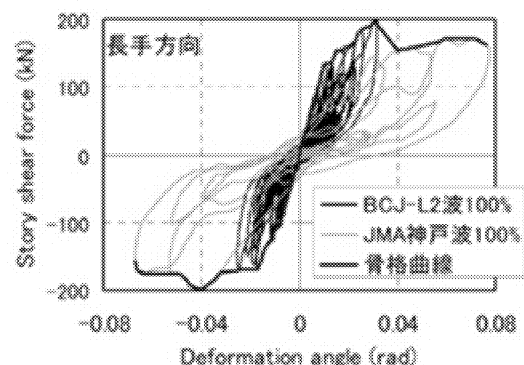


図2 震動台実験結果 (2008年A棟)

\*1: 工学院大学建築学部建築学科, \*2: 工学院大学建築学部建築デザイン学科,  
\*3: 工学院大学工学部建築学科学部生

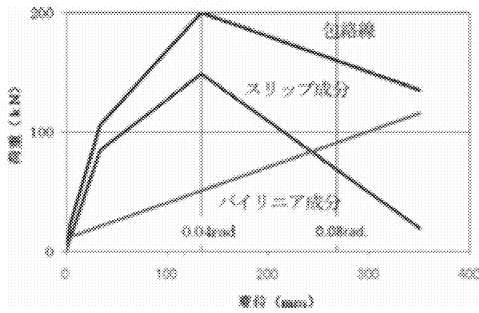


図3 A棟の荷重変形関係のモデル化

この骨格曲線に対して、令第46条の軸組の認定に用いられる方法で許容耐力  $P_a$ 、終局耐力  $P_u$  を算出すると、 $P_a = 101.4$  (kN)、 $P_u = 172$  (kN) となる。これに対し、今回の振動モデルでは、 $C_0 = 0.2$  の地震力において許容耐力ぎりぎりとなるような荷重変形関係を求め、その1.6倍の剛性耐力を有する状態を標準のモデルとして設定した。

水平構面については、標準の床は、スギ板 30mm×180mm、小梁間隔 910mm、スギ板に脳天から N90 くぎ 3本打ち、の床 1820mm に対するせん断試験結果<sup>2)</sup>に基づき、長さ 1m 当たりの荷重-せん断変形角関係を図3のようにバイリニア+スリップでモデル化した。屋根も同じ想定としている。

これに対し、水平構面の変化による地震時挙動への影響を見るため、剛性耐力を 0.5 倍した場合、2倍した場合の解析を追加している。

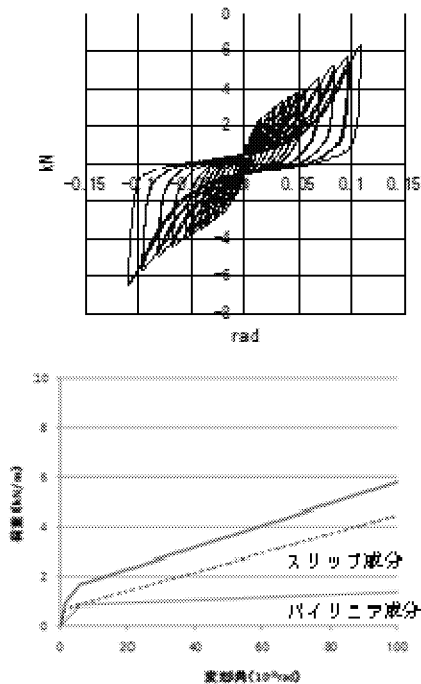


図3 水平構面の実験結果とそのモデル化

建物全体での目標とする剛性は 2,584 (kN/m)、質量 15184 (kg) であることから、2.07 (Hz) と算出される。構面の粘性減衰定数は、この建物全体の固有振動数を用い、瞬間剛性比例で 2% としている。

ケース 6~8 に関しては建物全体での耐力が増すため、剛性は鉛直構面の剛性の和で単純に増加するものとして、固有振動数を算出した。

入力地震動は、二種地盤の応答スペクトルに適合する人工地震波 7 波で、うち 5 波は位相はランダムで継続時間は 60 秒、1 波は位相を JMA-Kobe-NS、1 波は Hachinohe-NS としたもので、限界耐力計算の階数による低減として 0.8 を乗じて使用している。これを短辺方向一方向 (壁 8 枚設置した方向) に入力する。図 4 に時刻歴波形を示す。

解析においては、さらに鉛直構面の壁の比率を変えて表 2 に示す 8 個のケースを想定した。以上から、解析条件の組合せは、柱脚の条件 8、水平構面 3、鉛直構面の配置 8、地震波 7 で、 $8 \times 3 \times 8 \times 7 = 1,344$  パターンとなる。

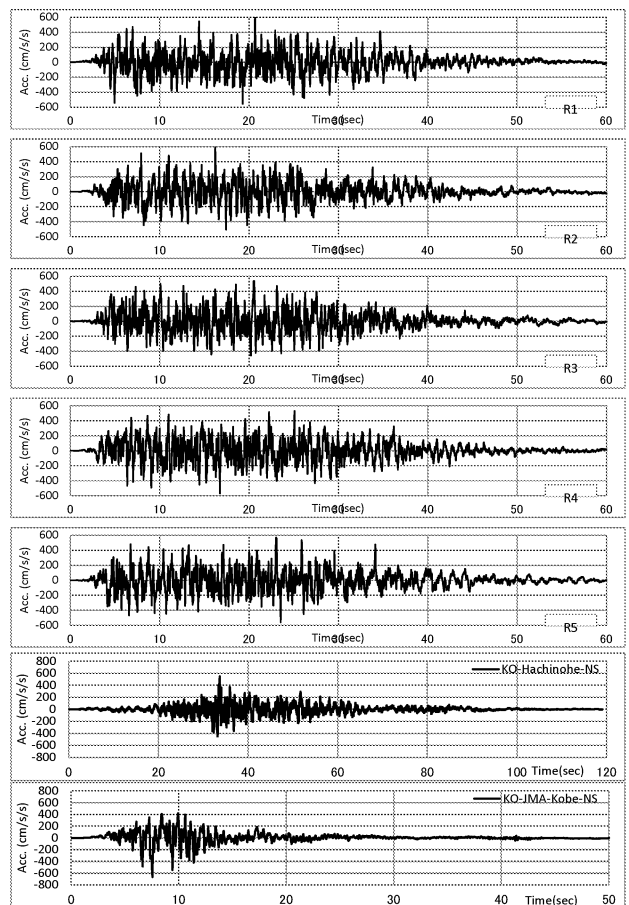


図4 入力地震動の時刻歴波形

表2 解析ケース一覧

|      | 1通り | 2通り | 3通り | 4通り | 備考        |
|------|-----|-----|-----|-----|-----------|
| ケース1 | 3   | 1   | 1   | 3   | 外壁が強い一般形  |
| ケース2 | 2   | 2   | 2   | 2   | どの通りも等しい  |
| ケース3 | 2.5 | 2.5 | 1.5 | 1.5 | 弱い偏心      |
| ケース4 | 3   | 3   | 1   | 1   | 強い偏心      |
| ケース5 | 2.5 | 2.5 | 0.5 | 2.5 | 弱い通りがある   |
| ケース6 | 3   | 2   | 2   | 2   | 各通りで充足(1) |
| ケース7 | 4   | 2   | 2   | 2   | 各通りで充足(2) |
| ケース8 | 6   | 2   | 2   | 2   | 各通りで充足(3) |

### 3. 解析結果の概要

表3に上部構造各通りの最大応答変位(地震波7波の平均)を、図5に地震波の一つに対する最大応答変形時の変形状態を示す。また、柱脚の滑り量については、各ケースの最大滑り量を、軸力変動の考慮ありと考慮なしの解析条件に分けて、図6に示す。

以下、解析条件ごとに結果の概要を示す。

#### (a) 柱脚固定の場合

ケース2、上部構造の最大応答変位は約230mm(地震波7波の平均)であった。ケース1、床標準での最大応答変位は2通り3通りで191mmで、ケース1と比較して、バランスが悪い方が変位は逆に小さくなっている。水平構面のエネルギー吸収によるものか。床が標準×2.0だとケース1とケース2はほぼ同じ変形量である。

#### (b) 柱脚滑り(軸力変動を考慮した場合)

摩擦係数 $\mu$ が小さくなるにつれて柱脚滑りが大きくなり、上部構造の最大応答変位は減少する傾向が看取される。ケース2での上部構造の最大応答変位は、柱脚固定で230mm、 $\mu=0.5$ で243mm、 $\mu=0.4$ で222mm、 $\mu=0.3$ で182mm(7波の平均)である。

ただし、地震波ごとに見るとばらつきも見られる。

ケース2の柱脚の滑り量は、 $\mu=0.5$ で26mm、 $\mu=0.4$ で30mm、 $\mu=0.3$ で79mm(7波の平均)である。地震波ごとの最大値では $\mu=0.3$ で124mmであった。

ねじれを有する場合の滑り量の最大値は、床が堅く(標準×2)、偏心が大きい(ケース7やケース8)で大きくなり、7波の平均で133mm、7波の内の最大で292mmであった。

#### (c) 柱脚滑り(軸力変動を考慮しない場合)

軸力変動を考慮せず、常に一定の摩擦力で滑るとしたモデルでは、軸力変動を考慮した場合に比べて上部構造の変形が小さくなる傾向であった。

ただし、これには、軸力変動を考慮するしないによる瞬間的な摩擦力の違いのほか、柱脚の浮き上が

表3 上部構造各通りの最大応答変位(7波の平均)

| ケース1 | 固定  | 滑り(軸力変動考慮あり) |           |           | 滑り(軸力変動考慮なし) |           |           | 浮き上がり |
|------|-----|--------------|-----------|-----------|--------------|-----------|-----------|-------|
|      |     | $\mu=0.3$    | $\mu=0.4$ | $\mu=0.5$ | $\mu=0.3$    | $\mu=0.4$ | $\mu=0.5$ |       |
| X1   | 127 | 146          | 164       | 178       | 45           | 60        | 78        | 197   |
| X2   | 191 | 200          | 202       | 218       | 102          | 133       | 155       | 232   |
| X3   | 191 | 200          | 202       | 218       | 112          | 141       | 163       | 218   |
| X4   | 127 | 144          | 163       | 177       | 65           | 86        | 99        | 161   |
| Y1   | 2   | 4            | 6         | 5         | 9            | 7         | 6         | 4     |
| Y2   | 1   | 2            | 1         | 1         | 6            | 3         | 2         | 1     |
| Y3   | 2   | 5            | 5         | 8         | 10           | 7         | 6         | 4     |

| ケース2 | 固定  | 滑り(軸力変動考慮あり) |           |           | 滑り(軸力変動考慮なし) |           |           | 浮き上がり |
|------|-----|--------------|-----------|-----------|--------------|-----------|-----------|-------|
|      |     | $\mu=0.3$    | $\mu=0.4$ | $\mu=0.5$ | $\mu=0.3$    | $\mu=0.4$ | $\mu=0.5$ |       |
| X1   | 228 | 177          | 219       | 241       | 85           | 115       | 153       | 246   |
| X2   | 230 | 182          | 222       | 243       | 95           | 123       | 163       | 248   |
| X3   | 230 | 182          | 222       | 244       | 106          | 134       | 180       | 248   |
| X4   | 228 | 177          | 218       | 241       | 106          | 131       | 182       | 246   |
| Y1   | 1   | 5            | 7         | 8         | 11           | 9         | 11        | 2     |
| Y2   | 0   | 2            | 1         | 1         | 7            | 5         | 5         | 1     |
| Y3   | 1   | 6            | 5         | 7         | 12           | 11        | 10        | 1     |

| ケース3 | 固定  | 滑り(軸力変動考慮あり) |           |           | 滑り(軸力変動考慮なし) |           |           | 浮き上がり |
|------|-----|--------------|-----------|-----------|--------------|-----------|-----------|-------|
|      |     | $\mu=0.3$    | $\mu=0.4$ | $\mu=0.5$ | $\mu=0.3$    | $\mu=0.4$ | $\mu=0.5$ |       |
| X1   | 109 | 124          | 130       | 147       | 42           | 59        | 74        | 128   |
| X2   | 130 | 143          | 155       | 165       | 53           | 71        | 87        | 149   |
| X3   | 226 | 176          | 209       | 225       | 121          | 160       | 196       | 211   |
| X4   | 261 | 203          | 250       | 267       | 142          | 185       | 222       | 257   |
| Y1   | 36  | 36           | 44        | 44        | 25           | 26        | 28        | 45    |
| Y2   | 1   | 12           | 17        | 17        | 8            | 4         | 3         | 6     |
| Y3   | 37  | 39           | 42        | 47        | 26           | 28        | 29        | 45    |

| ケース4 | 固定  | 滑り(軸力変動考慮あり) |           |           | 滑り(軸力変動考慮なし) |           |           | 浮き上がり |
|------|-----|--------------|-----------|-----------|--------------|-----------|-----------|-------|
|      |     | $\mu=0.3$    | $\mu=0.4$ | $\mu=0.5$ | $\mu=0.3$    | $\mu=0.4$ | $\mu=0.5$ |       |
| X1   | 72  | 87           | 104       | 102       | 33           | 42        | 51        | 96    |
| X2   | 85  | 107          | 127       | 127       | 43           | 52        | 60        | 124   |
| X3   | 197 | 202          | 225       | 231       | 164          | 183       | 186       | 228   |
| X4   | 250 | 240          | 269       | 289       | 192          | 213       | 221       | 292   |
| Y1   | 42  | 38           | 47        | 50        | 25           | 28        | 32        | 61    |
| Y2   | 2   | 13           | 15        | 16        | 4            | 3         | 2         | 8     |
| Y3   | 42  | 42           | 46        | 53        | 25           | 28        | 32        | 59    |

| ケース5 | 固定  | 滑り(軸力変動考慮あり) |           |           | 滑り(軸力変動考慮なし) |           |           | 浮き上がり |
|------|-----|--------------|-----------|-----------|--------------|-----------|-----------|-------|
|      |     | $\mu=0.3$    | $\mu=0.4$ | $\mu=0.5$ | $\mu=0.3$    | $\mu=0.4$ | $\mu=0.5$ |       |
| X1   | 124 | 132          | 156       | 172       | 44           | 67        | 83        | 149   |
| X2   | 144 | 146          | 163       | 181       | 56           | 78        | 96        | 173   |
| X3   | 232 | 192          | 215       | 230       | 123          | 148       | 183       | 229   |
| X4   | 232 | 186          | 222       | 245       | 105          | 126       | 159       | 244   |
| Y1   | 22  | 22           | 27        | 27        | 15           | 14        | 14        | 29    |
| Y2   | 1   | 8            | 10        | 10        | 7            | 4         | 3         | 5     |
| Y3   | 23  | 22           | 28        | 24        | 17           | 15        | 14        | 29    |

| ケース6 | 固定  | 滑り(軸力変動考慮あり) |           |           | 滑り(軸力変動考慮なし) |           |           | 浮き上がり |
|------|-----|--------------|-----------|-----------|--------------|-----------|-----------|-------|
|      |     | $\mu=0.3$    | $\mu=0.4$ | $\mu=0.5$ | $\mu=0.3$    | $\mu=0.4$ | $\mu=0.5$ |       |
| X1   | 94  | 112          | 155       | 154       | 36           | 49        | 63        | 166   |
| X2   | 156 | 127          | 156       | 170       | 60           | 85        | 108       | 190   |
| X3   | 192 | 142          | 182       | 201       | 93           | 126       | 148       | 230   |
| X4   | 216 | 153          | 202       | 224       | 108          | 145       | 169       | 264   |
| Y1   | 28  | 22           | 30        | 35        | 24           | 28        | 26        | 41    |
| Y2   | 1   | 9            | 12        | 16        | 8            | 5         | 3         | 6     |
| Y3   | 28  | 24           | 29        | 34        | 23           | 28        | 27        | 43    |

| ケース7 | 固定  | 滑り(軸力変動考慮あり) |           |           | 滑り(軸力変動考慮なし) |           |           | 浮き上がり |
|------|-----|--------------|-----------|-----------|--------------|-----------|-----------|-------|
|      |     | $\mu=0.3$    | $\mu=0.4$ | $\mu=0.5$ | $\mu=0.3$    | $\mu=0.4$ | $\mu=0.5$ |       |
| X1   | 60  | 99           | 124       | 155       | 27           | 33        | 36        | 102   |
| X2   | 133 | 109          | 141       | 141       | 52           | 72        | 93        | 143   |
| X3   | 172 | 128          | 157       | 169       | 88           | 122       | 141       | 200   |
| X4   | 199 | 146          | 181       | 196       | 106          | 144       | 166       | 254   |
| Y1   | 35  | 30           | 39        | 41        | 26           | 30        | 30        | 54    |
| Y2   | 1   | 12           | 16        | 16        | 9            | 5         | 2         | 7     |
| Y3   | 34  | 30           | 38        | 44        | 24           | 29        | 30        | 55    |

| ケース8 | 固定  | 滑り(軸力変動考慮あり) |           |           | 滑り(軸力変動考慮なし) |           |           | 浮き上がり |
|------|-----|--------------|-----------|-----------|--------------|-----------|-----------|-------|
|      |     | $\mu=0.3$    | $\mu=0.4$ | $\mu=0.5$ | $\mu=0.3$    | $\mu=0.4$ | $\mu=0.5$ |       |
| X1   | 36  | 80           | 90        | 110       | 16           | 21        | 24        | 87    |
| X2   | 108 | 102          | 121       | 132       | 46           | 63        | 84        | 136   |
| X3   | 154 | 124          | 145       | 168       | 85           | 118       | 136       | 189   |
| X4   | 187 | 145          | 171       | 203       | 104          | 141       | 162       | 240   |
| Y1   | 35  | 31           | 40        | 46        | 27           | 31        | 31        | 53    |
| Y2   | 1   | 11           | 15        | 17        | 9            | 5         | 2         | 6     |
| Y3   | 34  | 32           | 39        | 46        | 26           | 30        | 31        | 56    |

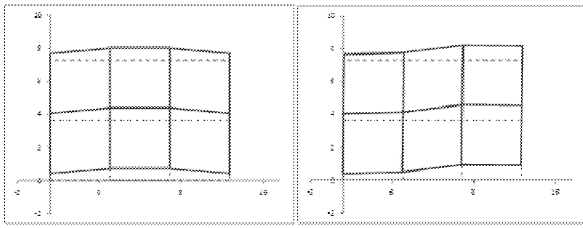
りを許容するかどうかの差も含まれている。

いずれにしても、質点系のモデルや疑似3次元モ

a) 床標準、柱脚固定、地震波 R5

ケース 1

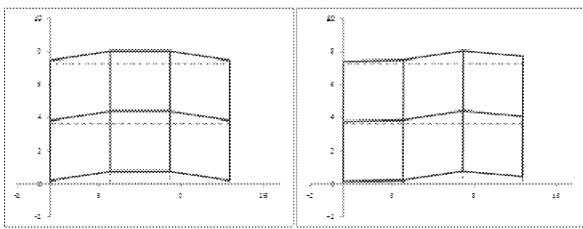
ケース 5



b) 床 0.5、柱脚固定、ケース 1、地震波 R5

ケース 1

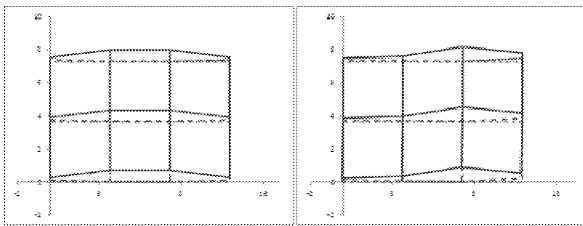
ケース 5



c) 床 0.5、軸力考慮  $\mu=0.3$ 、地震波 R5

ケース 1

ケース 5



d) 床標準、ケース 3、地震波 R5

柱脚固定

軸力考慮  $\mu=0.4$

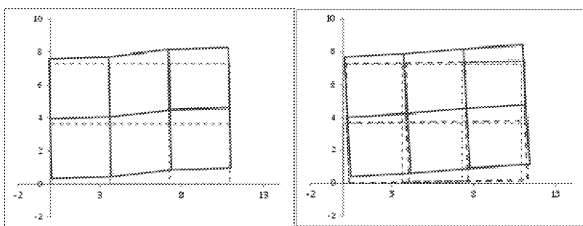


図 5 最大応答変形時の変形状態 (例)

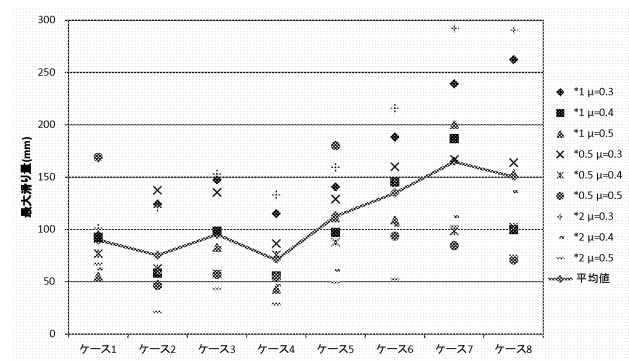
デルで、摩擦力を一定とした解析では、滑り量を過小評価する危険性がある。

(d) 水平構面の影響

柱脚固定の場合、標準床であればある程度変形が平均化される傾向があり、標準×2 では剛床仮定に近い変形を示す。標準×0.5 では水平構面のせん断変形やこれに伴う各通りの変形のばらつきが目立つ。この傾向は柱脚の滑りを生じる場合も同様である。

ケース 5 で、標準×0.5 の場合には、弱い構面の滑りが他と比べて小さい (1 階床によって一体化が

a) 軸力変動考慮ありの場合



b) 軸力変動考慮なしの場合

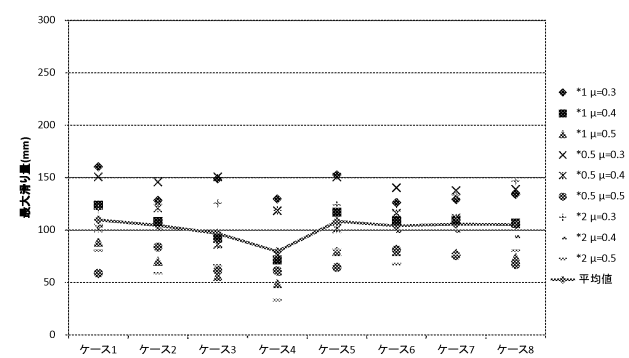


図 6 各ケースの柱脚の最大滑り量

図られていない) という結果が見られた。

(e) 柱脚浮き上がり許容

滑りを拘束し、浮き上がりだけを許容した場合、鉛直構面の最大応答変位は、柱脚固定よりも増大する傾向にある。

#### 4. おわりに

今回の解析により、水平構面の変形と柱脚滑りを含む伝統木造建物の地震時挙動、及び解析条件の影響がある程度明らかとなった。今後の検討課題としては、次のような解析の追加、解析条件の追加が考えられる。

- ・平屋モデルによる時刻歴応答解析で、柱列の間隔が 3.64m 以外の場合
- ・2 階建てモデルの時刻歴応答解析による検討
- ・全面壁、垂れ壁、腰壁、接合部回転剛性など、実態に近い詳細モデルによる時刻歴応答解析

#### 参考文献

- 1) 財団法人日本住宅・木材技術センター「伝統的木造組構法住宅の耐震性能検証実験報告書」2009年3月
- 2) 福山大学ハイテクリサーチセンターにおいて行われた実験結果 (国土交通省事業による委員会の内部資料)

## 秋田県横手市増田町の町家（旧石平金物店）の耐震上の課題と改善案

伝統的建造物群保存地区、土壁、覆屋、耐震補強

氏名1\* 落合 智 氏名2\*\*後藤 治

### 1. 概要

後藤研究室では、横手市増田町の中心市街地地区を伝統的建造物群保存地区に指定するための調査研究事業を同市から受託し、昨年度と本年度の2カ年で行っている。調査研究事業では、地区の伝統的建造物の耐震性能の現状とその改善案や地区防災の現状と課題をまとめ、今後に向けての提案を行う必要がある。この耐震や防災に関する部分については、都市減災研究センターの研究課題に合致するため、研究室では同センターの研究として進めている。

昨年度の報告書では同地区の町家と土蔵の特性について報告した。今回は市が取得し、観光拠点施設として活用する予定の旧石平金物店について、耐震上の課題とその改善案を報告する。

### 2. 旧石平金物店の概要

旧石平金物店は、増田町の中七日町通り東側に位置し、平成22年11月に市が取得した。旧所有者は、質業を営み、山を所有したという。以下に示す主屋・蔵等の各建物の特徴は、増田町の中心市街地に残る主要な各家に共通して備わっているもので、旧石平金物店は、地区内の最も典型的な事例のひとつといえる。後藤研究室では、平成22年11月21日、平成23年10月4日に、共同して調査にあたるマヌ都市建築研究所とともに実測調査（平面図、断面図、立面図、配置図等の作成）及び痕跡調査を実施した。

#### 1) 主屋

主屋は間口約4間半、奥行約20間、木造2階建、切妻造妻入、金属板葺である。通り正面側には下屋庇が取り付け、妻壁は化粧梁を現し、外壁は漆喰仕上げである。建築年代を示す物証は残されていないが、主屋は大正期～昭和初期と推定されている。

#### 2) 土蔵（内蔵）

土蔵はサヤ・ウワヤ等と呼ばれる建物（以下「覆屋」と呼ぶ）の内部にあり、覆屋の屋根の下にあたる蔵前を介して、主屋と接続している。これは当地区の土蔵の特徴であり、こうした土蔵は「内蔵」と呼ばれている。現在板張りとなっている1階東側は聞き取り調査及び圧痕から、当初は畳敷きであり、家の主人の寝間であったという。内蔵の建築年代は、短い束を用いた架構から明治後期と推定されている。

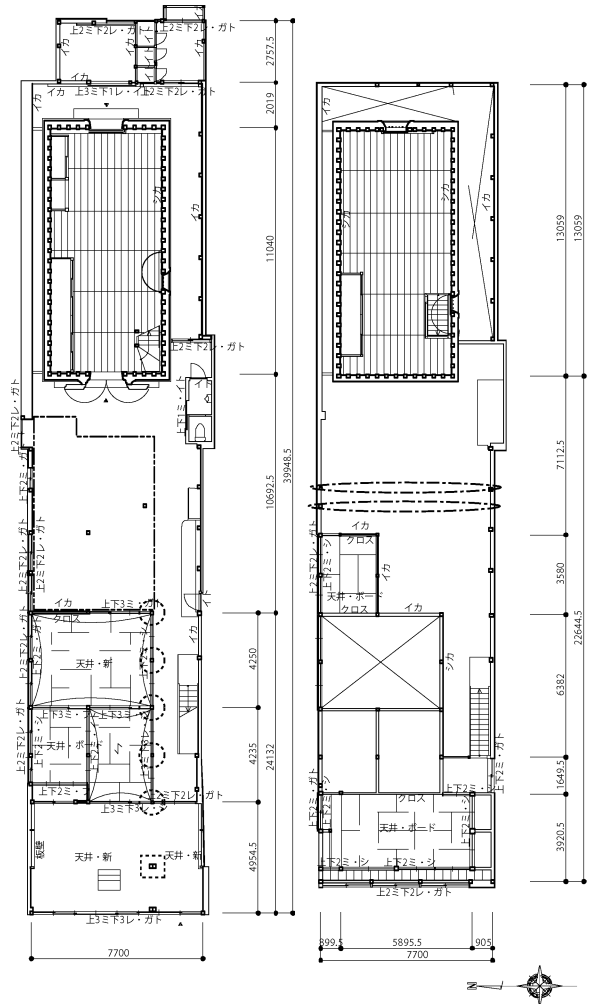


図1. 1階平面図 S=1/400 図2. 2階平面図 S=1/400

### 3. 復原・改修工事の概要

横手市は取得後、同建物を観光拠点施設として使用するに当たり、外観復原及び内部改修を行った。工事は（設計業務を含む）平成23年4月25日から10月31日に実施された。工事箇所は、通りに面した外観の復原、店舗部分の整備、添え柱の付加、蔵前部分の設備撤去、電気設備工事等である。当地区の内蔵を擁す建物の多くは、蔵前部分の増改築を行っており、同建物も当初は図1の二点鎖線で囲った範囲に台所や風呂等の設備があった。

同建物の柱は大きいもので170mm角程度、ほとんどは120～140mm角程度が用いられている。図1の四角く点線で囲った箇所には、構造補強として添え

\* : 工学院大学工学系研究科建築学専攻大学院生

\*\* : 工学院大学建築学部建築デザイン学科教授, 博士(工学)

柱が施されている。その他の柱に対しては板材を付与し、蔵前の柱は基礎石の上に立つ形になっている。また、工事完了後に部材の状況を確認した上で、改めて蔵前の梁に補強を行っている。

#### 4. 耐震上の課題

現時点では耐震診断は行われていない。調査で外観、内観などの目視等で確認できた範囲での簡易診断を行い、予想される耐震上の課題を以下に載せる。

前述した工事では、耐震補強としては不十分である。とくに、梁間方向は、桁行方向に比べて壁面が少なく、梁間方向の耐力が十分ではないと考えられる。また、主屋の店舗側の柱は添柱で補強されたが、座式側の柱は2階までの細い通し柱となっており、内法又は2階床レベルで折損の恐れがある。また、復原・改修工事の段階で土台の腐食が発生している箇所等の新たな問題点も明らかとなった。

さらに、蔵前部分の設備を取り払ったことで、図2に一点鎖線の楕円で囲った位置にある蔵前の梁が剥き出しになった。その上、南面に配された東西に通る土間があるため、梁を支える柱が独立して立ち（図8）、柱の足元に繋ぎなく不安定で、地震時にこの柱が外れて、梁が落下する恐れがある。覆屋も、梁が落下すると、それに引きずられて壊れる危険性がある。

#### 5. 改善案の検討

内蔵は独立しており、倒壊の恐れは少ないと考えられる。図3に示すように、仮に覆屋が倒壊した場合でも、主屋及び内蔵の壁面が支えとなり完全には倒壊しないので、覆屋の破壊による人的被害の危険性は低いと考えられる。しかし、蔵前部分の梁が落下すると、それによって人的な被害を及ぼす危険性は高い。そこで、上部で数本の梁組を金具等で一体化する、又は、落下危険性のある梁を上から吊る等の改善が必要と考えられる。梁の一体化とあわせて、梁組と覆屋の柱との仕口を補強すると、覆屋の補強にもなる。さらに覆屋の補強のためには、側面の外壁面で補強することが有効と考えられる。主屋の梁間方向への耐力については、図1の点線の円で囲っ

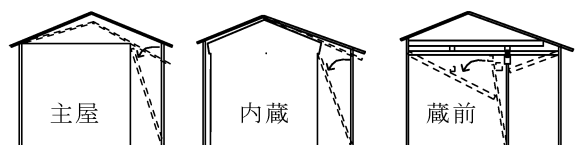


図3. 覆屋、梁が倒壊した場合のイメージ



図4. 主屋立面図 S=1/300 図5. 主屋断面図 S=1/400

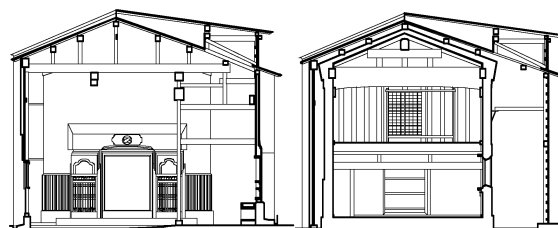


図6. 内蔵立面図 S=1/300 図7. 内蔵断面図 S=1/400

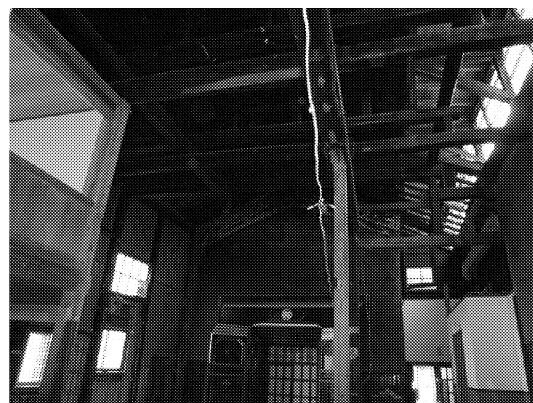


図8. 内観 内蔵蔵前部分

た柱の土間側に添え柱を施すことで、ある程度改善が可能と考える。

#### 6. 今後の展開

前項で記した改善案は、比較的安価で早期に実現が可能で、効果が高い応急的措置と考えられるものである。今後、地区内の他の建築物も耐震補強していく必要があるが、個別に耐震診断を行うことは、所有者等の負担となるので、実質上困難である。地区のモデルとなる形態を持つ当建物において、提案したような応急措置の案の有効性を検証すれば、他の類似する建物では、診断を省略し、方法を応用して耐震補強していくことが可能になる。

したがって、今後は、本建物の詳細な耐震診断を行い、本稿で提案した応急措置がどの程度有効なのかを計算値として検証し、同時に、簡易で有効な補強方法を他にも探ることが課題であろう。

## 大変形加力装置振動台の動的特性の計測と分析

振動台、増幅率、加速度、フーリエ振幅、ランダム波

山下哲郎\*

西川豊宏\*\*

坂本有奈利\*\*\*

久保智弘\*\*\*\*

### 1. はじめに

昨年度 11 号館新棟に導入された大変形加力装置振動台は、最大振幅±1250mm までの正弦波、解析や観測記録により得たランダム波などを入力して加振することが可能である。これにより、既存の装置を用いた加振実験では再現しえない高速、大振幅の波形の再現が可能である。

ここでは、

- ・ 振幅増幅装置の幾何学的関係より大変位時も含めた変位の増幅率を確認する。
- ・ 地震動などのランダム波形の再現性を周波数特性も併せて確認する。

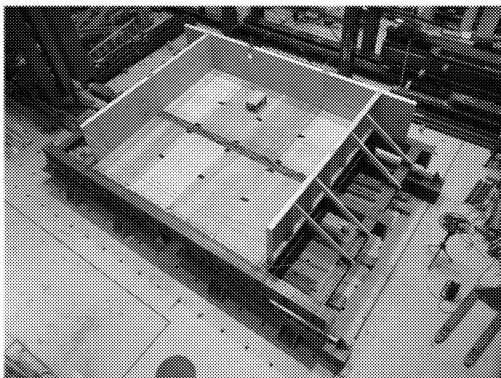


写真 1: 振動台架台

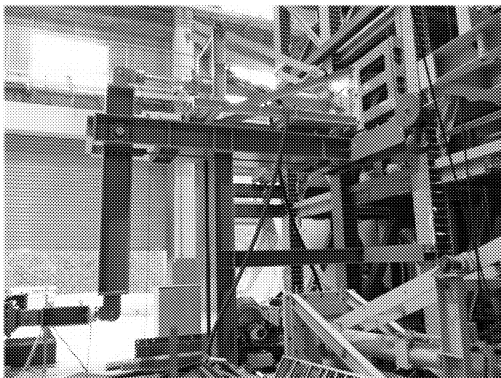


写真 2: 振幅増幅装置

### 2. 振幅増幅装置の増幅率について

#### 2. 1. 大変形時の増幅率

動力装置のアクチュエータの最大振幅は±500mm であるが、この原理を応用した変位増幅装置により振動台の変位振幅を約 2.5 倍に増幅する。ここでは、クランクの大変形時にも単純な線形関係が成立するかどうか計算で確認する。

最初にアクチュエータが伸びる場合を考える。図 1 のように垂直部材が  $\theta$  回転したとき、上側の材は  $u_1$  左に移動し、下側の材は  $U_1$  右に移動する。クランク部材の弾性変形は無視し、剛体と仮定する。

まず点 o、a、b の変化から  $u_1$  を表す。

点 a' の座標が  $(-L_1 \sin \theta, L_1 \cos \theta)$  であり、ab' の水平距離を  $x$  とすると

$$(x + L_1 \sin \theta)^2 + (L_1 - L_1 \cos \theta)^2 = H_1^2 \quad (1)$$

これを解くと、

$$x = \sqrt{H_1^2 - L_1^2 (1 - \cos \theta)^2} - L_1 \sin \theta \quad (2)$$

以上の結果から  $u_1 = H_1 - x$  より

$$u_1 = H_1 - \sqrt{H_1^2 - L_1^2 (1 - \cos \theta)^2} + L_1 \sin \theta \quad (3)$$

となり、 $u_1$  の変位式(3)が導かれる。

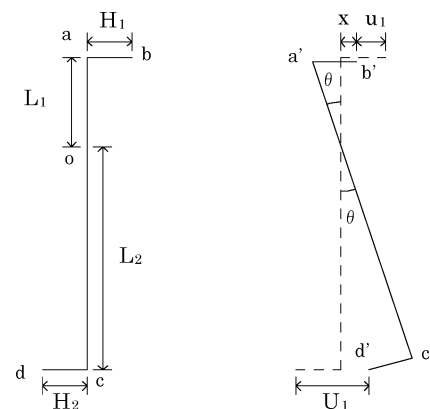


図 1: 振幅増幅装置簡略図 (伸び)

\* : 工学院大学建築学部建築学科准教授, \*\* : 工学院大学建築部まちづくり学科准教授  
 \*\*\* : 工学院大学工学部建築学科, \*\*\*\* : 工学院大学建築部まちづくり学科特任助教



次に点 o、c、d の変化から  $U_1$  を表す。

点 c' の座標を  $(L_2 \sin \theta, -L_2 \cos \theta)$  として、以下同様に

$$U_1 = H_2 - \sqrt{H_2^2 - L_2^2(1 - \cos \theta)^2} + L_2 \sin \theta \quad (4)$$

となり、 $U_1$  の変位式(6)が導かれる。

以上より  $u_1$ ,  $U_1$  は回転角  $\theta$  を媒介にして算出できる。

アクチュエータが縮む場合 (図2) も同様にして

$$u_2 = -H_1 + \sqrt{H_1^2 - L_1^2(1 - \cos \theta)^2} + L_1 \sin \theta \quad (5)$$

$$U_2 = -H_2 + \sqrt{H_2^2 - L_2^2(1 - \cos \theta)^2} + L_2 \sin \theta \quad (6)$$

となり、 $U_2$  の変位式(6)も回転角  $\theta$  を介して算出される。

図3に式(3)～(6)に表1に示す寸法を代入して得た  $u$ - $U$  関係のグラフを示す。ジャッキを限界まで伸縮しても非線形性はごく小さく、増幅倍率は2.5倍としてよいと考える。

## 2. 2. 計測値との比較

図4は上記の計算式による変位倍率と計測値から得た変位倍率の比較である。計測値は変位0付近で大きく倍率が変化しているが、倍率算定時の除算に関する誤差に起因しており、その他は誤差が少なく計算の妥当性が認められる。また大振幅時にも変位の倍率はほぼ2.5倍となる。

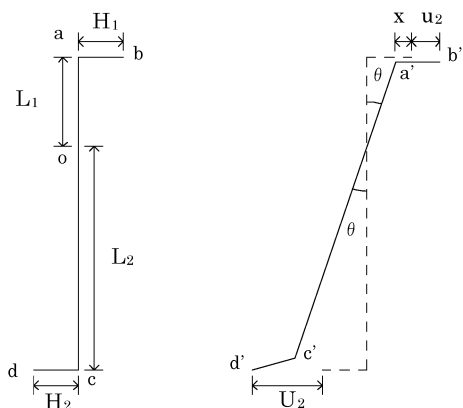


図2：振幅増幅装置簡略図 (縮み)

表1：部材長さ (mm)

|    |      |
|----|------|
| L1 | 1000 |
| L2 | 2500 |
| H1 | 270  |
| H2 | 1040 |

図5はクランク部材の上部と下部に設置されたロードセル荷重の倍率である。ほぼ2.5倍を保つ変位倍率に対して荷重倍率はおよそ3倍を示している。これは主としてクランクの自重による回転慣性の影響と考えられ、今後検証する。

## 3. 計測記録と分析

### 3. 1. 正弦波加振

図6は周期2.5秒・アクチュエータ最大振幅50mm (架台最大振幅125mm) の正弦波を変位制御で加振し、振動台に設置した加速度計、変位計で計測した各波形である。反転の際に加速度記録にパルスが見られ荷重が増加する原因となっている。

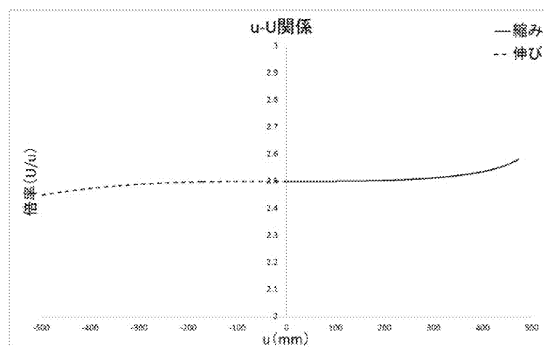


図3：u-U関係

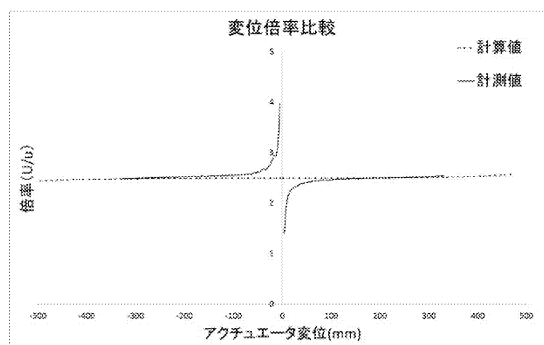


図4：正弦波加振時変位倍率の比較

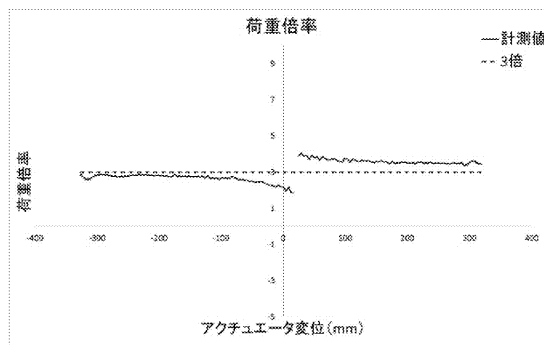


図5：正弦波加振時荷重倍率

変位計測記録は目標とほぼ一致している。

計測した波形をフーリエ解析し、目標波との比較を行った結果を図7に示す。加速度スペクトルでは2~5Hz付近にパルスの周波数成分が明確にわかる。変位スペクトルは誤差が少なく、目標波形を再現できている。

図8に様々な振幅、周期で定常波加振を行った際の加速度の誤差とアクチュエータの最大速度の関係を示す。加速度の目標値と速度は振幅と周期より計算した。グラフから定常波加振時の最大加速度の誤差はアクチュエータ最大速度と負の相関を示し、ほぼ線形の関係にあることがわかる。

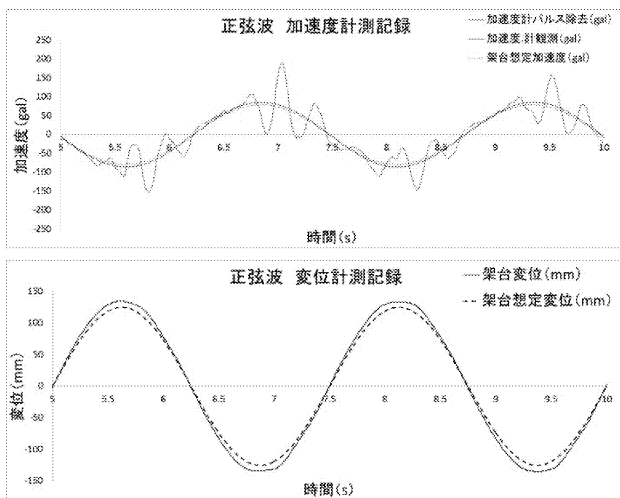


図6：正弦波計測記録

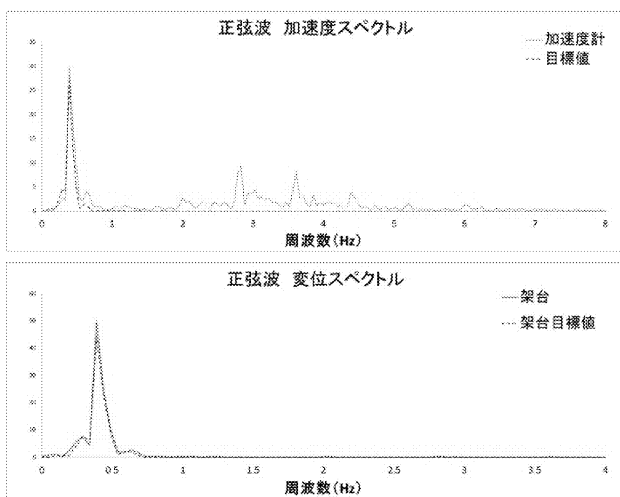


図7：正弦波計測記録のフーリエスペクトル

### 3. 2. ランダム波加振

#### a) 東海東南海連動地震応答波

ランダム波パターン a) として、SNAP の解析により得た東海・東南海連動地震時における工学院大学新宿校舎 29 階 NS 方向の応答変位波形で加振を行った。図9に計測記録と目標値の比較を示す。地震波の加速度記録にも定常波と同様にパルスが見られる。変位記録については目標とほぼ一致している。

フーリエ解析の結果、加速度スペクトルはおよそ1.2~2Hz間で目標値に達しない周波数成分が見られ、約2~5Hz間で目標値を上回る周波数成分が見られた。特に2Hz~5Hzの間は前述したパルスの影響で近似誤差が大きくなる傾向がある。

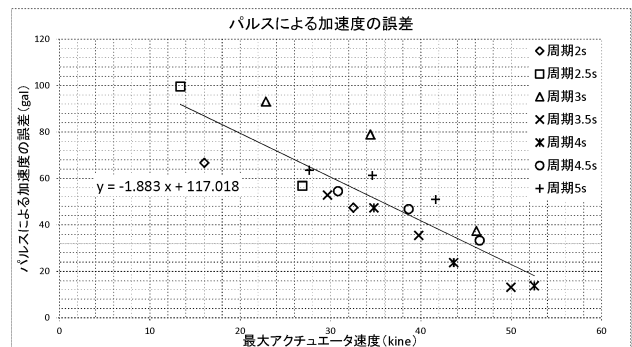


図8：正弦波加振時の加速度誤差

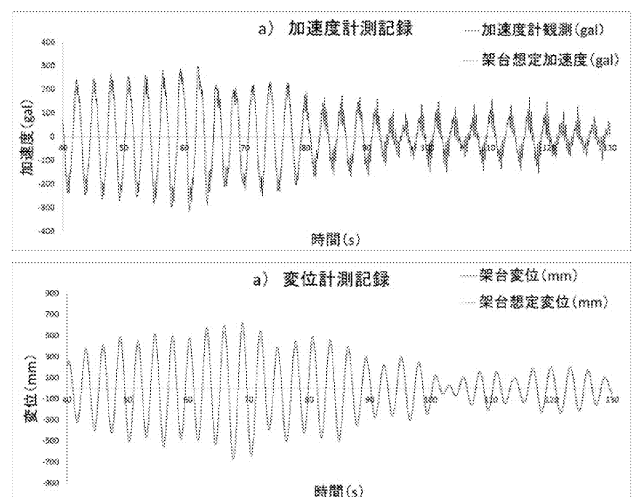


図9：ランダム波 a) の計測記録

\* : 工学院大学建築学部建築学科准教授, \*\* : 工学院大学建築部まちづくり学科准教授  
 \*\*\* : 工学院大学工学部建築学科, \*\*\*\* : 工学院大学建築部まちづくり学科特任助教

b) 首都直下地震応答波

ランダム波パターン b) として、首都直下地震時における応答変位波形で加振した。なお、解析結果の階、振動方向はパターン a) と同じである。図 11 はその計測記録と目標値の比較である。加速度記録のパルスは判別できないが、目標波形とのずれが若干大きい。変位記録についてはよく一致している。

フーリエスペクトルは加速度、変位ともパターン a) と同様の傾向が見られた。フーリエ解析の結果を図 12 に示す。

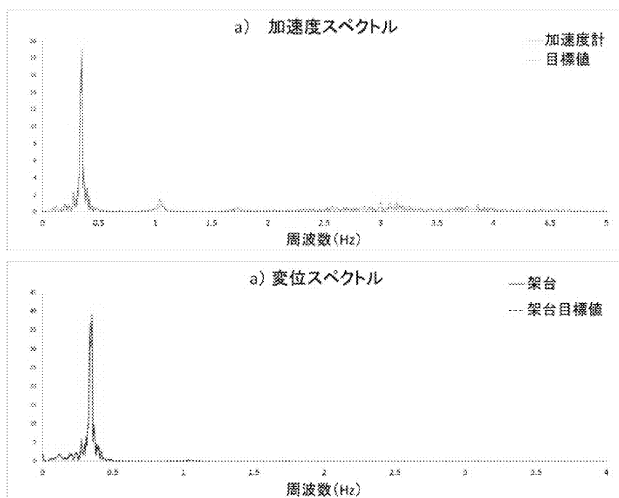


図 10：ランダム波 a) のフーリエスペクトル

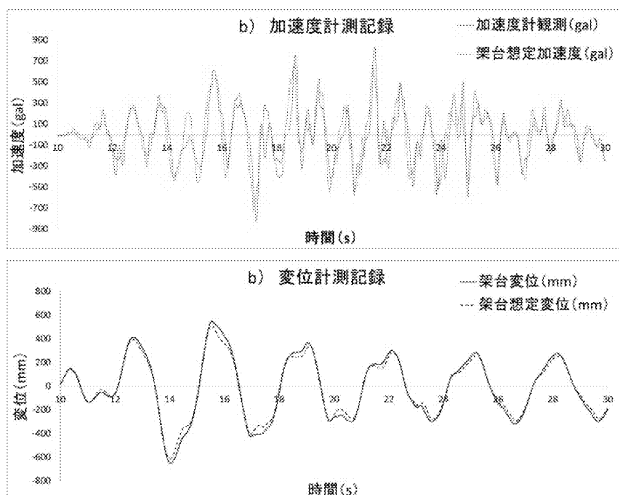


図 11：ランダム波 b) の計測記録

4. おわりに

振幅増幅装置による変位倍率は振幅に関係なくほぼ 2.5 倍であることがわかった。このことから振動台の加振時に入力するアクチュエータの変位は U 架台の目標変位の 1/2.5 として問題ないと考えられる。

振動台を加振する上でアクチュエータの制限を超過しないことが要求される。変位制御で加振を行うので、変位制限に関しては超過することはまず考えられない。複数の加振条件で計測を行い、計測値の傾向を調査した結果、パルスによる加速度の誤差にはアクチュエータの最大速度と負の相関があることがわかり、正弦波加振については誤差が予測できる。

加振結果の比較から、変位波形はほぼ想定波形を再現できていることがわかった。しかし、ランダム波の加速度スペクトルを見ると、想定値に達していないおよそ 1.2~2Hz 間や、想定値よりも大きな値を記録している約 2~5Hz 間があることがわかる。今回のランダム波の加振データだけでの分析は難しいので、新たな波形で加振し、引き続き分析を行う必要がある。

参考文献

- 1) 高須大輝、「大変形水平加力装置振動台の設計」、工学院大学建築学科山下哲郎研究室 2010 年度卒業論文
- 2) 坂本有奈利、「大変形加力装置振動台の動的特性の計測と分析」、工学院大学建築学科山下哲郎研究室 2011 年度卒業論文
- 3) 高浜尚弥、「大変形加力装置振動台の振幅増幅装置の増幅率」、工学院大学建築学科山下哲郎研究室 2011 年度卒業論文

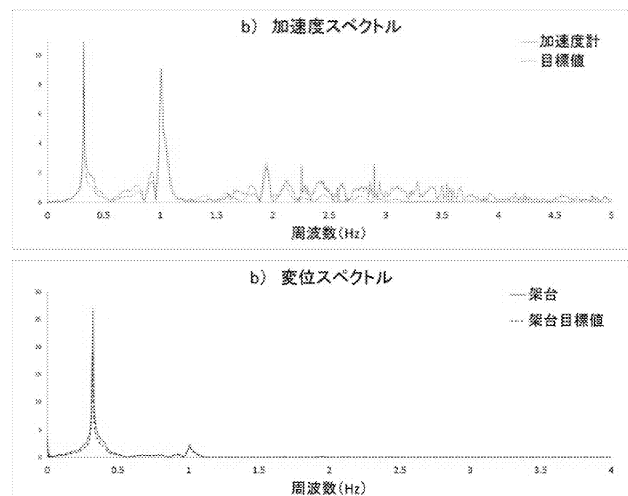


図 12：ランダム波 b) のフーリエスペクトル

## 地震によるスプリンクラ配管構造の強度

生野雅也\*1 小林光男\*2 後藤芳樹\*3 一之瀬和夫\*2 小久保邦雄\*3  
大橋一正\*4 西川豊宏\*5 山下哲郎\*6

**Key words:** Earthquake, Sprinkler Systems, Piping Structure, Structure Strength, Design Guideline

### 1 緒言

我が国では多くの地震が頻繁に起き、日本列島全体が地震の活動期に入っている事を実感させる程である。1つ1つの地震に特徴があり、地震動や被害の程度もそれぞれ異なり、大都市の直撃は比較的少ないが、二次災害として火災による被害が大きい事が想定される。

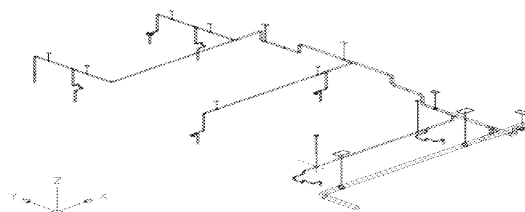
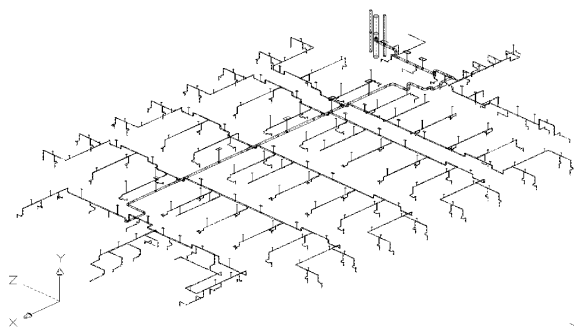
地震災害において、二次災害として火災による被害が多く報告され、災害防止上、様々な防火設備が設置されている。スプリンクラ設備は、自動で消火する消防設備として代表的なものであり、特に 1980 年代以前に建設された建物のスプリンクラ設備は、可とう性の低い配管材料を使用した事例が多く、地震時においてスプリンクラ設備の破損による消化機能の停止や、漏水に伴う水損の二次被害の危険性も指摘されている。そのため、可とう性の低いスプリンクラ配管が破損する荷重および破損における配管の変形量の調査を行う必要性も指摘されている。このような背景から、地震による第一次災害により配管設備の漏れや破損などにより、消化機能を失い設置意義が喪失し、破損部から流失する水のために電気系統など様々な障害を起こす事が考えられる。その為建築構造物のスプリンクラ設備など配管構造の強度的健全性が必要である。

本報告は、高層建築のオフィスビルをモデルにし、スプリンクラ設備構造が地震の大きさ、方向及び配管の支持条件の違いによる強度解析を行ったものである。

### 2. 部屋配管構造における解析

#### 2.1 解析モデル

解析対象モデルは実際の建築構造物である高層ビ



Case of 1811 room

Fig.1 Piping structure analysis of a room

ルを模擬した工学院大学新宿校舎 (28 階建) を取り上げる。このうち特に、オフィスビルに類似構造を持つ 18 階の部屋部 (Fig. 1) を実例として天井裏のスプリンクラ配管設備を解析モデルに取り上げる。部屋部のスプリンクラ設備の配管構造は、最も太い管 (呼び径 100mm) から枝分かれ、末端が呼び径 25mm で各部屋のスプリンクラヘッドまで到達する。スプリンクラ設備の施工図面には大まかな全体の構造のみが記載されているが、スプリンクラ設備の配管からスプリンクラヘッドまでをつないでいる配管の構造及び形状は掲載されていない。一般的に多くの場合は、枝管とスプリンクラヘッドの位置は決まっているが、そこに至る途中の配管は食い違い等のために、現場合わせの場合が多く、途中の配管構造は各

\*1 工学院大学大学院修士課程機械工学専攻 1 年

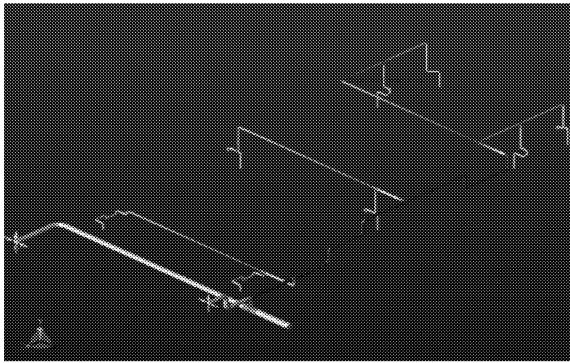
\*3 工学院大学工学部機械工学科教授

\*5 工学院大学工学部まちづくり学科准教授

\*2 工学院大学工学部機械システム工学科教授

\*4 工学院大学工学部建築学科元教授

\*6 工学院大学工学部建築学科准教授



|         |                     |                 |
|---------|---------------------|-----------------|
| Level 6 | > Value, lb./sq.in. | 30000           |
|         | Color               | ■ 255; 0; 0     |
| Level 5 | > Value, lb./sq.in. | 25000           |
|         | Color               | ■ 128; 0; 0     |
| Level 4 | > Value, lb./sq.in. | 20000           |
|         | Color               | ■ 255; 255; 0   |
| Level 3 | > Value, lb./sq.in. | 15000           |
|         | Color               | ■ 0; 128; 0     |
| Level 2 | > Value, lb./sq.in. | 10000           |
|         | Color               | ■ 192; 220; 192 |
| Level 1 | < Value, lb./sq.in. | 10000           |
|         | Color               | ■ 166; 202; 240 |

Fig.2 Piping structure analysis of a room

種形状及び寸法の構造を取るようである。また、全体構造の支持方法により解析の簡略化、容量の省力化に着目し、支持の考え、1研究室構造に特化した構造で解析を行う。ここで、支持の位置は目視することで位置を確認し、モデル化している。

## 2.2 解析結果

Fig.1 の1部屋配管構造モデルにおいて、はじめに支持をつけずに配管の重さのみの負荷荷重で解析を行い、応力負荷のかかる場所と大きさの解析を行い、その解析結果を Fig.2 に示す。部屋の天井裏にある配管構造の総重量は、2.56kN であり、配管構造には全体的に赤色を帯びた部分が枝管の出ている主管に生じ、支持による影響が大きい事が分かる。これより負荷を与えなくとも自重だけで壊れる程大きな負荷がかかる設計であることがわかり、このため支持は必要不可欠なものであることが伺える。また、目視により支持を取り付けた部屋配管構造の場合の解析結果は、Y 方向に最も強く、X 方向は縦に配列している構造の部分に負荷がかかる事が分かり、許容応力の 80%程度となりやや応力が大きくなる。また、Z 方向では負荷が許容応力を超えるため、最も Z 方向

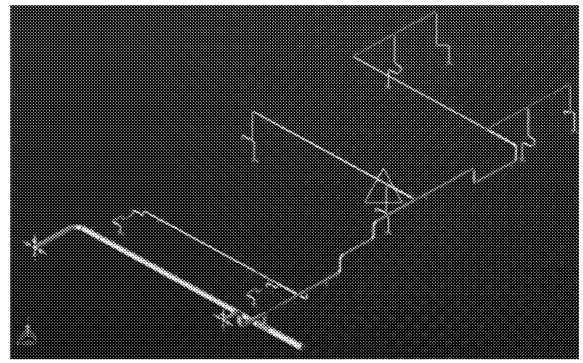


Fig.3 Piping structure analysis of a room

に弱い設計といえる。Fig.4 は、既存の部屋の配管構造に取り付けてある支持に対して取り付け位置を改善した場合の解析結果である。図は丸印の部分が Z 方向の揺れに対し危険部分となり、支持が必要な点である。また、三角印の部分が X 方向の揺れに不安になるため、支持する必要性を意味している。また、部屋配管構造において、3 方向のうち、最も Z 方向が最も強度的に低く、支持数については、既存の支持数 14 本に対して、4 本少ない 10 本に支持数を低減でき、支持の在り方を見直すことができる。更に設計上の問題ではないが、建築構造の設備においては、現場合合せの部分があり、施工図面と合わない部分もあり、特に目に付かない天井裏の配管などは施工上の問題点となる可能性が示唆される。

## 3. 結論

高層建築のスプリンクラ用配管構造に着目して、部屋に特化した部分構造について、地震負荷の揺れの変化させて与え構造の強度を検討している。

- (1) 支持の条件が重要であり、現在施設されている支持により Z 方向負荷に対する強度及び健全性を保守している。また、この種の支持数に対して、支持のあり方を改善する事を示唆した。
- (2) 建築構造において、軽視されがちである配管構造であるが、災害時の対応に関して重要な部分であり建築構造システムを設計する上で更に検討する事が必要と考える。
- (3) 建築及び土木分野で行われる現場合合せにより、計画図及び施工図と実際の配管が異なることがあり、解析上の注意点として挙げられる。

## 熱負荷を受けるねじ締結体の軸力挙動に及ぼすガスケットの影響

小林光男\*<sup>1</sup> 丸山美紀子\*<sup>2</sup> 吉本拓郎\*<sup>3</sup> 後藤芳樹\*<sup>4</sup> 一之瀬和夫\*<sup>1</sup> 小久保邦雄\*<sup>4</sup>

Key words : Machine element , Bolted joint , Thermal load , Tightening force , Gasket

### 1. はじめに

人の生活環境を維持するいわゆるライフライン等の建築系構造物及び化学プラントなどを構成する機械系構造物には、施工機能及びメンテナンス性の高さなどから配管構造が多く用いられている。それらの管と管の接合及び管端を塞ぐ設計にはねじ構造を持つフランジやねじ栓の使用が多い。これらの構造物が地震及び火災などに遭遇した場合、これらのねじ締結体は、外力としていわゆる力の他に温度荷重を受けることになる。

この小課題では、主にこれらの配管構造を対象にして、使用されるねじ締結体が熱負荷を受ける場合のボルト軸力の挙動を検討する。即ち、ボルトには構造物を組み立てたときに生じる締付け力に対して、地震等による加振力と火災による熱負荷から追加軸力が生じるためにこれら外力による設計が必要である。熱負荷による追加軸力は、その大きさにより破損やリラクゼーションなどを起こし、更には軸力の変動により必要な締付け力を維持できず、配管締結部での漏洩を引き起こす可能性などがあり、ねじ締結体の機能低下を起こすことが考えられる。追加軸力へ与える影響因子は、ボルト、座金及び被締結体の材料・形状・外力の方向などが考えられる。また、構造物のスタートアップ及びシャットダウン時及びこの繰り返しによる影響も考えられる<sup>1,2)</sup>。

本報告では、熱負荷を受けるフランジ継手をモデル化し、ねじ締結体のボルト軸力へ与える影響について (1)繰り返し熱負荷の影響、(2)初期締付け力の影響、をねじ締結体の締付け長さの違いについて実験を行い、ねじ締結体の高温設計の注意点を検討したものである。

### 2. ねじ締結体のモデル

ねじ締結体の代表的モデルとしてボルト・ナット系で図 1 に示すような厚板を締結する場合を考え、初期締付け力及びボルトの締付け長さを変化させ、繰り返し熱負荷を受けたときの軸力挙動を、さ

らに長時間熱負荷を受けたときの軸力挙動を調べ、設計指針の基礎データを得る。

### 3. 実験

Fig.1 はねじ締結体の実験モデルで、各寸法は  $a=20\text{mm}$ ,  $b=30\text{mm}$ ,  $c=40\text{mm}$ ,  $d=50\text{mm}$ ,  $e=1.5\text{mm}$  (3.0mm) 締め付け長さ  $L=50\text{mm}$  である。被締結体は呼び径 M10×1.5 の六角ボルトで、強度区分 8.8 材料は S45C の炭素鋼である。被締結体は 127.5 (HV) の材料は Al を、座金は 239.5 (HV) のものをそれぞれ使用する、またガスケットには日本バルカー工業株式会社製のブラックハイパーGF300 (ジョイントシート) を使用する。ガスケットの厚さは 1.5mm と 3.0mm の 2 種類である。また熱源は八光電気製作所製のホットプレート DEMO で、熱伝対は SGK3、高温ひずみゲージは共和電業の KFU 高温ゲージ (FU-2-120-C1-11) をそれぞれねじ締結体に用いている。

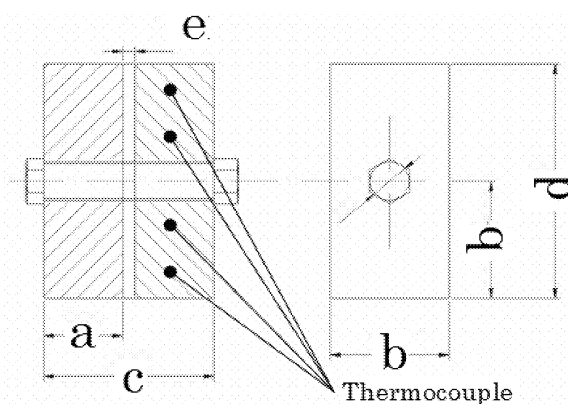


Fig.1 Experimental model of bolted joints

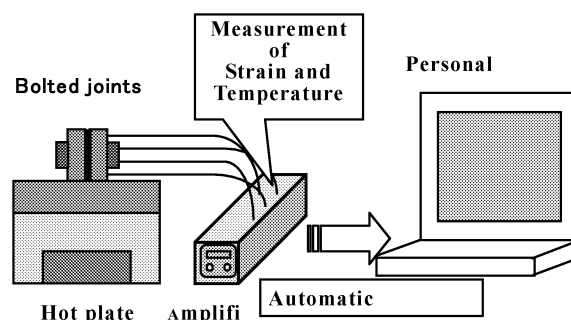


Fig.2 Measurement system of experiment

\*1 工学院大学工学部機械システム工学科教授

\*3 工学院大学大学院修士課程機械工学専攻 1 年

\*2 工学院大学工学部機械システム工学科卒業論性

\*4 工学院大学工学部機械工学科教授

Fig. 2 に本実験に用いた計測システムの概要を示すトルク法及びびずみゲージにより締め付け力を管理し、ボルト・ナットにより被締結体を組み立て、ホットプレート上に設置し、熱付加を与える。温度測定部は Fig. 1 に示すように4箇所である。

ねじ締結体が熱付加を受けると、被締結体よりもボルトの温度上昇が緩やかで遅いため、10 秒以上、ボルト温度に 0.1℃以上の温度上昇が認められなくなった時点で過熱を中止しボルト温度が過熱前の温度になるまで常温で放置し冷却する。過熱開始から冷却前までの温度変化及びびずみの値は、測定装置 (NEC 製, DC3100, リモートスキャナ Jr.) を通して1秒毎に PC に送信される。ここで、(1) 高温の熱負荷がねじ締結体に加わったときに初期締め付け力 20kN でガスケットの厚さを変える (無し, 1.5mm, 3.0mm) ことによりねじ締結体に与える影響を調べる。(2) ガスケット厚さ 1.5mm 時のねじ締結体に与える影響及び初期締め付け力の違い (10, 20, 30kN) による軸力挙動の変化を調べる。

#### 4 実験結果及び考察

ねじ締結体が熱負荷を受ける場合、温度に対するボルト軸力の挙動を各種条件 (初期締め付け力 20kN, ガスケット無し, ガスケット厚さ 1.5mm, ガスケット厚さ 3mm) により実験により検討する。図 3 に、ガスケット厚さ 1.5mm における各初期締め付け力の影響を、図 4 に、最大軸力減少の変化を示す。

##### 4.1 軸力挙動に及ぼすガスケットの影響

図 3 は初期締め付け力が 20kN の状態で、ガスケット無しの場合、ガスケット厚さ 1.5mm の場合、ガスケット厚さ 3.0mm の場合についてボルト軸力の変化を示したものである。図よりガスケットがない場合、熱負荷の上昇とともに軸力が増加するが、熱負荷の低下とともに軸力は減少し、室温に戻った場合に軸力が 47% (12.4kN) 減少し、初期に比べて 34% (7kN) 低下している。

ガスケットがある場合もない場合と同様な軸力挙動を示しているが、軸力の増加は小さく、軸力の低下は大きい。さらに、ガスケットの厚さが厚くなると、更にボルト軸力の低下が顕著になり、軸力変動 (軸力差) は大きくなる。

##### 4.2 軸力挙動に及ぼす初期締め付け力の影響

図 4 はガスケット厚さ 1.5mm の状態で、初期締め付け力を変化させて熱負荷時及び除荷時の実験結果である。図より初期締め付け力に関係なく、熱負荷時に

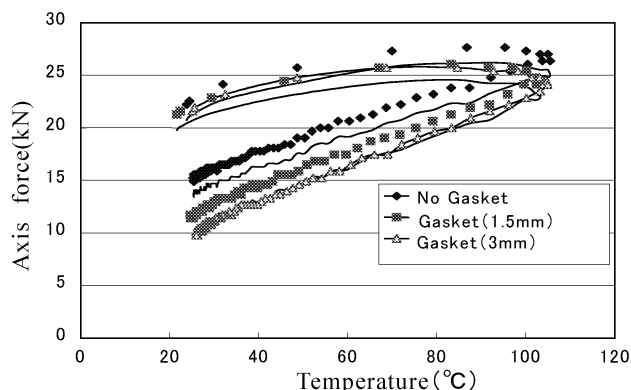


Fig. 3 Temperature-axis Force curve (Ff=20kN)

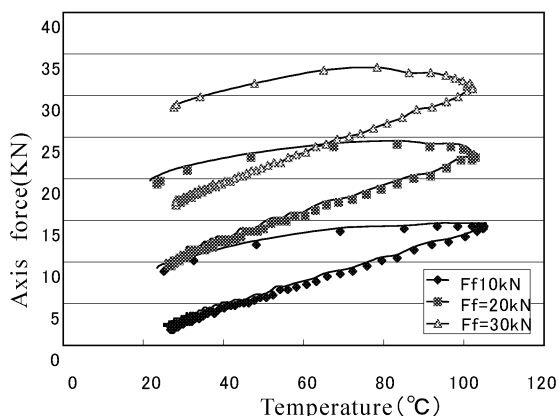


Fig.4 Temperature-axis Force curve (Gasket (3mm))

は軸力上昇 (追加軸力) が、除熱時にはボルト軸力の低下が生じている。除熱後のボルト軸力は初期締め付け時よりも低下している。従って、システムの起動及び停止を繰り返す場合には注意を要する。

これらの結果から、初期締め付け力と最大増加軸力との間には、明確ではないが、初期締め付け力が大きくなるにつれて減少軸力は大きくなる。また、初期締め付け力が大きくなるにつれて軸力減少挙動 (軸力差) は大きくなる傾向を示している。

#### 5. 結言

熱負荷と追加軸力、減少軸力の挙動について、初期締め付け力及びガスケットの影響を実験的に検討した。

- (1) 初期締め付け力の変化に対して追加軸力の大きさには変化がないが、除熱時の軸力低下は大きく影響を受け、軸力の初期締め付け力の減少が大きくなる。
- (2) ガスケット厚さが厚くなるほど除熱時の軸力の低下が大きく、軸力の変動は大きくなる。
- (3) ガスケットがある場合、ない場合と同様な軸力挙動を示すが、全般的に追加軸力は小さく、軸力低下は大きくなるので注意しておく必要がある。

参考文献：(1) 小林, 後藤, 一之瀬, 小久保：総合研究所都市減災研究センター (UDM) 研究報告 (2009) 他

## 構造用ボルトの疲労強度に及ぼす過大荷重の影響

後藤芳樹\*, 藤田佑介\*\*, 小林光男\*\*\*, 一之瀬和夫\*\*\*, 小久保邦雄\*,  
構造用ボルト, 疲労強度, 過大荷重, 過大荷重比

### 1. はじめに

近年の輸送機器の事故のなかには、ボルトの疲労破壊が原因とされるものが多く、ボルトの信頼性の向上は必要不可欠な課題となっている。また、震災時には、通常とは異なる過大な荷重が加わることになり、このオーバーロードがボルトの耐久性・寿命にどのような影響を及ぼすのかについては未だ不明な点が多い。

本研究では、構造用金属ボルトの疲労強度に及ぼす過大過重の影響について実験的に明らかにすることを目的とし、疲労試験の途中で破断寿命の 50% の繰返し数で 1 回だけ過大荷重が加わる場合について疲労試験を行った。前報では、繰返し荷重の 1.5 倍の過大荷重を加えたものについて報告したが、今回は、さらに 2.0 倍と 3.0 倍について実験を行ったので報告する。

### 2. 実験方法

#### 2.1 供試材料

本研究では、市販の S45C のボルト・ナットを使用する。詳細は表 1 に示す。ボルトの有効断面積  $A_s$  は  $36.6 \text{ mm}^2$  である。応力の算出にはこの有効断面積を用いた。

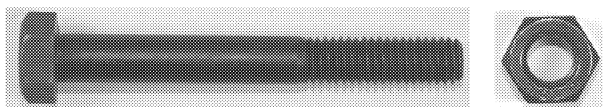


図 1 S45C ボルト・ナット

表 1 S45C ボルト寸法

| 名称   | S45C六角ボルト(半ネジ) |
|------|----------------|
| 大きさ  | M8×65×25mm     |
| ピッチ  | 1.25mm         |
| 強度区分 | 8.8            |
| 等級   | 1              |

#### 2.2 試験機

ボルトの引張試験には東京衡機製 500kN 万能材料試験機を用いた。疲労試験には容量 10ton の島津製作所製サーボパルサを使用した。繰返し周波数 10Hz、

荷重制御とした。試験環境は室温・大気中である。図 2 に示すホルダーを用いて、ボルトとナットを保持し、片振り引張荷重が加わるものとした。ボルトの締め付けは行っていない。疲労の繰返し数が  $10^7$  回に達したときに試験を打ち切りとした。

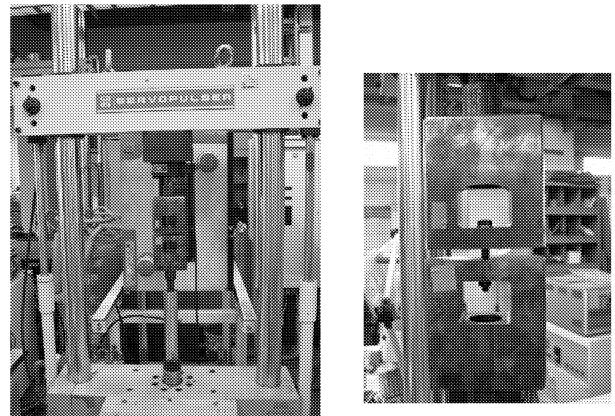


図 2 疲労試験機及とホルダーへのボルトの取付け

### 3. 実験結果及び考察

#### 3.1 引張試験

ISO で推奨されている遊びネジ部の長さを  $1.2d$  ( $d$ : ボルトの呼び径) としたときの S45C ボルトの平均引張強さは  $\sigma = 858 \text{ MPa}$  である。

#### 3.2 疲労試験

S45C ボルトを用いて疲労試験を実施し、図 3 に示す S-N 線図を作成した。この図から、 $10^7$  回における疲労限度は  $60 \text{ MPa}$  となった。この S-N 線図から、破断繰返し数  $6 \times 10^6$  回における応力振幅、 $74 \text{ MPa}$  をもとめ、過大荷重試験の繰返し応力とした。

過大荷重の大きさは繰返し最大荷重に対する比率、いわゆる過大荷重比は 1.5、2.0、3.0 倍とし、それぞれ、5 本ずつ試験を実施した。過大荷重負荷時期は、破断寿命の 50%、 $3.0 \times 10^5$  とし、1 回だけ過大荷重を負荷した。

### 4. 実験結果及び考察

図 4 は過大荷重疲労試験の結果をワイブル確率紙

\* : 工学院大学工学部機械工学科教授, \*\* : 工学院大学大学院修士課程機械工学専攻  
\*\*\* : 工学院大学工学部機械システム工学科教授、



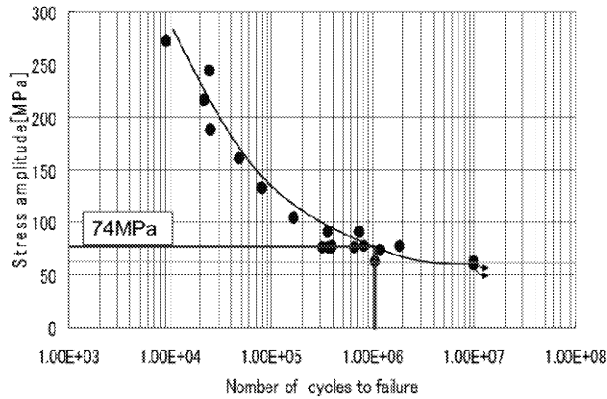


図3 S45CボルトのS-N線図

上にプロットしたしものである。図から、破断確率50%の繰返し数を求めた結果、過大荷重比1.5、2.0、3.0の疲労寿命は、過大荷重なしに比べ、それぞれ3.3、1.5、8.3倍となり、いずれも、過大荷重により疲労寿命は増加する結果となった。

疲労寿命の増加傾向は、過大荷重の大きさの順にはなっておらず、過大荷重比2.0倍が1.5倍より低くなった。これについて調べるために、ANSYSによる有限要素解析およびボルト断面のネジ底部の硬さの測定をおこなった。解析の結果、図5に示すように、ボルトとナットとのはめあい端で応力は最大となっていることがわかる。図6において、ボルト材料の応力-ひずみ曲線とこれらの応力を比較すると、過大荷重比1.5ではねじ底において部分的に降伏が起きている状態であり、2.0倍では降伏点を超え、全断面において降伏が起きている状態、3.0倍では降伏点を大きく超えている状態であることがわかる。また、図7のねじ底部の硬さの測定結果より、3.0倍では全断面の硬さが増加しており、加工硬化が進んでいることわかった。1.5倍の場合にはねじ底で部分的に塑性変形が起こったために圧縮残留応力の影響で疲労寿命が延びたものと考えられる。

結論および参考文献： 省略

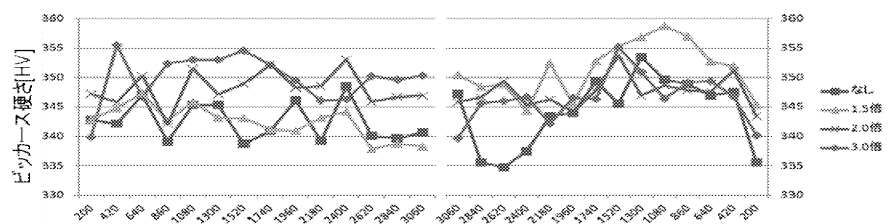
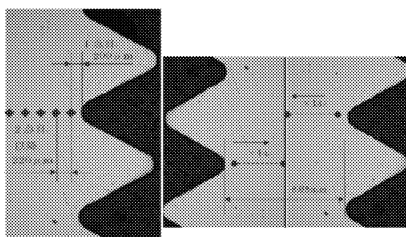


図7 ねじ底部の硬さの分布

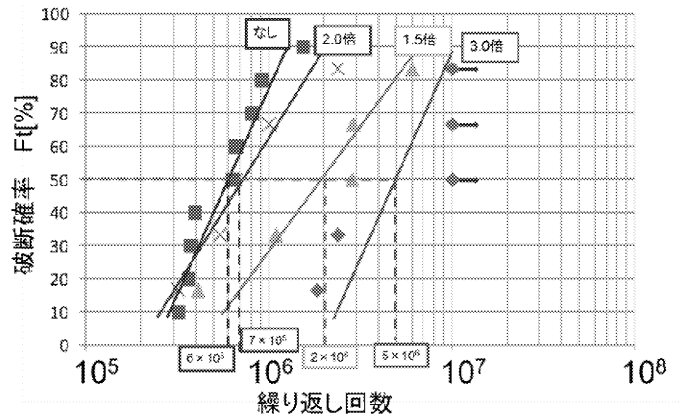


図4 過大荷重試験結果のワイブルプロット

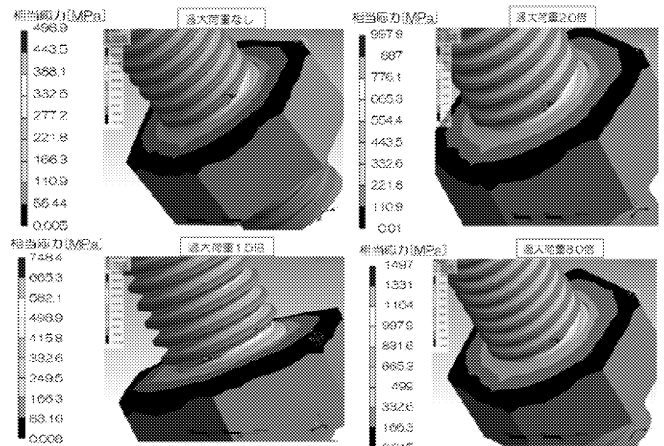


図5 ボルトとナットのはめあい端の応力解析

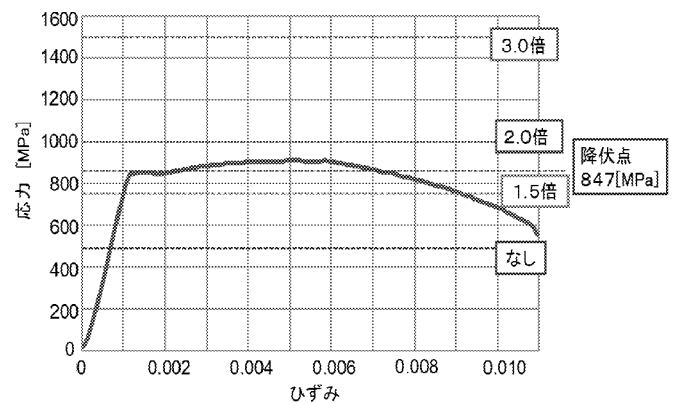


図6 応力-ひずみ曲線とねじ底部の応力

\* : 工学院大学工学部機械工学科教授, \*\* : 工学院大学大学院修士課程機械工学専攻  
 \*\*\* : 工学院大学工学部機械システム工学科教授、

## スロッシングとタンク強度の検討

小久保邦雄\* 小林光男\*\* 後藤芳樹\* 一之瀬和夫\*\* 長嶋利夫\*\*\*

### 1. 緒言

1995 年の阪神大震災では多くの貯水タンクが強度不足で破壊し、緊急時の水が確保できなかった。二次災害の火災の初期消火にも水不足が生じ、多くの火災が発生した。また、怪我人の治療にも水が足りない状況が生じた<sup>(1~2)</sup>。これらの原因は貯水タンク内の水にスロッシングと呼ばれる大きい揺動が生じたことである。

このスロッシングに関してはこれまでも種々の研究がすすめられているが、必ずしも十分なデータがあるわけではない。本研究では振動台を用いてスロッシング時のタンクの圧力測定、また、大振幅のスロッシング現象の数値解析および構造と流体の連成解析を検討し実験と解析の比較も行う。これらによりタンクの強度設計のためのデータを得ることを目的とする。

### 2. 振動台による圧力測定実験

図 1 に振動台実験で用いたタンクの寸法を示す。図 1 でタンクの寸法は幅 800mm、奥行き 300mm、高さ 1000mm である。両側板は塩化ビニル製で 2 または 3mm のものを用い内側に圧力センサ、外側にひずみゲージを貼り付け、測定は水面の揺動、側板のひずみと圧力を測定した。測定器の取り付け位置も併せて図 1 に示す。

タンク内の水位を 400~600mm にして振動台で加振試験を行う。スイープ試験により固有振動数を算出し、それを考慮して兵庫県南部沖地震東西波の実際の加速度の 10~17.5%を入力してスロッシングの水位、側板と天板の圧力を測定する。実験の再現性を確認するため地震波による加振は 3 回ずつ行う。

天井の圧力の測定点は図 1 に示すように水面から 50mm、タンクの左端から 100mm とする。実験した加速度の範囲では天井圧力は加速度に比例して大きくなり 17.5%の加速度で 19.5kPa 発生した。比例的に増加すると仮定をすると、実際の地震では圧力は 141kPa となり、大きな値となることがわかった。側面での圧力の測定は水を入れた静水圧の状態をゼロとしてスロッシングによる圧力変動を測定した。測定位置 200,300,400mm でそれぞれ測定値は 5.3,6,7.5kPa であり、スロッシングによる圧力変動は位置が水面近くなると圧力が大きくなっていることがわかった。

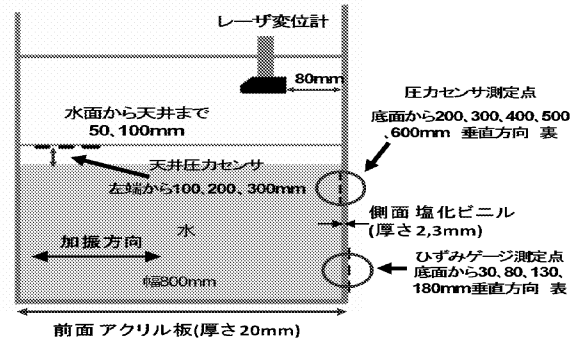


図 1 実験条件と測定位置

内部の水位によっても変化するが、天井での圧力と側面の圧力を比較すると天井での圧力の方が大きな圧力が発生している場合もあることがわかり、天井の板の強度の重要性について示すことができた。天井の板の破壊はタンク形状を保つ上でも影響が大きい。天井での圧力は 100%の加速度にすると 141 kPa にもなり、兵庫県南部沖地震東西波での地震により大きなスロッシングが起きていたことを示すことができた。

### 3 有限波高スロッシング解析と実験の比較

解析では ANSYS の線形構造・流体連成解析機能と有限要素法解析 ANSYS と流体解析 STAR-CD (非定常,自由表面解析) を用いて行う。計算に用いるモデルと同様な実験も行い、比較した。実験で用いたタンクの概要を図 2 に示す。試験タンクはは直方体で解析でも同様の条件を用いた。寸法は図 2 に示すように幅 860mm, 高さ 740mm 奥行き 140mm である。また加振器の振動方向は一方のみ振動する一次元振動台を用い、入力する加速度は兵庫県南部沖地震波である。タンク上部にはレーザ変位計を設置して、東端から 86mm(測定位置 1),172mm(測定位置 2)の位置で測定した。

### 4. 解析と実験結果

図 3.4 に解析結果と実験の比較の一例を示す。解析と実験の液面変位の時刻歴応答の比較を示したものである。ANSYS の解析方法では加速度 10%程度で微小の液面変位では図 2 の通り実験結果と解析結果はよく一致している。しかし、それ以上の大振幅スロッシングになると液面変位の計算と実験の比較は一致しなくなる。そこで流体ソルバ STAR-CD を用いて解析を行うと図 4 に示す通り加速度

\*:工学院大学工学部機械工学科教授,

\*\* 機械システム工学科教授,

\*\*\*:上智大学理工学部教授

17.5%時の大きな液面変位状態でも解析と実験結果がよく一致するようになり、適切な評価方法が得られた。

さらに、連成インターフェイス MpCCI を用いて連成解析を行った。連成システムでは、それぞれの専用ソルバを用いて構造、流体の解を転送し、連成解析を進めていく。用いるモデルタンクには東西方向に高さ  $h=100\text{mm}$  厚さ  $3\text{mm}$  の塩化ビニル製隔壁を設置し、入力加速度は地震波の  $10\sim 17.5\%$  とし、水位は  $300\text{mm}$  である。

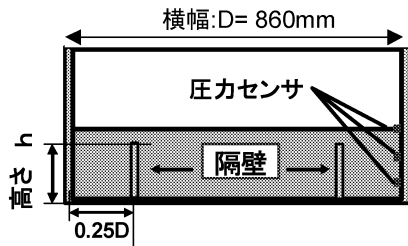


図2 タンク(隔壁あり)

— 実験    — STAR-CD    ▲ ANSYS

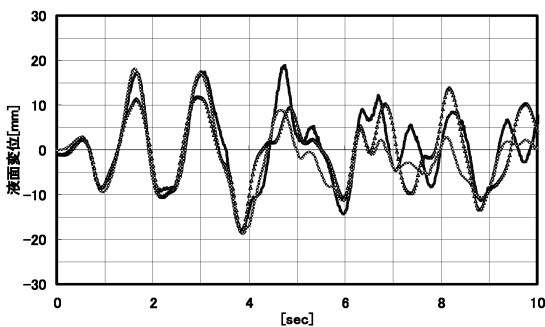


図3 液面の時刻歴応答(水位  $100\text{mm}$  加速度  $10\%$  測定位置 1)

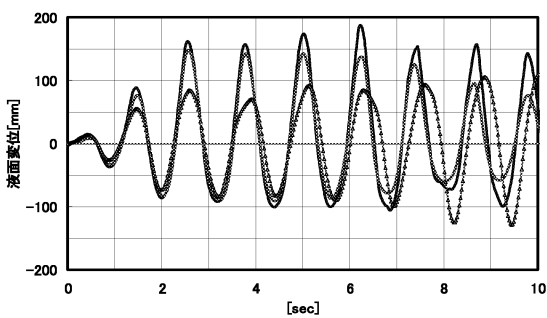


図4 液面の時刻歴応答(水位  $300\text{mm}$  加速度  $17.5\%$  測定位置 1)

図1に示す隔壁を設置したタンクを用いて実験も行い、タンク側板に、圧力センサを底面から  $10\text{cm}$  間隔で貼付した。スロッシングにより生じる側板の圧力変動の圧力センサの測定値と構造・流体連成解析による値と比較した。図5に隔壁なしの場合についてタンク側面に生じる最大圧力の実験と解析の比較を示す。振動台の能力

より実験は加速度が小さいところでのみ行うことができ、この範囲では実験と解析はよく一致している。解析を行い加速度の大きいところについても圧力を求めると比例的に変化しない部分が生じる。この部分では内部流体の動きはかなり複雑になり、タンク底面から離れる部分も生じ、側面に加わる圧力も大きくなり、タンク的设计では水位が低い場合でも注意が必要である。

隔壁がある場合の実験から隔壁による側板の圧力の低減は余り期待できないことがわかった。

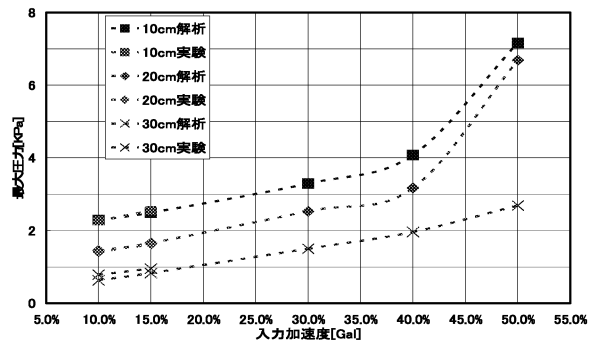


図5 側板の圧力の実験と解析の比較(隔壁なし)

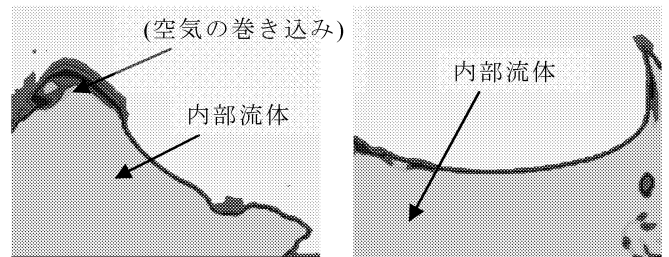


図6 内部流体の動き

(入力加速度  $50\%_{-2.77[\text{s}]}$ )

図7 内部流体の動き

(  $3.08[\text{s}]$  )

## 5. 結言

貯水タンクの側壁や天井に加わる圧力が測定できた。これらのデータはタンク的设计で考慮しなければならない実働荷重である。また、解析手法についても大きな液面変位を生じるスロッシングを評価することができるようになった。また、タンク側壁の、圧力の時刻歴応答が実験と解析でよく一致し、大振幅のスロッシングについても構造流体連成評価が可能になった。これらにより、タンクの強度評価に有用なデータを得ることができるようになった。

## <参考文献>

- (1) 畑山, 座間: 2003年十勝沖地震の際の長周期地震動, 独立行政法人消防研究所(2003)
- (2) 阪神淡路大震災における石油タンクの座屈強度に関する調査研究報告書, 消防研究所技術資料第31号 (1996)

## 補修・補強用締結構造の開発および強度評価方法

一之瀬和夫\*小久保邦雄\*\*小林光男\*後藤芳樹\*\*斉藤数馬\*\*\*若林博之\*\*\*

### 1. まえがき

既設構造物の緊急補強施工や補修工事において、部材の構造締結作業で狭隘な部材の内部へ作業者が侵入したり、締結工具を配置設置できないことは多い。このような箇所や作業の迅速さを要求されるときブラインドファスナが使われる。これによって作業者一人による単独施工の極めて作業効率は高くなる。そこで、橋梁や鋼構造の補強などでは締結助材として M12 以上のハックボルトが、プレファブハウスなどでは M10 までのフレキシブルブラインドファスナ (flexible blind fastener FBF と略記) が使われる。このとき、締結助材に使われるのがブラインドナットである (blind nut BN と略記)。また、ハイドロフォーム部材の構造締結にも BN として広く使われている (名称: ロブバルブ, ロブロックなど)。これらの背景から、これまで行ってきた締結助材についての FEA による BN モデル 16 の締結解析と実験の結果<sup>1)</sup>をもとにして、比較的軽作業下の片側施工の際に使用するフレキシブルブラインドナット (FBN と略記) の構造締結の強度評価方法を次のようにとりあげた。

- a) BN の変形と施工上の検討課題を明らかにする。また、
- b) 母材 A へ BN を締結した状態の強度を BN への軸力  $P_z$  とせん断力  $P_s$  が同時に作用する複合負荷 (combined loading) のもとで調べる方法 (複合負荷法) の開発。

### 2. 複合負荷による強度評価法

スポット溶接や構造締結の強度評価で行われている従来の方法は、締結助材の軸および軸と直交する平面内でせん断力を負荷するものであった。この方法を BN あるいは FBN 締結へ適用すると Fig.1 に示す方法となる<sup>1)</sup>。同図の方法 (従来法) を単純負荷法と名づけ、あらたに Fig.2 で提案している方法を複合負荷法と称することにする。Fig.2 の強度特性図を準備することにより、施工のあと締結要素が被っている外力から、付替え、あるいは補修 (補強) の要不要を判断することができる。

### 3. 複合負荷による実験結果と考察

#### 3.1 単点構造締結における加締力と BN の軸引張強度

Fig.3 には、NSD-6M の単点構造締結で加締めたときの加締力  $P$  と、その後の軸引張力を負荷することによる

BN 円筒部の伸び破断を示した。一对の母材は SPCC (A と B とともに  $t1.6\text{mm}$ ) で、ナッタへ設定する加締量  $\theta$  を  $1.8\text{mm}$  とした。軸引張による円筒部の変形は伸び破断であり、 $P_{max} \approx 7\text{kN}$  であった。母材 B の底面とネジ部との間で BN のねじ部を軸方向へ引くことによって、円筒部の強度が求められる。母材 A と B を引き剥がすとき、穴の広がり変形は B の板厚に大きく左右される。

#### 3.2 浅絞りカップ型ホルダによる単点構造締結の強度

絞りカップを設計し、素板 SPCC  $t1.6\text{mm}$  を浅絞りする

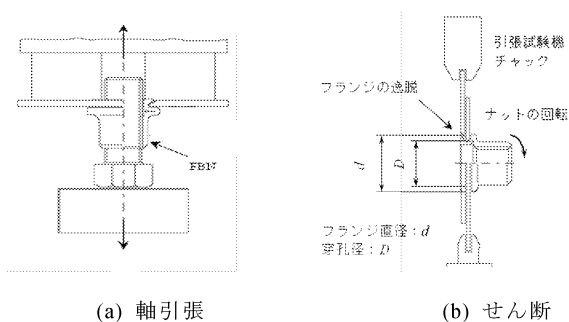


Fig.1 従来法による BN の破壊試験

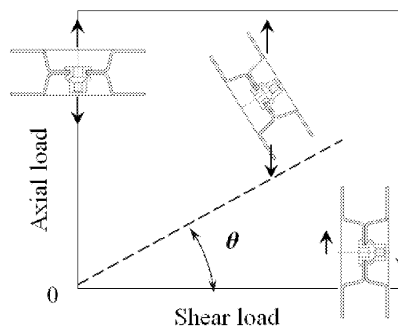


Fig.2 BN へ複合負荷方法

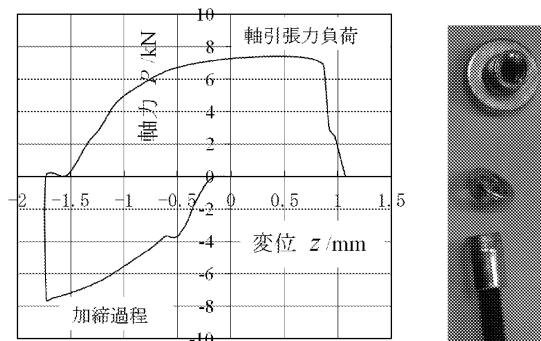
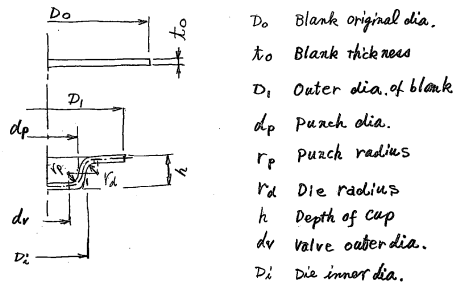


Fig.3 加締と軸引張力による破断

\*:工学院大学工学部機械工学科・機械システム工学科教授,\*\* 機械システム工学科卒業生,\*\*\* (株)フセラシ



(a) 浅絞り設計および塑性加工

Fig.4

浅絞りカップ  
 型ホルダ

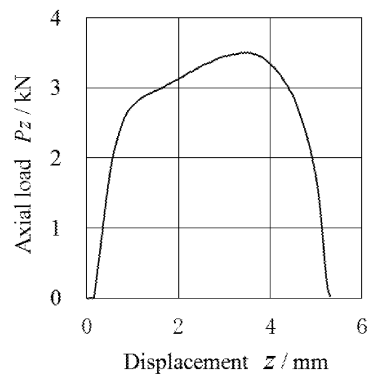


(b) 不整形形の一例

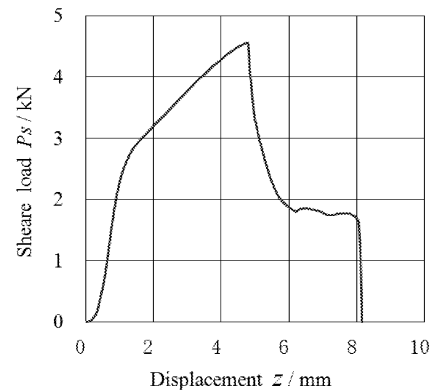
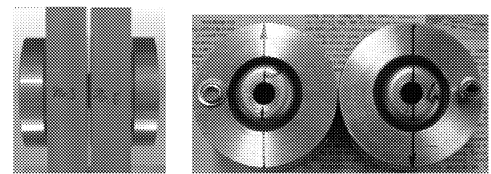
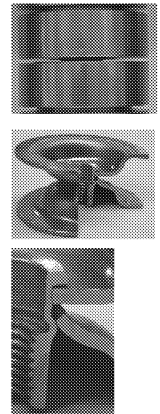
ことよって Fig.4 に示したホルダを準備した. 複合負荷 jig の詳細については省略し, Fig.5 には, これらの jig によって  $\theta=0^\circ$  および  $\theta=90^\circ$  で実施した  $P$  の推移と BN の破断形状を示した. 同図(a)で, 1 対のホルダ内へ納められた締結体は軸力  $P_z$  によって軸方向へ引剥がされる. このとき, 加締によって BN の円筒部に形成されたバルブの外径部によって母材 B の穴部は押広げを被る. 母材 B の穴部はバルブによって面外変形をうける. したがって, 軸引張力が優勢な外力環境での設計と施工では, Fig.2 の軸力優勢域で BN 単独の強度特性値よりも母材 B の面外変形を考慮することが重要である. 同図(b)におけるせん断力負荷の結果では,  $P_{max}$  以降に BN の円筒部伸び破断が起きている. 母材 B の穴拡がり量は小さく, 変位  $z$  は BN がせん断されることによるものである. Fig.5 の  $P$  推移を Fig.6 に示したそれらと比較すると, BN はカップ型ホルダから大きな変形拘束をうけている. すなわち, Fig.6 に示したように, 従来法でおこなうと長片母材の面外変形が BN 円筒部の伸び変形を促進することになるので注意が必要である. 両者の方法で得られたせん断力  $P_s$  の値はおおよそ同じ値である. 母材 A,あるいは B の板厚が小さくなると, BN の円筒がせん断されるよりも, 板側の穴部広がり先行する.  $P_s$  に対する  $P_z$  の比の値 ( $\eta = P_z/P_s$ ) を 0.26~3.7 で実施した方法とその結果を発表時に示す.

#### 4. まとめ

ブラインドファスナーのうち, ブラインドナットの締結力の向上を目指して, 部材 A 及び B の締結におけるバルブの複合負荷試験法を開発した. 締結体へ軸力およびせん断力を負荷することにより, 外力を受けるバルブの挙動を実験で調べた.



(a)  $\theta=90^\circ$ , couple nr.1 and nr.2



(b)  $\theta=0^\circ$ , couple nr.5 and nr.6

Fig.5  $P$  推移 (NSD-6M,PCC,:t1.6,:t1.6)

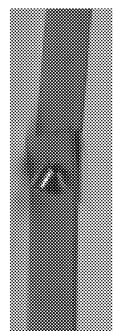
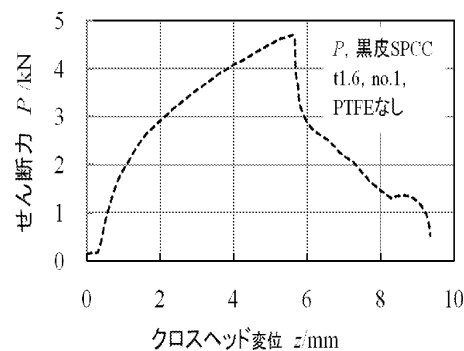


Fig.6 従来法(長片母材 A と B へ締結された NB の破壊荷重推移と破壊状態, NSD-6M, SPCC, A:t1.6, B:t1.6)

#### 参考文献

1) Peizeng L.,Kunio K.,Kazuo I.,Masaaki S.:Experimental and Numerical Analysis of the Fastening Bolt Using the Plastic Buckling Deformation of a Pipe,J.SMME,vol.4,no.12(2010),1765-1777.

## 高炉スラグ細骨材のコンクリートへの有効利用に関する研究

高炉スラグ細骨材, 混合率, ブリーディング, 凍結融解抵抗性

上本 洋\*<sup>1</sup>

阿部 道彦\*<sup>2</sup>

鹿毛 忠継\*<sup>3</sup>

浅野 研一\*<sup>4</sup>

### 1. はじめに

近年, 天然骨材の減少や採取規制, 副産物の利用促進に伴い, スラグ骨材や再生骨材などがコンクリートに使用されてきている。スラグ細骨材の一つである高炉スラグ細骨材は, 製鉄所において厳しく品質管理が行われ, 製造される人工の砂である。有害な不純物は含まれておらず, 品質も安定していて, コンクリート用骨材として, 天然砂の代用として期待されている。しかしながら, 高炉スラグ細骨材を使用したコンクリートは, 日本建築学会の指針では, 普通強度において使用が認められているが, 高強度域については, 使用が認められていない。また, 高炉スラグ細骨材を用いたコンクリートは, エントラップトエアが入りやすく, 同じ空気量では, 天然砂を用いたコンクリートより凍結融解抵抗性が小さくなると言われている<sup>1)</sup>。そのため本実験では, 凍結融解抵抗性の改善を目的とした研究の一環として, 天然砂と高炉スラグ細骨材のみ使用したコンクリートおよび天然砂と高炉スラグ細骨材を混合した細骨材を使用したコンクリートの特徴を把握するため, 凍結融解抵抗性およびその他の性状について, 比較検討を行った。

### 2. 実験概要

表-1 に実験の要因と水準を, 表-2 に試験項目を示す。高炉スラグ細骨材(BFS)は, 3 つの工場の製品を使用し, 比較用の天然砂として陸砂を使用した。目標空気量は, 4.5%を中心に, 3.5%, 5.5%の3水準とした。高炉スラグ細骨材の混合率は, 0%, 25%, 50%, 100%の4水準とし,

表-1 実験の要因と水準

| 要因                   | 水準                   |                    |
|----------------------|----------------------|--------------------|
|                      | 凍結融解                 | 中性化                |
| 細骨材                  | 大井川陸砂(N)             | 大井川陸砂(N)<br>BFS(H) |
|                      | BFS (H)              |                    |
|                      | BFS (R)              |                    |
|                      | BFS (B)              |                    |
| 空気量                  | 3.5%, 4.5%, 5.5%     | 4.5%               |
| 混合率<br>(高炉スラグ細骨材の割合) | 0%, 25%<br>50%, 100% | 0%, 50%,<br>100%   |
| 水セメント比               | 30%, 45%<br>55%, 65% | 45%, 55%,<br>65%   |

水セメント比は, 30%, 45%, 55%, 65%とした。また, 試験項目として, 凍結融解試験結果に影響を及ぼすと考えられているブリーディング試験と気泡間隔係数を設定している。

### 3. 実験方法

#### 3.1 使用材料

表-3 に使用した細骨材の物性値, 図-1 に粒度分布を示す。セメントは, 普通ポルトランドセメントおよび中庸熱ポルトランドセメントを, それぞれ 3 銘柄等量混合 (密度: 3.16g/cm<sup>3</sup>, 比表面積: 3320cm<sup>2</sup>/g ; 3.21g/cm<sup>3</sup>, 比表面積: 3210cm<sup>2</sup>/g) で使用し, 粗骨材は, 岩瀬産硬質砂岩砕石 2013 と 1305 の等量混合 (絶乾密度: 2.63g/cm<sup>3</sup>, 表乾密度: 2.65g/cm<sup>3</sup>, 吸水率: 0.71%, 単位容積質量: 1.599kg/L, 実積率: 60.8%) を使用した。混和剤は, 普通コンクリートに AE 減水剤 (リグニンスルホン酸化合物とポリオール の複合体), 高強度コンクリートに高性能 AE 減水剤 (ポリカルボン酸エーテル系化合物) を使用し, 空気量の調整に消泡剤 (ポリアルキレングリコール誘導体) および AE 助剤 (変性ロジン酸化合物系陰イオン界面活性剤) を使用した。

#### 3.2 調合およびフレッシュ性状

表-4 にコンクリートの調合とフレッシュ性状を示す。単位水量は, 目標空気量と目標スランプとなるように設定した。普通強度コンクリートは, 混和剤の使用量を一定として空気量, スランプの調整を行うこととした。高強度コンクリートについても高性能 AE 減水剤の使用量を一定として, 単位水量によりスランプフローを調整することとし

表-2 試験項目

| 試験項目      | 試験材齢     | 備考         |
|-----------|----------|------------|
| ブリーディング試験 | —        | JIS A 1123 |
| 圧縮強度試験    | 材齢 4 週   | JIS A 1108 |
| 静弾性係数試験   | 材齢 4 週   | JIS A 1149 |
| 促進中性化試験   | 25W まで   | JIS A 1153 |
| 凍結融解試験    | 300 サイクル | JIS A 1148 |
| 気泡間隔係数    | —        | ASTM C 457 |

\*1 工学院大学 工学研究科建築学専攻

\*2 工学院大学建築学部建築学科 教授・工博

\*3 独立行政法人 建築研究所 学術博士

\*4 株式会社 八洋コンサルタント技術部

た。単位粗骨材かさ容積は、陸砂(N), 高炉スラグ細骨材(H), (R)および(B)に対して、粗粒率を考慮し、普通強度コンクリートでは  $0.580\text{m}^3/\text{m}^3 \sim 0.600\text{m}^3/\text{m}^3$  とし、高強度コン

クリートでは、 $0.505\text{m}^3/\text{m}^3 \sim 0.520\text{m}^3/\text{m}^3$  とした。AE 減水剤の使用量は、普通強度コンクリートでは、セメント量×

表-3 細骨材の物性値

| 種類 | 表乾密度<br>( $\text{g}/\text{cm}^3$ ) | 絶乾密度<br>( $\text{g}/\text{cm}^3$ ) | 吸水率<br>(%) | 微粒分量<br>(%) | 単位容積質量<br>( $\text{kg}/\text{m}^3$ ) | 実積率<br>(%) | 粒形判定実積率<br>(%) | 粗粒率  |
|----|------------------------------------|------------------------------------|------------|-------------|--------------------------------------|------------|----------------|------|
| N  | 2.60                               | 2.55                               | 2.09       | -           | 1.73                                 | 67.8       | -              | 2.85 |
| H  | 2.64                               | 2.59                               | 1.88       | 2.20        | 1.51                                 | 58.3       | -              | 2.66 |
| R  | 2.62                               | 2.57                               | 1.81       | 1.60        | 1.45                                 | 56.4       | 51.8           | 2.28 |
| B  | 2.80                               | 2.79                               | 0.26       | 4.6         | 1.53                                 | 54.8       | -              | 2.58 |

○ (N)      □ (H)      ▲ (R)  
 ◆ (B)      - - - 標準(最小)      - · - · 標準(最大)

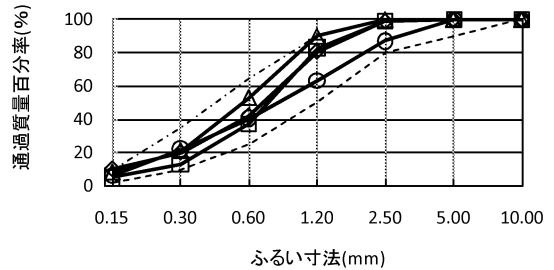


図-1 細骨材の粒度

表-4 調合とフレッシュ性状

| 通し番号 | 種類          | W/C (%) | s/a (%) | 単体量<br>(骨材は表乾)<br>( $\text{kg}/\text{m}^3$ ) |     |     |     |                              | 混和剤*<br>(C×%) | AE 助剤<br>(C×%) | 消泡剤<br>(C×%) | フレッシュ性状    |     | ブリーディング | 圧縮強度 | 凍結融解 | 気泡組織 | 促進中性化 | 圧縮強度<br>( $\text{N}/\text{mm}^2$ ) | ヤング係数<br>( $\text{kN}/\text{mm}^2$ ) |
|------|-------------|---------|---------|--|-----|-----|-----|------------------------------|---------------|----------------|--------------|------------|-----|---------|------|------|------|-------|------------------------------------|--------------------------------------|
|      |             |         |         | S  |     |     | G   | スランプ,<br>スランプ<br>フロー<br>(cm) |               |                |              | 空気量<br>(%) |     |         |      |      |      |       |                                    |                                      |
|      |             |         |         | W  | C   | 陸砂  |     |                              |               |                |              |            |     |         |      |      |      |       |                                    |                                      |
| 19   | N100-55-4.5 | 55      | 48.0    | 176  | 320 | 845 | 0   | 934                          | 0.25          | 0.0023         | —            | 19.0       | 3.7 | ○       | ○    | ○    | ○    | 41.5  | 29.4                               |                                      |
| 1    | N100-55-4.5 | 55      | 48.0    | 176  | 320 | 845 | 0   | 934                          | 0.25          | 0.0020         | —            | 19.5       | 3.9 | ○       | ○    | ○    | ○    | 41.0  | 29.7                               |                                      |
| 18   | H25-55-4.5  | 55      | 47.0    | 180  | 327 | 632 | 192 | 943                          | 0.25          | 0.0015         | —            | 19.0       | 4.4 | ○       | ○    | ○    | ○    | 39.6  | 30.0                               |                                      |
| 14   | H50-55-4.5  | 55      | 46.1    | 184  | 335 | 398 | 404 | 951                          | 0.25          | 0.0010         | —            | 19.5       | 4.1 | ○       | ○    | ○    | ○    | 39.1  | 31.3                               |                                      |
| 3    | H50-55-4.5  | 55      | 46.1    | 184  | 335 | 398 | 404 | 951                          | 0.25          | 0.0010         | —            | 19.0       | 4.5 | ○       | ○    | ○    | ○    | 39.7  | 30.8                               |                                      |
| 13   | H100-55-4.5 | 55      | 44.8    | 194  | 353 | 0   | 767 | 951                          | 0.25          | 0.0010         | —            | 19.0       | 4.5 | ○       | ○    | ○    | ○    | 37.1  | 31.6                               |                                      |
| 2    | H100-55-4.5 | 55      | 43.6    | 196  | 356 | 0   | 743 | 967                          | 0.25          | —              | —            | 19.0       | 4.7 | ○       | ○    | ○    | ○    | 35.5  | 31.9                               |                                      |
| 10   | B50-55-4.5  | 55      | 45.5    | 188  | 342 | 390 | 420 | 951                          | 0.25          | 0.0005         | —            | 18.5       | 4.8 | ○       | ○    | ○    | ○    | 37.8  | 26.8                               |                                      |
| 11   | R50-55-4.5  | 55      | 45.1    | 184  | 335 | 390 | 393 | 967                          | 0.25          | 0.0015         | —            | 18.5       | 4.6 | ○       | ○    | ○    | ○    | 38.4  | 29.1                               |                                      |
| 6    | N100-45-4.5 | 45      | 46.2    | 176  | 391 | 787 | 0   | 934                          | 0.25          | 0.0020         | —            | 18.5       | 4.1 | ○       | ○    | ○    | ○    | 54.0  | 31.4                               |                                      |
| 17   | H50-45-4.5  | 45      | 44.1    | 184  | 409 | 368 | 373 | 951                          | 0.25          | —              | —            | 19.0       | 4.0 | ○       | ○    | ○    | ○    | 50.9  | 32.5                               |                                      |
| 9    | H50-45-4.5  | 45      | 44.1    | 184  | 409 | 368 | 373 | 951                          | 0.25          | 0.0010         | —            | 19.5       | 4.0 | ○       | ○    | ○    | ○    | 51.0  | 33.1                               |                                      |
| 7    | H100-45-4.5 | 45      | 42.5    | 188  | 418 | 0   | 713 | 967                          | 0.25          | 0.0005         | —            | 19.5       | 5.3 | ○       | ○    | ○    | ○    | 50.5  | 34.7                               |                                      |
| 4    | N100-65-4.5 | 65      | 50.0    | 176  | 271 | 901 | 0   | 918                          | 0.25          | 0.0025         | —            | 18.0       | 4.1 | ○       | ○    | ○    | ○    | 30.8  | 27.8                               |                                      |
| 12   | H50-65-4.5  | 65      | 48.0    | 186  | 286 | 424 | 430 | 934                          | 0.25          | 0.0010         | —            | 19.0       | 4.6 | ○       | ○    | ○    | ○    | 29.1  | 28.3                               |                                      |
| 8    | H50-65-4.5  | 65      | 48.0    | 186  | 286 | 424 | 430 | 934                          | 0.25          | 0.0010         | —            | 19.0       | 4.3 | ○       | ○    | ○    | ○    | 30.2  | 29.0                               |                                      |
| 5    | H100-65-4.5 | 65      | 45.9    | 196  | 302 | 0   | 804 | 951                          | 0.25          | —              | —            | 14.5       | 5.3 | ○       | ○    | ○    | ○    | 26.2  | 27.9                               |                                      |
| 16   | H50-55-5.5  | 55      | 46.3    | 176  | 320 | 402 | 408 | 951                          | 0.25          | 0.0025         | —            | 18.0       | 6.0 | ○       | ○    | ○    | ○    | 33.1  | 29.0                               |                                      |
| 15   | H50-55-3.5  | 55      | 46.9    | 184  | 335 | 411 | 417 | 951                          | 0.25          | —              | —            | 19.0       | 3.1 | ○       | ○    | ○    | ○    | 40.3  | 32.1                               |                                      |
| 20   | N100-30-4.5 | 30      | 47.3    | 184  | 613 | 710 | 0   | 806                          | 1.00          | 0.0010         | —            | 64.0       | 5.1 | ○       | ○    | ○    | ○    | 81.6  | 31.5                               |                                      |
| 23   | H25-30-4.5  | 30      | 47.4    | 181  | 603 | 543 | 177 | 814                          | 1.00          | 0.0013         | 0.0005       | 60.0       | 4.4 | ○       | ○    | ○    | ○    | 83.6  | 34.5                               |                                      |
| 22   | H50-30-4.5  | 30      | 46.8    | 181  | 603 | 355 | 360 | 822                          | 1.00          | 0.0016         | 0.0010       | 63.0       | 4.3 | ○       | ○    | ○    | ○    | 79.2  | 34.2                               |                                      |
| 21   | H100-30-4.5 | 30      | 46.0    | 180  | 600 | 0   | 710 | 838                          | 1.00          | 0.0023         | 0.0020       | 60.0       | 5.1 | ○       | ○    | ○    | ○    | 67.6  | 35.3                               |                                      |
| 24   | B50-30-4.5  | 30      | 46.6    | 182  | 607 | 352 | 379 | 822                          | 1.00          | 0.0015         | 0.0010       | 57.0       | 4.3 | ○       | ○    | ○    | ○    | 84.6  | 34.2                               |                                      |
| 25   | R50-30-4.5  | 30      | 45.6    | 182  | 607 | 344 | 347 | 838                          | 1.00          | 0.0015         | 0.0010       | 59.5       | 4.8 | ○       | ○    | ○    | ○    | 78.8  | 33.7                               |                                      |
| 26   | H50-30-5.5  | 30      | 45.5    | 183  | 610 | 337 | 342 | 822                          | 1.00          | 0.0030         | 0.0010       | 66.0       | 5.4 | ○       | ○    | ○    | ○    | 74.0  | 33.7                               |                                      |
| 27   | H50-30-3.5  | 30      | 48.1    | 179  | 597 | 373 | 379 | 822                          | 1.00          | —              | 0.0010       | 57.5       | 3.1 | ○       | ○    | ○    | ○    | 85.4  | 35.9                               |                                      |

\* 普通強度のコンクリートでは AE 減水剤, 高強度コンクリートでは高性能 AE 減水剤を使用した。

0.25%と一定にし、高強度コンクリートでは、セメント量×1%で、消泡剤および AE 助剤により空気量を目標値±1%となるように調整した。

### 3.3 試験方法

ブリーディング、圧縮強度、静弾性係数、促進中性化および凍結融解の各試験については、それぞれ当該 JIS に規定された方法で行った。また、角柱供試体で、4 週水中養生したものを中心部で約 20mm の幅でカットし、両面を平滑になるまで研磨した後、リニアトラバース法 (ASTM C457) に準じ、供試体の切断面 100mm×100mm を全長 2000mm~2100mm でトラバースして気泡組織の測定を行った。

## 4. 実験結果とその考察

### 4.1 ブリーディング試験結果

図-2 にブリーディングの試験結果を示す。なお、以下の記号は、細骨材の種類、混合率、水セメント比、空気量を示す。高炉スラグ細骨材のブリーディング量は、陸砂(N)に比べて高い値を示した。初期におけるブリーディング量は、天然砂と高炉スラグ細骨材を混合することでかなり抑制することができ、最終的なブリーディング量も高炉スラグ細骨材のみ使用したコンクリートより小さい値となった。高炉スラグ細骨材のブリーディング量が多くなる原因は、高炉スラグ細骨材がガラス質であることに加えて、単位水量が多かったことに起因していると考えられる。天然砂と混合することにより、単位水量が減少し、ブリーディング量を抑制できたと考えられる。また、空気量が多くなるとブリーディングが小さくなり、高炉スラグ細骨材(H)を混合したものより、B、R を混合したものの方がブリーディング量が少なくなる結果となった。

### 4.2 圧縮強度および静弾性係数

図-3 にコンクリートの圧縮強度と静弾性係数の関係を示す。図-3 によると、普通強度コンクリートはいずれの空気量においても日本建築学会の RC 構造計算規準式の推

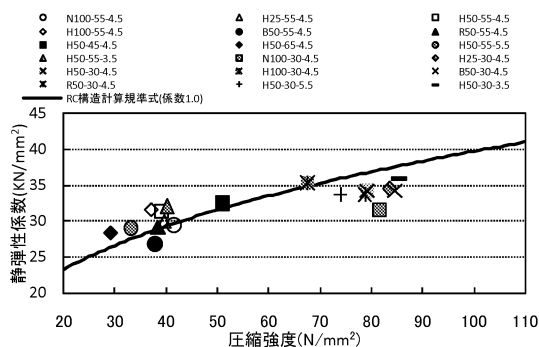


図-3 圧縮強度および静弾性係数試験結果

定値( $k_1=1.0$ )をほぼ超える値となった。高強度コンクリートは、高炉スラグ細骨材を用いたコンクリートの方が陸砂(N)より高い静弾性係数を示す傾向が見られた。これは、高炉スラグ細骨材がガラス質で、応力レベルが小さい時は変形しにくく、ある応力レベルから破壊が進行しやすくなっているためと推測される。

### 4.3 促進中性化試験結果

図-4 に促進期間と中性化深さの関係を示す。図-4 によると、陸砂(N)を使用したコンクリートの中性化深さは大きい値を示し、高炉スラグ細骨材の混合率が大きくなるにつれて、中性化深さは、小さい値を示した。また、図-5 を見ると単位水量ごとの中性化速度係数は、陸砂(N)が最も高い値を示し、高炉スラグ細骨材(H)の混合率 50%、100%の順に小さくなった。この理由は明瞭ではないが、高炉スラグ細骨材は、潜在水硬性があるため、陸砂の場合と比べて骨材界面が緻密になったためと推測される<sup>2)</sup>。高炉スラグ細骨材を使用したコンクリートは、中性化を抑制する効果が期待できる。

### 4.4 凍結融解試験結果

図-6 に普通強度コンクリートの凍結融解試験時のサイ

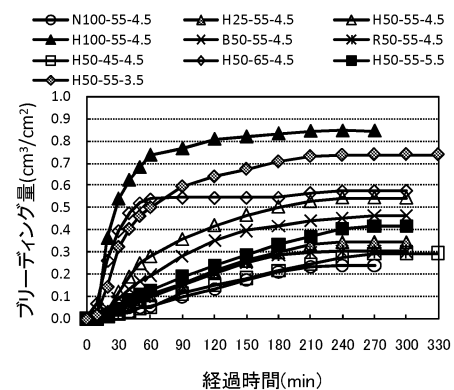


図-2 ブリーディング試験結果

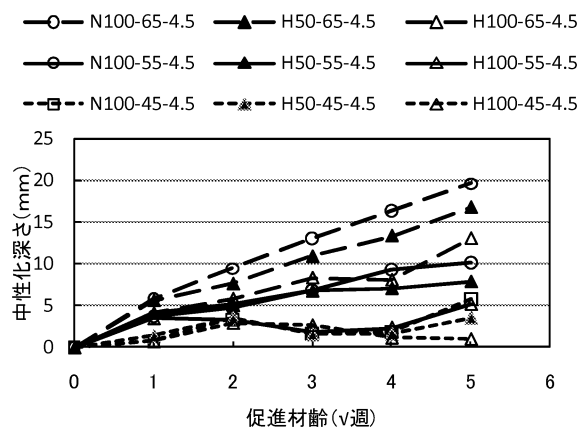


図-4 促進期間と中性化深さの関係



クル数と相対動弾性係数の関係を示し、図-7 にサイクル数と質量減少率の関係を示す。図-6 によると全てのコンクリートが相対動弾性係数 80%をほぼ満たす結果となった。B50-55-4.5 は、90 サイクルで一度相対動弾性係数が大きく下がったが、120 サイクルで、60 サイクルの値と同程度となった。このため、これは測定ミスと考え、問題ないと判断した。また、図-7 によると、コンクリートの質量減少率は 1%前後となった。細骨材の吸水率は、高炉スラグ細骨材(B)が最も小さかったが、凍結融解抵抗性にあまり影響は見られなかった。

図-8 に高強度コンクリートの凍結融解試験時のサイクル数と相対動弾性係数の関係を示し、図-9 にサイクル数と質量減少率の関係を示す。図-8 によると、300 サイクルで相対動弾性係数 95%をほぼ超える高い値を示した。また、図-9 によると全てのコンクリートが 300 サイクルで、質量減少率が 1%未満と低い値を示した。

以上のことより、高炉スラグ細骨材を使用したコンクリートは、凍結融解抵抗性に、やや問題があるとされているが、天然砂と高炉スラグ細骨材を混合することにより、大きく改善される傾向がみられた。よって、この原因を検証するために、気泡組織が凍結融解抵抗性に影響していると

考え、以降でその検討を行った。

#### 4.5 気泡組織と気泡間隔係数

表-5 の上半分に普通強度コンクリートの気泡組織の測定結果とコンクリートの空気量、ブリーディングおよび耐久性指数を示す。表-5 によると、H100-55-4.5, H50-55-3.5 の気泡間隔係数を除いて、ほぼ 350 $\mu$ m 以下となった。H100-55-4.5, H50-55-3.5 の気泡間隔係数は、比較的大きな値を示した。これは、表-5 に示すように、ブリーディン

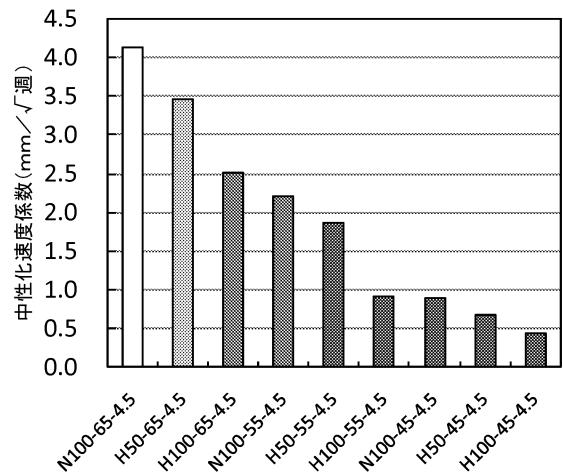


図-5 中性化速度係数

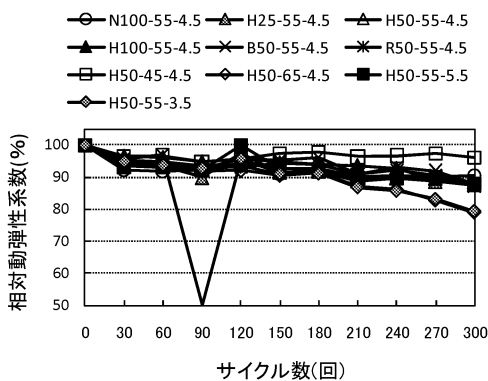


図-6 普通強度のサイクル数と相対動弾性係数の関係

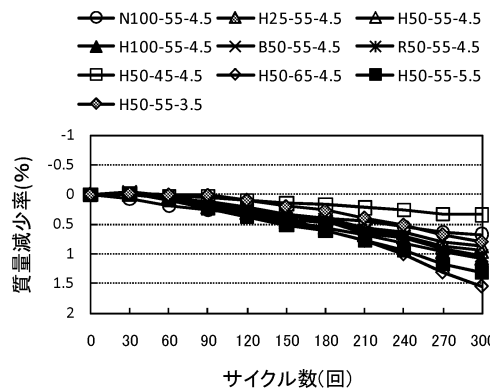


図-7 普通強度のサイクル数と質量減少率

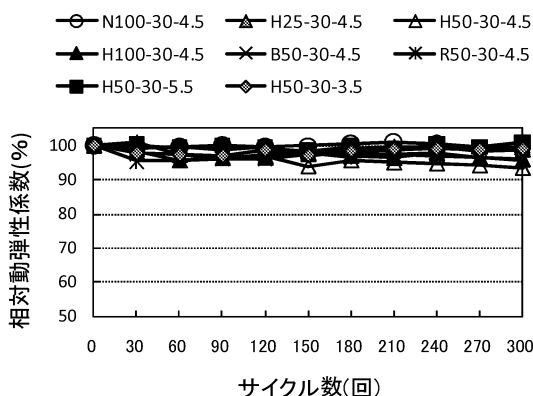


図-8 高強度のサイクル数と相対動弾性係数の関係

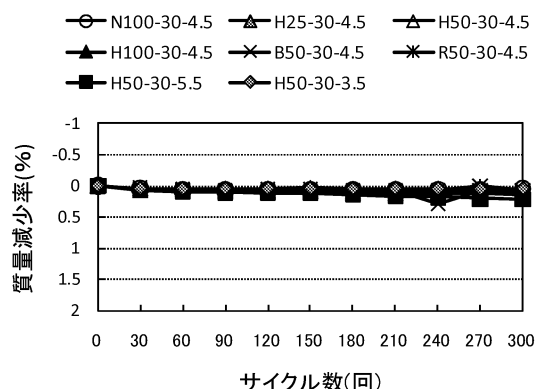


図-9 高強度のサイクル数と質量減少率

表-5 気泡組織の測定値とコンクリートの空気量, ブリーディングおよび耐久性指数

| 通し番号 | 記号          | 気泡個数 | 平均弦長 (μm) | 平均気泡径 (μm) | 気泡間隔係数 (μm) | 硬化後空気量 (%) | フレッシュ時の空気量 (%) | ブリーディング量 | 耐久性指数 |
|------|-------------|------|-----------|------------|-------------|------------|----------------|----------|-------|
| 19   | N100-55-4.5 | 461  | 171       | 256        | 233         | 3.8        | 4.3            | 0.24     | 90    |
| 18   | H25-55-4.5  | 366  | 180       | 271        | 271         | 3.2        | 4.9            | 0.35     | 88    |
| 14   | H50-55-4.5  | 353  | 243       | 364        | 327         | 4.2        | 5.1            | 0.54     | 88    |
| 13   | H100-55-4.5 | 268  | 323       | 485        | 443         | 4.2        | 5.8            | 0.84     | 88    |
| 10   | B50-55-4.5  | 459  | 252       | 378        | 229         | 5.6        | 6.1            | 0.46     | 88    |
| 11   | R50-55-4.5  | 432  | 211       | 316        | 275         | 4.5        | 5.7            | 0.30     | 87    |
| 17   | H50-45-4.5  | 442  | 214       | 322        | 285         | 4.6        | 5.0            | 0.29     | 96    |
| 12   | H50-65-4.5  | 341  | 294       | 441        | 362         | 4.8        | 5.6            | 0.58     | 79    |
| 16   | H50-55-5.5  | 394  | 245       | 367        | 306         | 4.7        | 7.2            | 0.42     | 88    |
| 15   | H50-55-3.5  | 235  | 281       | 422        | 428         | 3.2        | 3.9            | 0.74     | 79    |
| 20   | N100-30-4.5 | 515  | 171       | 256        | 253         | 4.4        | 5.8            | —        | 99    |
| 23   | H25-30-4.5  | 432  | 169       | 253        | 272         | 3.6        | 5.3            | —        | 99    |
| 22   | H50-30-4.5  | 554  | 198       | 297        | 266         | 5.4        | 5.3            | —        | 93    |
| 21   | H100-30-4.5 | 421  | 238       | 357        | 332         | 4.9        | 6.5            | —        | 96    |
| 24   | B50-30-4.5  | 604  | 176       | 264        | 240         | 5.2        | 5.5            | —        | 96    |
| 25   | R50-30-4.5  | 567  | 166       | 249        | 240         | 4.6        | 5.9            | —        | 96    |
| 26   | H50-30-5.5  | 634  | 162       | 243        | 224         | 5.1        | 6.5            | —        | 101   |
| 27   | H50-30-3.5  | 240  | 293       | 439        | 475         | 3.5        | 4.0            | —        | 99    |

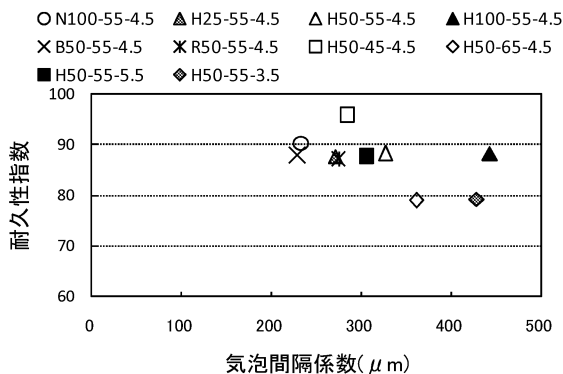


図-11 気泡間隔係数と耐久性指数の関係(普通強度)

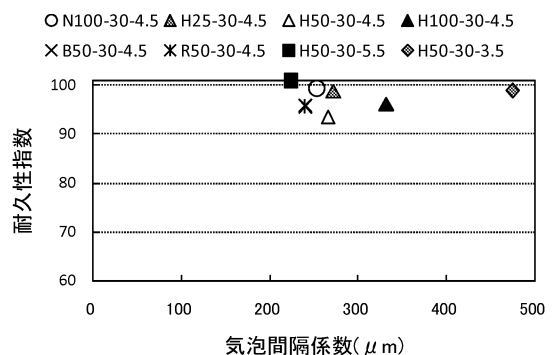


図-12 気泡間隔係数と耐久性指数の関係(高強度)

グ量がそれぞれ,  $0.84\text{cm}^3/\text{cm}^2$ ,  $0.74\text{cm}^3/\text{cm}^2$  と多かったことにも起因していると考えられる。この傾向は, 昨年度の報告<sup>3)</sup>でもみられたが, 理由は明確ではない。

表-5 の下半分に高強度コンクリートの気泡組織の測定結果を示し, 次頁の図-10 に気泡個数の分布を示す。表-6 によると H50-30-3.5 を除いて, 気泡間隔係数は, ほぼ  $350\mu\text{m}$  以下の範囲に収まった。H50-30-3.5 の気泡間隔係数が著しく大きくなったのは, 空気量が少なく, 気泡個数少なかったことが原因として考えられる。この傾向は昨年度の報告<sup>3)</sup>でもみられた。また, 図-10 を見ても H50-30-3.5 を除いて,  $50\sim 250\mu\text{m}$  の気泡個数が著しく多く, 水セメント比が小さくなると良質な細かい気泡が多くなった。

#### 4.6 気泡間隔係数と耐久性指数の関係

図-11 に普通強度コンクリートの気泡間隔係数と耐久性指数の関係を示す。図-11 によると, 一般的に言われているような気泡間隔係数が大きくなると耐久性指数が小さくなるという傾向がみられなかった。H50-55-4.5(△)は, 天然砂と高炉スラグ細骨材の混合率を 50%としたことにより, 微細な気泡が多くなり気泡間隔係数が小さくなって, 凍結融解抵抗性が改善されたと考えられる。H100-55-4.5(▲)は, 高炉スラグ細骨材のみ使用しており, 気泡間隔係数が大きいにもかかわらず, 昨年度の結果<sup>3)</sup>と異なり耐久性指数が大きかった。この点については今後検討を進めていく予定である。

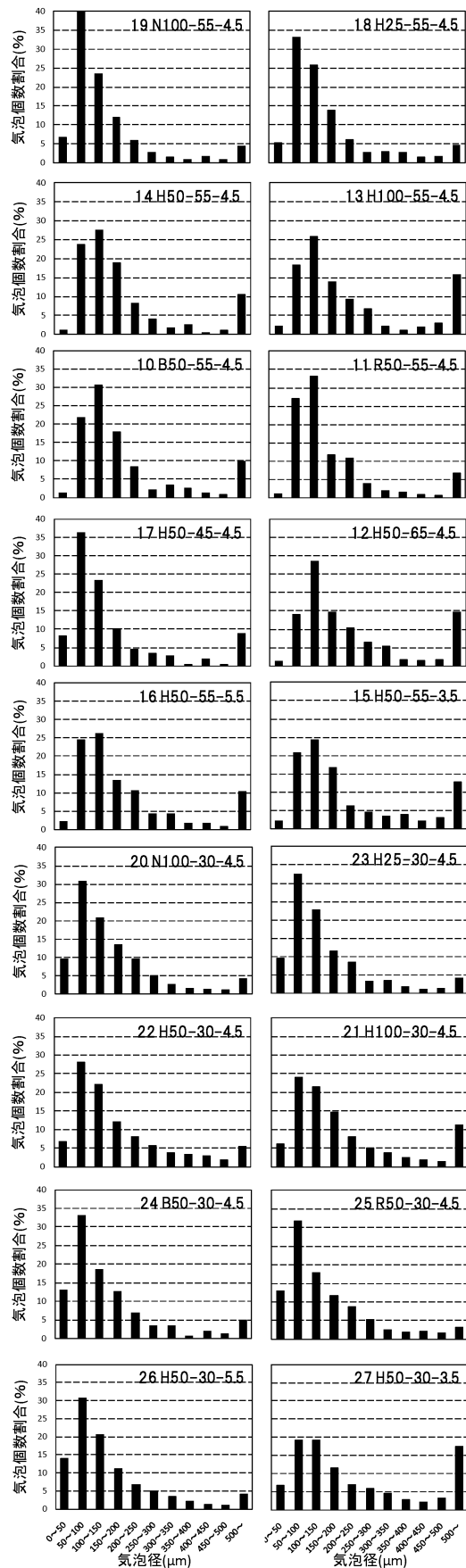


図-10 コンクリートの気泡分布  
 (横軸：左端 0~50 μm, 右端 500 μm 以上)

図-12 に高強度コンクリートの気泡間隔係数と耐久性指数の関係を示す。図-12 によると、図-11 と同様に一般的に言われているような気泡間隔係数が大きくなると耐久性指数が大きくなるという傾向が見られなかった。H100-30-4.5 と H50-30-3.5 は、気泡間隔係数の割に、耐久性指数の値も大きくなった。これは、水セメント比が小さいことと、コンクリート内部の組織が緻密であることが原因として考えられる。また、上記以外のコンクリートについては、昨年度の結果<sup>3)</sup>と同様に、水セメント比が小さいことにより、ブリーディング量が少なくなり、気泡間隔係数および耐久性指数の値がよくなる傾向が見られた。

### 5. まとめ

高炉スラグ細骨材と天然砂を混合した細骨材を使用した普通強度のコンクリートは、耐久性指数 80 以上の結果となった。これは、高炉スラグ細骨材に天然砂を混合することによりコンクリート中に微細な気泡が多くなり、気泡間隔係数の値が小さくなったためと考えられる。

高強度コンクリートでは、耐久性指数 90 を超える高い値を示し、天然砂のみを使用したコンクリートと同程度の凍結融解抵抗性を示す結果となった。これは、水セメント比が小さいため、ブリーディング量が少なく、全体的に微細な気泡が多かったことが原因として考えられる。

また、高炉スラグ細骨材を使用したコンクリートは、天然砂を使用したコンクリートよりも中性化しにくい結果となり、中性化を抑制する効果が期待できる。

### 謝辞

本実験は、日本建築学会高炉スラグ細骨材指針改定 WG の研究の一環および工学院大学総合研究所 UDM の課題 3.1 の一つとして実施したもので、実験の実施に当たり鉄鋼スラグ協会、本学卒論生の遠藤勝信君、堤貴之君 (2010 年度)、鶴見淳也君、松村洋考君 (2011 年度) の協力を得ました。

### 参考文献

- 1) 日本建築学会：高炉スラグ細骨材を用いるコンクリート施工指針・同解説，p.125, 1983
- 2) 古川・石川他：石炭溶融水砕スラグのコンクリート用細骨材への利用に関する研究(その 13)，日本建築学会大会学術講演梗概集(関東)，pp.635-636, 2011
- 3) 上本・阿部・鹿毛・浅野：高炉スラグ細骨材を用いたコンクリートの凍結融解に関する実験，コンクリート工学年次論文集，Vol.33, No.1, pp.119-124, 2011

## 住宅基礎の高耐久化に関する研究

住宅基礎, 高耐久, コンクリート, 中性化, 乾燥収縮

海原 則之\*<sup>1</sup> 花野 克哉\*<sup>1</sup> 篠山 彰\*<sup>1</sup>  
高橋 大祐\*<sup>2</sup> 外山 明日香\*<sup>3</sup> 阿部 道彦\*<sup>4</sup>

### 1. はじめに

木造住宅や鉄骨造住宅について、住宅の品質確保の促進等に関する法律(平成12年4月)や長期優良住宅の普及の促進に関する法律(平成21年6月)の施行をみても、建築物の長寿命化や使用される材料の品質についての要求が高まっていることがわかる。しかし、品確法における住宅性能表示制度では、コンクリート基礎は劣化対策等級の対象となっていない。

本研究では、実際に戸建住宅の基礎に使用されるコンクリートを対象とし、設定した調合および施工条件で鉄筋腐食やコンクリートに有害なひび割れが生じないことを実験的に確認するとともに、コンクリート基礎の強度特性と耐久性についての検討を行い、長期の耐久性が確保されることを確認することを目的とする。

### 2. 実験概要

#### 2.1 対象物件

平成22年6月～平成23年3月の期間に東京都および神奈川県において建設された木造住宅13物件(高耐久仕様:10棟, 一般仕様:3棟)を対象とした。

#### 2.2 基礎の形状・配筋

基礎の立上がり部は、幅160mmおよび140mm, 高さ300mm, 設計かぶり厚さは外側75mm, 内側62mmとし、最小かぶり厚さは、外側・内側ともに40mm<sup>1)</sup>とした。かぶり厚さの測定は、型枠の上端からタテ筋の露出している箇所まで建物外周部を1m間隔にスケールを用い測定した。

#### 2.3 供試体の作製と養生条件

図-1に模擬基礎寸法とコア採取位置を、図-2に基礎の断面図とかぶり厚さ測定箇所を示す。模擬基礎は、基礎の立上がり部と同じ断面(160×300mm)を有する長さ400mmの供試体を1物件につき各5体作製した。模擬基礎への打込みは実物件と同様に行うものとし、高耐久仕様の場合、打込み後に一定の時

間(夏季:20分程度, 冬季:40分程度)において棒形振動機で再振動による締固めを施した。実物件の養生方法は、材齢13週まで封かん養生としているが、養生期間の影響を検討するため、本実験では供試体5体のうち1体は材齢2日で脱型し、残り4体は材齢4日で脱型後、封かん養生を行い、4日, 1週, 4週, 13週の材齢まで工学院大学八王子校舎の敷地内で暴露を行った。管理用供試体寸法は、圧縮強度試験用としてφ75×150mm, φ100×200mmの2種類とし、養生方法および試験材齢は、材齢2日, 4日, 1週, 4週, 13週まで現場封かん養生とし、材齢4週用に管理用供試体もあわせて作製し、本数は1条件3本とした。また、促進中性化試験および乾燥収縮試験用として、100×100×400mmの角柱供試体を1物件につきそれぞれ3体作製し、材齢1日で脱型後、材齢4週まで標準養生を行った。

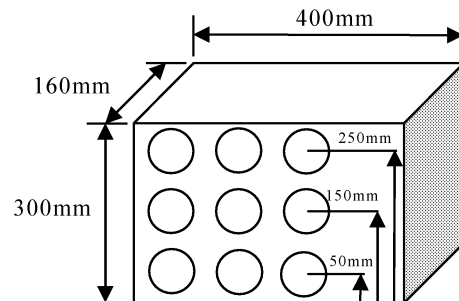


図-1 模擬基礎寸法とコア採取位置

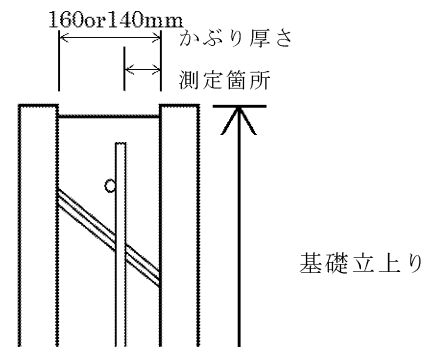


図-2 基礎断面

\*1: 東日本ハウス, \*2: 建材試験センター, \*3: 工学院大学建築学専攻修論生, \*4: 工学院大学建築学部建築学科

## 2. 4 コンクリートの受入れ時の検査

フレッシュコンクリートの品質試験は、JIS A 1101(コンクリートのスランプ試験方法)、JIS A 1128(フレッシュコンクリートの空気量の圧力による試験方法・空気室圧力方法)、JASS5 T-502(フレッシュコンクリート中の塩化物量の簡易試験方法)、JIS A 1156(フレッシュコンクリートの温度測定方法)に準じて行った。なお、参考のため単位水量をエアメータ法により測定した。

## 3. 使用材料および調査

表-1にコンクリートの調査を示す。計画供用期間65年(以下、高耐久仕様)では、設計基準強度24N/mm<sup>2</sup>、耐久設計基準強度24N/mm<sup>2</sup>、呼び強度30、目標スランプ12cmとし、計画供用期間30年(以下、一般仕様)では、設計基準強度21N/mm<sup>2</sup>、耐久設計基準強度18N/mm<sup>2</sup>、呼び強度24または27、目標スランプ18cmを設定し、空気量は高耐久仕様、一般仕様ともに4.5%とした。セメントは普通ポルトランドセメント(密度:3.16g/cm<sup>3</sup>)、練混ぜ水は上水道水、地下水または上澄水を使用した。

表-1 コンクリートの調査

| 棟  | 呼び強度 | W/C (%) | s/a (%) | 単位量(kg/m <sup>3</sup> ) |     |     |     |         |      | 混和剤 |
|----|------|---------|---------|-------------------------|-----|-----|-----|---------|------|-----|
|    |      |         |         | W                       | C   | S   |     | G       |      |     |
|    |      |         |         |                         |     | ①   | ②   | ①       | ②    |     |
| 1  | 30   | 49.0    | 45.0    | 160                     | 327 | 614 | 205 | 1013    | 3.27 |     |
| 2  | 30   | 49.0    | 46.3    | 173                     | 353 | 611 | 204 | 958     | 3.88 |     |
| 3  | 30   | 47.0    | 44.2    | 167                     | 355 | 711 |     | 1003    | 3.91 |     |
| 4  | 30   | 50.5    | 45.5    | 171                     | 339 | 554 | 238 | 982     | 4.07 |     |
| 5  | 30   | 51.5    | 43.4    | 171                     | 332 | 773 |     | 518 522 | 1.33 |     |
| 6  | 30   | 46.0    | 43.0    | 165                     | 359 | 596 | 149 | 1013    | 3.59 |     |
| 7  | 24   | 60.0    | 48.0    | 180                     | 300 | 422 | 437 | 478 481 | 1.20 |     |
| 8  | 30   | 46.0    | 43.0    | 165                     | 359 | 596 | 149 | 1013    | 3.59 |     |
| 9  | 30   | 49.0    | 46.8    | 169                     | 345 | 626 | 209 | 958     | 3.10 |     |
| 10 | 27   | 50.1    | 45.8    | 177                     | 354 | 625 | 156 | 949     | 3.54 |     |
| 11 | 27   | 52.0    | 51.3    | 180                     | 347 | 673 | 224 | 862     | 3.12 |     |
| 12 | 30   | 46.0    | 43.0    | 165                     | 359 | 596 | 149 | 1013    | 3.59 |     |
| 13 | 30   | 45.0    | 41.0    | 164                     | 365 | 141 | 575 | 1047    | 3.65 |     |

## 4. 試験結果および考察

### 4. 1 配筋精度

表-2にコンクリート基礎の型枠の種類とかぶり厚さの測定結果を示す。基礎の型枠は物件により鋼製型枠と木製型枠が使用されていた。基礎幅の測定結果は、設計値と測定値の平均の差が、鋼製型枠では11物件の平均で1.4mm、木製型枠では1物件9.7mm、鋼木併用型枠では1物件1.9mmであった。かぶり厚さでは、設定値と測定値の平均の差は、鋼製型枠

で5.4mm、木製型枠で5.4mm、鋼木併用型枠では2.2mmであった。かぶり厚さの標準偏差をみると、最大13.6mmとばらつきが大きく、一般的なかぶり厚さの標準偏差10mmを超える結果となった。これは型枠の種類の違いによるものではなく、型枠や鉄筋の施工業者の違いによるものと推測され、かぶり厚さを確保し基礎の品質を確保するためには、型枠や鉄筋の施工誤差を減らすための対策が必要と考えられる。また、測定点569点中最小かぶり厚さを下回った箇所が1点確認されたが、コンクリート打込み前に是正した。

表-2 かぶり厚さの測定結果

| 棟  | 打設日    | 型枠種類 | かぶり厚さ(mm) |     |      |     | 標準偏差 |       |
|----|--------|------|-----------|-----|------|-----|------|-------|
|    |        |      | 設計値       | 測定値 | 平均   | 最大  |      | 最小    |
| 1  | 6月7日   | 鋼製   | 75        | 43  | 76.9 | 86  | 65   | 5.89  |
| 2  | 7月15日  | 鋼製   | 75        | 72  | 73.7 | 88  | 63   | 4.13  |
| 3  | 7月27日  | 木製   | 75        | 49  | 69.6 | 87  | 52   | 8.02  |
| 4  | 8月5日   | 鋼製   | 75        | 33  | 72.6 | 79  | 66   | 3.28  |
| 5  | 10月15日 | 鋼製   | 75        | 39  | 78.9 | 105 | 53   | 13.14 |
| 6  | 10月22日 | 鋼製   | 75        | 47  | 71.2 | 82  | 60   | 5.71  |
| 7  | 11月9日  | 鋼製   | 75        | 41  | 82.9 | 93  | 69   | 5.37  |
| 8  | 11月25日 | 鋼製   | 75        | 59  | 62.3 | 92  | 30   | 13.57 |
| 9  | 12月16日 | 鋼製   | 75        | 32  | 72.9 | 85  | 65   | 4.75  |
| 10 | 1月13日  | 鋼木併用 | 75        | 37  | 72.8 | 95  | 54   | 9.08  |
| 11 | 2月1日   | 鋼製   | 75        | 44  | 73.4 | 82  | 65   | 3.26  |
| 12 | 2月22日  | 鋼製   | 75        | 37  | 70.5 | 88  | 59   | 7.31  |
| 13 | 3月17日  | 鋼製   | 75        | 36  | 56.7 | 64  | 48   | 3.88  |

### 4. 2 フレッシュコンクリートの品質

表-3にコンクリートのフレッシュ性状を示す。

7・10・11棟目が一般仕様の物件である。

スランプ、空気量、塩化物量およびコンクリート温度は、4棟目を除き、すべてJIS A 5308(レディミクストコンクリート)の規定を満足する結果となった。4棟目は打込み日が猛暑であり、コンクリート温度は規定を満たしていたが、スランプがJIS A 5308の規定を下回った。また、コンクリート受入れ時に空気量の規定を満たさず、再受入れにより規定を満たした物件が2棟あった。単位水量について管理目標値(設計単位水量±15kg/m<sup>3</sup>)を満たしていない物件が、高耐久仕様10棟のうち2棟あった。

打込み時の施工について、高耐久仕様の場合、一般仕様と比べワーカビリティの違いから、打込み時の作業人数の増加、高周波の棒形振動機40φまたは50φの使用、棒形振動機の径の5倍の間隔での締固め作業を伴う施工とした。また、夏期の打込みにおいて、生コン車が複数台となる場合、プラントか

らの納入は打込み時の進行状況に合わせて行うことが求められ、現場付近での待機時間が長くなることによる品質の低下に配慮が必要である。

表-3 コンクリートのフレッシュ性状

| 棟  | SL (cm) | Air (%) | 塩化物 (kg/m <sup>3</sup> ) | 温度 (°C) | 実測単位水量 (kg/m <sup>3</sup> ) | 気温 (°C) | 天候 |
|----|---------|---------|--------------------------|---------|-----------------------------|---------|----|
| 1  | 9.5     | 4.2     | 0.05                     | 26      | 185.9                       | 22      | 曇  |
| 2  | 10.0    | 3.6     | 0.06                     | 30      | 183.1                       | 26      | 曇  |
| 3  | 12.5    | 5.8     | 0.04                     | 34      | 179.8                       | 35      | 晴  |
| 4  | 7.0     | 6.0     | 0.05                     | 35      | 185.6                       | 34      | 晴  |
| 5  | 14.5    | 4.8     | 0.05                     | 29      | 169.3                       | 21      | 雲  |
| 6  | 12.0    | 5.5     | 0.04                     | 24      | 154.0                       | 19      | 雲  |
| 7  | 16.5    | 5.1     | 0.03                     | 20      | 171.5                       | 16      | 晴  |
| 8  | 13.0    | 5.5     | 0.04                     | 18      | 156.0                       | 15      | 晴  |
| 9  | 10.5    | 3.7     | 0.02                     | 16      | 190.1                       | 9       | 雲  |
| 10 | 18.5    | 5.4     | 0.04                     | 11      | 184.4                       | 7       | 晴  |
| 11 | 19.5    | 4.6     | 0.06                     | 10      | 187.0                       | 4       | 晴  |
| 12 | 14.5    | 5.0     | 0.03                     | 10      | 150.0                       | 8       | 晴  |
| 13 | 12.5    | 3.2     | 0.05                     | 14      | 166.0                       | 6       | 晴  |

#### 4. 3 圧縮強度試験結果

管理用供試体の圧縮強度試験は、JIS A 1108(コンクリートの圧縮試験方法)、コアの圧縮強度試験は、JIS A 1107(コンクリートからのコア採取方法および圧縮試験方法)に準じて行った。ただし、水中浸漬は2時間とした。

図-3に管理用供試体の材齢28日の圧縮強度を示す。13棟すべての物件において、呼び強度(7棟目:24, 10棟目と11棟目:27)を上回る結果となった。図-4に養生日数別の材齢91日におけるコアの圧縮強度試験結果を示す。コアの圧縮強度について、冬季に打込まれた物件を除き、養生日数2日以上では養生日数による圧縮強度への影響は認められなかった。図-5に、平均気温と構造体強度補正值の関係を示す。図中には、JASS 5の規定値を示す。

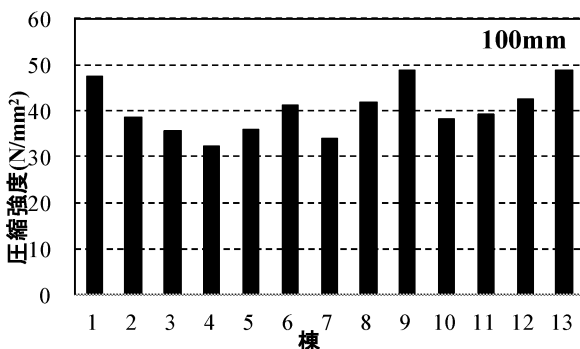


図-3 管理用供試体の圧縮強度

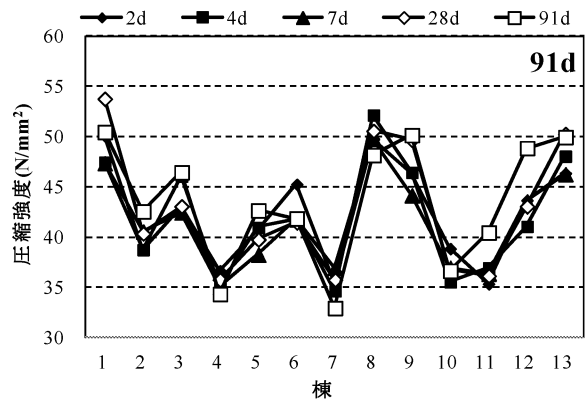


図-4 コア供試体の材齢91日時圧縮強度

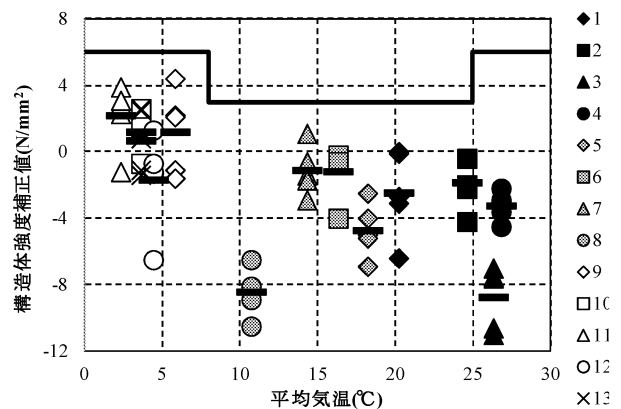


図-5 構造体強度補正值<sub>28S91</sub>

#### 4. 4 促進中性化試験結果

促進中性化試験は、JIS A 1153(コンクリートの促進中性化試験方法)に準じて標準養生を行った角柱供試体(100×100×400mm)を用いて行い、材齢1週、4週、9週、16週および25週で測定を行った。

コア供試体の促進中性化試験は、封かん養生を材齢2日、4日、1週、4週、13週まで行った模擬基礎から材齢13週に採取したコアを用い、20°C 60%R.H.の恒温恒湿室で1週間乾燥させ、その間にエポキシ樹脂を供試体側面に塗布し、材齢14週から促進中性化を開始し、各材齢3本を9週および25週で割裂し、割裂面で中性化深さの測定を行った。

角柱供試体による試験結果では、高耐久仕様の10棟は、すべて高耐久指針<sup>1)</sup>の25mm以下を満足しており、100年後も最小かぶり厚さを上回らないと考えられる。コア供試体による試験結果では、養生日数と中性化深さには明瞭な相関は認められなかった。また、角柱供試体に比べややばらつきが大きく、これはコア供試体の中性化深さの測定方法に起因するものと推測される。

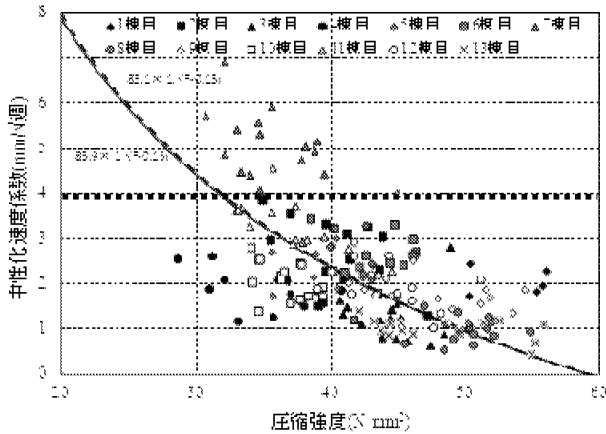


図-6 圧縮強度と中性化速度係数の関係

#### 4. 5 寿命予測

これまでの実験結果をもとに、今回設定した調査および施工条件において、住宅基礎が計画供用期間100年の長期供用級を確保できるかの検討を行う方法には、以下の(1)~(3)の3つの方法があるが、ここでは(3)の方法を用いることとした。図-6は、13棟について養生方法ごとに、1材齢で3本(上中下)の平均(15点)を示したものである。図中の実線は、標準養生供試体の試験結果、破線はコアの試験結果の回帰式で、両者はほぼ一致した。また、図中の太い点線の横線は(3)の方法で算出した計画供用期間100年に相当するもので、今回の高耐久仕様10棟のデータはすべてこの線以下に分布している。

##### (1)決定論的方法

中性化の進行が最小かぶり厚さに達したときを寿命とするもので、中性化の進行のばらつきを考慮していないが、容易に計算をすることが可能である。

$$C=A\sqrt{t}$$

ここに、C：平均中性化深さ(mm)

A：中性化速度係数(mm√年)

t：経過年数(年)

##### (2)確率論的方法

鉄筋のかぶり厚さと、中性化の進行の両者についてばらつきを考慮し、鉄筋の腐食確率が所定の値に達した時を寿命とする。

$$D=C+K\sqrt{(C^2+V^2+\sigma^2)}$$

ここに、D：設計かぶり厚さ(mm)

K：腐食確率に対する正規偏差

V：中性化深さの変動係数

σ：かぶり厚さの標準偏差(mm)

##### (3)法律論的方法

中性化の進行にばらつきを考慮し、最小かぶり厚さを上回る確率(鉄筋腐食確率)が所定の値に達した時を寿命とする。

$$C=(1+K\times V)\times A\sqrt{t}$$

#### 4. 6 乾燥収縮試験結果

乾燥収縮試験は、JIS A 1129-3(コンクリートの長さ変化試験方法-第3部:ダイヤルゲージ方法)に準じて行った。なお、3棟目は標点が欠損していたため測定を実施していない。

一般に乾燥収縮率は大きい値を示したが、これは恒温恒湿室の風速に起因するものと推測される。また、高耐久仕様は一般仕様と比べて乾燥収縮率および質量減少率が小さくなる傾向を示し、同一生コン工場では、 $2\times 10^{-4}$ 程度小さくなった。なお、7棟目の乾燥収縮率が他の一般仕様の物件に比べて小さいのは、骨材に石灰石を使用しているためと推測される。

#### 5. まとめ

本研究より、木造住宅に用いられるコンクリート基礎の強度特性や耐久性についてまとめると以下のとおりである。

- 1) 型枠のかぶり厚さについて、標準偏差が10mmを超えるものがあり、基礎の型枠の精度や配筋精度を高めるための対策が必要である。
- 2) 夏期の打込みにおいて、生コン車が複数台となる場合、プラントからの納入は打込み時の進行状況に合わせて行う必要があり、現場付近での待機時間が長くなることによる品質の低下に配慮が必要である。
- 3) コアの試験結果では、冬季に打込まれた物件を除き、養生日数2日以上では、養生日数による圧縮強度への影響は認められなかった。
- 4) 高耐久仕様は一般仕様と比べ、中性化の進行が遅くなる傾向が認められ、計画供用期間100年を満足すると考えられる。
- 5) 高耐久仕様は一般仕様と比べ、乾燥収縮率が $2\times 10^{-4}$ 程度小さくなる傾向が認められた。

#### 謝辞

実験に際し、2010年度卒論生の秋山大志君と大貫信悟君、2011年度卒論生の青木穂高君と松本隆行君の協力を得ました。記して謝意を表します。

#### 参考文献

- 1) 日本建築学会：高耐久性鉄筋コンクリート造設計施工指針(案)・同解説、p.7, 1991.7

## 低品質骨材を用いたコンクリートの長期性状について

低品質骨材 長期性状 圧縮強度 中性化 ヤング係数

阿部 道彦 \*1 矢島 怜 \*2  
 関口 祐平 \*3

### 1. はじめに

骨材はコンクリート容積の約7割を占める極めて重要な構成材料である。わが国は良質な河川骨材に恵まれていたが、戦後の急激な骨材需要の増大に伴う供給の不足により河川産以外の骨材や河川産骨材でも従来より品質の劣るものが使用されるようになり今日に至っている。

本研究では、低品質骨材を使用したコンクリートの長期性状の把握および普通骨材との比較検討を行うことを目的とする。

### 2. 実験概要

表1に実験の要因と水準、表2に試験項目を示す。水セメント比は3水準とり、細骨材は4種類、粗骨材は6種類のものを使用している。いずれのコンクリートも、目標空気量4.0%、目標スランプ18cmとしている。なお、このコンクリートは友沢らが調合したものであり、今回、31年経過したこのコンクリートについての実験を行うものとし、養生方法については7日まで20℃水中養生、以降20℃60%R.H.室内に放置された屋内保存のコンクリートおよび、28日まで20℃水中養生、以降、屋外暴露したコンクリートの2つを実験対象とする。なお、屋外暴露されていたコンクリートは、風雨に曝されたことにより、供試体表面に記されていた骨材名の大部分が判別不可能であった。そのため、屋外暴露されたコンクリートの実験に関しては、普通骨材と比較することは困難であった。

### 3. 実験方法

#### 3.1 使用材料

対象とした骨材は、東北地方の河川産の砂利・砂のうち品質の良くないもの選定し、比較の対象として良質である鬼怒川産の砂利・砂を使用した。これらの骨材の物性を表3に示し、表4に骨材の組み合わせを示す。ここで選定した東北地方産骨材の全般的な特徴として、絶乾密度が小さく、吸水率が大きく、軟石量が多く、安定性が悪いという傾向を持つ。

#### 3.2 調合およびフレッシュ性状

表5に友沢らが実験で用いたコンクリートの調合およびフレッシュ性状について示す。

表1 実験の要因と水準

| 要因       | 水準   |
|----------|--|
| W/C(%)   | 45, 55, 65   |
| 細骨材      | 鬼怒川産(kn)、奥入瀬川産(os)<br>米代川産(ys)、最上川産(mg)                      |
| 粗骨材      | 鬼怒川産(KN)、奥入瀬川産(OS)<br>米代川産(YS)、最上川産(MG)<br>雫石川産(SZ)、白石川産(SR) |
| セメント     | 普通ポルトランドセメント   |
| 混和剤      | AE減水剤  |
| 空気量(%)   | 4  |
| スランプ(cm) | 18   |

表2 試験項目

| 試験項目  | 屋内             |                | 屋外            |  | 試験方法       |
|-------|----------------|----------------|---------------|--|------------|
|       | 角柱<br>10×10×40 | 角柱<br>15×15×53 | コア<br>φ7.5×15 |  |            |
| 圧縮強度  |                |                | ○             |  | JIS A 1107 |
| 動弾性係数 | ○              | ○              | ○             |  | JIS A 1127 |
| 超音波速度 | ○              | ○              | ○             |  | パンジット使用    |
| 中性化   | ○              |                | ○             |  | JIS A 1152 |

表3 細骨材・粗骨材の物性値

| 骨材  | 産地   | 絶乾密度<br>(g/cm <sup>3</sup> ) | 吸水率<br>(%) | 実積率<br>(%) | 安定性<br>(%) |
|-----|------|------------------------------|------------|------------|------------|
| 細骨材 | 鬼怒川  | 2.51                         | 2.88       | 66.9       | 4.8        |
|     | 奥入瀬川 | 2.53                         | 4.32       | 64.8       | 8.6        |
|     | 米代川  | 2.39                         | 4.79       | 66.5       | 9.8        |
|     | 最上川  | 2.49                         | 3.05       | 65.1       | 6.0        |
| 粗骨材 | 鬼怒川  | 2.54                         | 1.96       | 66.5       | 15.1       |
|     | 奥入瀬川 | 2.43                         | 3.50       | 65.4       | 16.6       |
|     | 米代川  | 2.38                         | 4.05       | 63.0       | 24.5       |
|     | 最上川  | 2.47                         | 2.86       | 65.6       | 13.4       |
|     | 雫石川  | 2.55                         | 2.82       | 63.9       | 9.0        |
|     | 白石川  | 2.41                         | 3.60       | 64.7       | 23.4       |



コンクリートの組み合わせは、比較対象とする鬼怒川産の砂利・砂を軸にして、粗骨材だけを各砂利に変えたもの、細骨材だけを各砂に変えたもの、および同一産地の砂利、砂を組み合わせたもので構成されている。普通骨材を使用した Kk のスランプ値は±0.5cm の範囲、空気量は-1.1~-0.6%の範囲となった。

### 3.3 試験方法

圧縮強度試験、動弾性係数試験、中性化試験については、それぞれ当該 JIS に規定された方法で行った。ヤング係数については赤荻のヤング係数と動弾性係数との関係式  $y=1.72x^{0.901}$  より求めた。屋外暴露のコンクリートについては、動弾性係数を求めるにあたって JIS 規格に従ってたわみ振動での一次共鳴振動数を求めたが値のばらつきが著しかったため、その後、縦振動での一次共鳴振動数を求めた。縦振動での値に大きなばらつきは見られなかったため、そちらの値を用いることにした。超音波速度については、パンジットを用いて角柱供試体の長さ方向および幅方向の超音波伝播時間を求め、それを対応した長さで除して求めた。また、圧縮強度は暴露供試体から  $\phi 7.5\text{cm} \times 15\text{cm}$  のコアを 2 本採取して求めた。屋内保存のコンクリートについては、動弾性係数はたわみ振動により、また、超音波速度は供試体の長さ方向で測定し、中性化は、割裂し、JIS 規格に準じて求めた。

## 4. 試験結果および考察（屋外暴露）

### 4.1 圧縮強度試験結果

図 1 は 28 日、1 年、31 年における各骨材を用いたコンクリートの圧縮強度を示したものである。この図を見ると、気中の場合 28 日から 1 年にかけて圧縮強度が僅かに上昇しているのに対し、屋外暴露の場合 28 日から 31 年にかけて圧縮強度が大きく上昇していることが分かる。また、28 日、1 年における圧縮強度の差を見ると約  $20\text{N/mm}^2$  となっているが、31 年における圧縮強度の差は約  $30\text{N/mm}^2$  となっている。これらの結果から、31 年におけるコンクリートの圧縮強度は、屋外においては全体的に上昇し、かつ、水セメント比の違いや骨材の違いによって圧縮強度に大きな差が生じたものと推測される。

### 4.2 ヤング係数試験結果

図 2 は 28 日、31 年での圧縮強度とヤング係数の関係を示したものである。2 つを比較してみると、ヤング係数における差はほとんど見られなかった。図中の曲線は RC 構造計算規準式である。図 2 に見られるように、28 日のものはいくつかの骨材を用いたコンクリートが曲線を上回っているが、31 年では全てが下回る結果となり、一部を除いてほぼ全ての骨材が  $20 \sim 30\text{kN/mm}^2$  の範囲に収まった。そのため、年数経過によるヤング係数の上昇は期待できないと推測される。

表 4 骨材の組み合わせ

| 粗骨材 \ 細骨材 | 鬼怒川 (KN) | 奥入瀬川 (OS) | 最上川 (MG) | 米代川 (YS) | 雫石川 (SZ) | 白石川 (SR) |
|-----------|----------|-----------|----------|----------|----------|----------|
| 鬼怒川(kn)   | Kk       | Os        | Mk       | Yk       | SZk      | SRk      |
| 奥入瀬川(os)  | Ko       | Oo        | —        | —        | —        | —        |
| 最上川(mg)   | —        | —         | Mm       | —        | —        | —        |
| 米代川(ys)   | Ky       | —         | —        | Yy       | —        | —        |

表 5 調合およびフレッシュ性状

| 組合せ   | W/C (%) | s/a (%) | 単体量 ( $\text{kg/m}^3$ ) |     |     |      | フレッシュ性状 |           |                            |
|-------|---------|---------|-------------------------|-----|-----|------|---------|-----------|----------------------------|
|       |         |         | W                       | C   | S   | G    | 空気量 (%) | スランプ (cm) | 単位容積質量 ( $\text{kg/m}^3$ ) |
| Kk45  | 45      | 38.2    | 176                     | 391 | 651 | 1057 | 3.4     | 18.5      | 2275                       |
| Ko45  | 45      | 33.0    | 179                     | 398 | 571 | 1137 | 3.2     | 19.0      | 2284                       |
| KY45  | 45      | 38.2    | 176                     | 391 | 632 | 1057 | 2.8     | 19.0      | 2255                       |
| Ok45  | 45      | 34.4    | 181                     | 402 | 579 | 1075 | 3.4     | 18.5      | 2237                       |
| Oo45  | 45      | 33.2    | 178                     | 396 | 576 | 1103 | 3.0     | 19.0      | 2253                       |
| Yk45  | 45      | 35.9    | 186                     | 413 | 596 | 1021 | 3.6     | 18.5      | 2217                       |
| Yy45  | 45      | 40.7    | 183                     | 407 | 661 | 952  | 2.8     | 19.0      | 2203                       |
| Mk45  | 45      | 34.2    | 180                     | 400 | 577 | 1092 | 4.0     | 18.5      | 2249                       |
| Mm45  | 45      | 36.0    | 180                     | 400 | 604 | 1062 | 3.3     | 20.0      | 2246                       |
| SZk45 | 45      | 35.3    | 184                     | 409 | 589 | 1097 | 4.3     | 18.0      | 2279                       |
| SRk45 | 45      | 34.8    | 182                     | 404 | 584 | 1058 | 3.7     | 17.5      | 2229                       |
| Kk55  | 55      | 41.2    | 169                     | 307 | 738 | 1056 | 2.9     | 18.5      | 2271                       |
| Ko55  | 55      | 36.3    | 172                     | 313 | 660 | 1137 | 4.2     | 19.5      | 2282                       |
| KY55  | 55      | 41.2    | 169                     | 307 | 716 | 1056 | 3.7     | 19.0      | 2249                       |
| Ok55  | 55      | 37.6    | 174                     | 316 | 666 | 1076 | 3.4     | 18.5      | 2233                       |
| Oo55  | 55      | 37.0    | 169                     | 307 | 677 | 1099 | 3.4     | 19.0      | 2253                       |
| Yk55  | 55      | 39.3    | 178                     | 324 | 690 | 1022 | 3.4     | 17.0      | 2213                       |
| Yy55  | 55      | 43.7    | 176                     | 320 | 747 | 952  | 3.4     | 18.0      | 2195                       |
| Mk55  | 55      | 37.5    | 173                     | 315 | 666 | 1092 | 3.4     | 18.0      | 2245                       |
| Mm55  | 55      | 39.2    | 173                     | 315 | 691 | 1062 | 3.8     | 19.5      | 2241                       |
| SZk55 | 55      | 38.7    | 177                     | 322 | 681 | 1095 | 4.1     | 18.0      | 2274                       |
| SRk55 | 55      | 38.1    | 175                     | 318 | 673 | 1058 | 4.2     | 17.5      | 2224                       |
| Kk65  | 65      | 43.6    | 167                     | 257 | 801 | 1040 | 3.4     | 17.5      | 2265                       |
| Ko65  | 65      | 38.8    | 170                     | 262 | 724 | 1121 | 4.7     | 19.5      | 2277                       |
| KY65  | 65      | 43.9    | 168                     | 258 | 781 | 1032 | 4.7     | 17.0      | 2239                       |
| Ok65  | 65      | 40.2    | 172                     | 265 | 731 | 1059 | 4.3     | 19.5      | 2227                       |
| Oo65  | 65      | 39.6    | 172                     | 265 | 736 | 1070 | 3.5     | 22.0      | 2243                       |
| Yk65  | 65      | 41.8    | 177                     | 272 | 752 | 1004 | 3.5     | 18.5      | 2206                       |
| Yy65  | 65      | 46.1    | 174                     | 268 | 810 | 936  | 3.3     | 19.5      | 2187                       |
| Mk65  | 65      | 40.0    | 172                     | 265 | 727 | 1074 | 4.4     | 17.5      | 2238                       |
| Mm65  | 65      | 40.0    | 172                     | 265 | 723 | 1074 | 4.0     | 20.0      | 2233                       |
| SZk65 | 65      | 41.2    | 175                     | 269 | 745 | 1079 | 3.9     | 18.0      | 2268                       |
| SRk65 | 65      | 40.6    | 173                     | 266 | 737 | 1042 | 4.3     | 18.5      | 2218                       |

### 4.3 超音波速度試験結果

図3は超音波速度と動弾性係数との関係を示したものである。点線で示した曲線は赤萩が普通骨材を使用した場合における既往の実験データから導き出した関係式  $y=1.16x^{0.383}$  である。<sup>2)</sup> 図を見ると、大部分のコンクリートがこの曲線に近い値を示している。つまり低品質骨材を使用した場合でも、超音波速度と動弾性係数との関係に大差がないことが推測される。また今回の結果から導き出した回帰式は  $y=1.85x^{0.25}$  となり、赤萩式より緩やかなカーブを描くような形となった。

### 4.4 中性化試験結果

図4は圧縮強度と中性化速度係数の関係を示したものである。図を見ると1年（気中）において、中性化速度係数は圧縮強度の低いところと高いところでの差がかなり大きい。31年では比較的那その差が小さいことが分かった。また、図中にある点線は長谷川ら<sup>3)</sup>が、破線は建研<sup>4)</sup>が導き出した関係式であり、共に普通骨材を使用した場合の式である。この2つのうち、建研が求めた式にかなり近い値を示した。これらのことから、コンクリートの年数経過に伴う中性化の進行速度は普通骨材を使用した場合とほぼ変わらないことが推測される。

## 5. 試験結果および考察（屋内保存）

### 5.1 動弾性係数試験結果

図5は圧縮強度と動弾性係数の関係を示す。図中の実線は普通骨材を使用した場合、点線は低品質骨材を使用した場合を示す。動弾性係数は粗骨材に普通骨材を用いたものの方が全体的に大きく、水セメント比が高くなるにつれて動弾性係数の値は小さくなった。動弾性係数の値を低品質骨材を使用したものと、粗骨材・細骨材共に普通骨材を使用している  $K_k$  と比較すると、平均的に80~90%低下する結果となった。低品質骨材を用いた場合、普通骨材を使用した  $K_k$  に近い値を示しているものもあるが、骨材間の品質の差が大きいため、動弾性係数の幅を小さくするのは難しいと推測される。

### 5.2 超音波速度試験結果

図6は動弾性係数と超音波速度との関係を示す。図中の実線は今回の試験結果から求めた回帰式であり、点線は赤萩式を示している。超音波速度において、水セメント比による差はほとんど見られず、普通骨材を使用したものと低品質骨材を使用したものと明確な違いは見られなかった。

本実験の回帰式の傾きが赤萩式よりも小さくなり、骨材の種類によっては水セメント比が低いにもかかわらず超音波速度が低いものがある。一点鎖線で同じ骨材を結んでいるものは細・粗骨材に普通骨材を使用したもので、長期材齢においては、赤萩式には適合しなかった。

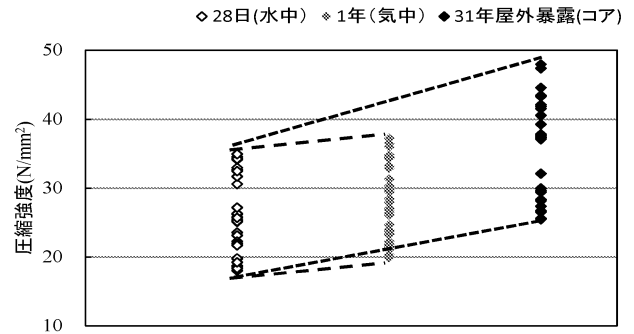


図1 圧縮強度試験結果

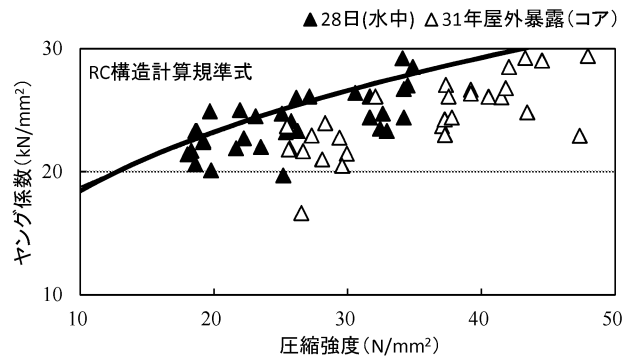


図2 圧縮強度とヤング係数の関係

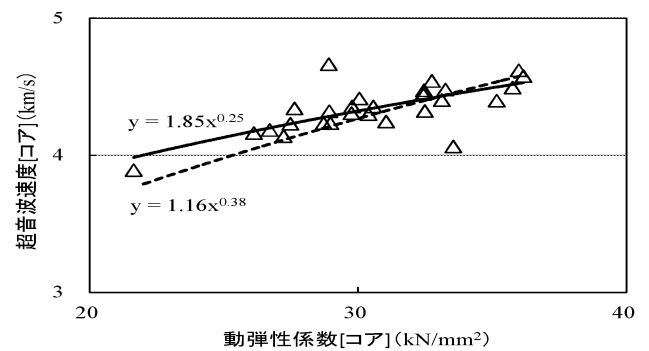


図3 超音波速度と動弾性係数の関係

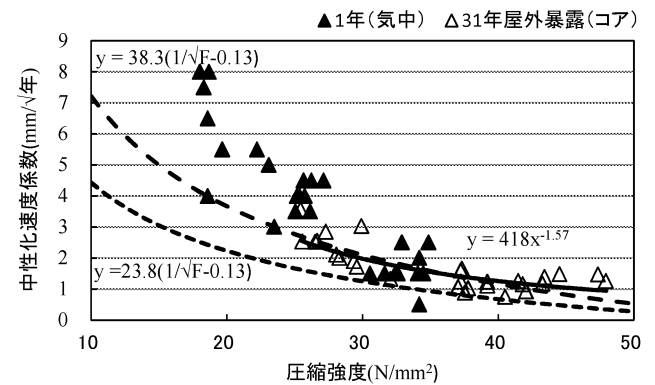


図4 圧縮強度と中性化速度係数の関係

### 5.3 中性化試験結果

図7に材齢25年および31年における圧縮強度と中性化速度係数の関係を示す。図の点線と一点鎖線は長谷川らの式と建研式を示している。材齢25年の図を見ると中性化速度係数はほぼ建研式に一致しているのに対して、材齢31年の図を見ると中性化速度係数は水セメント比55~45%にかけて建研式からやや離れた。今回の試験では建研式よりも中性化の進行が遅れている結果となった。

図8に骨材全体の吸水率と中性化速度係数の関係を示す。低品質骨材を使用したコンクリートは水セメント比が小さくなるにつれて、中性化速度係数の差が小さくなった。また、骨材全体の吸水率と中性化速度係数の間には明確な関係は見られなかった。特に水セメント比が45%の場合、骨材の差はほとんど見られなかった。この結果を見ると、骨材全体の吸水率はコンクリートの中性化にあまり影響を及ぼさないと推測される。

### 6. まとめ

低品質骨材を用いたコンクリートの長期性状について実験的検討を行った結果は次のようにまとめられる。

- 1) 材齢31年における屋外暴露の圧縮強度は28日よりも上昇しているが、ヤング係数については、ほぼ横ばいとなった。
- 2) 超音波速度は、動弾性係数との関係において、屋外暴露では普通骨材を用いたコンクリートに近い値を示したが、屋内保存では低い値を示した。
- 3) 中性化については、屋外暴露と屋内保存のいずれの場合も普通骨材と大きな差は見られなかった。

### 謝辞

本研究を実施するに当たり、建築研究所の鹿毛忠継氏と日東コンクリートの田中斉氏の協力を得た。記して謝意を表します。

### 参考文献

- 1) 友沢史紀、耕田佳寛、田中斉：低品質の骨材を用いたコンクリートの性質、コンクリート工学年次論文集、Vol.4、pp.97-100、1982.6
- 2) 長谷川拓哉、千歩修：文献調査に基づく屋外の中性化進行予測、コンクリート工学年次論文集、Vol.28、No.1、pp.665-670、2006.6
- 3) 赤荻満、阿部道彦：動弾性係数による高強度域を含むコンクリートの物性評価、コンクリート構造物の非破壊検査 論文集、Vol.3、pp.1-6、2009.8
- 4) 阿部道彦：コンクリートの中性化試験データの表示方法、建設省建築研究所 春季研究発表会、聴講資料、pp.9-18、1999.5

\*1 工学院大学建築学部建築学科 教授

\*2 工学院大学建築学部建築学科

\*3 同上

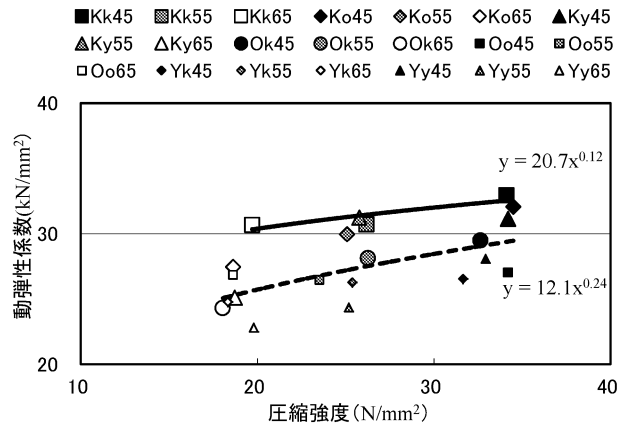


図5 圧縮強度と動弾性係数の関係

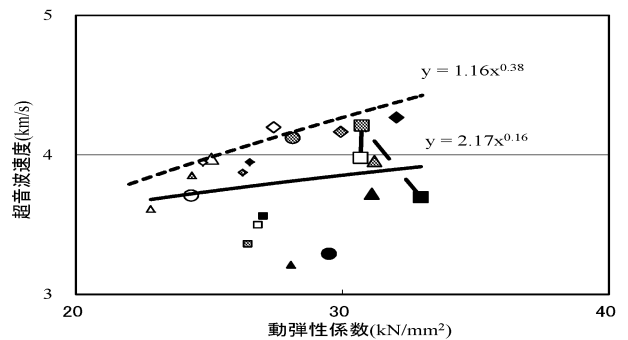


図6 動弾性係数と超音波速度の関係

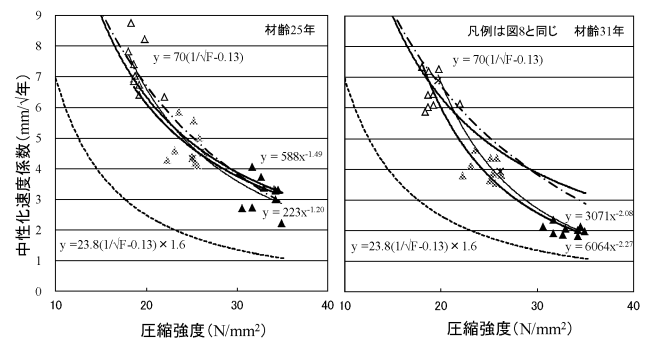


図7 圧縮強度と中性化速度係数の関係

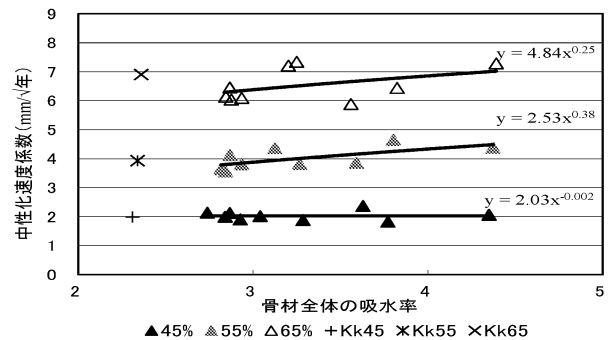


図8 骨材全体の吸水率と中性化速度係数の関係

## コンクリートへの塩化物イオン浸透における促進試験方法の検討に関する実験的研究

コンクリート 塩化物イオン 促進試験 乾湿繰返し 拡散係数 金子 樹\* 須藤智大\*\*  
 阿部道彦\*\*\*

### 1. はじめに

鉄筋コンクリート構造物の劣化要因の1つとして「塩害」が挙げられる。塩害とはコンクリート中に塩化物イオンが存在することで、鉄筋の不動体被膜が破壊され、鉄筋が腐食し（さび）やすい状態となる現象である。また、腐食した鉄筋は断面欠損や、かぶりコンクリートの剥落の原因となり構造物の耐久性能、構造性能を低下させる。

コンクリート中への塩化物イオンの供給は、製造段階におけるコンクリート材料に由来する内在型と、供用段階において海水、波しぶきおよび飛来塩分がコンクリート表面に付着、浸透する外来型がある。特に建築分野においては飛来塩分による塩害被害が海岸地域で広く問題となり、建物を長期にわたり健全に使用するためには注意が必要となる。

実験室におけるコンクリートへの塩化物イオンの浸透促進実験は、これまでいくつかの報告<sup>例え<sup>1)</sup></sup>~<sup>3)</sup>があるものの標準化された試験方法がないため実験条件はそれぞれ異なる。そこで、本研究では促進方法の違いが塩化物イオンの浸透におよぼす影響について実験を行った。

### 2. 実験概要

実験は水セメント比 50 および 60%で行い、浸透促進試験開始までの前養生は、中性化促進試験同様<sup>1)</sup>に4週水中+4週空中（共に20℃）とした。

促進環境は、既往の研究<sup>1)~3)</sup>を参考に、温度50℃でのNaCl 3%水溶液への浸漬（湿潤状態）と乾燥との乾湿繰返しとした。

促進条件は表1に示すように7日間で1サイクルとなる4パターンとし、乾燥および湿潤日数の異なるCase.1~3と、Case.1と日数割は同じものの、1サイクルでの乾湿繰返し回数が異なるCase.4とした。

塩化物イオンの測定は10および20サイクルで行うこととし、本報ではこのうち10サイクルまでの結果を報告する。

### 3. 使用材料およびコンクリートの調合

セメントは普通ポルトランドセメント（密度：3.16g/cm<sup>3</sup>、比表面積：3316cm<sup>2</sup>/g、塩化物イオン量：0.021%）を、骨材は表2に示す品質の大井川産陸砂と青梅産硬質砂岩砕石2005を使用した。練混ぜ水は東京都八王子市の上水道水（塩化物イオン量：4.9mg/L<sup>4)</sup>）を、化学混和剤はリグニンスルホン酸系AE減水剤を使用した。

表3にコンクリートの調合およびコンクリート試験結果を示す。コンクリートの調合は水セメント比50%および60%で目標スランブ18±2.5cm、目標空

表1 促進サイクル

| 日数     | 1  | 2 | 3  | 4  | 5  | 6  | 7 |
|--------|----|---|----|----|----|----|---|
| Case.1 | 湿潤 |   |    |    |    | 乾燥 |   |
| Case.2 | 湿潤 |   |    |    | 乾燥 |    |   |
| Case.3 | 湿潤 |   |    | 乾燥 |    |    |   |
| Case.4 | 湿潤 |   | 乾燥 |    | 湿潤 | 乾燥 |   |

表2 使用骨材の品質

|     | 種類 | 最大寸法<br>(mm) | 絶乾密度<br>(g/cm <sup>3</sup> ) | 吸水率<br>(%) | 実積率<br>(%) | 粗粒率  |
|-----|----|--------------|------------------------------|------------|------------|------|
| 細骨材 | 陸砂 | 5            | 2.60                         | 1.69       | —          | 2.78 |
| 粗骨材 | 砂岩 | 20           | 2.62                         | 0.95       | 61.5       | 6.85 |

表3 コンクリートの調合とコンクリート試験結果

| W/C<br>(%) | s/a<br>(%) | 単位量<br>(kg/m <sup>3</sup> ) |     |     |     | フレッシュ<br>コンクリート |            | コンクリート密度<br>(kg/m <sup>3</sup> ) |               | 圧縮強度<br>(N/mm <sup>2</sup> ) |               |
|------------|------------|-----------------------------|-----|-----|-----|-----------------|------------|----------------------------------|---------------|------------------------------|---------------|
|            |            | W                           | C   | S   | G   | スランブ<br>(cm)    | 空気量<br>(%) | 4週水中                             | 4週水中<br>+4週空中 | 4週水中                         | 4週水中<br>+4週空中 |
| 50         | 46.6       | 174                         | 348 | 824 | 945 | 20.5            | 5.0        | 2350                             | 2299          | 46.5                         | 51.9          |
| 60         | 48.0       | 174                         | 291 | 874 | 945 | 19.5            | 4.8        | 2347                             | 2315          | 35.4                         | 42.4          |

\* : (株)長谷工コーポレーション 技術研究所, \*\* : 工学院大学建築学科環境建築コース4年  
 \*\*\* : 工学院大学建築学部 教授 工博

気量  $4.5 \pm 0.5\%$  とし、粗骨材かさ容積は  $0.58\text{m}^3/\text{m}^3$ 、  
 AE 減水剤使用量はセメント質量  $\times 0.25\%$  で一定と  
 した。

#### 4. 供試体の作製および試験方法

コンクリートは温度  $20^\circ\text{C}$ 、湿度  $60\% \text{R.H.}$  の恒温恒  
 湿室にて室温に調整した材料を用い、容量  $50\text{L}$  の水  
 平パン型ミキサで練り混ぜた。

塩化物イオン浸透促進試験用の供試体は、寸法  $10$   
 $\times 10 \times 40\text{cm}$  とし、鋼製型枠を用いて打設、成型し翌  
 日に脱型した。脱型後の供試体は標準水中養生を行  
 い、材齢  $4$  週で水揚げ、 $8$  週まで上記室内にて  $20^\circ\text{C}$   
 気中養生を行った。なお、供試体は各促進条件につ  
 き  $1$  本作製した。

図1に供試体の取扱い方法を示す。供試体は  $10 \times$   
 $10\text{cm}$  の小口  $2$  面を塩化物イオン浸透面として開放

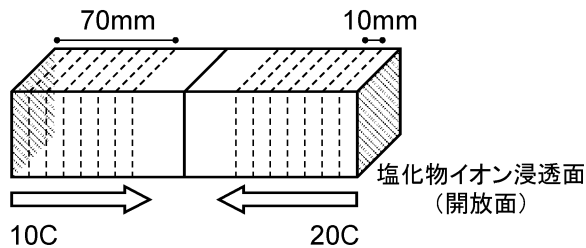


図1 供試体の取扱い方法

し、その他  $4$  面は気中養生中 (材齢  $7$  週目) にエポ  
 キシ樹脂を用いてシール処理を施した。促進期間は  
 $10$  および  $20$  サイクルとし、 $10$  サイクル終了時点で  
 半分に切断、 $20$  サイクル用は切断面をシール処理  
 した後、促進試験を継続した。

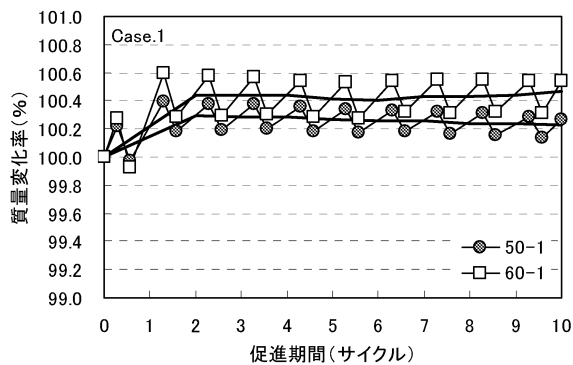
塩化物イオン量の測定は、JIS A 1154「硬化コンク  
 リート中に含まれる塩化物イオンの試験方法」に準  
 拠し、電位差滴定法により全塩化物イオン量を測定  
 した。分析は浸透面より  $10\text{mm}$  ずつ、深さ  $70\text{mm}$  ま  
 で行った。分析試料の採取は、乾式コンクリートカ  
 ッターで  $10\text{mm}$  の厚さにスライスした後、エポキシ  
 樹脂付着部分を除去、 $150\mu\text{m}$  のふるいを通過するま  
 で微粉碎とした。

#### 5. 実験結果

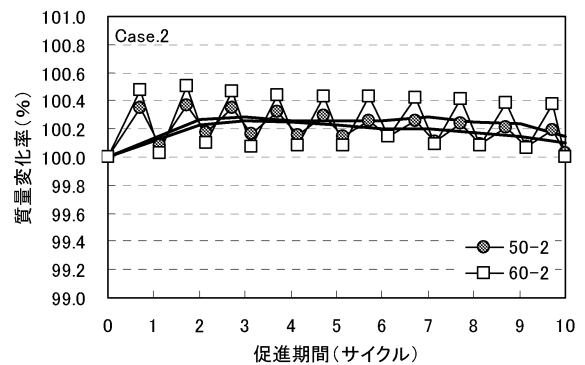
##### 5.1 乾湿繰返しによる質量変化

図2に促進期間と供試体の質量変化率を示す。質  
 量変化率は乾湿切替え時に測定した供試体質量を、  
 浸透促進 (乾湿繰返し) 開始前を基準とした百分率  
 で表した。また、図中の太線は  $2$  サイクル以降にお  
 ける各サイクル内での平均値を示す。

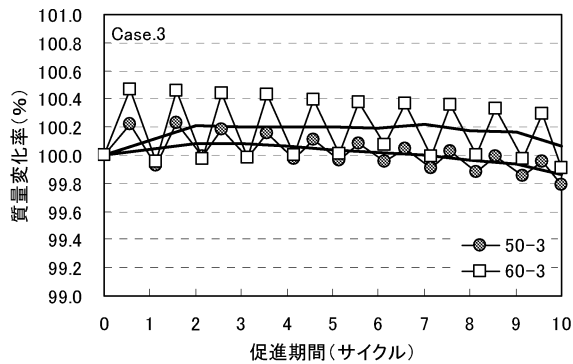
W/C  $60\%$  では、 $50\%$  よりも促進開始  $1$  サイクル目  
 での吸水による質量増加が大きく、その後も乾湿に



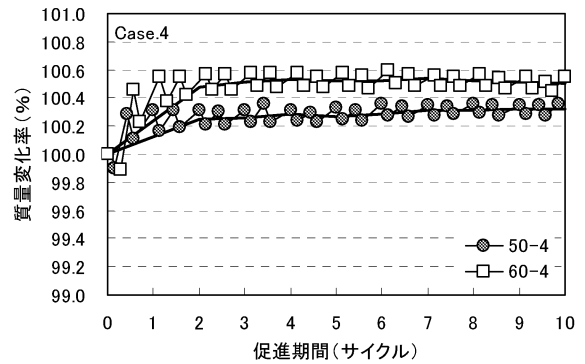
a) Case. 1



b) Case. 2



c) Case. 3



d) Case. 4

図2 促進期間と質量増減率

よる質量変化の幅は大きいですが、全体の質量変化では W/C の違いによる差は小さい。

促進条件の比較では、1 サイクル内での乾燥期間が 2 日となる Case.1 および Case.4 では、促進期間が経過しても質量変化は小さく、ほぼ横ばいであった。一方で、乾燥期間が 3 日以上となる Case.2 および Case.3 では、6~7 サイクル以降で質量はやや減少傾向となり、特に Case.3 の W/C 50% では、7 サイクル以降で促進開始前よりも質量は小さくなった。

## 5. 2 塩化物イオン量

図 3 に浸透面からの距離と全塩化物イオン量の関係を示す。なお、浸透面からの距離は、深さ 0~10mm より採取した試料を 5mm、10~20mm からを 15mm のように 65mm までとした。

浸透面からの距離と全塩化物イオン量の関係は、前述の質量変化の関係と同様に Case.1・Case.4 と Case.2・Case.3 とで傾向が分かれた。

塩化物イオン量は、Case.1 および Case.4 では最浅部となる 5mm では W/C 50% の方が 60% よりも大きくなるが、15mm 以上では W/C 60% で差は小さいが 50% よりもやや大きくなった。Case.3 および Case.4 では、浸透面から 35mm までは W/C 60% が 50% より大きく、45mm 以上ではほぼ同等となった。

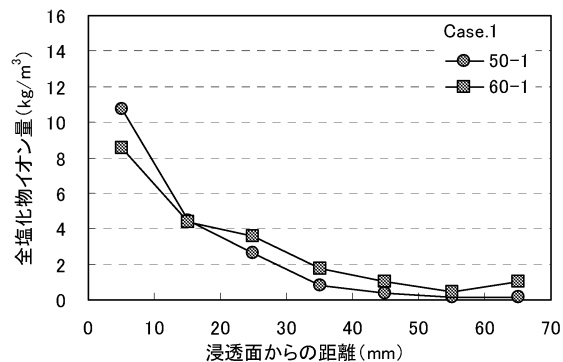
図 4 に全塩化物イオン量の累積を示す。測定した全塩化物イオン量の累積は Case.4 の W/C 50% の方が 60% よりもやや大きいものの、最浅部の 5mm を除く 15mm 以上だけで比較すると、全ての条件で W/C 60% の方が大きかった。

## 5. 3 浸透面の塩化物イオンおよび拡散係数

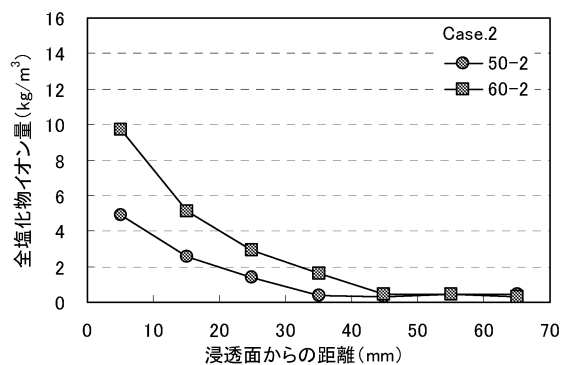
図 5 に浸透面の塩化物イオン量  $C_0$  を、図 6 に見かけの拡散係数  $D$  をそれぞれ示す。浸透面の塩化物イオン量および見かけの拡散係数は一般的に用いられる拡散理論を適用した拡散方程式 (式 1) を用いて、最小二乗法などを用いて算出した。

$$C(x_i, t) = C_0 \left\{ 1 - \operatorname{erf} \left( \frac{x_i}{2\sqrt{D \cdot t}} \right) \right\} \quad (\text{式 1})$$

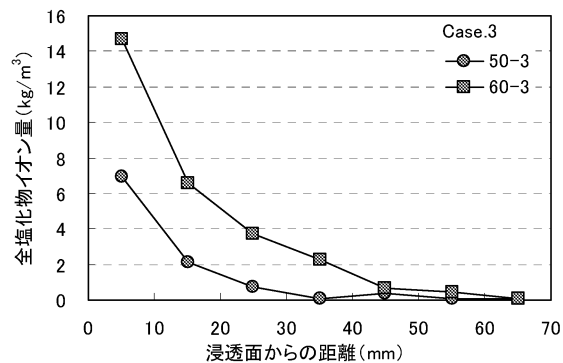
ここに、 $C(x_i, t)$ : サイクル  $t$ 、深さ  $x_i$  における塩化物イオン量 ( $\text{kg/m}^3$ )、 $C_0$ : 浸透面の塩化物イオン量、 $x_i$ : 浸透面からの距離 (mm)、 $D$ : 見かけの拡散係数 ( $\text{cm}^2/\text{サイクル}$ )、 $t$ : サイクル数 (サイクル)、 $\operatorname{erf}$ : 誤差関数



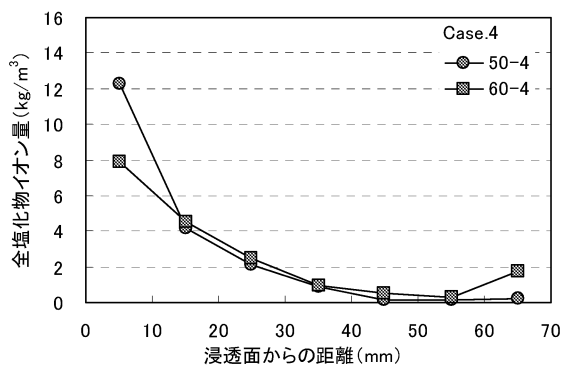
a) Case. 1



b) Case. 2



c) Case. 3



d) Case. 4

図 3 浸透面からの距離と全塩化物イオン量

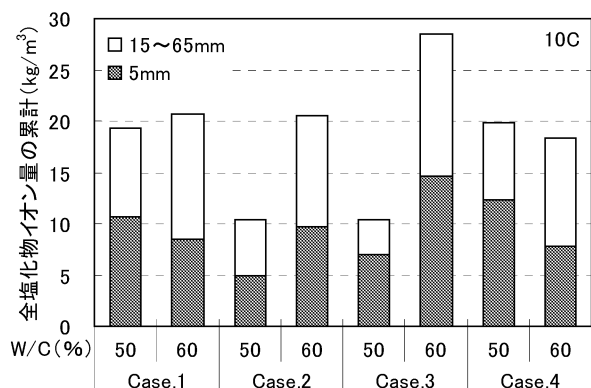


図4 全塩化物イオン量の累積

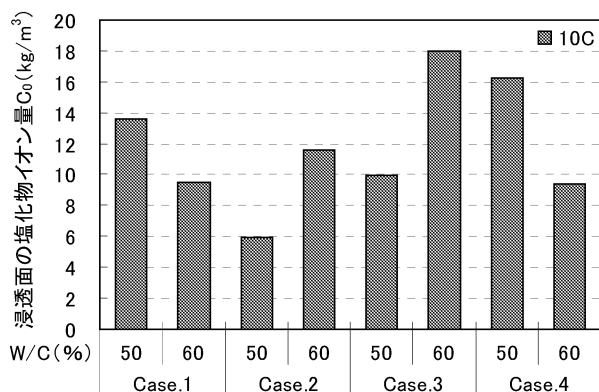


図5 浸透面の全塩化物イオン  $C_0$

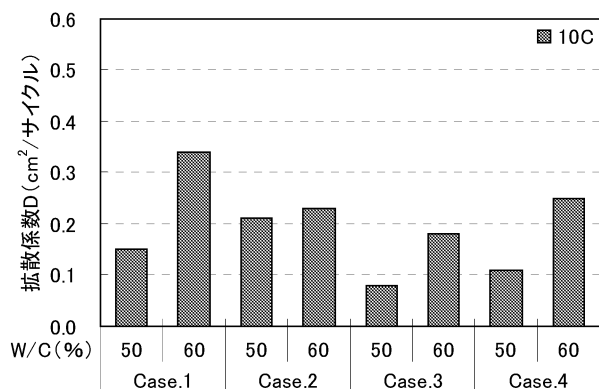


図6 見かけの拡散係数 D 量

浸透面の塩化物イオン量は、前述した 5mm の測定値と同様に、Case.1 と Case.4 では W/C 60% < 50%、Case.2 と Case.3 では W/C 50% < 60% と乾燥期間によって異なった。

しかし、見かけの拡散係数では 4 パターン全ての促進条件において W/C 60% の方が 50% よりも大きく、水セメント比によって大別された。これは、前述したように浸透面に近い部分では水セメント比による違いが促進条件により見られるが、深部では総じて W/C 60% の方が塩化物イオンの浸透量が多か

ったためと考えられる。

以上より、コンクリート中への塩化物イオンの浸透は 1 サイクルでの乾湿繰返し回数 (Case.1 と 4 の関係) でなく、乾湿期間の日数の割合 (Case.1、2、3 の関係) によって異なる。

## 6. まとめ

コンクリート中への塩化物イオン浸透促進試験方法における促進条件についてまとめると以下の通りとなる。

- 1) 促進期間の経過による質量変化率は、1 サイクル 7 日のうち、乾燥 3 日以上で減少傾向となる。
- 2) 全塩化物イオン量は最浅部 5mm では、1 サイクル中、乾燥 2 日では W/C 60% < 50% となるが、乾燥 3、4 日では W/C 50% < 60% となる。
- 3) 深さ 15mm 以上での全塩化物イオン量は、促進条件に係わらず W/C 50% < 60% となる。
- 4) 浸透面の塩化物イオン量は 2) と同様の傾向となる。
- 5) 見かけの拡散係数は、促進条件によらず、W/C 60% の方が 50% よりも大きくなる。
- 6) コンクリート中への塩化物イオンの浸透は 1 サイクルでの乾湿繰返し回数でなく、乾湿期間の日数の割合によって異なる。

## 7. おわりに

本報では、塩化物イオン浸透促進試験における試験方法の検討について 10 サイクルまでの結果を報告した。今後 20 サイクルでのデータの測定、解析を実施予定である。また、既往の研究による屋外暴露データと比較により、促進試験方法を決定し、コンクリート中への塩化物イオンの浸透拡散性状について実験を行う予定である。

## 参考文献

- 1) 梶田佳寛、友沢史紀、安田正雪、原謙治：コンクリート中への塩化物浸透速度に関する実験、コンクリート工学年次論文集 Vol.10-2、pp.493~498、1988
- 2) 高橋英孝、湯浅昇、松井勇、笠井芳夫：温度の違いがコンクリートの塩化物イオン浸透性に及ぼす影響、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.1295~1296、2010.09
- 3) 徳村忠太、山田義智：普通エコセメントを用いたコンクリートの塩化物イオン浸透性状に関する実験的研究、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.477~478、2006.09
- 4) 東京都水道局：平成 23 年度 東京都水道局水質資料集、2012

# 混合セメントを使用したコンクリートの促進中性化試験の迅速化

促進中性化 高炉セメント フライアッシュセメント

中村 則清\*1

阿部 道彦\*2

## 1. 研究の背景と目的

近年、コンクリート構造物の長寿命化が求められ、コンクリートの品質も高強度化および高耐久化へ進歩しつつある。コンクリート構造物の劣化現象には、アルカリ骨材反応、凍害、塩害などがあるが、それらはある限定された環境や使用材料など条件がそろった場合に生じる劣化である。しかし、中性化は大気中にあるコンクリート構造物に起こりうる一般的な劣化現象である。

コンクリートの促進中性化試験方法は JIS A 1153 で規定されているが、これは普通ポルトランドセメントを使用したコンクリートを主な対象としており、産業副産物を起源とする混合セメントを使用したコンクリートでは養生が不十分と考えられる。本報告では高炉セメント B 種およびフライアッシュセメント B 種を使用したコンクリートを対象に、促進中性化開始前の養生条件が促進中性化に及ぼす影響について実験的検討を行い、強度発現の遅いセメントを用いた場合に対する促進養生の効果を把握することとした。

## 2. 実験概要

実験の要因と水準を表 1 に示す。水セメント比は 3 水準とした。養生方法については、JIS の標準養生 (20℃水中養生 4 週) を基準に、20℃封かん養生と、養生期間の短縮を意図した 40℃封かん養生とし、それぞれ養生期間をセメント種類ごとに設定した。

## 3. 実験方法

### 3.1 使用材料および割合

セメントは高炉セメント B 種およびフライアッシュセメント B 種を使用した。(以下、BB および FB と略記する) それぞれ密度 (g/cm<sup>3</sup>) は 3.02, 2.97 で、比表面積 (cm<sup>2</sup>/g) は 3920, 3480 である。細骨材は、大井川産陸砂 (絶乾密度: 2.68 g/cm<sup>3</sup>, 吸水率: 1.32%, 粗粒率: 2.87) を使用し、粗骨材は青梅産硬質砂岩砕石 2005 (絶乾密度: 2.68 g/cm<sup>3</sup>, 吸水率: 0.69%, 実積率: 60.9%) を使用した。混和剤は、AE 減水剤を、水は水道水を使用した。割合は、目標スランブ 18±2.5 cm, 目標空気量 4.5±1.5% に設定した。表 2 に割合およびフレッシュ試験結果を示す。

### 3.2 試験方法の詳細

供試体寸法については促進中性化試験用に

表 1 要因と水準

| 要因                          | 水準                                      |
|-----------------------------|---|
| 水セメント比 (%)                  | 50, 60, 70                              |
| セメントの種類                     | 高炉セメント B 種 (BB)<br>フライアッシュセメント B 種 (FB) |
| 養生方法<br>と養生期間<br>(Week = W) | 20℃水中 (W20) 4W                          |
|                             | 20℃封かん (S20) 4W, 8W, 13W                |
|                             | 40℃封かん (S40) 1W, 2W, 4W, 8W             |

表 2 割合およびフレッシュ試験結果

| 種類   | W/C (%) | s/a (%) | 単位量 (kg/m <sup>3</sup> ) |     |     |     | フレッシュ性状   |         |                             | F28 (N/mm <sup>2</sup> ) |
|------|---------|---------|--------------------------|-----|-----|-----|-----------|---------|-----------------------------|--------------------------|
|      |         |         | W                        | C   | S   | G   | スランブ (cm) | 空気量 (%) | 単位容積質量 (kg/m <sup>3</sup> ) |                          |
| BB50 | 50      | 44.7    | 178                      | 356 | 803 | 966 | 19.5      | 3.5     | 2311                        | 37.7                     |
| BB60 | 60      | 46.3    | 178                      | 297 | 856 | 966 | 19.0      | 3.4     | 2225                        | 30.1                     |
| BB70 | 70      | 49.2    | 178                      | 254 | 928 | 933 | 17.0      | 3.2     | 2298                        | 23.5                     |
| FB50 | 50      | 44.8    | 176                      | 352 | 805 | 966 | 19.0      | 4.6     | 2285                        | 35.6                     |
| FB60 | 60      | 46.4    | 176                      | 293 | 858 | 966 | 16.5      | 4.0     | 2290                        | 27.9                     |
| FB70 | 70      | 49.3    | 176                      | 251 | 930 | 933 | 18.5      | 4.1     | 2285                        | 20.9                     |

表 3 中性化速度係数 (促進 13 週)

| 養生条件    | BB50  | BB60  | BB70  | FB50  | FB60  | FB70  |
|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| S40-1W  | 4.218 | 7.553 | 8.890 | 4.485 | 6.989 | 9.499 |
| S40-2W  | 3.515 | 8.268 | 8.702 | 4.545 | 7.509 | 10.22 |
| W20-4W  | 4.775 | 6.663 | 8.905 | 4.685 | 6.689 | 8.648 |
| S20-4W  | 5.010 | 7.886 | 9.502 | 3.712 | 7.036 | 9.356 |
| S40-4W  | 3.143 | 7.248 | 8.309 | 2.291 | 6.993 | 8.926 |
| S20-8W  | 2.976 | 6.832 | 8.135 | 2.721 | 8.099 | 9.761 |
| S20-13W | 2.553 | 5.018 | 7.379 | 2.917 | 7.298 | 9.845 |
| S40-8W  | 2.940 | 7.396 | 9.280 | 1.205 | 7.131 | 9.400 |

10cm×10cm×40cm の鋼製型枠を二分割にして角柱 (10cm×10cm×20cm) を作製し、圧縮強度と中性化の関係をみるために圧縮強度用の円柱供試体 (φ 10cm×20cm) も作製し、養生終了時に試験した。養生については、材齢 1 日で型枠を取り外した後、標準養生は 20℃水中で 4 週間養生した後に、温度 20±2℃、相対湿度 60±5%RH の恒温恒湿室で 4 週間乾燥養生を行った。封かん養生は、20℃では 4, 8, 13 週間、40℃では 1, 2, 4, 8 週間養生後、温度 20±2℃、相対湿度 60±5%RH の恒温恒湿室で 4 週間乾燥養生を行った。また、恒温恒湿室で乾燥を開始させて 3~4 週の間、供試体の打込み面、底面および両端面をエポキシ樹脂型接着剤でシールした。中性化の促進条件は、温度 20±2℃、相対湿度 60±5%RH、二酸化炭素濃度 5±0.2% とし、促進材齢については 1, 4, 8, 13, 26 週間とした。

\*1 建材試験センター 材料グループ 主幹 \*2 工学院大学建築学科 教授



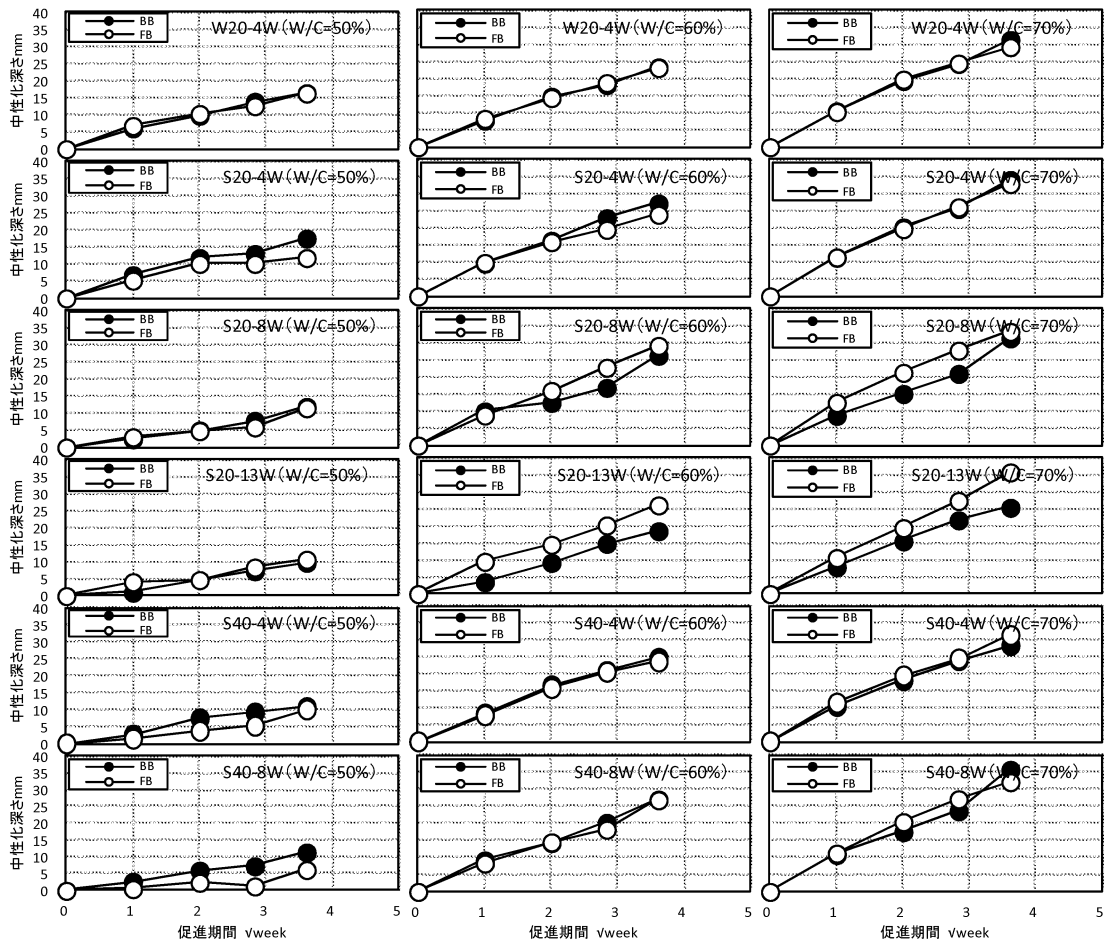


図 1 促進期間と中性化深さの関係

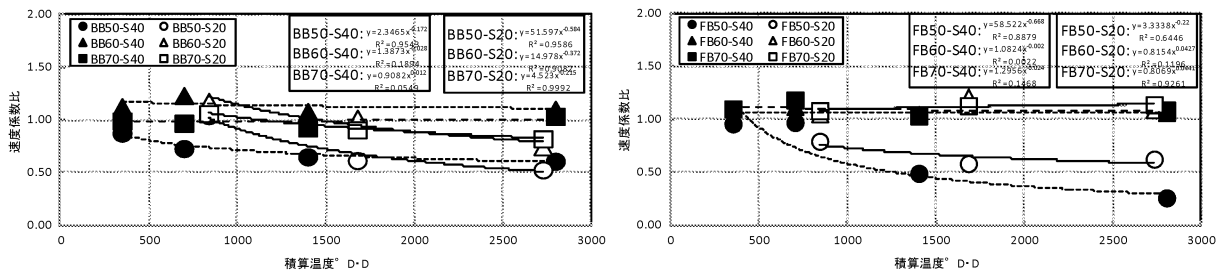


図 2 湿潤養生における積算温度と中性化速度係数比の関係

#### 4. 結果および考察

##### 4.1 中性化促進期間と中性化深さの関係

中性化促進期間 13 週(√週)までと中性化深さの関係を図 1 に示す。BB および FB とも各養生条件において  $\sqrt{t}$  則が認められた。また、水セメント比が高くなるにつれて、中性化深さが大きくなることが確認された。各セメントの水セメント比及び養生別の中性化速度係数を表 3 に示す。

##### 4.2 積算温度と中性化速度係数の関係

湿潤養生における積算温度と 20℃水中 4 週養生に対する各種封かん養生の中性化速度係数の比を図 2 に示す。BB の水セメント比 60% および 70% の 40℃封かん養生にお

いては、積算温度の増加に関わらず中性化速度係数比は 1.00 近傍で横ばいの傾向にあるが、20℃封かん養生においては積算温度の増加に伴い速度係数比は減少する傾向にある。また、水セメント比 50% においては 20℃、40℃封かん養生ともに速度係数比は積算温度の増加に伴い減少する傾向にあった。FB の水セメント比 60% および 70% においては積算温度の値に関わらず中性化速度係数比は 1.1 ~ 1.3 の範囲で横ばいの傾向にあった。水セメント比 50% においては積算温度の増加に伴い中性化速度係数比は減少する傾向にあり、40℃封かん養生においてはその傾向は顕著で積算温度 2800° D・D で 0.3 程度まで減少した。

## 鉄筋コンクリート造建築物における左官仕上材の躯体保護効果

左官仕上げ材，コンクリート，躯体保護，耐久性

鈴木志野\*1，田村雅紀\*2

### 1. はじめに

近年，地球環境問題の対策等の影響により，建設業界には産業廃棄物の削減や二酸化炭素排出量の削減等が促されている。産業廃棄物を削減することによって，二酸化炭素排出量，および，廃棄に関するコストも削減することができる。よって，鉄筋コンクリート建造物の耐久性能を向上させ，長期に渡り使用することが現在の建設業界には求められてきている。

住宅の品質確保の促進等に関する法律，および長期優良住宅の普及の促進に関する法律では，鉄筋コンクリート建造物の耐久性を向上させ，長期的に使用するため，仕上材を用いてコンクリート造建築物を保護することが可能となっている。しかしながら，その効果を確認した実験データはまだ少ないことが現状である<sup>1)2)</sup>。実際に内装に漆喰仕上げを施した鉄筋コンクリート造の蔵が長期に渡り立ち続けている例がある。

本研究では，築93年になる内壁に漆喰を塗布したコンクリート造蔵を参考にしてコンクリートに左官仕上材を塗布した場合のコンクリート造建築物の躯体保護効果を評価することを目的とする。研究の流れは，調査対象となる内壁に漆喰塗布が施されたコンクリート造蔵の調査をし，現状を把握する（研究1）。コンクリート試験体を作製し，左官仕上材を塗布して強度試験（研究2）を行う。続いて，表層性能試験（研究3）を行う。以上の研究から仕上材がコンクリートに及ぼす影響を調査する（図1）。また，本報告では研究1の実例調査，および研究2の圧縮強度試験，静弾性係数，ポアソン比，破壊臨界ひずみの試験についての報告を行う。

### 2. 研究概要

#### 2.1 左官仕上げコンクリートの実例調査（研究1）

今回の調査対象蔵の調査概要を表1に示す。外壁は仕上げモルタルの剥離が目立つが，躯体に目立つひび割れや錆汁等は見られなかった。1箇所，躯体コンクリートが剥離し内部の鉄筋が現れた部分があったが，これはかぶり厚さの問題が考えられる。蔵内部には漆喰塗装がされており，漆喰剥離が見られる箇所もあるが，現在も蔵として使用されている。

#### 2.2 使用材料と試験項目

表2～6に，使用材料および試験要因と水準，試験項目，コンクリート計画調査を示す。使用左官仕上材の種類は，漆喰，石膏，モルタル，および仕上げなしの4種類である。漆喰は消石灰をベースにスサ，糊材等が混ざった既調合のもの，石膏はα石膏ベースの既調合の薄塗壁材を使用した。仕上材としてのモルタルは水セメント比50%で作製した。また，仕上

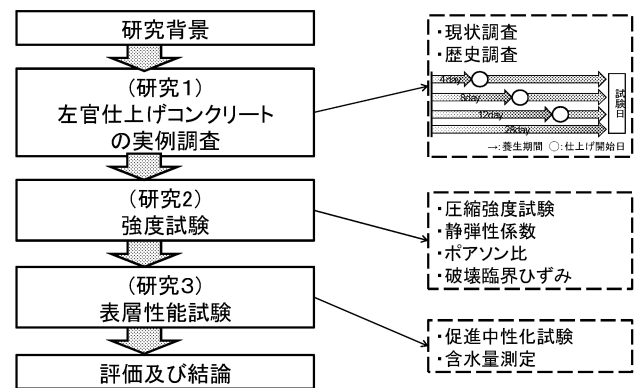


図1 研究の流れ

表1 左官仕上げコンクリート造蔵調査（研究1）

| 項目                    | 調査概要   | 写真   |   |
|-----------------------|--|--|---|
| 研究1<br>コンクリート造蔵<br>調査 | 調査実施日：2010年9月<br>所在地：東京都豊島区駒込1丁目<br>調査箇所：蔵外観<br>用途：蔵<br>竣工：大正7年（1918）<br>構造形式：鉄筋コンクリート造<br>結果：外壁に一部鉄筋露出<br>規模：外側約3.76m×約4.65m<br>内側約3.52m×約4.40m<br>壁厚 約12cm |  |  |
|                       | 調査実施日：2011年5月<br>天候：小雨<br>蔵内湿度：60%<br>調査箇所：蔵内<br>結果：蔵の内壁は漆喰塗装<br>塗装に使われている漆喰は黒色<br>一部剥離している<br>現在も蔵として使用   |  |  |

\*1 工学院大学建築系学科・学部生 \*2 工学院大学建築学部・准教授

げ開始日を仕上げ日とし、表3-4より、仕上げ日は材齢4日、8日、12日と仕上げなしの28日の4回である。材齢4日仕上げの漆喰と材齢28日仕上げなしでは封緘養生と気乾養生の2種類を作製し、残りの仕上材では気乾養生のみである。コンクリートの調合においては、後の2.4フレッシュ性状項目にて述べる。また、現在の現場施工状態に最も近い仕上げを仕上げなし28日気乾養生(以下 Na28d 表記)、材齢28日仕上げなしの封緘養生は理想的ではあるが困難な養生方法であるという考えの元で試験を行った。

### 2.3 実験方法

本研究では、100φ×200mmの円柱コンクリート試験体を全ての試験で作製し、使用した。コンクリート試験体は翌日脱型し、その後は材齢4日、8日、12日に仕上げなしのものを除いた3種類の仕上げを施し、材齢28日まで養生した。試験体の仕上げ方法は、150φ×300mmの円筒容器に各仕上材を流し込み、その中央部にコンクリート試験体を埋め固めた。試験体は、仕上材が硬化するのを待ち、仕上げ後4日で脱型を行った。漆喰仕上げにおいては、水と漆喰を練り合わせ水分が蒸発することによって硬化するので、容器内で長時間経過後も完全硬化せず、独立が困難な状態のため容器上端部のみ空気に触れている状態で養生した。また、全ての作業は20°C60%の作業室にて行った。

### 2.4 フレッシュ性状の結果

表6にコンクリート計画調合およびフレッシュ性状を示す。本研究では設計基準強度は30 N/mm<sup>2</sup>、水セメント比は55%の

表2 使用材料および左官仕上材概要

| 材料    | 記号 | 種類           | 内容                       |
|-------|----|--------------|--------------------------|
| セメント  | —  | 普通ポルトランドセメント | 密度 3.16g/cm <sup>3</sup> |
| 細骨材   | —  | 大井川産陸砂       | 表密 2.62g/cm <sup>3</sup> |
| 粗骨材   | —  | 青梅産碎石        | 表密 2.65g/cm <sup>3</sup> |
| 左官仕上材 | S  | 漆喰(既調合)      | 漆喰:水=20kg:15L            |
|       | C  | 石膏(既調合)      | 石膏:水=20kg:15L            |
|       | M  | モルタル         | 普通ポルトランドセメント<br>w/c=50%  |
|       | N  | 仕上げなし        | —                        |

表3 実験要因と水準

| 要因   | 水準                 |
|------|--------------------|
| 仕上材  | 漆喰, 石膏, モルタル, なし   |
| 仕上げ日 | 材齢4日, 8日, 12日, 28日 |
| 養生方法 | 封緘養生, 気乾養生         |

表4 試験体概要

| 仕上材     | 記号    | 仕上げ日      | 養生方法    |
|---------|-------|-----------|---------|
| 漆喰(S)   | Ss4d  | 4日目(4d)   | 封緘養生(s) |
| 漆喰(S)   | Sa4d  |           |         |
| 石膏(C)   | Ca4d  |           |         |
| モルタル(M) | Ma4d  | 8日目(8d)   | 気乾養生(a) |
| 漆喰(S)   | Sa8d  |           |         |
| 石膏(C)   | Ca8d  |           |         |
| モルタル(M) | Ma8d  | 12日目(12d) | 気乾養生(a) |
| 漆喰(S)   | Sa12d |           |         |
| 石膏(C)   | Ca12d |           |         |
| なし(N)   | Ns28d | なし(28d)   | 封緘養生(s) |
| なし(N)   | Na28d |           | 気乾養生(a) |

表5 試験項目と試験方法

| 試験項目    | 試験方法   |
|---------|--|
| フレッシュ性状 | 空気量(JIS A 1228 準拠)<br>スランブ試験(JIS A 1101 準拠)            |
| 力学特性    | 圧縮強度試験(JIS A 1108 準拠)<br>静弾性係数(JIS A 1153 準拠)<br>ポアソン比 |
| 破壊特性    | 体積ひずみ<br>破壊臨界ひずみ評価                                     |

表6 コンクリート調合およびフレッシュ性状

| W/C (%) | s/a (%) | 単位質量(kg/m <sup>3</sup> ) |     |     |      | スランブ(cm) | 空気量(%) |
|---------|---------|--------------------------|-----|-----|------|----------|--------|
|         |         | W                        | C   | S   | G    |          |        |
| 55      | 43      | 175                      | 318 | 779 | 1015 | 20       | 4.0    |

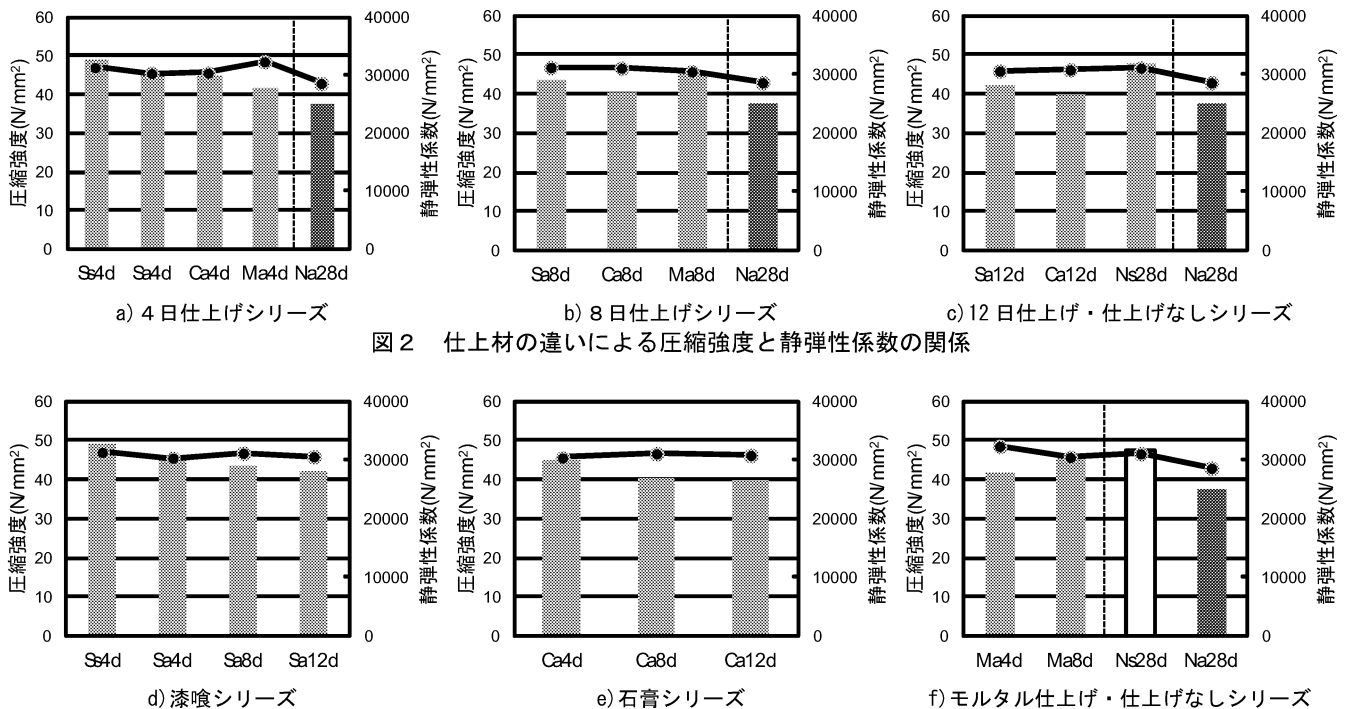


図2 仕上材の違いによる圧縮強度と静弾性係数の関係

図3 仕上げ日の違いによる圧縮強度と静弾性係数の関係

コンクリート試験体を全ての試験で使用した。

## 2.5 左官仕上げコンクリートの基礎力学特性(研究2)

### 2.5.1 圧縮強度と静弾性係数

図2, 3に仕上げ日・仕上材の違いによる圧縮強度と静弾性係数の関係を示す。試験体は、材齢29日で仕上げを剥離し、端部研磨後、24時間乾燥させ試験を行った。a)より、材齢4日に仕上げを塗布したコンクリートは全て、Na28dよりも圧縮強度が高くなる傾向がみられた。また、漆喰および石膏仕上げの試験体では圧縮強度が45 N/mm<sup>2</sup>程度であり、41 N/mm<sup>2</sup>程度のモルタル仕上げ試験体よりもやや高い値が確認できた。b), c)より、全ての仕上げ試験体でNa28dよりも高い圧縮強度が確認された。d), e)より、圧縮強度は4日仕上げが最も高い値を示し、12日仕上げが最も低い値であった。以上の結果より、コンクリートに漆喰および石膏仕上げをする手法は有効であり、打設後より早い段階で仕上げ塗布をすることによって更にその効果は高まると思われる。また、図4に示したRC構造計算規準における圧縮強度と静弾性係数の関係をみると、全ての試験体は $k_1=1$ と $k_1=1.2$ の間に静弾性係数があり、一般的な値を示していることが確認された。

### 2.5.2 破壊特性

図5にコンクリートの体積ひずみと破壊臨界点の評価を、図6に仕上げ日・仕上材別にみた破壊臨界点の比較、図7, 8に仕上げ日・仕上材の違いによる破壊臨界ひずみを示す。本

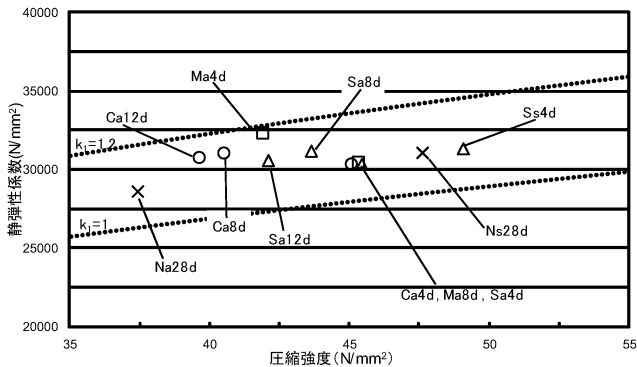


図4 RC構造計算規準における圧縮強度と静弾性係数の関係

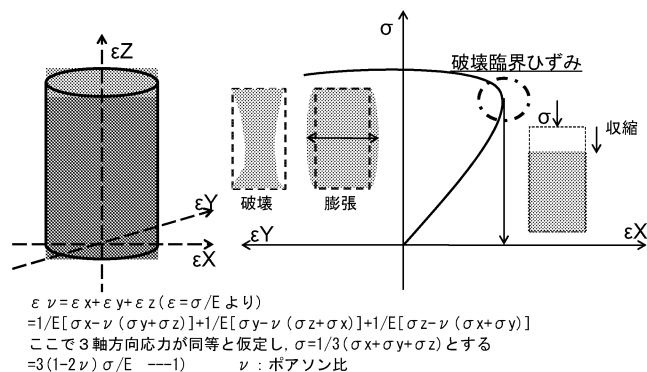


図5 コンクリートの体積ひずみと破壊臨界点の評価

試験は各仕上材の効果を厳密に評価するため、コンクリートの垂直・水平ひずみを多点同時サンプリングし、体積ひずみの評価式により、ひずみが収縮から破壊が進展して膨張に転じる変曲点で、ひび割れが進展し、不安定な破壊電播をひきおこす開始点となる破壊臨界点を評価した。図7のa)より、4日仕上げでは漆喰および石膏の体積ひずみは2300μ程度で同等の破壊臨界点を有しており、モルタル仕上げは1850μ程

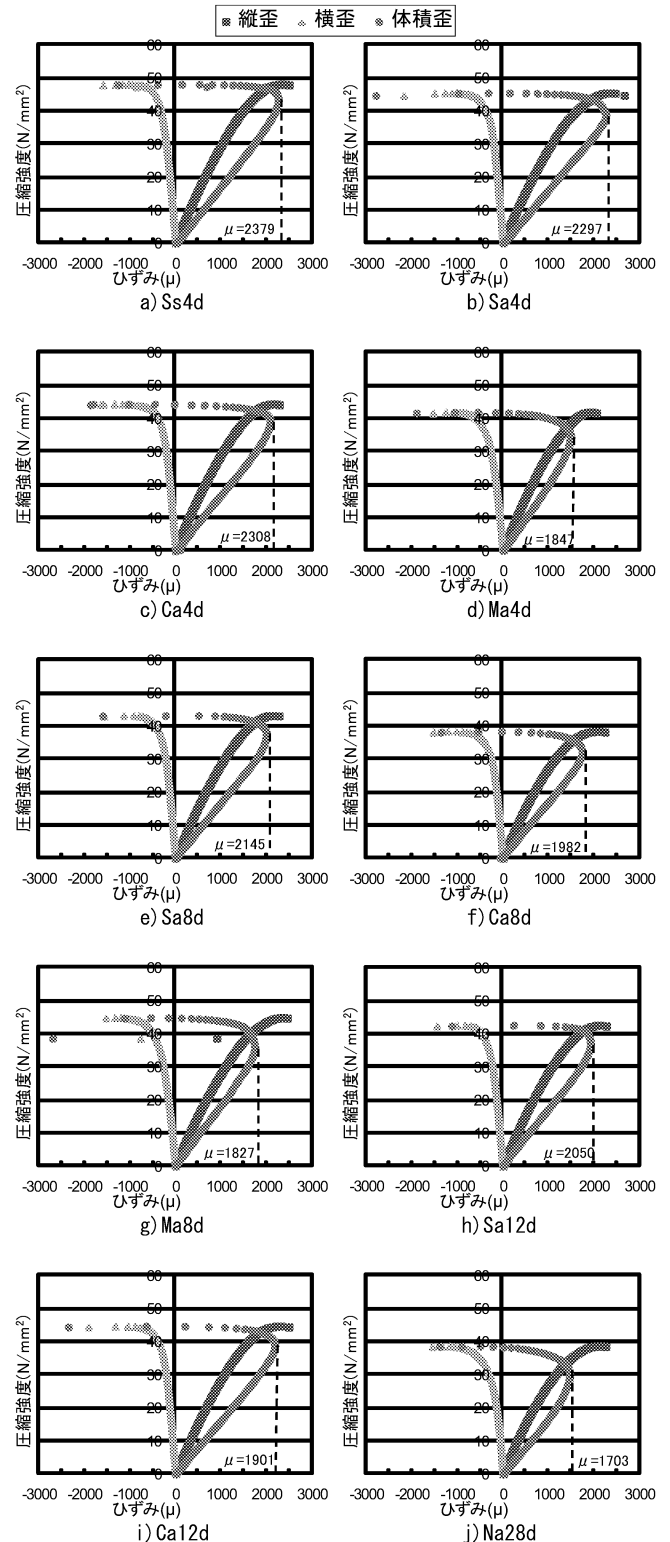


図6 仕上げ日・仕上材別にみた破壊臨界点の比較

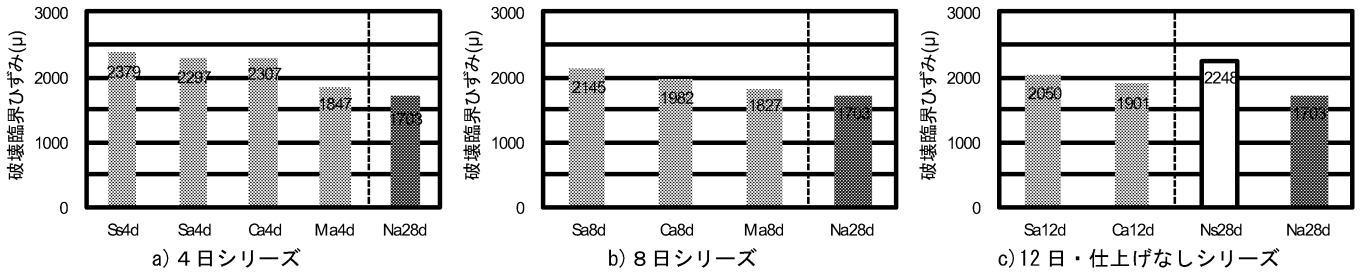


図7 仕上材の違いによる破壊臨界ひずみ

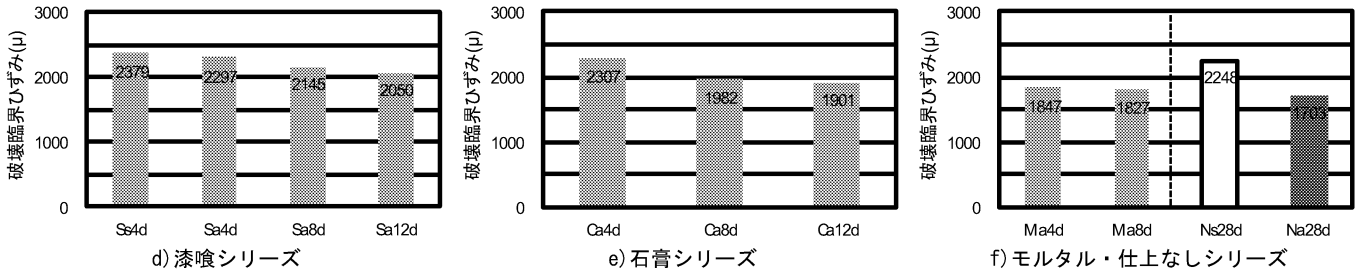


図8 仕上げ日の違いによる破壊臨界ひずみ

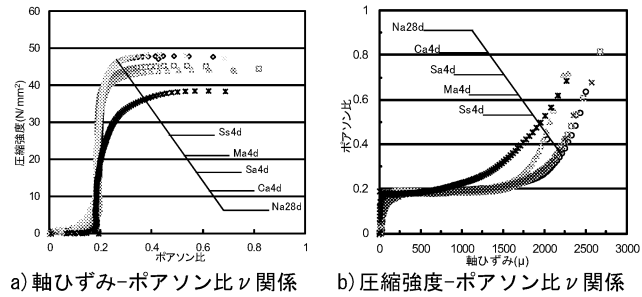


図9 仕上材の違いによるポアソン比の比較

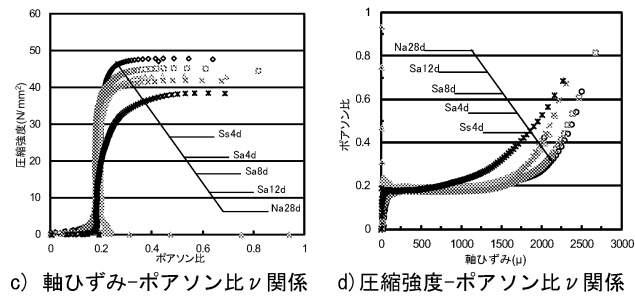


図10 仕上げ日の違いによるポアソン比の比較

度とやや低めではあるが、全ての仕上げにおいて Na28d よりも高い値が確認された。b) より、8 日仕上げの場合、漆喰および石膏仕上げの破壊臨界点は a) よりも低い数値であるが 2000  $\mu$  程度となり、モルタル仕上げの 1800  $\mu$  程度よりも高い数値が確認された。また、a) と同様に、どの仕上材も Na28d と比べると高い数値が確認された。c) より、全ての仕上げ試験体で Na28d より高い数値が確認された。a), b), c) より、全てのグラフにおいて同じ日に仕上げを施した漆喰仕上げと石膏仕上げでは、漆喰仕上げの方が高い数値が確認された。また、図 8 の d), e), f) より、どの仕上材においても、より早い段階で仕上げを塗布した場合の方が数値は高くなり、全ての試験体で Na28d よりも高い数値が確認された。

### 2.5.3 ポアソン比

図 9, 10 に軸ひずみおよび圧縮強度とのポアソン比の比較を示す。a) より、Na28d は軸方向ひずみが低い状態からポアソン比が上昇し始めており、仕上げを塗布した試験体に比べて変形抵抗性が低いことが確認された。材齢 4 日に仕上材を塗布した中では、石膏仕上げにて最も変形抵抗性が弱いことが確認されたが、b) より、Na28d と仕上げ試験体とは大きく値に差が現れる結果となった。c), d) より、仕上げ日の違う漆喰仕上げおよび Na28d との比較では、a), b) 同様に Na28d と他の試験体との差が大きく、また、仕上げ日がより早い段階の試験体にて高い変形抵抗性が確認できた。

### 3. まとめ

- 1) コンクリート打設後、より早い段階で仕上げをすると、圧縮強度および破壊臨界点は高い数値になることが確認できた。
- 2) 漆喰仕上げおよび石膏仕上げは、同仕上げ日のモルタル仕上げに比べ破壊臨界ひずみが大きくなる傾向がある。
- 3) コンクリート打設後、仕上げや封緘等をせずに気中にて養生を進めると、剛性が弱くなる傾向がある。また、より早い段階で仕上げを塗布することで剛性も高くなる傾向がある。
- 4) 漆喰、石膏、モルタルの 3 種類の材料を仕上材として用いた場合、漆喰が最もコンクリート躯体の保護効果が期待できる。

### 謝辞

本研究の実施にあたり、東京理科大学名誉教授 沖塩荘一郎先生から有益な提案を賜った。また本研究は、平成 23 年度工学院大学 UDM・PJ 研究の一部による。

### 参考文献

- 1) 榎田佳寛ら：仕上材によるコンクリートの中酸化抑制効果に関する基礎的検討、日本建築学会大会学術講演梗概集(関東), pp. 541-546, 2011 年
- 2) 須藤嶺ら：RC 造建築物の中酸化に及ぼす仕上塗材の効果に関する研究、日本建築学会大会学術講演梗概集(関東), pp. 133-136, 2011 年

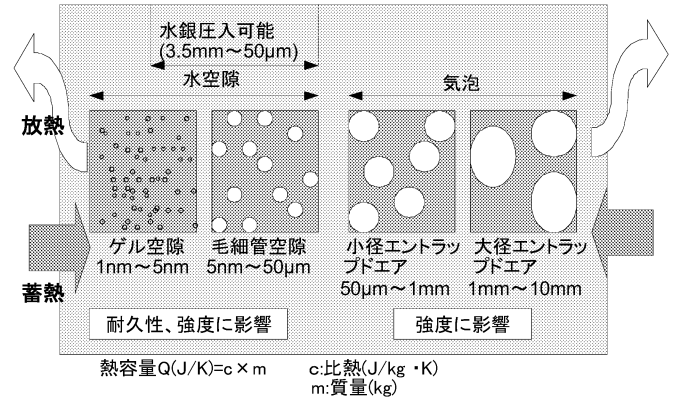
## 高温加熱を受けたコンクリートの基礎的物性と微細構造変化

石垣美季\*1, 田村雅紀\*2, 高英雄\*3  
 西祐宜\*4, 金子樹\*5, 田山隆文\*6

蓄熱, 封緘, 高温暴露, 圧縮強度

### 1. はじめに

世の中の一般的な建材は蓄熱し、放熱する性質を持っている。建物の蓄熱性はその建物の使用材料の熱容量で評価される。この熱容量は質量×比熱で表され、普通コンクリートの単位容積当たりの熱容量は 880J/K 程度となり、木材に比べて高く、蓄熱性が高い。図1にセメント硬化体の空隙構造と蓄熱の特性を示す。近い将来、世の中のエネルギーが自然エネルギーへと移行していった場合、夜間などは作られるエネルギーが減少するため、このようなコンクリートの蓄熱性を活かし、コンクリートからエネルギーへの変換に期待ができる。一方、暴露温度によってはコンクリートの強度が変わる可能性も考えられる。<sup>1)~3)</sup>そこで本研究では、直射日光を受けるビルの外壁などのコンクリートは夏場 50℃~80℃まで上昇することがあること、原子炉、工業炉、コンクリート煙突などでは 100℃以上の高温に常時さらされることを踏まえて、20℃, 50℃, 80℃, 110℃, 300℃の温度条件下で養生方法別に暴露した後の強度、強度低下の原因となりうる細孔構造を分析し、加熱後のコンクリートの基礎的物性と微細構造を分析した結果を報告する。



| (建物に関する蓄熱の状況例) |                               |
|----------------|-------------------------------|
| 20℃            | 常温のコンクリート                     |
| 50℃            | 夏場のビルの外壁などのコンクリート             |
| 80℃            | 夏場のビルの外壁などのコンクリート             |
| 110℃           | 原子炉や工業炉などに使用されるコンクリート         |
| 300℃           | 銭湯などの煙突、原子炉や工業炉などに使用されるコンクリート |

図1 セメント硬化体の空隙構造と蓄熱の特性

### 2. 実験概要

#### 2.1 使用材料及びコンクリート調査

表1に使用した材料の品質を示す。表2に実験要因を示す。表3にコンクリートの調査を示す。使用したセメントは普通ポルトランドセメント(Ns), 中庸熱ポルトランド(Ms), 高炉B種セメント(Bs), フライアッシュセメント(Fs)の4種類使用し, Fsを除いて市販品を使用し, Fsについては普通ポルトランドセメントの15%をフライアッシュII種で置換してフライアッシュセメントB種とした。化学混和材はリグニンスルホン酸系のAE減水剤標準形を使用した。普通ポルトランドセメントでは全てのセメント種類で使用した砂岩砕石に加え, 石灰岩砕石も使用した(NL)。計画調査は水セメント比50%, 単位水量 174kg/m<sup>3</sup>, 空気量 4.5%一定とした。また, AE減水剤は C×1.25%一定とし, 空気量は空気量調整剤にて目標空気量となるように調整した。

#### 2.2 実験項目および実験内容

表4に実験項目と実験方法を示す。図2に供試体の養生方法, 高温暴露のプロセスを示す。供試体は, 使用するセメント4種に加え, 石灰を加えた普通ポルトランドセメントを含み, 全5種のコンクリートをフレッシュコンクリート試験後にサミットモールド(φ10×20cm)を

表1 使用材料

| 項目   | 記号 | 種類            | 密度 (g/cm <sup>3</sup> ) | 吸水率 (%) |
|------|----|---------------|-------------------------|---------|
| セメント | Ns | 普通ポルトランドセメント  | 3.16                    | —       |
|      | Ms | 中庸熱ポルトランドセメント | 3.21                    | —       |
|      | Bs | 高炉B種セメント      | 3.04                    | —       |
|      | Fs | フライアッシュセメントB種 | 3.02                    | —       |
| 細骨材  | S1 | 陸砂(大井川産)      | 2.58                    | 2.17    |
|      | S2 | 石灰岩砕砂(福岡産)    | 2.70                    | 0.78    |
| 粗骨材  | G1 | 硬質砂岩砕石(青梅産)   | 2.65                    | 0.57    |
|      | G2 | 石灰岩砕石(山口県産)   | 2.69                    | 0.48    |
|      | G3 | 石灰岩砕石(青森県産)   | 2.69                    | 0.46    |

表2 実験要因

| 要因     | 水準                               |
|--------|----------------------------------|
| 細骨材    | 陸砂, 石灰岩砕砂                        |
| 粗骨材    | 砂岩砕石, 石灰岩砕石                      |
| コンクリート | Ns, Ms, Bs, Fs, NL(Nsに石灰石骨材を加えた) |
| 養生方法   | 標準, 封緘(13W)                      |
| 暴露方法   | 標準→アンシール(13W), 封緘→アンシール(13W)     |
| 暴露温度   | 20℃, 50℃, 80℃, 110℃, 300℃        |

アンシール: 暴露状態において封緘されていない状態  
 シール: 暴露状態において、水分の移動が無いうように封緘されている状態

表3 コンクリート調査

| 種類 | W/C(%) | s/a(%) | 単位量(kg/m <sup>3</sup> ) |     |     |     |     |     |
|----|--------|--------|-------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|
|    |        |        | W                       | S1  | S2  | G1  | G2  | G3  |
| Ns | 50     | 44.3   | 174                     | 766 | —   | 991 | —   | —   |
| Ms |        | 44.4   |                         | 771 | —   | 991 | —   | —   |
| Bs |        | 43.9   |                         | 756 | —   | 991 | —   | —   |
| Fs |        | 43.6   |                         | 746 | —   | 991 | —   | —   |
| NL |        | 44.3   |                         | 384 | 400 | —   | 705 | 301 |

\*1 工学院大学建築学科・学部生 \*2 工学院大学建築学部・准教授 \*3 (社)建築研究振興協会 博士(工学)  
 \*4 株式会社フローリック技術本部コンクリート研究所 \*5 株式会社長谷工コーポレーション技術研究所  
 \*6 (社)建築研究振興協会

用いて採取し、20℃60%RHの恒温室内にて静置した。その後、標準→アンシール、封緘→シール、封緘→アンシールの全3水準の養生を13W行った。標準→アンシール養生を行うものについては翌日脱型し、封緘→シールおよび封緘→アンシールではサミットモールドのまま供試体上部をポリエチレンフィルム等で封緘処理を行いそれぞれの養生を開始した。その後、全ての供試体において材齢4週時に研磨にて表面処理を行った。封緘→アンシールおよび封緘→シールについては、サミットモールドのまま水ではなくブタノールを使用し研磨した。さらに研磨後には、上記と同様な封緘処理に加え、ポリエチレンフィルムの上からエポキシ樹脂で覆い、封緘状態とした。その後それぞれを20℃、50℃、80℃、110℃、300℃の全3水準で暴露した。よって、供試体の種類は全45種類となる。ただし、300℃加熱時にエポキシ樹脂が溶け出したので、300℃封緘養生の水準の供試体に関しては、エポキシ樹脂を取り除き、剥き出しになった上部を下にして底を上にして置き、封緘状態とした。高温暴露は、20℃、50℃、80℃、110℃、300℃に調節した熱風循環式恒温機で13W行った。恒温機内の供試体の配置はランダムにし、セメント種別、養生方法別に偏りが出ないようにした。なお、高温暴露開始前後では、20℃/hで昇降温させ、暴露後の強度試験は降温翌日、供試体が常温となってから実施した。その後、強度試験を終えた供試体は、次の試験が行われるまで空気に触れないように袋で密閉し、20℃恒温室内で保存した。

### 3. 実験結果及び考察

#### 3.1 フレッシュコンクリート試験結果

表5にフレッシュコンクリート試験の結果を示す。フレッシュコンクリート試験はスランプ(JIS A 1101)、スランプフロー(JIS A 1150)、空気量(JIS A 1128)、単位容積質量、コンクリート温度(JIS A 1156)とした。コンクリート温度は20℃一定であった。Bs、NL種においてはスランプ値が高く出ているが結果をそのまま使用した。

#### 3.2 高温暴露前の圧縮強度と静弾性係数

図3に高温暴露前の脱型後13Wの供試体のセメント別にみた圧縮強度と静弾性係数のグラフを養生方法別に示す。封緘養生に比べて標準養生の方が圧縮強度が高い。養生条件に関わらずFs種は圧縮強度、静弾性係数が低く、NL種においては静弾性係数が他セメント種に比べ高い。

#### 3.3 高温暴露後の供試体の単位容積質量の変化

図4 a)に高温暴露後の供試体の単位容積質量の変化を示す。20℃から300℃まで、自由水、物理吸着水の蒸発、移動により段階的に減少した。封緘→シール種においては、110℃から、封緘のために使用したエポキシ樹脂が溶けて完全封緘ではなくなったので乾燥により急激に

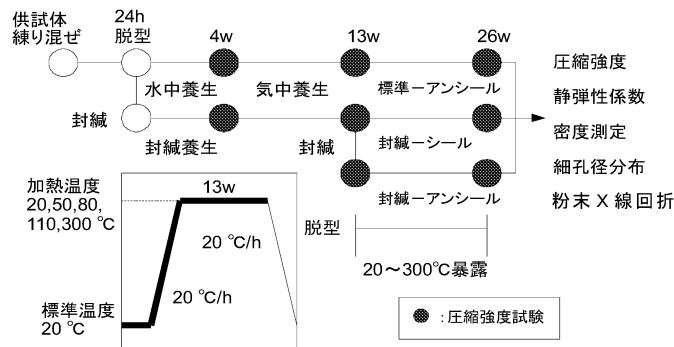


図2 供試体の養生方法および高温暴露プロセス

表4 試験項目と実験方法

| 試験項目     | 実験方法   |
|----------|--|
| 加熱処理     | 20, 50, 80, 110, 300℃環境に13週間暴露                 |
| 圧縮強度     | JIS A 1108 準拠。円柱供試体 (φ100mm×200mm)             |
| 静弾性係数    | JIS A 1149 準拠。圧縮強度試験と同時に測定                     |
| 供試体密度測定  | 加熱処理前後の密度を測定                                   |
| 細孔径分布測定  | Ns, Bs, NL 種は D-乾燥後、Ms 種は 20℃乾燥後水銀圧入           |
| 粉末 X 線回折 | 封緘→シールの Ns, Ms 種の高温暴露前(13W)と 300℃高温暴露後(26W)を測定 |

表5 フレッシュコンクリート試験結果

| 種類 | スランプ (cm) | スランプフロー (mm) | 空気量 (%) | 単位容積質量 (kg/L) |
|----|-----------|--------------|---------|---------------|
| Ns | 14.0      | 283          | 4.1     | 2.32          |
| Ms | 14.8      | 259          | 3.5     | 2.34          |
| Bs | 17.6      | 267          | 3.6     | 2.32          |
| Fs | 15.5      | 255          | 4.5     | 2.29          |
| NL | 17.3      | 277          | 3.9     | 2.35          |

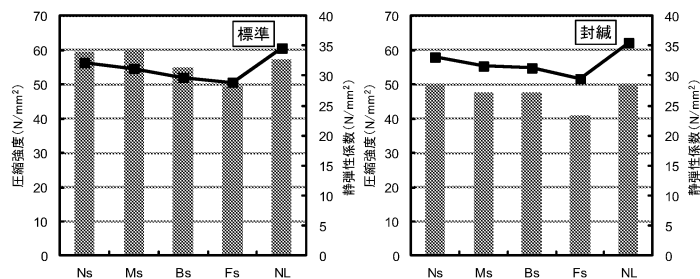


図3 高温暴露前の圧縮強度と静弾性係数

質量が減少したと考えられる。他セメント種に比べ Fs 種は単位容積質量が小さい。

#### 3.4 高温暴露後の供試体の圧縮強度の変化

図4 b)に高温暴露前後の養生別、セメント種別の圧縮強度を示す。110℃までは強度が発現しているが、300℃の場合は乾燥が進み、結合水、自由水が分解され強度が低下していると考えられる。封緘→アンシール、封緘→シール養生では高温暴露により強度が上がる傾向にある。これは熱を受けることによる水和促進での強度増加と乾燥による強度増加が同時に作用している可能性がある。

#### 3.5 高温暴露後の圧縮強度残存比

図4 c)に加熱前の高温暴露後のセメント別圧縮強度残存率を示す。なお、加熱前の脱型後13Wの圧縮強度を

100%とした。温度が上がるにつれ残存率は低下しているが、封緘-シール養生においては80℃までは残存率が100%以上か100%付近にあるがその後低下している。しかし他養生条件と比べて300℃での低下は小さい。Bs種に関しては養生条件問わず50℃付近での残存比低下が大きい。

### 3.6 高温暴露後の静弾性係数の変化

図4 d)に高温暴露後の静弾性係数の変化を示す。養生条件に関わらず石灰を加えたNL種は20℃~110℃では大きい値を示しているが300℃では数値が急激に低下する。Bs種に関しては、圧縮強度同様、他セメント種に比べて50℃での圧縮強度の値の低下が大きい。

### 3.7 高温暴露後の圧縮強度と静弾性係数の関係

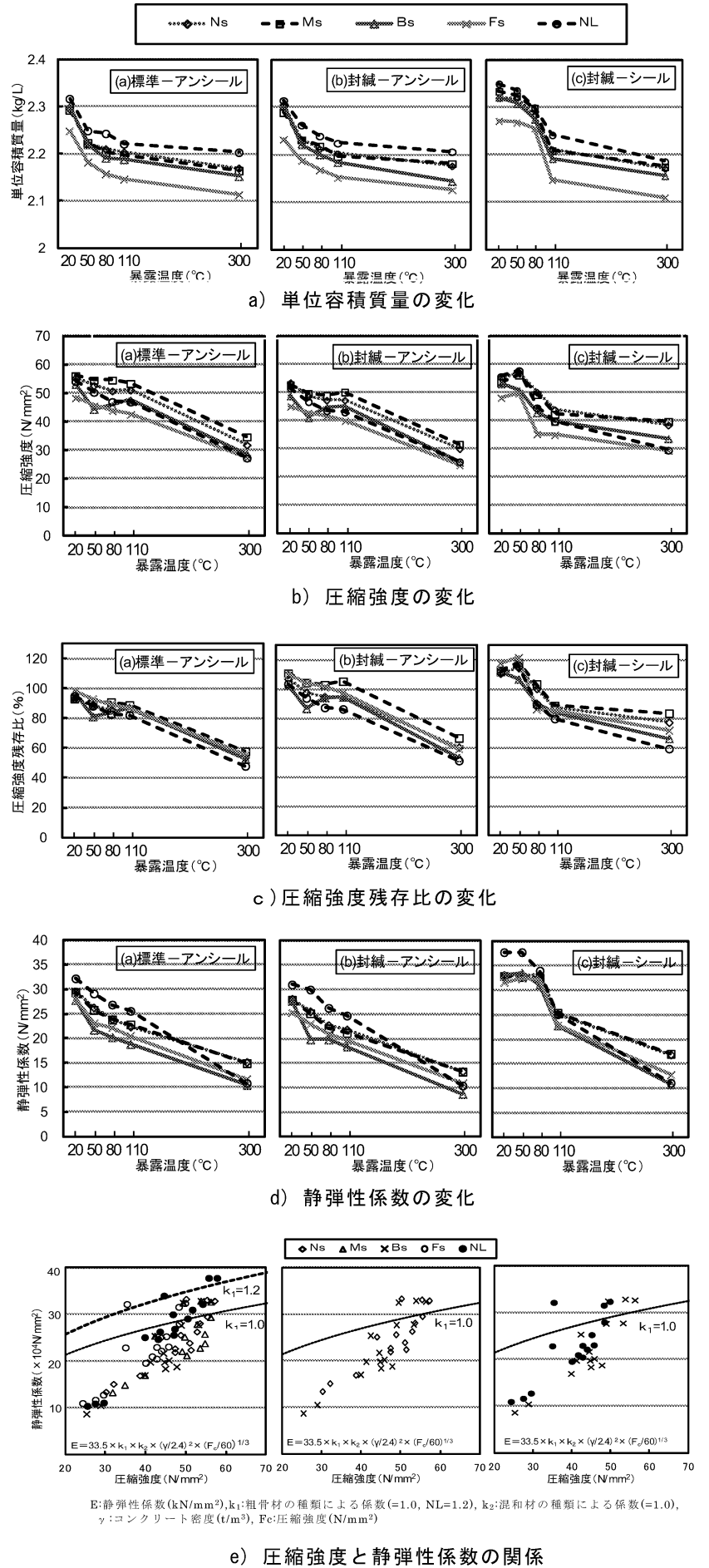
図4 e)に高温暴露後の圧縮強度と静弾性係数の関係を示す。NewRC式(図中)に従い推移している。20℃, 50℃では推定式近傍にあるが高温になるにつれ推定式から離れる。300℃では圧縮強度、静弾性係数ともに推定式から大きく離れる。BsはNsに比べ圧縮強度と静弾性係数の値の低下が激しい。Fsに比べBsは圧縮強度が高いが300℃では静弾性係数に関してはFsの方が高い。なお、図中では供試体密度 $\gamma$ は実測値の平均から $2.3t/m^3$ とした。

### 3.8 高温暴露後の細孔量分布特性

図5に高温暴露後の封緘-アンシール種のNs, Ms, Bs, NL種の4水準の供試体の細孔径分布を示す。累積細孔量は加熱により増加する傾向にある。セメント種, 暴露温度に関わらず, 100nm付近の細孔量が一番大きい値を示している。加熱により空隙のピークが右方向にずれており, 110℃からは小空隙側にずれる傾向が見られる。300℃では大空隙側の細孔量が増えている。Bs種に関しては他セメント種に比べて緩やかな山を描いている。Ms種に関しては50℃で細孔量のピークが大幅に大空隙側にずれている。

### 3.9 高温暴露後の温度変化による累積細孔量特性

図6に高温暴露後の累積細孔量特性を示す。グラフの勾配の位置が問題となってくる。20℃から温度があがるにつれ, 大空隙側で勾配が急になっていて, 大空隙の増加がわかる。累積細孔量は高温になるにつれ値が大きくなる傾向にある。



e) 圧縮強度と静弾性係数の関係  
図4 高温暴露後の各種物性の変化



### 3.10 高温暴露後の累積細孔量特性

図7に温度別でみた累積細孔量特性を示す。温度が上がるにつれ累積細孔量も増えていく傾向にあるが、Bs種は高温時の累積細孔量が他セメント種に比べて少ない。

### 3.11 高温暴露前後の粉末X線回折結果

図8に封緘シールのNs, Ms種の高温暴露前(13W)と高温暴露後(26W)の粉末X線回折図を示す。ともに加熱前ではエトリンガイト(E)やカルシウムアルミネートハイドレード(CA)の回折ピークがみられるが、300℃では消失している。これは水分移動の無い封緘状態の温度環境下ならびに高温暴露までの過程で結合水が失われてこれらの結合水を多く含む水和物が消失したと考えることができる。なお、蓄熱ならびに高温暴露により結合水を含む水和物の消失が生じた場合、強度低下が起これると考えられる。

## 4 まとめ

- 1) 高温暴露後の各セメント種の供試体質量は自由水や物理吸着水により段階的に減少した。
- 2) 高温暴露後のMs種を使った供試体は、標準アンシール封緘アンシールだと圧縮強度が50℃で落ち、110℃でまた上がる。
- 3) NL種では静弾性係数が他セメント種に比べて高いが、300℃高温では急激に低下する。
- 4) 常温20℃の供試体の細孔構造はNs, NL種では100nm前後、Bs種では1000nm手前に最大量があり、加熱温度が高くなるにつれ、細孔量の大きい方へずれていき、50~80℃付近で折り返し、300℃でまでは再び小空隙側にずれていく。
- 5) 蓄熱、高温暴露による、コンクリート供試体内で起きる結合水を含む水和物の消失が強度低下につながると考えられる。

## 参考文献

- (1) 志村重頭、嵩英雄、全洪珠、洪杰：高温に長期間さらされたコンクリートの諸性質に関する研究 第一報 高温暴露後の強度性状に及ぼすセメントの種類の影響、日本建築学会大会学術講演梗概集、2002.08, pp603~604
- (2) 志村重頭、嵩英雄、假屋園礼文：高温に長期間さらされたコンクリートの諸性質に関する研究 第二報 高温暴露後の強度性状に及ぼすセメントの種類及び加熱前養生方法の影響、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp583~584、2003.09
- (3) 岡野速人、田村雅紀：各種副産材料を使用したセメント系建設資材の熱的物性変化、仕上学会、p21~22、2011.10

## 謝辞

本研究の一部は、建築研究振興協会、株式会社フローリック、株式会社長谷川コーポレーションが共同で実験した。セメント協会、地質鉱物エンジニアリング・丸章夫博士、関係各位に助力を得た。

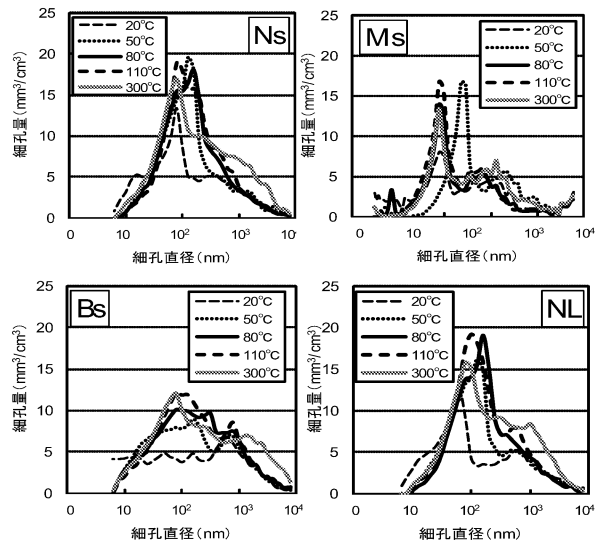


図5 高温暴露後の温度変化による細孔径分布特性

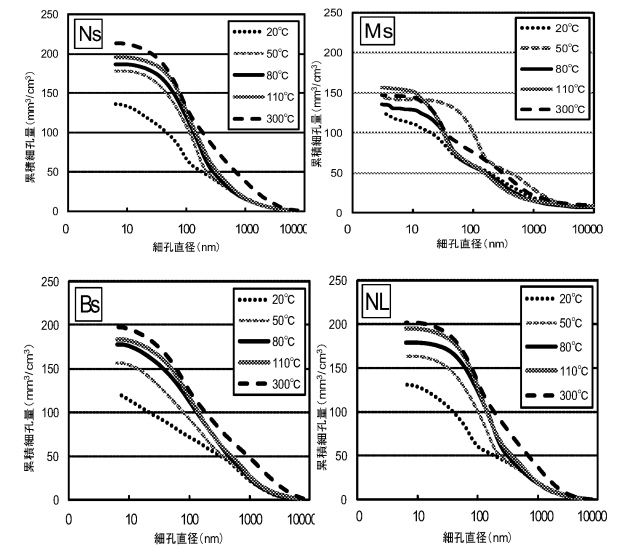


図6 高温暴露後の温度変化による累積細孔量特性

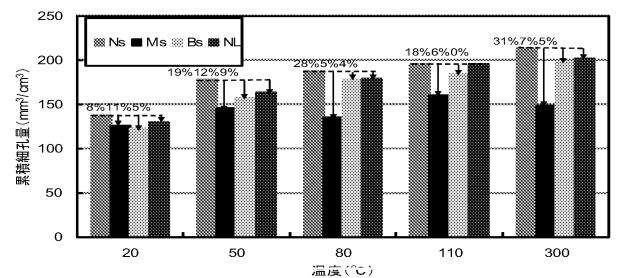


図7 高温暴露後の温度別累積細孔量特性

P: ボルトランダイト[Ca(OH)<sub>2</sub>] CA: カルシウムアルミネートハイドレード[4CaO · Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> · 13H<sub>2</sub>O]  
E: エトリンガイト[C<sub>3</sub>A · 3CaSO<sub>4</sub> · 32H<sub>2</sub>O] M: 雲母 C: 緑泥石 F: 長石

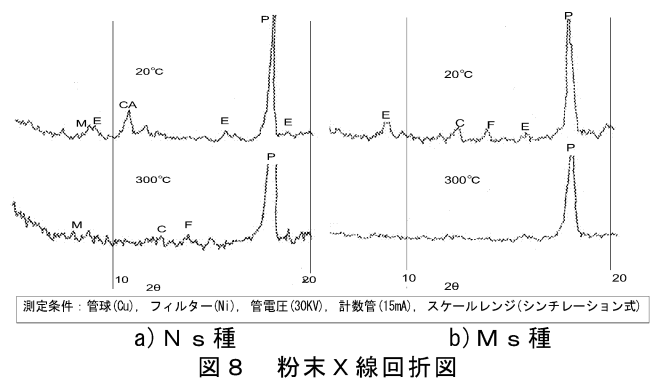


図8 粉末X線回折図

長期供用の旧基準鉄筋コンクリート部材を想定した鉄筋腐食ひび割れに関する予防保全診断技術の検討

予防保全,鉄筋腐食,色彩,強度低下

岡晴貴\*1,田村雅紀\*2

1. はじめに

現在では,建物の寿命を 3 倍にするという日本建築学会の地球環境憲章における声明から,建物の長寿命化の動きがより一層強まり,建物の目的や機能,性能といった健全性評価の見方が強まった。木造住宅はもちろん,鉄筋コンクリート造などの公共用施設など,長期にわたり供用することが活発である。一方,建築ストックが増大していることと,古い建物への使用者による耐用年数の低下傾向もある。その為,個々の建物の専門技術者による維持管理が容易ではなく,使用者傾向の点検・調査の仕組みが必要である。

本研究では,鉄筋コンクリート造建築物の維持保全性評価について,昭和 38 年に竣工し,50 年近くの供用期間を経ている建物をモデルとした。ひび割れや錆汁の溶出など様々ある,長期供用の旧基準鉄筋コンクリート部材を想定した鉄筋腐食ひび割れに関する予防保全診断技術の検討を行う。そこで,1 号館をモデル建物とし,研究 1 でひび割れ幅,錆汁を評価した後,旧基準を想定した試験体を作製する。研究 2 より,研究 1 での結果を元にコンクリートフレッシュ性状試験から腐食減量の測定まで行い,研究 3 で結果を元に予防保全診断技術検討の確立を狙う。

2. 研究概要

2.1. 旧基準鉄筋コンクリート構造物の劣化性状調査

2.1.1 鉄筋腐食の状況

表 1 にモデル建物概要と調査結果を示す<sup>1)</sup>。モデル建物である 1 号館の 4 階及び地下 1 階のひび割れ調査をし,どの部位・箇所が危険かを評価した<sup>2)</sup>。錆汁箇所は多数確認でき,表面の塗装自身の劣化や錆色による変色,仕上げ材のひび割れなど様々な錆汁を確認した。全体を調査し,ひび割れが多く危険と判断した所は,南西隅部のボイラー室外壁及び基礎部分である。表 1 写真はボイラー室の外壁の様子とボイラー室の基礎部分の様子となる。①~⑥の箇所が最も劣化が進行し,ひびからは錆汁が多く目

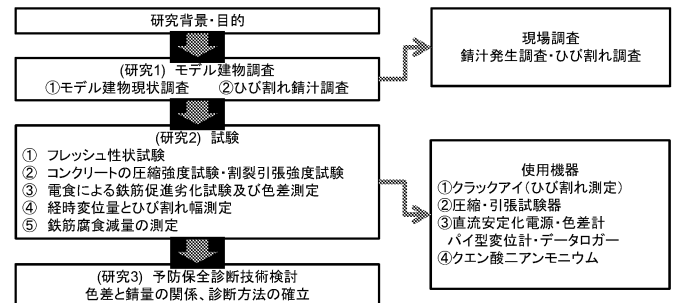


図 1 研究概要図

表 1 モデル建物調査概要と調査結果(研究 1)

| 項目                  | 調査概要  | 写真(上:1号館,下:ボイラー室) |             | モデル建物概要         |                                    |                      |              |
|---------------------|---|-------------------|-------------|-----------------|------------------------------------|----------------------|--------------|
|                     |   | 写真(上:1号館)         | 写真(下:ボイラー室) | 建物名称            | 所在地                                |                      |              |
| 研究 1<br>モデル建物<br>調査 | 調査実施:平成 23 年 10 月<br>場所:東京都八王子市<br>中野町 2665-1<br>使用材料:表 1 に記載<br>調査箇所:地下 1 階~地上 4 階 |                   |             | 工学院大学外王子校舎 1 号館 | 東京都八王子市中野町 2665-1                  |                      |              |
|                     |   |                   |             | 竣工              | 1963 年(昭和 38 年)                    |                      |              |
|                     | 結果:<br>① ボイラー室の外壁に錆汁が発生<br>② 基礎部分にひび発生の際には錆汁が浮出<br>③ 基礎部分のひび割れは錆汁の跡が目立つ             |                   |             | 構造形式            | 鉄筋コンクリート造ラーメン構造                    |                      |              |
|                     |   |                   |             | 階数              | 地下 1 階,地上 4 階                      |                      |              |
|                     |   |                   |             | 延床面積            | 5,040 m <sup>2</sup>               |                      |              |
|                     |   |                   |             |                 | 建築面積                               | 1,008 m <sup>2</sup> |              |
|                     |   |                   |             |                 | 丸鋼は 1965 年廃止(JIS G 3110 廃止 1965 年) |                      |              |
|                     |   |                   | モデル建物調査概要   |                 |                                    |                      |              |
|                     |   |                   | 場所          | 測定範囲 (cm)       | 測定箇所                               | 測定間隔 (cm)            | ひび割れ幅 平均(mm) |
|                     |   |                   | ① ひび割れなし    | 30              | 30                                 | 1                    | 0            |
|                     |   | ② 錆汁溶出のみ          | 30          | 30              | 1                                  | 0                    |              |
|                     |   | ③ 錆汁溶出のみ          | 30          | 30              | 1                                  | 0                    |              |
|                     |   | ④ 錆汁溶出のみ          | 30          | 30              | 1                                  | 0                    |              |
|                     |   | ⑤ 仕上げ材ひび割れ        | 30          | 30              | 1                                  | 0.23                 |              |
|                     |   | ⑥ ひび割れ漏水部         | 30          | 30              | 1                                  | 0.37                 |              |

表 2 使用材料(研究 2)

| 材料  | 種類         | 吸水率  | 絶乾密度                 | 表乾密度                 | 実績率   | 単位容積質量 | 粗粒率  |
|-----|------------|------|----------------------|----------------------|-------|--------|------|
|     |            | (%)  | (g/cm <sup>3</sup> ) | (g/cm <sup>3</sup> ) | (%)   | (Kg/L) | F・M  |
| 細骨材 | 大井川産陸砂(標準) | 1.78 | 2.54                 | 2.59                 | 66.73 | 1.69   | 2.54 |
| 粗骨材 | 青梅産砕石      | 0.74 | 2.63                 | 2.65                 | 61.8  | 1.62   | 6.8  |
| 細骨材 | 大井川産陸砂(荒目) | 2.15 | 2.53                 | 2.58                 | 60.6  | 1.53   | 4.36 |
| 微粉末 | 硬質砂石砕石粉    | -    | -                    | 2.59                 | -     | -      | -    |

表 3 要因と水準(研究 2)

| 要因        | 水準              |
|-----------|-----------------|
| 水セメント比(%) | 40,55,70        |
| かぶり厚(mm)  | 10,20           |
| 鉄筋径       | φ10,D10,D13     |
| 微粉置換量(%)  | 0,5,10,20       |
| 砂の粒度      | 標準,荒目(1.2mm 以上) |

表 4 コンクリート計画調合(研究 2)

| 要因     | W/C(%) | s/a(%) | 単位量(kg/m <sup>3</sup> ) |     |     |     |    |
|--------|--------|--------|-------------------------|-----|-----|-----|----|
|        |        |        | W                       | c   | s   | g   | p  |
| 40p0   | 40     | 41.88  | 185                     | 463 | 704 | 999 | 0  |
| 55p5   | 55     | 44.82  | 185                     | 336 | 793 | 999 | 14 |
| 70p20  | 70     | 45.24  | 189                     | 270 | 807 | 999 | 44 |
| 70p10  |        | 189    | 270                     | 829 | 999 | 22  |    |
| 70p10L |        | 189    | 270                     | 829 | 999 | 22  |    |

表 5 フレッシュ性状(研究 2)

| 要因     | スランプ (cm) | 空気量 (%) | 温度 (°C) | 単位容積質量 (kg/m <sup>3</sup> ) |
|--------|-----------|---------|---------|-----------------------------|
| 40p0   | 18        | 2       | 20      | 2364.73                     |
| 55p5   | 21        | 0.1     | 20      | 2373.62                     |
| 70p20  | 17.5      | 0       | 20      | 2401.72                     |
| 70p10  | 19        | 0.3     | 20      | 2378.92                     |
| 70p10L | 16.5      | 0       | 20      | 2357.99                     |

参考文献: 1) 岡晴貴, 田村雅紀, 2021, 鉄筋コンクリート造建築物の劣化性状調査報告書

\*1 工学院大学建築系学科・学部生 \*2 工学院大学建築学部・准教授

立つ。基礎部分には長期にわたる日変動の大きい熱負荷に伴う、熱膨張・伸縮の繰り返しにより錆汁が浮出ている。現状調査から、最もひび割れや錆汁の状況が深刻であったボイラー室外壁のひび割れ調査を行った。ひび割れ測定器はクラックアイ<sup>3)</sup>を用いて測定を行い、表 1 写真にある①~⑥は測定箇所を示している。測定範囲は、各箇所 30cm とり、測定 30 箇所、測定間隔 1cm とした。①~④の場所はひび割れ発生なしから錆汁が溶出している。⑤と⑥はひび割れが発生し、塗装部分のひび割れと基礎部分のコンクリートひび割れの 2 種類がある。表 1 の結果から塗装部分⑤のひび割れ幅平均は 0.23mm であり、基礎部分のひび割れ幅は 0.37mm であった。この調査から錆汁が発生しているひび割れ部が最も大きいと確認できた。

### 2.1.2 鉄筋腐食部外壁の色彩特性

色差測定は、ひび割れ測定箇所 30 に対し定 30 箇所とした。色差の測定方法は物理的な視覚への刺激を測定器で読み取り、L\*a\*b\*表色系を測定し、ひび割れ表面の錆汁の色差の測定値とする。L\*a\*b\*表色系は、L\*値が明るさを表現する明度であり、L=0 が最暗(黒色)L=100 が最明(白色)である。a\*値 b\*値は色味と鮮やかさを表現し、 $\tan\theta(a*/b^*)$ が色相(hue)で+-がある。a\*値がプラス

である場合は赤色となり、マイナスの場合は緑色となる。b\*値がプラスである場合は黄色となり、マイナスの場合は青色となる。本研究ではこの L\*a\*b\*表色系を用いて色彩の特性を評価する。図 2 から、測定した L\*値を汚れ度、a\*値を錆色とする。L\*値は④の通常箇所を基準に、錆発生箇所は明度が約 40~60 の間を示している。a\*値は、錆の発生箇所は色味が濃い為、値が高くなる。錆発生なしの箇所は大きな変化を見せない。

## 3. 実験結果及び考察

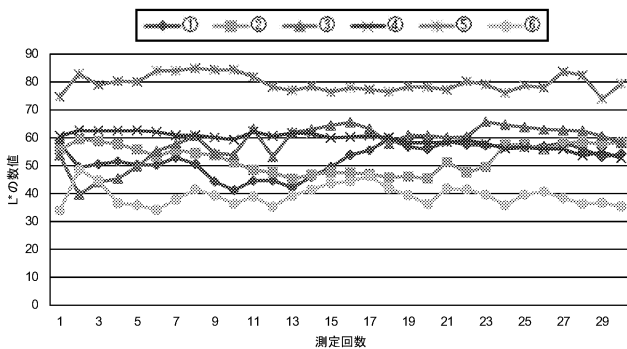
### 3.1. 旧基準鉄筋コンクリート構造物の劣化性状分析

#### 3.1.1 汚れ度(L\*値)とひび割れ幅の関係

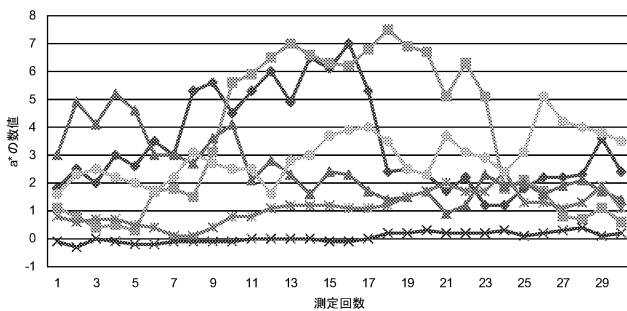
図 3 に色彩とひび割れ幅の色彩特性の関係を示す。表 1 写真から①~④はひび発生なしの箇所、⑤、⑥はひび割れ発生箇所を測定している。ここでは汚れ度と錆色は同じものと仮定し、表 1 のひび割れ結果と図 2 の結果から図 3 の関係図を示した。関係図は、汚れ度とひび割れ幅との関係を示したものの、棒グラフの結果は、各色差の平均をグラフ化し、ばらつきを示している。ここでは相関が 1 になるような仕組を考えている。関係図から①~④はひび割れ発生なしの為色差のみの表示になる。⑤、⑥を見ると

表 4 供試体記号説明(研究 2)

| 要因     | 鉄筋径         | かぶり(mm) | 微粉置換量(%) | 砂粒子                    |
|--------|-------------|---------|----------|------------------------|
| 40p0   | D10,D13,φ10 | 10,20   | 0        | 標準粒度                   |
| 55p5   | D10,D13,φ10 | 10,20   | 5        | 標準粒度                   |
| 70p20  | D10,D13,φ10 | 10,20   | 20       | 標準粒度                   |
| 70p10  | φ10         | 10,20   | 10       | 標準粒度                   |
| 70p10L | φ10         | 10,20   | 10       | 標準粒度(50%)<br>荒目粒度(50%) |



a) 汚れ度(L\*値)



b) 錆色(a\*値)

図 2 鉄筋腐食部外壁の色彩特性

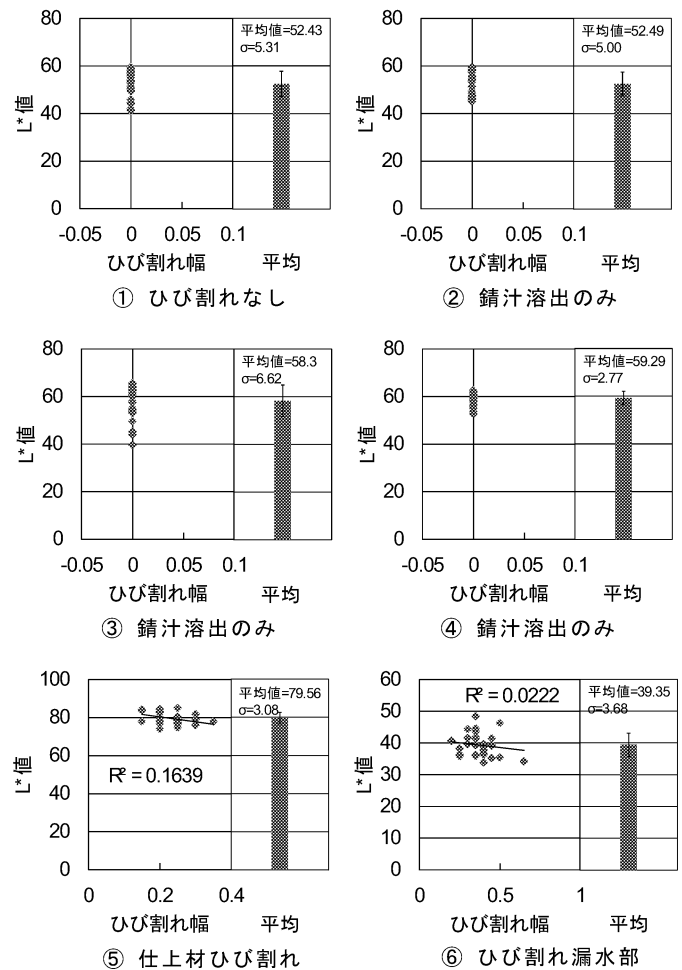


図 3 汚れ度(L\*値)とひび割れ幅の関係

L\*値とひび割れの関係から右下がりの傾向がみられる。このことから、ひび割れ幅が大きくなると汚れ度が 0 に近づいていき、錆汁が濃くなる。

### 3.2 鉄筋腐食ひび割れ試験による検討

#### 3.2.1 コンクリートの基礎的物性

##### (1) フレッシュ性状

表 5 にフレッシュ性状、図 4 にブリーディング量を示す。本研究では、旧基準コンクリートを想定したことから、ブリーディングの増加が予想できる。その為、材料分離を抑える為、水セメント比 55%と 70%について微粉末を混ぜ、分離を抑制させた。結果から、70%が最も増加している。70p20 と 55 は通常、水セメント比 55%の方がブリーディングしないが、70p20 は微粉末量を 20%混ぜている。そのため、55 より分離が抑制された。このことから微粉末を混ぜたことで材料分離が抑制されていることがわかり、性状の良いコンクリートが作製されている。

##### (2) 圧縮強度試験・割裂引張強度試験結果

圧縮強度試験 (JIS a 1108)、割裂引張強度試験 (JIS a 1113) は JIS に準じて試験を行った。図 5 に割裂引張強度試験結果、図 6 に圧縮強度試験結果と静弾性係数の関係を示す。圧縮強度と引張強度は水セメント比が高くなるにつれ、強度が落ちている。圧縮強度と静弾性係数の関係では、圧縮強度は水セメント比が高くなるにつれ強度が落ちており、静弾性係数は水セメント比 40%が高く、70%が最も低いことがわかる。

#### 3.2.2 鉄筋腐食試験体の物性変化と色彩変化の関係

図 7 に鉄筋促進劣化試験概要を示す。試験体は、ひび割れ測定面が上面になるように水槽内に配置する。5%濃度の NaCl 水溶液に浸し、鉄筋を陽極、銅板を陰極として直流安定化電源 30V を用い、電圧 30V、電流 0.1A で一定の通電を行う<sup>4)</sup>。試験体は表 3 の要因と水準に示している各条件から、66 本の試験体を作製し試験を行う。試験体は図 7 の b) のように 100×100×100mm とし、鉄筋の露出部分は、腐食を防ぐためエポキシ樹脂でシーリングする。また、鉄筋促進劣化試験と同時にデータロガーを使用し、試験体の上面にパイ型変位計を取付け、ひび割れ発生部分の変位径時変化も同時に測定する。色差測定には色差計を用いて測定時間を 2 時間ごととした。測定箇所は、試験中は 2 箇所の測定、試験終了後は 5 箇所測定した。鉄筋腐食減量の測定は、積算電流量から確定するのは困難である為、実験に用いた鉄筋の腐食前後の鉄筋量を測定し、腐食減量を算出する。その際に用いた質量減少率(1)、鉄筋腐食減量(2)の算定式を以下に示す<sup>5)</sup>。

$$C = \Delta w / w \times 100 \quad (\%) \quad \dots \dots \dots \text{式(1)}$$

$$C_g = \Delta w / (\pi R_0 L) \quad (g/mm^2) \quad \dots \dots \dots \text{式(2)}$$

C: 質量減少率 w: 腐食前の質量 w<sub>2</sub>: 徐錆後の質量  
 $\Delta w$ : 腐食に伴う質量減少分  $\Delta w = w - w_2$   
 $\Delta w$ : 腐食に伴う質量減少分 (g) R<sub>0</sub>: 公称径 (mm)  
 L: 測定片の長さ (mm)

以上の式を用いて質量減少率、鉄筋腐食減量を算出した。錆の除去には 10%濃度にしたクエン酸二アンモニウムを使用する。

##### (1) 色彩(a)とひび割れ幅(b)の関係

図 8 は各要因の鉄筋腐食による試験体汚れ度である。図 7 の a) 写真にあるように試験終了後に 5 箇所測定し、ひび割れ幅と図 8 の結果から汚れ度とひび割れ幅の関係図を図 9 に示した。図 9 からひび割れ幅が大きくなると汚れ度が 0 に近づき、錆色が濃くなる。回帰が右下がりになり、色彩からひび割れ幅を特定することが可能になる。

##### (2) ひび割れ幅(b)と変位量(c)の関係

パイ型変位計から測定した変位量と試験後に測定したひび割れ幅から、ひび割れ幅と変位量の関係図を図 10 に示す。パイ型変位計は 5cm 区間の変位量を測定した値である。ひび割れ幅と部材要素全体の変位量は比例関係にあり、変位推定が可能である。

##### (3) 変位量(c)と腐食量(d)の関係

測定結果から図 11 の変位量と腐食量の関係を示す。変化が生じない所を a、変化が生じる所(傾き)を b とし、各要因の a と b の平均を算出、図 11 の b) の関係図を作成した。関係図から 40%が最も傾きが大きくひび割れが急激に発生し、70%は傾きが小さく、ひびが緩く発生する。

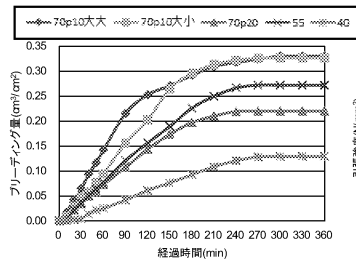


図 4 ブリーディング量

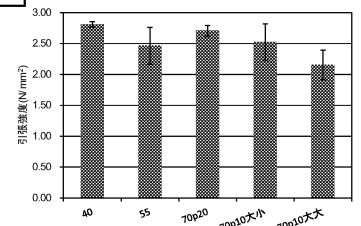


図 5 割裂引張強度

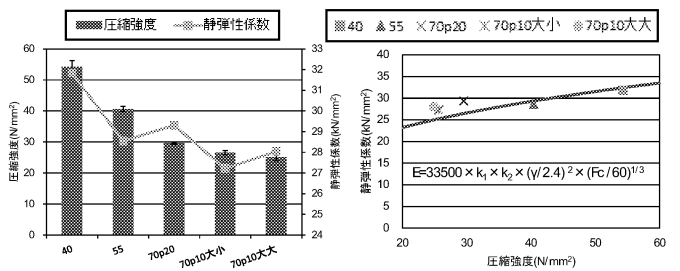


図 6 圧縮強度と静弾性係数の関係

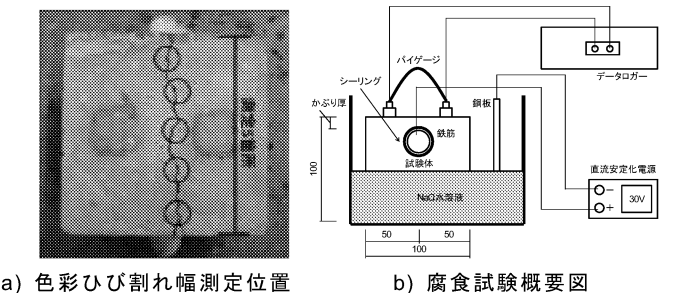


図 7 鉄筋促進劣化試験概要

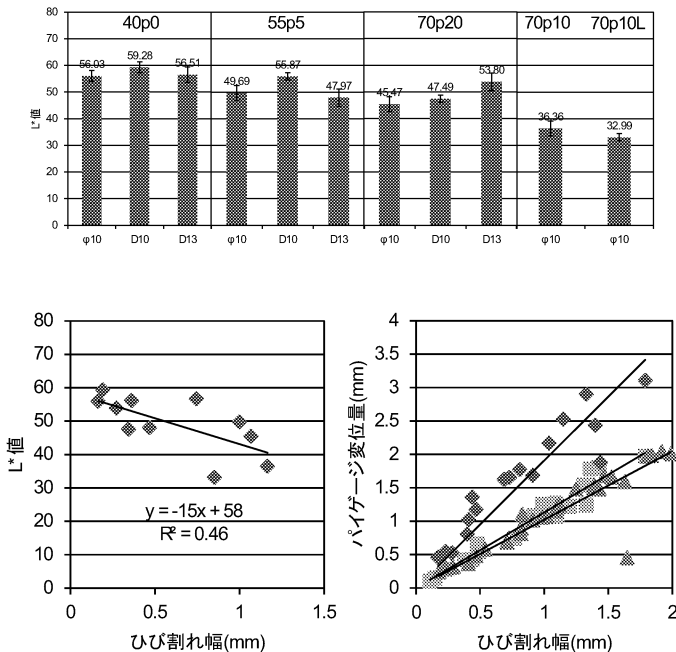


図 9 汚れ度(a)とひび割れ幅(b) 図 10 ひび割れ幅(b)と変位量(c)

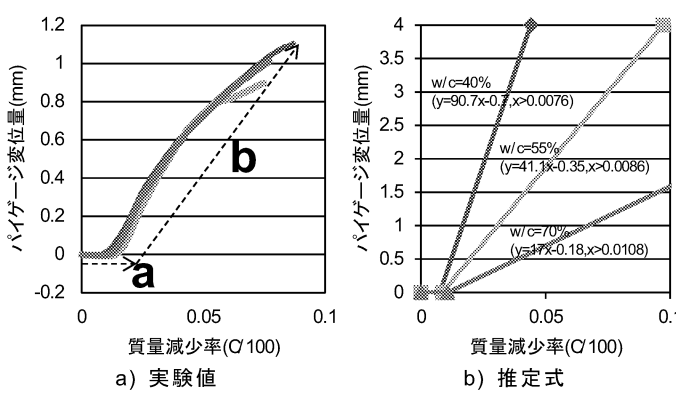


図 11 腐食ひび割れによる変位量(c)と腐食量(d)の関係

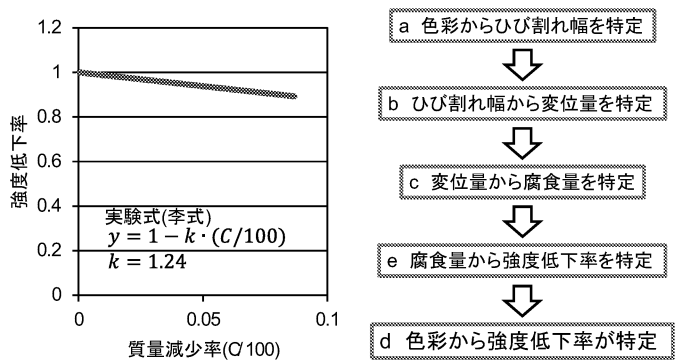


図 12 腐食量(d)と強度低下率(e) 図 13 評価プロセスフロー

従い、変位量と腐食量の関係がわかり、特定が可能である。

(4) 腐食量(d)と強度低下率(e)の関係

コンクリートの破壊は、微細要素の引張抵抗力により決まる為、引張抵抗力の低下度を評価することで、コンクリートの力学特性の変化を安全側で評価できる。ここでは引張強度比は鉄筋の質量減少率に関係があるとし、既往の実験式(李式)<sup>5)</sup>により、引張強度低下率(3)を算定し、強度低下率とした。

$$y = 1 - k \cdot (C/100) \quad \dots \dots \dots \text{式(3)}$$

C : 質量減少率(%) k : 1.24(係数)

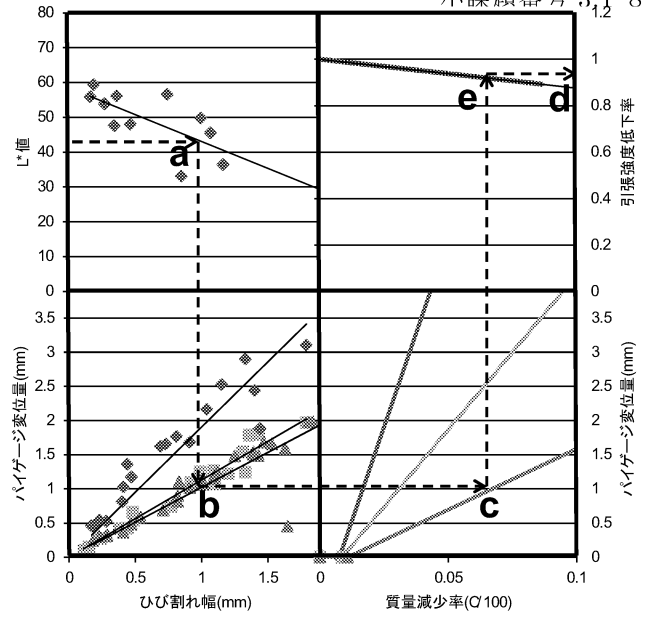


図 14 鉄筋腐食の予防保全診断技術の評価プロセス

以上の実験式より図 13 の関係図を示した。この図から腐食量が特定され、強度低下率を示すことが可能になる。

3.3 予防保全診断技術の検討方法

以上の(1)~(4)の関係から図 14 の予防保全段階における強度低下率の対策モデルが提案できる。汚れ度を測定しその数値からひび割れ幅を特定、ひび割れ幅から変位量を特定、変位量から腐食量を特定、腐食量から強度低下率を特定、色彩から強度低下率を示すことが可能となる。

4. まとめ

- 1) モデル建物の調査により、1963 年竣工の築 50 年の調査により、ひび割れ発生がなく錆汁が生じている潜伏期の箇所が確認できた。
- 2) 研究 1 の色彩とひび割れ幅との関係から、汚れ度である L\* 値が 0 に近づき汚れていくとひび割れ幅が大きくなる傾向が確認された。
- 3) 研究 2 から、部材要素実験により、水セメント比を含めたかぶり厚さでひび割れ発生時期の相違があること、丸鋼による拘束力低下に伴う、腐食劣化が生じやすいことが確認された。
- 4) a~e の連成システムの評価により、汚れ度から部材の鉄筋腐食に対する予防保全段階における強度低下の対策モデルが提案できた。

謝辞

本研究は、工学院大学 UDM・PJ 研究費の一部による。

参考文献

- 1) 八王子校舎 1 号館耐震診断に伴う構造調査報告書 1996 年 8 月
- 2) 工学院大学建築学科広沢研究室,工学院大学八王子校舎 1 号館耐震診断調査報告書 1997 年 3 月
- 3) 田村,近藤,茨田,長谷川, : コンクリート構造物に用いる光学式ひび割れ幅測定器の開発と性能評価,日本建築学会技術報告集第 19 号 2004
- 4) 橋高,LE,塚越,松沢 : 鉄筋コンクリート表面のひび割れ発生時の鉄筋腐食量に関する検討,コンクリート工学年次論文集, Vol.33, No.1, 2011
- 5) 土木学会コンクリート委員会 : 材料劣化が生じたコンクリート構造物の構造性能研究小委員会(331 委員会)2009

## 環境配慮型打継ぎ資材を用いたコンクリートの基礎物性評価

副産微粉, セメントペースト, 力学特性, 耐久性 相良賢治\*1, 田村雅紀\*2, 前田圭一郎\*3, 三浦明人\*4, 金本康来\*4

### 1.はじめに

近年, 長寿命を目指した建築の設計・施工がひとつの目標となりつつあり<sup>1)</sup>, 建物の長期耐久性に加え, 環境への配慮や, 施工の合理性がより一層求められる状況となっており, 従来型のラス材による打ち継ぎに加え, 転用回数が多く環境配慮型といえる空気導入したチューブ型の立体的打ち継ぎ材(以下チューブ打継ぎ)などが多く使用されるようになった。そして, この打継ぎ部分の保温養生効果を同時に確保することが可能であるチューブ打継ぎの場合, 従来型のラス打継ぎと異なり, 打ち継ぎ界面が立体のため, 打継ぎ界面の力学特性および耐久性において違いが生じる可能性がある<sup>2)-5)</sup>。

そこで本研究では, 従来型のラス打継ぎ, 環境配慮型といえるチューブ打継ぎおよび打継ぎを施さない試験体(標準)を作製し, 力学特性および耐久性に関する違いを試験により明確にし, その結果を比較した。(図1)

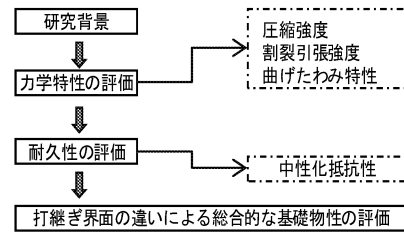


図1 研究の流れ

表1 使用材料

| 材料   | 記号 | 種類               | 内容   |
|------|----|------------------|--|
| セメント | N  | 普通ポルトランドセメント     | 3.16 (g/cm <sup>3</sup> )                    |
|      | B  | 高炉セメント B種        | 3.04 (g/cm <sup>3</sup> )                    |
| 細骨材  | S  | 大井川産陸砂           | 表乾密度 2.63 (g/cm <sup>3</sup> )<br>吸水率 1.5(%) |
| 粗骨材  | G  | 青梅産砕石            | 表乾密度 2.65 (g/cm <sup>3</sup> )<br>吸水率 0.7(%) |
| 打継ぎ材 | b  | 立体的打継ぎ材(チューブ打継ぎ) | ポリプロピレン, 塩化ビニール複合材                           |
|      | c  | ラス打継ぎ材           | 亜鉛メッキリブラス                                    |

表2 実験の要因と水準

| 要因   |       | 水準                    |                         |
|------|-------|-----------------------|-------------------------|
| 円柱   | セメント  | N, B                  |                         |
|      | 打継ぎ方法 | 標準(P)、チューブ(b), ラス(c), |                         |
|      | bの場合  | チューブの直径               | S, M, L (1.2, 2.5, 5)cm |
|      |       | チューブの向き               | 縦置(v), 横置(h)            |
| cの場合 | 位置    | 0, 5, 10, 15mm        |                         |

備考)円柱(φ10×20cm)は静弾性係数のみに使用,角柱試験体寸法(10×10×40,15×15×15cm)

### 2.実験の概要

#### 2.1.使用材料

表1に使用材料を示す。使用するセメントは, 一般建築で用いられる普通ポルトランドセメントと, 主に土木の分野で用いられ, 環境負荷軽減に資する製品に指定されている高炉セメント B種を用いた。

#### 2.2.実験要因と水準

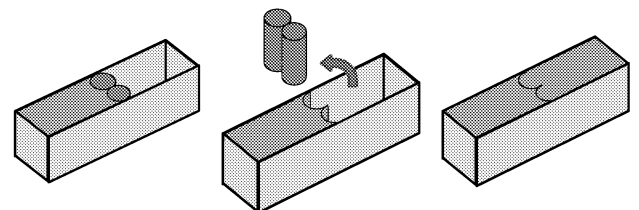
表2に実験の要因と水準, 表3にコンクリートの調査およびフレッシュ性状, 図2にチューブの打継ぎ手順, 図3にチューブの直径とラスの位置を示す。本研究では現場を想定し, 設計基準強度を 27N/mm<sup>2</sup>, 水セメント比は 55%一律に設定した。また, セメント種に関わらず目標のスランブは 18.0±2.5cm, 空気量は 4.5±1.5%とした。円柱試験体(φ10×20 cm)は静弾性係数の測定時のみに使用した。角柱試験体による圧縮強度および割裂引張強度の測定には, 15×15×15 cmの試験体を使用し, 曲げたわみ特性の測定には, 10×10×40 cmの試験体を作製した。チューブによる打継ぎは, 使用場所によって, チューブの向きが異なり, チューブを縦に置く方法(縦置)と横に置く方法(横置)の2通りがある。

そこで, 本研究では, 縦置きと横置きの2水準の試験体を作製した。なお, 鉄筋の隙間によってチューブの大きさが異なるため, 本研究では3水準(L・M・S)のチューブの大きさを作製した。また, 曲げたわみ特性と割裂

表3 コンクリートの調査およびフレッシュ性状

| セメント種類 | W/C (%) | s/a (%) | 単位水量 W(kg/m <sup>3</sup> ) | 単位質量(kg/m <sup>3</sup> ) |     |      | スランブ (cm) | 空気量 (%) |
|--------|---------|---------|----------------------------|--------------------------|-----|------|-----------|---------|
|        |         |         |                            | C                        | S   | G    |           |         |
| N      | 55      | 43.1    | 178                        | 324                      | 764 | 1015 | 18.5      | 4.5     |
| B      |         | 42.8    |                            | 324                      | 753 | 1015 | 19.5      | 4.5     |

備考)リグニンスルホン酸化合物とポリオールの複合体を使用



a)片側打設 b)脱型 c)2回目打設  
チューブをセットし, aをおこない翌日にbをおこない, 2回目の打設をおこなう。24時間後に脱型をおこなう。

図2 チューブの打継ぎ手順 (縦置)

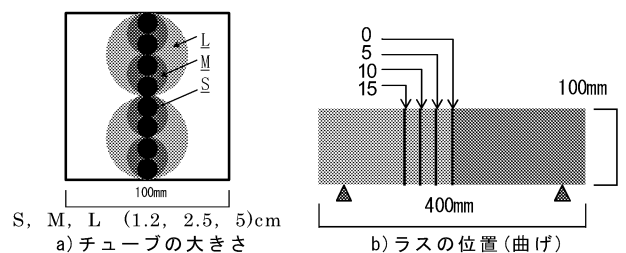


図3 チューブの直径とラスの位置

\*1 工学院大学建築系学科・学部生 \*2 工学院大学建築学部・准教授 \*3 有限会社 GMP 創房 \*4 株式会社エアーテック

引張強度の測定時には、立体的なチューブ打継ぎの界面とラス界面とでは、界面の臨界点が異なると考え、打継ぎ目の中心から 5mm ずつ位置をずらした 4 水準の試験体を作製した。

### 2.3. 実験項目と方法

表 4 に試験方法と内容、図 4 に促進中性化試験方法、図 5 に曲げたたわみ試験模式図を示す。

促進中性化試験については、打設面を除き 5 面をエポキシでシールし、長辺を 3cm ごとに割り中性化深さを計測し、さらに打継ぎ面で割り、同様に計測する。なお、圧縮試験体は、角柱試験体(15×15×15cm)の最大圧縮強度を測定し、h/d による補正を行った<sup>6)</sup>。

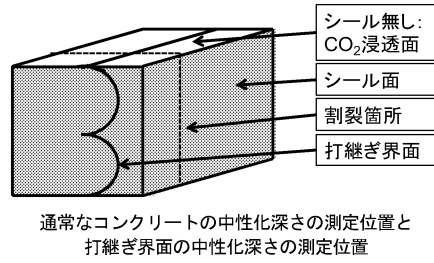


図 4 促進中性化試験方法

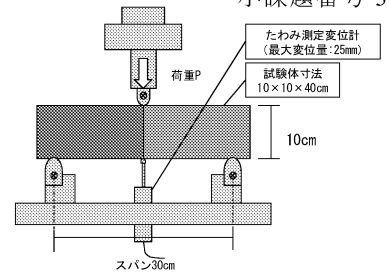
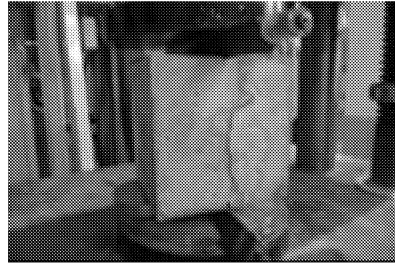
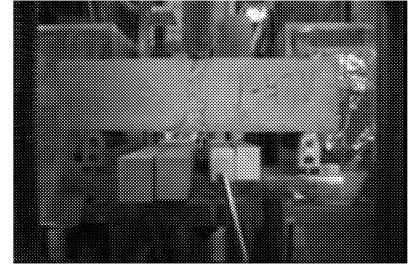


図 5 曲げたたわみ試験模式図



a) 割裂引張試験



b) 曲げたたわみ試験

写真1 コンクリートの試験写真

表 4 試験方法と内容

| 分類      | 試験項目      | 内容   |
|---------|-----------|--|
| フレッシュ性状 | スランブ試験    | JIS A 1101 コンクリートのスランブ試験方法に準じスランブを測定   |
|         | 空気量       | JIS A 1128 フレッシュコンクリートの空気量の圧力による試験方法—空気室圧力方法に準じ、空気量を測定                           |
|         | ブリーディング試験 | JIS A 1123 コンクリートのブリーディング試験方法に準じてブリーディング量を測定                                     |
| 力学特性    | 静弾性係数     | JIS A 1108 コンクリートの圧縮強度試験方法に準じて、載荷した際のひずみ量を測定し静弾性係数を算出                            |
|         | 圧縮試験      | 角柱試験体(15×15×15cm)の最大圧縮強度を測定なお、本研究では角柱試験体により試験を行ったため、h/d による補正を行った <sup>6)</sup>  |
|         | 曲げたたわみ試験  | JIS A 1106 コンクリートの曲げ強度試験方法に準じ、3 線式 1 点集中載荷法により曲げ強さとたわみの関係を測定                     |
|         | 割裂引張試験    | 角柱試験体(15×15×15cm)の割裂引張強度を測定  |
| 耐久性     | 中性化抵抗性    | JIS A 1153 準じ中性化深さを測定打設面を除き 5 面をエポキシでシールし、長辺を 3cm ごとに割り中性化深さを計測し、さらに打継ぎ面で割り同様に計測 |

## 3. 試験結果および考察

### 3.1. フレッシュ性状・ブリーディング試験

図 6 にブリーディング試験結果を示す。試験開始直後のブリーディングは認められなかったが、20 分を超えると、ブリーディングが発生することが確認できた。また、N よりも B の方が多くのブリーディング量を生じたが、共にブリーディング量は  $0.30\text{cm}^3/\text{cm}^2$  を下回っていた。

### 3.2. 力学特性

#### 3.2.1. 割裂引張試験

図 8 に割裂引張試験を示す。チューブの縦置では、チューブの径が大きくなるにつれて、強度が大きくなり、試験体のばらつきも小さい傾向を示した。これは、径が小さいものから大きくなるにつれて、ひび割れ進展が界面に沿って入りづらくなるため、チューブの径に比例して強度が大きい傾向を示したと考えられる。ただしチューブの横置きに関しては、径の違いによる大きな強度の違いは見られず、縦置に比べ強度も小さく、試験体のばらつきも大きい傾向を示した。ラス打継ぎについては、打継ぎ界面から離れるほど強度は増加し、打継ぎ界面から載荷点を 15mm 離れた試験体は、標準の試験体

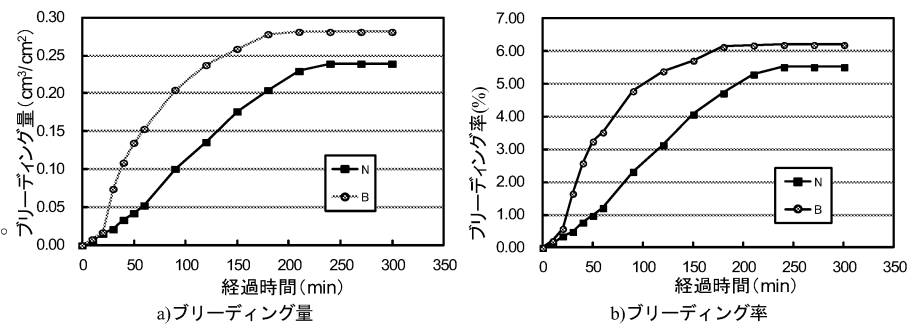


図 6 ブリーディング試験結果

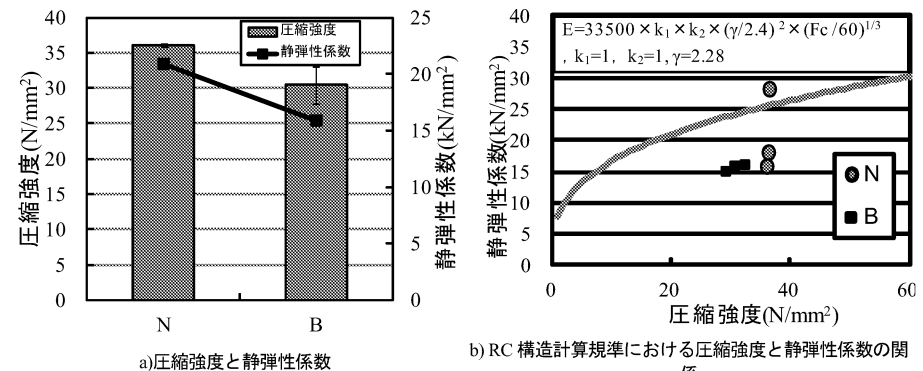


図 7 円柱試験体による圧縮試験の結果

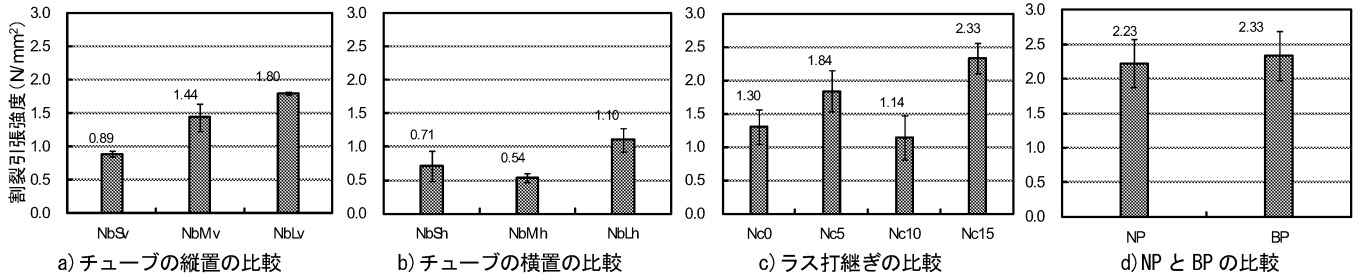


図8 割裂引張試験

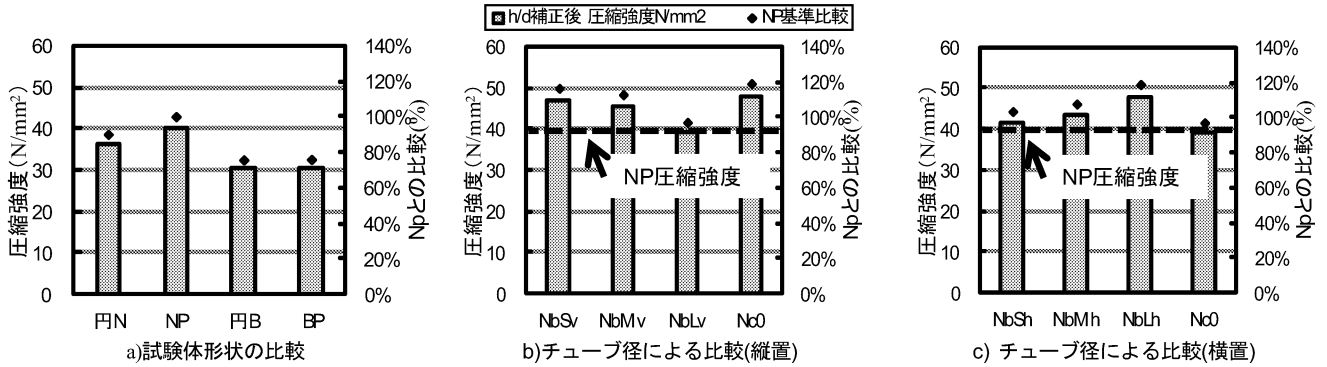


図9 圧縮試験・打ち継ぎ無しとの比較

と同等の強度を示した。これは、ラス界面付近ではひび割れ進展が直線に入り易いが、界面から載荷点が離れることでひび割れ進展が界面に沿って入らず、強度が増加したと考えられる。なお、ラスによるばらつきが大きいのは、打設時にラスからの漏出の影響でばらついたことが考えられる。

### 3.2.2. 圧縮試験と静弾性係数

図9に圧縮試験・打ち継ぎ無しとの比較と、図7に円柱試験体による圧縮試験の結果を示す。また、NPを100%とし、その他の試験体との比較をした。試験体形状について、角柱試験体の方が円柱試験体に比べ圧縮強度が高い傾向を示した。打ち継ぎについて、ラス、チューブ、標準の順に圧縮強度が高い傾向を示したがほぼ同等な値となった。なお、圧縮試験では界面をあらかじめ設けることで、本来ひずみが卓越する箇所へのひずみが分散したことが考えられるために、強度が標準も下がらなかったと考えられる。チューブ打ち継ぎについて、チューブの径による強度の違いはみられなかった。図7b)より、N、B共にRC構造計算規準における圧縮強度と静弾性係数の関係の線上にあるが、圧縮強度、静弾性係数は共にBよりもNの方が高い傾向を示した。

### 3.2.3. 曲げたわみ試験

図10に曲げたわみ曲線を示す。曲げ強さは、セメント種の違いに依存する傾向がみられなかった。打ち継ぎをした試験体と、標準の試験体では、標準の試験体の方が、曲げ強さが高い傾向を示した。なお、曲げたわみ試験では、界面をあらかじめ設けることで、本来ひずみが卓越する箇所へのひずみが分散したことが考えられるために、強度が打ち継ぎなしよりも下がらなかったと考えられ

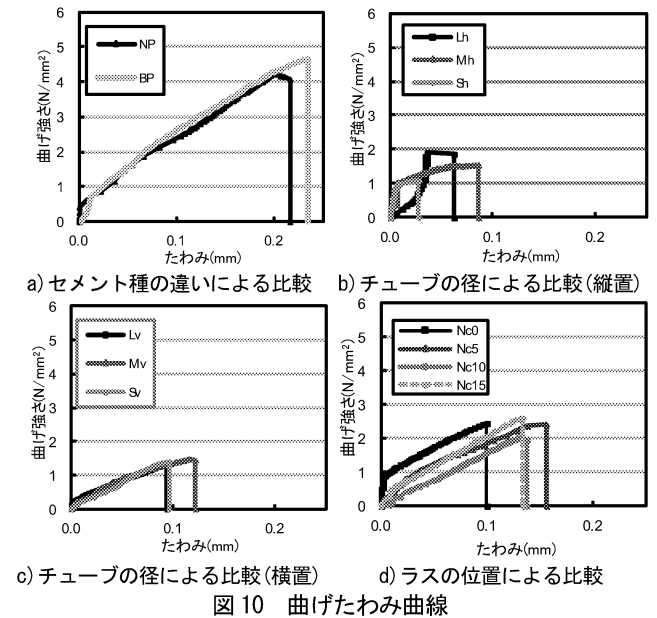


図10 曲げたわみ曲線

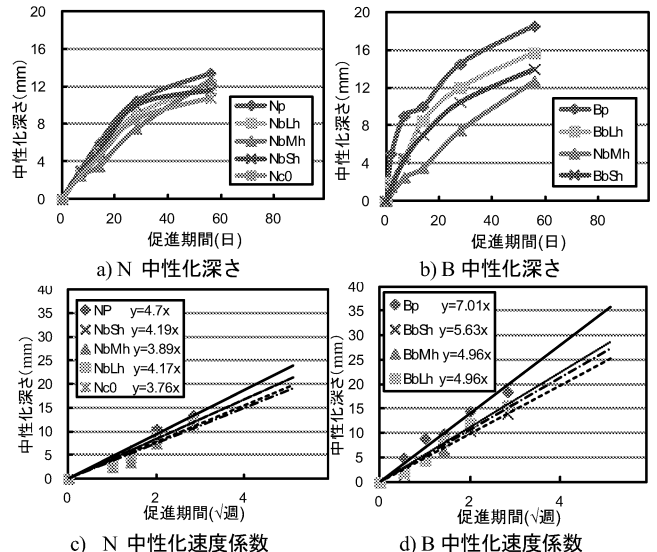


図11 中性化抵抗性の結果



る。ラス打継ぎについて、曲げ強さは大きな変化が見られなかったが、たわみ量は  $Nc0$  が最も低い値を示した。その他については、ラスの位置とたわみ量の相関はあまり見られなかった。よって、3線式1点中央載荷法では、中央位置にラス界面がくることによって、曲げ強さに変化はないが、たわみ量に影響が生じる。ただし、ラス界面を中央位置から5mm以上離すことによって、たわみ量はほぼ一定の値を示した。チューブ打継ぎについて、チューブの向きによる曲げ強さの違いはあまりみられなかったが、たわみ量は縦置きの方が強い傾向を示した。

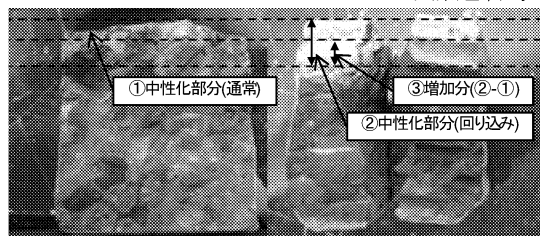
### 3.3.中性化抵抗性

図11に中性化抵抗性の結果、写真2 中性化抵抗性の写真を示す。JIS A 1153 コンクリートの促進中性化試験方法に準じて試験をおこなったが、Bの方が初期の中性化が進むことがあるため、本研究では促進中性化槽に静置してから2日で1度目の計測を行った。BとNでは、Bの方が相対的に中性化の進行が速い傾向を示した。中性化速度係数を算出したところ、NよりBの方が高く、Pと打継ぎ試験体では、Pの方が高い値を示した。

打継ぎをしない試験体の方が中性化の進行が速い傾向を示した。ただし、打継ぎをした試験体を界面で割ったところ、中性化部分が界面に沿って進行することが確認できた。写真①が通常の中性化部分で、②が界面に沿って回り込んだ試験体写真であり、③は増加部分を示している。③は①に比べ、1.5から3倍の中性化が界面に沿って進行していることが確認できた。つまり、JISに定められる中性化抵抗性の評価方法では、打継ぎ界面の評価としては十分ではない可能性があり、チューブ打継ぎ材を使用する場合は、配筋方向や配筋位置と打継ぎ材の設置位置に留意が必要な場合があると考えられる。

### 4.まとめ

- 1) フレッシュ性状は、N、B共にブリーディング量が  $0.30\text{cm}^3/\text{cm}^2$  を下回っていた。
- 2) 割裂引張試験のチューブの縦置は、チューブの径が大きくなるにつれ、割裂引張強度が増し、試験体のばらつきも小さい傾向をし、チューブの横置きでは、径の違いによる大きな強度の違いは見られず、縦置に比べ強度も低く、試験体のばらつきも大きい傾向を示した。また、ラス打継ぎについては、打継ぎ界面から15mm離れた試験体は、打継ぎ無しの試験体と同等の強度を示した。
- 3) 圧縮試験において、界面をあらかじめ設けることで、本来ひずみが卓越する箇所へのひずみが分散したことが考えられ、打継ぎをした試験体も打継ぎをしない試験体とほぼ同等な値を示すことが確認できた。チューブ打継ぎの場合、相対的な違いは無いが、Sは縦置の方が強く、Lは横置の方が強いことがわかった。



a) 通常測定後 b) 界面測定後  
備考) 打継ぎをした試験体を界面で割ったところ①、通常の1.5から3倍の中性化が界面に沿って進行していることが確認できた②③

写真2 中性化抵抗性

4) 曲げ強さは、打継ぎをしたものと、標準の試験体では、標準の試験体の方が、曲げ強さが5~8割高い傾向を示した。チューブ打継ぎについて、チューブの向きによる曲げ強さの違いはあまりみられなかったが、たわみ量は縦置きの方が多い傾向を示した。

5) 促進中性化試験において、打継ぎをしない試験体の方が中性化の進行が速い傾向を示した。チューブ立体界面部分は、JIS評価深さに対し、1.5から3倍の回り込みが確認できた。

環境配慮の優位性を踏まえ、使用箇所(梁・柱等)での力学・耐久性状の影響を踏まえた適用が重要である。

### 参考文献

- 1) 住宅の寿命を延ばす「200年住宅」への取組 H20年度予算案，国土交通省，pp.1-6，2002
- 2) 清水，嵩，能町，宮崎：コンクリート打継ぎ部の付着性状に及ぼす打継ぎ部の処理の影響に関する実験結果，日本建築学会学術講演梗概集，pp.647-648，1997.7
- 3) 佐藤，山田，石山：異なる材質の型枠によるコンクリート鉛直打継ぎ目の破壊解析的考案，日本建築学会東北支部研究報告会，pp.9-16，2000.6
- 4) 長谷川，阿部，小野里：ウォータージェットによる初裏面のコンクリート打継ぎ強度に関する研究，日本建築学会学術講演梗概集，pp.663-664，2010.9
- 5) 因幡，守屋，金子，嵩：普通ポルトランドセメントおよびエコセメントを用いたコンクリート打重ね部の中性化に及ぼす時間間隔の影響に関する実験的研究，日本建築学会構造系論文集，第73巻，第632号，pp.1691-1697，2008.10
- 6) 彦坂，田山，嵩，守屋，因幡，玉井：コンクリートの圧縮強度と静弾性係数に及ぼす円柱供試体の高さ直径比および乾燥の影響(その2)圧縮強度に及ぼす供試体の高さ直径比と乾燥の影響，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.871-872，2009.8

### 謝辞

本研究は、工学院大学 UDM・PJ 研究費の一部による。

## 再生骨材Mコンクリートのモルタル量が影響する長期材齢特性の経過報告

セメントペースト、力学的性質、モルタル量、長期材齢

須藤剛\*1, 田村雅紀\*2, 守屋健一\*3

### 1. はじめに

平成20年度の品目別建設廃棄物排出量の中でコンクリート塊は全体の5割をしめているが、その大部分は再生砕石としてリサイクルされ、路盤材や裏込め材などの道路用骨材に利用されている。図2に平成20年度品目別建設廃棄物の排出量を示す。現在ではコンクリート再生路盤材の需要にも道路整備の伸びが鈍化し始めたことで、一部地域においてはコンクリート塊が余剰となる問題も発生するに至り、現在懸念されている最終処分場の不足に拍車をかける可能性がある。写真1は路盤材用骨材の存置状況と再生骨材の原骨材である。このような背景から今後、コンクリート廃材量が減少しない中、路盤材の需要が今まで以上に伸びるとは考えにくいいため、コンクリート塊はコンクリートへ再利用することで資源の有効利用及び、廃棄物の削減により環境保全を図る必然性が生じてきたことから、再生コンクリートの利用促進を図るべくJIS規格化が行われた。再生骨材は廃コンクリートを破碎・分級して製造しますが、製造過程で骨材に付着しているモルタルをどの程度取り除くかによって再生骨材の品質（密度、吸水率）が異なり、H、M、Lにクラス分けられている。再生骨材の品質は表3に示す。

本研究では、再生骨材Mの実験を行う。研究概要図は図1に示し、研究内容は表1に示す。既に再生骨材Hと砕石を使用したコンクリートについて、材齢1年まで圧縮強度試験における供試体の乾湿の影響について実験を行った。その際に、材齢91日に比べ材齢1年で圧縮強度が若干低くなる傾向が認められたため、圧縮強度が低くなった要因を明らかにすることを目的とし、今回は材齢3年でモルタル付着率の多い再生骨材Mを追加しモルタル付着量による長期材齢特性の研究を行っていく。

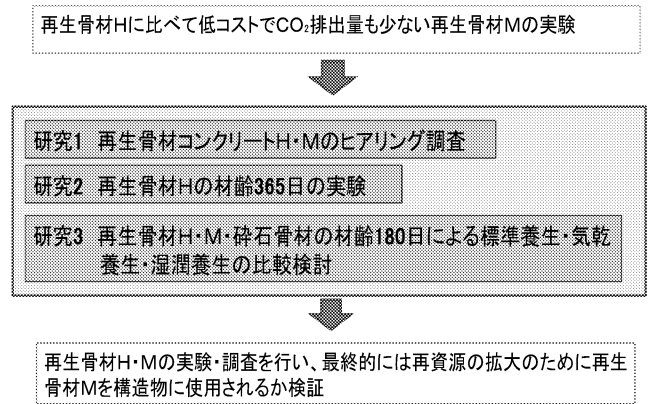


図1 研究概要図

表1 研究内容

| 研究名 | 研究の種類     | 内容  |
|-----|-----------|---|
| 研究1 | ヒアリング調査   | M株式会社にて再生骨材H・Mの現状を調査                      |
| 研究2 | 材齢365日の実験 | 再生骨材H・砕石骨材の材齢365日による圧縮強度試験・引張強度試験         |
| 研究3 | 材齢180日の実験 | 再生骨材H・M・砕石骨材の材齢180日による圧縮強度試験・引張強度試験・透水性試験 |

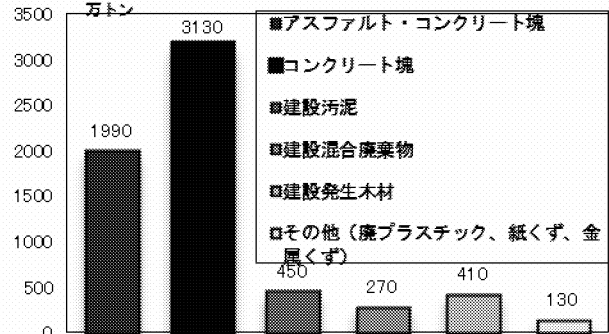


図2 平成20年度品目別建設廃棄物の排出量

表2 ヒアリング調査結果 研究1(1)

| ヒアリング調査結果(1) |  |
|--------------|--|
| 項目           | 内容   |
| 調査日時         | 平成23年9月30日   |
| 調査場所         | 東京都町田市小野路町   |
| 調査目的         | 今後必要とされていく再生骨材の実態調査を行い、再生骨材の現状知り、今後どのような目的をもって推進していくかを知るため   |
| 結果分析         | 現状：再生骨材Mを扱う会社が少なく再生骨材Mが少ない<br>今後：再生骨材Mの使用範囲拡大（構造物へ使用）のため、実験・調査を行い、実績を増やすことが重要  |
| 再生骨材のJIS規格   | 2005年には再生骨材の製造において高度な処理を施し、普通骨材と同等な品質基準とした再生骨材HのJIS規格化が、2006年には主として簡易コンクリートとしての再生コンクリートLのJIS化が、さらに、2007年には高度処理までには至らないまでも、構造用コンクリートに用い得る再生コンクリートMのJIS規格化が行われた。 |

\*1 工学院大学建築系学科・学部生 \*2 工学院大学建築学部・准教授 \*3 株式会社フローリック

## 2. 研究概要

### 2.1 再生骨材の実態調査（研究1）

今回研究で使用する再生骨材 H・再生骨材 M について 9月30日にヒアリング調査を行った。再生骨材の採取について不純物が混じっていない。地下・基礎地盤・土木工事から採取する。構造物の上部空間（生活空間）は不純物が混じっているため採取できない。再生骨材の現状は、再生骨材自体を製造している工場が少ないため、再生骨材そのものが少ないというのが現状である。また再生骨材の品質（吸水率）の幅が広い。実際に再生骨材 M を使用・販売されている会社は再生骨材 H に近い品質（吸水率）で使用・販売されていた。表 2 にヒアリング調査結果を示す。

再生粗骨材は中品質の再生骨材 M とし、その製造は原コンクリートを加熱すり揉み法による処理をしている。再生骨材 H、再生骨材 M とともに品質は密度、吸水率ともに JIS A 5021(高品質再生骨材 H)、JIS A 5022(中品質再生骨材 M)に適合しているものを使用されている。

### 2.2 再生骨材 H コンクリートの材齢 365 日実験（研究 2）

#### 2.2.1 使用材料

使用した骨材は、粗骨材は前述の再生骨材 H と、比較用に青梅産硬質砂岩砕石を使用し、細骨材は君津産山砂と上里産陸砂を容積比 7:3 で混合したものを使用。

#### 2.2.2 コンクリート計画調査

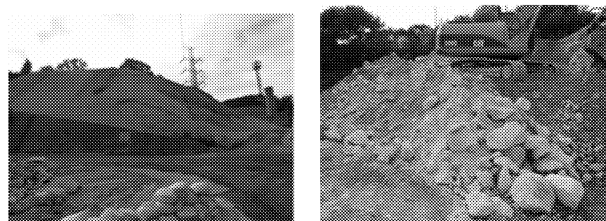
コンクリートの種類は砕石コンクリート(CS)と再生骨材コンクリート(RH)とし、水セメント比は材齢 28 日目の目標強度をレディーミクストコンクリート規格の呼び強度 39,30,21 として 50,65,75% の 3 水準を設け、目標スランプ  $18.0 \pm 1.0\text{cm}$ 、目標空気量  $4.5 \pm 0.5\%$  とし作製した。

#### 2.2.3 材齢 365 日の力学特性

材齢 365 日の圧縮強度の試験結果を図 3 に示す。再生骨材を用いたコンクリートに関して、調査に関しては、一般的な砕石骨材を用いた場合よりも粗骨材量が増加し、単位水量を低減する事ができる。しかし材齢 365 日の長期材齢では、再生骨材 H の強度が低下した。これにより

再生骨材 M を用いたコンクリートを構造用コンクリートに用いる際、付着モルタル量とモルタル塊によるモルタル総量分が影響したのではないかと考えられる。特にコンクリートの調合によっては、付着モルタルとモルタル塊自身とその周境界面の含水状態がセメント硬化体や結晶表面水の機械的結合力や応力伝達性に影響をもたらし、強度低下する現象やセメント硬化体の相対湿度に依存して表面張力が低下する事で強度が低下する現象などで今回このようなことが起こり得たと考えられる。

そのため、当刻モルタル量をパラメータとして変化させた上で、コンクリートの含水程度を変えた場合の基礎物性に与える影響を研究 3 で検討する。



a) 再生骨材存知状況      b) 再生骨材原骨材

写真 1 再生骨材の存知状況と原骨材

表 3 研究 1 ヒアリング調査（再生骨材の種類）

| 再生骨材               |     | 品質     |          | 適用部位      | 特徴   |
|--------------------|-----|--------|----------|-----------|--|
|                    |     | 絶乾密度   | 吸水率      |           |  |
| H<br>JIS A<br>5021 | 粗骨材 | 2.5 以上 | 3.0% 以下  | 制限なし      | 普通骨材と同等の取扱ができ適用範囲は広いが、製造エネルギー消費が大きく、コストが嵩む中副産物も多々発生。H より安い。適用部位は限定されるが、製造手間の関係で使用量が多い部位でも可能。 |
|                    | 細骨材 | 2.5 以上 | 3.5% 以下  |           |  |
| M<br>JIS A<br>5022 | 粗骨材 | 2.3 以上 | 5.0% 以下  | 杭・基礎      | 製造時の副産物は少なく製造コストも最も安い。品質の面から構造体には使用できない。   |
|                    | 細骨材 | 2.3 以上 | 7.5% 以下  |           |  |
| L<br>JIS A<br>5023 | 粗骨材 | —      | 7.0% 以下  | 無筋構造物・捨コン | 製造時の副産物は少なく製造コストも最も安い。品質の面から構造体には使用できない。   |
|                    | 細骨材 | —      | 13.0% 以下 |           |  |

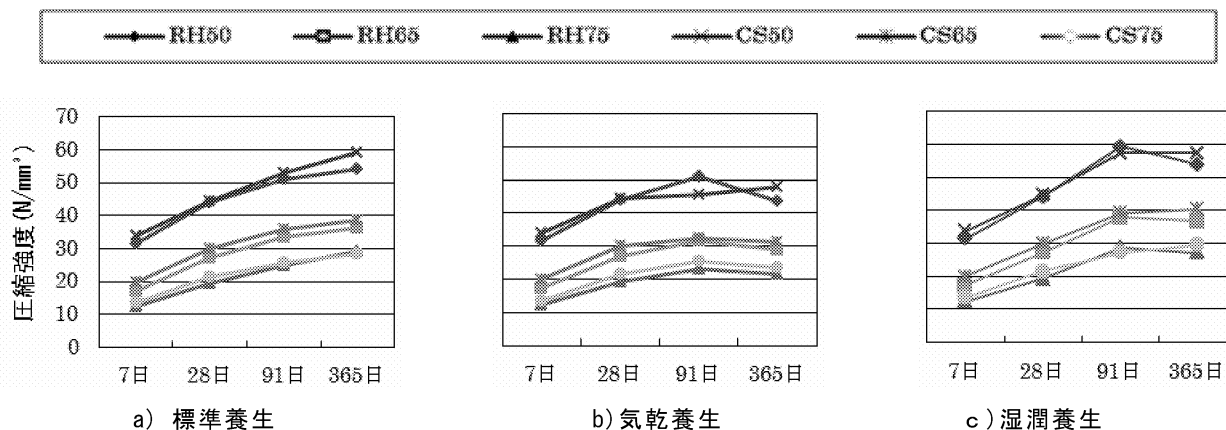


図 3 圧縮強度・材齢（標準・気乾・湿潤養生）

## 2.3 再生骨材Mの材齢180日実験（研究3）

### 2.3.1 使用材料

使用材料は表4に示す。セメントは普通ポルトランドセメントを3社混合で使用した。細骨材は君津産の陸砂と児玉産の山砂を使用した。粗骨材は再生骨材Hと再生骨材Mと青梅産硬質砂岩碎石を使用した。

### 2.3.2 試験方法

表5に試験方法を、表6に実験水準を表す。気乾とは28日標準養生後91・180・365・546・1092日まで室温20℃湿度60%の気中養生後気乾状態で試験したものであり、湿潤は28日標準養生後91・180・365・546・1092日まで室温20℃湿度60%の気中養生後48時間水中浸漬を行い湿潤状態で試験したものである。

試験は圧縮強度、引張強度、静弾性係数ならびに非破壊試験として動弾性係数試験を行う。試験方法については、再生骨材Hコンクリートでの実験時に行った同じ方法で行う。

コンクリートは温度20℃、湿度60%R.H.に調整した恒温室で容量100Lの強制2軸ミキサを用いて練り混ぜを行う。練り上がり後、フレッシュコンクリート試験としてスランプ、空気量、練上がり温度を測定し、供試体作製を行う。

### 2.3.3 試験結果

コンクリート調査、フレッシュ試験は表8示す。スランプ試験はJIS A 1101を参照し、空気量の圧力による試験はJIS A 1128を参照した。現在までの試験は骨材試験、フレッシュ試験、モルタル塊量試験、圧縮試験の一部が行われた。

モルタル塊量試験はJASS 5N T-20Xを参照した。この試験結果は図4に示す。この試験方法は、構造物の解体などにより発生したコンクリート塊を対象に、破碎、磨砕、加熱、分級等の処理を行い製造した再生骨材中のモルタル塊量の試験に適用する。モルタル塊の概念はモルタルが0%の物が原骨材であり、モルタルが0%以上～50%未満が付着ペースト骨材である。モルタルが50%以上～100%未満、100%がモルタル塊となる。

モルタル付着率試験もJASS 5N T-20Xを参照した。この試験は構造物の解体などにより発生したコンクリート塊を対象に、破碎、磨砕、加熱、分級等の処理を行い製造した再生骨材中の付着ペースト量を計測する。結果を表7に示す。再生骨材H、再生骨材Mともに一番モルタル分が付着している粒度は～5mmであり次に多いのは5mm～10mmである。粒度で分けた場合、細かい骨材になればなるほど付着モルタルが多くなる。

表4 使用材料

| 種類    | 最大寸法 (mm) | 絶乾密度 (g/cm <sup>3</sup> ) | 吸水率 (%) | 実積率 (%) | 粗粒率  |
|-------|-----------|---------------------------|---------|---------|------|
| 碎石骨材  | 20        | 2.67                      | 2.68    | 59.9    | 6.60 |
| 再生骨材H | 20        | 2.59                      | 2.62    | 62.5    | 6.60 |
| 再生骨材M | 20        | 2.58                      | 2.64    | 61.6    | 6.53 |
| 細骨材   | 5         | 2.58                      | 2.62    | —       | 2.58 |

表5 試験内容

| 試験項目   | 準拠規格       | 供試体寸法 (cm) | 7日 | 28日 | 91日 |   | 180日 |    |   |
|--------|------------|------------|----|-----|-----|---|------|----|---|
|        |            |            | 水中 | 水中  | 水中  | 乾 | 湿    | 水中 | 乾 |
| 圧縮強度試験 | JIS A 1108 | φ10×20     | ○  | ○   | ○   | ○ | ○    | ○  | ○ |
| 引張強度試験 | JIS A 1113 | φ10×15     | —  | —   | ○   | ○ | ○    | ○  | ○ |
| 透水性試験  | —          | EPMA       | —  | —   | ○   | ○ | ○    | —  | — |

表6 実験の要因と水準

| 要因                        | 水準       |
|---------------------------|----------|
| 水セメント比                    | 50%一定    |
| 供試体成型                     | 縦打ち      |
| 単位水量 (kg/m <sup>3</sup> ) | W170一定   |
| コンクリート温度                  | 21℃      |
| 粗骨材洗浄                     | 有        |
| 混和剤量                      | C×0～1.0% |

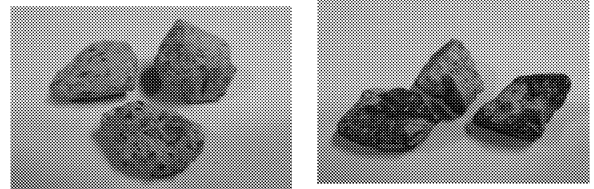


写真2 再生骨材M  
a) 付着ペースト骨材 b) モルタル塊

表8 コンクリート調合・フレッシュ試験

| No. | 骨材       | W/C (%) | s/a (%) | 単位量 (kg/m <sup>3</sup> ) |     |    |     |     |      | スランプ (cm) | 空気量 (%) | 単位容積質量 (kg/m <sup>3</sup> ) |
|-----|----------|---------|---------|--------------------------|-----|----|-----|-----|------|-----------|---------|-----------------------------|
|     |          |         |         | W                        | C   | FA | S1  | S2  | G    |           |         |                             |
| 1   | 再生骨材H    | 50.0    | 43.2    | 170                      | 340 | —  | 385 | 381 | 1006 | 18.0      | 4.9     | 2290                        |
| 2   | 再生骨材H+FA | 50.0    | 41.3    | 170                      | 340 | 51 | 356 | 352 | 1006 | 18.0      | 4.6     | 2292                        |
| 3   | 再生骨材M    | 50.0    | 42.4    | 170                      | 340 | —  | 377 | 373 | 1030 | 17.5      | 5.0     | 2295                        |
| 4   | 青梅碎石     | 50.0    | 43.2    | 170                      | 340 | —  | 385 | 381 | 1029 | 16.5      | 4.5     | 2312                        |

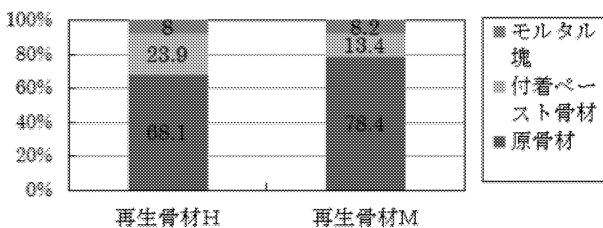


表7 粒度別モルタル付着率試験結果

| 試料    | ～5 mm | 5 mm～10 mm | 10 mm～15 mm | 15 mm～20 mm |
|-------|-------|------------|-------------|-------------|
| 再生骨材M | 2.7%  | 1.8%       | 1.0%        | 1.2%        |
| 再生骨材H | 3.1%  | 2.5%       | 1.5%        | 1.2%        |

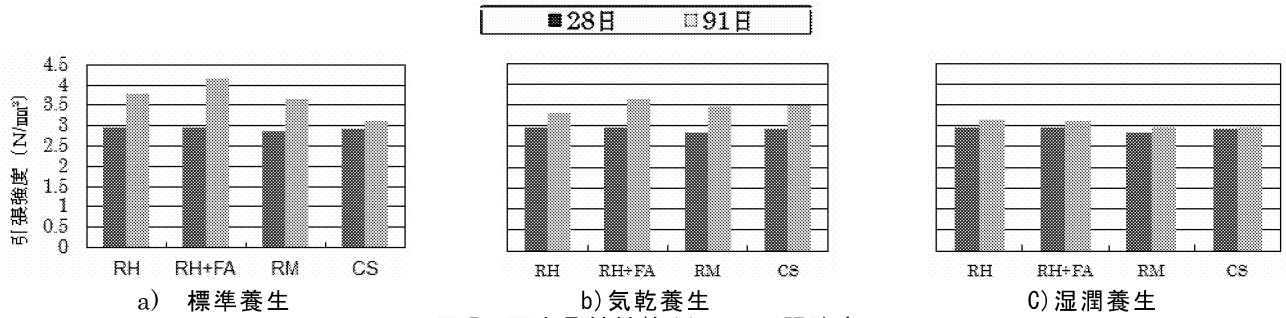


図5 再生骨材材齢91日 引張強度

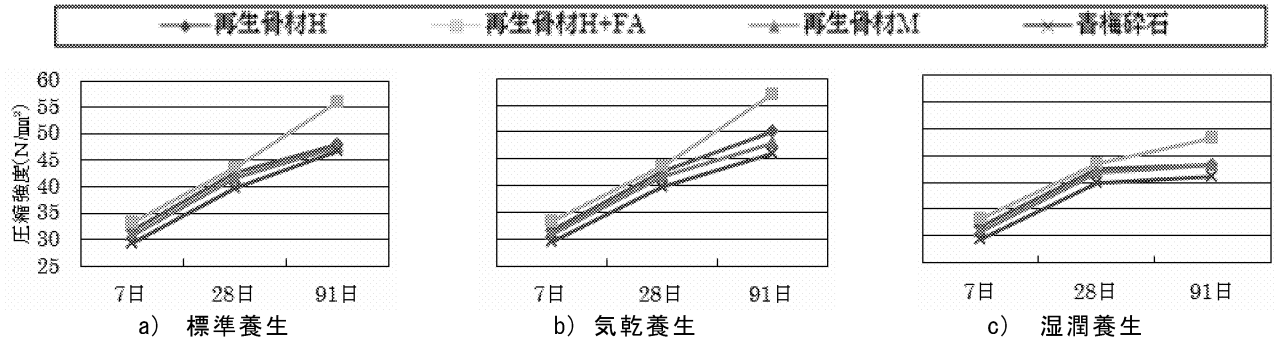


図6 再生骨材材齢91日 圧縮強度

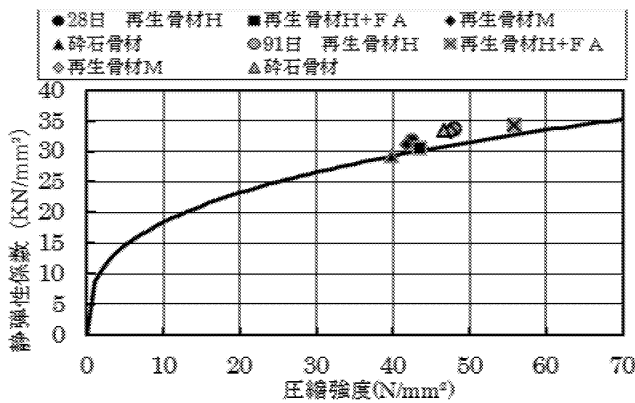


図7 圧縮強度と静弾性係数の関係

引張強度試験は JIS A 1113 を参照した。試験結果は図 6 に示す。ここでは再生骨材 H を (RH)、再生骨材 H+FA を (RH+FA)、再生骨材 M を (RM)、砕石骨材を (CS) と示す。試験は 28 日・91 日までの結果が出ている。標準養生、気乾養生は 28 日から 91 日になるに至って伸びているが、湿潤養生は伸びが鈍化し始めた。

圧縮強度試験 JIS A 1108 を参照した。試験は 7 日・28 日・91 日までの結果が出ている。28 日から 91 日にかけては、標準養生、気乾養生、湿潤養生ともに再生骨材 H、再生骨材 M、砕石骨材は強度が伸び悩んでいる一方で、再生骨材 H+FA は強度が伸びていることが分かる。この反応により、セメントにフライアッシュ混合させることにより、ポズラン反応が長期間継続するため、セメントだけの場合よりも長期強度が増進し、耐久性に富んだ構造物ができることが分かった。また湿潤養生は標準養生、気乾養生に比べ 28 日から 91 日にかけて強度が下がっていることから、湿潤養生はこれ以上強度が上がらないことが分かった。

図 7 に標準水中養生における材齢 28 日及び 91 日の圧縮強度と静弾性係数の関係を示す。再生骨材コンクリート H、再生骨材コンクリート M において砕石コンクリートと同様

な傾向が見られた。図中では供試体密度  $\gamma$  は実測の平均値から  $2.4t/m^3$  とした。標準養生では実測静弾性係数が推定値よりよりも大きくなったものの、実測値と推定値が 1:1 と平行関係にあり、再生骨材コンクリート H、再生骨材コンクリート M、砕石コンクリート同様な関係にあった。

### 3. まとめ

- (1)再生骨材の現状は、再生骨材を製造している工場が少ないため、再生骨材そのものが少ない。
- (2)再生骨材 H 材齢 365 日の長期材齢での実験では、再生骨材 H の湿潤養生、気乾養生が 91 日を過ぎ、強度が下がってきた。
- (3)モルタル塊量試験、モルタル付着率の結果は材齢 156 週 (3 年) の試験結果において、コンクリートへの影響へと繋がるかどうかの判別の資料となった。
- (4)圧縮強度試験ではフライアッシュを混合した試料は強度が伸び、湿潤養生は 28 日を過ぎ強度が下がった。
- (5)圧縮強度試験での標準養生では再生骨材 H、再生骨材 H+FA、再生骨材 M が砕石骨材に比べ多少下がり始めてきた。

### 謝辞

本研究は継続中であり、(株)フローリック、建築研究振興協会の高英雄元工学院大学教授との共同研究である。(株)武蔵野土木各位の方々には多くの協力を得た。

### 参考文献

- 1) 国土交通省 平成 20 年度建設副産物実態調査 2008 年度
- 2) 泥土リサイクル協会 建築副産物の現状 2008 年度
- 3) 千葉 貴樹：再生骨材コンクリート M における引張強度試験方法の違いによる各種影響
- 4) 守屋 健一：再生骨材 M ～中間報告 2010 年度
- 5) 日本コンクリート工学協会：再生骨材コンクリートの現状と将来展望
- 6) コンクリート廃材から骨材の再生 一廃棄物処理と粉砕技術 一 花崎芳朗\*, 坂田博志\*\* 2008
- 7) 竹内博幸 五洋建設建築エンジニアリング部 再生コンクリート復及拡大への課題と将来性 2008 年 10 月
- 8) 例えば、日本建築学会大会概論集 pp.1093-1095,2010

# 植生の有機物骨格を利用した無機有機複合体の基礎的物性に関する研究

有機物骨格 無機 複合体 ヘチマ繊維

五十嵐 怜\*1 田村雅紀\*2

## 1. はじめに

近年、様々な分野で複合化やハイブリット化といったことを目にする。これらはそれぞれの物質を単に足し合わせた効果だけではなく、単独の物質では得られない物性、機能を発現する可能性がある。建築材料の分野では鉄筋コンクリートのように複数の異質の物質を組み合わせて互いの欠点を補うことで、更に品質を向上させてきた。古代のエジプトはレンガの中に切り藁や麻を混ぜ、欠陥を減らすためにこれに圧力をかけて成形することで強度や耐久性を向上させた。日本では藁を土壁に混入し、格子状に組んだ竹を補強材として用いることで強度と向上させ、更に湿度を一定に保つ効果や、耐火性などの耐久性を向上させる特徴もある。このように、建築材料の分野では複合材料を作製し実生活に応用させてきた<sup>1)2)</sup>。現在、建築材料の分野で主として使用される有機系材料(木材等)と無機系材料(コンクリート等)は別々に用いられることが多いが、このような専門性の分限は、材料におけるイノベーションを妨げる可能性がある。又、建材として利用される天然の有機系材料の多くは強固な繊維骨格を維持しており、骨格を維持しつつ無機系材料であるセメント固化体と複合化することで、互いの欠点を補いつつ新たな特性を持つ材料ができる可能性がある。また、使用する無機材料によっては、仕上げ材として有機物骨格の形やテクスチャーを表現できる可能性がある。そこで、有機物骨格を利用した無機有機複合材料がどのような物性を持ち合わせるのかを評価する必要があるため、本研究で、まずは有機物骨格の製造及び物性評価を行い、次に有機物骨格を考慮した無機有機複合体を作製し基礎的物性評価を行った。(図1)

## 2. 研究概要

### 2.1 実験方法

表1に実験項目と方法を示す。有機物骨格試験では、繊維の溶解を行った後に、顕微鏡にて繊維の細部の測定を行う。次に、物性評価を行うためデジタルフォースゲージを用いて繊維の直接引張強度を算出する。表2に使用材料、図2に有機物骨格切断モデルを示す。本研究では有機物骨格としてヘチマ繊維を用いるが、細部まで充填させることを考慮し、セメントペーストでの評価を行うことにした。圧縮・引張試験体の有機物骨格についてはH0、H1、H2の3種類とプレーンのN、計4種類を作製。H0、H1、プレーンについてはφ10×20、H2については繊維の構造上、φ5×10の円柱試験体を作製。又、曲げ試験体については、H3aとH3bの2種類とプレーンの計3種類の角柱試験体(40×40×160mm)を作製。表3に実験要因と水準を、表4に計画調査を、図3に曲げ試験図を示す。セメント種類は、普通ポルトランドセメントで、W/C=40、55、70%の3水準とした。安定したコンスタンシーの確保の為、微粉末を混入し比較した。

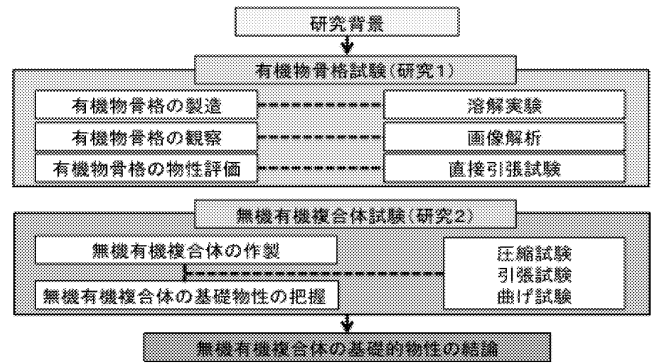


図1 研究概要図

表1 実験項目と方法

| 項目        | 内容   |  |
|-----------|------|--|
| 有機物骨格試験   | 溶解実験 | ヘチマからの、有機物骨格の製造  |
|           | 画像解析 | 顕微鏡により繊維径(μm)と繊維充填度を測定   |
|           | 物性評価 | デジタルフォースゲージにより有機物骨格の直接引張試験を行い引張強度を測定   |
| 無機有機複合体試験 | 引張試験 | JIS A 1113:コンクリートの割裂引張強度試験方法を参照して、引張強度を測定                                    |
|           | 圧縮試験 | JIS A 1108:コンクリートの圧縮試験方法を参照して試験を行い、縦ひずみはコンプレッソメータ、横ひずみはひずみゲージ(測定区間60mm)により測定 |
|           | 曲げ試験 | JIS R 5201:セメント物理試験方法を参照して、3線式中央1点荷法により、曲げ強さとたわみ量の関係を測定                      |
|           | 色差測定 | 色差計により、破断面の色彩を計測   |

表2 無機有機複合体に用いる使用材料

| 項目    | 記 | 内容           | 密度                          |
|-------|---|--------------|-----------------------------|
| セメント  | N | 普通ポルトランドセメント | 3.16 (g/cm <sup>3</sup> )   |
| 微粉末   | S | 硬質砂岩砕石粉      | 2.59 (g/cm <sup>3</sup> )   |
| 有機物骨格 | H | ヘチマ繊維        | 0.02 (g/cm <sup>3</sup> )程度 |

表3 実験の要因と水準

| 要因          | 水準                        |
|-------------|---------------------------|
| W/C (%)     | 40, 55, 70                |
| セメント種類      | N 一定                      |
| 混和材 配合率 (%) | 0, 20, 40                 |
| 有機物骨格 ヘチマ   | H0, H1, H2, H3a, H3b (図2) |
| 養生条件        | 水中養生 (20℃一定)              |

表4 ペーストの計画調査

| 記号        | W/C (%) | 配合率 (%) | 単位量 (kg/m <sup>3</sup> ) |      |     |
|-----------|---------|---------|--------------------------|------|-----|
|           |         |         | 水                        | セメント | 微粉末 |
| N40       | 40      | 0       | 558                      | 1392 | 0   |
| N55 (20S) | 55      | 20      | 589                      | 1074 | 215 |
| N70 (40S) | 70      | 40      | 608                      | 875  | 350 |

備考) 微粉末量はペーストの良好なコンスタンシーが得られるように設定  
有機物骨格は複合体重量の 0.3%~0.6%で混入

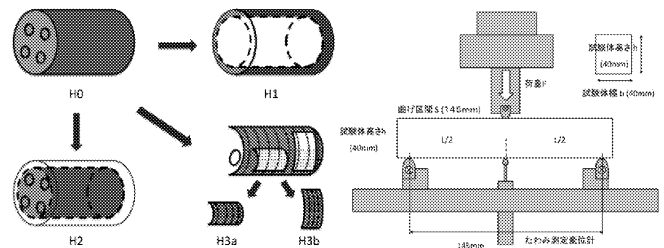


図2 有機物骨格 切断モデル

図3 曲げ試験図

\*1 工学院大学建築系学科・学部生 \*2 工学院大学建築学部・准教授

2.2 有機物骨格(ヘチマ繊維)の物性評価(研究1)

1) 溶解及びヘチマ繊維の構造

表5にヘチマ繊維の溶解方法, 図4にヘチマ繊維断面モデル, 図5に繊維平均太さの比較を示す。繊維の溶解方法には大きく分けて4種類ありそれぞれに利点と問題点がある。本研究では薬品処理した後に水で十分にさらしたものを使用した。

溶解後の繊維の計測について, 本体の質量は40g, 長さは498.7mm, 直径は約80mmが平均値であり, 湾曲しているものも多数確認された。最大直径は95mm, 最小直径が63mmとなり, 最小直径の1.5倍が最大直径になる傾向があり, 孔は4つ穴と, 3つ穴の2種類が確認された。ヘチマの繊維は網目状の繊維が三次元方向に発達し<sup>3)</sup>, 内部は空洞を有している(写真1a-c)。又, 繊維方向は部位により異なり, 空洞の外側部分では軸方向に繊維が発達している柵状構造を有している。それに対して外周部であるb)では円周方向に繊維が発達することが確認された。c)の部分は, 他の部分に比較すると複雑な構造かつ, 繊維が不均一に分布している。円周方向へ繊維が成長するのは内から外へ広がろうとする力を抑制する為であると推測される。また, マイクロスコップを使用し, 上記で分類した繊維の太さの計測を行い, 平均値を算出した。その結果を図5に示す。繊維は柵状構造, 包圍状構造, 立体網状構造の順に繊維が太いという結果であった。これはヘチマ本体には内から外へ広がる力より, 本体にかかる垂直の力の方が大きい為であると考えられる。

2) 二次元充填度評価

図7a)に二次元充填度の結果を示す。本研究では, 各繊維をマイクロスコップにより撮影した画像を二値化処理し, 二次元充填度評価を行った。柵状構造, 包圍状構造, 共に大きな差は見られないが, 立体網状構造については前者に比べやや低い傾向にあった。包圍状構造は柵状構造に比べて繊維が細かいにも関わらず, 面積割合はほぼ変わらないということより, 繊維の強度が低いことが考えられる。(写真1 d-f)

3) 力学特性

図6に直接引張試験の繊維方向, デジタルフォースゲージを使用して, 各繊維の引張試験を行った。引張試験におけるヘチマ繊維の引張方向を図6に示す。端部は固定し, 包圍状構造及び柵状構造は繊維の発達方向に引張り, 立体網状構造については柵状構造と同方向に引張りを行った。計測した荷重は, 画像解析により算出した(充填度評価同様)断面積で除した値を引張強度とした。平均して最も引張強度が高かったものは柵状構造になり, 次いで立体網状構造となった。包圍状構造繊維は柵状構造繊維に対して半分近く下回る値であり, 引張力に対しては他の部位に比べ劣ることが確認された。

表5 繊維の溶解方法

| 溶解方法 | 内容   |            |          |
|------|------|------------|----------|
|      | 溶解期間 | 利点         | 問題点      |
| 自然乾燥 | 数ヶ月  | 手間がかからない   | 時間がかかる   |
| 水中腐敗 | 2週間  | ほぼ時間がかからない | 腐敗臭の発生   |
| 薬品   | 1日   | 大きさに左右されない | 薬品の購入が必要 |
| 煮沸   | 数時間  | 短時間で作成可能   | 器の大きさで制限 |

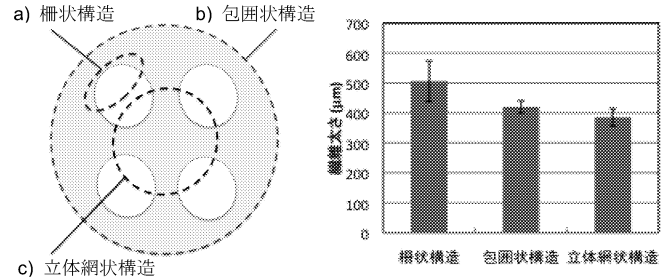


図4 ヘチマ繊維断面モデル 図5 繊維平均太さの比較

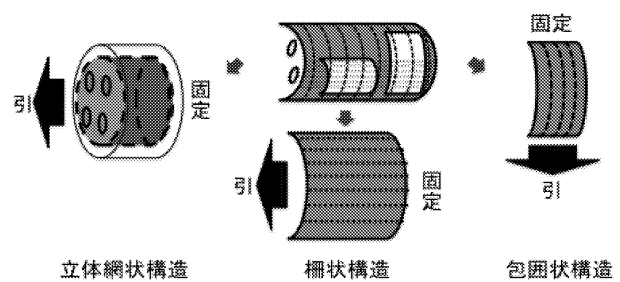
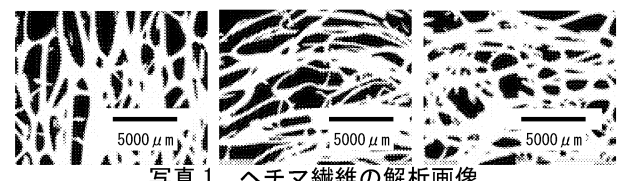
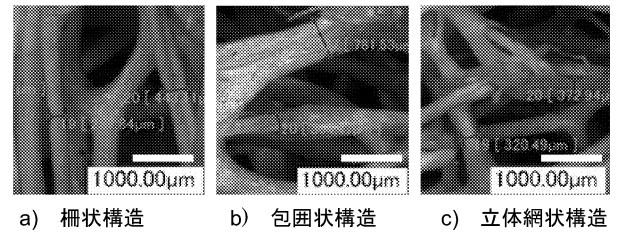
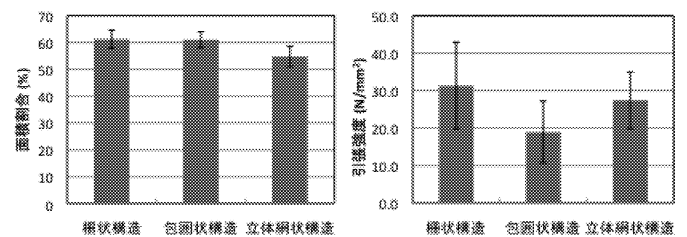


図6 有機物骨格 引張試験の繊維方向



a) 二次元充填度評価 b) 繊維の直接引張強度

図7 有機物骨格の物性

## 2.3 無機有機複合体の基礎物性(研究 2)

### 1) 密度評価

図 8 a) にヘチマ繊維のかさ密度と複合体の密度を示す。N は繊維なし (= 0) で、H0 はヘチマ繊維の端部を切断した状態であり密度が高い傾向にあるが、H1, H2 は大きな変化は見られなかった。その有機物骨格を用いて複合体を作製し密度比較をした。N シリーズより H0 が 1~2% 低い値を示し、H2 は他に比べやや高くなる傾向にあった。

### 2) 引張強度

引張試験結果を図 8 b) に示す。W/C=40% においては N シリーズが全ての H シリーズより強度が高い傾向を示したが、W/C=55%, 70% については N シリーズと同程度又は、やや高くなる傾向であり、H シリーズでは H2 が高くなる傾向にあった。

### 3) 圧縮強度

図 8 c) に全試験体の圧縮強度と静弾性係数を示す。全体的に、圧縮強度は水セメント比に依存し、同一 W/C では H シリーズより N シリーズの方が強度は高い傾向であった。H シリーズに着目すると、H0 より H1, H2 の方がやや強度が高くなる傾向がある。静弾性係数については大きな相関得られなかったが、H2 は N シリーズと同程度の数値を示した。ヘチマ繊維のかさ密度と圧縮強度の結果を比較すると、かさ密度が高い方が強度は低下することが確認された。又、N シリーズは脆性的な破断をするのに対し、H シリーズは繊維の拘束力が働く為、脆性的な破断を生じないと推測される。

### 4) 破壊特性

図 9 に破壊臨界ひずみと破壊臨界点評価を、図 10 に W/C=70% の破壊臨界ひずみ特性を示す。N シリーズと H シリーズを比較すると、H シリーズの方が低い数値を示し、最大で N シリーズの 4 割程度ひずみが減少した。又、W/C=70% の H シリーズでは H1 が最もひずみ量が大きい値を示した。

### 5) 曲げ-たわみ特性

図 11 に曲げ-たわみ曲線を、図 12 a) に曲げ破壊エネルギーの比較を示す。曲げ破壊エネルギーは、縦軸に各強度、横軸に変位をとり荷重変位曲線に囲まれた部分を積分して算出した<sup>4)</sup>。

曲げ-たわみ曲線に関して、曲げ強さは、N シリーズについては水セメント比に依存するが、H シリーズは関係性が弱く数値大きく変化することは確認されなかった。又、H3b より H3a の方がやや数値が高く、たわみ量も多い傾向がある。N シリーズは最大強度に到達後、脆性的な破断を生じるが、H シリーズについては、H シリーズは強度が低下してから再び強度及びたわみ量が緩やかに上昇した。ペースト部分に亀裂が生じ強度が低下した後に繊維に依存することで脆性的な破断を防ぎ、たわみ量が上昇すると推測される。曲げ破壊エネルギーは、総じて N シリーズより H シリーズの方が高い値を示した。H3a に着目すると W/C=70% が最も高く水セメント比との関係性はあまり見られず、H3b も同様に W/C=70% が高い値を示した。H シリーズ

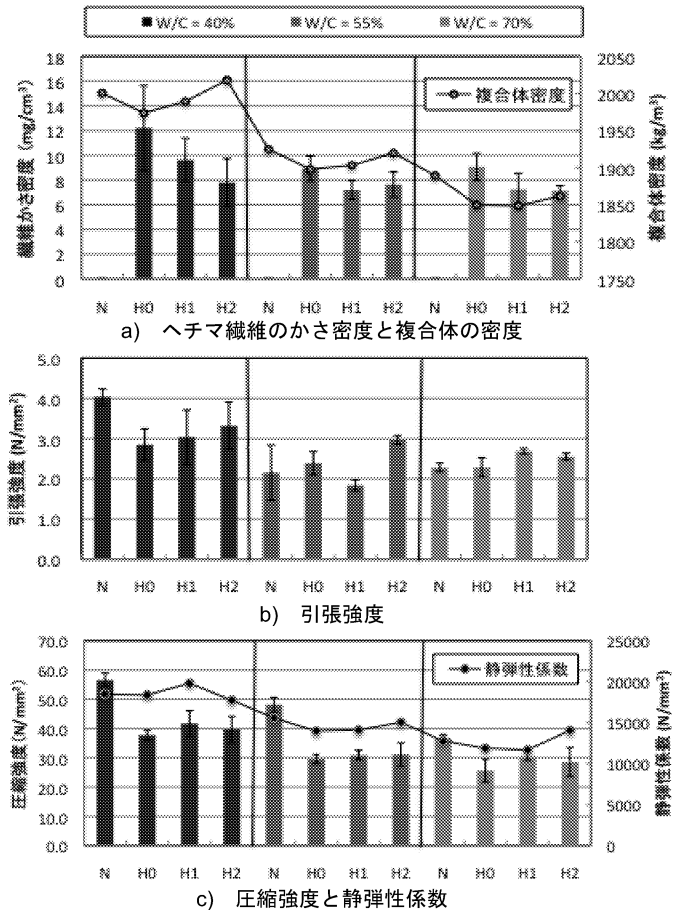


図 8 無機有機複合体の基礎物性

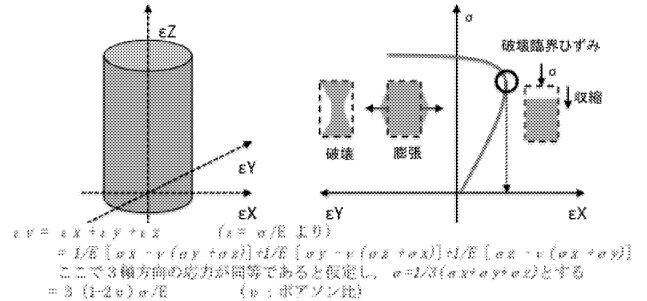


図 9 破壊臨界ひずみと破壊臨界点評価

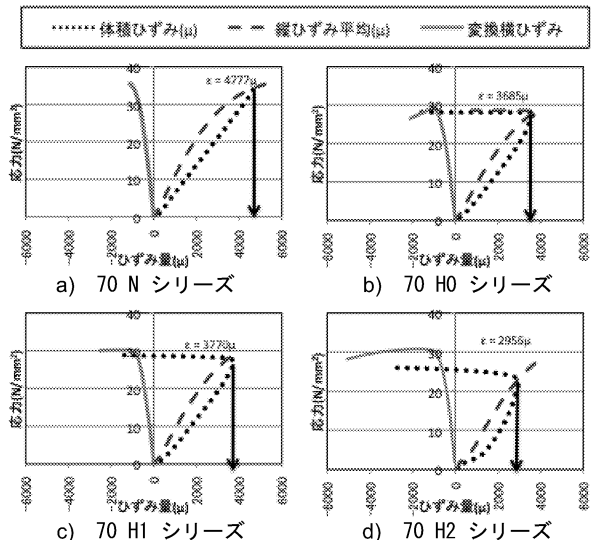


図 10 破壊臨界ひずみ特性 (w/c = 70%)



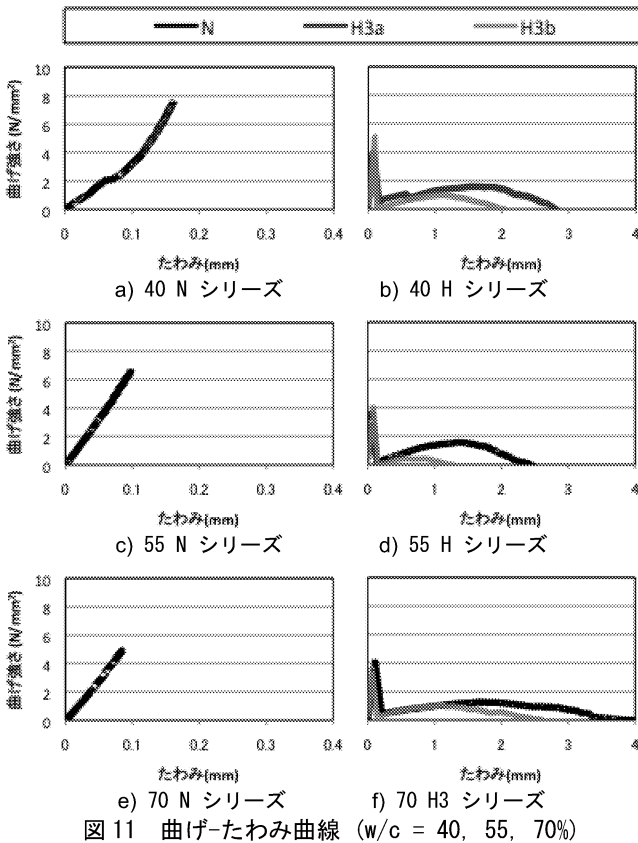


図 11 曲げ-たわみ曲線 (w/c = 40, 55, 70%)

で比較すると H3a の方が高い結果を得た。これより、有機繊維方向により若干の変化はあるが、繊維を混入することでひび割れの進展を抑える効果が見込め、セメント固化体のひび割れの抑制に効果が見込める。よって弾性域での効果は、大きな衝撃の加わった際でも剥離を防ぐ効果に期待できる。

### 6) 曲げ試験体のひび割れ進展長さ

図 12 b) に曲げ試験体のひび割れ進展長さを示す。

N シリーズは 40mm からのずれは少ないことが確認できる。対して、H シリーズは 1.5mm 以上ずれが生じ、ばらつきも大きくなる傾向がある。H3a と H3b を比較すると、大きな相関は見られない。また、W/C が高くなるにつれひび割れが長くなる傾向が見られ、これらより H シリーズではひび割れが長くなる可能性がある。

### 7) 試験体破断面の色差測定

本研究での試験体は全てが水中養生であるため、試験体は水分を含む状態にある。ヘチマ繊維には含水効果があると予測し、試験後の曲げ試験体の断面を、色差計を用いて計測を行った。図 12 c) に L\*値の測定結果を示す。L\*値は明るさを表現する明度であり、L=0 が最暗(黒色)L=100 が最明(白色)を表している。N シリーズに比べ H シリーズの方が L\*値が低く、やや黒よりの値を示した。H シリーズに着目すると、H3a より H3b の方がやや L\*値は低くなる傾向がある。また W/C が高くなると黒さが増加する傾向にある。これらのことより、ヘチマ繊維を含むものには水分が多く含まれている可能性がある。

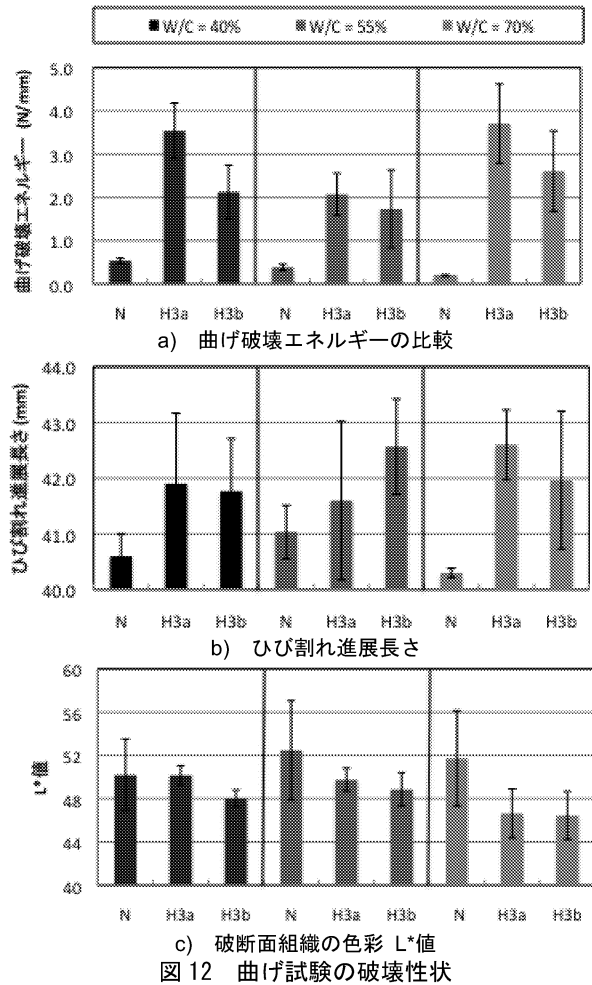


図 12 曲げ試験の破壊性状

### 3. まとめ

- 1) 測定結果から、ヘチマ繊維は部位によって繊維方向が異なり、柵状構造、包圍状構造、立体網状構造の3種類を有している。又、その順に平均的に繊維が太いという結果であった。
- 2) 直接引張強度は、柵状構造、立体網状、包圍状構造の順に高く、包圍状構造単体での使用はあまり好ましくない。
- 3) 曲げ試験の結果から、有機繊維方向により若干の変化はあるが、繊維を混入することでひび割れの進展を抑える効果が見込め、セメント固化体のひび割れの剥離抑制等に効果が見込める。
- 4) 色差測定の結果から、ヘチマ繊維を含むペースト試験体には水分が多く含まれている可能性がある。
- 5) 実用的な部分を考えると、脆性破断しないことよりパネル材(剥離防止)への適応が考えられる。

### 参考文献

- 1) 玉井孝幸, 嵩英雄: 現存する竹筋コンクリート造を求めて, コンクリート工学, vol.47, No.6, pp.19-27, 2009.6
- 2) 安藤貴広, 河辺伸二: 竹を混入したリサイクルボードの力学的特性, 日本建築学会学術講演梗概集, pp.987-988, 2011
- 3) 尾崎純一, 真鍋健一, 前田健浩: ヘチマ繊維の引張特性, 日本機械学会大会講演論文集, pp.543-544, 2007
- 4) 小室清人, 田村雅紀: 海洋生物殻廃棄物を用いたコンクリート系材料の破壊特性とカーボンニュートラル性の評価, コンクリート工学年次論文集 vol.33, No1, pp.1877-1882, 2011.7

## 生体構造特性を有する海洋生物殻を混入した鉄筋コンクリートの動的劣化特性

生体構造特性 海洋生物殻 動的劣化特性 鉄筋腐食

小室清人\*<sup>1</sup>, 田村雅紀\*

表1 使用材料

| 材料   | 種類           | 記号  | 内容                                     |
|------|--------------|-----|--|
| セメント | 普通ポルトランドセメント | C   | 密度 3.16g/cm <sup>3</sup>               |
| 細骨材  | ほたて貝砕砂       | S   | 表乾密度 2.61g/cm <sup>3</sup><br>吸水率 1.8% |
|      | 大井川産陸砂       | O   | 表乾密度 2.63g/cm <sup>3</sup><br>吸水率 1.5% |
| 粗骨材  | 青梅産碎石        | G   | 表乾密度 2.65g/cm <sup>3</sup><br>吸水率 1.5% |
| 混和剤  | AE 減水剤       | Ad1 | リグニルスルホン酸化合物とポリオールの複合体 (W/C=60%)       |
|      | 高性能 AE 減水剤   | Ad2 | 末端スルホン酸基を有するポリカルボン酸基含有ポリマー (W/C=40%)   |

### 1. はじめに

現在北海道では、ほたて貝の生産量は 40 万トン近くあり、それに伴い毎年 20 万トン近くのほたて貝殻が発生している (写真 1)。主な再利用方法として、消しゴム、チョーク、融雪剤など、また建築分野でもほたて貝殻を混入したコンクリートの基礎的物性、耐久性、強度など資源環境の改善を主眼とした再利用方法が研究されてきた (写真 2)<sup>1)</sup>。しかし、ほたて貝殻は北海道の主要な水産物であり、今後も安定した生産量が見込まれるため、今後はほたて貝殻独自の特徴を生かした、付加価値を付けた使用用途を確立して必要がある。ほたて貝殻の特徴として、生体内鉱質形成作用により、層状に重なった構造になっており、ほたて貝殻を混入したモルタルは通常のモルタルに比べ圧縮強度は下がるが、曲げ・引張破壊において、塑性域に到達後も強度が急激に低下せず、また引張破軟化が緩やかになることから仕上げ材として必要な引張や曲げ塑性域での変形抵抗性に優れることが示されている<sup>2)</sup>。

そこで本研究では、ほたて貝殻を混入したモルタルが脆性破断しない点に着眼し、中性化深さが鋼材の腐食限界に到達するまでの期間 (潜伏期) を腐食確率により予測し、鋼材の腐食開始から腐食ひび割れが発生するまでの期間 (進展期)、腐食ひび割れ発生により鋼材の腐食が増大する期間 (加速期) および鋼材の腐食量の増加により耐荷力の低下が顕著な期間 (劣化期) までを、鋼材の腐食速度および断面積残存率と年数の関係により算出した。また、進展期から劣化期までは水セメント比およびほたて貝砕砂の混入率が異なる鉄筋コンクリートを作製し、電食によりコンクリート表面に 2000 $\mu$  のひずみが発生するまで鉄筋を腐食させ、腐食量とひずみの関係を明確にすることで、鉄筋コンクリート仕上げ部の動的劣化特性を調べた。

なお、本研究で使用する動的劣化とは、時間変化を意識した劣化性状であり、腐食の増加に伴い変化する部材の劣化度進展のことを指す。

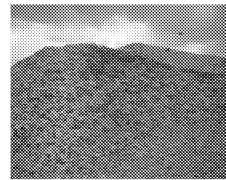


写真1 ほたて貝殻の山積み状態

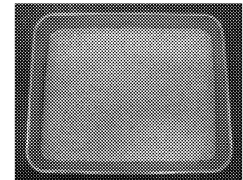
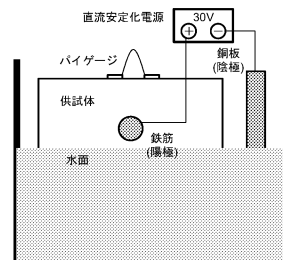


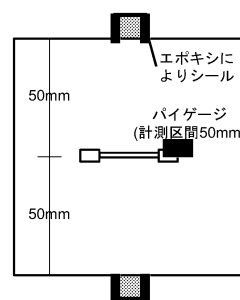
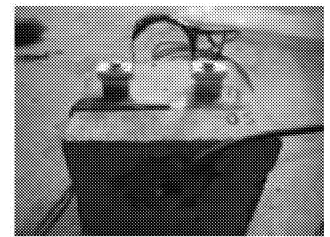
写真2 ほたて貝殻の砕砂

表2 実験の要因と水準

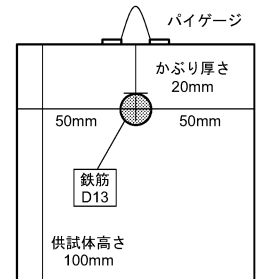
| 要因            | 水準        |
|---------------|-----------|
| 水セメント比 (%)    | 60, 40    |
| ほたて貝砕砂混入率 (%) | 0, 30, 60 |



a) 電食による鉄筋腐食の促進方法



b) パイゲージの設置箇所 (供試体上部)



c) 内部鉄筋の位置 (供試体側面)

図1 供試体と鉄筋腐食の促進試験方法

\*1 工学院大学建築学専攻修士課程 \*2 工学院大学建築学部・准教授

表3 コンクリートの調合とフレッシュ試験の結果

| 供試体名   | W/C (%) | 単位量 (kg/m <sup>3</sup> ) |     |     |     |     | Ad1 (C×%) | Ad2 (C×%) | スランブ (cm) | スランブフロー (mm) | 実測空気量 (%) | 骨材修正係数 (%) | 空気量 (%) |
|--------|---------|--------------------------|-----|-----|-----|-----|-----------|-----------|-----------|--------------|-----------|------------|---------|
|        |         | W                        | C   | S   | O   | G   |           |           |           |              |           |            |         |
| S0-60  | 60      | 175                      | 292 | 0   | 817 | 999 | 0.25      | -         | 19.0      | -            | 4.0       | -          | 4.0     |
| S30-60 | 60      | 185                      | 308 | 259 | 518 | 999 | 0.25      | -         | 18.5      | -            | 5.0       | 0.8        | 4.2     |
| S60-60 | 60      | 195                      | 325 | 489 | 245 | 999 | 0.25      | -         | 12.0      | -            | 7.5       | 1.4        | 6.1     |
| S0-40  | 40      | 160                      | 400 | 0   | 766 | 999 | -         | 0.90      | -         | 610×610      | 3.0       | -          | 3.0     |
| S30-40 | 40      | 170                      | 425 | 240 | 479 | 999 | -         | 0.90      | -         | 620×630      | 6.0       | 1.6        | 4.4     |
| S60-40 | 40      | 180                      | 450 | 448 | 224 | 999 | -         | 0.90      | -         | 600×600      | 7.0       | 2.1        | 4.9     |

## 2. 研究概要

### 2.1 使用材料と実験の要因

表1に使用材料を、表2に実験の要因と水準を示す。セメント、粗骨材は1種類のみを使用し、細骨材のみほたて貝砕砂と大井川産陸砂を使用し、細骨材の影響を調べた。実験の水準について、水セメント比は普通強度(W/C=60%)と高強度(W/C=40%)の2水準を設定し、ほたて貝砕砂混入率は大井川産陸砂を基準とし、ほたて貝砕砂の混入割合を0%(S0-W/C)、30%(S30-W/C)、60%(S60-W/C)の3水準に設定することで、ほたて貝砕砂の骨材量に違いを調べた。

### 2.2 供試体の概要と鉄筋腐食の促進試験方法

図1に供試体と鉄筋腐食の促進方法を示す。かぶり部分のひび割れの原因は、コンクリート中の鉄筋が中性化、塩害などにより鉄筋が腐食することで、鉄筋から錆が発生し体積が膨張するために、コンクリート内部に引張破壊が生じたためである。中性化による鉄筋腐食は、塩害と異なり全面腐食となることが多く、均一に腐食が進行する電食による試験が参考となる<sup>3)</sup>。よって、本研究でも電食により鉄筋腐食の促進試験を行った。供試体の寸法は100×100×100mm、内部に組み込む鉄筋はD13を用い、かぶり厚さはブリーディングの影響により所定のかぶり厚さが得られない可能性があるため、コンクリートの打ち込み下面から、かぶり厚さが2cmとなるように鉄筋を設置した。電食による鉄筋腐食の促進試験方法について、ひずみ測定面が上面になり、内部鉄筋が直接5%NaCl溶液に触れないように水槽に設置し、鉄筋を陽極、銅板を陰極に接続し直流安定化電源により30V一定の通電を行うことで内部の鉄筋を腐食させた。また、露出している鉄筋部には、腐食しないようエポキシ樹脂によりシールを行い、かぶり部分の上面には腐食ひずみを測定するためにパイゲージ(計測区間50mm)を設置した。なお、本研究では鉄筋は一律に腐食することとした。鉄筋の腐食減量の測定について、試験後の腐食した鉄筋を10%クエン酸二アンモニウム水溶液に浸漬し錆を十分に除去し、試験前と試験後の鉄筋の単位表面積当たりの重量変化を計測したものを鉄筋の腐食減量とした。

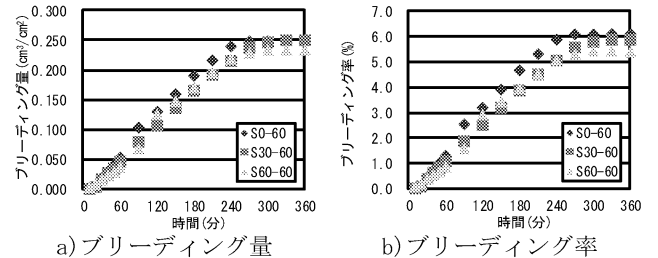


図2 ブリーディング試験の結果(W/C=60%)  
備考)W/C=40%はブリーディング無し

## 3. 結果および考察

### 3.1 コンクリートのフレッシュ性状

表3にコンクリートの調合とフレッシュ試験の結果を、図2にブリーディング試験の結果を示す。コンクリートの調合について、W/C=60%の場合は目標のスランブを18±2.5cm、W/C=40%の場合はスランブフローを600±100mm、空気量は4.5±1.5%とし、試験結果が減水剤の影響を受けないように単位水量により調節をした。なお空気量について、ほたて貝砕砂を用いる場合は空気室圧力方法により測定した実測空気量から、骨材修正係数を引いたものを空気量とした。

表より、ほたて貝砕砂を多く入れることで単位水量を増やさないと所定のワーカビリティを得ることが難しいことが分かった。また、空気量はほたて貝砕砂の混入率が増えるに伴い実測空気量は増加する傾向を示したが、骨材修正係数を引くことで所定の空気量を得ることが可能であった。ただしW/C=60%、ほたて貝砕砂の混入率60%のものは、試し練りの結果から材料分離の起こらない範囲では所定のスランブ値を得ることが出来ず、空気量も設定値より多く混入した。

ブリーディング試験の結果より、ほたて貝砕砂を混入したコンクリートは、初期のブリーディングは若干抑えられ、ブリーディング量には大きな変化は見られなかった。なお、W/C=40%のコンクリートは120分経過後もブリーディングが見られなかったため、ブリーディング無しとした。

以上より、ほたて貝砕砂を細骨材に用いる場合、所定のワーカビリティを得るために単位水量を増やさなければならないが、ブリーディングには影響を及ぼさないことが確認された。

表4 各供試体の強度試験の結果

| 供試体名   | 圧縮強度<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 引張強度<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 静弾性係数<br>(kN/mm <sup>2</sup> ) |
|--------|------------------------------|------------------------------|--------------------------------|
| S0-60  | 35.8                         | 3.7                          | 28.8                           |
| S30-60 | 26.7                         | 3.1                          | 23.8                           |
| S60-60 | 26.8                         | 3.0                          | 20.9                           |
| S0-40  | 59.8                         | 5.9                          | 34.3                           |
| S30-40 | 44.5                         | 4.7                          | 28.7                           |
| S60-40 | 44.7                         | 4.7                          | 27.6                           |

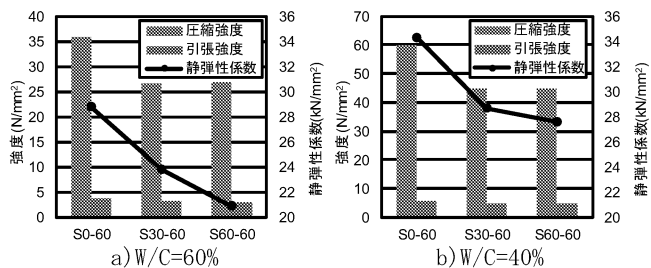


図3 強度試験と静弾性係数の関係

### 3.2 基礎力学特性

表4に各供試体の強度試験の結果を、図3に強度試験と静弾性係数の関係を示す。ほたて貝砕砂を混入したコンクリートは、混入していないものに比べ強度は下がり、その値は水セメント比およびほたて貝砕砂混入率に関わらず、ほたて貝砕砂を混入していないものを100%とすると約75%程度となった。静弾性係数について、ほたて貝砕砂を混入したコンクリートは下がり、混入率が大きいほうが静弾性係数は下がる傾向が示された。

このことより、ほたて貝砕砂を混入することで、混入率に関係なく強度は下がるが、混入率が多い方が静弾性係数は下がることが確認された。

### 3.3 鉄筋腐食の促進試験結果

図4に劣化期における腐食減量とひずみの関係を、図5に進展期における腐食減量とひずみの関係を、図6に初期ひずみ発生後のひずみ進展速度を示す。本研究ではパイゲージのひずみが変化した時の初期変化量を、腐食減量の変化量で除したものを初期ひずみ進展速度とし、値が大きい方が初期ひずみの進展する速度が速いことを示している。各供試体とも腐食減量の増加に伴いひずみが増加するが、ほたて貝砕砂を混入した供試体の方が、また水セメント比が高い方が、腐食減量に対してグラフの立ち上がり位置が遅れる傾向を示した。初期ひずみ発生時の詳細について、ほたて貝砕砂混入率を増やすことで、水セメント比および強度に関わらず腐食減量に対するひずみの傾きが緩やかになった。また、ひずみ進展速度はほたて貝砕砂を混入したコンクリートの場合、混入率により一定の値をとることが確認された。

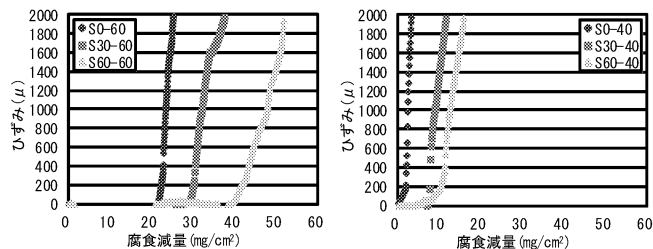


図4 劣化期における腐食減量とひずみの関係

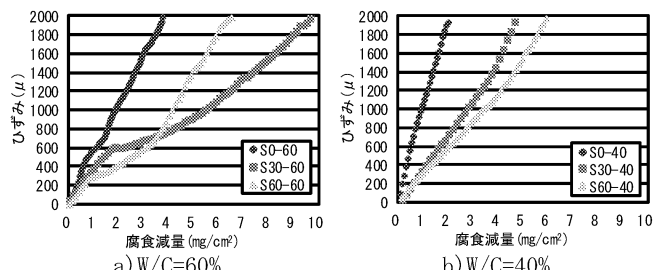


図5 進展期における腐食減量とひずみの関係

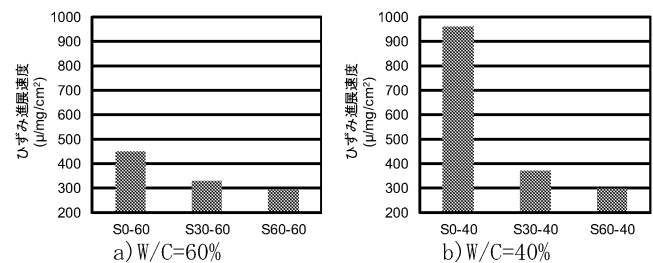


図6 初期ひずみ発生後のひずみ進展速度

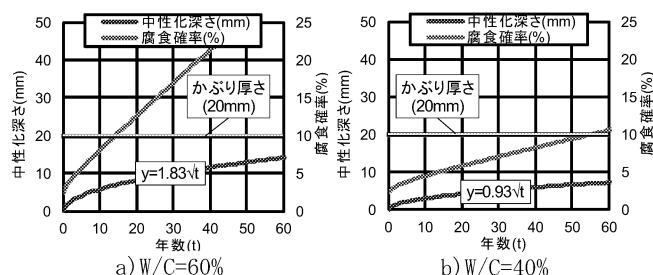


図7 中性化深さの予測と腐食確率

$$f(D-c) = \frac{1}{\sqrt{2\pi \cdot (C^2 \cdot v^2 + \sigma^2)}} \cdot \exp\left\{-\frac{\{(D-c) - (D_{Av} - C_{Av})\}^2}{2(C^2 \cdot v^2 + \sigma^2)}\right\} \quad (1)$$

ここに

- D かぶり厚さ(20mm)
- C 中性化深さ (mm)
- v 中性化変動係数(0.3)
- σ かぶり厚さの標準偏差(10mm)
- D<sub>Av</sub> かぶり厚さの平均(20mm)
- C<sub>Av</sub> 中性化深さの平均

### 3.4 動的劣化による材齢の予測

図7に中性化深さの予測と腐食確率を、図8に断面積残存率と年数の関係を、図9に動的劣化の許容年数を示す。腐食確率とは潜伏期における中性化深さとかぶり厚さにおける正規

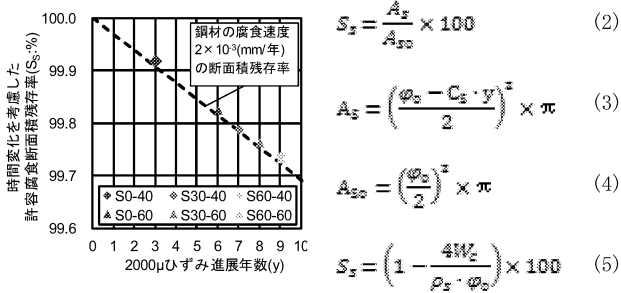


図8 2000μひずみ進展時の許容腐食断面積残存率と年数

ここに

- $S_s$  時間変化を考慮した許容腐食断面積残存率(%)
- $A_s$  腐食した鉄筋の断面積(mm<sup>2</sup>)
- $A_{s0}$  腐食前の鉄筋の断面積(mm<sup>2</sup>)
- $W_c$  2000μひずみ発生時の腐食減量(mg/mm<sup>2</sup>)
- $\rho_s$  鉄の密度(7.85mg/mm<sup>3</sup>)
- $\phi_0$  腐食前の鉄筋の直径(mm)
- $C_s$  鋼材の腐食速度( $2 \times 10^{-3}$ mm/年)
- $y$  2000μひずみ進展年数

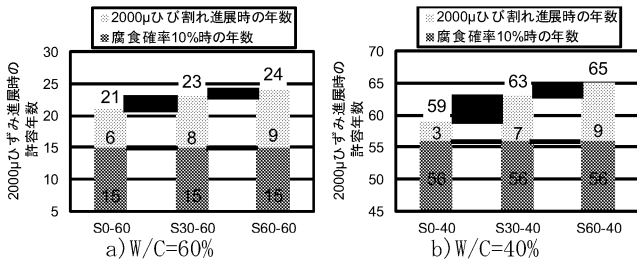


図9 2000μひずみ進展時の許容年数

分布(式1)の、ある年数における中性化残りまでの累積の確率密度(積分値)である<sup>4)</sup>。なお、中性化速度係数について、W/C=60%は1.83，W/C=40%は0.93と設定した。また、鉄筋の許容腐食確率は10%とし、その時の年数から鉄筋腐食の開始と仮定した。腐食開始からひずみが2000μ(本試験のバイゲージで0.1mm)を許容ひずみとし、その時の断面積残存率を、許容断面積残存率とした<sup>5)</sup>。モデル図は式2、式3および式4から、供試体の断面積残存率は各供試体の2000μ時の腐食減量を初期ひずみ進展速度から求め、式5から算出した。図より、水セメント比が低い方が初期ひずみ進展速度は大きいため、腐食してから2000μまでひずみが進展するのが早い傾向にあった。ただし、ほたて貝砕砂を混入することでひずみ進展速度は遅くなるため、混入していない鉄筋コンクリートでは2000μのひずみが生じる断面積残存率でも、同量のひずみは生じなかった。その結果を年数で比較すると、ほたて貝砕砂を混入した鉄筋コンクリートの方が、混入していないものと比較して2~6年程度2000μまでのひずみの進展を遅らせる可能性があり、ひずみに対する抵抗性に優れるといえる。また、腐食確率、鋼材の腐食速度、腐食減量とひずみの関係式、断面積残存係数を用いることで、鉄筋コンクリートのモ

ルタル仕上げ部の経年変化する部材の動的劣化特性を明確に示すことが可能である。

#### 4. まとめ

- (1) ほたて貝砕砂を細骨材に用いる場合、所定のワーカビリティを得るために単位水量を増やさなければならないが、ブリーディングには影響を及ぼさない。
- (2) ほたて貝砕砂を混入することで、混入率に関係なく強度は下がるが、混入率が多い方が静弾性係数は下がる。
- (3) ほたて貝砕砂混入率を増やすことで、水セメント比および強度に関わらず腐食減量に対するひずみの傾きが緩やかになった。
- (4) ひずみ進展速度はほたて貝砕砂を混入したコンクリートの場合、混入率により一定の値をとる。
- (5) ほたて貝砕砂を混入した鉄筋コンクリートの方が、混入していないものと比較して2~6年程度2000μまでのひずみの進展を遅らせる可能性があり、ひずみに対する抵抗性に優れる。
- (6) 腐食確率、鋼材の腐食速度、腐食減量とひずみの関係式、断面積残存係数を用いることで、鉄筋コンクリートのモルタル仕上げ部の経年変化する部材の動的劣化特性を明確に示すことが可能である。

#### 謝辞

本研究は、(株)北海道裕雅高柳雅保氏および技術員各位、(株)イワタ舗装外構事業部古川真弘氏および関係各位に、助力を頂いた。また、本研究は、工学院大学UDM・PJ研究費の一部による。

#### 参考文献

- 1) 山内匡，清宮理，高橋久雄，山路徹：ホタテ貝殻を細骨材として活用したコンクリートの耐久性および実証試験，コンクリート工学年次論文集30(2)，pp.469-474，2008.7
- 2) 小室清人，田村雅紀：炭素固定性を有する海洋生物殻を混入したモルタルの基礎力学特性，コンクリート工学年次論文集Vol.33，No.1，pp.1877-1882，2011.7 田村雅紀：リサイクルコンクリートによるカーボンニュートラル化，コンクリート工学，vol.48，No.9，pp.124-128，2010.9
- 3) 社団法人土木学会：コンクリート標準示方書「維持管理編」，pp.95，2008
- 4) 日本建築学会：鉄筋コンクリート造建築物の耐久設計施工指針(案)・同解説，pp.92-94，2004.3
- 5) 社団法人日本コンクリート工学協会：コンクリート構造物の長期性能照査支援モデルに関するシンポジウム，pp.242-243，2004.10

## 被災を受けた建築物を対象とした輸送時の環境影響評価

東日本大震災、災害廃棄物、がれき処理、輸送時環境負荷評価

中村祐樹\*1、田村雅紀\*2

### 1. はじめに

都市圏では、巨大震災被害が生じた際に、コンクリー塊をはじめ、廃木材、がれき等の膨大な震災廃棄物が生じるとされている。阪神淡路大震災では、1500万トとも云われる大量の被災建設廃棄物が瞬時に発生し、東日本大震災では、宮城県だけで1500万～1800万トンのがれきが発生している。また環境省などによると、阪神大震災のがれき処理量は約1500万トン、処理費約3200億円を要し、処分完了まで3年以上かかった。今回は宮城県だけで1500万～1800万トンになるといい、他県も合わせると阪神を大幅に上回るのは確実である。1)2)首都直下型地震では、阪神淡路大震災の6.4倍程度(9600万ト)という膨大な被災建設廃棄物が発生する予測もされており、そのため適正処理と費用やCO<sub>2</sub>の排出量の想定が、その後の都市復興に重要な役割を担う。

本研究では、今後起こるであろう首都直下型地震での被災建設廃棄物からでるCO<sub>2</sub>排出量と処理費用の想定を行う。そのために図1の流れに従い、まず研究1において東日本大震災の実態調査やヒアリング調査を行う。その後、研究2である被災地の建築物や、がれき処理の現状について評価を行う。がれきモデルのCO<sub>2</sub>排出量と処理費用の想定を、処理ルートを設定した上で試算し、各ルートを評価する。

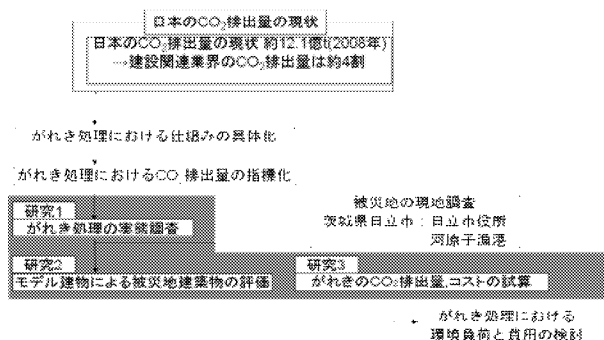


図1 研究概念図

表1 被災地がれき処理実態に関するヒアリング調査結果(研究1)

| 研究種類  | 内容/詳細   |   |
|-------|---|---|
| K 漁港  | 平成23年6月2日<br>午後12時30分<br>住民T様、U様                          | K 漁港付近も含め海岸沿いには甚大な被害が出ており、テトラポットの配置の仕方により、津波が大きくなり、被害が増加した。河原子漁港の方たちの多くが、住む場所がなくなり他県に避難している状況である。   |
| H 市役所 | 平成23年6月2日<br>午後14時15分<br>生活環境部<br>環境衛生課<br>ごみ対策推進<br>担当者様 | H市内の廃棄物に関しては市内で処理をする方針がある。木材は一度市内4カ所の臨時収容所に集め、10tトラックを使用する。6×15cm以上の木材は日立市清掃センターでは1サイクル1時間で処理できない。そのため木材をチップ化する必要があり、日立市清掃センターでは月に100t、震災廃材は40tしか処理できないので、全ての木材を処理するのに2～3年かかると予想されている。がれきも同様に臨時収容所に集め、ガラバゴス(100t/時)を使用し細かく破碎し、埋め立てをするため公共工事廃棄物処分場に運送する。ガラバゴスによる破碎は1日6時間行い10日間可能である。がれきのリサイクルに関しては大谷石、ブロック、瓦などをガラバゴスと一緒に砕いてしまったため、再生材として使用したとき強度が均一にならないため、使用できない。輸送手段として使用されている10tトラックは、処理場まで運ぶ際、木材の場合は空隙ができ、結局は1t程度の重量しか運べず、平均にすると700～800kgしか運べない。またがれきの場合は7～8tは運べる。 |

\*1 工学院大学建築系学科・学部生 \*2 工学院大学建築学部・准教授

考えから、現行制度では撤去費用の97.5%まで国が負担することができるが、この上限を引き上げる方向である。ただ、(1) 国が補助率引き上げて直接負担する (2) 地方に負担させて国が交付税などで手当てして実質地方負担をなくす。この二つの対応がありえるが、後者の場合、地方債を発行しなければならない可能性があり自治体に無駄な負担が生じるおそれがある<sup>2)</sup>。

(3) 東北3県の震災廃棄物発生状況

東日本大震災で東北3県を襲った津波は、2200万トンもののがれきを被災地に残した。東北3県の各県の震災廃棄物発生量とトラック輸送台数を図2に示す。

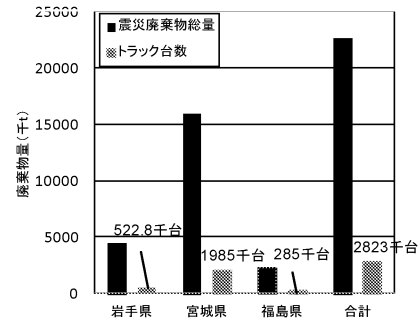


図2 東北三県の震災廃棄物発生量

2.2 被災モデル建物の評価

2.2.1 木造モデル建物の評価（研究2）

茨城県の河原子漁港調査により、第一保管場において、14m×22m×3mのかさ容積から924 m<sup>3</sup>もの木材が積まれているのを確認できた。そこで10tトラックあたり何m<sup>3</sup>の木材を積むことが可能かを、1/10スケールで実験し求める。

(1) 木造住宅モデルの調査

表2にはモデル住宅一軒分の部材別木材重量を示す。木造住宅の一軒あたりの木材の総量をもとめ、木造住宅モデルの一軒当たりから排出されるCO<sub>2</sub>と処理にかかるコストを想定する。図3には木造モデル住宅の写真、図面を示す。

表2 木造住宅モデルの木材総重量

| 階数                   | 一階    | 二階     | 合計    | 階数                   | 一階    | 二階     | 合計    |
|----------------------|-------|--------|-------|----------------------|-------|--------|-------|
| 管                    |       |        |       | 隔                    |       |        |       |
| 柱の本数                 | 42    | 36     | 78    | 柱の本数                 | 10    | 6      | 16    |
| 柱面積[m <sup>2</sup> ] | 0.01  | 0.01   |       | 柱面積[m <sup>2</sup> ] | 0.01  | 0.01   |       |
| 柱高さ[m]               | 2.73  | 2.55   |       | 柱高さ[m]               | 2.73  | 2.55   |       |
| 体積[m <sup>3</sup> ]  | 0.027 | 0.025  |       | 体積[m <sup>3</sup> ]  | 0.027 | 0.025  |       |
| 重量[t]                | 0.515 | 0.413  | 0.929 | 重量[t]                | 0.128 | 0.071  | 0.2   |
| 通                    |       |        |       | ス                    |       |        |       |
| 階数                   | 一階    | 二階     | 合計    | 階数                   | 一階    | 二階     | 合計    |
| 柱の本数                 | 4     | 4      | 8     | 柱の本数                 | 11    | 10     | 21    |
| 柱面積[m <sup>2</sup> ] | 0.01  | 0.01   |       | 柱面積[m <sup>2</sup> ] | 0.003 | 0.0027 |       |
| 柱高さ[m]               | 2.73  | 2.55   |       | 柱高さ[m]               | 3.822 | 3.57   |       |
| 体積[m <sup>3</sup> ]  | 0.027 | 0.025  |       | 体積[m <sup>3</sup> ]  | 0.01  | 0.009  |       |
| 重量[t]                | 0.051 | 0.047  | 0.099 | 重量[t]                | 0.051 | 0.043  | 0.094 |
| ス                    |       |        |       | 階数                   | 一階    | 二階     | 合計    |
| 階数                   | 一階    | 二階     | 合計    | 階数                   | 一階    | 二階     | 合計    |
| 柱の本数                 | 4     | 2      | 6     | 面積[m <sup>2</sup> ]  | 50.17 | 44.717 |       |
| 柱面積[m <sup>2</sup> ] | 0.003 | 0.0027 |       | 体積[m <sup>3</sup> ]  | 0.135 | 0.120  |       |
| 柱高さ[m]               | 3.822 | 3.57   |       | 重量[t]                | 0.06  | 0.054  | 0.115 |
| 体積[m <sup>3</sup> ]  | 0.01  | 0.0096 |       | 柱の総重量[t]             |       |        | 1.35  |
| 重量[t]                | 0.018 | 0.008  | 0.027 | 合計                   |       |        | 1.465 |

表3 木造住宅モデルの木材規格

| 木材規格 (cm)      | 使用本数 | 1本当たり換算質量 | 総量     |
|----------------|------|-----------|--------|
| ① 105×105×2700 | 56本  | 11.5 kg   | 644 kg |
| ② 105×105×2500 | 46本  | 11.1 kg   | 511 kg |
| ③ 30×90×3800   | 15本  | 5.2 kg    | 78 kg  |
| ④ 30×90×3500   | 12本  | 4.9 kg    | 59 kg  |

(2) 実測値による木材総量

表2は図3の木造住宅モデルの図面から面積、高さを調べたものを使用し、木材総量を以下表に示す。このときホワイトウッド：絶乾比重0.4、ラミナ集成材：絶乾比重0.47、床の厚さ：0.0027とする<sup>6)</sup>。

(3) 木材がれき輸送実験

トラックの荷台に全壊、半壊パターンの2パターン、各10回木材を積む。10tトラックあたり何m<sup>3</sup>の木材を積むことができるか調べ、平均を求めたものを図5に示す。荷台図面は図4に示す。輸送のパターンは表4の密閉2を使用する。この時の木材規格は表3とし、また木材は破碎されていないものを使用する<sup>6)</sup>。

表4 輸送トラックの積載状態

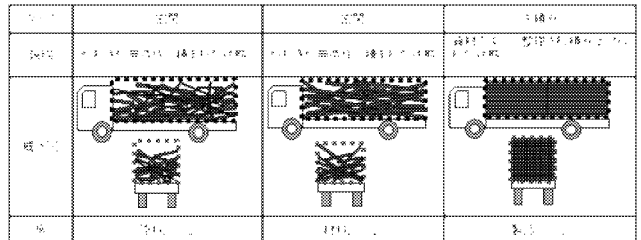
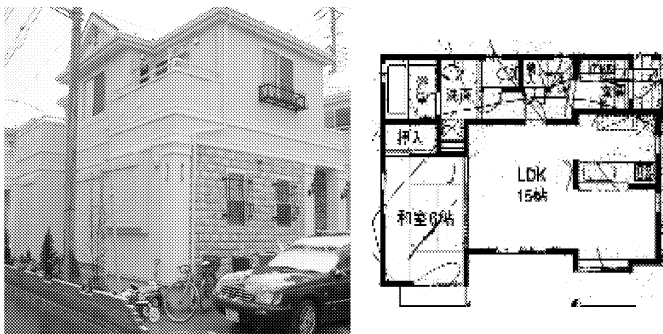
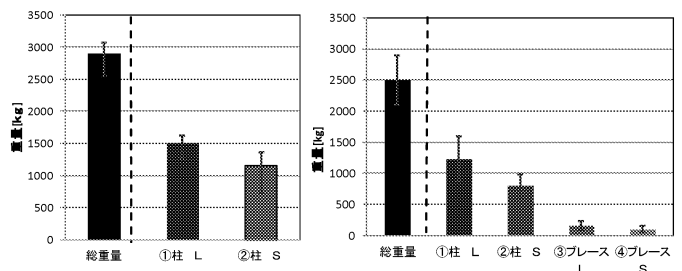


図4 がれき輸送に使用する10tトラックの荷台図面



a) 木造モデル住宅写真 b) モデル住宅図面  
図3 木造モデル住宅の概要



a) 全壊回収 b) 半壊回収  
図5 トラック一台当たりの総重量と部材別平均重量

2.2.2 RCモデル建物の評価 (研究2)

(1) 実測値によるコンクリート総量試算

表5は図6の一号館の図面から面積、高さを調べたコンクリート総量を示す。

(2) 算定式による廃棄物発生量の推計結果

1棟当たりの延床面積は、建築統計年報より870㎡とします。単位床面積当たりの重量は、久田・大森(1986)によると1.0~1.2トン/㎡であることから、その平均値である1.1トン/㎡とします。非木造建物焼失時の残灰率は、1.0とする。よって、非木造の場合の廃棄物量の式は以下の通りとなる<sup>3)</sup>。

$$\begin{aligned} \text{(算定式) 廃棄物量} &= 870 \times 1.1 \times (\text{全損失} + \text{焼失数} \times 1.0) \\ &= 957 \times (\text{全損失} + \text{焼失数}) \end{aligned}$$

1号館の延床面積が5016なので、 $5016 \times 1.1 = 5517.5$ となる。

(3) コンクリート実測値と算定式の推計結果の比較

以下の図は、一号館のコンクリート総量を、実測値と計算により算出したデータを比較したものです。

また一号館におけるコンクリートの製造時のCO<sub>2</sub>排出量は表6をもちいて算出したのが、図8となる。

(4) コンクリートがれき輸送実験

コンクリートがれきを移動式破砕機により破砕した10cm<sup>3</sup>以下の骨材を使用し10tトラックに何トン積載可能か調べる。10tトラックの荷台寸法、集積状態は木材がれき輸送実験と同じものとした。

がれき満載時は平均して50.3t入るが、車軸や車輪にかかる重量や、最大積載量が8.5~9.5tと決められているため、実質8.5~9.5tしか運ぶことができない。

2.3 被災地がれき処理ルート of の試算

(1) がれき処理ルートの評価領域

図9にがれき処理のライフサイクルと評価領域を示す。図9より、解体現場から排出されたがれきを最終処分されるまでのCO<sub>2</sub>排出量とコスト試算を行う。

(2) FEMA「がれき管理指針」

FEMAの対策指針とは、木くず、建設物のがれき、有害物質などの扱い方を詳しく記した自治体やNGO向けのマニュアルである<sup>7)</sup>。現在日本にはこのようなマニュアルはなく、今回がれき処理の際に混乱が起きた。がれき処理の扱いに関するガイドラインができたのは、東日本大震災発生後の2カ月後になってからである。

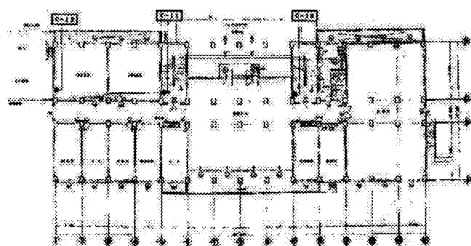


図6 RCモデル構造物の1階平面図

表5 RC構造物モデルのコンクリート総重量

| 階数       | 地下一階                 | 一階    | 二階    | 三階    | 四階    | 合計    |
|----------|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 柱        | 柱の本数                 | 60    | 60    | 60    | 60    | 44    |
|          | 柱面積[m <sup>2</sup> ] | 0.35  | 0.35  | 0.35  | 0.35  | 0.35  |
|          | 柱高さ[m]               | 3.62  | 3.6   | 3.6   | 3.6   | 6.03  |
|          | 密度[m <sup>3</sup> ]  | 76.2  | 75.8  | 75.8  | 75.8  | 93.1  |
|          | 重量[t]                | 218.8 | 217.5 | 217.5 | 217.5 | 267.2 |
| 床        | 面積[m <sup>2</sup> ]  | 960   | 1032  | 1008  | 1008  | 1088  |
|          | 密度[m <sup>3</sup> ]  | 384   | 412.8 | 403.2 | 403.2 | 403.2 |
|          | 重量[t]                | 1102  | 1184  | 1157  | 1157  | 1157  |
| 床の総重量[t] |                      |       |       |       |       | 5758  |
| 柱の総重量[t] |                      |       |       |       |       | 1138  |
| 合計[t]    |                      |       |       |       |       | 6897  |

表6 製造時における消費エネルギーと炭素放出量

| 材料      | 化石エネルギー消費量 |                   | 製造時炭素排出量 |                   | 製造時二酸化炭素排出量 |                   |
|---------|------------|-------------------|----------|-------------------|-------------|-------------------|
|         | MJ/t       | MJ/m <sup>3</sup> | kg/t     | kg/m <sup>3</sup> | kg/t        | kg/m <sup>3</sup> |
| 天然乾燥製材  | 1540       | 770               | 32       | 16                | 117.3       | 58.7              |
| 人口乾燥製材  | 6420       | 3210              | 201      | 100               | 737         | 336.7             |
| 合板      | 12580      | 6910              | 283      | 156               | 1037.7      | 572               |
| 鋼材*     | 35000      | 266000            | 700      | 5320              | 1848        | 114043.3          |
|         | -25200     | -11500            | -504     | -3830             |             |                   |
| アルミニウム* | 435000     | 1100000           | 8700     | 22000             | 16756.7     | 42166.7           |

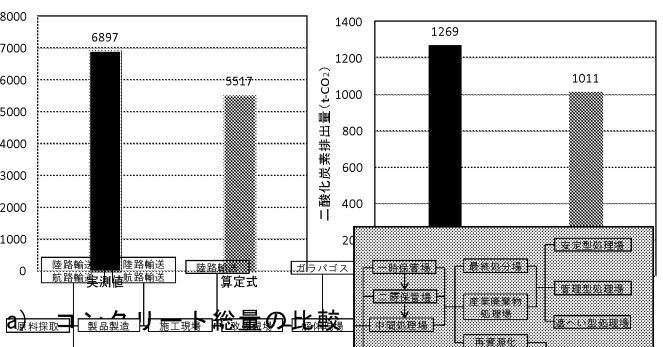
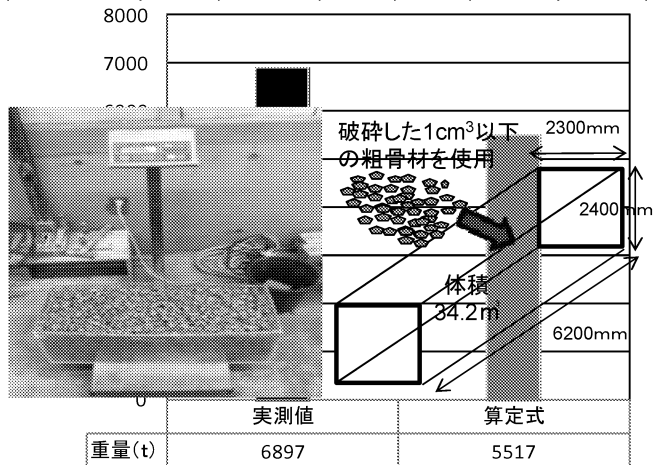


図8 コンクリート総量と製造時CO<sub>2</sub>排出量の比較

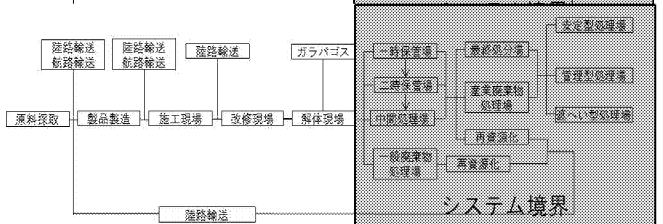


図9 がれき処理のライフサイクルと評価領域



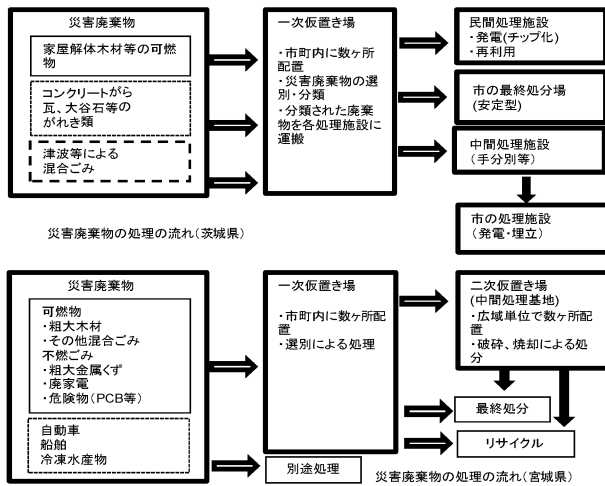


図10 被災地のがれき処理ルート

(3) 東日本大震災のがれき処理ルート

今回の東日本大震災で発生した推定総量約 2200 万トンものがれき処理ルートを FEMA のがれき管理指針やヒアリング調査をもとに作成したルートを図 10 に示す。また H 市にヒアリングを行ったところ、62 千 t ものがれきに対し 4 か所に一次仮置き場を設置されていた。運搬に関しては一つの一次仮置き場に平均して 10t トラック 6 台を使用し、一次仮置き場から処理施設への運搬距離は下記の表 7 に示す。

一次仮置き場と二次仮置き場の違いについては、災害廃棄物の選別・分類は、どちらも行うが二次仮置き場では破碎・焼却による処分を行える点で違いが出る。

(4) 輸送時環境負荷試算方法

図 11 に CO<sub>2</sub> 排出量の試算方法を、表 8 に各種ガイドラインより作成したトンキロあたり燃料使用量を示す。トンキロあたりの CO<sub>2</sub> 排出量は、片道輸送距離、輸送回数、輸送重量を踏まえ、改良トンキロ法を基に算定した。輸送距離の設定方法、がれき量設定方法は表 9 に示す。

3.まとめ

- 1) 10t トラック一台に、がれきを満載にする場合、コンクリートは 8.5~9.5t 積載できるが、木材は空隙が多くできるため、2.5~2.7t しか積載できない、よって積載方法の改善により、輸送台数を削減可能ある。
- 2) 災害廃棄物の輸送時 CO<sub>2</sub> 排出量は、同じ重量を運搬する場合、木材がれきはコンクリートがれきの約 3 倍もの量を排出しているため、輸送手段の改善により、CO<sub>2</sub> 排出量を改善する必要がある。

謝辞

本研究の実施にあたり、アンケートにご協力いただいた各自治体関係者の各位、大塚寧氏、工学院大学施設課担当各位に助力を得た。また本研究は、H23 年度科研費 (若手 A) 都市減災・早期復興に資する震災廃棄物起源材料の高度利活用研究 (代表: 田村雅紀)、工学院大学 UDM・PJ 研究費の一部による。

表 7 各集積場から処理施設までの運搬距離

|        | 市の処理施設 | 民間処理施設 |
|--------|--------|--------|
| 一次仮置き場 | 距離(片道) | 距離(片道) |
| A      | 17.6km | 9.5km  |
| B      | 7.0km  | 20.4km |
| C      | 8.8km  | 32.2km |
| D      | 17.0km | 12.0km |
| 平均距離   | 12.6km | 18.5km |

表 8 輸送トンキロ当たり燃料使用量

| 最大積載量 (kg)    | 輸送トンキロ当たり燃料使用量 (ℓ/t・km) |       |        |       |        |        |
|---------------|-------------------------|-------|--------|-------|--------|--------|
|               | 積載率 (%)                 |       |        |       |        |        |
|               | 10%                     | 20%   | 40%    | 60%   | 80%    | 100%   |
| ~999          | 1.67                    | 0.954 | 0.543  | 0.391 | 0.309  | 0.258  |
| 1,000~1,999   | 0.816                   | 0.465 | 0.265  | 0.191 | 0.151  | 0.126  |
| 2,000~3,999   | 0.519                   | 0.295 | 0.168  | 0.121 | 0.0958 | 0.08   |
| 4,000~5,999   | 0.371                   | 0.212 | 0.12   | 0.086 | 0.0686 | 0.0573 |
| 6,000~7,999   | 0.298                   | 0.17  | 0.0967 | 0.069 | 0.0551 | 0.0459 |
| 8,000~9,999   | 0.253                   | 0.144 | 0.082  | 0.059 | 0.0467 | 0.039  |
| 10,000~11,999 | 0.222                   | 0.126 | 0.0719 | 0.052 | 0.041  | 0.0342 |
| 12,000~16,999 | 0.185                   | 0.105 | 0.0601 | 0.043 | 0.0342 | 0.0285 |

表 9 がれき輸送の環境負荷の試算条件

| 項目       | 内容  |
|----------|---|
| がれき量設定方法 | 環境省発表数値；衛星画像を用いて浸水区域を特定し、これをもとに、環境省において津波により倒壊した家屋等のがれき量を推計したものとヒアリング調査により得られたデータを基に試算  |
| 輸送距離設定方法 | トラック輸送 (10t トラック) 各一次仮置き場から処分場までの片道輸送距離を、ヒアリング調査での輸送距離から平均輸送距離を試算   |
| 輸送負荷算定方法 | トラック輸送 (改良トンキロ方法) 輸送重量と輸送距離の積による輸送トンキロ値を求め、改良トンキロ法燃料使用原単位 (輸送トンキロあたり燃料使用量・積載率 100% : 0.0342ℓ/t・km)、二酸化炭素排出係数 (軽油 : 2.62t-CO <sub>2</sub> /kℓ) により算出 |

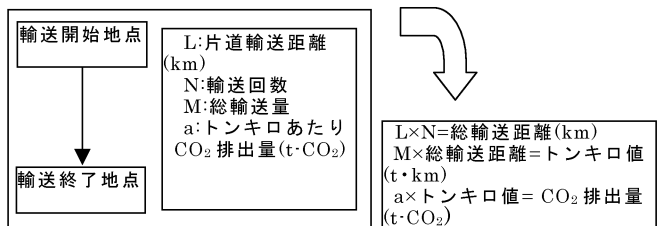


図 11 輸送時の CO<sub>2</sub> 排出量の試算方法

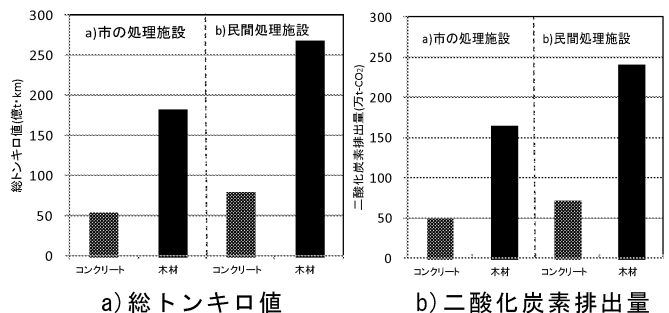


図 12 がれき輸送時の環境負荷

参考文献

- 1) 日本建築学会：鉄筋コンクリート環境配慮施工指針 (案)・同解説, 2008
- 2) 環境省 HP, 沿岸市町村の災害廃棄物処理の状況 <http://www.env.go.jp/index.html>, 2011, 1
- 3) 1号館耐震診断調査報告書 pp1~59, 工学院大学施設課管理資料, 2007 年
- 4) 1号館耐震審査報告書 pp1~23, 工学院大学施設課管理資料, 1997 年
- 5) 石綿ばく露把握のための手引 pp56~63, 厚生労働省, 2006 年
- 6) 社団法人 日本農林規格協会 (JAS 協会) HP <http://www.jasnet.or.jp/>, 2011
- 7) FEMA「がれき管理指針」, アメリカ環境保護局, 2007
- 8) 経済産業省:物流分野の CO<sub>2</sub> 排出量に関する算定方法ガイドライン, 2006

# 都市地域における鉄筋コンクリート造建築物の 解体・処理・輸送段階のシステム分析と環境負荷

首都直下地震 解体廃棄物 解体作業 都市  
がれき処理ルート 輸送時環境負荷評価

山縣翔太\*1, 田村雅紀\*2

## 1 はじめに

今日、世界的に地球温暖化問題が重要視されている。そんな中建物解体・廃棄物処理の運搬・廃棄時に大量の廃棄物・CO<sub>2</sub>が発生する。しかし、あまり建物解体・廃棄物処理段階の環境影響の評価はされていない。大きな被害が想定されているため、今から首都直下地震が発生した場合の廃棄物による環境影響（廃棄物量・CO<sub>2</sub>排出量）を考える必要がある。

そこで、本研究ではまず今回の東日本大地震の被害状況やがれき・建物の解体・処理作業の調査と、実際の解体現場の作業時の廃棄物量・CO<sub>2</sub>排出量の算出を行い、それら二つの調査から首都直下地震が発生した場合のがれき処理フローの作成を行う。（図1参照）

## 2 研究概要

### 2.1 災害時における都市地域がれき処理調査（研究1）

表1に大震災がれき量の比較、東日本大震災廃棄物量算出方法を示す。災害時における都市地域がれき処理調査データを表2に示す。今回の大震災は3県の人口1人あたり8.89tに相当する量の廃棄物量である。大震災で家屋のがれき量は岩手、宮城、福島で3県で阪神・淡路大震災の1.7倍である約2246万トンになると推定されている。また今回は津波による被害が大きく、水分や塩分を含んだがれきをどのように処理するかが問題になっている。東日本大震災・阪神大震災と首都直下地震のがれき量の比較を図2に示す。首都直下地震が発生した場合東日本大震災の約4倍になる9600万tのがれきが発生すると想定されている。

また、今回の東日本大震災で太平洋海岸線が大きな被害を受けた。被害からこの先どのようにすれば早急に復興を進められるか考えるため、被災地都市地域の1つである茨城県のひたちなか市周辺を被災地見学した。表2に実態調査の内容を示す。

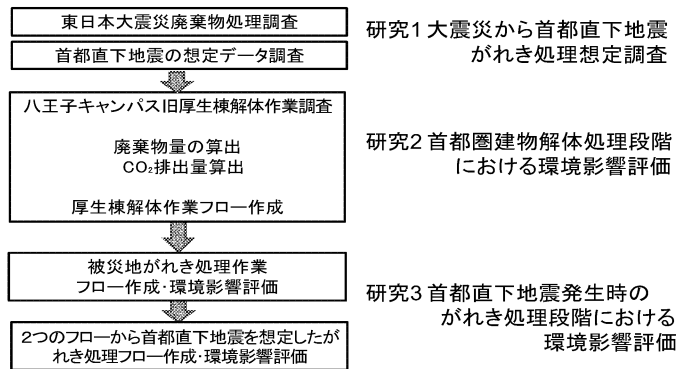


図1 研究概要図

表1 都市地域を含めた災害時のがれき発生量の知見

| 項目           | 内容  |
|--------------|---|
| 大震災のがれき量の比較  | それぞれの阪神・淡路大震災、東日本大震災のがれき量を算出。首都直下地震は発生するであろうという今想定されているデータである。地震が朝・昼・夕飯時に発生した場合、建物全壊棟数・火災焼失棟数は約85万棟、がれき発生量約9600万t、死者数は約11000人になると推定されている <sup>1)</sup> 。今回の東日本大地震の影響により政府の地震調査委員会は、首都圏の埼玉県飯能市から東京都府中市まで続く「立川断層帯」で地震発生確率が高まったと公表した <sup>2)</sup> 。また、地震予知学会の専門家からも立川断層帯は、活動周期からみて、いつ活動してもおかしくないという声が多く上がっている <sup>3)</sup> 。立川断層帯は長さが33kmあり、ここを震源とするマグニチュード7.4程度の規模の地震が発生すると予測されている。このように首都直下地震が起こった場合に東日本大震災を超える被害が想定されており、対策を考えなくてはならない。 |
| 東北一人あたりの廃棄物量 | 今回の東北3県それぞれの震災廃棄物量を調べ、その量をそれぞれの県の人口で割ることで算出。  |

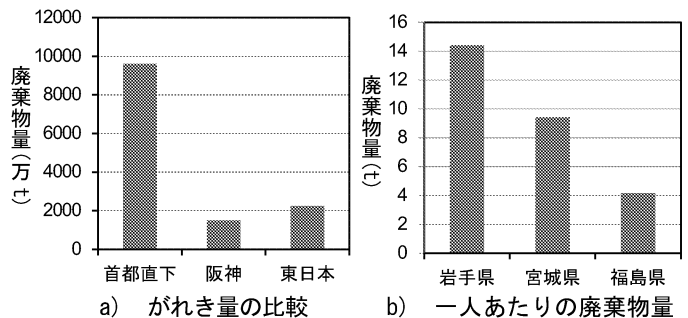


図2 都市地域を含めた災害時のがれき発生量の推定・比較値

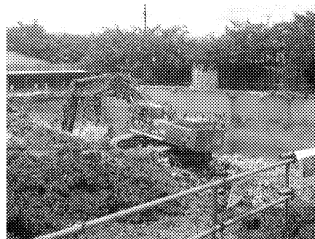
\*1 工学院大学建築系学科・学部生 \*2 工学院大学建築学部・准教授

表2 都市地域を含めた災害時のがれき処理対策ヒアリング調査結果

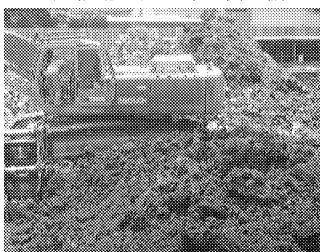
| 都市地域の被災地調査                                |   |  |
|---|---|--|
| 日時：平成23年6月2日(木)<br>場所：茨城県日立市河原子漁港付近、日立市役所 |   |  |
| 調査結果                                      |   |  |
| 場所  | 内容  |  |
| 河原子漁港                                     | 津波により防波堤が破壊されており、そこから波が入り込み海岸近くの家屋を破壊していた。さらに海岸から少し離れた場所にテトラポッドが設置されており、そこから津波が周り込んでくることにより被害が大きくなった。海岸線近くの砂浜を臨時収容所にして木くずを山積みしていた(右写真参照)。   |  |
| H市役所のヒアリング                                | <b>材料</b><br>木くず<br>(6×15cm以下)  | <b>内容</b><br>木くずは日立市の清掃センターで処理している。しかし、全て清掃センターで処理すると2~4年かかる。また海水の塩分を含んでおりそのまま焼却すると炉が傷んでしまう。     |
|   | 木くず<br>(6×15cm以上)   | 清掃センターの焼却炉は1時間サイクルで処理を行っており、6×15cm以上の木くずは1時間で燃えきらない為焼却できない。そのため大きな木くずや塩分を多く含むものは民間業者に委託して処理している。 |
|   | コンクリート・瓦等の無機廃棄物   | 公共工事等廃棄物処分場に埋め立てしている。しかし、コンクリートや瓦など部材別に分けずに混ぜて廃棄してしまったため、再資源化が困難になっている。                          |
| 首都直下地震発生時の想定被害                            | 建物は約85万棟・死者数は約11000人と大きな被害が想定されている。   |  |
| 東日本大震災のがれき処理費用に対する特例処置                    | 図2に東北3県の一人あたりの震災廃棄物量を示す。今回の大震災で家屋のがれき量は岩手、宮城、福島県の3県で阪神・淡路大震災の1.7倍である約2246万トンになると推定されている。これは3県の人口一人あたり8.89tに相当する量の廃棄物量である。   |  |
| がれき撤去の指針                                  | 市町村への国の補助率を現行の5割から引き上げることになる <sup>3)</sup> 。被災市町村の税収などに応じて、がれき処理費に対する国の補助率を最高で9割まで引き上げる特例処置を実施する。さらに残りの部分についても全額を交付税で補う。これにより自治体負担は実質ゼロになることになる。1995年に起こった阪神大震災では、国庫補助と交付税で処理費用の97.5%が国が負担したが、今回はそれ以上負担することになる。また今回の震災でがれき処理にかかる総額は阪神・淡路大震災時の約3200億円を大きく上回るとみられている。 |  |
| 東日本大震災のがれき処理短縮方法の各社の方法                    | 東日本大震災からの復旧の妨げになっている大量の災害廃棄物を最短2年で最終処理する手法を、IHIなど重工各社が開発した。人工浮島に設置した焼却炉で木材などを処理したり、コンクリート製の巨大な箱に不燃のがれきを詰め込んで防波堤にする。これをにらみ民間企業は技術開発のペースを上げている。現在は各自治体が生活地域から仮置き場に搬出する1次処理を進めている。IHIは縦50メートル、横25メートルの鋼製の人工浮島に焼却炉を乗せる工法を開発した。可燃のがれきを1日80トン焼却できる。                       |  |



a) 移動式再生砕石製造機



b) 排水処理施設解体現場



c) 解体時汚泥集積現場



d) ALC版集積現場

写真1 都市地域内の鉄筋コンクリート造建築物解体状況

表3 工学院八王子キャンパス厚生棟概要

|  |  |
|--|--|
| <b>a) 厚生棟</b>  |  |
| 1.敷地概要   |  |
| (1)地名・地番 東京都八王子市中野町 2665-1                                       |  |
| (2)敷地面積 162.103 m <sup>2</sup>                                   |  |
| 2.建物概要   |  |
| (1)主要用途 大学   |  |
| (2)面積(m <sup>2</sup> ) A 建築面積 11988.67 B 延床面積 26121.833          |  |
| (3)床面積表階別(m <sup>2</sup> ) 2階 355.730 1階 341.483 合計 697.213      |  |
| (4)建物高さ 最高高さ 7.650m、最高の軒高 7.200m                                 |  |
| 3.構造概要   |  |
| 柱 鉄筋造 / 梁 鉄骨造 / 外壁 ALC版 / 階段 鉄骨造<br>床 デッキプレート+RC / 屋根 デッキプレート+RC |  |
| <b>b) 排水処理施設</b>   |  |
| 1.敷地概要   |  |
| (1)地名・地番 東京都八王子市中野町 2665-1                                       |  |
| (2)敷地面積 158.125 m <sup>2</sup>                                   |  |
| 2.建物概要   |  |
| (1)主要用途 機械室  |  |
| (2)面積(m <sup>2</sup> ) A 建築面積 78336.213 B 延床面積 22166.96          |  |
| (3)建物高さ 最高高さ 4.430m、最高の軒高 3.830m                                 |  |
| 3.構造概要   |  |
| 柱 RC造 / 梁 RC造 / 外壁 RC造 / 階段 RC造 床 RC造                            |  |

## 2.2 平常時における都市地域建築物解体処理段階調査(研究2)

### 2.2.1 八王子キャンパス厚生棟・排水処理施設解体処理概要

現在工学院大学八王子キャンパスの厚生棟と排水処理施設の解体作業及び新築作業が進められている。旧厚生棟・排水処理施設の概要を表3に示す。写真1a.b.c.dは解体作業現場のものである。また、解体作業について大成建設現場所長の原さんに図3の解体作業の評価領域について作業ごとに分けて説明してもらった。ヒアリング結果は表4に示す。これら厚生棟解体作業から首都圏のコンクリート建物解体・廃棄物処理時の廃棄物量・CO<sub>2</sub>排出量等の算出を行う。

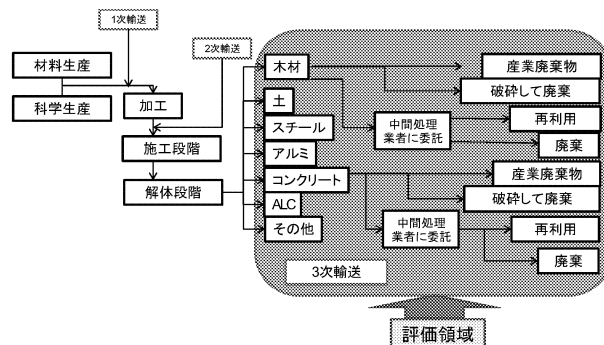


図3 解体作業評価領域図

表4 八王子キャンパス旧厚生棟・排水処理施設解体現場ヒアリング結果(ヒアリング日時 2011年7月7日)

|  |  |
|--|--|
| <b>Aパート 材料別解体方法について</b>                |  |
| Q1. 材質別に解体するとき異物混入している廃棄物はどのように分別するのか。 | A1. 基本的に重機を使用して大きく分別し、最終的に手作業で分別する。  |
| Q2. どうしても分別できない廃棄物はどのように処理するのか。        | A2. 基本的に設備機械等も分別して処理するが、一部できないものは混合廃棄物として処理する。   |
| <b>Bパート 運搬時について</b>                    |  |
| Q1. 解体で生じたがれきはどのように運ぶのか。               | A1. コンクリートガラは10tダンプ、スクラップ屑・廃プラ・木屑・ALC等は、分別してアームロール車(20m <sup>3</sup> 等状況に応じて)で運ぶ。  |
| Q2. トラックで運ぶ場合は、輸送距離は何キロになるのか。          | A2. 本現場では、スクラップ屑やコンクリートガラは15~20km、木くずは約150kmともによって違う。  |
| Q3. 重機の燃料は何か。また一日にどれほど使うのか。            | A3. 本現場では軽油を一日に100~120ℓ使用。   |
| Q4. 解体時に生じたがれきはどこに運ぶのか。                | A4. 現場で生じた廃棄物はそれぞれに分別して、それぞれの間処理場や最終処分場へ運ぶ。場合によっては場内でストックして、そのまま再利用することもある。  |
| Q5. 中間処理施設での再資源化の方法は。                  | A5. コンクリートガラは細かく砕いて、再生砕石(RC40 ゼロ)等の規格に合わせて加工する。木材等はチップにして、バイオマス燃料や公園に敷く等に利用する。ただし、アスベストやヒ素が含まれた再利用できないものについては埋め立て処理をする。大成建設の解体現場では95%以上の資源を再利用化している。 |
| <b>Cパート がれき処理・廃棄方法について</b>             |  |
| Q1. 廃棄物となるがれきの量はいくつになるのか。              | A1. 本現場では約3000t程度のコンクリートガラが発生する。   |
| Q2. 今回解体作業で破砕したコンクリートの再利用方法は。          | A2. 今回解体したコンクリートガラは、移動式再生砕石製造機で再生砕石として場内でストックして捨てコンクリート前の砕石敷等で利用する。また大学内の駐車場整備に使用する。   |

2.2.2 旧厚生棟・排水処理施設解体段階廃棄物量推計結果

今回の大成建設廃棄物量と建物解体時の解体作業マニフェストデータから解体段階廃棄物量を算出した。表5に廃棄物量算出方法を示す。解体段階廃棄物量を図4に示す。このグラフから汚泥・コンクリートガラ・木くずの廃棄物量が多いことがわかる。建物解体時にはできるだけ混合廃棄物を出さないようにしていることもわかる。また、コンクリートガラは10tダンプ、スクラップくず、廃プラスチック、木くず、ALC等は、分別してアームロール車(20m<sup>3</sup>等状況に応じて)で運ぶ。

2.2.3 旧厚生棟・排水処理施設解体廃棄物輸送距離

次に解体作業マニフェストの中間処分場・最終廃棄場の場所へ工学院大学八王子キャンパス旧厚生棟・排水処理施設からの距離を全国デジタル道路地図データベースに使用しているGISの最短距離検索を用いて試算を行った。輸送時負荷の試算条件を表5に、処理場の位置を表6、廃棄物輸送距離を図5に示す。廃プラスチック、木くず、ガラス及び陶磁器くずが群馬県沼津市に輸送しているため、運搬距離が長いことがわかる。

表5 廃棄物量算出方法と輸送時負荷の試算条件

| 項目        | 内容  |                                    |
|-----------|---|------------------------------------|
| 廃棄物量算出方法  | 体積(m <sup>3</sup> )   | 解体作業マニフェストからそれぞれの廃棄物別に体積を試算。       |
|           | 質量(t)   | 上記で算出した体積に産業廃棄物種類別重量換算係数を掛けて算出を行う。 |
| 輸送距離の設定方法 | 10トントラックにより工学院大学八王子キャンパス(東京都八王子市中野町)から各中間処理場まで輸送した片道距離をGIS(インクリメントP社ルート検索)を用いて、非高速道路・最短距離の条件で試算。              |                                    |
| 環境負荷の算定方法 | トラック輸送(改良トンキロ法)<br>輸送重量と輸送距離の積による輸送トンキロ値を求め、改良トンキロ法燃料使用原単位(表6参照)、二酸化炭素排出係数(軽油:2.62t-CO <sub>2</sub> /kℓ)により算出 |                                    |

表6 輸送トンキロ当たりの燃料使用量と廃棄物処理場の位置

| 最大積載荷重(kg)  | 輸送トンキロ当たり燃料使用量(ℓ/t・km) |        |        | 八王子キャンパス |
|-------------|------------------------|--------|--------|----------|
|             | 20%                    | 80%    | 100%   |          |
| 6000~7999   | 0.17                   | 0.0551 | 0.0459 |          |
| 8000~9999   | 0.144                  | 0.0467 | 0.039  |          |
| 10000~11999 | 0.126                  | 0.041  | 0.0342 |          |
| 12000~16999 | 0.105                  | 0.0342 | 0.0285 |          |

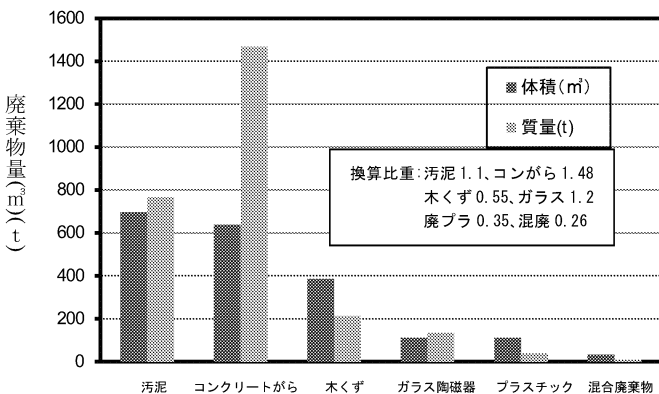


図4 解体段階廃棄物量

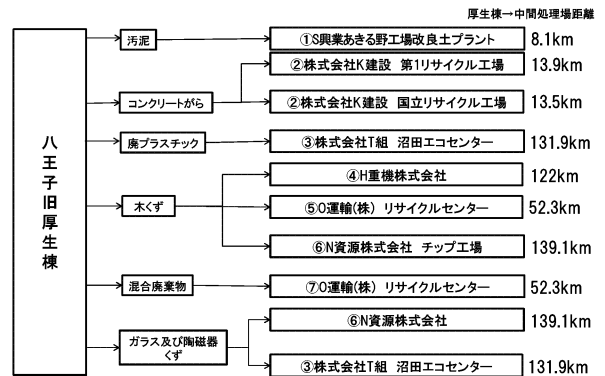


図5 解体廃棄物材別輸送場所・輸送距離

表 6 輸送時の廃棄物別環境影響計算結果

| 廃棄物名             | 中間処理場・廃棄場名               | 廃棄物量 (t) | 距離 (km) | 輸送回数 (回) | 総トン・キロ値 (t・km) | 輸送時総CO <sub>2</sub> 排出量(t-CO <sub>2</sub> ) |
|------------------|--------------------------|----------|---------|----------|----------------|---|
| 汚泥               | S 興業あきるの工場<br>改良土プラント    | 765.6    | 8.1     | 116      | 719316         | 64.457                                      |
| コンクリートがら         | 株式会社 K 建設<br>第 1 リサイクル工場 | 1451.9   | 13.9    | 64       | 1291584        | 115.731                                     |
|                  | 株式会社 K 建設<br>国立リサイクル工場   | 14.38    | 13.5    | 7        | 1358           | 0.122                                       |
| 廃プラスチック          | 株式会社 T 組<br>沼田エコセンター     | 38.85    | 131.9   | 13       | 66612          | 7.156                                       |
| 木くず              | H 重機株式会社                 | 189.75   | 122     | 11       | 2541           | 84.063                                      |
|                  | O 運輸(株)<br>リサイクルセンター     | 1.38     | 52.3    | 1        | 72             | 0.024                                       |
|                  | N 資源株式会社<br>チップ工場        | 20.9     | 139.1   | 4        | 11628          | 3.839                                       |
| 混合廃棄物            | O 運輸(株)<br>リサイクルセンター     | 8.58     | 52.3    | 4        | 1796           | 0.161                                       |
| ガラスくず及び<br>陶磁器くず | N 資源株式会社                 | 0.11     | 139.1   | 1        | 15             | 0.0014                                      |
|                  | 株式会社 T 組<br>沼田エコセンター     | 134.4    | 135     | 9        | 1063296        | 14.632                                      |

2.2.4 旧厚生棟・排水処理施設解体廃棄物輸送時環境負荷評価

廃棄物を運送する際の CO<sub>2</sub>排出量はトラック・アームローラー車の運搬回数と処分場までの輸送距離があることで CO<sub>2</sub>排出量 CO<sub>2</sub> カルク 燃費法より求めることができる<sup>4)</sup>。また産業廃棄物種類別重量換算係数<sup>5)</sup>より体積から質量に変換を行いトンキロ値・CO<sub>2</sub>排出量を出した。表 6 に輸送時の廃棄物別環境影響計算結果を示す。この回数と図 4 の輸送距離より廃棄物別運送時の CO<sub>2</sub>排出量を図 5 に示す。さらに各種エネルギー係数<sup>6)</sup>(10t トラック軽油 Sox=9.41・e<sup>-5</sup>、NOx=9.14・e<sup>-4</sup>、PM=7.68・e<sup>-5</sup>)を掛けた、SOx・NOx・ばいじん排出量をそれぞれ図 6 に示す。このグラフからコンクリートがら・木くずの運搬時に CO<sub>2</sub>排出等の環境負荷が多いことがわかる。このことから、できるだけ大きなトラックを使い、輸送回数を減らすことで CO<sub>2</sub>排出量等を抑えることができることがわかる。

2.3 震災時のがれき処理ルート検討結果(研究 3)

解体作業工程図を震災時のがれきルートに置き換えると図 7 のようになる。震災時のがれき処理の場合、解体作業のような分別作業が難しい為、混合廃棄物の量が多くなることが考えられる。また、再資源化よりも廃棄物として処分することが多くなることが考えられる。

3. まとめ

- 被災地のコンクリート・瓦等は混ぜて廃棄したため、今後再利用方法の検討が課題として残っており、これが首都直下地震発生時に同じことが起こると予想される。
- 今回の解体作業では廃棄物量はコンクリートがら、汚泥が多かった。輸送距離では廃プラスチック・木くず・ガラスくず及び陶磁器くずが長い。コンクリートがら・木くずの輸送時CO<sub>2</sub>排出量が多い。汚泥は木くず等に比べ廃棄物量が多いが、一度にたくさんの量をトラックに積むことができる為、CO<sub>2</sub>排出量が抑えられている。
- 10t トラックを使用しているが、大きなトラックを使うことにより輸送回数を減らし、CO<sub>2</sub>排出量等を減らすことができる。

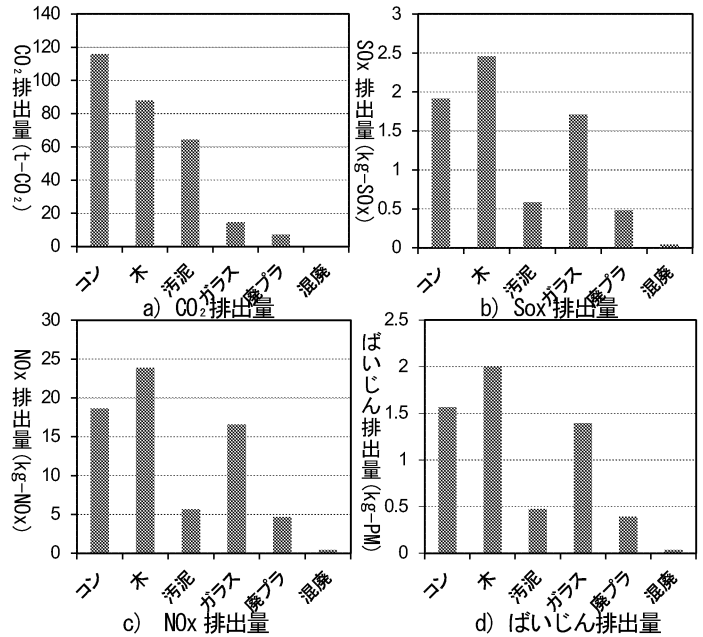


図 6 廃棄物運搬時の環境負荷量

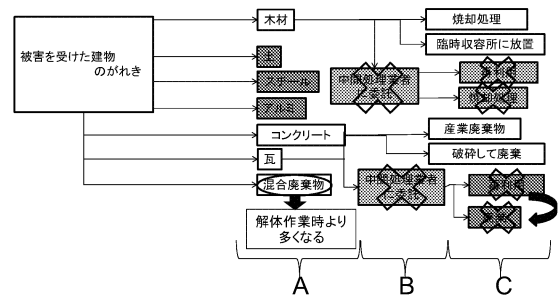


図 7 震災時のがれき処理ルート想定図

謝辞

本研究にあたり、大成建設(株)東京支店 原 史彦様に助力を得た。また、本研究は、科研費(若手 A)都市震災・早期復興に資する震災廃棄物期限材料の高度利活用研究(代表:田村雅紀)、工学院大学 UDM・PJ 研究費の一部による。

参考文献

- 1) 内閣府首都直下地震対策：首都直下地震対策の概要，2007
- 2) 朝日新聞データベース：地震発生確率高まる可能性記事，2011.6.10
- 3) 朝日新聞データベース：記事，2011.3.24
- 4) 環境省公表資料：CO<sub>2</sub>排出量計算機-CO<sub>2</sub>カルク 燃費法使用トラック(軽油)用車両単位
- 5) 国立環境研究所災害廃棄物の重量容積変換について(第一報)2011.4.1
- 6) 土木学会：コンクリートの環境負荷影響(その 2)，P39

災害時におけるペット共棲住環境のQOL改善を目的とした建築技術・システムに関する基礎的検討

ペット共棲，仮設住宅，東日本大震災，首都直下型地震

田島三嘉\*1，田村雅紀\*2，金巻とも子\*3，内田友賀\*4

1. はじめに

日本では犬1,232万頭，猫1,002万頭，計2,234万頭（2009年現在）がペットとして飼われている<sup>1)</sup>。この数字は15歳未満の子供の1,714万人（2009年現在）を大きく上回っている。そして2011年3月11日に東日本大震災が発生し，被害が大きかった東北3県（犬）だけでも33万頭が飼われていたが未だに被害状況の把握がされていない。さらに震災発生後，住宅に残されたペットの保護が問題になっている。特に福島第一原子力発電所周辺ではペットが被ばくしている可能性があるため簡単に保護して被災地の外へ連れ出すことは困難であった。そして大きな問題とされているのは仮設住宅でのペットの同伴入居である。避難指示が出ている地域において「ペットを残して非難できない」という理由から，飼い主が自宅に残ったり，毎日避難所から立ち入り禁止区域の住宅に餌を与えに戻った。また，ペットと非難できたものの避難所では飼育が困難で泣く泣くペットを手放すという苦渋の選択もでた。仮設住宅では動物が苦手な人やアレルギーなどで一緒に生活できない人との距離が密接環境下で狭まるため，共棲に困難な状況が起こり，問題とされている。本研究では図1の流れに従い，災害時におけるペット共棲環境のQOL改善を目的とし研究を行う。

2. 研究概要

図1および表1に実験概要を示す。研究1では建築学会関東支部税量施工専門研究委員会・ユニバーサルデザイン建材WGにおける調査研究，ペット共棲住環境関連文献調査，研究2では福島県の仮設住宅実態調査，研究3では東日本大震災と首都直下型地震発生時の人口，世帯，ペット数，ペット共棲仮設住宅設置数の予算推計を行った。

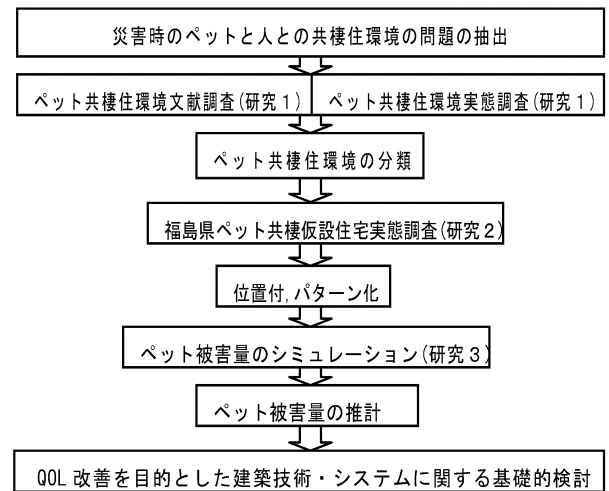


図1 研究概要図

表1 研究の概要（研究1，研究2，研究3）

| 研究内容                       | 研究方法  | 内容及び詳細  |                              |
|----------------------------|-------|---|------------------------------|
| 研究1<br>ペット共棲住環境<br>ヒアリング調査 | ①文献調査 | 一般社団法人ペットフード協会，緊急災害時動物救護本部<br>財団法人日本動物愛護協会，朝日新聞ペット共棲環境関連記事<br>工学院大学松本光2010年卒業論文 他 |                              |
|                            | ②実態調査 | 日本建築学会関東支部材料施工専門研究委員会・ユニバーサルデザイン建材WGにおける調査研究                                      |                              |
| 研究2<br>仮設住宅実態調査            | ①実態調査 | 専門家へのヒアリング調査  | 自治体によりペット共棲が認められた3か所の仮設住宅の調査 |
|                            |       | 福島県緊急時避難準備区域ならびにその周辺  |                              |
| 研究3<br>シミュレーション            | ①推計   | 福島県   | 人口，世帯，ペット数，ペット共棲仮設住宅設置予算 他   |
|                            |       | 東京都   |                              |

表2 ペット共棲住環境ヒアリング調査（研究1）

| 項目                        | 平常時  | 災害時   |
|---------------------------|--|---|
| ①文献調査 <sup>1)</sup>       | <ul style="list-style-type: none"> <li>歴史的に犬は，はっきりした主従関係を好む，家族の一員として扱われた</li> <li>日本では動物を管理することに慣れていない，過度の擬人化を起こしやすい</li> <li>犬が生きていくためには，臭いや音による情報収集が重要</li> <li>ペット室内飼育の場合ペットの臭い，音，抜け毛が課題</li> </ul>         | <ul style="list-style-type: none"> <li>2011年4月22日，福島第一原発発電所の警戒区域の住民は強制的に退去</li> <li>ペットが被ばくしている可能性があるため警戒区域内に残された</li> <li>人が定期的に警戒区域に入って餌を与えるがペットは野生化，死亡</li> <li>仮設住宅ではペット飼育が不可の仮設住宅が多い</li> <li>ペット同伴可能である場合でも臭いや音，狭さ，ストレスが問題</li> <li>犬は適応性があるが，飼い主のストレスを犬が感じとる</li> <li>保護された犬はペットシェルターに一時的保管，飼い主が現れない，現れても飼育できないという理由で殺処分される場合がある。</li> </ul> |
| ②ユニバーサル建材WG <sup>2)</sup> | <ul style="list-style-type: none"> <li>人と同等に扱う＝家族（子供）と同等とする人の心理状況がある。</li> <li>⇒飼い主が管理，保護義務の放棄，虐待</li> <li>歴史的に犬は特定の飼い主がいない，放し飼いにされている，日本人は動物を管理することに慣れていない</li> <li>「ペット建材」や「ペット共生住宅」という考えは日本特有のもの</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>犬は20頭ほどで群れを作って生活</li> <li>猫は弱った動物を食べて生き延びる</li> <li>犬より猫の方が長く生きながらえる可能性が高い</li> <li>動物殺処分所は一時間閉鎖</li> <li>人材派遣・物資提供・資金供与</li> <li>「災害時の愛玩動物同伴可能の避難所の確保と増加及び，愛玩動物入居可能の仮設住宅の確保と増加と建設」に関する環境省宛の署名活動</li> </ul>  |
|                           |  | ③専門家へのヒアリング調査   |

\*1 工学院大学建築系学科・学部生 \*2 工学院大学建築学部・准教授  
\*3 金巻・こくぼ空間工房 \*4 一般社団法人ナチュラルドッグスタイル

## 2. 1 ペット共棲住環境ヒアリング調査（研究1）

### （1）平常時と災害時の違いについて

表2にペット共棲住環境ヒアリング調査の一部を示す。平常時では日本人はペットへの擬人化を起し、ペットを家族の一員として扱う。避難所や仮設住宅での他家族との生活が近接するため、非飼育家族にストレスを与える可能性が高い。

### （2）ペット共棲環境の分類

研究1のヒアリング調査から平常時と災害時の仮設住宅の枠組を共棲>同伴>入居>非共生を前提とし図2のように示すことができた。さらにペット共棲環境に関する分類を様々な条件からパターン化しペット共棲可能型、ペット入居可能型、ペット同伴可能型、ペット同伴独立型、ペット非共生型に分類した。ペット共棲環境に関する分類を図3に示す。

## 2. 2 福島県ペット共棲仮設住宅実態調査(研究2)

表3にペット共棲仮設住宅(福島県)の実態調査箇所を示す。東日本大震災における応急仮設住宅におけるペットと共棲が可能な仮設住宅の分類と建物特性の把握を目的とし、福島県内における福島第一原子力発電所を起点とした警戒区域外であり、緊急時避難準備区域ならびにその周辺において、自治体によりペット共棲が認められた3か所の仮設住宅

の調査を行った。なお田村郡熊耳応急仮設住宅に設置されたペット専用仮設ハウスの実態調査も行った。調査の結果、研究1の仮設住宅の分類の想定のように仮設住宅を5つのパターンに分類が出来た。さらに仮設住宅の実態調査の際、使用材料ならびに施工方法をヒアリングおよび観察より整理し、施工数量あたりの材料費、施工費ならびに施工負荷の因子を調査した。これらの結果より、ペット共棲住環境ごとに費用面のインベントリが大きく相違し、実際の費用も特徴を有している。施工費、環境負荷量に関してもその影響が大きく反映されると考えられることから、今後は自治体の基本的な仮設住宅の施工・維持保全方針の考え方の整理が重要になる。仮設住宅のタイポロジーを表4に示す。パターン分けから平常時と災害時の位置付けを図4に示す。平常時における「ペット配慮」、「ペット対応」、「ペット至上」の位置づけから、災害時は平常時と比較して、X：建材による「もの」の付与程度(性能・機能)とY：ペット共棲の習熟度(こと)に対して制約が生じるといえる。従って、制約条件下における「もの・こと」の自由度を分析することで、ペット共棲住環境の機能的価値をグレーディング(S, A, B, C)が可能になり、平常時と災害時の住環境状態を概念的に体系化できる。

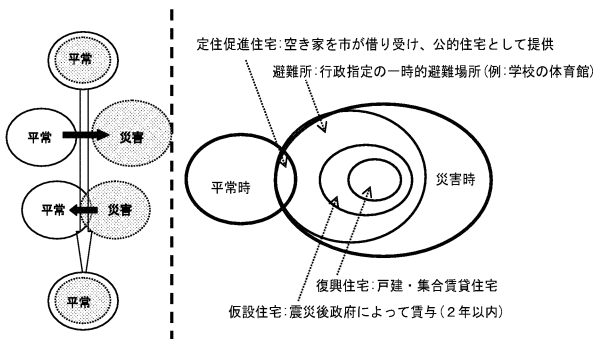


図2 平常時と災害時の仮設住宅の枠組

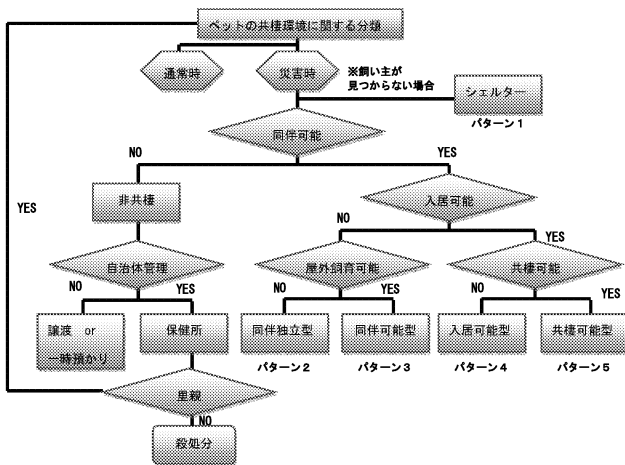


図3 ペット共棲住環境に関する分類（平常時・災害時）

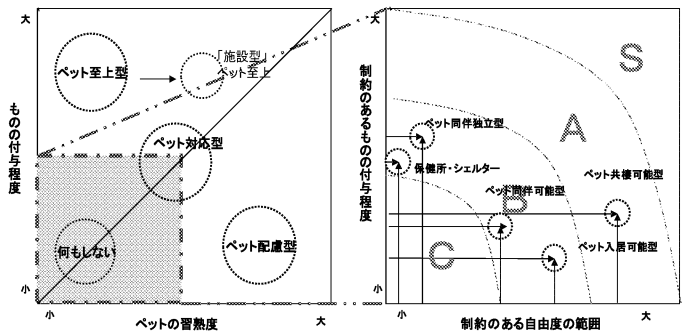


図4 ペット共棲住宅の位置付

表3 ペット共棲仮設住宅(福島県)の実態調査箇所

| 名称           | 住所                |
|--------------|-------------------|
| 新地町新林応急仮設住宅  | 相馬郡新地町駒ヶ嶺新林 115-1 |
| 南相馬市千倉応急仮設住宅 | 南相馬市鹿島区鹿島北千倉 24-1 |
| 田村郡熊耳応急仮設住宅  | 田村郡三春熊耳神山 31-2    |

表4 ペット共棲仮設住宅のタイプロジー

|       | 分類  | 概要   | 主な資材・施工方法  | 予算  |
|-------|---|--|--|---|
| パターン1 | 田村郡熊耳応急仮設住宅   | ペット居住状態：屋外・屋内<br>観察：同一町内住民がまとまり仮設生活。顔見知りの関係により、各世帯それぞれが自由に飼育。施設内に広場もあり、飼い主とともに自由にペットが休息・共棲する様子が確認。                 | 1)設置例：<br>・市販犬小屋<br>2)使用材料（1戸あたり）：<br>・樹脂製成型品<br>・木製成型品<br>3)施工方法：<br>・地ならし<br>・据え付け   | 2)材料費（1戸あたり）：<br>・小中型犬用樹脂品：¥10,000<br>・大型犬用樹脂品：¥20,000<br>3)施工費：<br>・地ならし：<br>・据え付け：<br>4)環境負荷：<br>・施工、輸送時に排出されるCO <sub>2</sub> , NOx, SOx, PM など   |
|       | ペット共棲可能型<br>   |  |  |   |
| パターン2 | 南相馬市千倉応急仮設住宅  | ペット居住状態：屋内が中心<br>観察：ペット飼育希望者のみで80世帯300人が生活。すべてのペットは屋内で入居飼育が可能であり、大型犬は玄関の狭いスペースで飼われることになる。                          | 1)設置例：<br>・仮設住宅内<br>2)使用材料（1戸あたり）：<br>・不要<br>3)施工方法：<br>・特になし  | 2)材料費（1戸あたり）：<br>・合計：¥0<br>3)施工費：<br>・合計：¥0<br>4)環境負荷：<br>・特になし   |
|       | ペット入居可能型<br>   |  |  |   |
| パターン3 | 新地町新林応急仮設住宅   | ペット居住状態：屋外が中心<br>観察：ペット飼育者と非飼育者が生活するため、ペットを同伴できるが、原則、中大型犬は敷地内のペット専用スペースで生活。小型犬は屋内飼育できるが、ストレスが生じやすい状態。              | 1)設置例：<br>・仮設材専用専用ゲージ<br>2)使用材料（1戸あたり）：<br>・杉平板角材(1900×110×15mm, 数量16枚)<br>・杉丸木杭(φ60×900mm, 数量5.5本)<br>3)施工方法：<br>・地ならし<br>・仮構組立、木ねじ締付   | 2)材料費（1戸あたり）：<br>・杉平板角材：@850×16枚=¥13,600<br>・杉丸木杭：@250×5.5本=¥1,375<br>・合計：¥14,975<br>3)施工費：<br>・地ならし：<br>・仮構組立、木ねじ締付：<br>4)環境負荷：<br>・特になし   |
|       | ペット同伴可能型<br>   |  |  |   |
| パターン4 | 田村郡三春町熊耳字神山31-2<br>(ペット専用仮設ハウス)   | ペット居住状態：ハウス内限定<br>観察：ペット飼育が屋内外で困難な場合、ペットを同伴・隔離し生活させることが可能。断熱パネル、室内空調、電気配線、パネル間仕切など閉鎖型処理がなされる。不要時にはトラック輸送で容易に退避が可能。 | 1)設置例：<br>・軽量鉄骨製組立構造ハウス<br>2)使用材料（連結5戸あたり）：<br>・組立構造材：軽量形鋼&亜鉛曲銅板・屋根・壁パネル：両面亜鉛エンボス銅板（高圧ウレタン注入パネル）<br>・扉：アルミサッシュフラッシュドア<br>・床：耐水合板15t耐水シート貼り 溝排水構造（ドレイン付）<br>・窓：アルミサッシュガラス引違戸3刷ガラス・換気扇：ウエザガ-付付き・照明器具：20w蛍光灯/5ヶ所<br>3)施工方法：<br>・地ならし、据え付け | 2)材料費（連結5戸あたり）：<br>・日本製作の場合/¥1,280,000<br>・海外製作の場合/¥900,000<br>3)施工費：<br>・4tトラック輸送費：<br>4)環境負荷：<br>・施工費は製造工場による環境負荷として算定され、輸送時に排出されるCO <sub>2</sub> , NOx, SOx, PM など<br>5)その他<br>・供用時には電力消費および供用時の環境負荷が生ずる<br>・耐久性に優れ、施設外での目的外使用が可能である |
|       | ペット同伴独立型<br> |  |  |   |
| パターン5 | 福島県内自治体施設<br>(保健所シェルター)   | ペット居住状態：施設内限定<br>観察：飼い主の依頼によりペットとの共棲ができない場合のペット一時収容施設。所定期間内に飼い主が生じない場合は殺処分される。                                     | 1)設置例：<br>・ペットシェルター<br>2)使用材料：<br>・スチール（エポキシ粉体塗装）<br>塩化ビニル樹脂、ポリプロピレン<br>3)施工方法：<br>・特になし   | 2)材料費（1戸あたり）：<br>・合計：・小中型犬用樹脂品：¥5,000<br>・大型犬用樹脂品：¥10,000<br>3)施工費：<br>・合計：¥0<br>4)環境負荷：<br>輸送時に排出されるCO <sub>2</sub> , NOx, SOx, PM など  |
|       | ペット非共棲型<br>  |  |  |   |

2.3 ペット被害量のシミュレーション(研究3)

表5に東日本大地震における福島県データと首都直下型地震を想定したデータによる東京都のペット被害量の推計を示す。東日本大震災では人間と同様にペットも大きな被害を受けており、福島第一原発の20キロ圏内の警戒区域から住民退避をさせる際、政府指示によりペット被ばくの危険性を踏まえ、ペットは警戒区域内に取り残された。なお、避難したペット数や死亡したペット数などは確認が困難なため正確に把握されていないことから、本研究では人間の被害数などから一定の条件のもとペットの被害数、仮設住宅の必要戸数等の算出を行い、首都直下型地震が発生した際のこ

とを想定し、同様に算出を行った。結果より、首都直下地震発生の際、471,586戸の仮設住宅が必要とされ、一世帯当たり一匹のペット飼育を仮定すると31,596戸のペット共棲可能仮設住宅が必要となる。2011年時点、東京で用地確保されているのは71,500戸であり、この場合44%の仮設住宅をペット共棲可能の条件を与える必要がある。すべての犬を仮設住宅の敷地内に同伴させ、パターン1の「ペット共棲可能型」で使用される樹脂製の犬小屋(小型犬用)とケージを予め準備すると、¥694,831,140となり、およそ7億円程度の材料費が必要となる。当該試算の精度を高め、今後のペット共棲環境の整備を推進する必要がある。



表5 東日本大地震における福島県データと首都直下型地震を想定したデータによる東京都のペット被害量の推計

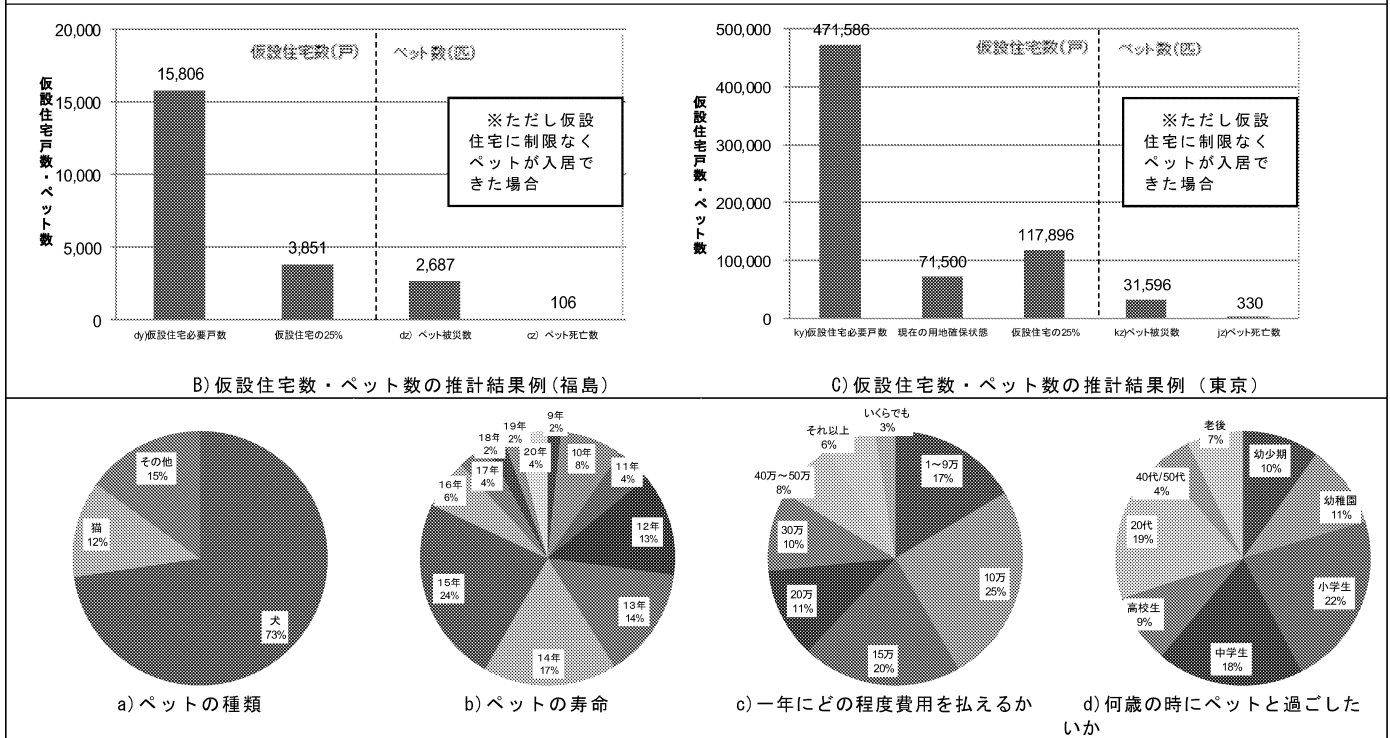
| 地区    | 項目           | x: 人        | y: 世帯      | z: ペット    | パラメータ設定条件  |
|-------|--------------|-------------|------------|-----------|--|
| A) 全国 | 平常時人口        | 127,772,000 | 49,063,000 | 6,880,844 | Ax, Ay: 総務省統計局統計表 <sup>3)</sup> , Az: 厚生労働省都道府県別犬の登録数 <sup>4)</sup>    |
| B) 福島 | a) 震災前当数     | 2,024,089   | 707,000    | 118,072   | ax, ay: 総務省統計局統計表 <sup>3)</sup> , az: 厚生労働省都道府県別犬の登録数 <sup>4)</sup>    |
|       | b) 警戒区域内数    | 78,000      | 27,000     | 5,800     | bx, by: 朝日新聞 2011.6.8 <sup>5)</sup> , bz: 朝日新聞 2011.5.11 <sup>5)</sup> |
|       | c) 死亡, 行方不明数 | 1,842       | ---        | 106       | cx: 社会実情データ図録 <sup>6)</sup> , cz = cx × ①                              |
|       | d) 仮設住宅数     | 45,837      | 15,806     | 2,687     | dx = dy × ③, dy: 朝日新聞 2011.9(井上亮他) <sup>5)</sup> , dz = dy × ②         |
|       | e) 民間賃貸数     | 57,722      | 19,904     | 3,384     | ex = ey × ③, ey: 朝日新聞 2011.9(井上亮他) <sup>5)</sup> , ez = ey × ②         |
|       | f) 避難所数      | 9,302       | 3,256      | 540       | fx: 朝日新聞 2011.9(井上亮他) <sup>5)</sup> , fy = fx × ④, fz = fx × ①         |
|       | g) 県外避難者数    | 48,903      | 17,116     | 2,836     | gx: 朝日新聞 2011.9(井上亮他) <sup>5)</sup> , gy = gx × ④, gz = gx × ①         |
|       | h) 震災後当数     | 1,999,740   | ---        | 115,985   | hx: J-CAST ニュース 2011.9.2, hz = hx × ①                                  |
| C) 東京 | i) 震災前当数     | 13,159,388  | 5,747,000  | 387,902   | ix, iy: 総務省統計局統計表 <sup>3)</sup> , iz: 厚生労働省都道府県別犬の登録数 <sup>4)</sup>    |
|       | j) 死亡数       | 11,000      | ---        | 330       | jx: 地震調査研究推進本部 <sup>7)</sup> , 2011.8.12 発表, jz = jx × ⑤               |
|       | k) 仮設住宅数     | 1,367,599   | 471,586    | 31,596    | kx = ky × ⑦, ky: 朝日新聞 2011.10.31 <sup>5)</sup> , kz = ky × ⑥           |
|       | l) 震災後当数     | 13,001,475  | ---        | 383,247   | lx = is × ⑧, lz = iz × ⑧   |

(パラメータ計算値)

※az/ax=0.058=① (Aの一人あたりのペット飼育頭数)  
 ※ax/ay=2.9=③ (Aの一世帯当たりの人口)  
 ※iz/ix=0.030=⑤ (Cの一人あたりのペット飼育頭数)  
 ※ix/iy=2.3=⑦ (Cの一世帯当たりの人口)

※az/ay=0.17=② (Aの一世帯当たりのペット飼育頭数)  
 ※ay/ax=0.35=④ (Aの一人当たりの世帯数)  
 ※iz/iy=0.067=⑥ (C一世帯当たりのペット飼育頭数)  
 ※hx/hx=0.988=⑧ (震災前に比べての震災後の割合)

(アンケートの概要) 2011.12. 関東近郊在住 18~20歳、105名



#### 4. まとめ

本研究により以下の知見がみられた。

- 1) 研究1のペット共棲住環境に関する分類から5つのパターンに分類することができ、実態調査結果もそれに準じる結果となった。
- 2) 災害時は平常時と比較して、X: 制約のある自由度の範囲 Y: 制約のあるものの付与程度を分析することができた。
- 3) 首都直下型地震発生時のペット被害想定数の推計により、およそ3万戸のペット共棲可能仮設住宅が必要であるとわかった。さらにパターン1の「ペット共棲可能型」で使用される設備をおよそ7億円程度の材料費が必要となる。今後のペット共棲住環境の設備を推進する必要性があると考察した。

#### 参考文献

- 1) 磯川光 他 ペット共棲住宅 QOL 改善を目的とした内装建材性状の評価, 日本建築工学会 2011 年学術講義学会研究発表論文集 pp.145-148, 2011.10
- 2) ペットと暮らす居住空間への新たな提案, 日本建築学関東支部材料施工専門研究委員会, ユニバーサルデザイン WG 報告書, 2011.9
- 3) 総務省統計局統計表
- 4) 厚生労働省都道府県別犬の登録 (<http://www.mhlw.go.jp/> 参照 2012.1.12)
- 5) 朝日新聞, ペット共棲住環境関連記事, 2011.9~10
- 6) 社会実情データ図録 (<http://www2.ttcn.ne.jp/> 参照 2012.1.12)
- 7) 地震調査研究推進本部 文部科学省 (<http://www.jishin.go.jp/> 参照 2012.1.12)
- 8) 田村雅紀, 田島三嘉 他 ペット共棲住環境の QOL 改善を目的とした建築技術・システムに関する基礎的検討 その1, その2 社会貢献学会 pp.81-92, 2011.12

謝辞 本研究は実施にあたり福島県仮設住宅在住, 寺島和加子氏, 日本建築学会関東支部材料施工専門部会ユニバーサルデザイン建材 WG に助力を得た, 本研究は工学院大学 UDM・PJ 研究の一部による。

ホウ酸—珪酸ナトリウム処理による難燃化茅葺材を用いた文化財建物の高度維持技法の開発

ホウ酸, 珪酸ナトリウム, 茅葺屋根, 難燃化

熊谷早織\*1, 田村雅紀\*2, 後藤治\*3, 山本博一\*4

1. はじめに

かつて日本の屋根の主流であった茅葺屋根の建築物は年々減少傾向にある。その背景として、屋根に使用する茅材の耐用年数確保が難しいことや火災に弱いなどの物理的要因、定期的な葺き替えに多額の修繕費用がかかるなどの経済的要因、職人の高齢化、後継者不足、生活様式の変化および茅材材料が入手困難なことなどの社会的要因が挙げられる。伝統的木造建築物である茅葺屋根は保存対象となっているが、これらの物理的、経済的、社会的要因のため文化財として指定されていても個人で保存していくには困難な状況である<sup>1)</sup>。既往の研究によると、珪酸ナトリウム (水ガラス)、ホウ素化合物系およびコロイダルシリカ溶液系による木材を用いた無機質複合体を生成することにより木質材料の難燃性、耐朽性、耐蟻性および硬さの性能を向上させることが明らかとなっている<sup>4) 5) 6)</sup>。特に、ホウ素化合物で生成した場合、寸法安定性、耐朽性および難燃性などの性能が向上すると報告されている。そして、ホウ素化合物と珪酸ナトリウムを混合するとゲル化し使用材料に固着すると考えられている。以上を参考に、本研究は茅葺屋根材料に使用されるススキの難燃化を試み、無機物である珪酸ナトリウムおよびホウ酸と有機物であるススキを用いて、茅材の作業工程を前提とした難燃性能付与を試みたものである。

2. 研究概要

2.1 使用材料と試験項目

表1に使用材料、表2に研究1および研究2の要因と水準を示す。使用材料として研究1と研究2では同様の場所で採取されたススキを用いる。また、本研究ではホウ酸と珪酸ナトリウムを主に用いて難燃化を試みる。表3に実験項目と方法を示す。研究1では、無機溶液含浸実験を行い質量増加率の測定をする。このとき質量増加分を難燃剤とみなしている。研究2では毛細管力を利用した吸水実験を行い、平均絶乾密度と標準偏差を算出した上で未処理材との密度比較をする。研究3では、研究1および研究2で作製した試験体に対し燃焼実験を行う。その中で、K熱電対を用いて温度変化の測定を行い、同時に燃焼時間の測定をする。その後、初期重量と燃焼後重量を用いて残炭率を算出する。この温度変化と燃焼時間、残炭率から難燃性を評価し処理方法についての考察を行う。

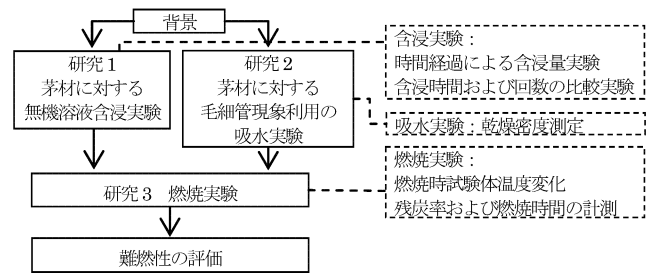


図1 研究の流れ

表4 実験項目と方法

|     | 実験項目           | 方法  |
|-----|----------------|---|
| 研究1 | 無機溶液含浸実験       | 手順①:実験を行う前に40℃の乾燥機内で十分に乾燥させる。<br>手順②:各試験体の水準に従ってB液に浸す。<br>手順③:手順②と同じ試験体水準に従いN液に浸す。<br>手順④:40℃の乾燥機内で十分に乾燥させる。<br>手順⑤:手順②~④を各試験体水準に従い繰り返す。  |
|     | 質量増加率          | 式(1)を用いて質量増加率(%)を算出する。<br>質量増加率 $m'$ (%) = $\frac{m_1 - m_2}{m_2} \times 100$ とする。<br>$m' = m_1 / m_2 \dots \dots (1)$  |
| 研究2 | 毛細管現象を利用した吸水実験 | 手順①:ススキを根本から刈り取る。<br>手順②:2時間以内にB液に垂直方向、各試験体条件の期間浸ける。<br>手順③:手順②と同じ期間N液に浸ける。<br>手順④:40℃の乾燥機内で十分に乾燥させる。   |
|     | 絶乾密度測定         | 根本から10cmごとに乾燥密度( $g/cm^3$ )を式(2)より計測する。<br>乾燥密度 $\rho$ ( $g/cm^3$ ) = $\frac{m}{V}$ とする。<br>最大直径 $\alpha$ (mm) 最少直径 $\beta$ (mm) 高さ $h$ (mm) 質量 $m$ (g) とする。<br>$V = \frac{\pi}{6} \alpha \beta^2 h$ $\rho = m/V \dots \dots (2)$ |
| 研究3 | 試験体温度変化        | 熱電対を用いて試験体上部および下部の温度変化(℃)を計測する。   |
|     | 残炭率            | 式(3)を用い残炭率を算出する。<br>残炭率 $z$ (%) = $\frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100$ とする。<br>$z = m_1 / m_0 \dots \dots (3)$  |
|     | 燃焼時間           | 着火してから鎮火するまでの時間(s)を計測する。  |

表1 使用材料

| 記号 | 材料             | 内容  |
|----|----------------|---|
| S  | ススキ(研究1および研究2) | 東京都八王子市採取                                   |
| B  | ホウ酸            | H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub> 20℃飽和水溶液を用いる |
| N  | 珪酸ナトリウム溶液      | Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>            |

表2 要因と水準(研究1・研究2)

| 研究  | 要因    |                           | 水準                     |    |
|-----|-------|---------------------------|------------------------|----|
|     | 研究1   | 温度                        | 20℃ 40℃ 60℃            | 濃度 |
|     | 時間×回数 | 12h×1 6h×2 3h×4 6h×1 1h×1 |                        |    |
| 研究2 | 環境    | 室内(20℃・60%) 室外            |                        |    |
|     | 日数    | 1日 3日 7日                  |                        |    |
|     | 溶液濃度  | B×N20 B×N9 B×N3           | B50×N20 B50×N9 B25×N20 |    |

表3 試験体条件

| グループ | 研究1  |          |          |           | 研究2  |            |          |              |
|------|------|----------|----------|-----------|--|------------|----------|--------------|
|      | 記号   | 温度       | 濃度       | 時間×回数     | 記号   | 濃度         | 期間       | 根本からの距離 (cm) |
| AA   | Aa60 | 60℃ (60) | B×N20(A) | 3h×4 (a)  | Al7d   | B×N20 (A)  | 7日(7d)   | 0-10(l)      |
|      | Ab60 |          |          | 6h×2(b)   | Am7d   |            |          | 10-20(m)     |
|      | Ac60 |          |          | 12h×1 (c) | Ah7d   |            |          | 20-30(h)     |
| BB   | Ad60 | 60℃ (60) | B×N20(A) | 6h×1(d)   | Cl7d   | B50×N9 (C) | 7日(7d)   | 0-10(l)      |
|      | Bd60 |          |          |           | Cl3d   |            |          | 3日(3d)       |
|      | Ad40 | 40℃ (40) | B×N20(A) |           | Cl1d   | 1日(1d)     | 0-10(l)  |              |
|      | Ad20 | 20℃ (20) | B×N20(A) |           | Cm1d   |            | 10-20(m) |              |
|      | Bd20 | 20℃ (20) | B×N3(B)  |           | Ch1d   |            | 20-30(h) |              |
| CC   | Ae60 | 60℃ (60) | B×N20(A) | 1h×1(e)   | 備考: AAは最も高い難燃性が見込まれるグループである。また、各研究の記載は高い難燃性が見込まれる順である。 |            |          |              |
|      | Be60 | 60℃ (60) | B×N3(B)  |           |  |            |          |              |
|      | Ae20 | 20℃ (20) | B×N20(A) |           |  |            |          |              |
|      | Be20 | 20℃ (20) | B×N3(B)  |           |  |            |          |              |

\*1 工学院大学建築学学科・学部生 \*2 工学院大学建築学部・准教授 \*3 工学院大学建築学部教授 \*4 東京大学教授

## 2.2 ススキに対する無機溶液含浸実験(研究1)

### 2.2.1 時間経過による溶液含浸量測定

無機溶液含浸実験を行う前に水を用いて時間経過による含水量計測を行った。測定結果を図2に示す。単位時間当たりの質量増加量を見ると、1~2時間経過時の質量増加量はどの時間帯よりも高い値を示していることがわかる。また、この時間以降はほぼ一定の割合で質量増加していくことがわかる。このことより、より多くの溶液を茅材に含有させるには短時間で複数回溶液に浸けることが有効であると推察される。研究1ではこの処理を行い、質量増加分を難燃剤とみなし含有量を比較する。また、図2は初期重量を100%としたときの質量増加率を示している。

### 2.2.2 含浸時間および回数の検討による質量増加率の比較

図3に含浸時間および回数の検討による質量増加率の比較を行った結果を示す。図3を見ると12hを1回で浸けたAa60Tよりも2回および4回で浸けたAb60TおよびAc60Tのほうが、はるかに質量増加率が高い値であることがわかる。また、Ab60TとAc60Tは線形で示すとほぼ変わらない線を示すが、Ac60Tのみの点を追うと2回目と3回目の質量増加率は著しく多く、Ab60Tをわずかに上回る増加率を示した。各試験体の12h経過時の質量増加率はAa60Tが1.84%、Ab60Tが4.56%、Ac60Tが5.49%であった。値のみでみても、Ac60TはAa60Tの約2.5倍質量増加していることがわかる。このことより、質量増加率のみでみると短時間複数回での含浸処理は難燃剤をより多く含有させることに非常に効果的であり、著しい増加をさせることができる。

## 2.3 毛細管現象を利用したススキの吸水実験(研究2)

研究2では、既往の研究<sup>2) 3)</sup>に従い表4のように作製した試験体の難燃剤含有量を知るために未処理材との密度比較を行う。写真1に試験体作製状況を示す。図4はaが未処理材(S)、bが難燃処理材(C1d)である。C1dは、作製した試験体の中でも特に効果が表れたものである。図4をみると、Sに比べてC1dは根本に近い部分の密度が比較的高い値を示していることがわかる。増加分を難燃剤とみなすならば根本のみ難燃化出来ているということになる。また、難燃剤をより高い位置まで含ませるにはいくつかの要因があるのではないかと推察される。そして、毛細管力により吸い上げられる条件として考えられる要因は、吸水時の溶液に浸かっていた部分の長さ、溶液の濃度および浸かっていた期間である。しかし浸かっていた部分の長さであるが、暴露実験を行っていたため溶液が常に同じ長さ浸かっていたということはなかった。また、ホウ酸は揮発性を持っているため、特に蒸発しやすい物質であったこともあり、浸かっていた長さは知ることが出来なかった。しかし、濃度と期間についてある傾向が見られた。溶液の濃度は、薄いものほどより高い位置でも密度増加が見られた一方で、特にN液の濃度が高いと毛細管力が働きにくく根本にごく近い部分でも微小の増加しか認められなかった。浸かっていた期間では、長いほど密度は低い傾向にあった。これは、期間が長すぎたため溶脱してしまったことなどが考えられるが今のところ不明である。しかし、材のばらつきが多く必要分の固着を得ることが困難である。

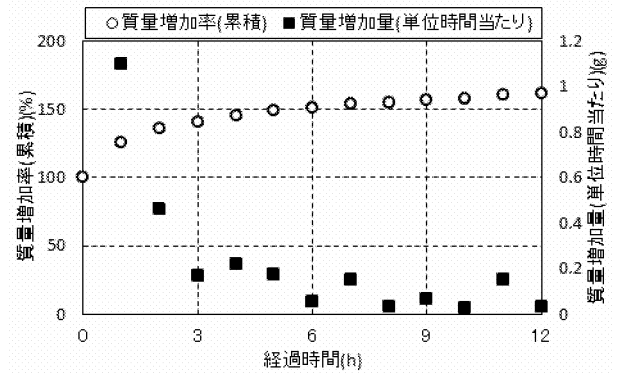


図2 ススキの質量増加率と前回測定からの増加質量

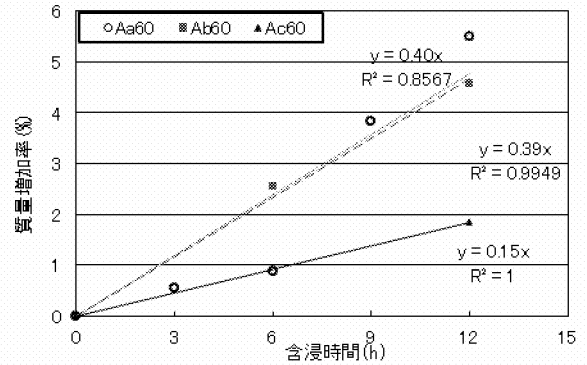


図3 時間および回数検討による質量増加率測定結果

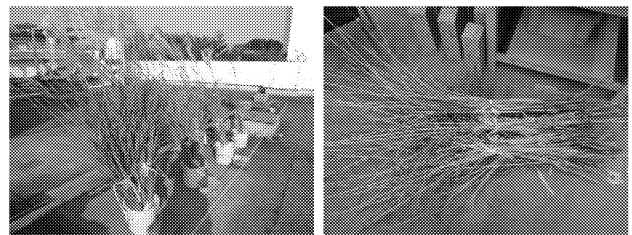


写真1 試験体作製の状況(研究2)

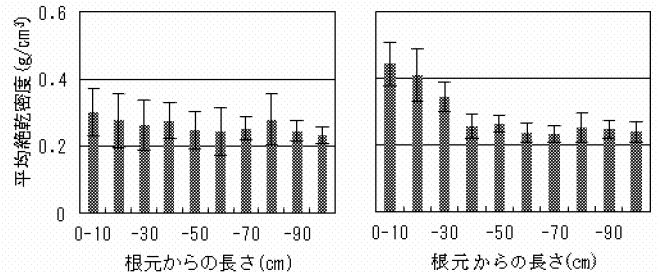


図4 試験体密度分布(研究2)

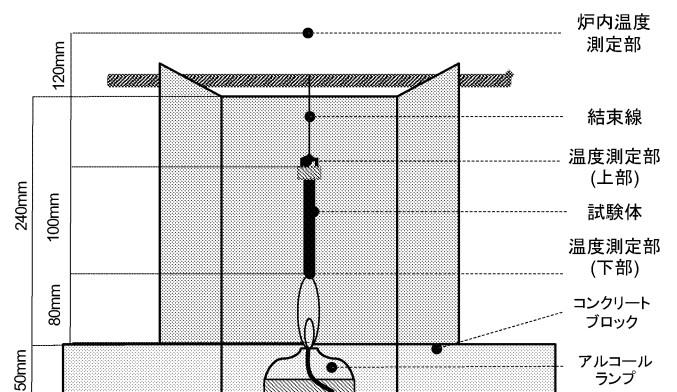


図5 燃焼試験器具(研究3)

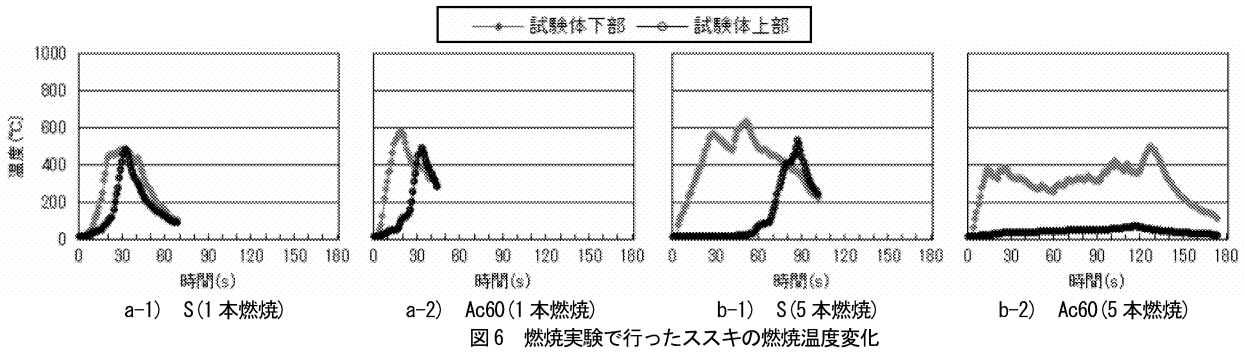


図6 燃焼実験で行ったスキの燃焼温度変化

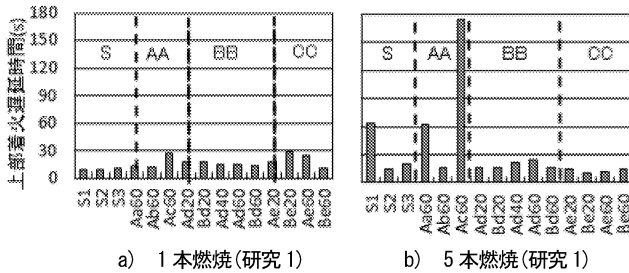


図7 試験体下部着火から上部着火までの遅延時間(a)

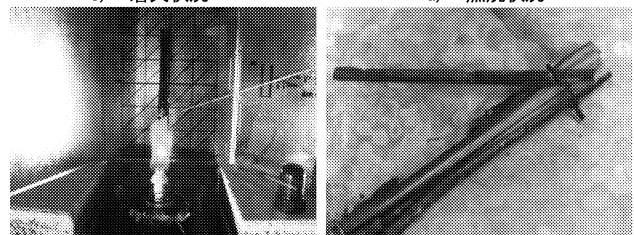
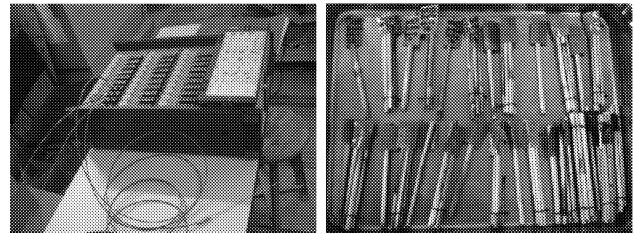


写真2 燃焼実験状況

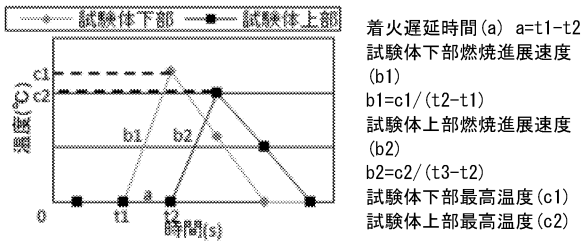


図8 燃焼実験パラメータモデル

表5 スキの燃焼実験から得られたパラメータ値

| 研究1 |    | a    | b1   | b2   | c1    | c2    |
|-----|----|------|------|------|-------|-------|
| 1本  | S  | 10.0 | 41.0 | 44.3 | 494.9 | 539.6 |
|     | AA | 17.3 | 30.5 | 28.1 | 557.5 | 512.9 |
| 5本  | S  | 32.3 | 35.1 | 26.1 | 734.6 | 573.7 |
|     | AA | 84.0 | 23.2 | 4.2  | 688.9 | 321.5 |

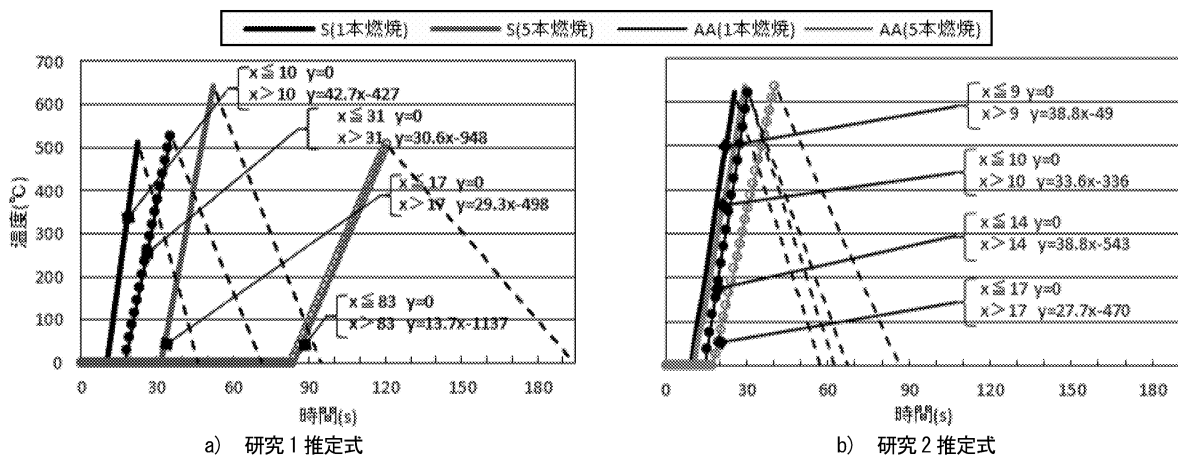


図9 スキの燃焼実験による推定式

## 2.4 研究1および研究2試験体の燃焼実験(研究3)

### 2.4.1 スキの燃焼温度変化

図5のような実験器具を作製して燃焼実験を実施した。茅葺屋根はおよそ45°で葺くが安全側を取り、試験体は上部から垂直方向に吊るし、下方向からアルコールランプで着火する方法を取る。

実験は各試験体につき1本と5本の燃焼実験を行う。燃焼実験を行い温度変化の測定をした結果、未処理材と難燃剤に一定の傾向が見られた(図6)。難燃処理を行ったものは試験体下部が着火してから上部着火するまでの時間が長くなる傾向がある。これは難燃効果が高いほど長くなり、難燃効果の重要な尺度になる。各試

表6 ススキの燃焼時間と残炭率結果

|    | 研究1  | 1本      |        | 5本      |        | 研究2  | 1本      |        | 5本      |        |
|----|------|---------|--------|---------|--------|--|---------|--------|---------|--------|
|    |      | 燃焼時間(s) | 残炭率(%) | 燃焼時間(s) | 残炭率(%) |  | 燃焼時間(s) | 残炭率(%) | 燃焼時間(s) | 残炭率(%) |
| S  | S    | 0:30    | 13.1   | 1:11    | 12.8   | S  | 0:22    | 8.8    | 1:06    | 13.6   |
|    | S    | 0:35    | 14.1   | 1:11    | 13.3   | S  | 0:19    | 6.5    | 1:03    | 13.3   |
|    | S    | 0:31    | 14.8   | 1:12    | 8.3    | S  | 0:13    | 25.8   | 1:04    | 16.3   |
| AA | Aa60 | 0:33    | 24.1   | 3:00    | 51.5   | Al7d   | 0:41    | 17.2   | 2:10    | 26.7   |
|    | Ab60 | 0:41    | 22.6   | 1:24    | 18.5   | Am7d   | 0:23    | 16.0   | 1:38    | 36.7   |
|    | Ac60 | 0:49    | 22.4   | 2:29    | 40.3   | Ah7d   | 0:13    | 35.3   | 3:00    | 33.1   |
| BB | Ad60 | 2:03    | 39.8   | 3:00    | 27.5   | Cl7d   | 0:35    | 16.8   | 2:06    | 19.8   |
|    | Bd60 | 0:29    | 18.4   | 0:52    | 12.7   | Cl3d   | 0:42    | 5.5    | 0:57    | 16.2   |
|    | Ad40 | 0:28    | 26.0   | 0:55    | 17.7   | Cl1d   | 0:57    | 8.1    | 3:05    | 38.3   |
|    | Ad20 | 0:44    | 20.1   | 0:54    | 12.4   | Cm1d   | 0:36    | 3.4    | 2:04    | 20.2   |
|    | Bd20 | 0:42    | 14.3   | 0:43    | 12.3   | Ch1d   | 0:45    | 11.0   | 1:29    | 40.2   |
| CC | Ae60 | 0:31    | 22.6   | 0:42    | 18.2   | 備考：Sはそれぞれ3回の燃焼実験を行った。また、AAを難燃化型、BBを簡易型、CCを短時間型とする。 |         |        |         |        |
|    | Be60 | 0:30    | 12.2   | 1:23    | 19.9   |  |         |        |         |        |
|    | Ae20 | 0:37    | 8.7    | 0:48    | 14.1   |  |         |        |         |        |
|    | Be20 | 1:02    | 8.8    | 0:50    | 10.2   |  |         |        |         |        |

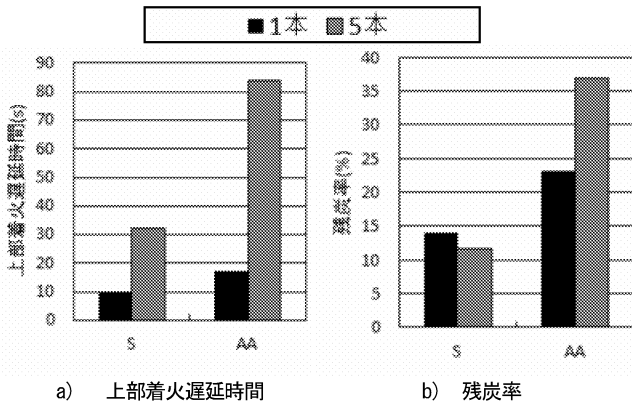


図10 上部着火遅延時間および残炭率の本数比較

試験体の上部着火遅延速度を図7に示した。図7を見ると、研究1では、総時間12h含浸を行ったものは高い難燃性を有しているのに対し、6hから下は未処理材とあまり違いが見られない。このことより、難燃性付与には12h以上の含浸処理を行う必要がある。また、図6b-2は上部温度が低い値を保持し非常に高い難燃性を持っている。

グラフを一般化するために図8のようなモデル図を用いる。着火遅延時間(a)、試験体下部燃焼進展速度(b1)、試験体上部燃焼進展速度(b2)、試験体下部最高温度(c1)、試験体上部最高温度(c2)とし各グラフを一般化する。表5がSとAAの実測値である。この表5をグラフ化したものが図9である。図9では温度上昇の線形を数式化しており、傾きが緩やかでy=0の範囲が長いほど難燃性が高い。また、1本燃焼と5本燃焼を比較するとn本での上部着火遅延時間が推測できる可能性がある。

#### 2.4.2 燃焼時間および残炭率計測結果

表6に燃焼時間および残炭量の計測結果を示す。AAを難燃化型、BBをAAより処理を簡易化した簡易型、CCを1時間で難燃化処理を行った短時間型とする。時間での判断をする場合は上部着火遅延時間で判断することが望ましい。AAでは十分な難燃性が得られたが、BBおよびCCでは得られなかった。そして、実用化する場合、AAのレベルでの処理が必要である。図10は上部着火遅延時間と残炭率の燃焼本数比較を行ったものである。図10a 上部着火遅延時間では、本数を増やしたときAAが非常に高

い伸び率を示している。上部着火遅延時間に関しては一般式により示すことが出来る可能性がある。図10bでは、AAの残炭率は5本燃焼にすると比較的伸びている。これは、写真2fのように内部まで火が回らなかったことが大きく影響している。

#### まとめ

- 1) 短時間で複数回含浸処理を行うと1回で長時間含浸させるよりも多くの溶液を含有させることが出来る。Aa60は非常に高い質量増加率を示した。
- 2) 研究2の方法では根本付近に密度が集中し、その部分しか難燃化できない。難燃剤の含有量の調整が困難である。未処理材と比べても難燃効果はほぼ変わらない。
- 3) 難燃効果が高いと進展速度が遅くなり、上部着火が遅くなる。上部着火遅延時間を軸に見ると、Ac60の難燃性が非常に高い。
- 4) 上部着火遅延速度および残炭率は今回1本燃焼および5本燃焼を行ったが一般化できる可能性がある。

#### 参考文献

- 1) 石塚裕実：茅勾配を変化させた伝統的茅葺屋根の内部温湿度分布と乾燥状態の変化、日本建築工学会、pp.229-232、2011年度
- 2) 金井良浩：茅葺屋根に使用するススキの難燃化に関する実証的研究(その1)、日本建築学会、関東支部研究報告集、pp.129-132、2009年度
- 3) 金井良浩：茅葺屋根に使用するススキの難燃化に関する実証的研究(その2)、日本建築学会、関東支部研究報告集、pp.81-84、2010年度
- 4) 古野毅、後藤崇志、加藤定信：ケイ酸塩-ホウ酸化合物系による木材無機複合体のEPMA観察と酸素指数法による難燃性評価、日本材料学会、Vol.50、No.4、pp.383-390、2001.4
- 5) 後藤崇志、古野毅：コロイダルシリカー-ホウ酸溶液によって無機質複合処理したスギ単板とコナラ単板の難燃性評価、日本材料学会 Vol.53、No.4、pp.381-387、Apr.2004
- 6) 古野毅、田所隆治、上原徹：水ガラス-ホウ酸化合物系による無機質複合体の接着性と難燃性、日本材料学会、Vol.44、No.498、pp.292-296、Mar.1995

#### 謝辞

本研究において、熊谷産業各位、田揚裕子氏に助力を得た。また、工学院大学UDM・PJ研究、H23年度科研費(基盤A)文化的価値のある伝統的木造建築を維持するための植物性資材確保の基礎的要件の解明(代表：山本博一東京大学教授)の一部である。ここに、深謝の意を表する。

# 茅勾配と改質処理を施した茅部材の含水特性とカビ劣化性状の評価

茅素材 カビ 吸水率 腐食

野村奈緒\*1, 田村雅紀\*2, 後藤治\*3, 山本博一\*4

## 1. はじめに

日本の伝統建築として自然材料を利用して建てられてきた茅葺き建築は、現在後継者不足や良質な材料の減少などの多くの問題を抱えている。茅葺き屋根の寿命は10~30年と言われているが、傷んだ部分には部分的に葺き替える方法が取られている。しかし、茅葺きの葺き替えには多くの費用と手間がかかる。

2011年3月11日に発生した、東日本大震災によってもたらされた最大の被害である津波により、東北地方の茅場に多くの被害が出たと言われている。そこで研究1では、震災の被害を受けた茅(ヨシ)の産地(石巻市)の調査を行った。今後の茅素材の安定した供給体制への被害が生じており、本研究では限られた量が供給された状況における茅素材の様々な劣化抵抗を向上させるための動機ともなってくる。既往の研究<sup>2)3)</sup>では、茅葺き建築の腐食に関して勾配の違いによる降雨時の内部温湿度変化についての研究が行われた。本研究ではそこで得られた結果をもとに、温湿度変化によるカビの繁殖と茅素材との関係性(研究2, 研究3)について実験を通して研究を行う。また、研究3では茅素材が湿度・角度・改質処理によってどのような含水特性が生じるのか実験を行い、数式モデルから係数を求め実際の数式を導く。本研究の目的として、茅葺き建築の茅がどのような条件下で腐食するのかということを実験から評価し、様々な観点から茅葺き屋根の長期耐用化を目指す。

## 2. 研究概要

### 2.1 東日本大震災による石巻市被害状況の調査(研究1)

宮城県石巻市は日本で有数のヨシの原産地である。2011年3月11日に発生した東日本大震災による沿岸部地域は津波により多くの被害が出た。宮城県だけで死者は9000人以上にもものぼり、石巻市ではそのうちの3分の1のおよそ3000人もの方々が亡くなられた。そこで、実際に被災地に足を運び、宮城県石巻市北上町橋浦にある茅葺き生産業が保有するヨシ原の調査とその周辺(石巻市内)の調査を行った。写真 a), b) は、北上川のすぐそばにある石巻市福地(ふくじ)という場所で見た茅葺き建築である。今回の震災による津波で流されてきたものである。建物は全壊していたが、屋根部分は残っていた。茅(ヨシ)の屋根の内側の部分の変化はなかったが、先の5cm程度は白くなっていた。この茅をデジタルマイクロスコップで観察を行ったところ、表2のような結果が見られた。左写真の白い部分は海水による塩分であると考えられる。

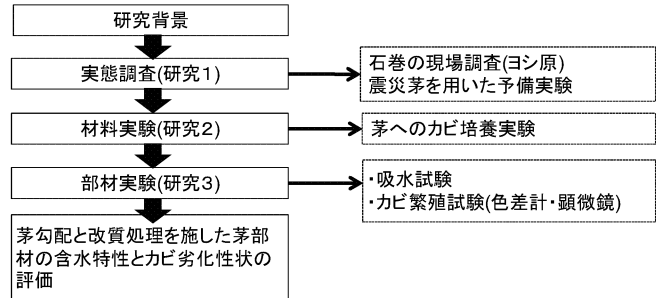


図1 研究の流れ

表1 被災地の被害調査概要


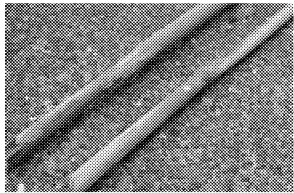
| 項目   | 内容  |
|--|---|
| 調査実施   | 2011年8月10日(水)(震災後5か月)                         |
| 場所   | 宮城県石巻市福地                                      |
| 目的   | 茅素材の安定供給が懸念されている生産地域における課題を抽出する               |
| 調査対象   | 全国の茅素材の原料拠地である北上川沿いのヨシ原(その他震災・津波による被害と思われるもの) |
|   |   |
|  | a) 津波の被害を受けた茅葺き屋根      b) 写真 a) のヨシ側面         |

表2 震災被害を受けたヨシの顕微鏡による観察画像と今後の課題

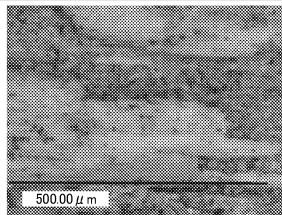
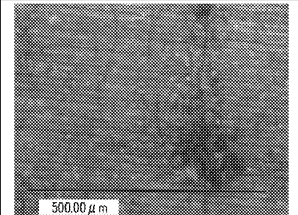
| 写真 | 観察画像   |   |
|----|--|---|
|    |  |  |
| 詳細 | 屋根表面の、白くなっていたヨシ。観察したところ塩の結晶のようなものが見られた。(×200)  | 上の写真と同じヨシで白くなっていない黒い模様が見られた。(×200)  |
| 課題 | 塩分浸透した茅古材や新材の腐食劣化抵抗性を、温湿度、勾配、銅素材の付与等による改質対策による効果検証                                   |   |

表3 使用材料

| 材料  | 記号  | 内容  |
|-----|-----|---|
| ススキ | S   | 宮城県石巻市(冬季刈取り)<br>平均密度(g/cm <sup>3</sup> ): 乾燥時 0.31, 湿潤時 0.51 |
| ヨシ  | Y   | 宮城県石巻市(冬季刈取り)<br>平均密度(g/cm <sup>3</sup> ): 乾燥時 0.22, 湿潤時 0.49 |
| 銅網  | a・n | 0.28mm×16mm メッシュ(改質処理)  |

備考) 平均密度は乾燥時と湿潤時の空隙を含めたかさ密度で、参考文献<sup>3)</sup>より引用

表4 吸水試験(研究3)の実験要因と水準

| 要因   | 水準         |
|------|------------|
| 茅角度  | 90°, 45°   |
| 温度環境 | 25°C(±2°C) |
| 湿度環境 | 90%, 50%   |
| 改質処理 | 銅網有り, 銅網無し |

備考) 例) 記号は Y90 n 90 → ヨシ/湿度 90%/網無し/角度 90° とする。

\*1 工学院大学建築系学科・学部生 \*2 工学院大学建築学部・准教授 \*3 工学院大学建築学部教授 \*4 東京大学教授

## 2.2 茅素材へのカビ培養実験(研究2)

### 2.2.1 カビの基礎的性質

カビとは、酵母、キノコを含めて真菌と呼ばれる微生物の一群である。カビは従属栄養微生物であり葉緑体を持っておらず、炭素源を有機物から獲得するためセルロース、ヘミルロースなど繊維質や糖質及びタンパク質を分解し、利用(資化)する。現在、カビは80,000種以上確認されている。<sup>4)</sup>カビの育成環境条件としては、①水分(湿度)、②温度(25~28℃)、③栄養(繊維質、糖質、タンパク質)、④酸素、⑤pHが挙げられる。本研究の実験では、湿度に注目して実験を行う。

### 2.2.2 カビ培養実験

茅葺き屋根建築は植物材料であるため、カビが好む栄養をもともと備えている。試験方法は、JIS Z 2911に基づいて行う。ここでは、茅素材に対してカビ生えるのか、またどのように繁殖するのかということについて検討を行う。まずPDA培地をエアサンプラーに設置し、屋外で250Lの空気を採取した。次に、そのPDA培地を室内(温度26℃、湿度40%)で5日間培養を行った。5日間培養したものに滅菌希釈液を入れカビを採取し、そのカビを綿棒でY・Sそれぞれに移し、恒温槽(25℃)で2週間培養を行った。2週間、恒温槽で培養を行った結果、Y・Sにカビが生えることが確認できた。塩を付着させたYには健全なY・Sに比べて、カビの繁殖が少ない。この実験結果を基に、研究3を行う。

## 2.3 茅素材を用いた吸水特性(研究3)

### 2.3.1 吸水試験と結果

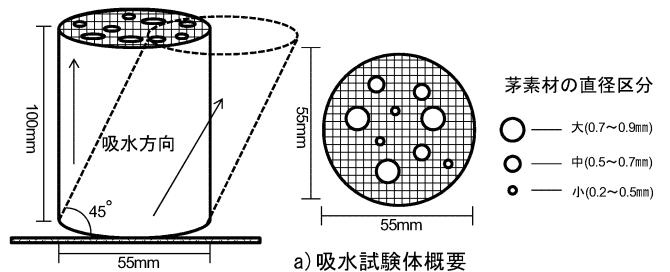
実際の茅葺き屋根を部材モデルで再現することで吸水試験を行った。まず、YとSを長さ約100mm、直径55mmにそれぞれ束ねたもの(図2a)を水(1cm程度)を入れた容器に設置する。その際、YとSの束からそれぞれ断面が大・中・小の3段階のものを3本ずつ無作為に選び出し、印を付けておく。1時間ごとに束の重量と1本ずつ重量をそれぞれ量る。茅葺き屋根には、吸湿性に優れているという利点があり、Y・S共に多くの水を吸収する。実験結果ではYに比べてSの方が吸水率が大きい。これは、Yの茎には燈心がなく空洞な筒状構造に対してSの茎にはスポンジ状の白い海面組織(燈心)があるという構造であることから言える。表7では、実験結果から導き出したa・b・c・d値と、実験値と理論値との相関係数(R<sup>2</sup>)を示している。実験結果の代表例として、ヨシ90%網無し90°の長期と短期をグラフ化したものを図3で示している。そして、a)短期(6h)、b)長期(150h)それぞれの吸水結果を図4で示す。ただし、ロジスティック成長率の関数<sup>5)</sup>をモデルとした吸水特性評価式が実験値とよい対応を示していることが確認できたため、図4では理論値のみをグラフ化したものを記載する。また比較対象として4つのデータを太線で示している。これにより、降雨が生じた特定の湿度環境における茅素材の含水

表5 実験の項目と方法

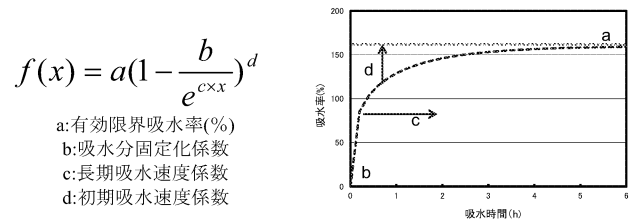
| 項目  | 方法                                      |  |
|-----|---|--|
| 研究2 | カビ種類：クラドスポリウム、フザリウム 他                   |  |
|     | 使用培地：PDA 培地(ポテトデキストロース寒天培地)             |  |
|     | 培養条件：培養期間：2週間、温度：25±2℃<br>カビ発生評価：目視、顕微鏡 |  |
| 研究3 | 吸水試験                                    | 束にした茅を水につけて一時間ごとに重さを測定                     |
|     | カビ繁殖試験                                  | 吸水試験後、15日間カビの繁殖を観察する。ただし、環境条件等は吸水試験と同様である。 |
|     | 色彩値測定(JIS Z8730)                        | 色差計により茅素材表面のL*a*b*値を測定                     |

表6 吸水モデル式のパラメーター説明

| 項目                  | 内容  |
|---------------------|---|
| a 値<br>(有効限界吸水率(%)) | 茅素材の種類、勾配、湿度、一定期間により決定される有効限界値              |
| b 値<br>(吸水分固定化係数)   | 茅素材が成長する過程で組織に固定される吸水分(備考)伐採し乾燥させた状態を1とする   |
| c 値<br>(長期吸水速度係数)   | 降雨中期又は長期における単位時間当たりの吸水率に及ぼす係数               |
| d 値<br>(初期吸水速度係数)   | 降雨初期における単位時間当たりの吸水率に及ぼす係数(反比例：大きい程、吸水速度は遅い) |

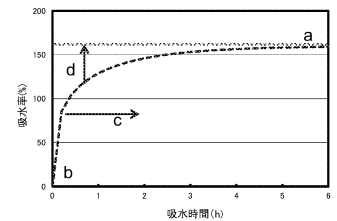


a) 吸水試験体概要



a:有効限界吸水率(%)  
b:吸水分固定化係数  
c:長期吸水速度係数  
d:初期吸水速度係数

b) 吸水モデル式



c) 吸水モデル図

図2 吸水試験の概要

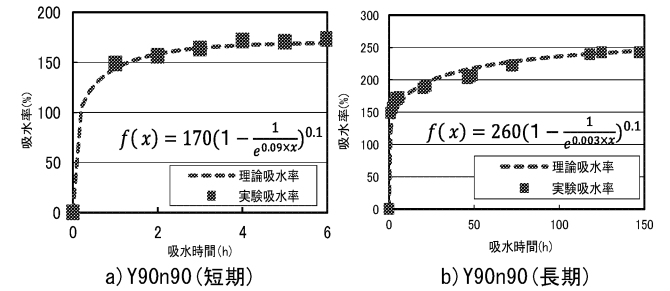
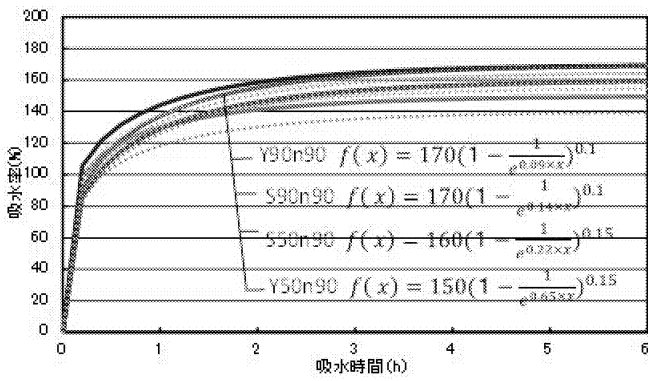


図3 吸水試験結果(理論吸水率と実験吸水率)の比較

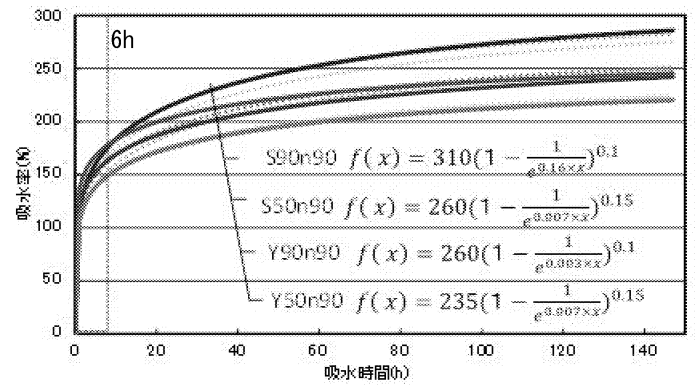
表7 吸水試験結果に基づく理論式のパラメーター結果

| ヨシ(Y)          | Y50a90 |       | Y50n90 |       | Y90a45 |       | Y90n45 |       | Y90a90 |       | Y90n90 |       |
|----------------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|
|                | 長期     | 短期    | 長期     | 短期    | 長期     | 短期    | 長期     | 短期    | 長期     | 短期    | 長期     | 短期    |
| a 値            | 240    | 150   | 235    | 150   | 270    | 165   | 270    | 165   | 270    | 170   | 260    | 170   |
| c 値            | 0.030  | 0.320 | 0.007  | 0.650 | 0.001  | 0.110 | 0.002  | 0.230 | 0.006  | 0.110 | 0.003  | 0.090 |
| d 値            | 0.15   | 0.15  | 0.15   | 0.15  | 0.10   | 0.10  | 0.10   | 0.10  | 0.10   | 0.10  | 0.10   | 0.10  |
| R <sup>2</sup> | 0.996  | 0.999 | 0.997  | 0.997 | 1.000  | 0.999 | 1.000  | 0.991 | 1.000  | 0.991 | 0.999  | 1.000 |
| ススキ(S)         | S50a90 |       | S50n90 |       | S90a45 |       | S90n45 |       | S90a90 |       | S90n90 |       |
|                | 長期     | 短期    | 長期     | 短期    | 長期     | 短期    | 長期     | 短期    | 長期     | 短期    | 長期     | 短期    |
| a 値            | 300    | 170   | 260    | 160   | 300    | 160   | 300    | 160   | 310    | 170   | 310    | 170   |
| c 値            | 0.003  | 0.640 | 0.007  | 0.220 | 0.007  | 0.320 | 0.002  | 0.300 | 0.002  | 0.180 | 0.160  | 0.140 |
| d 値            | 0.20   | 0.20  | 0.15   | 0.15  | 0.20   | 0.20  | 0.15   | 0.15  | 0.15   | 0.15  | 0.10   | 0.10  |
| R <sup>2</sup> | 0.977  | 0.999 | 0.997  | 0.999 | 0.995  | 0.998 | 0.994  | 1.000 | 0.990  | 1.000 | 0.999  | 0.999 |

備考) b 値は実験の結果より全て1.0とし、短期吸水(0~6時間)、長期吸水(0~150時間)とする。また、R<sup>2</sup>値は相関係数とする。



a) ヨシ・スキの短期吸水率変化 (6h)



b) ヨシ・スキの長期吸水率変化 (150h)

図4 湿度・角度の違いによる茅部材の吸水率推定式

特性を予測することが可能となる。また、図5では図4の結果を基にa・c・d値それぞれにおける湿度と角度による影響の違いを長期・短期共に示している。降雨後、どのくらいの時間が経過した後どれくらいの吸水状態であるのかを推測する必要があることから、吸水量の予測を行う。なお、本試験においてはカビの繁殖の程度の予測にも繋がる。

### 2.3.2 カビ劣化制御のための吸水量予測

茅葺屋根が痛む原因の一つとして降雨によって茅に水が浸透することが考えられる。そこで実際の降雨が生じた場合の茅材(Y・S)が茅葺きの角度により、どのように吸水性状が違うのかということ、長期的に予測する必要がある。そのために茅材の吸水性状が茅の寸法特性と時間に依存した特性をもつことを踏まえて、短期及び長期における吸水率を予測できるようにする。一般的に、植生をはじめとする有機体(カビを含む)が増殖する数式モデルは指数関数的成長モデルによる既往式で表現されるが空間や大きさに制限がある場合、時間的な限界範囲が存在する。そのことを踏まえ、最終的に限界量で平衡に達する場合の吸水性状を評価するためには、吸水量という個体数量が時間により制約を受ける関数で表現する必要があるため、既往モデルであるロジスティック成長率の関数をもとに図2のb)式のモデル式を基本式とした。図2のc)はb)式をグラフ化しモデル図としたものである。

## 2.4 茅勾配と改質処理によるカビ繁殖特性(研究3)

### 2.4.1 カビ繁殖実験

2.3の吸水試験を行った試験体を吸水試験終了後(平衡状態)、吸水試験時の温度・湿度を保った状態で15日間カビを繁殖させ、観察を行った。カビによる腐食の計測方法は、色差計による色の変化の計測と顕微鏡によるカビの観察、また目視による3つの方法で行った。試験体を十分に乾燥させた後、束のY・Sをそれぞれ解き、断面の大・中・小のものに分け、1本ずつを縦半分に分断し並べたもの(図6b))を色差計(図6a))により色を計った。また比較対象と

して、健全なY・Sにおいても同様の計測を行った。

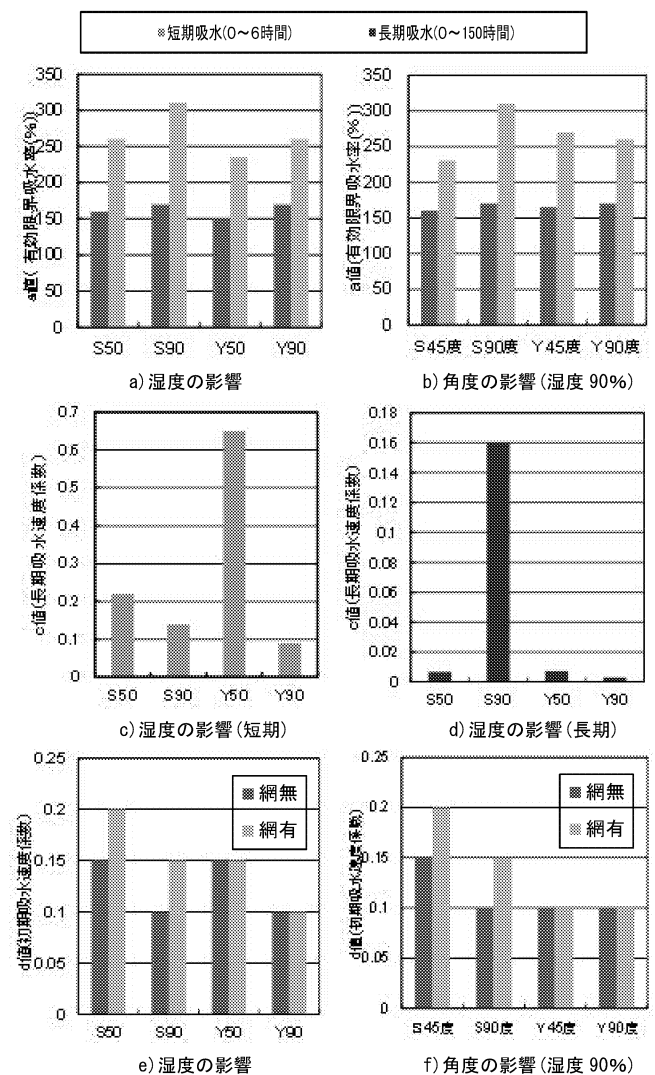


図5 吸水試験結果による理論式定数の特性 (b値は1で一定)

### 2.4.2 色差計による茅素材の腐食度評価

色差計の結果の評価はJIS Z 8730「色の表示方法—物体色差」に基づいて行った。色差計による計測の結果については、茅断面の大きさごとによるL\*値の比較として、吸水水面上部10cm, 6cm, 2cmの3か所を比較対象とし、図7で



示している。健全な Y・S の L\*値を 100% とし、それに対してカビ繁殖後の Y・S の L\*値が何% であるかを数値化したものを図中に示している。健全な部材に比べて、吸水試験後の L\*は、全体的に低下する傾向にあるが、Y より S の方が低下度は大きくなる。つまり、吸水率と L\*値の関係はカビ繁殖に関係しているといえる。

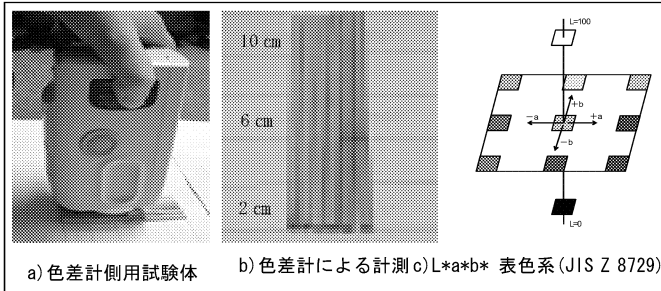


図6 腐食によるカビ劣化性状の評価

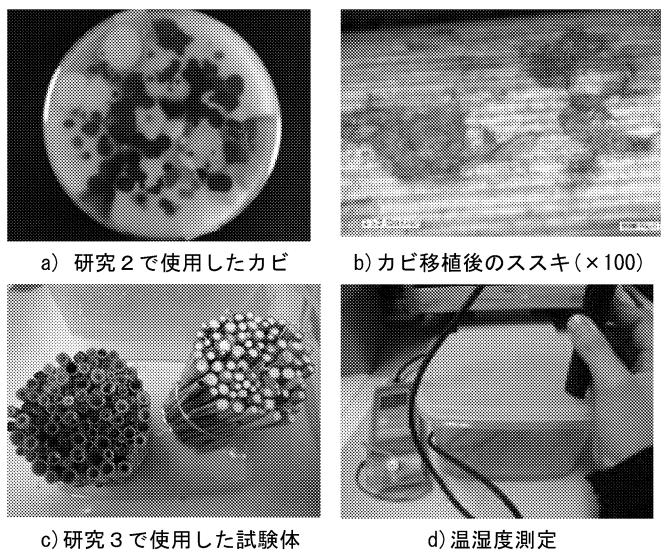


写真1 カビ培養実験と吸水試験

### 3. まとめ

- 1) 吸水試験の結果としては、短期では有効限界吸水率の違いは見られない。Y は角度による影響が見られず、S は 45 度 のとき初期吸水速度は小さく有効限界吸水率も小さい傾向にある。湿度が高いと有効限界吸水率が高く、初期吸水速度は大きい傾向。また有効限界吸水率は短期に比べ長期の方が明確な差が見られた。
- 2) カビ繁殖は目視の結果では、湿度 90% 角度 90°、90% 45°、50% 90° の順でカビやすい。湿度 90% では試験体の周囲、湿度 50% では試験体の内部に多くのカビが見られたことが特徴的である。
- 3) 色差計測結果(カビ劣化状況)  
L\*値はY より S の方が下がったため劣化が大きい傾向にあることが分かった。
- 4) 吸水率が高くなるほど、L\*値が低くなることからカビ繁殖の可能性が大きくなる。

### 参考文献

- 1) 安藤邦博, 民家造, 学芸出版社, 2009
- 2) 石川, 草葺き屋根層内部の雨水の浸透特性に関する実験 日本建築学会大会学術講演梗概集, 2001 年
- 3) 石塚裕実他, 茅勾配を変化させた伝統的茅葺屋根の内部温湿度分布と乾燥状態の評価, 日本建築士学会論文, 2011
- 4) 文部科学省, カビ対策マニュアル基礎編
- 5) 赤尾健一, 地球環境と環境経済学, 成文堂, 1997 年

### 謝辞

本研究の実施にあたり、国立科学保健院関係各位、工学院大学建築学部柳宇教授、後藤治教授、熊谷産業各位、田揚裕子氏に助力を得た。また本研究は、工学院大学 UDM・PJ 研究、H23 年度科研費(基盤 A) 文化的価値のある伝統的木造建築を維持するための植物性資材確保の基礎的要件の解明(代表: 山本博一東京大学教授)の一部である。

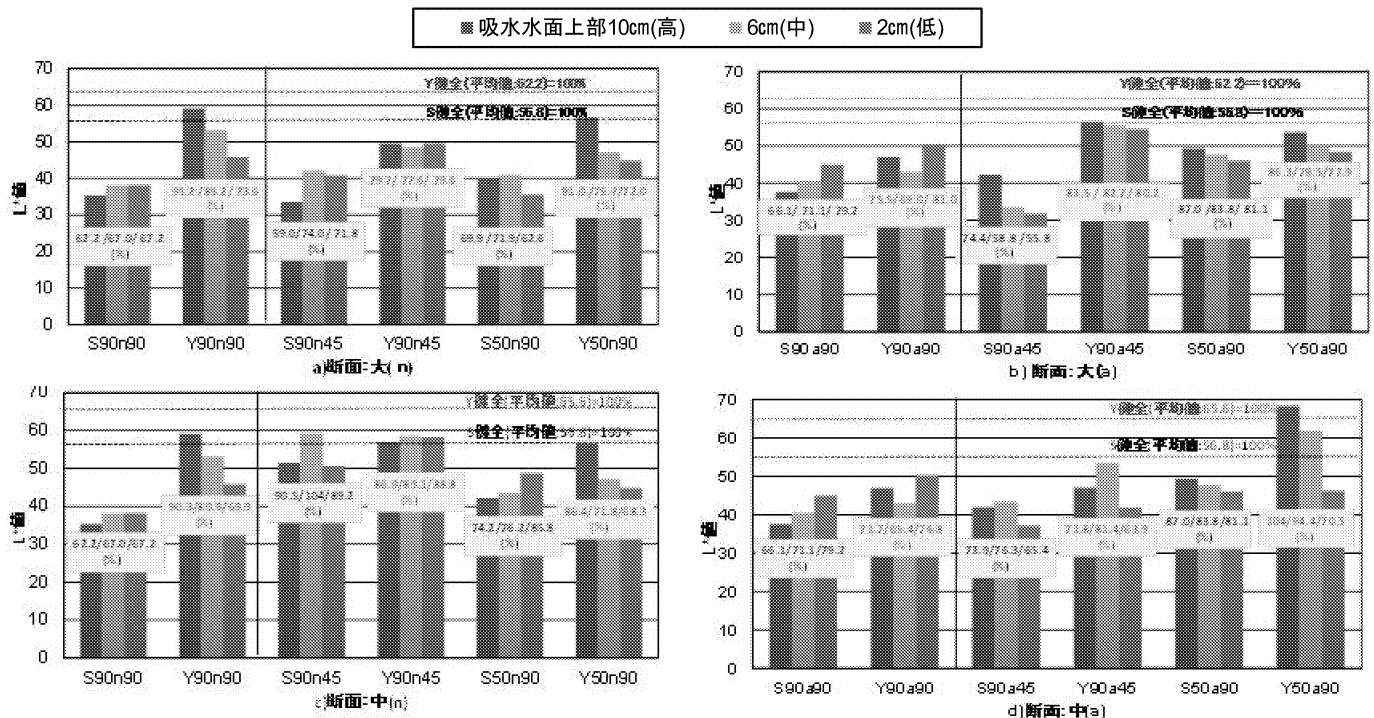


図7 カビ劣化による茅断面大きさごとによる L\*値の比較(棒グラフ値は健全 100% に対する L\*低下度を示す)

## 屋外暴露した改質こけら葺き屋根の物理的変状の評価

伝統的木造建築、こけら葺き、汚れ、ひび割れ、色彩

森田泰代\*1, 田村雅紀\*2, 後藤治\*3, 山本博一\*4, 清永美奈子\*5

### 1. はじめに

こけら葺きは伝統的木造建築に用いられている、屋根の葺き方の一種である。しかし近年職人や天然林木の減少により、維持・保全が困難となっている。こけら葺きの葺き替えサイクルは約25年であるが、半分の10年で葺き替えなければならない状態に陥った家も存在する。こけら葺きの伝統的木造建築を日本の歴史として後世に残していく必要があると考えている。そこでこけら葺き屋根自体の耐久性を向上することにより、葺き替え周期の長期化を目指す。周期を長期化することにより、材の使用量を抑制することができる。そうする事により、こけら葺き屋根の新しい維持・保全システムの確立を目指す<sup>1)</sup>。本研究では実験を行うために実際にこけら葺き屋根を葺き、時間経過に伴う塗装剥離状態や材の汚れ、物理的変状を評価する。

### 2. 研究概要

#### 2.1 屋外暴露条件

図1に研究の流れを示す。本実験は山梨県甲州市にすでに組まれている、屋外暴露試験体を用いる。<sup>2)3)</sup>こけら葺き屋根を維持・保存するためには、こけら葺き屋根の耐久性を向上させる必要がある。そのため表面に保護効果のある薬剤を塗装し、各試験体の耐久性を評価する。本実験は2009年12月から2020年1月の10年間の長期耐久性向上実験である。私は施工後2年間の物理的変状と表面保護効果のデータを測定し、評価する。

#### 2.2 こけら台の種類

表1に実験に使用した材料の種類を示す。使用材料として樹齢の異なる人工林木の秋田県産杉や宮城県産杉、天然林木の秋田県産栗、長野県産さわら等、計7種類を使用している。栗材は秋田で用いられた実績があるため、広葉樹だが使用した。重要文化財等ほとんどには、さわらが用いられている。全部のこけら台に、使用材料ごとに任意の記号を振った。以下、その記号で試験体と呼ぶ。

### 2.3 実験内容と方法

表2に表面塗装処条件、表3に実験項目と方法を示す。こけら葺きの葺き替えサイクルを長くするために試験体の表面に塗装を施し、その表面の耐久性が向上するか実験する。塗装する薬剤は、現在建物の耐久性向上のため使用されている薬剤を用いることとする。薬剤を塗った6種類と、無塗装の2種類の計8種類を評価する。以下薬剤の種類を①～⑧の番号で示す。写真1は塗装当初の写真である。左から①から順に塗装されている。重要文化財等のこけら葺きには、水切りのために銅板が差し込まれている。銅板の有無で耐久性に変化がでるのかどうかを検証するために、図2の様に処理⑧以外には銅板が3ヶ所に差し込まれている。色彩・汚れを評価するほかに、材のひび割れや変形アスペクトも評価する。

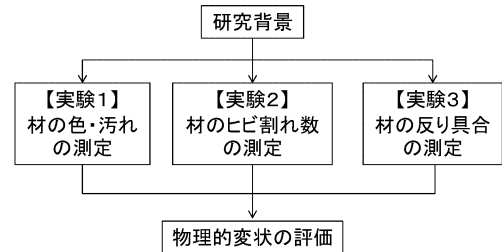


図1 研究の流れ

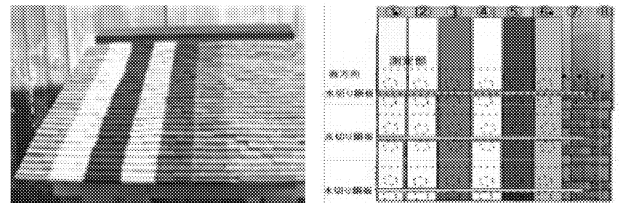


写真1 塗装処理後の試験体 図2 水切り銅板の位置

表3 実験項目と方法

|     | 実験項目            | 実験方法                    |
|-----|-----------------|-------------------------|
| 実験1 | こけら板の色彩・汚れ測定    | 色差計を用いて値を測定             |
| 実験2 | こけら板の端部ひび割れ劣化測定 | 定めた箇所ひび割れ数を目視で測定        |
| 実験3 | こけら板の変形アスペクト比測定 | 定めた箇所の板の長さ、下段の材からの距離を測定 |

表1 こけら台の種類

| 記号      | 種類            | 平均幅 (cm)*1 | 年輪数 (個)*2 | 屋根長さ (cm)*3 |
|---------|---------------|------------|-----------|-------------|
| Aas 45  | 人工秋田杉 (45yr)  | 9.50       | 23.25     | 593.1       |
| Aas 90  | 人工秋田杉 (90yr)  | 89.8       | 17.80     | 595.4       |
| Ans 170 | 天然秋田杉 (170yr) | 9.49       | 56.50     | 751.6       |
| Ank 50  | 天然秋田栗 (50yr)  | 9.13       | 35.40     | 832.3       |
| Mas 35  | 人工宮崎杉 (35yr)  | 11.19      | 20.20     | 831.9       |
| Mas 80  | 人工宮崎杉 (80yr)  | 9.83       | 34.00     | 928.0       |
| Sn      | 天然さわら         |            |           | 750.2       |

表2 表面塗装処理条件

| No  | 種類/塗布回数      | 色   | 回数    | 効果                           |
|-----|--------------|-----|-------|------------------------------|
| 処理① | 高撥水シリコン系     | ｸﾘｱ | 2回    | シロタン結合基を有する無機シリコン溶液の撥水対策     |
| 処理② | 高耐久アクリルシリコン系 | 白   | 2回    | アクリル含有シリコンの結合エポキシ増大による紫外線対策  |
| 処理③ | 無・有機イン系      | 黒   | ｸﾘｱ/黒 | 防ｶﾞｲ効果と黒化による熱吸収検証            |
| 処理④ | 無・有機イン系      | 白   | ｸﾘｱ/白 | 防ｶﾞｲ効果と白化による反射対策             |
| 処理⑤ | 柿渋液          | 茶   | 4回    | 柿タンニン(糖のエステル結合+芳香族分子)による防腐対策 |
| 処理⑥ | 木酢液          | 茶   | 4回    | リグニン、フェノール成分塗装による防腐対策        |
| 処理⑦ | なし(銅板水切り)    | —   | 0回    | 銅板水切りの蓄熱影響検証                 |
| 処理⑧ | なし           | —   | 0回    | 基準試験体                        |

\*1 ( )の中は樹齢を表している。平均幅はこけらの小口部分の長さである。\*2 平均幅に対する年輪数。  
\*3 屋根長さはひび割れ、変形アスペクト比で測定した箇所の長さを足したもの。

\*1 工学院大学建築系学科・学部生 \*2 工学院大学建築学部・准教授 \*3 工学院大学建築学部・教授  
\*4 東京大学・教授 \*5 工学院大学大学院建築学専攻・修士

### 3. 実験結果および考察

#### 3.1 屋外暴露2年後のこけら板の色彩劣化特性

写真3にこけら板の測定状況を、図3にL\*a\*b\*の概念図を示す。色を測定する方法は色差計を用い、L\*a\*b\*で評価する。L\*は明度を表し、色相・彩度を表す式座標をa\*b\*で表す。色の明度L\*は0~100で表され、色相・彩度を表す式座標a\*b\*は-60~60で表される。今回はMas35のデータを用い、測定を始めた2009年12月~2010年12月、2011年5月~12月に測定したものを使用している。

図4はMas35の時間軸に対する色彩の変化を示す。図4のb) c)のa\*値、b\*値のグラフを見ると、共に値が下がり、0に収束している事がわかる。これは色が落ち、無彩色に近づいていることを表す。一部値が高くなっている部分は、天候によるものと推測する。雨が降ると材が濡れることにより、色味が出てくる。そのために値が高くなったと考えられる。図4のa)のL\*値のグラフについて値が下がっているものは、塗装が剥離し材が汚れて暗くなり、明度が下がっていることを表す。しかし処理③だけは値が上がっていることが読み取れる。これは塗装した薬剤が黒で材よりも暗い色を使用しているためである。塗装が剥離し始めたことにより、材自体の明るい色が現れ、値が高くなった。白は塗装の剥離が進んでいないため、塗装直後から値の変化がほぼ見られない。一部値が下がっている部分があるが、図4のb) c)と同様に、天候によるものと推測する。雨により材が濡れることで材の色が暗くなり、明度が下がったものと考えられる。

図5にはMas35の銅板による時間軸に対する色彩の変化を示す。銅板の有無による色・汚れの変化がするののか評価する。塗装してない部分(処理⑦・⑧)を比較した。図5のb) c)のa\*値 b\*値は両方の値がほぼ同じ動きをしている。図5のa)のL\*値だけは両方のグラフが重なり合っていて、まったく同じ下がり方をしている。これは銅板の有無は、汚れや色には関係ないことを示している。

図6には色差とabクロマの変化を示す。色差を求めることにより、塗装後と現在の材の値の差から、塗装後から色がどの程落ちたのかを読み取ることが出来る。図6のa)に記載している式を用いて色差は求められる。色差のグラフは時間が経つにつれ、値が大きくなっていく事がわかる。これは塗装が剥離し材が汚れ、塗装後と現在の材を比較して色が大きく変化しているという事を表す。一番塗装の剥離が見られない白は、塗装後から色の変化も少ないため、値が小さいままである。図6のb)に記載されている式を用いて、色彩・彩度

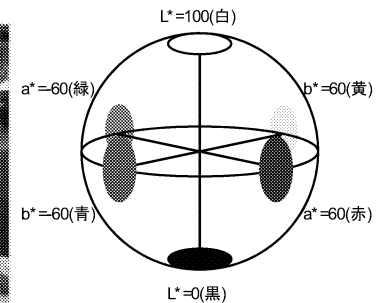
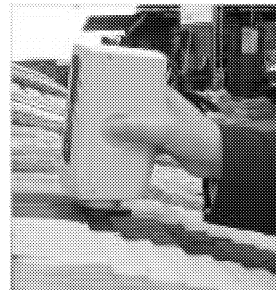


写真2 こけら板の測定状況 図3 L\*a\*b\*表色系の概念図

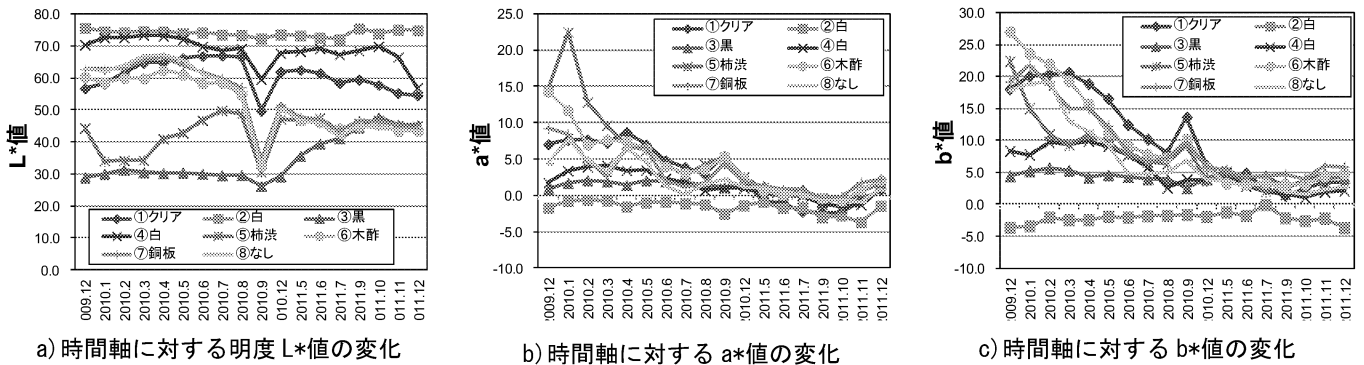


図4 Mas35 (宮崎杉 35年)・時間軸に対する色彩値の変化

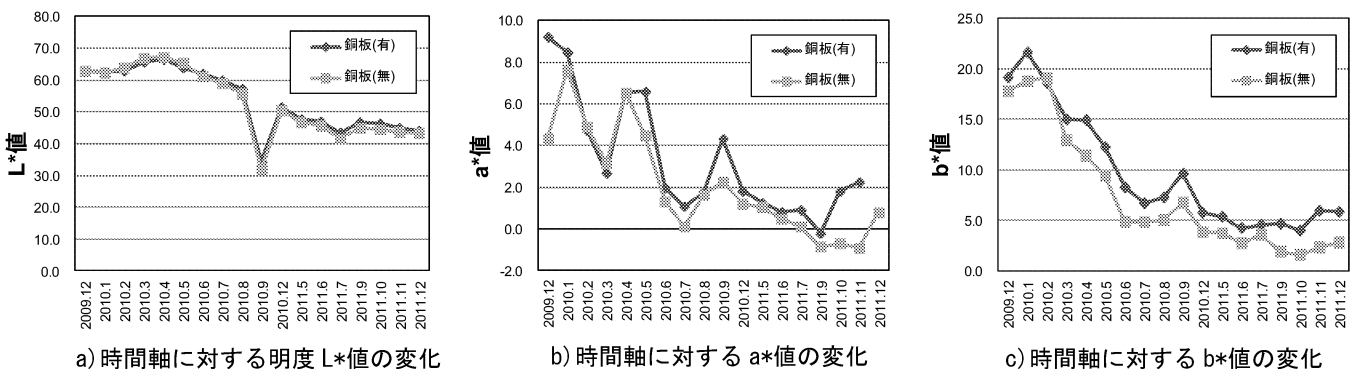
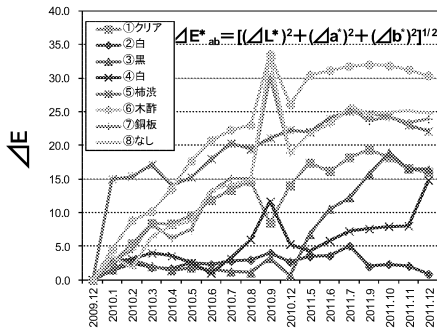
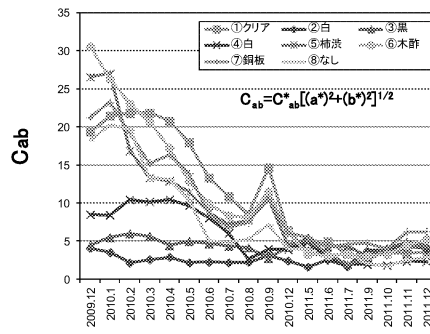


図5 Mas35 (宮崎杉 35年)・銅板による時間軸に対する色彩値の変化



a) 時間軸に対する色差の変化



b) 時間軸に対する ab クロマの変化

図6 Mas35 (宮崎杉 35年)・塗装後からの変化

表3 色彩及び材質の劣化

| 種類     | 劣化内容  |
|--------|---|
| Sn     | 処理③以外の薬剤は剥離している。材の中で一番材が平で変化がみられない。               |
| Mas80  | 処理②は残っており、処理③・④はほぼ剥離している。一部の材が浮き始めた。              |
| Ms35   | 処理②は残っているが、処理③・④は剥離し始めた。一部の材が浮き始めた。               |
| Ank50  | 処理②は剥離しているが、処理③・④は残っている。全体的に材が浮いて反っており、表面が凸凹している。 |
| Ans170 | 処理③が僅かに残っている。一部の材が浮き始めた。                          |
| Aas90  | 処理③は剥離し始めたが、処理②・④は材がうねり、全体的に歪んでいる。                |
| Aas45  | 材の中で一番色が残っている。材が浮き始め、少し表面が凸凹している。                 |

を表す ab クロマ ( $C_{ab}$ ) は求められる。色味が落ちて、無彩色に近づいていることがわかる。

### 3.2 屋外暴露2年後の状態変化

#### 3.2.1 表面の物理的变化

写真3、写真4は2011年の12月に試験体を撮影したものである。試験体の状態を物理的に見て、施工直後の状態から変化した部分を比較した所、以下のように感じた。

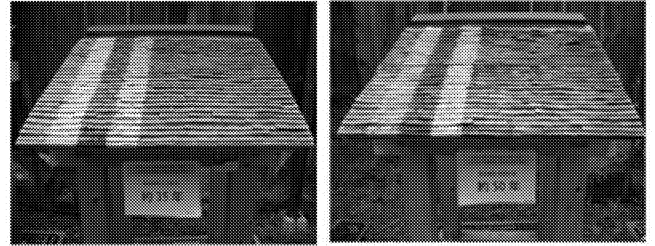
塗装処理後の写真2と12月現在の写真4を比較してみると、塗装の剥離が一目瞭然である。薬剤はこけら材を保護し、材の耐久性を向上する目的のために薬剤を塗布した。それなのに塗装は1年半でほぼ剥離しまった。特に処理⑤の柿渋液と処理⑥の木酢液は全て剥離し、跡も残っていなかった。どの種類の木材も現在剥離のあまり見られない塗装は、白い薬剤のみである。特に処理②の高耐久性アクリル系の薬剤が剥離していない。処理③の黒も多少は残っているが、ほぼ剥離している。そして薬剤が剥離しただけでなく、材が汚れ黒ずんでしまっている。写真4を見てみると、材が反ってしまった。これは Ank50 に限ったことではなく、他の試験体も同様に材の反りが見られる。

#### 3.2.2 こけら板のひび割れ性状

試験体を施工して2年経ち、材の断面にはヒビ割れが発生し始めた。定めた箇所でのヒビ割れを測定し、その数を比較する。水切り銅板が差し込まれた3箇所の上下の板6列、銅板の差し込まれた箇所の中間2列の計8列を測定箇所として定め測定した。塗装がまだ剥離していない部分は表面が薬剤で覆われているため、ヒビ割れはほぼ存在しなかった。

図7のa)は定めた箇所の断面ヒビ割れの数を測定し、屋の長さあたりの数をグラフに示す。人工林木の中では Aas170 が多少多いものの、人工林木よりも自然林木の方がヒビ割れていることがわかる。自然林木は細かく細いヒビが入っていたが、人工林木は大きめのヒビが入っており、すでに材が割れている部分もあった。人工林木はヒビが入ると、すぐ割れてしまう可能性があると考えられる。

図7のb)は定めた箇所の板の長さを測定し、板1枚に対するヒビ割れの数を板の長さで割り、1cmあたりのヒビ割れ



a) Ank50 (秋田栗 50年) b) Mas35 (宮崎杉 35年)

写真3 屋外暴露試験体 (施工後2年) の色彩状態

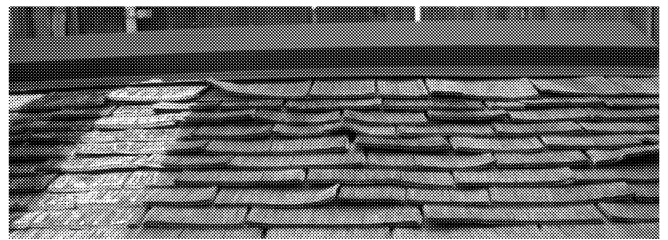


写真4 Ank50 (秋田栗 50年) の反り

数を示す。人工林木は全体に少しずつヒビが入っていたが、自然林は特定の箇所にヒビが集中しており、ヒビが入っていない箇所も多かった。そのため全体でみると数が多かった自然林は、単位長さあたり数にすると人工林木よりも数が少ない結果になった。

図7のc)過去の論文<sup>1)</sup>に記載されている材1枚あたりの年輪数(個)を平均幅(cm)で割り1cmあたりの年輪数を示す。Snがグラフに含まれていない理由は、過去の論文にSnの年輪数や平均長さが記載されていないためである。

図8は、図7のc)で求めた単位長さあたりの年輪数と、単位長さあたりのひび割れ数を用い、杉材のみを一次関数で示した。単位長さあたりの年輪数が多いものほど、単位長さあたりのひび割れ数が多くなることがわかる。これは年輪数が多いものほどヒビが入りやすいことを表している。宮崎杉と秋田杉を比較してみると、宮崎杉は傾きが緩やかで、秋田杉は傾きが急である。これにより、秋田杉より宮崎杉の方がひび割れが発生しにくいことがわかる。今後も測定していくことにより、傾きは更に急になると思われる。

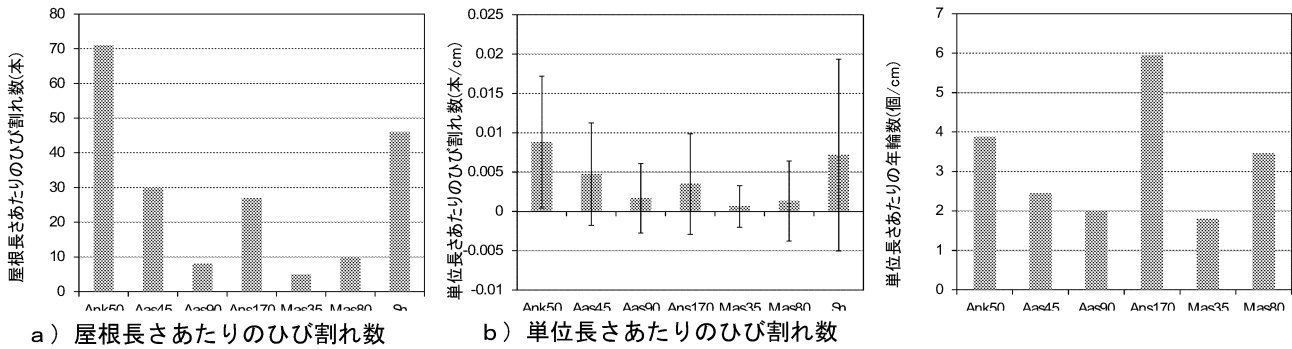


図7 Mas35 (宮崎杉 35年)・断面ひび割れ数

### 3.3 屋外暴露2年後のこけら板の変状

図9に変形アスペクト比、図10に単位長さあたりの変形アスペクトを示す。試験体を施工してから2年経ち、材が反り始めている。ヒビ割れを測定した箇所と同じ箇所の材の反りを調べて種類ごとに比較した。方法として、板の横の長さで材が反り浮いている高さを測定し、長さを高さで割ったものをグラフに示し、比較する。

目で見える限りでは一番反りが酷いのは Ank50 だと思っていたが、図10を見ると実際に酷かったのは Mas35 という結果が出た。Ank50 は上部の材の一部が大きく反るだけで、全体的に反っているのは Mas35 だということがわかった。Sn は一番反りが少なく、見た目も綺麗である。人工林より自然林木の方が変形アスペクト比の値が小さい。測定の結果、現段階では自然林木の方が反りにくいということがわかった。

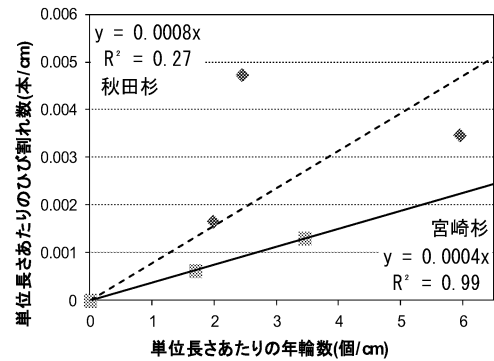


図8 単位ひび割れ数の測定による推定式

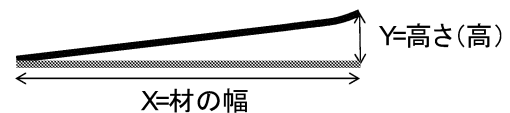


図9 変形アスペクト比

### 4. まとめ

- 1) 色差計を用いて測定したところ、塗装直後と比較して、色味が落ち無彩色に近づき、汚れていることがわかった。
- 2) 銅板の有無による色、汚れの変化はみられなかった。
- 3) 年輪数が多いとひび割れ数が多くなる。秋田杉よりも宮崎杉の方がひび割れが発生しにくい。
- 4) 変形アスペクト比は人工林と比較して、自然林木の方が値が小さい、材が反りにくい。

今後も材の色や汚れ、板のヒビ割れ性状や変形状を測定し、色や材の変状を見ていく。今後は材の一部を破壊する微破壊試験、破壊試験を行いたいと検討している。実際に塗装することにより、材が保護され耐久性が向上するのか、本実験よりも詳しく検証していく。

### 謝辞

本研究に際し、熊谷産業、株式会社石川工務所に多くの協力を頂いた。本研究は、科研費基盤(A) (文化的価値のある伝統的木造建築物を維持するための植物性資材確保の基礎的要件の解明：代表山本博一)、工学院大学UDM, P J 研究による。

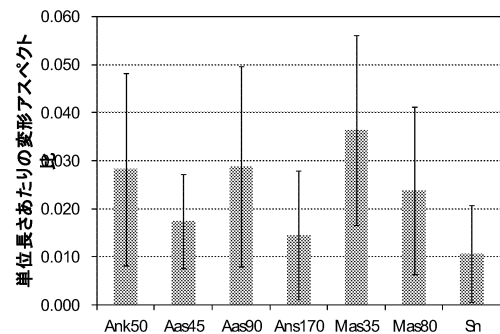


図10 単位長さあたりの変形アスペクト比

### 参考文献

- 1) 田村雅紀、後藤治、山本博一、清永美奈子：伝統的木造建築に用いるこけら材の硬度維持・保存技法に関する研究その3、2009年大会学術講演会研究発表論文集 pp. 123-126
- 2) 清永美奈子、田村雅紀、後藤治、山本博一、高塚里美：伝統的木造建築に用いられるこけら材の高度維持・保存に関する研究その5、2010年大会学術講演会研究発表論文集、pp. 151-154
- 3) 清永美奈子、田村雅紀、後藤治、山本博一、高塚里美：伝統的木造建築に用いられるこけら材の高度維持・保存に関する研究その6、2011年大会学術講演会研究発表論文集、pp. 225-228

## 震災廃棄物の発生量に関する調査研究

地震 津波 東北地方太平洋沖地震  
 震災廃棄物 首都直下地震 液状化現象

鵜崎道樹\* 西村涼太郎\*  
 阿部道彦\*\*

### 1. はじめに

大地震により発生する廃棄物について、発生量・種類に至るまで事前に予測をすることは、廃棄物処理施設の運用計画や、各自治体の廃棄物処理計画の検討、被災地域の委託事務の円滑化に繋がることとなる。

本研究では東北地方太平洋沖地震における被害の現状報告と、現在公表されている地震被害想定から、近年起こりうる首都直下地震における震災廃棄物発生量の予測の検証を行う。

### 2. 地震調査報告

#### 2.1 地震概要

東北地方太平洋沖地震は、太平洋沖のプレート境界線で発生した海溝型地震である。2004年の新潟県中越地震以来となる最大震度7を計測した。また、日本国内において観測史上最大となるマグニチュード(Mw)9.0を記録した。この地震に伴い、各種ライフラインの寸断等、様々な被害が発生した。

#### 2.2 地震被害

表1に東北地方太平洋沖地震の被害データを示す。この表の通り、家屋被害が全半壊・一部損壊を合わせ約100万棟に上る。全壊棟数が多い原因は津波による家屋流出被害の大きさにある。地震の揺れによる直接的な倒壊被害は、全半壊合わせて1万3000棟余りであったため、その被害の大きさを窺い知ることができる。

#### 2.3 津波型火災

想定外の規模の津波が発生したことで自動車や船舶等に被害が及んだ。また、津波により流出した家屋や自動車から発生する火災に加え、海水により錆が進んだ金属類による自然発火が発生した。地震の揺れにより引き起こされる従来型火災と、津波型火災との区別を行うことで、地震動による直接的な出火件数や、そのメカニズムを分析する際に、比較が行いやすいという利点があるが、東北地方太平洋沖地震では、これらの明確な区別が困難であった。

そのため、本研究においては津波型火災については予測・検討しないものとする。

### 2.4 液状化現象

この地震では関東地方にも被害が及び、震度3～5弱が観測された千葉県で液状化現象が発生した。震源から離れた地域で長周期地震動が発生したため、液状化の被害が拡大したと見られている。建物被害は、千葉県浦安市で全壊8棟、半壊470棟、千葉市で全壊20棟、半壊355棟、習志野市で半壊207棟が確認された他、墳砂、地面の亀裂、マンホールの浮き上がりが観測された(写真1)。

表1 東北地方太平洋沖地震の概要

| 発生年月日  |             | 2011年3月11日       |
|--------|-------------|------------------|
| 震災名    |             | 東日本大震災           |
| 規模     | マグニチュード(Mw) | 9.0              |
|        | 最大震度        | 7                |
| 主な被災地域 |             | 相馬市、宮古市、石巻市、大船渡市 |
| 人的被害   | 死者(人)       | 15782            |
|        | 負傷者(人)      | 5699             |
|        | 行方不明者(人)    | 4086             |
| 被害状況   | 家屋全壊(棟)     | 126315           |
|        | 半壊(棟)       | 227339           |
|        | 一部損壊(棟)     | 643038           |
|        | 合計(棟)       | 996692           |
|        | 焼失(棟)       | 284              |
|        | 流出(棟)       | 121871           |



写真1 千葉県液状化被害

## 2.5 震災廃棄物

岩手・宮城・福島の3県で2200万トンに上る廃棄物が発生した。これは1995年に発生した阪神・淡路大震災の約2000万トンを上回る発生量である<sup>1)</sup>。図1に宮城県6市町の廃棄物発生量の内訳を示す。重量の比率であるため、自動車・船舶を含む不燃物の割合が大きくなるが、地震動による直接的な建物の倒壊が少なく、津波により様々な廃棄物が混在して発生した結果を示す図となっている。図2は津波の浸水面積とがれき発生量の関係を表したものである。発生した廃棄物のうち、津波のみの影響で発生した廃棄物量を正確に把握することができないため、総量での比較とした。浸水面積をがれき発生量に結びつけるには、建物の密集度を考慮する必要がある。

## 2.6 考察

地震の揺れによる直接的な倒壊被害は、10万棟を超える建物全壊被害が発生した阪神・淡路大震災より、比較的軽微であった。阪神・淡路大震災を上回る廃棄物が発生した要因として津波の占める割合は大きい。したがって、津波を含めた廃棄物発生量を予測する予測式の検討を進める必要がある。

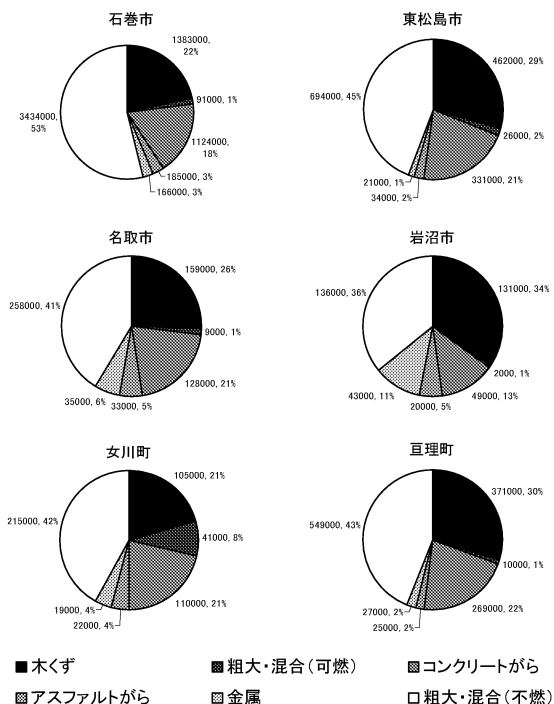


図1 宮城県6市町の廃棄物内訳 (単位: トン)<sup>2)</sup> より作成

## 3. 首都直下地震における震災廃棄物発生量予測

### 3.1 概要

近年起こりうる都心部周辺を震源とする首都直下地震に対して、内閣府の公表を元に調査を進めた。首都圏に多大な被害をもたらすと想定されているのが、東京湾北部地震である。この地震は東京湾北部を震源とする最大震度7、M7.3の巨大地震である。図3は関東地方の震度分布図、表2は東京都の震度別面積率である。東北地方太平洋沖地震での全壊数約12万棟、兵庫県南部地震での全壊数約10万棟と比較し、この地震による全壊被害は84万棟に上るとされている(図4)。

過去の震災において、多くの倒壊被害を発生させてきたのは木造建物である。木造建物の倒壊を防ぐことは、災害廃棄物の発生量を抑制することに繋がる。

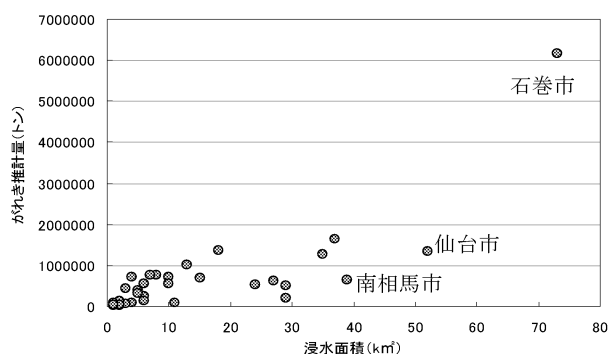


図2 浸水面積別がれき発生量<sup>3)</sup> より作成

表2 震度別面積率<sup>4)</sup> より作成

|     | 5弱以下  | 5強    | 6弱    | 6強    |
|-----|-------|-------|-------|-------|
| 東京都 | 31.1% | 18.6% | 33.2% | 17.1% |

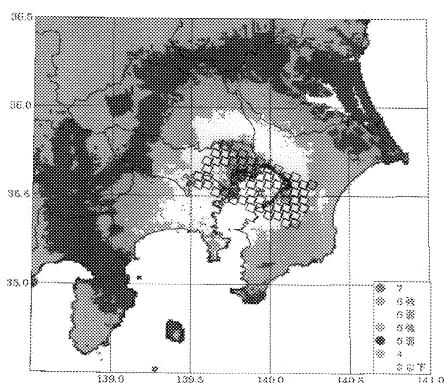


図3 震度分布図<sup>5)</sup> より引用

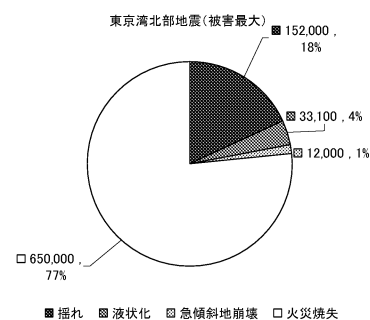


図4 原因別全壊棟数<sup>5)</sup> より作成

### 3.2 震災廃棄物の発生量予測方法

震災廃棄物の発生量予測には以下の式を用いる。

$$Q_1 = s \times q_1 \times N_1$$

$Q_1$  : がれき発生量 (t)

$s$  : 1棟当たりの平均延床面積 ( $m^2$ /棟)

$q_1$  : 単位延床面積当たりのがれき発生量 ( $t/m^2$ )

$N_1$  : 解体建築物の棟数 (棟)

東京都の単位延床面積当たりのがれき発生量を表3に、単位棟数当たりのがれき発生量を表4に示す。この式から、がれき発生量は解体建築物の棟数に左右されることが確認できる。

表3 単位延床面積当たりのがれき発生量 ( $t/m^2$ )<sup>6)</sup>より作成

|    |     | 1棟当たり床面積<br>( $m^2$ /棟) | 廃木材   | コンクリート<br>がら | 金属くず  | その他   | 合計    |
|----|-----|-------------------------|-------|--------------|-------|-------|-------|
| 倒壊 | 木造  | 93.7                    | 0.076 | 0.084        | 0.008 | 0.144 | 0.313 |
|    | RC造 | 212.28                  | 0.019 | 1.026        | 0.039 | 0.003 | 1.087 |
|    | S造  | 244.8                   | 0.204 | 0.566        | 0.027 | 0.003 | 0.800 |
| 焼失 |     | 93.7                    | 0.000 | 0.084        | 0.008 | 0.119 | 0.212 |

表4 単位棟数当たりのがれき発生量 ( $t$ /棟)<sup>6)</sup>より引用

|    |     | 1棟当たり床面積<br>( $m^2$ /棟) | 廃木材   | コンクリート<br>がら | 金属くず | その他   | 合計     |
|----|-----|-------------------------|-------|--------------|------|-------|--------|
| 倒壊 | 木造  | 93.7                    | 7.15  | 7.91         | 0.73 | 13.52 | 29.31  |
|    | RC造 | 212.28                  | 4.03  | 217.8        | 8.28 | 0.59  | 230.7  |
|    | S造  | 244.8                   | 49.94 | 138.51       | 6.61 | 0.8   | 195.86 |
| 焼失 |     | 93.7                    | 0.03  | 7.91         | 0.73 | 11.15 | 19.82  |

### 3.3 全壊棟数の推測方法

内閣府は、阪神・淡路大震災時の西宮市、鳥取県西部地震時の鳥取市、芸予地震時の呉市のデータを元に、計測震度と全壊率の関係を表す全壊率テーブル(図5)を作成し、震度別全壊率を設定している。震度別全壊率に木造建物棟数を乗ずることで全壊棟数を推測する。

### 3.4 築年数と倒壊被害の関係

図6は、阪神淡路大震災時の神戸市灘区の木造建物の全半壊を築年別にまとめたものである。この図の通り、古い建物ほど倒壊被害が大きいことがわかる。また、図7は図6のデータを建築基準法の改正が行われた1981年(昭和56年)以前、以後で二分したものである。この図から、旧基準の木造建物に被害が集中していることがわかる。このことから、東京湾北部地震においても、15万棟の建物倒壊被害は旧基準の木造建物に集中することが予測される。

### 3.5 東京都における旧基準木造建物の分布率

東京都心部の旧基準の木造建物の分布率を図8に示す。都心西部は環状6号線、東部は明治通りを境に旧基準の木造建物の分布率が比較的高くなっている。震度6弱以上が想定されている地域であるため、これら旧基準の木造建物は倒壊する可能性が極めて高い。また、木造密集地域が多数存在するため、地震発生時に大規模火災となり、最大65万棟に上る火災焼失の被害が発生する恐れがあるとされている。

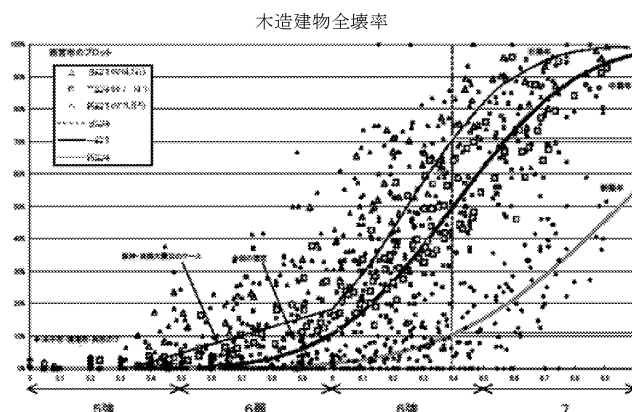


図5 全壊率テーブル<sup>5)</sup>より引用  
 (縦軸：全壊率 横軸：震度)

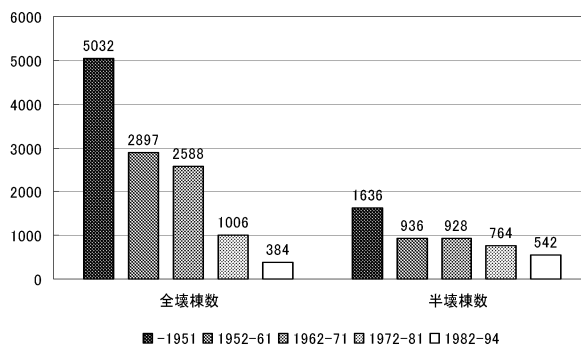


図6 築年別全半壊棟数<sup>7)</sup>より作成

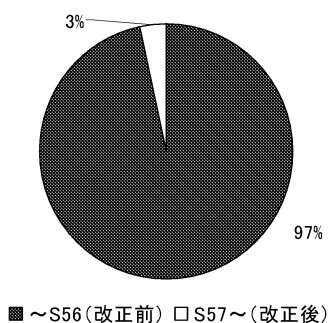


図7 築年別全壊割合<sup>7)</sup>より作成

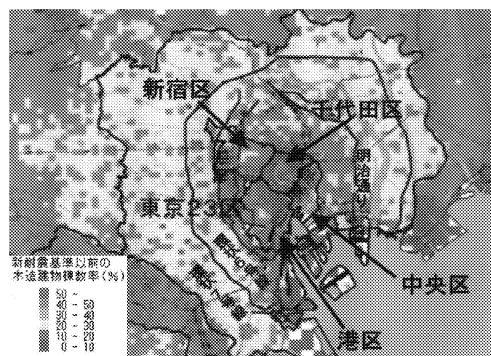


図8 新耐震基準以前の木造建物分布率<sup>5)</sup>より引用



### 3.6 震災廃棄物

東京湾北部地震が発生した際に予測される廃棄物発生量を図9に示す。最大で9600万トンの廃棄物が発生するという推測がされている。これは阪神・淡路大震災、東日本大震災の約5倍となる値である。

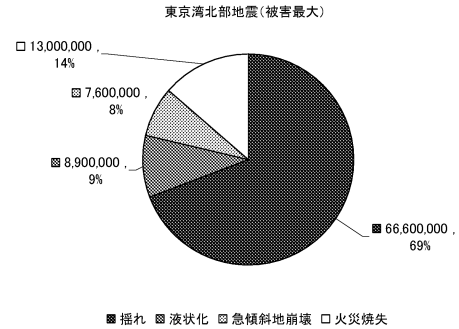


図9 原因別廃棄物発生量<sup>5)</sup>より作成

## 4. 地震に伴う津波被害

### 4.1 津波浸水面積

東北地方太平洋沖地震では、想定を超えた巨大な津波が発生した。それを受け、神奈川県は津波による浸水範囲の再検証を行い、津波浸水予測図を公表した (図10)。

神奈川県が公表した津波浸水予測図から、浸水面積を測定したものが表5である。東北地方太平洋沖地震の際、甚大な被害が発生した宮城県石巻市 (浸水面積 73km<sup>2</sup>)、仙台市 (同 52km<sup>2</sup>)、福島県南相馬市 (同 39km<sup>2</sup>) と比較すると浸水域は広くないが、浸水深が大きい地域では、家屋の倒壊を引き起こす可能性が高い。

### 4.2 津波による廃棄物発生量

津波によって引き起こされる廃棄物の発生量について、予測・検証されているデータは少ない。以下の式は平山らの推定式<sup>9)</sup>である。

津波廃棄物 (家屋がれき類) (t) = 地震動による家屋がれき量 (t) + 津波による家屋がれき量 (t)  
 地震動による家屋がれき量 (t) = 木造家屋の面積当たり災害廃棄物発生量原単位 (t/m<sup>2</sup>) × 1棟当たり床面積 (m<sup>2</sup>/棟) × (0.85 × 全壊棟数 (棟) + 0.45 × 半壊棟数 (棟))  
 津波によるがれき発生量 (t) = 床上浸水家屋数 (棟) × 1棟当たりの津波による浸水家屋がれき量原単位 (t/棟)

平山は東日本大震災発生後20日で廃棄物発生量の推定値を発表した。その値は現在公表されている廃棄物発生量とほぼ同等であることから、上記の式は信頼できる結果を与えているといえる。

津波被害が発生した後、床上浸水家屋数を正確に把握することは難しい。そのため、浸水面積からがれき発生量を簡易的に推計することを目的とした予測式を示す。

津波によるがれき発生量 (t) = 1km<sup>2</sup>当たりの木造棟数 (棟/km<sup>2</sup>) × 津波浸水面積 (km<sup>2</sup>) × 1棟当たりの津波による浸水家屋がれき量原単位 (t/棟)

浸水域は全壊とみなし計測するため、浸水深、浸水面積が大きい場合に正確なデータが得られると思われる。

## 5. まとめ

東北地方太平洋沖地震は地震動だけでなく、津波や火災、液状化現象など、二次災害が廃棄物発生量に影響を与えた。中でも大きな被害をもたらしたのは津波であるが、津波による廃棄物発生量の予測・検証を行ったデータが少ないことがわかった。

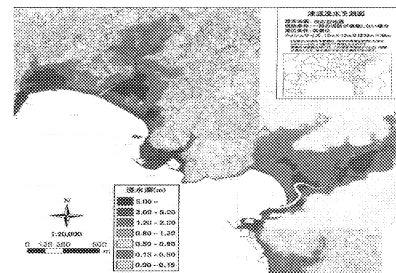


図10 津波浸水予測図<sup>8)</sup>より引用

表5 津波浸水面積<sup>9)</sup>より作成

|                         | 藤沢市  | 鎌倉市  | 逗子市  | 葉山町  | 横須賀市 |
|-------------------------|------|------|------|------|------|
| 浸水面積 (km <sup>2</sup> ) | 3.23 | 2.91 | 3.55 | 0.68 | 2.94 |

また、廃棄物発生量の予測を行うにあたり、考慮すべき事項として、旧基準の木造建物の倒壊率の高さや、木造密集地域の大規模火災の恐れなどの問題点が把握された。

今後、これらの問題点について早急に検討を進めることが重要である。

### 参考文献

- 1) 北村喜宣：がれき処理, 朝日新聞社 阪神・淡路大震災誌 第7章, pp.468-473, 1996.2
- 2) 宮城県 HP: <http://www.pref.miyagi.jp/>
- 3) 環境省, 沿岸市町村の災害廃棄物処理の進捗状況, 2011.12
- 4) 東京都 HP: <http://www.metro.tokyo.jp/>
- 5) 内閣府, 直接的被害想定結果について (参考資料編), 2006.3
- 6) 島岡隆行, 山本耕平: 災害と廃棄物問題, 災害廃棄物一般社団法人廃棄物資源循環学会監修, pp.9-13, 2009.3
- 7) 中島正愛: 建物被害の分布、特徴、そして今後の課題, 阪神・淡路大震災と地震の予測, pp.64-69, 1996.8
- 8) 津波浸水予測図: 神奈川県 HP, <http://www.pref.kanagawa.jp/>
- 9) 平山修久, 河田恵昭, 小鯛航太, 鈴木進吾: 東南海・南海地震発生時の津波廃棄物発生量の推定手法に関する研究, 廃棄物学会研究発表会論文集 第18回, pp.249-251, 2007.11

\* : 工学院大学工学部建築学科卒業生

\*\* : 工学院大学建築学部建築学科教授

## 減災情報通信システム実現に向けた方式検討

キーワード 長距離無線 LAN FWA SIP  
伝送品質 ハンドオーバ

水野 修\* 浅谷耕一\*  
中里秀則\*\*

### 1. はじめに

都市部における災害発生時において、被災者や自治体など情報が必要なユーザに対して減災情報を流通することが重要である。本テーマでは、携帯電話網など既存の通信インフラに依らない減災情報通信システム構築法を確立することを目的としている。今年度は、ユースケース分析、西新宿地区における無線伝送特性について検討したので報告する。

### 2. 減災情報通信システムの要件

#### 2.1 ユースケース

システムの要件を抽出するために、まずシステムがどのように使われるか想定する。これをユースケースと呼ぶ。災害発生直後から、通信インフラが復旧するまでの期間を72時間と想定し、その間のユースケースとシステム要件を示す。

##### (1)災害発生後1時間以内のユースケース

災害発生直後には、災害対策本部の立ち上げが行われ、引き続き安全確保と被害状況の把握、避難指示される。さらに、災害対策本部は、報道や屋外カメラの映像から被害状況情報を収集し、構内放送などを通じて、避難所位置や移動情報を被災者に伝達を行う。

屋外にいる被災者間では SNS(Social Networking Service)などに情報を流し拡散させたり、街中や駅構内にあるプラズマ画面などを用いて災害の情報を伝達したりすることもありうる。

##### (2)災害発生後1時間から3時間以内

災害対策本部は、収集した被害状況情報を踏まえて、被災者に対して避難所までの経路情報を伝達する。また、避難所や病院などにおいては、被災者の安否情報の収集が行われる。

また、被災地域外との通信を確立して災害発生後から収集してきた被災状況のやり取りを実現し、救援などを要請したり、より広域の状況把握に努める。

##### (3)災害発生後3時間から6時間以内

被災者に対する被災状況の伝達とともに、交通情報の伝達や帰路、宿泊施設への誘導を行う。また、被災者間や被災者の家族からの安否情報の照会に対応する。

##### (4)災害発生後6時間から24時間以内

避難所への誘導は収束すると考えられるが、帰路状況の伝達や安否照会対応は継続して行われる。また、施設の復旧に向けた活動が進行する。

##### (5)災害発生後24時間から72時間以内

通信インフラや電源の復旧までの間、システムを維持する。

#### 2.2 ユースケースから導出したシステム要件

##### (1)災害発生後1時間以内のユースケース

(要件 1-1)アドホックネットワークの立ち上げ

携帯電話基地局の破損や災害時のトラフィック増大に対する通信制限により、既存のネットワークでは十分な安否報告ができないことが考えられる。また渋滞や道路損壊などにより、人手による情報伝達にも限界がある。したがって、安否報告を行う通信制限のないネットワークが必要になる。

このような目的で、アドホックネットワークや無線メッシュネットワークの検討がすすめられている。これらアドホックネットワークや無線メッシュネットワークを早急に立ち上げることが重要となる。

(要件 1-2)信頼できる情報の拡散

要救護者情報や災害情報は、被災者が直接自治体、災害対策本部に情報伝達する他に SNS などに正確な情報を流し拡散させる場合がある。

しかし、Twitter などの SNS にて拡散される情報の中には、デマ情報もあると思われる。したがって、SNS の情報の中から有用な情報だけを抽出できる必要がある。

##### (2)災害発生後1時間から3時間以内

(要件 2-1)情報収集・伝達手段の確立

被災者が SNS などに書き込んだ被災状況や避難所

\* : 工学院大学工学部情報通信工学科, \*\* : 早稲田大学大学院国際情報通信学研究所

に到着した被災者から得られた被災状況を伝達したり、避難所に情報を伝送する必要がある。そのため、被災地域の各避難所から災害対策本部に情報を伝送するネットワークやアプリケーションが必要である。

(要件 2-2)外部ネットワークとの接続

災害対策本部間の連絡や被災地外にいる家族や友人との連絡等を行うためには被災地の状況を外部に報告することが必要である。このためには、回線途絶に備えたネットワークの対策が必須となる。

(3)災害発生後3時間から6時間以内

(要件 3-1)バックアップシステムとの連携

災害対策本部はと被災地域外である郊外との通信を確立し、収集した被災状況のやり取りを行い、被災地域外の郊外からのバックアップを得て都市機能の早期回復を目指す必要がある。またこの経路を用いて被災者情報の伝送を行うことを可能とする。

(4)災害発生後6時間から24時間以内

(要件 4-1)安否確認サービスの提供

避難所などに受け入れをした被災者に記入をさせた名簿の確認作業と安否確認を補助し、被災地外にいる親族などが被災者の安否が確認できる必要がある。

(5)災害発生後24時間から72時間以内

(要件 5-1)システムの維持

電力が安定して供給できるようになるまでの間、システムの電源をバッテリーで維持する必要がある。

### 3. 減災情報ネットワークの提案

#### 3.1 減災情報ネットワークの概要

2. 示した条件を満たすために、ネットワークシステム、アプリケーションの両面を整備する必要がある。ネットワークシステムとして図1に示す減災情報ネットワークを提案する。これは、情報収集配信システム、長距離無線 LAN システム、区域間通信システムから構成される。

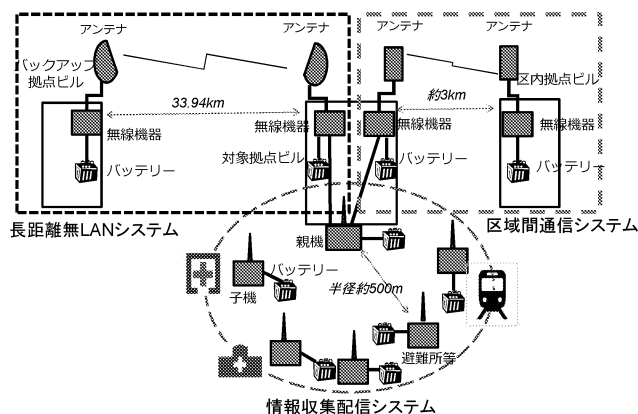


図1 減災情報ネットワークの設備構成図

#### 3.2 情報収集配信システム

情報収集配信システムは、各避難所や警察署や病院などの公共施設や被災地域内にあるビルにアドホックに AP (Access Point) を設置し、無線 LAN 回線により、災害対策本部～避難所や駅、病院等の重要拠点との通信路を確保する。

このネットワークでは主に、

(要件 1-1)アドホックネットワークの立ち上げ

(要件 2-1)情報収集・伝達手段の確立を実現する。

これらの実現には以下の2点を明らかにする必要がある。

(1)AP 設置個所の設定

都市部では、ビルが林立しているため、ビルが通信をする上で遮蔽物になったり、ノイズによる通信障害の原因になるがこれらは机上で予測することは難しいと考えられる。(要件 1-1)ではごく短時間にネットワークを立ち上げることが求められるため、事前に通信品質を把握し、設置個所の候補を決めておく必要がある。

(2)通信品質の保証

(要件 2-1)ではある程度安定した通信品質が求められる。例えば、音声や映像によるリアルタイム通信を行うには、最低でも 1Mbps のスループットは必要である。また、あるリンクの品質が劣化したり、AP が故障したりする恐れがあるため、AP が自律的にネットワーク上の故障ポイントを発見することにより、ある AP が故障しても迂回経路を自動で選択できるようにする。

(1)(2)の検討については4.に示す。

#### 3.3 長距離無線 LAN システム

長距離無線 LAN システムは、災害対策本部が被災地域外と減災情報をやり取りするために、比較的被災が少ないと予想される多摩地区に用意するバックアップ拠点を 2.4GHz あるいは 4.9GHz 帯の無線 LAN 回線を用いて結ぶシステムである。これにより(要件 3-1)が満足できる。また、バックアップ拠点からインターネット通信することで(要件 2-2)を満たし、インターネットを介して安否情報を提供することで、(要件 4-1)を満たす。

ネットワークを実現するには技術的課題点を以下に示す。

(1)通信経路の確保

新宿～八王子は約 30km あるが、高層ビルが林立

する新宿地区から見通し上の障害物の影響を確かめ、通信経路を確保する必要がある。

(2)通信品質の確保

都市部では、周辺に無線 LAN 回線が多くあることによるノイズの影響によるスループットの低下や、チャンネルが重なることによる混信の影響が考えられる。これらについても事前に把握する必要がある。

(1)(2)の検討については 5. に示す。

3.4 区域間通信システム

区域間通信システムは、災害対策本部が被災地域にある避難所、自治体、企業、団体や学校などの公共施設間と減災情報をやり取りするために、2.4GHz, 4.9GHz 帯無線 LAN 回線を用いて拠点ビル間を通信することで減災情報を伝達するネットワークである。これにより、近隣地域における情報収集や情報伝達を実現する。技術的課題は、長距離無線 LAN と同様である。

3.5 非常用電源システム

(要件 4-2)を満たすためには、非常用の電源確保が求められる。サーバシステムの省電力化を図るとともに、使用するシステムが動作できるような蓄電池や、太陽電池、予備発電システムなどを活用する。

これについてはテーマ 4.2 の電源システムを活用する。

3.6 減災アプリケーション

アプリケーションとしては以下のものがある。

(1)信頼性の高い被災情報収集サービス

(要件 1-2)を満足するために、Twitter などの SNS にて拡散される情報の中には、デマ情報があり、その中から有用な情報だけを抜き出すことが必要となる。そのため、収集した情報の中から有用かつ正しい情報であるか不用品またはデマ情報であるかの判断基準を設け、その評価を元にユーザに確認しやすい形で表示する。そのために、多くのツイートから信頼性の高いものを抽出し表示するアプリケーションを実現する。

(2)安否情報登録サービス

(要件 2-1)を満足し、また(要件 4-1)のためのデータを収集するためのアプリケーションである。これまでの電話機による伝言ダイヤルや、Web による伝言版は有用ではあるが、混雑する避難所においては、一人当たりの登録の時間を短くする必要がある。そこで、IC カードなどを用いて安否情報登録手順を簡略化し、時間を要することなく安否情報の登録、照

会を行えるサービスを実現する。

4. 情報収集配信システム構築のための検討

被災地域の情報収集や伝達のために、アドホックネットワークを用いることを考える。アクセスポイント(以下 AP)の設置を災害発生後に行うことを想定し、AP 設置場所の候補を調査する。そこで工学院大学新宿キャンパスに親局とし、新宿中央公園、東京医大病院、新宿警察署方面に AP を置くことを想定する。親局と各拠点の距離は約 350m である。

図 2 に実験構成、図 3 に実験模様を示す。使用周波数は、4.9GHz 帯である。AP 候補に置いた子局から、親局に 1MByte のパケットを 5 秒間送出し、これを 5 回繰り返してスループットを測定した。なお、親局のアンテナは新宿キャンパスの 1 階及び 22 階に設置する。これを各 AP 設置場所(計 23 箇所)で昼間と夜間に測定し、平均値や分散値を算出した。設置環境による違いを確認するために、周囲に建物が少なく直線の見通しが 1km 以上ある平地でも同様の測定を行った。

図 3 は各測定点で時間を置いて測定した平均値を、地図上にマッピングしたものである。また、図 4 は西新宿地区と平地のスループット測定結果を示す。

図 3 から平地に比べ約 1/3 にスループットが低下していることが確認できた。図 4 から夜間の方が安

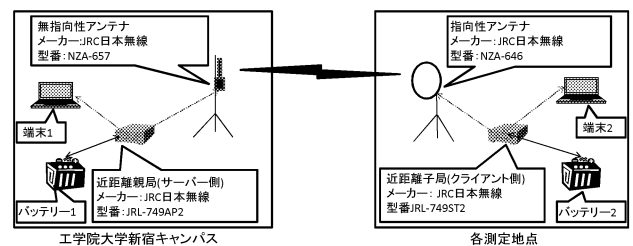


図 2 実験機器構成

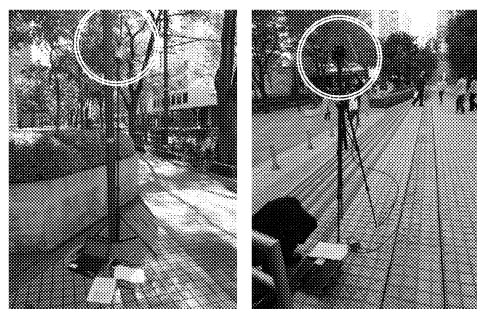


図 3 実験模様

(左:親局、右:子局。円内はアンテナ)

この結果、2.4GHz帯無線LAN回線は782kbpsのスループットが得られた。一方、4.9GHz帯無線LAN回線は3624kbpsのスループットが得られた。

見通し上の障害物の影響については、新宿-八王子間の回線設計の地形図上で確認したところ、特に問題はみられなかった。2.4GHz帯無線LAN回線は、周辺に無線LAN回線が多くあることによるノイズ

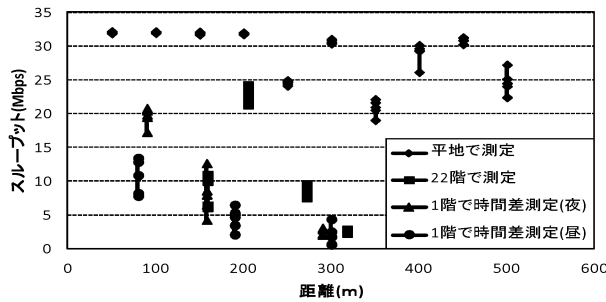


図3 西新宿地区と平地のスループット比較

表1. 実験使用機器

| 機材      | 2.4GHz帯無線LAN回線                      |                         | 4.9GHz帯無線LAN回線  |   |
|---------|-------------------------------------|-------------------------|---|---|
|         | 八王子側                                | 新宿側                     | 八王子側  | 新宿側   |
| 無線LAN装置 | JRL-710ALS                          | JRL-749AP2              | JRL-749AP2  | JRL-749ST2  |
| アンテナ    | IEEE802.11b/g<br>送信出力12dBm(1mW/MHz) | IEEE802.11j<br>送信出力32mW | NZA-66 7<br>パッチアンテナ<br>垂直偏波<br>利得24dBi<br>半値角H6.5°, E9.5° | NZA-64 7<br>パッチアンテナ<br>垂直偏波<br>利得21dBi<br>半値角H10°, E12° |

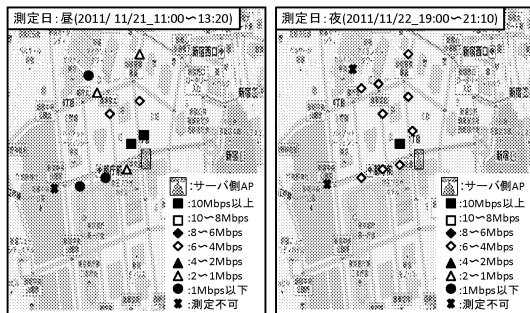


図4 西新宿地区の各測定点のスループット



図5 新宿側からの実験風景

定してスループットが出ている。これは、昼の方が人混みや交通量が多く、そのため遮蔽物の影響が夜より強く出ていると考えられる。

### 5. 長距離無線LAN回線伝送特性

長距離無線LANシステムを敷設する被災地側の対象拠点ビルを工学院大学新宿校舎(海拔約165m)、非被災地側のバックアップ拠点ビルを工学院大学八王子校舎(海拔約200m)とする。両者間の距離は地図上で33,940mである。本検討では、2.4GHz帯と4.9GHz帯の差異を確認する。

2.4GHz帯無線LAN回線の一般的な特性として、障害物に強く、通信距離は数十kmと長い、混信などノイズの影響を受けやすいという欠点がある。一方、4.9GHz帯無線LAN回線の一般的な特性として、通信距離の面では2.4GHz帯に比べて半分程度の距離だが、チャンネル数が多く電波干渉が少ないという特徴がある。

両拠点に通信機材を置き、この2つの伝送測定を比較した。使用した機材を表1に示す。これらの機器を用いて1MByteのパケットを送信し、測定時間を5秒間としスループットを測定した。これを5回測定しスループットの平均値を測定した。新宿側からの実験風景を図5に示す。

の影響や西新宿地区には、ビルが林立しているため、サイドハイトパターンの影響により782kbpsのスループットしか得られなかったと思われる。また、4.9GHz帯無線LAN回線もサイドハイトパターンの影響はあると思われるが、周辺に通信を妨害するノイズの影響がなかったため十分な通信が行うことができた。

### 6. おわりに

本報告では、東日本大震災の被害状況を踏まえ、都市部での災害を想定した減災情報サービスの分析を行い、ユースケースの提案を行った。それを踏まえ、減災情報通信システムを構成するネットワーク方式について検討した。

今後は、減災情報通信システムを構成するアプリケーションを検討し、システムを構築する。

### 謝辞

本システムの検討に際し、ご協力をいただいた早稲田大学大学院国際情報通信研究科松本充司教授に感謝いたします。また測定に際し格別のご配慮をいただいた、本学施設部施設管理課江川敦課長に感謝いたします。

## 災害時における省電力情報流通のための機器消費電力基礎調査

キーワード

省電力化, 通信機器, 蓄積転送, DTN

小林 亜樹

### 1. はじめに

災害時情報共有システムでは、生き残った拠点とその周辺だけでも自立的に動作、運用できることが重要であり、情報面、電力面双方で孤立している状況で動作するアーキテクチャが求められる。このとき、孤立状況としては、完全孤立も考えられるが、断続的に外部と連絡される状況（準孤立）もあり得る。そのような場合では、出来る限りの情報の流通、電力の融通を実現できることが望ましい。ただし、この場合の外部とは、十分な大きさを持つ通常運用に近い地域ばかりとは限らず、単に隣接する別の孤立領域であるかもしれない点には注意を要する。

本稿では、このような情報システムを開発するに当たって、消費電力面の基礎となる、ネットワーク関連機器の挙動に伴う消費電力調査を行ったため、これについて報告する。

### 2. 孤立地域における災害時情報共有システム

情報流通の観点において、孤立または、準孤立、あるいはそれに至るような劣通信環境下でのネットワーク運用は、古くは冗長構成による障害回避に発し、アドホックネットワークや無線メッシュネットワーク、コグニティブ無線などを経て、Delay or Disruption Tolerant Networks[1]（DTN）と呼ばれる研究領域として発展してきた。近年ではその応用領域の広さから注目を集めている。DTNでは、回線が不安定で断続的にしか通信できないリンクの存在を前提とし、そのようなネットワークでの経路制御、到達保証、帯域の有効活用、到達遅延の低減などが議論されている[2]-[8]。

災害時情報共有システムは、DTNを規定する情報ネットワーク要件を満たす状況であると考えられるため、この面での研究を進めていく必要性を指摘できる。一方、同システムでは、電力ネットワークも孤立することを想定して検討する必要がある。すな

わち、最悪時の状況として限られたバッテリー残量での効率的運用方式を見出す必要がある。

通信メディアの伝送速度が10倍になると、消費電力はおおむね3倍弱となることが知られている。また、無通信ポートの消費電力状態を省電力状態へ遷移させる手法が提案され、これを実現するルータ等機器の設計方式[9]について議論されている。さらに、ネットワーク全体での低消費電力化を果たすためのルーティング方式[10]が注目を集めている。

低消費電力下において、安否情報に代表される減災情報特有の優先度を持つような情報の通信、流通方式を低消費電力環境として実現することが重要であることがわかる。残念ながらこのような状況下での統合的な研究例を見出すことは出来ない。

### 3. 情報システムを構成する通信機器

孤立、準孤立環境下で運用されるべき情報システムでは、簡潔なソフトウェアパッケージと同時に、ノートパソコン程度のハードウェアでの運用可能性は必須である。また、数台のコンピュータが利用可能であれば、機能、容量の双方で、ハードウェアの追加に応じて能力が向上することが望ましい。

このとき、システム運用の制約条件となるのが電力状況である。特に厳しいバッテリーのみでの運用では、バッテリー残量でのできる限りの長時間運用が求められ、このような縮退運用にも容易に戻せるシステムであることが望ましい。ソフトウェア面についての議論も必要ではあるが、ここでは、消費電力におよぼす、通信トラヒックや機器運用を議論できるようにするため、基礎となる調査を行う。

情報システムを構成する通信機器は、コンピュータのほか、LAN内通信機器としてのL2スイッチ、外部への通信ゲートウェイとしてのL3スイッチ（ルータ）が代表的であるため、これらのトラヒックや利用状況に応じた消費電力について調査する。

表 1 Linkup ポートと消費電力[W] (抜粋)

本稿での調査対象機器は、L2 スイッチには、GbE スイッチとして広く販売されている、Buffalo LSW4-GT-8NS/WH(以下、L2 スイッチと呼ぶ)を、ルータには、中小規模のゲートウェイルータとして Cisco ISR シリーズ model 1841 (以下、ルータと呼ぶ)とした。

#### 4. L2 スイッチの消費電力

コンシューマ向け L2 スイッチであるため、ポート未使用時の消費電力削減を謳っている。そこで、ポート毎のリンク状況と消費電力との関係を調査した。また、通信負荷を与えた際の消費電力の増加についても調査した。

消費電力は link up したポート数のみによっては決まらず、物理的な接続ポートとの相関があることがわかった。本 L2 スイッチは、8 ポートの物理 Gigabit ethernet インタフェースを持つため、機器上の印刷に合わせて 1 番から 8 番のポート番号で呼称する。

L2 スイッチの LAN ケーブル未接続状態での消費電力は 1.1[W]であった。表 1 に、それぞれ Link up ポート数 1~8 のときの、具体的な接続ポート番号と消費電力の関係を示す。このうち、接続数が 1 のときは、1.67~1.85[W]の消費電力であり、未接続状態との差は、0.57~0.75[W]である。この最小~最大の差は、増加電力の 24%あまりであり無視することは出来ない。

一方、通信負荷を加えた際の消費電力には、有意な増加は観測されなかった。測定では、ethernet フレームを 1500[octet]となるパケットを帯域を使い切る状況で送出した。また、フレーム長 46[octet]となる場合についても測定したが、電力に有意な差はなかった。

|      |          |         |         |         |         |         |        |        |
|------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|--------|--------|
| up 数 | 8        |         | 7       |         |         |         | 6      |        |
| up#  | 12345678 | 1234678 | 1235678 | 1245678 | 2345678 | 1345678 | 123457 | 123456 |
| 電力   | 5.95     | 5.32    | 5.37    | 5.3     | 5.26    | 5.25    | 4.75   | 4.73   |

|      |        |        |        |        |        |        |        |        |
|------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| up 数 | 6      |        |        |        |        |        |        |        |
| up#  | 123467 | 123567 | 234567 | 124567 | 134567 | 123568 | 124578 | 124568 |
| 電力   | 4.72   | 4.72   | 4.71   | 4.71   | 4.7    | 4.68   | 4.66   | 4.65   |

|      |        |        |        |        |        |        |        |        |
|------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| up 数 | 6      |        |        |        |        |        |        |        |
| up#  | 123578 | 134578 | 234578 | 234678 | 134568 | 123678 | 124678 | 134678 |
| 電力   | 4.64   | 4.64   | 4.64   | 4.64   | 4.63   | 4.63   | 4.63   | 4.62   |

|      |        |        |        |        |        |        |        |
|------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| up 数 | 6      |        |        |        |        |        |        |
| up#  | 234568 | 145678 | 135678 | 235678 | 245678 | 125678 | 345678 |
| 電力   | 4.61   | 4.61   | 4.6    | 4.59   | 4.57   | 4.5    | 4.46   |

|      |     |     |     |     |      |      |      |      |
|------|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|
| up 数 | 2   |     |     |     |      |      |      |      |
| up#  | 13  | 14  | 23  | 24  | 12   | 34   | 17   | 45   |
| 電力   | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.42 | 2.38 | 2.37 | 2.37 |

|      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| up 数 | 2    |      |      |      |      |      |      |      |
| up#  | 47   | 15   | 25   | 27   | 35   | 37   | 18   | 38   |
| 電力   | 2.36 | 2.35 | 2.34 | 2.34 | 2.34 | 2.33 | 2.32 | 2.31 |

|      |     |     |     |     |     |     |      |      |
|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|
| up 数 | 2   |     |     |     |     |     |      |      |
| up#  | 16  | 26  | 28  | 36  | 46  | 48  | 57   | 68   |
| 電力   | 2.3 | 2.3 | 2.3 | 2.3 | 2.3 | 2.3 | 2.16 | 2.14 |

|      |      |      |      |      |
|------|------|------|------|------|
| up 数 | 2    |      |      |      |
| up#  | 78   | 58   | 67   | 56   |
| 電力   | 2.14 | 2.13 | 2.13 | 2.12 |

|     |
|-----|
| 0   |
| 1.1 |

|      |      |      |      |     |     |      |      |      |
|------|------|------|------|-----|-----|------|------|------|
| up 数 | 1    |      |      |     |     |      |      |      |
| up#  | 1    | 2    | 3    | 4   | 7   | 5    | 6    | 8    |
| 電力   | 1.85 | 1.83 | 1.82 | 1.8 | 1.7 | 1.68 | 1.68 | 1.67 |

これらより、ハードウェアによるスイッチングを行う消費者向け L2 スイッチにおいては、通信負荷の有無による電力消費に差異は生じず、省電力機能としての Link down ポートの電力供給停止に起因する電力消費の低減のみを考慮すれば良いことがわかった。

表 1 上部には、各ポート Link up 時の消費電力を抜粋して掲載した。全 8 ポートのうち、8, 7, 6, 2, 1, 0 ポート Link up 時の抜粋である。これらの Linkup ポート数については、すべての組み合わせについての結果である。

このとき、複数ポート Link up 時の結果によると、1 ポート Link up 時の電力増加の単純和として全体の消費電力を計算できるわけではない。運用時を考えると、縮退運用時には消費電力の少ないポートを優先して運用すれば良いが、その際の消費電力を推定できると設計や、運用判断に役立つ。消費電力は機器により異なるため、機器毎にあらゆる使用ポートの組み合わせを試す手間は、非現実的である。

そこで、1 ポート Link up 時のポート毎の消費電力を用いて、複数ポート Link up 時の推定電力算出式を導出した。ポート未使用時の電力  $P_0$  と、各 1 ポート Link up 時の追加電力  $P_i$  ( $i$  はポート番号,  $1 \leq i \leq 8$ )、接続ポート数  $c$ 、および、定数による調整項の和とし、それぞれ係数  $a, b$  となっている。適用範囲は 2 ポート以上 Link up 時 ( $c \geq 2$ ) である。なぜなら、1 ポート Link up 時は、待機時電力  $P_0$  との単純和により測定済みであることを前提とするためである。

式(1)が本モデルに基づく推定式である。ここで、 $n$  はポート数であり、本稿では  $n=8$  である。 $P_0=1.1$ [W] で、 $c_i$  はポートに Link up 時 1、Link down 時 0 となる、接続を示す係数である。推定係数  $a, b$  については、全組み合わせ時の消費電力から回帰分析を行い推定した。

$$E = P_0 + \sum_{i=1}^n (c_i P_i) - (ca + b) \quad (1)$$

推定式による Link up ポート数毎の最大、最小電力の組み合わせとなる場合における推定電力と、測定電力との比較を表 2 に示す。最大誤差 4%程度であり、良好に推定できていることがわかる。

本推定式の利用に当たって必要となる係数  $a, b$  の推定のために、全組み合わせを調査しては意味がない。1 ポート Link up 時の増加電力、並びに、組み合わせ数の少ない 2 ポート Link up 時、あるいは、 $n-1$  ポート Link up 時の平均消費電力値より精度良く推定可能であると見込んでいる。具体的な検証を今後予定している。

表 2 消費電力推定値と誤差

| 最大  |         |      |       |
|-----|---------|------|-------|
| 接続数 | ポート     | 推定値  | 誤差[%] |
| 2   | 38      | 2.22 | 4.1   |
| 3   | 123     | 30.9 | -0.56 |
| 4   | 1234    | 3.76 | -2.3  |
| 5   | 12346   | 4.3  | -2.3  |
| 6   | 123478  | 4.83 | -0.71 |
| 7   | 1234568 | 5.39 | 0.03  |
| 8   | 全       | 5.94 | 0.13  |
| 最小  |         |      |       |
|     | ポート     | 推定値  | 誤差[%] |
| 2   | 56      | 2.11 | 0.54  |
| 3   | 678     | 2.62 | 0.8   |
| 4   | 5678    | 3.19 | -1.14 |
| 5   | 34568   | 3.99 | -3.5  |
| 6   | 345678  | 4.53 | -1.6  |
| 7   | 1345678 | 5.25 | 0.03  |
| 8   | 最大時と同一  |      |       |

## 5. ルータの消費電力

中小拠点向けルータにあつては、接続形態が拠点の事情により異なるため、接続メディアはモジュール形式で差し替え可能としている例が多い。そのため、消費電力は当該モジュール、また、通信先までの距離等によっても異なるため、示されていないことが多い。

本稿では、ISR model 1841 において、追加モジュールなし、すなわち、Fist ethernet 2 ポートのみでの消費電力について調査した結果を報告する。

無通信時の各ポート Link up 状態毎の消費電力を表 3 に示す。

表 3 ISR1841 無通信時消費電力

| 接続    |       |       |       |      |
|-------|-------|-------|-------|------|
| FE0   | no    | 1     | no    | 1    |
| FE1   | no    | no    | 1     | 1    |
| 電力[W] | 12.86 | 13.23 | 13.26 | 13.6 |

1 ポートあたり、0.35~0.4[W]程度の増加がみられた。ルータは、外部との接続境界において必須なため、一部ポートのみ切り離しての運用には意味がない。そこで、接続時に発生する通信に対する消費電力の伸びを測定した。



表4 通信帯域と消費電力

|              |      |       |       |       |       |       |
|--------------|------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 帯域<br>[Mbps] | 0.1  | 0.2   | 0.3   | 0.4   | 0.5   | 0.6   |
| 電力<br>[W]    | 13.7 | 13.71 | 13.71 | 13.74 | 13.74 | 13.79 |

|              |      |      |       |       |       |       |
|--------------|------|------|-------|-------|-------|-------|
| 帯域<br>[Mbps] | 0.7  | 0.8  | 0.9   | 1     | 1.1   | 1.2   |
| 電力<br>[W]    | 13.8 | 13.8 | 13.81 | 13.82 | 13.84 | 13.83 |

|              |       |       |       |       |       |      |
|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|------|
| 帯域<br>[Mbps] | 1.3   | 1.4   | 1.5   | 1.6   | 1.7   | 1.8  |
| 電力<br>[W]    | 13.84 | 13.83 | 13.85 | 13.87 | 13.88 | 13.9 |

|              |       |       |       |       |       |       |
|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 帯域<br>[Mbps] | 1.9   | 2.0   | 2.5   | 3.0   | 3.5   | 4.0   |
| 電力<br>[W]    | 13.93 | 13.92 | 13.93 | 13.93 | 13.92 | 13.93 |

|              |       |       |       |       |
|--------------|-------|-------|-------|-------|
| 帯域<br>[Mbps] | 4.5   | 5.0   | 5.5   | 6.0   |
| 電力<br>[W]    | 13.93 | 13.94 | 13.94 | 13.95 |

表4はパケットサイズ1500[octet]のUDPパケットを2ポート間で中継した際のパケット送出帯域と消費電力である。実験時におけるパケット損失は観測されていない。送出帯域の増加に伴い、緩やかに消費電力も増加している。TCPにおいても同様の傾向を示した。これらより、ソフトウェアによるパケットフォワーディングを行うルータでは、転送帯域の増加にかかわらずほぼ一定の電力を消費するという一般に知られた事実と、しかしわずかながら増加することが確かめられた。

## 6. おわりに

孤立ネットワークにおける、稼働時間延長と効率的な情報転送のための基礎調査として、一般的な通信機器の消費電力について調査した。スイッチ、ルータともに通信帯域との相関は低く、通電しているか否かが最も大きな要因であることがわかった。このことから、拠点間通信を時間的に集約することが、稼働時間延長のために重要であることが読み取れる。

今後は、これらの基礎データを基に、ネットワーク制御法や情報流通アーキテクチャについて研究を進めていく。

## 参考文献

- [1] Zhensheng Zhang, "Routing in Intermittently Connected Mobile Ad Hoc Networks and Delay Tolerant Networks: Overview and Challenges", IEEE Communications Surveys and Tutorials, Vol.8, No.1, pp.24-37, Jan. 2006.
- [2] E. P. C. Jones, L. Li, P. A. S. Ward, "Practical Routing in Delay-Tolerant Networks, " ACM SIGCOMM WDTN'05, pp. 237-243, Aug. 2005.
- [3] 森山 敦文,高橋 正生,内田 真人,鶴 正人,“劣通信環境における効率的な情報伝達による通信量削減,” 信学技報 NS, Vol.106, No.577, pp.59-62, Mar. 2007.
- [4] 伊藤学, 浅谷耕一, 富永英義, "断続的通信環境のためのDTN技術とレートレス符号を用いたデータ分割伝送に関する検討," 信学技報, Vol.107, No.524, pp. 369-374, Feb. 2008.
- [5] 落合秀也, 江崎浩, "DTN環境を想定したトポロジ変化に強いメッセージルーティング," 情処論, Vol.50, No.9, pp.2312-2326, Sep. 2009.
- [6] Satoshi HASEGAWA, Yusuke SAKUMOTO, Mirai WAKABAYASHI, Hiroyuki OHSAKI, Makoto IMASE, "Delay Performance Analysis on Ad-Hoc Delay Tolerant Broadcast Network Applied to Vehicle-to-Vehicle Communication," IEICE Trans. on Communications, Vol.E92-B, No.3, pp.728-736, Mar. 2009.
- [7] 辻川 良輔,岩井 将行,瀬崎 薫,“モバイルアドホックネットワークにおけるノード密度を考慮した持続型ジオキャストプロトコル,” 信学技報 IN, Vol.109, No.276, pp.95-100, Nov. 2009.
- [8] Yong-Pyo KIM, Keisuke NAKANO, Kazuyuki MIYAKITA, Masakazu SENGOKU, Yong-Jin PARK, "A Routing Protocol for Considering the Time Variant Mobility Model in Delay Tolerant Network," IEICE Trans. on Information and Systems, Vol.E95-D, No.2, pp.451-461, Feb. 2010.
- [9] 阿多 信吾,米崎 加奈子,岡 育生,“帯域追従型省電力ルータのためのトラヒック予測手法,” 信学技報 NS, Vol.111, No.43, pp.121-126, May. 2011.
- [10] 有田 一史, 田村 瞳, 池永 全志, 尾家 祐二,“アクティブリンクを最小化する経路選択によるネットワークの省電力化” 信学技報 NS, Vol.109, No.188, pp.63-68, Sep. 2009.

## 耐災害性の高い通信システムにおけるサーバ計算機の性能と消費電力に関する考察

耐障害性, 消費電力, 低消費電力サーバ

山口実靖\*

### 1. はじめに

災害においては, 減災活動が極めて重要である。すなわち, 災害が発生した後に適切に災害に対処することにより, その被害を大きく軽減できる。適切な災害対策を行うには災害対策を行う拠点が正常に運営されていることが必要不可欠であり, 災害対策拠点が被災により正常に機能しなくなることは避けなくてはならない。災害対策拠点の可用性(正常に運営されていること)を向上させるには, 災害対策拠点を分散化し一部の災害対策が被災しても災害対策拠点群全体として機能を失わない様に設計することが効果的である。

本研究では, 被災しても機能し続ける高い耐障害性を有する通信システムを実現し, これにより災害対策拠点の分散化を支援することを最終的な目標としている。本稿では, 高い耐障害性を有する通信システムを実現する構成要素の一つであるサーバコンピュータシステムに着目し, 被災時の少ない電力源でも多くの機能を高い性能で提供し続けるサーバコンピュータシステムの実現手法について考察を行う。具体的には, 多くの機能を提供するために複数の物理計算機を稼働させるのではなく, 1 台の物理計算機上に複数の仮想計算機を稼働させる環境を想定し, この環境において仮想計算機に与えるメモリ量及び仮想記憶容量が I/O 性能に及ぼす影響について調査する。そして仮想計算機環境での I/O の統合的動作解析システムを実装し, その結果から適切なメモリ割当量と仮想記憶容量について考察を行う。

### 2. 仮想計算機

#### 2. 1 仮想化環境

計算機の省電力を削減する手法の一つに, 仮想化技術を用いて複数のサーバ OS を一台の物理計算機に集約する手法がある<sup>1)</sup>。この手法は低消費電力環境やクラウドコンピューティングなどで採用されており, 仮想化環境は非常に重要なプラットフォーム

となっている。しかし, 仮想化環境における I/O 処理の動作の把握は容易ではなく, 結果として I/O 性能の向上が困難となっている。I/O 処理の動作の把握が困難である理由の一つに, 仮想化環境ではホスト OS とゲスト OS の二つの OS が動作しており, それぞれがメモリキャッシュを保持していることが上げられる。さらに, 仮想計算機とホスト計算機は物理的な計算資源を共有しており, 仮想計算機に多くの資源を割り当てると物理計算機が使用可能である計算資源が減少することとなる。またスワップ領域を用いる仮想記憶の容量も OS の空きメモリの容量に影響を与えるため, これも合わせて考察を行うことが必要となる。

#### 2. 2 仮想計算機における I/O 処理

図 1 にイメージファイル手法を用いた仮想計算機環境の構成と, I/O 要求処理の手順を示す。図のように仮想化環境は仮想計算機-ゲスト OS の層と, 物理計算機-ホスト OS の層の二種類の層に分けられ, 同時に二種類の OS が動作している。仮想計算機内のプロセスから発行された I/O 要求は, 次に述べるように非常に多くの層を経由して処理される。まず, 仮想計算機内のプロセスからファイルアクセス要求が発行されると, I/O 要求がゲスト OS のファイルシステムに到着する。そして, ゲスト OS ファイルシステムがファイルレベルアクセスをブロックレベルアクセスに変換し, ブロックレベル要求をゲスト OS のブロックデバイスに対して発行する。ブロックデバイスは要求を I/O サブシステムおよびデバイスドライバに転送し, この要求はさらに仮想ハードディスクに転送される。仮想ハードディスクはホスト OS のイメージファイルであるため, ゲスト OS における仮想ハードディスクへのアクセスが, ホスト OS における仮想計算機プロセスによるイメージファイルへのアクセスを発生させ, ホスト OS ファイルシステムにファイルレベルアクセス要求が送られる。

\* : 工学院大学工学部情報通信工学科

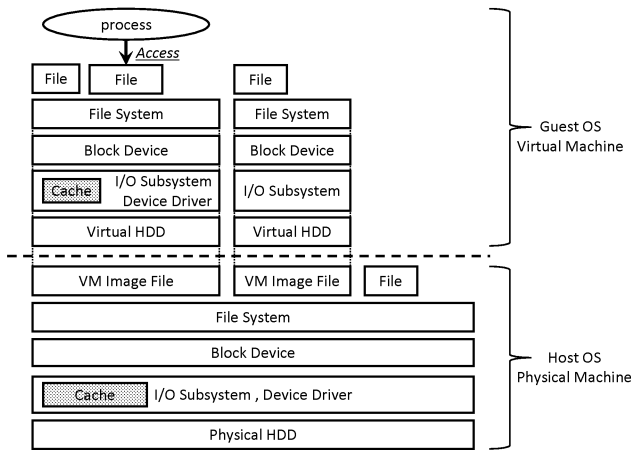


図 1 仮想化環境の構成

そして、ホスト OS ファイルシステムがファイルレベルアクセス要求をブロックレベルアクセス要求に変換し、ホスト OS ブロックデバイスにブロックレベル要求が発行する。ブロックデバイスは要求をホスト OS の I/O サブシステムおよびデバイスドライバに転送し、要求が物理ハードディスクに到着する。これらの全ての層が性能に影響を与える可能性があるため、I/O 性能について考察するにはこれらを広範囲に解析することが重要となる。

加えて、仮想化環境ではゲスト OS のブロックデバイスとホスト OS のブロックデバイスの両方にメモリキャッシュが存在しており、通常はどちらのキャッシュが I/O 性能の向上に寄与しているかを確認することができない。このこともシステム動作の把握を困難としている。また、仮想計算機に割り当てられるメモリは、ホスト計算機のメモリの一部を割いて用意される。よって、仮想計算機に多くのメモリを与えると仮想計算機が多くのキャッシュメモリを使用可能となり、仮想計算機におけるキャッシュヒット率は向上するが、ホスト計算機におけるキャッシュヒット率は低下すると考えられる。一方、仮想計算機に少ないメモリを与えると仮想計算機におけるキャッシュヒット率は低下してしまうが、ホスト計算機が多くのキャッシュメモリを使用可能となり、ホスト計算機におけるキャッシュヒット率は向上すると考えられる。またスワップ領域を用いる仮想記憶の容量も OS の空きメモリの容量に影響を与えるため、これも合わせて考察を行う必要がある。

これらのことから、高い I/O 性能を得るには両キャッシュの効果을正確に把握し、割当メモリ量や I/O 処理方法、仮想記憶容量を適切に調節する必要があると考えられる。

### 3. 仮想計算機割当メモリ量と I/O 性能の関係

適切な VM へのメモリ割当量および仮想記憶容量について考察するために、VM メモリ割当量、仮想記憶容量、および I/O 処理方法 (buffered I/O, direct I/O) を変更して VM の I/O 性能の測定を行った。

性能評価はアプリケーションベンチマークとマイクロベンチマークを使用して行った。アプリケーションベンチマークでは Postmark と FFSSB (Flexible File System Benchmark)<sup>2)</sup> を使用し、マイクロベンチマークでは Linux コマンドの dd を用いてシーケンシャルリードを行い性能評価を行った。

#### 3. 1 シーケンシャルアクセスベンチマーク

Linux コマンドの dd を用いてシーケンシャルリードを実行し、VM の I/O 性能の測定を行った。1 台の物理計算機上に 6 台の VM を起動し、全ての VM で dd を実行した。VM へのメモリ割当量は 128MB から 1GB まで変更し、dd によるシーケンシャルアクセスのデータサイズは 128MB から 1GB まで変更して測定を行った。測定結果を図 2 に示す。

図より、ファイル総容量が小さく VM キャッシュヒット率が高い場合は、VM に与えるメモリ量が多い方が良い性能が得られることが確認できた。また、ファイル総容量が大きく VM キャッシュヒット率が低い場合は、VM に与えるメモリ量を少なくし、さらに DIRECT I/O を用いて VM キャッシュを無効化した方が良い性能が得られることが確認できた。

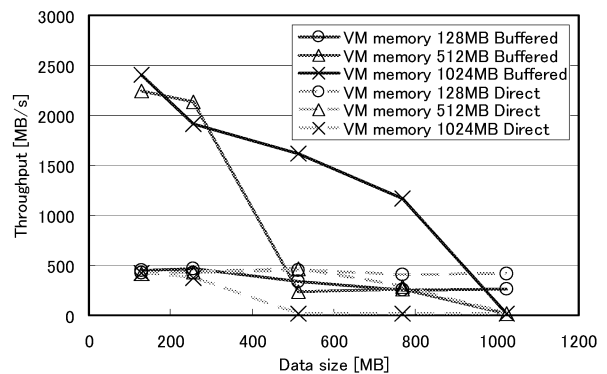


図 2 シーケンシャルアクセス測定結果

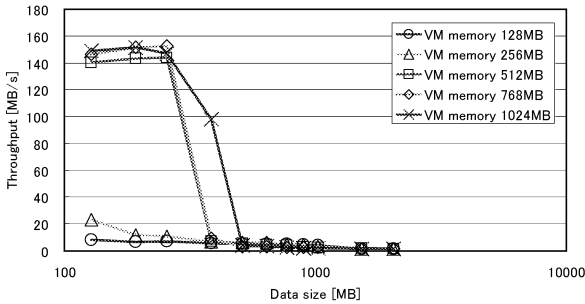


図 4 Postmark 測定結果(全体図)

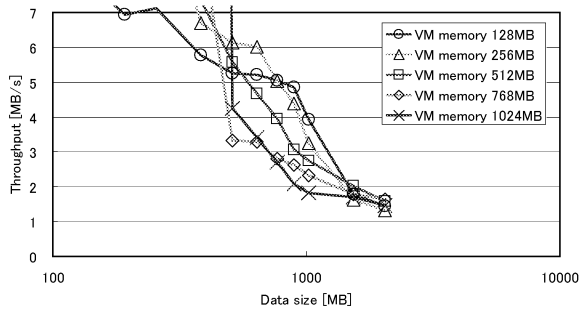


図 4 Postmark 測定結果(拡大図)

### 3.2 ランダムアクセスベンチマーク (Postmark)

前節と同じ計算機環境で I/O ベンチマークソフト Postmark を用いて、VM の I/O 性能の測定を行った。1 台の物理計算機上に 6 台の VM を起動し、全ての VM で Postmark を実行した。VM へのメモリ割当量は 128MB から 1GB まで変更し、ベンチマークのデータサイズは 128MB から 2GB まで変更して測定を行った。測定結果を図 4、図 4 に示す。

図 4 より、ファイル総容量が小さく VM キャッシュヒット率が高い場合は、シーケンシャルリードと同じく VM に与えるメモリ量は多い方が良い性能が得られることが確認できた。また図 4 より、ファイル総容量が大きく VM キャッシュヒット率が低い場合は VM に与えるメモリ量は少ない方が良い性能が得られることが確認できた。

### 3.3 ランダムアクセスベンチマーク (FFSB)

前節と同じ計算機環境で I/O ベンチマークソフト FFSB を用いて、VM の I/O 性能の測定を行った。1 台の物理計算機上に 6 台の VM を起動し、全ての VM で FFSB を実行した。VM へのメモリ割当量は 128MB と 1GB に変更し、ベンチマークのデータサイズは 128MB から 2GB まで変更して測定を行った。また同様の測定を DIRECT I/O を有効にし、VM キャ

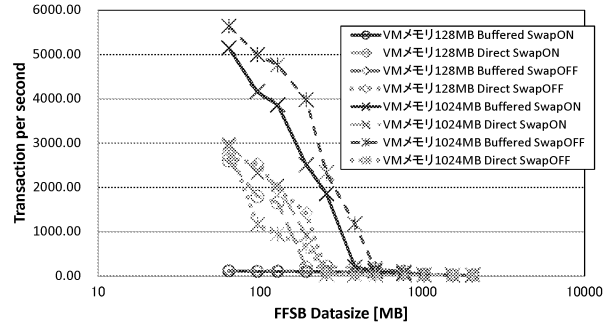


図 5 Postmark 測定結果(全体図)

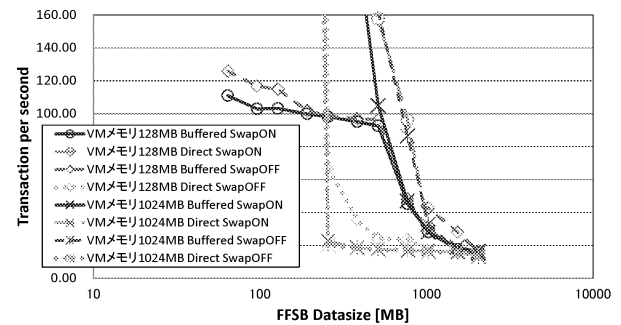


図 6 Postmark 測定結果(拡大図)

ッシュを無効化して行った。さらに VM の仮想記憶容量を変更して同様の測定を行った。測定結果を図 5、図 6 に示す。

図 5 より、ファイル総容量が小さい場合は、VM に与えるメモリ量を多くして、さらに VM の仮想記憶容量を減らした方が良い性能が得られることが確認できた。これは VM に多くのメモリを与えることで VM のキャッシュが効果的に機能するためであると考えられる。

一方、図 6 よりファイル総容量が大きい場合は、VM に与えるメモリ量を少なくし、さらに VM の仮想記憶容量を減らした方が良い性能が得られることが確認できた。これはファイル総容量が大きく VM のキャッシュが効果的に機能しないため、VM へのメモリ割当量を少なくし、稼働している全 VM で共有されるホスト計算機でのディスクキャッシュ容量を増加させる方が性能が良くなるからではないかと考えられる。

両図より、多くの場合にて最も良い性能を示すのは仮想記憶を用いない I/O 処理方法であり、仮想計算機で仮想記憶を用いることにより発生するオーバーヘッドが小さくなく、性能低下に繋がっていると考えられる。

#### 4. ホスト OS とゲスト OS の統合解析

本章において、仮想計算機に与えたメモリ量と I/O 性能の関係について、仮想計算機のメモリキャッシュと物理計算機のメモリキャッシュの効果とともに考察する。

##### 4. 1 ホスト OS とゲスト OS の統合解析

I/O 要求をアプリケーション層、仮想計算機仮想ハードディスク層、物理計算機物理計算機層で観察し、各層間で I/O バイト量や I/O 命令数を比較することにより仮想化環境における I/O 処理の観察と解析を行う。アプリケーション層と仮想ハードディスク層の間にはゲスト OS のメモリキャッシュが存在しており、両層の I/O 量を比較することによりゲスト OS のメモリキャッシュの効果を確認することが可能となる。同様に、仮想ハードディスク層と物理ハードディスク層の間にはホスト OS のメモリキャッシュが存在しており、両層を比較することによりホスト OS のキャッシュの効果を確認することができる。

実装はオープンソースである Linux と Xen のソースコードにモニタリング機能を追加することにより行った。モニタリング機能は、まずカーネル空間内に I/O 履歴保持用のメモリを確保する。そして、各層にて I/O 要求の処理が行われるたびにその時刻、I/O の種類(read/write)、ブロックアドレスあるいはファイル名とオフセット、アクセスサイズを確保メモリの中に記録する。

仮想計算機の仮想ハードディスク層における I/O 要求処理の観察のためには、Xen の仮想ブロックデバイスドライバ(xvd)における I/O 要求をデキューし実行する実装部にモニタリング機能を追加した。物理ハードディスクへのアクセス要求を観察するためには、ホスト OS における SCSI サブシステムの SCSI 命令の発行部にモニタリング機能を追加した。また本稿の実験では、アプリケーションによる発行 I/O を観察するために、アプリケーションのファイルアクセス要求部にモニタリング機能を追加した。

アプリケーション層における I/O 処理を正確に観察するためにはアプリケーション層において観察することが最も優れているが、アプリケーションに対する改変が行えない場合も多い。そのような場合はゲスト OS のファイルシステム層のファイルアクセスの処理部にて観察することにより、アプリケーション

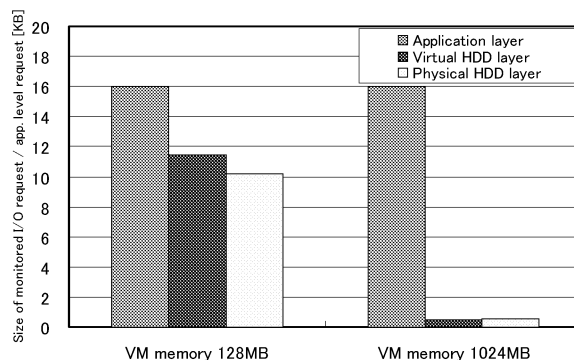


図 8 FFSB データサイズ 64MB 時の各層の I/O 要求量

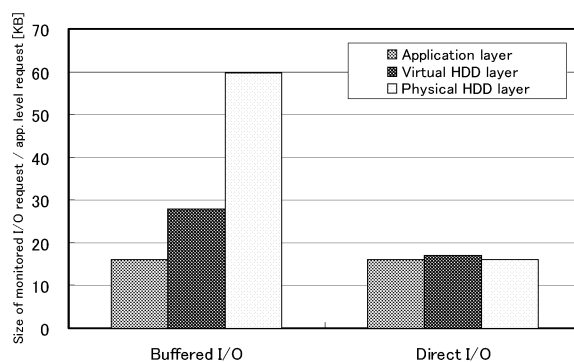


図 7 FFSB データサイズ 4096MB キャッシュ処理方法変更時の各層の I/O 要求量

ョンの発行 I/O 要求をほぼ正確に観察することが可能となる。

##### 4. 2 解析結果

前節にて解説した統合解析システムを用いて仮想化環境における I/O の統合的動作解析を行った。まず、データサイズ 64MB で FFSB を行った際の各層における 1 オペレーション当りの I/O 量を図 8 左に示す。この解析結果から、データが VM キャッシュに格納可能な場合、VM に多くのメモリを与えることで VM のキャッシュが効果的に機能し、仮想 HDD 層における I/O 量が大幅に減少して性能が向上していることが分かる。

次に、データサイズ 4096MB で VM 搭載メモリ 128MB の時に、キャッシュ処理方法を変更して FFSB を行った際の、各層における 1 アプリケーションレベルオペレーション当りの I/O 量を図 8 右に示す。この解析結果から、データが VM キャッシュに格納不可能な場合、キャッシュを有効にしてアクセスを行うと各層を経由することによる I/O 量が増

性能向上に繋がっているのではないかと考えられる。

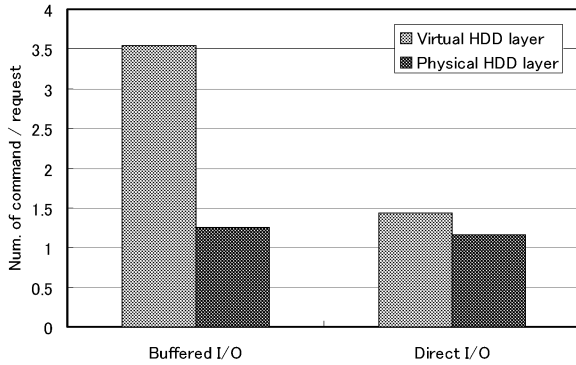


図 10 ベンチマークの 1 オペレーション当たりの各 HDD への平均アクセス回数

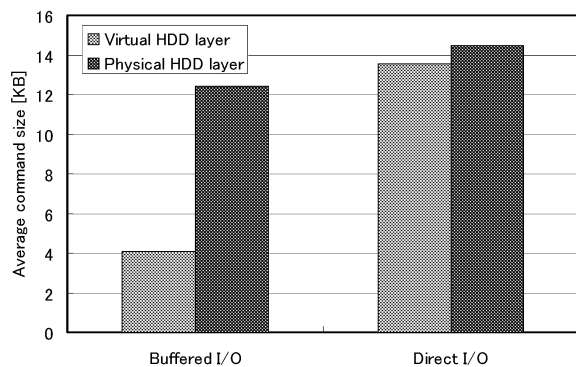


図 9 各 HDD への 1 入出力命令当たりの平均 I/O 処理サイズ

加することが確認できる。また、DIRECT I/O を用いて VM キャッシュを無効化することによって I/O 量の増加が抑えられていることが確認できる。

さらにデータサイズ 4096MB で VM 搭載メモリ 128MB の時にキャッシュ処理方法を変更して FFSB を行った際の、1 アプリケーションレベルオペレーション当りの仮想 HDD および物理 HDD への発行命令数(HDD レベル命令数)と、HDD レベル命令の平均サイズについて解析する。図 10 に 1 アプリケーションレベルオペレーション当りの各 HDD への発行命令数を、図 9 に HDD レベル命令の平均 I/O サイズを示す。これらの結果から、VM キャッシュが有効になっている場合はベンチマークが発行した I/O 要求が各層で小さなサイズに分割されて両 HDD 層に複数個到着していることが確認できる。また、DIRECT I/O を用いて VM キャッシュを無効化すると、両 HDD に到着する I/O のサイズが大きくなり、少数の大きな I/O により処理が行なわれていることが確認できる。これらのことが DIRECT I/O を用いた際の

## 5 関連研究

仮想化環境における I/O 性能の向上に関する研究として次のものがあげられる。Boucher らは仮想化環境における I/O スケジューラの性能の評価を行い、ゲスト OS とホスト OS に適した I/O スケジューラの選択手法について示している<sup>3)</sup>。Xu らは仮想化環境に適した新しい I/O スケジューラを提案し、その性能の評価を行っている<sup>4)</sup>。Kesavan らは、仮想ハードディスクの振る舞いと物理ハードディスクの振る舞いには大きな違いがあり、仮想ハードディスクの応答性能は同一物理計算機内の他の仮想計算機の振る舞いに大きな影響を受けることを指摘している<sup>5)</sup>。これらは、仮想化環境における I/O 性能の向上手法として有益なものであるが、低消費電力を考慮した二重キャッシュ環境のキャッシュの性能、キャッシュの動作について考察したものではなく、本稿とは貢献の内容が異なっている。

また、仮想化環境を想定した研究ではないが、文献<sup>6)</sup>において iSCSI 環境を想定したサーバコンピュータとストレージ機器の統合的解析手法が提案されている。統合的な解析を目指す点において類似性はあるが、当該研究は低電力環境を考慮しておらず本研究とは研究目標が大きく異なっており、貢献の内容も大きく異なっている。

## 5 おわりに

本稿では災害対策拠点の分散化を支援するための耐災害性の高い通信システムを想定し、同システムにおけるサーバ計算機の性能と消費電力に関する考察を行った。具体的には、多数の機能を複数の物理計算機を稼働させて提供するのではなく、一台の物理計算機上に複数の仮想計算機を稼働させて提供する省電力手法に着目し、仮想計算機に与えるメモリ量と仮想記憶容量が I/O 性能に及ぼす影響について調査を行い、各ワークロードによって最適なメモリ割当量や I/O 処理方法、仮想記憶容量があることを示した。そして仮想計算機環境での I/O の統合的動作解析システムを実装し、その結果から適切なメモリ割当量についての考察を行った。

今後は、災害対策拠点の分散化を支援する耐障害性を有する通信システムに対して提案手法を適用し、災害対策拠点の分散化の支援の能力について評価を

行う予定である。

#### 参考文献

- 1) 越智 俊介, 山口 実靖, 浅谷 耕一, “仮想計算機 KVM によるサーバ統合におけるサーバ性能の向上”, 電子情報通信学会データ工学ワークショップ論文誌 DEWS2008 D5-4
- 2) FF5B, <http://sourceforge.net/projects/ffsb/>
- 3) D. Boutcher and A. Chandra, ” Does Virtualization Make Disk Scheduling Passe?”, SOSP Workshop on Hot Topics in Storage and File System(Host Storage '09)
- 4) Y. Xu and S. Jiang, ” A Scheduling Framework that Makes any Disk Schedulers Non-work-conserving solely based on Request Characteristics ”, FAST2011
- 5) M. Kesavan, A. Gavilovska and K. Schwa, ” On Disk I/O Scheduling in Virtual Machines ”, WIOV'10, May 2010
- 6) Saneyasu Yamaguchi, Masato Oguchi, Masaru Kitsuregawa, ” Trace System of iSCSI Storage Access”, SAINT 2005

## 循環制御翼周りの流れに関する研究

佐藤 光太郎\*, 横田 和彦\*\*

**Key Words:** Jet, Circulation Control Wing, Circular Cylinder, Coanda Effect, Fluid Force

### 1. 緒 論

循環制御翼 (Circulation Control Wing : CCW) は従来のフラップと比較して大きな揚力が得られることから短距離離着陸機などへの応用を目指して研究が進められている<sup>[1]-[4]</sup>. CCW では負圧面に吹出スロットが設けられ, 接線方向に吹き出しを行うことで噴流がコアンダ効果により円弧形状の翼後縁に沿って流れる. CCW の循環量制御は噴流の運動量調整で行われるため, 空気源が確保できれば翼の幾何形状を変化させることなく揚力制御が可能となる. 航空機の場合ではフラップのような可動部を無くすことで構造の単純化・軽量化にも繋がり, 風車の場合には剛性を保ちながら可変ピッチと同じ効果が期待できるものと思われる. 特に風車では失速制御にも有効であることから作動範囲の大幅な拡大が見込まれる. これまで, 失速制御<sup>[1], [2]</sup>やフラッタ, 流力騒音の抑制<sup>[3]</sup>などに対して翼面上吹き出しが有効であることは報告されているが, 循環制御翼についての詳細な空力特性や翼周りの流動特性に関しては不明な点が多く, 特に噴流の運動量係数と幾何形状との関係についてはあまり議論がなされていない.

本研究では, CCW として最も単純な形状である前縁及び後縁が円弧形状の平盤翼に吹き出しスロットを設け, 流れ場と空力特性について数値的並び実験的に解明を試みた. 主として実験ではスモークワイヤ法による流れの可視化と翼表面圧力計測, 数値計算では速度分布と圧力分布から CCW 周りの流れ場および流力特性と運動量係数との関係について調べた.

### 2. 実験装置及び方法

図1に本実験で用いた実験装置概略と座標系および記号の定義を示す. 実験には 400mm×200mm の吹き出し口を有する開放型低速風洞を使用した. 図中に  $U_j$  の矢印が記されている部分が吹き出しスロットである. CCW 試験片のコード長は  $C=100\text{mm}$  であり, 試験片前縁は半径  $R_0=11\text{mm}$ , 後縁は半

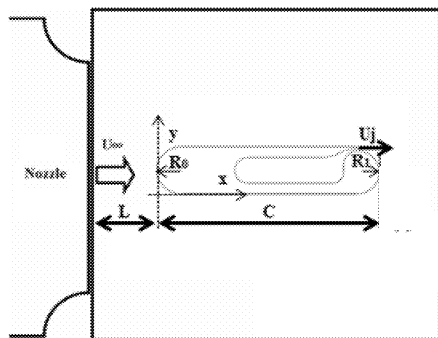


Fig. 1 Schematic of test section and coordinates

径  $R_1=10\text{mm}$  の円弧形状となっている. またスパンは  $w=200\text{mm}$  であり, スロット幅は  $b=1\text{mm}$  である. 試験片は風洞ノズルから 150mm の位置に設置され, 試験片両端はアクリル板で保持されている. なお試験片表面には  $\phi=0.3\text{mm}$  の圧力計測孔がらせん状に設けられている. 圧力計測にはデジタルマノメータ DMP202N [(株) 岡野製作所] を用いた. 一方, 流れの可視化にはスモークワイヤ法を適用した. ニクロム線は試験片前縁の上流側 60mm と試験片後縁の下流側 10mm の位置に配し, 煙粒子の挙動についてはデジタルカメラ EXLIM Pro EX-F1 [(株) カシオ計算機] を用いてフレームレート 300fps で撮影した.

本研究では主流速度  $U_\infty$ , 噴流速度  $U_j$  の場合の運動量係数を  $C_\mu=(2U_j^2 b)/(U_\infty^2 C)$  と定義し, ここでは主流速度  $U_\infty$  と試験片コード長  $C$  に基づくレイノルズ数  $Re=5.3 \times 10^4 (U_\infty=8.3\text{m/s})$  の条件下で得られた結果 (計算結果を含む) について報告する. ただし, 可視化実験ではスモークワイヤによる流れを鮮明にとらえるために  $Re=1.9 \times 10^4 (U_\infty=2.9\text{m/s})$  で得られた結果を示す. また主流に対する迎え角を  $AOA$  (Angle Of Attack) として表記した.

### 3. 数値シミュレーション

数値シミュレーションには, 非構造格子系熱流体解析システム SCRYU/Tetra for Windows [(株) ソフトウェアクレイドル] を用いた. 図2にシミュレーションモデルの配置及び境界条件を示す. 本研究では層流非定常の二次元非圧縮粘性流れを仮定し流れ場の解析を行った. 境界条件として計算領域入口境界及び噴流出口 (スロット) では流速を与え, 計算領域出口境界では圧力一定条件を与えた. また上下 10C の外部境界を対称境界条件とした場合を便宜上, 無限遠中に置かれた CCW の計算結果とした. 試験片の各寸法は実験と同様に設定した. なお, 本計算モデルのグリッド数は約 340,000 である.

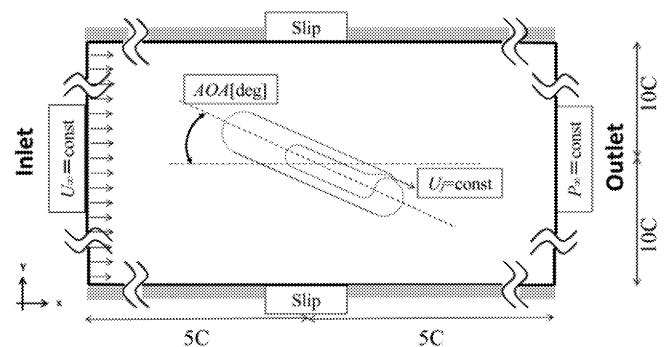


Fig. 2 Numerical simulation domain and boundary condition

\* : 工学院大学グローバルエンジニアリング学部機械創造工学科

\*\* : 青山学院大学理工学部機械創造工学科



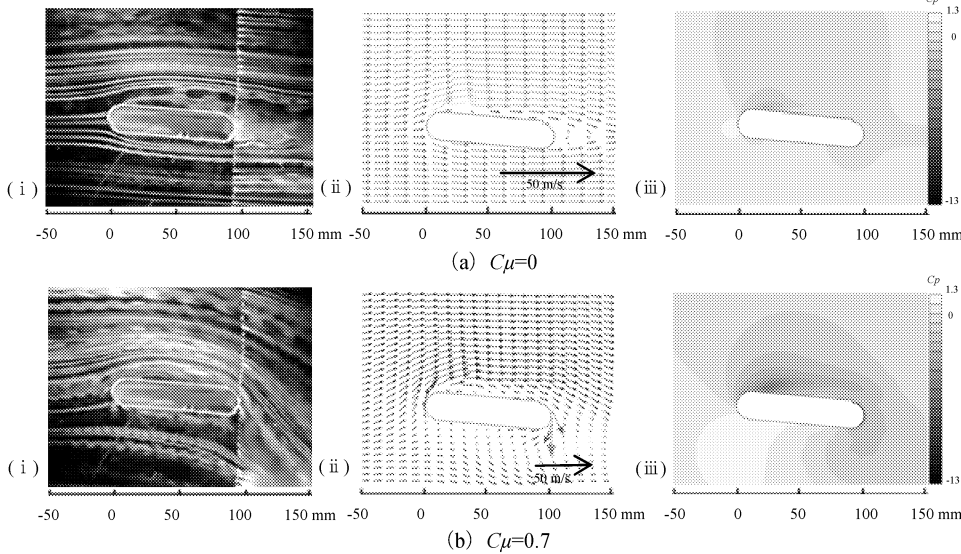


Fig. 3 Flow patterns around a CCW ( $AOA=5[deg]$ ) (i) : Flow visualization by Smoke wire method (ii) : Velocity vectors by CFD (iii) : Pressure distribution by CFD

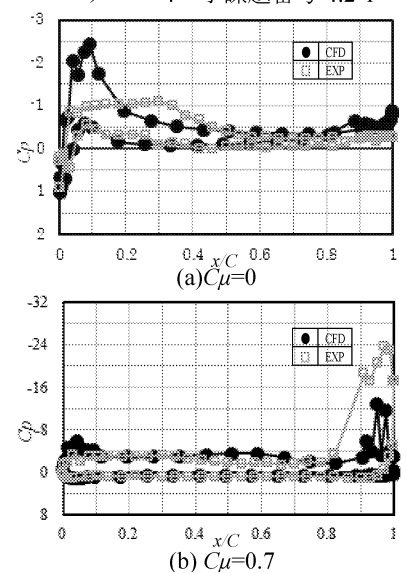


Fig. 4 Pressure distribution on surface of CCW ( $AOA=5[deg]$ )

#### 4. 結果および考察

図 3, 4 に  $AOA=5[deg]$  の場合に得られた実験結果および数値計算結果を示す. 図 3 は CCW 周りのフローパターンである. (a) は  $C\mu=0$ , すなわち, スロットからの吹き出し速度が 0 の場合の結果であり, (b) は  $C\mu=0.7$  の結果である. (i) はスモークワイヤ法による可視化の撮影例, (ii) は時間平均ベクトル図, (iii) は時間平均圧力分布図である. 図 3(a)(i) では翼前縁で流れが剥離している様子が伺える. しかし, 同条件の数値計算結果である図 3(a)(ii) では失速は認められない. なお, 可視化実験, 数値解析の両者において周期性の乏しい剥離渦の離脱が観察されている. 実験結果と数値計算結果との差異の主な原因として, 数値計算では乱流モデルを用いず, 二次元流れを仮定しているのに対して, 実験は乱流で側壁等の影響を受ける三次元流れとなっていることが考えられる.  $AOA=5[deg]$  の条件下では実験, 数値計算ともに流線はわずかに曲げられ, 運動量の変化に相当するわずかな揚力発生が(a)(iii)の圧力分布からも確認できる. すなわち, 翼前縁付近で圧力低下が見られるものの翼周りの広い範囲で同程度の圧力分布となっており, 大きな揚力を得るには至っていないと予測される. (b) $C\mu=0.7$  では(i)可視化撮影例, (ii)時間平均ベクトル図の両者で流線が大きく曲げられている様子が観察でき定性的な一致が認められる. この運動量の急激な変化は大きな揚力発生につながり, (b)(iii)の圧力分布で翼負圧側の圧力低下と対応している. ところで, (ii)では明確ではないが, (i)では明らかに翼前縁で剥離せん断層が翼後縁近傍スロットからの吹き出しにより強制再付着させられていることがわかる. このことから噴流の効果が上流の流れにも作用していることが伺える. また, (a) $C\mu=0$  で見られた剥離渦の離脱も(b) $C\mu=0.7$  では不鮮明になることが, 可視化実験の動画および非定常計算から確認されている.

図 4 に平盤翼表面の圧力分布を示す. □が実験結果, ●が数値計算結果である. (a)は  $C\mu=0$  で図 3(a)に対応し, (b)は  $C\mu=0.7$ , 図 3(b)に対応している. 図 4(a) $C\mu=0$  の翼表面圧力分布では圧力面と負圧面での圧力差は小さいことから大きな揚力は発生していないことが明らかである. また, 翼前縁から翼中央にかけて (特に  $x/C=0.1$  付近) 実験値と数値計算値で傾向が異なっており, このことは前述の流れの剥離の有無に起因すると思われる. しかしながら, 数値計算で得られた  $x/C=0.1$  付近の負圧面側の圧力係数  $C_p$  は約-2.5 程度であり,

(b) $C\mu=0.7$ の負圧面側  $x/C=0.1$  付近の数値計算値の半分程度である. ところで, 図 4(b) $C\mu=0.7$  の負圧面側圧力係数は実験, 数値計算ともに後縁付近で  $C_p$  が急激に低下している. 図 4(a)の後縁付近圧力分布と比較すれば, この圧力低下は吹き出しの影響であることが明らかである. すなわち,  $C\mu=0$  では迎角により翼前縁に負圧が生じ, 揚力を発生させているのに対して, 吹き出しを伴う  $C\mu=0.7$  では噴流のコアンダ効果による翼後縁付近の負圧が大きな揚力を生んでいるものと考えられる. ただし, この揚力発生メカニズムの違いと空力特性との関係の詳細については今後の研究課題である.

#### 5. 結 論

本研究では循環制御翼周りの流れ場と空力特性について数値的並び実験的に解明を試みた. 主な結論を以下に示す.

1. 実験と数値計算で得られたフローパターンは概ね一致しており,  $C\mu=0.7$  の場合には翼周りの流れが大きく偏向することがわかった.
2. 後縁が円弧形状の平盤翼では, 吹き出しを用いることで大きな揚力を得ることができるとわかった.
3. 翼前縁付近で剥離が生じる状況下でも, 吹き出しによる循環制御を行うことで, 剥離せん断層を再付着させることが可能であることを示した.
4.  $AOA=5[deg]$  の場合,  $C\mu=0$  では迎角により翼前縁に負圧部が生じるのに対して,  $C\mu=0.7$  では翼後縁付近の負圧部が発生し揚力を生成することがわかった.

#### 参考文献

- [1] Robert J.Englar, Overview of Circulation Control Pneumatic Aerodynamics: Blown Force and Moment Augmentation and Modification as Applied Primarily to Fixed-Wing Aircraft, *Applications of Circulation Control Technology*, pp23-68.
- [2] Cerchie, D., Halfon, E., Hammerich, A., Han, G., Taubert, L., Trounev, L., Varghese, P. and Wagnanski, I., Some Circulation and Separation Control Experiments, *Applications of Circulation Control Technology*, pp113-166.
- [3] Munro, S.E., Ahuja, K.K. and Englar, R.J., Noise Reduction Through Circulation Control, *Applications of Circulation Control Technology*, pp167-190.
- [4] 影山功郎, STOL 実験機「飛鳥」の開発, 日本機械学会誌, 第 91 巻, 第 839 号, pp.65-69(1988)

## 自家発と新エネルギーの組み合わせに関する研究

キーワード 新エネルギー, 電力供給, 単独運転, 安定性

荒井純一\* 山田修平\*\* 小林幹\*

### 1. はじめに

被災した場合に電力会社から供給されている電力が停電する場合がある。そのような場合、現在ではある地域内に自家発と新エネルギーの代表である太陽光発電があっても、それらを組み合わせて運転することができない。これらを組み合わせて運転できれば、その供給能力は通常の負荷分より少ないであろうが、緊急用として大変重要な電源となり得る。現状では自家発は工場などの中のみ電力が供給できるようにしてあり、太陽光などは停電すれば太陽光自体が運転停止するように作られている。これらは安全面からと運用管理の面からそのように作られている。しかし装置としては能力があるので、ここでは管理面などは考慮せず、自家発と自然エネルギーを組み合わせさせて運転させたら、どの程度の組み合わせまで運転できるかを技術面から検討する<sup>1)</sup>。具体的には自家発の容量に対して自然エネルギー発電が何倍まで接続して運転できるかを検討する。

### 2. 対象システム

検討の対象とする機器構成を図 1 に示す。自家発は通常の同期発電機を想定する。新エネルギーは太陽光発電と類似の構成で、直流で発電されてインバータで交流に変換する装置を想定する。ここではどちらも 1 台あり、それらが負荷に電力を供給する構成とする。自家発相当の同期発電機の容量は 3000kVA とする。この発電機の容量は一定として、インバータ容量を変えて検討する。検討は 3 相回路の詳細モデルを用い、ATP プログラムを用いた瞬時値解析で行った。解析では図 1 に示す商用電源を初めは接続しておき、発電機とインバータで供給する電力が負荷とバランスした時点で、商用電源を切り離し、いわゆる単独システムにする。そして運転が安定していればこの単独系は安定であると判断する。

発電機のパラメータは文献 2 にある一般的な自家発の値を用いた。また発電機の端子電圧制御と回転速度制御もはやり文献 2 の値を用いた。

インバータは 6 アームのフルブリッジ構成とし、連系用変圧器を介して交流母線 6.6kV に接続する一般的な構成とする。

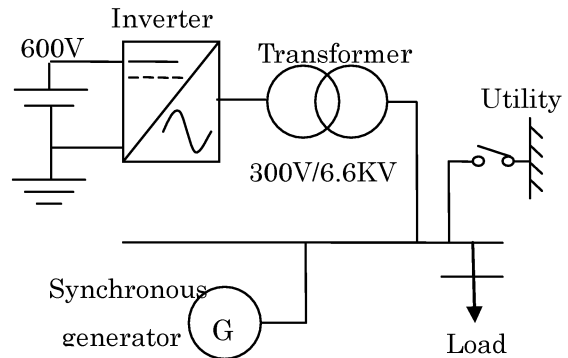


図 1 対象システム

発電機の制御系は長い間使われてきた従来型が今後も変更されないと考えるので従来型を用いる。一方インバータは比較的新しい装置であり、今後もより良い制御方式が採用されるであろうから、ここでは一般的な制御と、それを変更した制御を検討比較する。

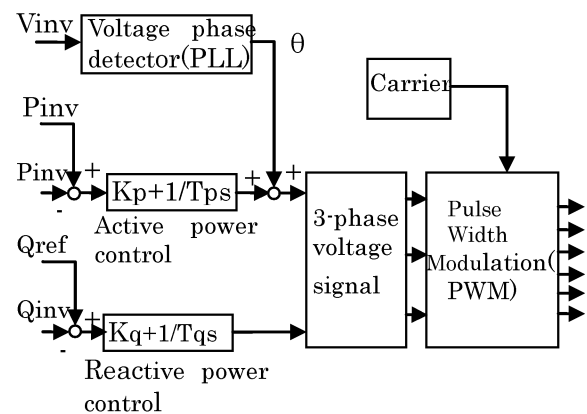


図 2 インバータの従来制御回路

インバータ制御の一般的なブロックを図 2 に示す。これは有効電力制御と無効電力制御 (P-Q) で構成しており、パルス幅変調ロジック (PWM) からインバータの 6 アームの On/Off 信号を出力する。

\* : 工学院大学工学部電気システム工学科

\*\* : 工学院大学大学院電気・電子専攻修士課程

新しい制御ブロックを図3に示す。ここでは無効電力制御を交流電圧制御に変えている (P-V 制御)。

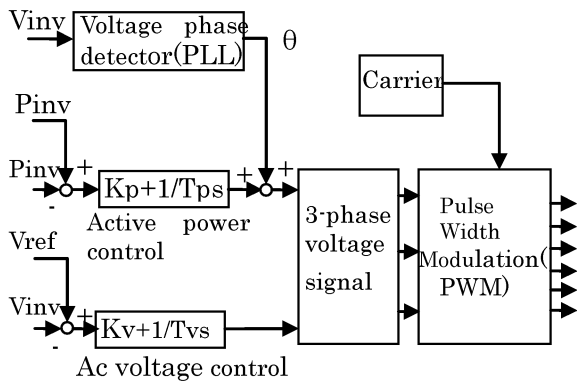


図3 インバータの新しい制御回路

### 3. 検討ケースと安定性

単独系において、3000kVAの従来型発電機に対して新エネルギーに相当するインバータがどの程度の容量比率まで安定運転できるかを検討した。そのケースを表1に示す。

表1 Simulation case

| Case | Inverter capacity [MW] | P-Q control | P-V control |
|------|------------------------|-------------|-------------|
| ケース1 | 3.0                    | Stable      | Stable      |
| ケース2 | 9.0                    | Stable      | Stable      |
| ケース3 | 12.0                   | Unstable    | Stable      |
| ケース4 | 15.0                   | Unstable    | Stable      |
| ケース5 | 60.0                   | Unstable    | Stable      |

従来型制御であるP-Q制御を用いた場合は、ケース1のインバータが発電機と同じ容量から、容量3倍のケース2までは安定であった。容量4倍のケース3では図4に示すように不安定になった。

次にインバータの制御をP-V制御に変更すると安定性が増して、容量が5倍のケース4でも図5に示すように安定になった。これよりP-V制御がこのような単独系統には適していると言える。更に20倍のケース5でも計算上は一応安定ではあるが、かなり大きな容量比率であり図示していないが制御の仕上がりが十分でなく、さらなる見極めが必要であると考えた。

### 4. おわりに

検討結果では、P-V制御を用いれば予想した以上

に停電時に大量の新エネルギー電源を自家発に接続して運転できる可能性が明らかになった。

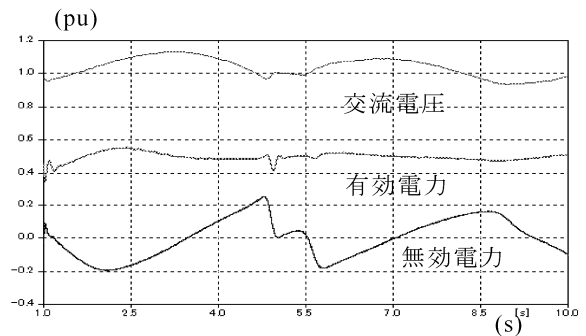


図4 ケース3 (a) P-Q 制御

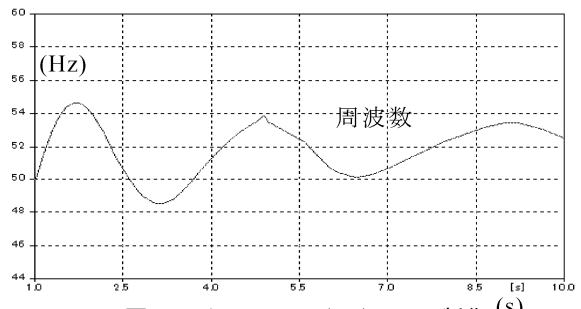


図4 ケース3 (b) P-Q 制御 (s)

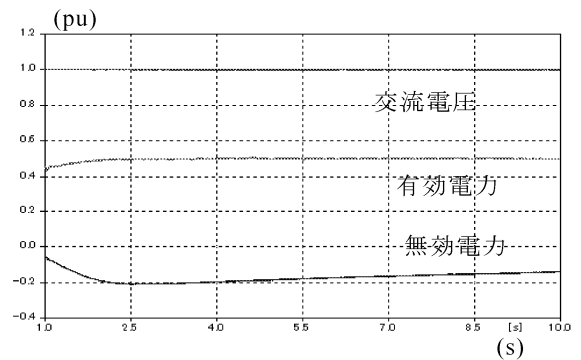


図5 ケース4 (a) P-V 制御

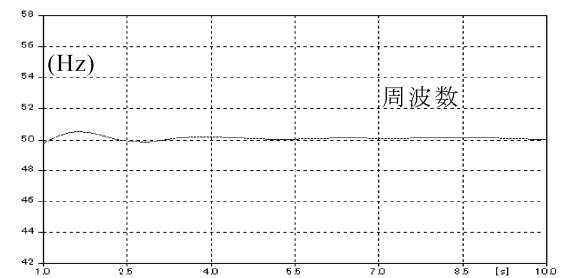


図5 ケース4 (b) P-V 制御 (s)

### 参考文献

- 1) S. Yamada, J. Arai, Research of microgrid composed of inverter power source and synchronous generator, Annual conference IEEJ, 6-204, vol. 6, pp. 370, 2011.
- 2) エネルギーフォーラム 解説電力系統連系技術要件ガイドライン 2003.

## 誘導電圧が原因で起こる太陽光発電設備の制御用電子機器の誤動作防止に関する研究

キーワード（誘導電圧、非常用電源等、誤動作）

市川 紀充\*  
荒井 純一\*

米盛 弘信\*\*  
小林 幹\*\*\*

### 1. はじめに

地震などの自然災害が発生すると、電柱の倒壊や電力設備の故障などが起こり、電気を安定して使用できなくなる可能性がある。地震などが原因で起こる自然災害が多い日本で今後生活を続けるには、この種の問題は無視できない。

東日本大震災の発生により夏場の計画停電が実施されて以降、例えば太陽光発電設備などの自然エネルギーを利用した発電設備が注目を集めている。しかしながら太陽光発電設備により得られる電力は、日中しか発電できないだけでなく天候にも左右されるため不安定な電力といえる。太陽光発電設備で発電した電力を非常時に使用するには、蓄電設備（非常用電源）に電気を蓄えておくことが必要になる。

例えば太陽光発電設備の非常用電源等の制御用電子機器（パソコン等）は、誘導電圧が原因で誤動作や故障を引き起こし、自然災害が発生したときに限って正常に動作しないことがある。この種の制御用電子機器の誤動作や故障は、人体等の帯電した物体が近くを移動するだけでも生じる可能性がある。人体や衣服などの電圧は、エアコンを使用した室内であれば、夏場であっても10キロボルト程度に帯電することがある。

本研究では、太陽光発電設備の制御用電子機器の誤動作を防止（信頼性を向上）させる機器設計に指針を与えることを目的として実施している。

一般に制御用電子機器の電源は、接地極付きのサンプピン（3P）プラグを屋内コンセント（100ボルトあるいは200ボルト）に接続して使用するが、そのプラグの接地極を屋内接地端子に接続せずに使用する例が多い。本研究では、帯電した人体等が制御用電子機器の近くを移動したときに発生する可能性のある誤動作や故障に関する検討を行った。

本研究を実施した結果、非接地の金属箱（制御用電子機器）内に生じる誘導電圧は最大で2.7キロボルトになることが明らかにされた。制御用電子機器

内に使用される電子部品は10ボルト以下の電圧で破壊されることもあり、本研究で得られた非接地の金属箱内に生じる2.7キロボルトの電圧は、制御用電子機器の誤動作や故障を引き起こす原因になることが明らかにされた。

本研究の成果は、太陽光発電設備の制御用電子機器の誤動作を防止するための基礎的な検討として、誤動作や故障の起こりにくく信頼性の高い太陽光発電システムの構築に応用できると思われる。

### 2. 実験方法の概要

図2は、図1の研究モデルを想定した実験装置の配置図を表している。本実験では帯電した人体等を電圧をかけた約1メートル/秒で自走する金属板、制御用電子機器を前面のみ開口している金属箱、制御

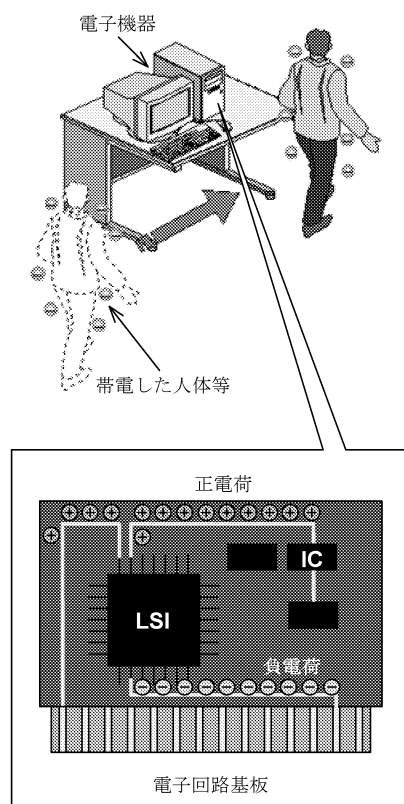


図1 本研究で想定する実験例

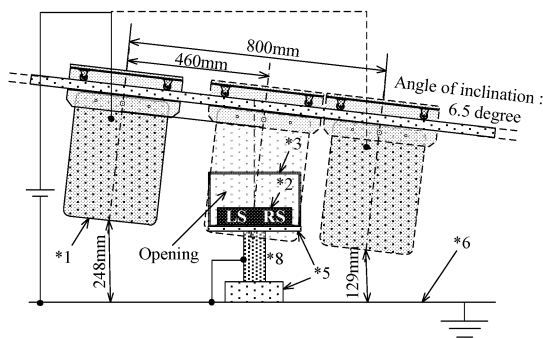
\* : 工学院大学工学部電気システム工学科, \*\* : サレジオ工業高等専門学校機械電子工学科  
\*\*\* : 工学院大学名誉教授

用電子機器内の電子回路基板を誘導電圧測定器具として表している。本研究で用いた誘導電圧測定法は、誘導電圧測定器具と電磁波センサを用いた非接触測定法を用いている。本実験では、誘導電圧測定器具 (図 2 の\*2) を金属箱の奥に配置したときに生じる誘導電圧を測定した。エアコンを使用した室内を想定しているため、温度約 20℃、相対湿度約 40% で実験を行った。

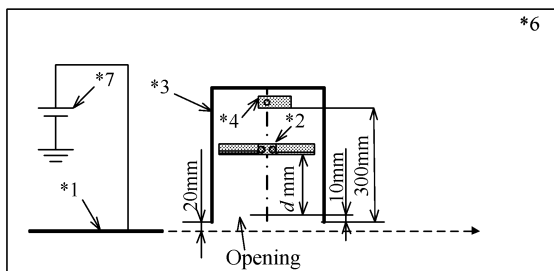
### 3. 実験結果の概要

図 3 は、図 2 の実験装置を用いて得られた実験結果を表している。図 3 の左側の縦軸は、侵入率 (invasion ratio  $R$ ) を表している。その侵入率に帯電した物体の電圧 (例えば 10 キロボルト) をかけると、金属箱内に配置した電子回路基板の二つの導体を模した誘導電圧測定器具に生じる誘導電圧を求められる。図 3 の右側の縦軸は、このようにして求めた誘導電圧を表している。図 3 から、以下のことがわかる。

金属箱内に配置した二つの導体が両方とも信号線



(a) 正面から見た配置図



(b) 上から見た配置図

図 2 実験装置の配置図 (\*1 は電圧をかけた金属板、\*2 は誘導電圧の測定器具、\*3 は金属箱、\*4 は電磁波検出器、\*5 はアクリル樹脂、\*6 は接地された金属板、\*7 は直流高電圧電源、\*8 はガイドレール)

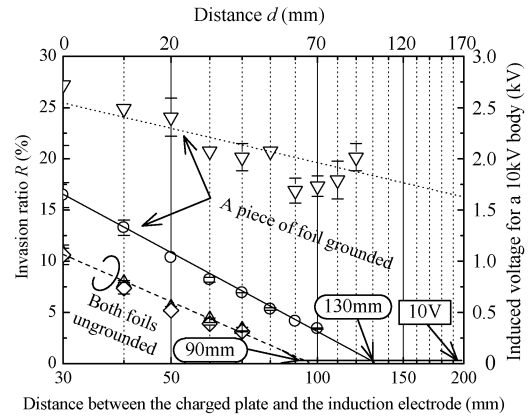


図 3 人体等の帯電した物体が制御用電子機器 (金属箱) 内に生じる誘導電圧 (▽と◇は非接地の金属箱内に生じる誘導電圧、○と△は接地した金属箱内に生じる誘導電圧)

(浮遊電位) のとき (ノーマルモードに相当)、金属箱内に生じる誘導電圧は金属箱が接地あるいは非接地であってもほとんど変わらない。誘導電圧は、最大で 1 キロボルトとなり、誘導電圧測定器具を金属箱の前面から約 90 ミリメートル以上奥に配置すると 10 ボルト以下になる。

一方で金属箱内に配置した二つの導体のうち、片方が信号線 (浮遊電位) で他方が接地線 (基準電位) のとき (コモンモードに相当)、金属箱が接地されていない (非接地) と、金属箱には 1.5 キロボルトから 2.7 キロボルトの誘導電圧が生じる。その誘導電圧は、金属箱を接地することにより 1.5 キロボルトまで低減でき、誘導電圧測定器具を金属箱の前面から 130 ミリメートル以上奥に配置すると 10 ボルト以下に低減できる。

以上の実験により得られた誘導電圧は、測定した静電容量を用いて計算した誘導電圧と同様な傾向が得られている。

### 4. おわりに

本研究では、太陽光発電設備の制御用電子機器の誤動作を防止するための基礎的な検討を行った。検討を行った結果、制御用電子機器を接地せずに用いるときは、電子機器をノーマルモードで使用することで、誘導電圧をコモンモードで使用時の約 30 パーセントに抑えることが可能になる。このことから、金属箱が非接地のときは、絶縁トランスの使用によりノーマルモードで制御用電子機器を使用すれば、誘導電圧を低減できる効果が得られると思われる。

## 独立型太陽光発電システムにおける蓄電部の改善と PV モジュール表面の防汚に関する検討

キーワード (独立型太陽光発電, 光触媒, 撥水剤, 二次電池, EDLC)

米盛弘信\*

市川紀充\*\*

荒井純一\*\*

小林 幹\*\*\*

### 1. はじめに

近年, 太陽光発電 (Photovoltaic: PV) の導入は極めて活発に進展中である。2011 年 3 月 11 日に東日本大震災が発生した。その際, 系統の寸断および燃料不足で発電機が動作せず通信用電源の確保が困難な問題を生じた。ここに, 独立型 PV システムは燃料の貯蔵が不要であり, 災害発生時の燃料供給途絶の心配がないメリットがある。しかし, 独立型 PV システムを災害時で活用するには, 長期にわたってメンテナンスフリーであることが望まれる。筆者らは, 運用年数が 15 年を経た独立型 PV の現地調査を実施して, PV 設備の長期運用に関する技術的な主要課題を見出している<sup>1)</sup>。ここに摘出した課題は, どれも独立型 PV を地震災害時の非常用電源として活用するうえで重要な研究課題である。

そこで, 本研究では課題の中「PV モジュール表面の汚染による出力低下」と「二次電池の保守・管理」の改善を行う。前者は, 防汚剤 (光触媒・撥水剤) を PV モジュールの表面に塗布し, 防汚効果に期待する。後者は, 充放電サイクルによる劣化がほとんどない電気二重層コンデンサ (EDLC) の導入および効果的な運用によって改善を図る。

本報告では, 光触媒と撥水剤を塗布した PV モジュール及び無塗布の PV モジュールにおける透過率の測定を行う。そして, 防汚剤が PV モジュールの発電量へ与える影響を考察する。また, EDLC と二次電池を実環境下で運用した場合の充電特性を比較して両者が等価交換できることを示す。

### 2. PV モジュール表面の防汚

PV モジュールは, 長期に亘って屋外で使用されるため排気ガスや黄砂, 花粉, 鳥の糞, 火山灰など様々な汚染物が付着する。PV モジュールは, 汚染物の付着によって日射が遮られ, 出力電力が低下する。一般には定期的に人の手によって PV モジュール表面の洗浄を行っている。しかし, 人の労力を要

することや高所作業による危険が伴う。したがって, 最小限の労力で PV モジュールの出力電力の低下を防ぐ技術開発が必要である。

そこで, 本研究では住宅壁面他で防汚対策として活用されている「光触媒」と自動車ガラス用に販売されている「撥水剤」を PV モジュール表面に塗布して防汚効果の検証を行い, 防汚剤が PV モジュールの発電電力に与える影響を考察する。

#### 2. 1 光触媒と撥水剤の透過率

PV モジュールに光触媒と撥水剤を塗布したことによる発電電力への影響を検証するため, 光触媒と撥水剤の透過率を測定する。採用した光触媒は凜光 “R-A-TS”, 撥水剤は SOFT99 社製 “GLASS ROFF ONE” である。実験用として 1 枚のガラス板の半面に光触媒を塗布し, 半面は無塗布のサンプルを用意した。同様に撥水剤のサンプルも用意した。両サンプルにおいて防汚剤の塗布—無塗布部における透過率を測定した。

図 1 に透過率測定結果を示す。図 1(a)は光触媒, 図 1(b)は撥水剤の透過率の測定結果である。光触媒および撥水剤を塗布すると全体的に無塗布の状態と比べて透過率が低下していることがわかる。また 360nm~760nm の波長において, 光触媒で約 4%, 撥水剤で約 2%透過率が低下していることがわかる。したがって, PV モジュール表面が汚染されていない初期状態では光触媒よりも撥水剤の方が発電電力への影響は少ないと考えられる。また, 汚染物質が付着していない状態では, 当然にして防汚剤による透過率低下の影響が出力電力に生じていると思われるが, 長期暴露によって防汚剤の効果が得られたならばセルフクリーニング技術として有益であると考えられる。

#### 2. 2 防汚剤による発電量の比較

防汚効果を検証するために実験システムを製作した。実験システムは, PV モジュール (200W) と最大電力点追従制御回路 (MPPT), バッテリ, 巻き線

\* : サレジオ工業高等専門学校機械電子工学科, \*\* : 工学院大学工学部電気システム工学科

\*\*\* : 工学院大学 名誉教授

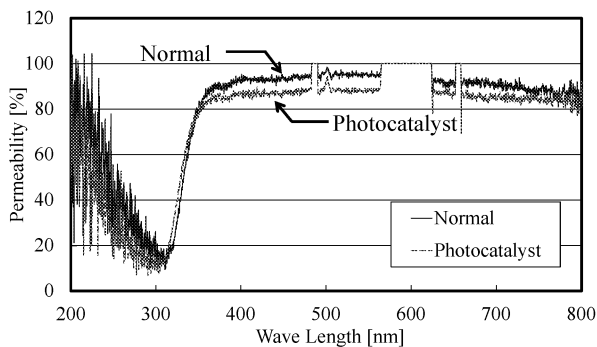
抵抗で構成される。PV モジュールの出力電力は、MPPT の前に設置された電流センサとメモリハイログを用いて測定を行う。

図2に3ヶ月間屋外に暴露したPVモジュールの一日における発電電力を示す。図2より、各モジュールは全体的に大きな発電電力の差がないことがわかる。細かくデータを見ると、発電量が11:30付近では瞬間的に光触媒は撥水コートよりも約4%、無塗布より約5%発電電力が低い。しかし、12:00~14:00では光触媒の方が無塗布および撥水コートより発電量が多くなっていることがわかる。

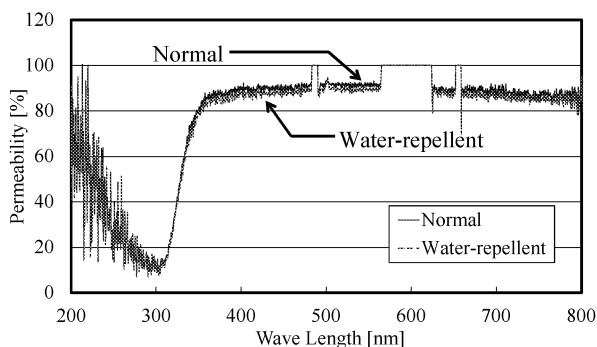
図2(b)に2011.9/21(雨:台風)の発電電力を示す。全体的に発電量は低いが、各モジュールの発電量の差は13:00付近などの瞬間的な点を除いて大きな開きはないことがわかる。

図2(a)(b)より、晴れ・雨のどちらにおいても瞬間的な発電量の差はあるが、6:00~13:00, 15:00~18:00の時間帯ではそれぞれのモジュールの差はほぼないことがわかった。

したがって、3ヶ月程度の屋外暴露では汚れの付着が少ないと考えられるため各PVモジュールの出力電力に大きな影響が出ていないといえる。

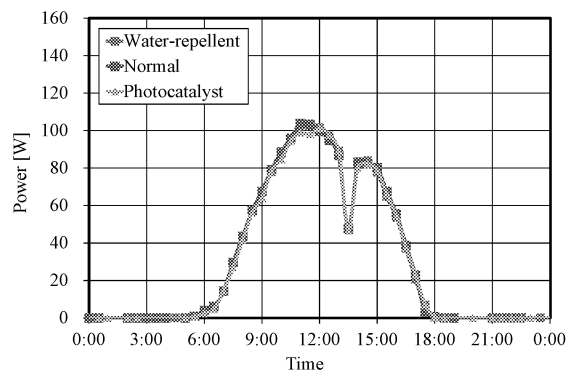


(a) 光触媒

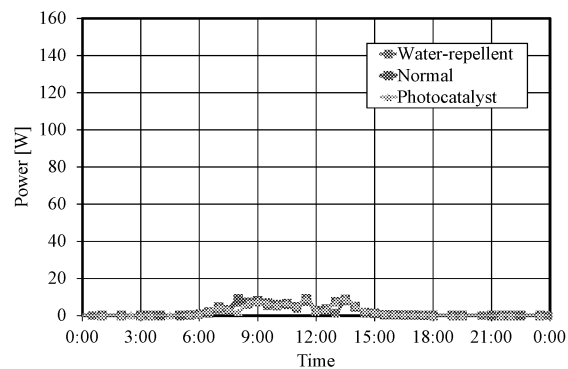


(b) 撥水剤

図1 重水素ランプを使用した透過率の測定結果

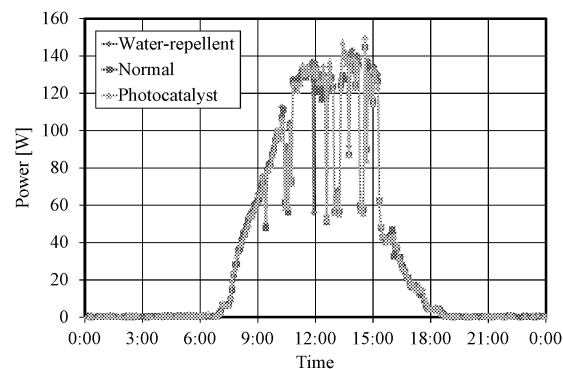


(a) 2011/09/12 (晴れ)

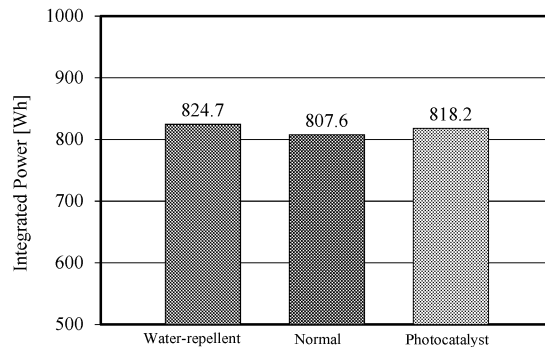


(b) 2011/09/21 (雨)

図2 発電電力の測定結果



(a) 1日の発電電力



(b) 1日の積算電力

図3 2012/02/11の発電電力

図3に約8ヶ月間屋外で暴露したPVモジュール

の発電電力を示す。図 3(a)をみると各 PV モジュールの発電電力に差異が見受けられる。そこで、1日の積算電力を算出した。図 2(b)は、図 2(a)の積算電力である。無塗布の PV モジュールは、807.6Wh の発電量であるのに対して、撥水剤を塗布した PV モジュールは 824.7Wh、光触媒を塗布した PV モジュールは 818.2Wh の発電量である。したがって、撥水剤では約 2%、光触媒では約 1%の改善効果が得られた。この効果が持続または拡大されれば防汚剤を PV モジュール表面に塗布する効果は大きいといえる。

### 3. EDLC による蓄電部の改善

独立型 PV モジュールに用いる蓄電部：二次電池は、充放電サイクルの増加に伴い劣化が起きる。当該システムを地震災害時に活用できるように長期運用するには蓄電部の劣化を軽減する必要がある。

表 1 電気二重層コンデンサと二次電池の比較<sup>2)</sup>

|       | 電気二重層コンデンサ | 鉛シール電池                |
|-------|------------|-----------------------|
| 電極材料  | 活性炭        | PbO <sub>2</sub> , Pb |
| 電解液   | 有機溶媒       | 水溶液                   |
| 蓄電方法  | 化学反応なし     | 化学反応                  |
| 充放電回数 | 10 万回以上    | 300 回                 |
| 環境性   | 有害性少ない     | Pb                    |

表 1 に二次電池として用いられる鉛蓄電池と近年需要が拡大している EDLC の特徴を示す。鉛蓄電池の充放電回数は、約 300 回であるのに対して、EDLC は 10 万回以上の充放電が可能である。したがって、蓄電部に EDLC を採用することは、独立型 PV シス

ていえる。しかし、鉛蓄電池と EDLC が実環境下でどのように充電されるかを把握しなければ、充電システムの設計が困難である。そこで、実環境下で両者の充電特性を明らかにする。

### 3. 1 構築した PV システムによる充電実験

図 4 に構築した独立型 PV システムを示す。YMT 社製 15W の PV モジュールで発電した電力を MPPT に通してから蓄電部へ充電する。そして、タイマを用いて 19:30~3:00 の間、負荷へ放電する。蓄電部は、鉛蓄電池：12V-11Ah×1 個および EDLC：2.5V-1000F を 6 直 4 並にしたものを使用する。負荷は、巻線抵抗 4Ω として、放電電流は 3A とした。日射計は英弘精機株式会社製の MS-602 を使用した。このときの電圧と電流および日射を HIOKI 社製 MEMORY HiLOGGER “8430” を用いて測定した。本実験では、PV モジュール—MPPT—鉛蓄電池と PV モジュール—MPPT—EDLC の場合を同時に測定することによって、蓄電部の違いが充電電力に与える影響を確認する。

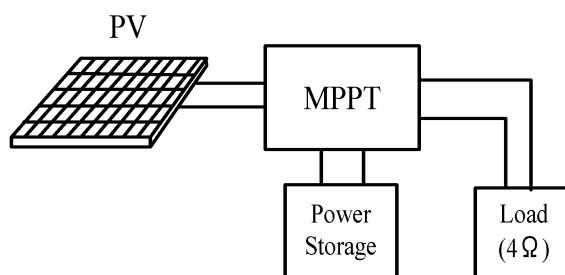


図 4 充放電制御システム

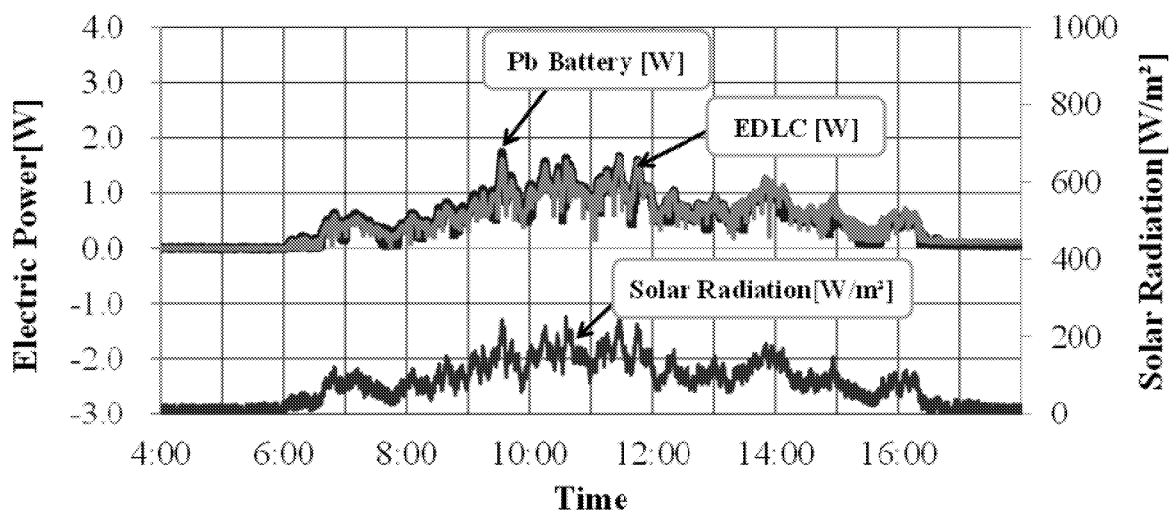


図 5 鉛蓄電池と EDLC の充電特性比較

テムを安定的かつ長期運用する際の重要な選択肢と

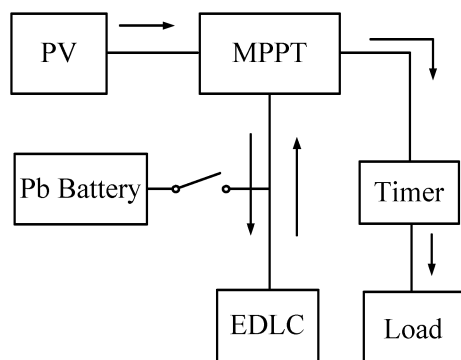
### 3. 2 実験結果



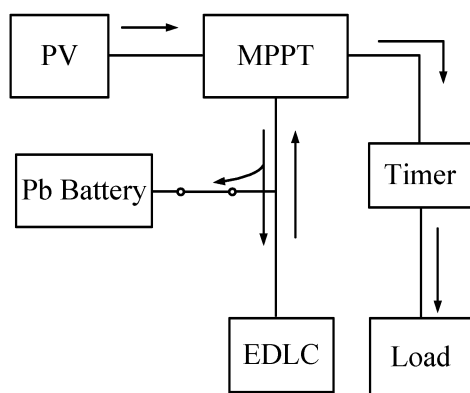
図5に、雨の日(低日射時)の充電特性を示す。鉛蓄電池とEDLCの充電電力を比較するとほぼ等しいことがわかる。これはEDLCを二次電池と等価交換できることを示している。すなわち、二次電池とEDLCを併用することで、①PVから供給される電力の変動をEDLCで吸収、②二次電池の充放電回数を減らすことで性能低下の低減が期待できる。

### 3.3 システムの改善案

前節より、EDLCが二次電池と等価交換できることを示した。そこで、EDLCを条件によって鉛蓄電池との並列接続に切り替え、鉛蓄電池の性能低下の低減を図る。図6に、システム改善案を示す。条件としてはEDLCが満充電になるまで図6(a)のような配線で充電をする。次にEDLCが満充電になったときは図6(b)のような配線で鉛蓄電池をEDLCと並列接続する。これにより、短時間での充電電力の変動をEDLCによって吸収し、二次電池の充電サイクルを減らすことができると考えられる。



(a) EDLCが満充電ではないとき



(b) EDLCが満充電のとき

図6 蓄電システムの改善案

## 4. まとめ

本報告では、「PVモジュール表面の汚染による出力低下」と「二次電池の保守・管理」を改善する基礎検討を行った。防汚剤として光触媒と撥水剤を塗布したPVモジュールの透過率は、光触媒で約4%、撥水剤で約2%低下することがわかった。発電電力について、約3ヶ月の暴露ではすべてのPVモジュールに差異が見受けられなかったが、約8ヶ月の暴露後には光触媒で約1%、撥水剤で約2%の改善効果が得られた。このことから長期暴露における防汚剤の効果は大きいと考えられる。

また、鉛蓄電池とEDLCを実環境下で運用して充電特性の比較を行った。その結果、EDLCを二次電池と等価交換できることを示した。

今後は、PVモジュールの長期暴露を継続して防汚効果の検証を継続して行う。さらに3.3節で提案したシステムを実際に構成して検証実験を行う。そして、システムの充放電特性を測定し、今回のデータと比較・検討を行い、特性を評価していく予定である。

## 謝辞

本研究は、文部科学省平成22年度私立大学戦略的研究基礎形成支援事業「建築・都市の減災と震災時機能継続に関する研究拠点の形成」によって実施しております。PVモジュールへの光触媒の塗布を行っていただきましたAIT Japan 足立 茂氏、ならびにサンプルの透過率の測定にご協力いただきました工学院大学教授 本田 徹博士に感謝いたします。また、独立型太陽光発電の実験に協力いただいているサレジオ工業高等専門学校 電子工学科 野口拓哉君、佐藤雅史君に感謝いたします。

## 参考文献

- 1) 小林 幹, 米盛弘信: “安全・安心に有効である独立型PVの提案”, 2009年電気学会産業応用部門大会講演論文集, pp. II-119-II-120, 三重大学 (2009-09)
- 2) 西野 敦, 直井勝彦: “電気化学キャパシタの開発と応用II”, シーエムシー出版, p.28, (2007-11)
- 3) 遠藤勇徳, 小林 幹: “へき地における独立型PVシステムの活用ー光触媒によるセルフクリーニング効果の検証ー”, 2007年(第25回)電気設備学会全国大会, pp.221-222, 広島工業大学 (2007-09)
- 4) 遠藤勇徳, 小林 幹: “電気二重層キャパシタを用いた独立型PVシステムの実地検証”, 2006年(第24回)電気設備学会全国大会, pp.15-16, 北海道工業大学 (2006-09)
- 5) 矢崎克侑, 米盛弘信: “EDLCと二次電池を用いた独立型PVシステム用ハイブリッド充電方式の提案 - EDLCによる未回収エネルギーの蓄電 -”, 第2回大学コンソーシアム八王子学生発表会要旨集, pp.118-119, (2010-12)
- 6) 川口博嗣, 黒川浩助, 野崎洋介, 谷内利明: “EDLCを組み込んだ独立型太陽光発電システムのシミュレーション”, 電子通信エネルギー研究会, (2000-11)
- 7) 角島秀輝: “太陽光電池を用いた独立型電源の制御システム並びに最大電力追従方法及び鉛蓄電池満充電方法”, 特願2007-87714

# 非常時にも対応した自然エネルギー活用による電源と通信網の構築 自然エネルギー利用による効率的な非常電源の開発 『都市型コジェネレーションシステムに関する研究 （地震振動下におけるサブクール流動沸騰熱伝達に関する研究）』

キーワード

大竹 浩靖\*

地震振動 熱流動 冷却限界 沸騰気泡発生条件 コジェネレーション

## 1. 緒言

地球環境およびエネルギーセキュリティの観点から、都市の高層ビル群を中心に都市型コジェネレーション【熱併給発電：メタンを主成分とする CO<sub>2</sub> 負荷の低い地球環境にやさしい燃料（天然ガス）の燃焼ガスによる小型ガスタービンにて発電。その排熱を給湯に利用し、高い総熱効率を実現した、高効率な分散化電源】システムの導入が広がっている。このシステムは、地震発生後の救援拠点でもある都道府県庁施設および大規模総合病院でもその導入が行われている。また、そのシステムは、年々高性能（高出力・高効率）化し、0A 化に伴う大きな電力需要に対応するため商用高層ビル群では、天然ガス利用ガスタービンと廃熱ボイラーで構成されるコジェネレーション型【CO<sub>2</sub> 負荷の低い地球環境にやさしい天然ガスによる小型ガスタービンにて発電、その排熱を利用して（廃熱ボイラー）蒸気を生成しさらに小型蒸気タービンを運転して、高い熱効率かつ大出力（大電力）にも対応した高効率な分散化電源】のものもあり、商用発電システムと類似のシステムを持つものもある。

本研究は、この都市型コジェネレーション（熱併給発電）システムの地震防災の評価システムを熱水力学観点から検討するものである。具体的には、地震振動時にあっても、各種熱機器が過熱状態にならないことを確認するとともに、特に、水から水蒸気への相変化現象を伴う機器の地震時の安全性を評価：水で冷却されている状態で、局所に水蒸気が接する時の安全性および設計の余裕度を定量的に検討する。すなわち、分散化電源である都市型コジェネレーションシステムを、非常時にも対応した自然エネルギー活用による電源同等の自立型電源かつ熱併給発電および廃熱をさらに利用するコンバインサイ

クルを地球環境に優れた効率的な電源である有効性を検討するとともに、当該電源の都市防災の健全性（熱的安全性、大地震時の安全な停止および地震後の速やかなる復帰）を検討することを目的とする。

## 2. 実験装置および方法

実験装置は Fig. 1 に示すような開放循環ループ系である。試験流体には十分に脱気したイオン交換水を用い、マグネットポンプにより試験液を試験部に送り込む。実験パラメータである、液サブクール度は 20K および 0K（すなわち、飽和条件）、液流速は 0.3, 1.3, 3.0 および 3.9 m/s である。試験部には上部に可視部が設けてあり、沸騰様相及び流動様相が観測可能となっている。試験流路は 10×10×500mm（水力等価直径 0.01m）の矩形流路である。伝熱面は電気回路用プリント基板を幅 3mm、長さ 26mm の長さにエッチングした銅薄膜（銅箔厚さ 35μm）を使用し定電流電源により直接通電加熱する。計測部は、電圧タップ線にはさまれた 3×10mm の領域である。伝熱面加熱量（平均熱流束）はジュール発熱量（=電圧×電流）から求め、伝熱面温度は電流と電圧の計測値とあらかじめ得た銅薄膜の温度と電気抵抗値の較正直線から求めた。

振動は、試験部を振動台（工学院大学 EEC プロジェクト仕様。水平方向最大振動加速度 5m/s<sup>2</sup>）に載せることで実現させた。振動は、正弦波状に与えた。実験パラメータである加速度  $a$  および振動周波数  $f$  は、 $a=1.3$  および 4.15m/s<sup>2</sup>、 $f=2, 4$  および 20Hz である。この実験条件の一部は、過去に筆者らが報告した脈動流の実験条件に対応する条件（2kHz 時の  $a=4.15\text{m/s}^2$  と振動振幅=主流比 25%とが対応）である。なお、今年度は、昨年度行った加熱面と水平方向の振動条件に加え、加熱面と垂直方向の振動が除熱限

\* : 工学院大学工学部機械工学科教授

界に及ぼす影響を検討した。すなわち、Fig. 2 に示すように、加熱面を垂直に配置し、水平方向の振動を付加させ、地震時のこの条件における振動が熱流体特性に及ぼす影響を実験的に検討した。Post EEC 期<sup>(1)</sup>の実験条件である加熱面と水平方向の振動条件 (地震時の縦波) および加熱面と垂直方向の振動条件 (地震時の横波) に加え、実際の地震波振動の条件を加えた。振動実験のパラメータは、昨年度同様、加速度  $a$  および振動周波数  $f$  は、 $a=0.4$  (40 Gal)、 $1.3$  (130 Gal) および  $4.15\text{m/s}^2$  (415 Gal: 震度 6 相当)、 $f=2, 4$  および  $20\text{Hz}$  である。

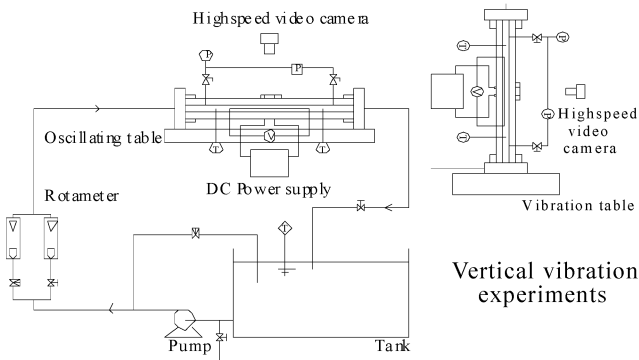


Fig. 1 Experimental Apparatus

### 3. 実験結果及び考察

#### 3.1 振動下の熱伝達特性

Fig. 2 に、液サブクール度  $20\text{K}$  における加熱面に対して水平方向振動の付加時の沸騰熱伝達特性を、Fig. 3 に、液サブクール度  $20\text{K}$  における加熱面に対して垂直方向振動の付加時の沸騰熱伝達特性を、Fig. 4 に、液サブクール度  $0\text{K}$  における加熱面に対して水平方向振動の付加時の沸騰熱伝達特性を示す。Figs. 2、3 および 4 中の矢印記号は、限界熱流束であり、伝熱面が焼損する直前の熱流束である。Figs. 2、3 および 4 に示すように、加熱面の振動の付加により、限界熱流束、冷却限界が上昇することがわかる。

#### 3.2 振動下の限界熱流束

Figs. 5 および 6 に、液サブクール度  $20\text{K}$  における振動実験の各条件に対する冷却限界、すなわち CHF の測定値を質量流束に対して示す。Fig. 5 には、加熱面に対して水平方向振動の付加時の CHF 特性を、Fig. 6 には、加熱面に対して垂直方向振動の付加時の CHF 特性を示す。Figs. 5 および 6 より、質量流量の増加とともに CHF が増加すること、振動の付加

により冷却限界、すなわち CHF が向上することがわかる。

次に、冷却限界 (CHF) に及ぼす加熱面振動の影響を検討するため、Fig. 7 に CHF の振動加速度の依存性を示す。Fig. 6 中には、Lee ら<sup>(2)</sup>の実験結果を併記した。なお、Lee らの実験は、垂直円柱状の加熱管であり、振動方向は主流方向に対して垂直であり、Figs. 3 および 6 の実験体系に対応する。

Fig. 7 より、本実験結果も Lee らの実験結果も、振動加速度 (振動振幅、振動速度) の増加とともに、

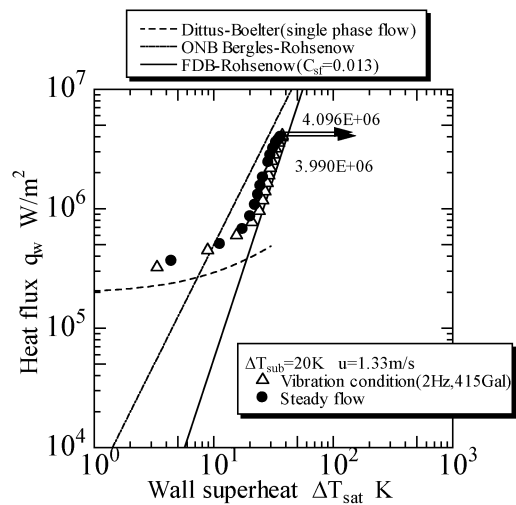


Fig. 2 Boiling curves under horizontal vibration condition for  $1.33\text{ m/s}$

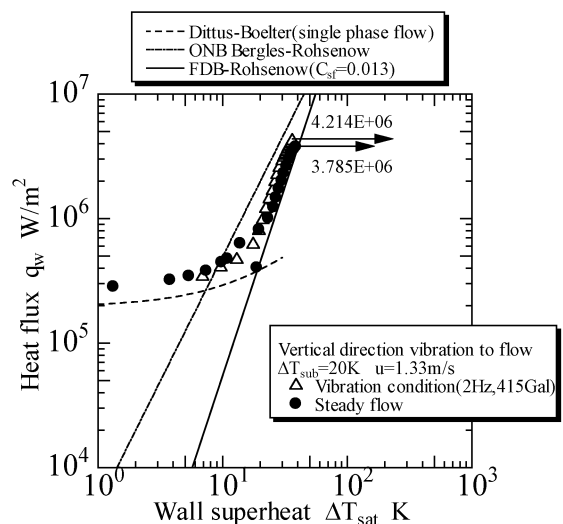


Fig. 3 Boiling curves under vertical vibration condition for  $1.33\text{ m/s}$

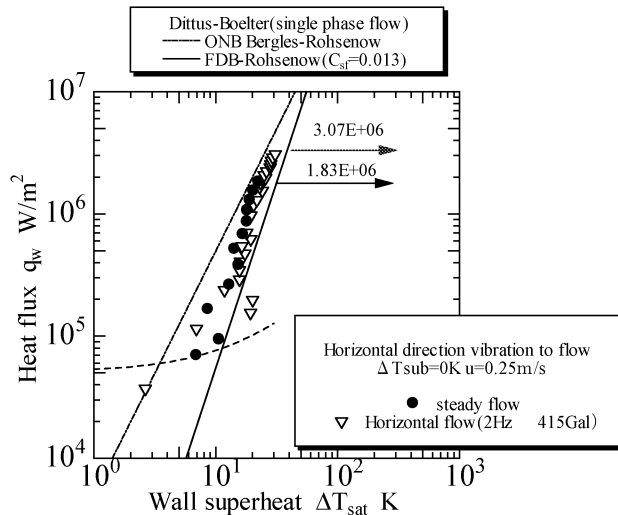


Fig. 4 Boiling curves under horizontal vibration condition for 0.3 m/s

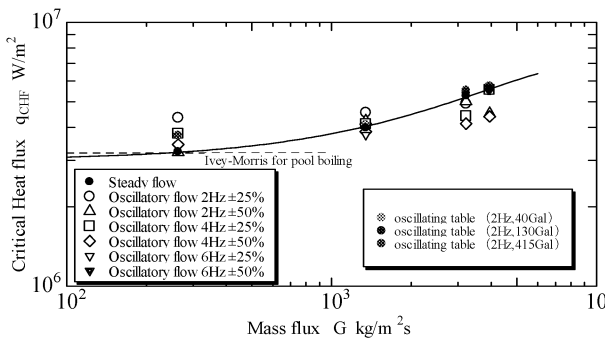


Fig. 5 Relation between mass flux and CHF under horizontal vibration condition

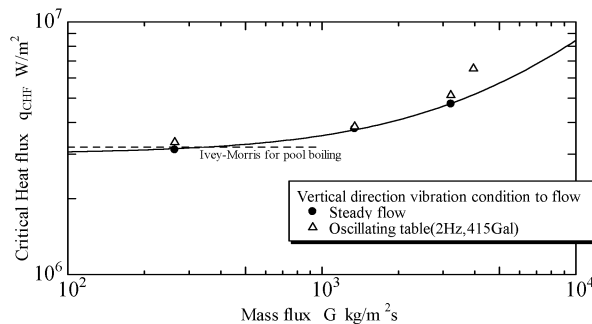


Fig. 6 Relation between mass flux and CHF under horizontal vibration condition

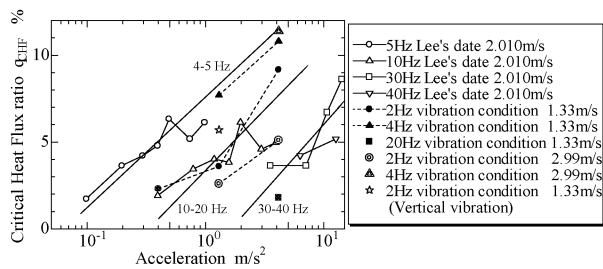


Fig. 7 Effect of CHF on acceleration under vibration

限界熱流束が上昇することがわかる。紙面の都合上、CHF に及ぼす振動振幅および最大振動速度の依存性に関する図示は割愛するが、限界熱流束の上昇率  $En$  に与える振動特性の主となるパラメータは、Lee ら<sup>(2)</sup>の提案する振動振幅  $d$  [mm] (Lee らの相関式:  $En = 0.06825 (d^{0.61683}) \times 100$  [%]) でなく、振動加速度であることが確認された。Fig. 6 より、振動周波数により系統的な係数の差異が認められるものの、本実験結果および Lee らの実験結果より、CHF 増加率  $En$  と振動加速度  $a$  [m/s<sup>2</sup>] との間には、

$$En = C(f) \times a^{0.5}$$

where  $C(f)$ :  $f$  [Hz] で決まる定数 (1)

の関係があることがわかる。

### 3.3 CHF 点付近の沸騰気泡挙動 (CHF 発生機構)

Figs. 8 および 9 に液サブクール度 0K (飽和条件) の CHF 点付近における沸騰気泡挙動 (Fig. 8: 一様流下、Fig. 9: 水平振動条件下) を示す。また、Fig. 10 に、液サブクール度 20K に対する、(a) 一様流下および (b) 水平振動条件下における限界熱流束直前の加熱面上の合体気泡の本観察結果を示す。

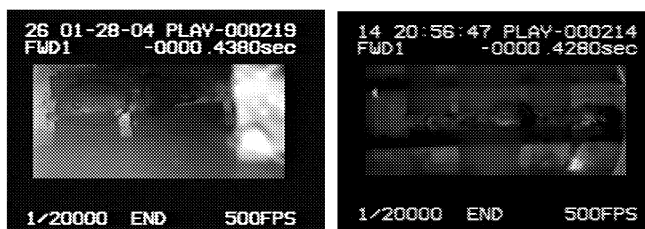
Fig. 8 および Fig. 10(a) に示すように、液サブクール度 0K、すなわち飽和条件では流路中心に蒸気流れが見られ環状流が、液サブクール度 20K では連続的な蒸気塊が見られプラグ流が、それぞれ認められる。つまり、液サブクール度 0K ではドライアウト型の限界熱流束<sup>(3)</sup>、一方、液サブクール度 20K ではバーニアウト型の限界熱流束<sup>(3)</sup>であることがわかる。



Fig. 8 Bubble behavior Image of steady flow for  $\Delta T_{sub}=0K$



Fig.9 Bubble behavior Image of horizontal flow for  $\Delta T_{sub}=0K$



(a) CHF of steady flow (b) CHF of horizontal vibration

Fig.10 Bubble behavior Image of horizontal flow for  $\Delta T_{sub}=20K$

なお、これらの限界熱流束に及ぼす加熱面振動の影響を、観察結果 Fig.9 および Fig.10(b)に基づき検討すると、液サブクール度 20K では、加熱面の振動の付加により合体気泡の大きさが小さくなる (Fig.10(b)) ことがわかった。昨年度検討したように、『振動下の冷却限界の向上化は、加熱面近傍に大きな速度変動により、加熱面直上のマクロ液膜内に、付加的な液体の供給が期待され、その結果、冷却限界が向上化した』と考えられる。一方、液サブクール度 0K に対しては、いまだ検討中ではあるが、加熱面の振動の付加により気液界面が平滑化しているようである。この気液界面の平滑化が、加熱面上の液膜の薄膜化を抑え、限界熱流束の向上化につながったものと考えられる。今後、詳細な検討を続けていく予定である。

#### 4. 結言

地震発生時の都市型コジェネレーション (熱併給発電) システムの地震防災の評価システムを熱水力学観点から検討することを目的に、数 Hz オーダーの振動が限界熱流束 (Critical Heat Flux, CHF) に及ぼす影響を実験的に検討し、(1) 液サブクール度にかかわらず加熱部の加振により CHF は上昇することを示した。(2) 液サブクール度 20K はバーンアウト型限界熱流束、液サブクール度 0K はドライアウト型限界熱流束であることを確認し、今後、限界熱流束に及ぼす加熱面振動の影響をモデル化する予定である。

#### 参考文献

- 1) Ohtake, H., Uchida, N. and Koizumi, Y., Study on Subcooled Flow Boiling Heat Transfer under Vibration Conditions, ICONE17-75738, pp. 1-5, 2009.
- 2) Lee, Y. H., Kim, D. H. and Chang, S. H., An Experimental Investigation on the Critical Heat Flux Enhancement by Mechanical Vibration in Vertical Round Tube, Nucl. Eng. Des., Vol. 229, pp. 47-58, 2004.
- 3) 植田、気液二相流、(1981)、養賢堂.

## 尿素を燃料とする水素エネルギーシステム

キーワード：燃料電池，アンモニア，尿素，バイオリアクタ

雑賀 高\* 浜野 友紀\*\*

### 1. はじめに

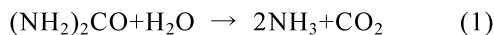
水素 (H<sub>2</sub>) を用いた燃料電池システムは、単位質量あたりのエネルギー密度が高く、使用時に温室効果ガスを排出しないことなどから、実用化に向けた取り組みが行われている。しかし取扱いの難しさやインフラの問題などから、実用レベルまでには至っていないのが現状である。そこで水素キャリアとしてアンモニア (NH<sub>3</sub>) を用いた方法が研究されている (1)。しかし、空気中のアンモニア濃度が 25ppm を超えると人体に対して危険性が出てくるなど、強い毒性を持った物質である。そこで、前報 (2) (3) (4) までに水素キャリアとしてアンモニアを使用する際のデメリットを克服するため、アンモニアを含む化合物である尿素に着目し、尿素を用いる水素エネルギーシステムを提案した。本報では尿素をアンモニアに分解する酵素を用いた加水分解反応について、生体触媒を用いたアンモニア選択発生バイオリアクターを提案し、逆浸透膜を用いた酵素の固定化によりシステムの有用性を示した。

### 2. 尿素を用いたエネルギーシステム

尿素は (NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>CO の化学式で表される。物性比較を Table.1<sup>(4)</sup> に示す。尿素は熱によりアンモニアに分解することができるが、ディーゼルエンジンの排気ガス後処理システムである尿素 SCR システムでは、尿素的加水分解に 180℃ 以上の高温を要する。そこで、より低エネルギーで尿素をアンモニアに分解する方法として、酵素を用いた加水分解反応を検討した。ウレアーゼによる尿素的加水分解反応は以下の式に従って進行する。

Table.1 Properties comparison of H<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub> and Urea

| Properties                           | Liquid         |                 | Solid |
|--------------------------------------|----------------|-----------------|-------|
|                                      | H <sub>2</sub> | NH <sub>3</sub> | Urea  |
| H <sub>2</sub> concentration (mass%) | 100            | 17.8            | 6.7   |
| Molecular weight(g/mol)              | 2              | 17              | 66.06 |
| Density at 20°C (kg/m <sup>3</sup> ) | 70.90          | 680             | 1335  |
| Energy density(kJ/g)                 | 118.59         | 18.63           | 9.07  |
| Energy Density(kJ/L)                 | 8408           | 12668           | 12106 |
| Melting heat(kJ/mol) at 25°C, 100kPa | -              | 34.18           | -15.4 |



尿素を用いた水素エネルギーシステムのシステム概要を Fig.1 に示す。尿素からアンモニアを生成するプロセスと、アンモニアから水素を生成するプロセスの二段階となっており、尿素を水に溶解させる際の潜熱と、アンモニアを気化させる際の潜熱による冷却システムを組み込んだ発電給湯冷却コージェネレーションシステムとなっている。

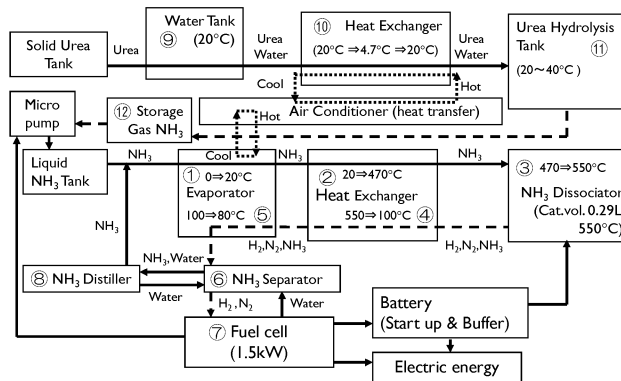


Fig.1 Concept of urea energy system and Flow design

### 3. 酵素固定化実験

#### 3.1 NH<sub>3</sub> 選択発生バイオリアクター

ウレアーゼのような生体触媒を使用する反応器系はバイオリアクターと呼ばれ、様々な分野で開発が行われている。化学触媒を用いるのに対し、生体触媒は生成物の絶対質量は少ないものの、常温・常圧での反応が可能である点や、特定の物質を特定の物質に変換可能である点 (基質特異性) が大きな特徴となっている<sup>(5)</sup>。尿素を選択的にアンモニアに分解するウレアーゼを使用するにあたり、1 回の反応に酵素を 1 回投入する回分式ではなく、現状では高コストである酵素を繰り返し使用することが求められる。酵素を固定化する方法は様々であるが、容易かつ安価に行える方法として、限外ろ過膜で仕切られた空間内に触媒を閉じ込める包括法の一つである膜型がある。今回は東レ社製酢酸セルロース RO 膜を

\* : 工学院大学 GE 部機械創造工学科, \*\* : 工学院大学大学院機械工学専攻修士課程

使用し、逆浸透膜でパウダータイプのウレアーゼを包含する方法を用いた。

### 3.2 実験方法

酵素の活性因子として、反応器内の温度、pH、水溶液濃度が重要であるが、前報<sup>(3)(4)</sup>までにウレアーゼの最適活性条件を温度 40 °C、尿素水溶液濃度 10 mass%と結論付けた。水溶液中のウレアーゼにより発生したアンモニアは、アンモニア蒸気圧によってガス化するが、一部は水溶液中に残留する。残留したアンモニアは水溶液 pH を上昇させる要因となり、水溶液 pH 9 以上の環境において、80%程度の失活があるとの報告<sup>(6)</sup>から、1 回の測定における発生上限量を 2000ppm と設定した。実験手順は次の通りである。試薬特級尿素 (固形タイプ) を精製水に常温で混合して 10 mass%の尿素水溶液 400 g を作成する。酢酸セルロース RO 膜で包含したウレアーゼ 1 g (分解量 115,000 Unit 相当、1 Unit = 1 μmol/min の分解量) を反応器内に設置し、尿素水溶液を反応器に投入後、ウォーターバスによって 40 °C に保温する。加水分解により発生するアンモニアを、堀場製作所製フーリエ変換赤外分光光度計を用いて測定する。また、測定後尿素水溶液の pH を、セントラル科学製 pH 測定装置 UC-23 を用いて測定する。この一連の操作をアンモニアの発生が確認されなくなるまで行う。

### 4. 実験結果

1 回目の測定における活性を 1 とした残存酵素活性率の比較結果を Fig.2 に示す。測定を開始して 3 日目まではアンモニアの発生量は顕著で、酵素が十分に活性を保っていることが確認できる。その後は測定を重ねるごとに減少傾向を示している。測定開始から 10 日目まではアンモニアの発生が確認されたが、16 日目に行った測定ではアンモニアの発生量は 0 ppm となった。また各測定時における、測定後の反応器内水溶液の pH を Fig.3 に示す。アンモニア蒸気圧により発生するアンモニアガスと、水溶液中に残留するアンモニアが飽和するポイントが pH 9.3 付近であることが分かる。残存酵素活性率が 100 % である 3 日目までの水溶液 pH と、残存酵素活性率が 20% に低下した 10 日目の水溶液 pH が近似していることから、膜内にはウレアーゼが残存し、逆浸透膜を介してウレアーゼによる尿素的加水分解反応が行われていることが分かった。これにより、RO 膜を

用いた酵素の固定化が可能であることを実証した。

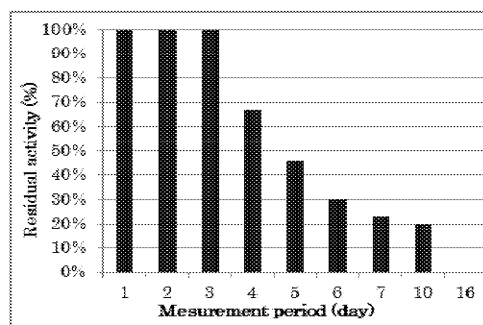


Fig.2 Comparisons of residual activities by stabilized urease

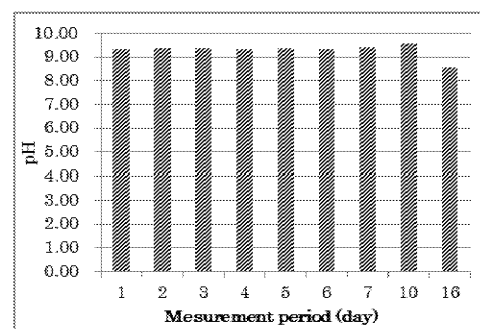


Fig.3 Postmeasurement Urea water solution pH

### 5. 結言

逆浸透膜を用いた膜型による固定法を用いて、ウレアーゼを固定できることを実証した。また酵素の繰り返し使用が求められるバイオリクターにおいて、ウレアーゼが繰り返し使用できることを確認し、繰り返し使用できる条件を明らかにした。これにより、尿素を選択的にアンモニアに分解する酵素を用いた、バイオリクターの有用性を示した。

### 参考文献

- (1) T. Saika, T. Nohara, et al, JSME International Journal, Series B, Vol. 46, No. 1, pp. 78-83, 2006.
- (2) T. Hamano, T. Nohara, T. Saika, 第 55 回日本エネルギー学会関西支部研究発表会, 58-59, 2010.
- (3) T. Nohara, M. Iwami T. Saika, 第 18 回日本エネルギー学会, 4-3-2, pp. 248-249., 2009.
- (4) T. Nohara, M. Iwami T. Saika, 第 19 回日本エネルギー学会, 4-9-3, pp.278-279., 2010.
- (5) 独立行政法人 工業所有権情報・研修館 平成 16 年度 特許流通支援チャート 化学 23 バイオリクター技術, 2005.
- (6) TOYOBO ENZYMES, URH-201 Enzymes Diagnostic Reagent Grade, P1-3, 2008.

## 首都直下地震を想定した新宿駅周辺の被災人口の推計

キーワード

首都直下型地震, 非定住被災者, 受療行動予測, 最前線救急医療拠点

長澤 泰一<sup>1\*</sup>

山下哲郎<sup>2\*\*</sup>

笥 淳夫<sup>3\*\*\*</sup>

村上正浩<sup>4\*\*\*\*</sup>

佐藤 豪<sup>5\*\*\*\*\*</sup>

### 1. はじめに

#### 1.1 研究の背景

現在、首都直下地震が懸念されており、その事態に備え、様々な組織や企業で対応策が検討され、整備が進められている。

一方、都心部には多くの人々が様々な目的で集まり、地域内に居住していない非定住者が多く存在している。都心部における震災時において、都心部に集中した人口によって多数の負傷者が生じ、治療提供が十分に行われず、多くの負傷者たちが路頭に迷う可能性がある。しかし、都心部に多く滞在している非定住者に対する防災計画や受療計画の立案は困難であり、検討は必要だが、手つかずの状態になっているのが現状である。

#### 1.2 研究の目的

都市防災計画の課題である都心部の溢れた人口と、震災時に予想される多くの死傷者に対し、円滑な医療提供が行えるよう、都心部の災害医療の可能性を探ることを目的として、本研究では非定住者に着目し、これまでの定住者中心の想定とは異なる、震災時の受療計画について検討する。

震災時においては、救護所等の受け入れ体制が整うまでの間に治療が必要な人や、足の負傷等により自力で救護所に辿り着けない人、救護所や医療施設等の場所が分からず治療を受けられない人たちのために、最前線医療拠点が重要と考える。本研究の仮説では、公共空間や施設・オフィスビルのホール等を利用し、最前線医療拠点を設け、行政(区・都・消防・自衛隊等)やDMAT等によって、被災患者に対して医療提供が可能ではないかというものであり、その条件を整理することが具体的な検討課題である。

#### 1.3 研究の方法

都心部の震災時における救急医療計画を検討していくため、新都心である新宿駅周辺<sup>注1)</sup>を今回の研究対象とし、新宿区地域防災計画と同様に東京湾北部地震 M7.3 風速 15m<sup>1)</sup>を想定するものとする。

この想定をもとに、医療施設や救護所等の位置関係、死傷者数の分布、負傷者の受療行動などから、震災時における救急医療計画を検討する。具体的には、新宿駅周辺の路上空間における交通量調査から死傷者分布を推計し、また被災者の受療行動をアンケート調査によって明らかにすることにより、最前線救急医療拠点の配置方法や拠点数、拠点規模等を検討していく。

#### 1.4 新宿区の現状と非定住者

新宿区の昼間人口は、夜間人口の約2.5倍に当たる77万人程度であり、就業や観光などのために地域外から多くの人たちが訪れ、震災時には買い物客等の非定住被災者が最も多く発生するエリアである(表1)。また新宿駅周辺エリアには災害拠点病院は2つあるが、救護所や避難所等は1つもなく(図1)、震災時において避難や受療計画に不安がある地域となっている。

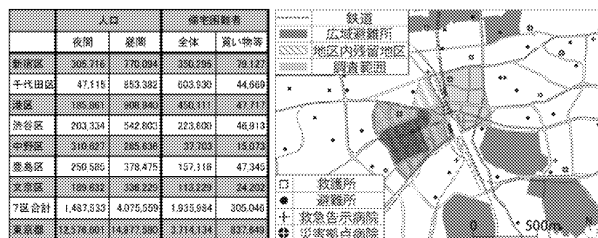


表1. 新宿区の人口<sup>2)</sup>

図1. 新宿駅周辺地図

1\* : 工学院大学大学院工学研究科 教授・工学博士  
 2\*\* : 工学院大学大学院工学研究科 教授・博士(工学)  
 3\*\*\* : 工学院大学大学院工学研究科 教授・博士(工学)  
 4\*\*\*\* : 工学院大学大学院工学研究科 准教授・博士(工学)  
 5\*\*\*\*\* : 工学院大学大学院工学研究科 建築学専攻(所属: 山下てつろう研究室)



## 2. 新宿駅周辺の屋外死傷者分布

### 2.1 屋外死傷者分布の概要

死傷者の多い地域を明らかにするために、屋外の人口分布を地上と地下に分け、路上空間における歩行者交通量調査<sup>注2)</sup>により把握し、屋外死傷者算定式<sup>3)</sup>を用いて屋外死傷者分布を推計した。調査は平日/休日・晴れ/雨・朝(8時)/昼(13時)/夜(19時)に行い、屋外死傷者は屋外落下物、ブロック塀等の倒壊によるものとした。また、屋外死傷者を算定するにあたり、地下街や地区内残留地区も、他の地域と同様の算定式により算出して検討する。尚本研究で言う分布とは地理的位置と人数の情報を示している。

### 2.2 屋外における地上歩行者の交通量調査

地上歩行者の交通量調査は、デジタルカメラの録画機能を使用し、自転車で調査範囲を回り録画したものを、地図上に人数をカウントし、記載することで実施した。調査の結果として、西口は4,000人から6,000人程度に安定しており、東口は2,000人から10,000人程度と時間によって人口が大きく異なった。



写真 1. 地上調査時の様子

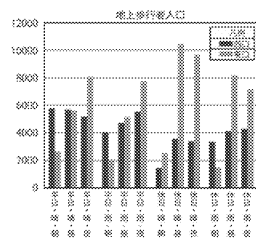


図 2. 地上歩行者人口

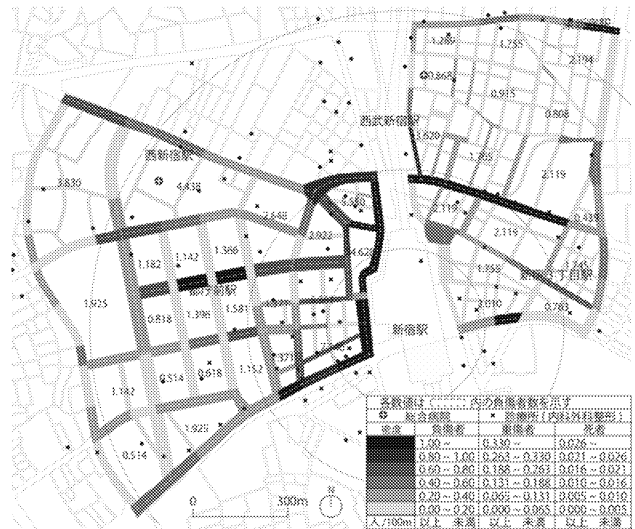


図 3. 地上新宿駅周辺の人口分布図(平日・晴・朝)

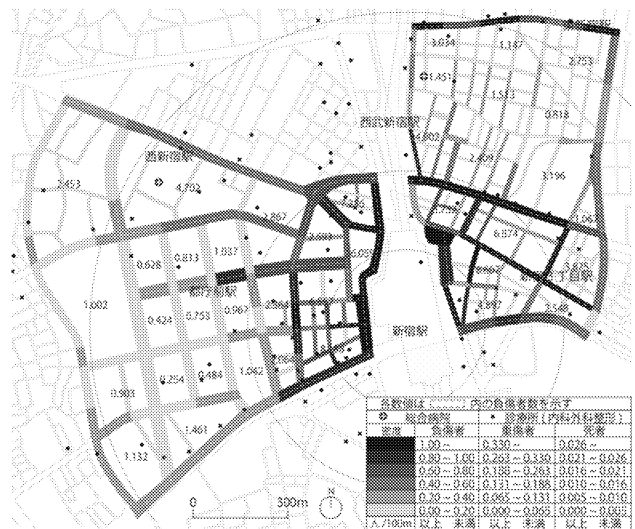


図 4. 地上新宿駅周辺の人口分布図(平日・晴・昼)

### 2.3 地上歩行者の死傷者分布

図 3~5 は、平日・晴・朝/昼/夜における死傷者分布で、図中の円は新宿駅から直線距離 250、500、1,000mのラインを示したものである。負傷者と新宿駅までの距離の関係性から、地上歩行者の死傷者分布は駅から 500m 圏内が多いということが分かる。

平日の新宿駅西口周辺をみると、屋外地上滞留人口の時間帯による差は1,000人程度と小さいため、朝/昼/夜において負傷者数は約 50 人と時間帯による変化は見られない。一方、平日の東口周辺では、滞在者は時間帯によって5,000人程度の差があり、死傷者数は朝が25人、昼が55人、夜が80人程度と時間帯によって死傷者数に変化が大きく見られる。尚、屋外地上負傷者算定式は注 3)に示す。

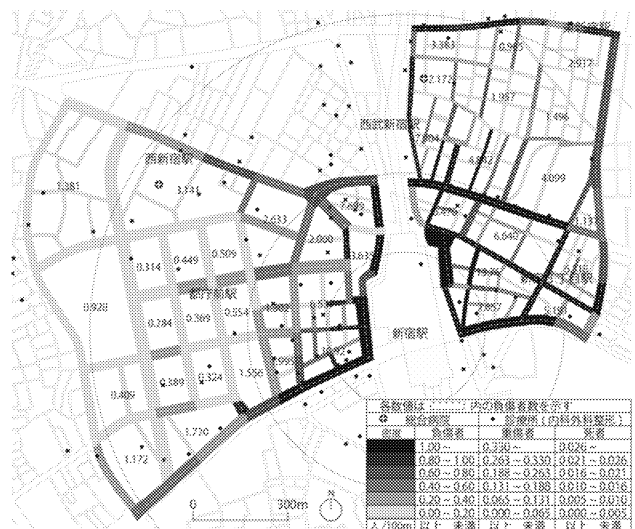


図 5. 地上新宿駅周辺の人口分布図(平日・晴・夜)



無いことなどから、震災時に被災者が自力で病院に向かうことは少ないのではないかと予想される。

表 2. 屋外負傷者数 (西、東、合計)

| 項目   | 人口     | 西     |       |       |       |       | 東     |        |        |       |       | 合計    |   |   |   |   |  |
|------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|-------|-------|-------|---|---|---|---|--|
|      |        | 朝     | 昼     | 夜     | 計     | 率     | 朝     | 昼      | 夜      | 計     | 率     | 朝     | 昼 | 夜 | 計 | 率 |  |
| 地上人口 | 5,792  | 5,710 | 5,178 | 4,589 | 4,720 | 5,542 | 2,695 | 5,617  | 8,074  | 2,078 | 5,194 | 7,747 |   |   |   |   |  |
| 地上負傷 | 56     | 67    | 52    | 41    | 47    | 55    | 26    | 30     | 81     | 21    | 51    | 77    |   |   |   |   |  |
| 地下人口 | 4,876  | 2,354 | 3,312 | 5,390 | 2,226 | 3,378 | 1,463 | 1,111  | 2,126  | 1,650 | 1,389 | 1,959 |   |   |   |   |  |
| 地下負傷 | 46     | 22    | 33    | 54    | 22    | 34    | 15    | 11     | 21     | 17    | 11    | 20    |   |   |   |   |  |
| 合計人口 | 10,618 | 7,868 | 8,491 | 9,979 | 6,946 | 8,921 | 4,158 | 6,728  | 10,200 | 3,728 | 6,583 | 9,706 |   |   |   |   |  |
| 合計負傷 | 104    | 79    | 85    | 95    | 69    | 89    | 41    | 67     | 102    | 37    | 62    | 97    |   |   |   |   |  |
| 地上人口 | 1,452  | 3,571 | 3,389 | 3,374 | 4,121 | 4,314 | 2,552 | 10,450 | 9,636  | 1,505 | 8,176 | 7,166 |   |   |   |   |  |
| 地上負傷 | 14     | 36    | 34    | 34    | 41    | 43    | 25    | 104    | 97     | 15    | 82    | 71    |   |   |   |   |  |
| 地下人口 | 954    | 1,898 | 1,755 | 1,027 | 1,359 | 2,222 | 447   | 1,442  | 1,886  | 472   | 1,517 | 2,018 |   |   |   |   |  |
| 地下負傷 | 10     | 17    | 16    | 10    | 14    | 22    | 4     | 14     | 10     | 5     | 15    | 20    |   |   |   |   |  |
| 合計人口 | 2,456  | 5,269 | 5,154 | 4,401 | 5,480 | 6,536 | 2,999 | 11,902 | 11,522 | 1,977 | 9,693 | 9,184 |   |   |   |   |  |
| 合計負傷 | 24     | 53    | 50    | 44    | 55    | 65    | 30    | 118    | 110    | 20    | 97    | 91    |   |   |   |   |  |



図 10. 死傷者分布と病院との位置関係図 (平日・晴れ・昼)

### 3. 新宿駅周辺の屋内死傷者分布

#### 3.1 屋内死傷者分布の概要

地域内のどこに多くの屋内死傷者が発生するかを把握する。屋内人口分布を、街区面積と容積率から算出した仮想延べ床面積と、パーソントリップ調査の施設内滞留者から、屋内人口分布を算出する。この屋内人口分布に屋内死傷者算定式<sup>4)</sup>を用いて、屋内死傷者分布を推計する。屋内負傷者はゆれ・液状化等の建物被害、屋内移動・転倒物、屋内落下物による負傷とし、それぞれの死傷者算定式を用いて算出した。

また、屋内死傷者を算定するに辺り、火災による死傷者数については、火災の発生場所が推測できず、分布としては現せないため、ここでの屋内死傷者数の推計では除外して計算しており、パーソントリップ調査データは平日・晴れのものとして扱うものとする。

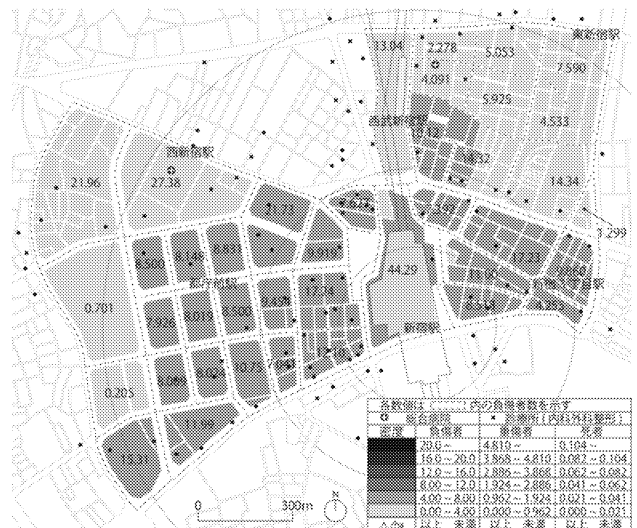


図 11. 新宿駅周辺の屋内死傷者分布 (朝)



図 12. 新宿駅周辺の屋内死傷者分布 (昼)



図 13. 新宿駅周辺の屋内死傷者分布 (夜)

### 3.2 屋内死傷者分布

図 11~13 は、朝/昼/夜における屋内死傷者分布である。図を見ると、新宿駅周辺の西口、東口ともに駅前で屋内死傷者発生することが分かる。特に西口は駅から少し離れた都庁周辺でも、超高層ビル群が建ち並び、土地面積に比べ集客率が高く屋内人口が多いため、屋内死傷者数が多発する地域だと分かる。

また、新宿駅周辺は商業地域のため、就業時間前の朝方の時間帯では屋内にいる人数が少なく、あまり死傷者を出さない。しかし、就業時間帯中は就業者や観光客等で多くの人が屋内に滞在しているため、多くの死傷者を発生させてしまうことが分かり、就業時間帯か否かで死傷者の発生が大きく異なるということが分かる。尚、屋内負傷者算定式は注 6) に示す。

### 3.3 小結

屋内死傷者数を新宿駅西口周辺と東口周辺で分けると、西口の死傷者数が新宿駅周辺全体の死傷者の 65%で、東口が 35%と、西口の方が東口に比べ多くの死傷者が発生するのが分かる (図 14)。

また新宿駅周辺は就業時間と就業時間外で死傷者数が大きく変わり、昼は朝の 5~6 倍、夜は朝の約 4 倍の死傷者が発生する。震災時間によって、負傷者数が大きく変わってくるのが、新宿駅周辺の震災被害の特徴だと言え、そのため時間帯別に必要とされる医療拠点数も変わってくるため、医療拠点配置方法を就業時間帯と就業時間外での 2 つに分けて、検討した方が良いと思われる。

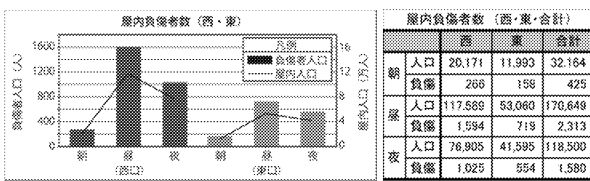


図 14. 屋内死傷者数 (西、東、合計)

## 4. 被災時の行動予測

### 4.1 被災時行動予測の概要

新宿駅周辺の被災者が震災時において、どのような受療行動を取るものか把握しなければ、災害時における救急医療計画は検討し得ない。そのためアンケート調査をもとに、首都直下地震を想定した被災者の受療行動を予測していく。

### 4.2 アンケート調査の概要

アンケート調査は、新宿区役所前と工学院大学前広場で H23 年 10 月 7 日から 11 月 15 日までの 21 日間、12 時から 17 時の間で行った。調査方法は、各場所で来訪者および職員等に対し、街頭アンケートを行うものである。具体的には、東日本大震災直後に取った行動、その日の夜はどこで過ごしたか、帰宅開始時間や手段などを聞く、東日本大震災時の行動調査アンケートと、首都直下地震想定時の、負傷を負った時の受療行動、病院の認知度、受療するための情報収集の在り方などを聞く、首都直下地震時における受療行動アンケートである。尚、アンケートの有効回答数が 1,184 枚であった。しかし、東日本大震災時の行動調査では、最大震度 4 以下<sup>5)</sup> の県等や海外にいたものを除き、また各問いに対して不明や不正回答を除いているため、各問いによって有効回答数はそれぞれ異なっている。

表 3. アンケート結果

| 年齢    | 救急車を呼ぶ  | 近所の人を呼ぶ | 近所の建物へ避難 | 誘導員等    | その他     | 合計    |
|-------|---------|---------|----------|---------|---------|-------|
| 10代未満 | 2(100%) | 0(0%)   | 0(0%)    | 0(0%)   | 0(0%)   | 2     |
| 10代   | 20(27%) | 1(4%)   | 7(27%)   | 4(15%)  | 8(30%)  | 26    |
| 20代   | 36(79%) | 11(23%) | 8(18%)   | 30(77%) | 16(33%) | 459   |
| 30代   | 12(18%) | 24(18%) | 10(7%)   | 16(11%) | 8(5%)   | 148   |
| 40代   | 13(32%) | 28(19%) | 19(13%)  | 15(10%) | 7(5%)   | 149   |
| 50代   | 10(82%) | 18(14%) | 13(10%)  | 18(14%) | 10(8%)  | 131   |
| 60代   | 8(68%)  | 15(11%) | 15(11%)  | 23(17%) | 14(10%) | 137   |
| 70代以上 | 5(66%)  | 0(0%)   | 2(25%)   | 8(100%) | 1(12%)  | 78    |
| 合計    | 88(75%) | 20(18%) | 21(19%)  | 89(8%)  | 52(5%)  | 1,131 |

|        | 大久保病院   |         | 京総合病院   |         | 東京医科大学病院 |         | 救急センター  |         |
|--------|---------|---------|---------|---------|----------|---------|---------|---------|
| 実数(%)  | 知っている   | 知らない    | 知っている   | 知らない    | 知っている    | 知らない    | 知っている   | 知らない    |
| ほぼ毎日   | 22(46%) | 35(54%) | 23(36%) | 41(64%) | 34(54%)  | 30(46%) | 15(23%) | 48(75%) |
| 週に数回   | 9(38%)  | 15(52%) | 6(27%)  | 13(73%) | 10(40%)  | 15(60%) | 4(20%)  | 19(80%) |
| 月に数回   | 5(25%)  | 9(45%)  | 4(20%)  | 10(50%) | 6(30%)   | 9(45%)  | 1(5%)   | 13(65%) |
| 年に数回   | 2(10%)  | 3(15%)  | 1(5%)   | 5(25%)  | 2(10%)   | 3(15%)  | 1(5%)   | 5(25%)  |
| 今までに数回 | 2(9%)   | 2(9%)   | 1(5%)   | 1(5%)   | 1(5%)    | 1(5%)   | 2(9%)   | 1(5%)   |
| 合計     | 49(42%) | 67(58%) | 36(32%) | 79(68%) | 55(48%)  | 60(52%) | 24(21%) | 90(79%) |

| 実数(%) | 携帯電話等   | ランコ等    | 近くの人    | 近くの建物   | 誘導員等    | その他     | 合計    |
|-------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|-------|
| 10代未満 | 2(100%) | 0(0%)   | 0(0%)   | 0(0%)   | 1(50%)  | 1(50%)  | 2     |
| 10代   | 22(21%) | 4(15%)  | 12(44%) | 9(33%)  | 15(56%) | 3(11%)  | 27    |
| 20代   | 33(72%) | 13(30%) | 27(61%) | 15(34%) | 31(68%) | 8(19%)  | 481   |
| 30代   | 9(64%)  | 4(29%)  | 9(63%)  | 4(29%)  | 11(77%) | 2(14%)  | 148   |
| 40代   | 8(56%)  | 4(29%)  | 8(58%)  | 6(43%)  | 11(72%) | 1(7%)   | 154   |
| 50代   | 6(49%)  | 4(31%)  | 6(47%)  | 4(33%)  | 8(65%)  | 1(13%)  | 136   |
| 60代   | 4(24%)  | 2(21%)  | 8(87%)  | 3(28%)  | 8(82%)  | 1(12%)  | 140   |
| 70代以上 | 2(29%)  | 1(18%)  | 4(54%)  | 2(28%)  | 4(56%)  | 2(27%)  | 84    |
| 合計    | 67(59%) | 31(27%) | 62(57%) | 38(33%) | 77(68%) | 19(17%) | 1,152 |

### 4.3 首都直下地震時における受療行動予測

捻挫程度の軽傷を負った場合の受療行動に関して見ると、この質問の有効回答数が1,131人に対して79%に当たる900人が、治療しない、または自分・自宅で治療すると答えた。つまり、重傷者・死者の100%の人と、軽傷者の21%の人が医療施設や救護所に向かうと、このアンケート結果から予想され、震災時刻を13時と想定すると軽傷者366人、重傷者253人、死者21人、合計640人が震災時に受診を望むことになる。

しかし、新宿駅周辺の総合病院の場所の認知度を調べると、知っていると答えた人の割合はどれも50%以下であり、特にほぼ毎日新宿を訪れている人を除いた各病院の認知度は、大久保病院が37%、JR総合病院が26%、東京医科大学病院が40%となり、病院の場所の認知度は低いと言える。救護所や避難所等の場所の認知度も全体で21%と低いことが分かった。また治療できる施設を探す際に利用する情報媒体を見ると、携帯電話等、近くの人、誘導員等がアンケート回答者数に対して約6割の回答率と情報媒体として高い利用が予想される結果になった。

### 4.4 小結

死傷者推計と受療行動から被災時の受診者数を推定すると、新宿駅周辺では640人となる。そのうち重傷者数が253人で受診者数の約40%に当たり、大きな数値を占めている(表4)。また病院や救護所など場所の認知度は全体で36%と低く、認知度の低さから多くの非定住者が自力で治療できる施設を見つけ出すのは困難だと思われる。負傷した際に治療を行う施設を利用する情報媒体は、携帯電話等、近くの人、誘導員が回答として多く、この3種が震災時における情報媒体としての利用や期待を示しているのが推測される。

表4. 死傷者想定と患者推定<sup>6)</sup>

| 対象地域         | 総数    | 軽傷者    | 重傷者   | 死者  | 合計        | 備考               |
|--------------|-------|--------|-------|-----|-----------|------------------|
| 新宿区地域防災計画    | 1,088 | 7,081  | 827   | 80  | 2,710     | 新宿区地域防災計画・H27    |
| 東京都防災計画      | 1,088 | 8,567  | 899   | 80  | 1,000     | 東京都防災計画・H27      |
| 消防庁防災計画      | 1,088 | 3,251  | 1,261 | 100 | 2,332     | 消防庁防災計画・H27      |
| 国土交通省防災計画    | 1,088 | 8,132  | 217   | 18  | 2,182     | 国土交通省防災計画・H27    |
| 国土交通省防災計画(仮) | 1,088 | 12,009 | 1,884 | 136 | 4,827     | 国土交通省防災計画(仮)・H27 |
| 東京都防災計画(仮)   | 1,088 | 8,326  | 382   | 80  | 2,118     | 東京都防災計画(仮)・H27   |
| 東京都防災計画(仮)   | 1,088 | 1,144  | 202   | 3   | 680       | 東京都防災計画(仮)・H27   |
| 東京都防災計画(仮)   | 1,088 | 1,288  | 188   | 18  | 488       | 東京都防災計画(仮)・H27   |
| 東京都防災計画(仮)   | 1,088 | 1,14   | 20    | 7   | 3,320,000 | 東京都防災計画(仮)・H27   |
| 東京都防災計画(仮)   | 1,088 | 6      | 1     | 0   | 167,162   | 東京都防災計画(仮)・H27   |
| 東京都防災計画(仮)   | 1,088 | 2      | 0     | 0   | 48,676    | 東京都防災計画(仮)・H27   |

注1: 軽傷者・重傷者×21%アンテナ4設置+重傷者×実数  
注2: 軽傷者×21%+軽傷者×21%+軽傷者×21%+軽傷者×21%

## 5. 総括

### 5.1 最前線医療拠点の可能性

新宿駅周辺地域の土地面積は新宿区の約10%<sup>7)</sup>なのに対し、負傷者数は1,744人と新宿区の約20%であり、多くの負傷者が発生してしまう地域と言える。また、受診者数は13時で640人であり、医療提供を行う必要があるが、新宿駅周辺の医療施設だけでは到底全ての受診者に医療提供し得ないと考えられる。周辺の医療施設で補えきれない受診者に関しては、救護所などで対処していかなくてはならないが、新宿駅周辺では救護所が少ないのが現状である。そのため、溢れた受診者に対してオフィスビルなどのホール等を利用した最前線医療拠点を設置し、十分な医療提供と、円滑な医療提供が行えるよう最前線医療拠点を配置することが、新宿駅周辺の医療提供において有効な手段ではないだろうか。

### 5.2 最前線医療拠点の配置

本研究の結果は仮説を裏付けるものと考え、最前線医療拠点の配置方法としては、本稿では仮に就業時間帯において新宿駅周辺に11個の最前線医療拠点を配置すると仮定する。

まず、東西の死傷者数の割合は、西口が約65%であり、東口が約35%であることから、西口に7個、東口に4個、医療拠点を配置することになり、災害拠点病院も合わせると西口に8拠点、東口に5拠点となる。また、駅までの距離負傷者の割合から(表5)、

表5. 駅との距離と負傷者

| (m)  | 西口       |          |          |    | 東口      |          |          |    |
|------|----------|----------|----------|----|---------|----------|----------|----|
|      | 割合       | 昼        | 夜        | 拠点 | 割合      | 昼        | 夜        | 拠点 |
| 200  | 34%(89)  | 18%(276) | 21%(213) | 1  | 26%(52) | 29%(229) | 27%(183) | 1  |
| 500  | 44%(117) | 34%(532) | 34%(348) | 3  | 45%(92) | 43%(342) | 44%(294) | 2  |
| 800  | 42%(111) | 37%(589) | 37%(374) | 3  | 24%(48) | 24%(194) | 24%(159) | 1  |
| 1100 | 19%(51)  | 16%(260) | 16%(165) | 1  | 5%(11)  | 4%(35)   | 5%(30)   | 1  |

※( )の数値は各距離における負傷者数を示す

駅からの距離と拠点数の割合を導くと、西口の200mに1拠点、500mに3拠点、800mに3拠点、1,100mに1拠点を配置することになり、東口では200mに1拠点、500mに2拠点、800mに1拠点、1,100mに1拠点となる。さらに、時間帯別の負傷者の割合が、就業時間帯と就業時間帯外で5:1となるので、就業時間帯外ならば死傷者の割合より西口と東口にそれぞれ災害拠点病院が1病院ずつと、最前線医療拠点が1拠点ずつ設ければ良いことになる。

東西の負傷者数の関係、負傷者数と駅までの距離の関係、就業時間帯と就業時間帯外の負傷者の関係から以上の最前線医療拠点配置を導いた。最終的に死傷者分布図から、最前線医療拠点を配置すると図16のようになる。

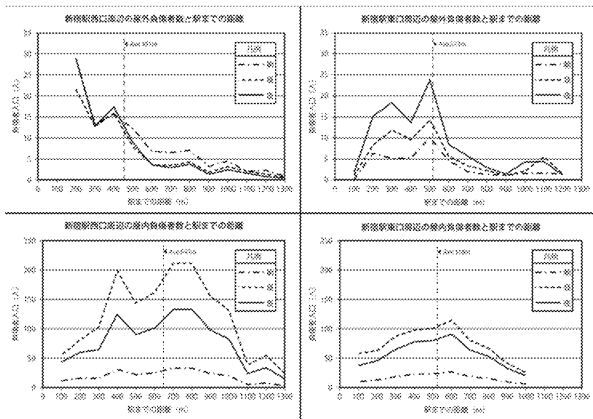


図 15. 平日屋内外負傷者人数と駅までの距離

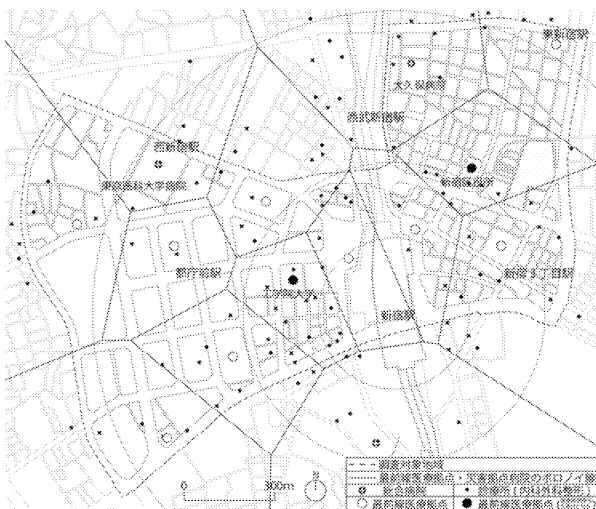


図 16. 最前線医療拠点配置

### 5.3 今後の災害時救急医療計画について

本稿における死傷者算定では、超高層ビルの揺れ等について考慮されておらず、今後、超高層ビルの揺れによる死傷者算定式が確立し次第、死傷者算定式を改善し、死傷者数やその分布等について追求していく必要がある。

また最前線医療拠点数や具体的な配置方法の提案を、本稿の屋内外死傷者分布や震災時における受療行動予測結果から、医療機関や行政等と議論し、震災時に医療施設では賄いきれない受診者数や、派遣医療チーム数とその単位時間当たりの診察可能人数などを把握することで、更なる最前線医療拠点の検

討をしていく。

### 謝辞

本研究は私立大学戦略的研究基盤形成「建築・都立の震災と震災時昨日継続に関する研究拠点の形成」、科学研究費補助金(挑戦的萌芽研究)「震災時における都心部非定住者の受療行動予測・対応策に関する研究」による研究費により、調査を交通量調査およびアンケート調査を実施しました。

また、ご指導して下さいました諸先生の方々、アンケートにご協力して下さいました方々、調査に協力して下さいました新宿区役所様、工学院大学山下研究室のみなさん、ありがとうございました。ここに深謝申し上げます。

### 参考資料

- 1)新宿区：地域防災計画(H20年度修正)本冊，p.29
- 2)東京都：首都直下地震による東京の被害想定(H18)手法編，p.58  
新宿区：帰宅困難者対策促進協議会(H16年3月)，p.2
- 3,4)東京都：首都直下地震による東京の被害想定，手法編，P0.14
- 5)気象庁：地震・火山月報(H22年4月)防災編，p.322
- 6)総務省：国勢調査(H17年度)，人口データ  
新宿区：地域防災計画(H20年度修正)本冊，p.29  
都市防災研究所：医療業務地区DCP施設連携構想検討業務(H22年3月)中間報告，p.33  
東日本大震災ダイジェスト(H23年)，p.8，近代消防社  
東京都市圏交通計画協議会：東京PT調査(H20年度)
- 7)新宿区：第35回 新宿区の統計(H23年度)

### 注

注1)新宿駅周辺は新宿駅、西新宿駅、都庁前駅、西武新宿駅、新宿3丁目駅、東新宿駅を含む、西をJR線路・十二社通り・青梅街道・甲州街道、東を明治通り・JR線路・甲州街道・職安通りの幹線道路で囲まれた地域とする。

注2)地上・地下交通量調査実施日(H22年度)

新宿区の特徴から平日は月曜から木曜日までとし、金曜日は平日から除外して調査を行った。

|   |   |       |       |   |   |   |   |      |   |       |   |   |   |
|---|---|-------|-------|---|---|---|---|------|---|-------|---|---|---|
| 平 | 晴 | 11/11 | 朝     | 昼 | 夜 | 平 | 晴 | 11/4 | 朝 | 昼     | 夜 |   |   |
| 地 | 日 | 雨     | 10/20 | 朝 | 昼 | 夜 | 地 | 日    | 雨 | 11/1  | 朝 | 昼 | 夜 |
| 上 | 休 | 晴     | 11/7  | 朝 | 昼 | 夜 | 下 | 休    | 晴 | 11/14 | 朝 | 昼 | 夜 |
|   | 日 | 雨     | 10/24 | 朝 | 昼 | 夜 |   | 日    | 雨 | 10/31 | 朝 | 昼 | 夜 |

※は雨の降っていない時間帯を示す

注3) 屋外地上負傷者算定式

|  |
|--|
| <b>地上空間におけるブロッック崩壊による死傷者算定式</b>  |
| 死者数 = $0.499149 \times B_1 \times P_1 \div S_1 \div 1689.163$          |
| 負傷者数 = $0.08 \times B_1 \times P_1 \div S_1 \div 1689.163$             |
| 重傷者数 = $0.03 \times 0.09 \times B_1 \times P_1 \div S_1 \div 1689.163$ |
| $B_1$ = 1184 新宿区におけるブロッック等の被害件数(東京都被害想定：平成18年3月より)                     |
| $P_1$ = 各地上歩行者人数(交通量調査より)  |
| $S_1$ = 0.4334 新宿区の新築面積(東京都建設局：平成20年「東京都道路維持調査」より)                     |
| <b>地上空間における屋外落下物による死傷者算定式</b>  |
| 死者数 = $0.000046 \times F_1 \times (P_1 \div S_1) \div 1689.163$        |
| 負傷者数 = $0.00034 \times F_1 \times (P_1 \div S_1) \div 1689.163$        |
| 重傷者数 = $0.000096 \times F_1 \times (P_1 \div S_1) \div 1689.163$       |
| $F_1$ = 20901 新宿区における落下物想定となる建物体積(東京都被害想定：平成18年3月)                     |

注4) 地下交通量算定式

歩行者数 = 道路距離 ÷ 調査時間 ÷ 平均歩行速度 × 調査実施歩行者数 ※平均歩行速度は80m/分を使用

注5) 屋外地下負傷者算定式

|  |
|--|
| <b>地下空間におけるブロッック崩壊による死傷者算定式</b>  |
| 死者数 = $0.00115 \times B_2 \times P_2 \div S_2 \div 1689.163$           |
| 負傷者数 = $0.08 \times B_2 \times P_2 \div S_2 \div 1689.163$             |
| 重傷者数 = $0.03 \times 0.09 \times B_2 \times P_2 \div S_2 \div 1689.163$ |
| $B_2$ = 2714 地下ブロッック被害数で1184に地下道路面積÷新宿区の道路面積をかけたもの                     |
| $P_2$ = 地下歩行者人数(交通量調査より)   |
| $S_2$ = 0.16342 新宿区の地下道路面積(ゼンリン地図より面積測定)                               |
| <b>地下空間における屋外落下物による死傷者算定式</b>  |
| 死者数 = $0.000046 \times F_2 \times (P_2 \div S_2) \div 1689.163$        |
| 負傷者数 = $0.00034 \times F_2 \times (P_2 \div S_2) \div 1689.163$        |
| 重傷者数 = $0.000096 \times F_2 \times (P_2 \div S_2) \div 1689.163$       |
| $F_2$ = 8014 地下の落下物体積で、11に地下道路面積÷新宿区の道路面積をかけたもの                        |

注6) 屋内死傷者計算式

|   |
|---|
| <b>屋内人口算定式</b>  |
| 屋内人口( $P_3$ ) = 仮想定1床面積×各丁の総仮想定1床面積×各丁の屋内人口   |
| 仮想定1床面積 = 街区面積 × 容積率  |
| 各丁の総1床面積 = 丁内のΣ街区面積 × 容積率   |
| 各丁の屋内人口 = 各丁の総1床面積 × 仮想定1床面積 × 容積率 × 各丁の就業率   |
| (就業調査：平成17年；各丁の就業率)   |
| <b>屋内におけるゆれ・液状化(屋内収容物)による死傷者算定式</b>   |
| 死者数 = $K_1 \times P_3 \div P_4$   |
| $K_1$ = 新宿区のゆれ・液状化(屋内収容物)による死者数、死者数 = 27、負傷者 = 269(1983)、重傷者 = 23(1967) (新宿区における地下地盤の被害想定に関する調査報告書：平成18年より) |
| $P_3$ = 新宿区の屋内人口(パーソナルマップ調査：平成20年)  |
| $P_4$ = 1000000 容積率としてパーソナルマップ調査の屋内人口11689を基準とした、各街区の屋内人口を4.0とする  |

注7) 火災死傷者算定式

|   |
|---|
| <b>火災による死傷者算定式</b>  |
| 死者数 = $K_2 \times P_5 \div P_6$   |
| $K_2$ = 新宿区の火災による死者数、死者数 = 37、負傷者 = 270、重傷者 = 60 (東京における地下地盤の被害想定に関する調査報告書：平成18年より) |
| $P_5$ = 新宿周辺の屋内人口(パーソナルマップ調査：平成20年)   |
| $P_6$ = 2000000 容積率としてパーソナルマップ調査の屋内人口11689を基準とした、各街区の屋内人口を4.0とする                    |

## 超高層建築の防災計画・業務継続計画 超高層建築内における複合機の挙動実験について

キーワード

首都圏直下地震, 超高層建築, 長周期地震動, 複合機

久保 智弘\* 山下 哲郎\*\* 坂本 有奈利\*\*\*

荒川 洋輔\*\*\* 大宮 憲司\*\*\* 小泉 秀斗\*\*\*

### 1. はじめに

2009年6月1日より改正消防法<sup>1)</sup>が施行され、大規模建築物などで消防計画に加えて、大規模災害を対象とした防災計画を行う事が義務づけられた。これに伴い、地震などの大規模災害が発生した際にどの程度負傷者が発生するのか、どういった被害が発生するのかについて、被害推定をする必要がある。

一方、2011年3月11日に発生した東日本大震災において、首都圏の超高層建築がこれまで経験した事のない強震動により超高層建築の室内において、家具転倒やシステム天井材の落下、複合機の移動などがみられたが、負傷者はほとんど発生しなかった<sup>2)</sup>。

しかし、この東日本大震災での首都圏の地震動は今後発生すると想定される地震よりも小さかったため、想定地震が発生した場合、負傷者が多く発生する可能性がある<sup>例えば 3)</sup>。したがって、本研究では、想定地震が発生した際の超高層建築内の負傷者推定を行うために、東日本大震災での記録を収集するとともに、大変形加力装置を使った家具転倒やオフィス家具の移動実験を行う。今年度は大変形加力装置を用いて行う初めての実験のため、大変形加力装置の性能の確認と計測方法の確認のため、東日本大震災でも移動がみられた複合機について、挙動実験を行った。

### 2. 大変形加力装置を用いた複合機の地震時挙動実験の概要について

本研究では、大変形加力装置を用いた初めての実験という事で、大変形加力装置の性能の確認と複合機の地震時挙動を把握するための実験を行った。実験は、2011年11月14日に実施した。実験を行う前に、写真1(右)に示すように大変形加力装置に床と壁を設置した。



写真1: 大変形加力装置

本研究で利用した複合機は、リース会社から提供いただいたリース済みの複合機で、幅約60cm、奥ゆき約80cm、高さ約80cm、重さ約130kgの一般的に利用されている複合機である。複合機のメーカーがわからないように実験では黒いビニール袋をつけて実験を行った。



写真2: 複合機(右)とその足下(左)

加振に使用した波は、想定東海・東南海連動地震と首都直下地震における工学院大学新宿キャンパス29階での揺れ<sup>4)</sup>と、東日本大震災で観測された工学院大学新宿キャンパス24階の記録<sup>5)</sup>、表1に示す周期を1秒から5秒まで、変位を5cmから70cmまで変化させたsin波を利用した。ここで、sin波による加振ではアクチュエータの能力を考慮し、7サイクルとして、始めと終わりの1回はフェードイン、フェードアウトとした。また、アクチュエータへの反力が100kine以上となりそうなものは、速度制限超過となる可能性があるため、入力条件を変化させた。また想定東海・東南海連動地震と首都直下地震による揺れでは速度制限超過となるため、応答に対して8割にしたものを用いた。

表1: 実験に使用した入力波形

| 周期(sec) | 変位(cm)                    |
|---------|---------------------------|
| ランダム    | 首都直下、想定東海・東南海連動型地震、東日本大震災 |
| 1       | 5, 10, 15                 |
| 1.5     | 5, 10, 15, 20, 30         |
| 2       | 10, 15, 20, 30, 40        |
| 2.5     | 10, 15, 20, 30, 40, 50    |
| 3       | 20, 30, 40, 50, 60        |
| 3.5     | 20, 30, 40, 50, 60, 70    |
| 4       | 20, 30, 40, 50, 60        |
| 4.5     | 20, 30, 40, 50, 60        |
| 5       | 20, 30, 40, 50, 60, 70    |



### 3. 大変形加力装置を用いた複合機の地震時挙動実験の計測方法について

本研究では、複合機の地震時の挙動を計測するため、大変形加力装置に制御用に設置された変位計、強震計 (kinematics 社、EW, NS, UD3 成分、最大 2G)、Ipod (version 4) を用いて、大変形加力装置と複合機の挙動について、計測を行った。また、映像による記録も行い、(株)0Aサイエンスの PV STUDIO 2D ver2 を用いて、複合機の挙動を計測した。写真3に計測機器の設置位置を示し、強震計の設置状況を写真4、Ipod の設置状況を写真5に示す。

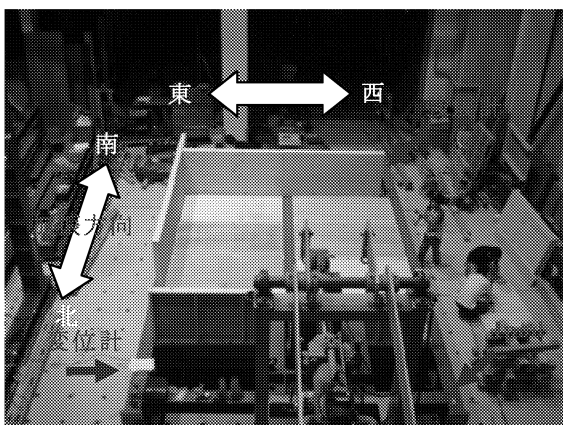


写真3：計測装置の設置位置

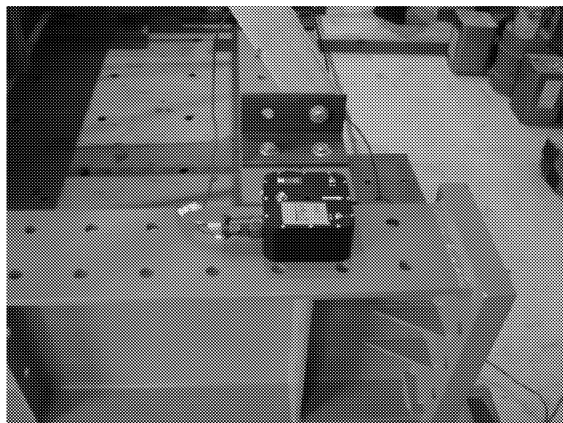


写真4：強震計の設置状況



写真5：Ipod の設置状況

次にそれぞれ設置した機器の計測精度について確認を行った。図1に周期3秒、変位40cmのSin波を入力したときの各計測機器の変位波形による比較を示す。

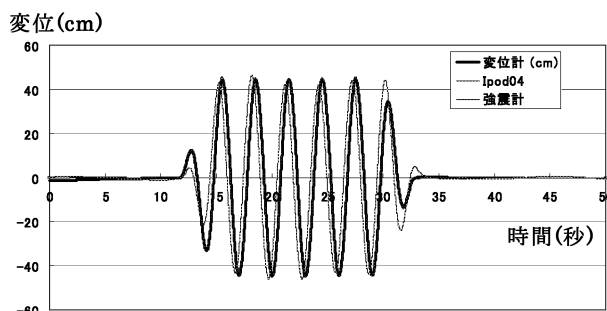


図1：変位計、強震計、Ipod の変位記録の比較

ここで、強震計と Ipod では、100hz サンプリングで、加速度波形として記録される。そのため、ここではFFTにより2回積分を行い、変位波形とした。図1より、大変形加力装置に設置された変位計と強震計では、ほぼ一致した記録が得られた。Ipod においてもサイクルのはじめと終わりの部分で、ずれが見られているが、主要な揺れの部分においては、ほぼ一致した結果が得られることが分かった。

次に、PV STUDIO 2D ver2 を用いて、動画データから変位記録の分析を行った。このソフトでは、動画データの1フレーム毎に設定した位置の動きをキャプチャーすることができ、キャプチャーした X, Y 座標値を csv データとして出力が可能である。図2に PV STUDIO 2D ver2 を用いて、動画データをキャプチャーした図を示す。図2の左上に示すように設定した点 (緑) の位置をフレーム毎に自動で追跡し、その挙動を図2の下部に横にフレーム、縦軸に移動量として示すことができる。

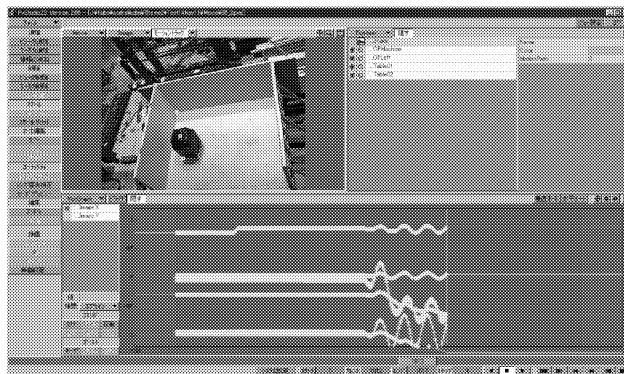


図2：PV STUDIO 2D ver2 によるキャプチャ

これにより動画記録から大変形加力装置の動きと複

合機の動きをそれぞれ記録することができる。

そこで、実験では、実験場の最上部のキャットウォーク上に2台のネットワークカメラを設置して動画を記録した。写真6にネットワークカメラの設置状況とPCでの収録状況を示す。このネットワークカメラは16台まで同時に動画を収録することができ、写真6に示すように2つの映像を同時に確認することができ、また位置もPC上から設定できる。写真7にネットワークカメラからみた実験の様子を示す。写真7中の緑点と赤点は、PV STUDIO 2D ver2による大変形加力装置と複合機のキャプチャーのポイントを示す。このうち、各2点としたのは、動画をキャプチャーする際にフレームアウトした際に対象物を追えないため、複合機の挙動によっては、大変形加力装置の挙動を追えないことがあるためである。

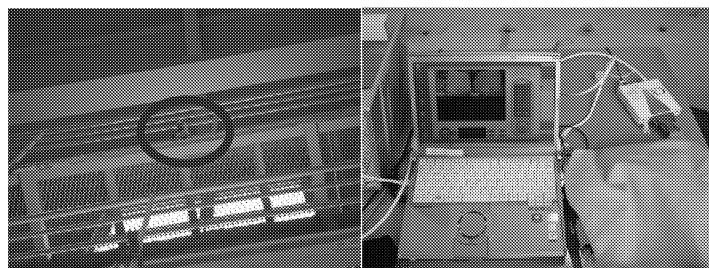


写真6：ネットワークカメラ(左)と収録PC(右)



写真7：ネットワークカメラによる実験の映像

PV STUDIO 2D ver2により、図1に示した周期3秒、変位40cmの動画データをキャプチャーした結果と比較を行う。このとき、写真7に示すように加振方向が動画に対して、やや傾斜している。このため、はじめにキャプチャーした結果の座標値を回転させる。次に回転した座標値についてスケールが異なることから、大変形加力装置の変位計の最大値を基準化する。この流れにより、キャプチャーした結果を変換し、変位計の記録と比較を行った。写真8にキャプチャーした画像を示し、図3に図1の波形

にキャプチャーした結果を重ねたものを示す。

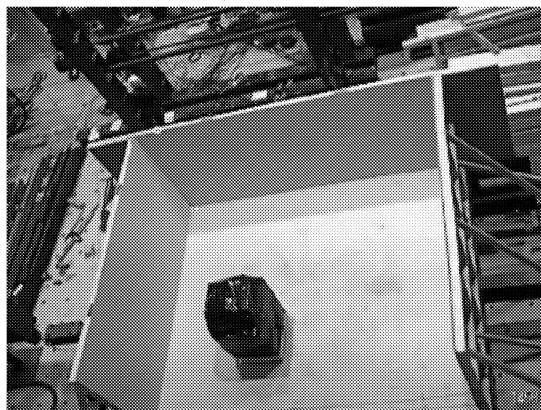


写真8：キャプチャーした画像  
(周期3秒、変位40cmの結果)

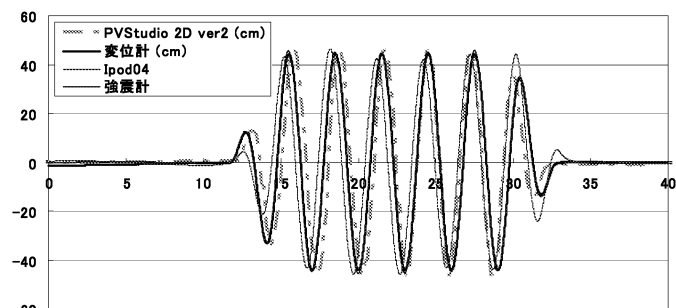


図3: 変位計、強震計、Ipod、PV STUDIO 2Dの変位記録の比較

図3の破線がPV STUDIO 2Dにより動画データから大変形加力装置の挙動(写真7,8の緑点)を読み取った記録である。時間は動画の長さとして計算した。大変形加力装置の変位計の記録や強震計と比較すると加振のはじめのサイクルで少し時間のずれが見られるが振幅はほぼ一致しており、さらにIpodの記録と比較すると、キャプチャーした結果の方がIpodの記録よりも変位計や強震計の記録と一致していることが分かる。ここで示した周期3秒、変位40cm以外の入力波形についても同様の結果が得られた。

以上のことから、動画データを基にPV STUDIO 2D ver2によりキャプチャーした結果を用いることで複合機の移動量や挙動、速度を把握することができると考えられる。

#### 4. 大変形加力装置を用いた複合機の地震時挙動実験の結果について

今回実施した大変形加力装置を用いた複合機の地震時挙動実験の結果について、表2に結果を示す。ここで、表2では、表1に示した入力波形について、

複合機の移動がみられたものについて、加振終了後の移動量とその方向、壁への衝突、大変形加力装置上に設置した計測機器からの最大加速度、最大速度を示す。

表2では、移動量で複合機がはじめの地点から最終的にどの方向にどの程度動いたかについて、写真3に示す方向と一致するようデータを整理した。したがって、全体の移動距離ではない。東日本大震災では、25階のコピー機が移動した形跡がみられていることから<sup>5)</sup>、今回の実験でも移動がみられたことと一致していることが分かる。また、想定東海・東南海連動型地震が発生した場合にも大きく挙動することが分かった。

ここで示したのは大変形加力装置上の最大加速度と最大速度で、動き出したタイミングとの比較は今後、動画データの分析とともに進めるが、加速度が大きいだけでは、大きく動かないことが分かる。さらに周期が長い入力条件のときに壁に衝突しており、大きく移動するケースは、速度と相関があるように考えられる。

表2：複合機の挙動について

| 周期(sec)       | 変位(cm) | 移動量(cm) |        | 挙動               | 最大加速度<br>(cm/s <sup>2</sup> ) | 最大速度<br>(cm/s) |
|---------------|--------|---------|--------|------------------|-------------------------------|----------------|
|               |        | 北側相対    | 南側相対   |                  |                               |                |
| 首都直下地震        |        | 北東 95   | 北東 90  |                  | 852                           | 157            |
| 想定東海・東南海連動型地震 |        | 南東 116  | 南東 126 | 衝突               | 315                           | 140            |
| 東日本大震災@24階    |        | 南東 109  | 南東 103 |                  | 308                           | 73             |
| 1             | 5      | 北東 40   | 北東 35  |                  | 239                           | 32             |
| 1             | 10     | 南西 24   | 南西 25  |                  | 491                           | 59             |
| 1             | 15     | 南東 28   | 南東 27  |                  | 749                           | 85             |
| 1.5           | 10     | 北 17    | 北 16   |                  | 261                           | 42             |
| 1.5           | 15     | 南東 21   | 南東 24  |                  | 321                           | 62             |
| 1.5           | 20     | 南東 89   | 南東 97  |                  | 411                           | 83             |
| 1.5           | 30     | 北東 20   | 北西 33  | 回転               | 653                           | 126            |
| 2             | 10     | 北 5     | 北 4.5  |                  | 164                           | 35             |
| 2             | 15     | 南東 30   | 南東 30  |                  | 198                           | 51             |
| 2             | 20     | 南東 69   | 南 72   |                  | 253                           | 68             |
| 2             | 30     | 南東 127  | 南東 145 | 衝突・<br>回転        | 352                           | 101            |
| 2             | 40     | 南東 89   | 南東 78  |                  | 502                           | 137            |
| 2.5           | 20     | 南東 43   | 南東 64  |                  | 182                           | 56             |
| 2.5           | 30     | 北西 84   | 北西 77  |                  | 249                           | 81             |
| 2.5           | 40     | 東 74    | 東 76   | 衝突・<br>回転        | 318                           | 107            |
| 2.5           | 50     | 南東 160  | 南西 137 | 衝突・<br>回転        | 408                           | 139            |
| 3             | 30     | 東 22    | 東 28   |                  | 192                           | 71             |
| 3             | 40     | 北西 96   | 北西 83  |                  | 230                           | 96             |
| 3             | 50     | 北東 42   | 北 54   |                  | 287                           | 118            |
| 3             | 60     | 南西 112  | 南西 38  |                  | 355                           | 141            |
| 3.5           | 30     | 東 45    | 北東 34  |                  | 198                           | 60             |
| 3.5           | 40     | 北西 95   | 北西 112 |                  | 185                           | 80             |
| 3.5           | 50     | 南東 55   | 東 91   | 衝突・<br>回転        | 207                           | 100            |
| 3.5           | 60     | 南 49    | 南東 78  | 衝突・<br>回転        | 236                           | 121            |
| 3.5           | 70     | NG      | NG     | 衝突・<br>回転・<br>転倒 | 319                           | 142            |
| 4             | 50     | 北東 86   | 北東 98  |                  | 184                           | 88             |
| 4             | 60     | 北西 200  | 北西 199 |                  | 202                           | 106            |
| 4.5           | 60     | 東 10    | 東 12   |                  | 175                           | 94             |

## 5. まとめ

今回の実験では、複合機の挙動について、入力条件を様々なケースを用いて行った。その結果、周期の長い揺れの時に大きく挙動することが分かった。また、計測方法について、市販されている Ipod によっても今回の実験のようなケースでは測定することができることと、動画データからキャプチャーソフトを用いることで計測できることを確認した。今後は、動画データを基に複合機の挙動時の最大加速度や最大速度を計算し、衝撃力について検討を進める。あわせて、今回の計測方法を利用し、オフィス家具の転倒実験とその転倒による衝撃力について、次年度以降に実験と分析を進めていく予定である。

## 謝辞

本研究を実施するにあたり、工学院大学建築学部久田研究室、山下研究室の学生達にご協力いただきました。

## 参考文献

- 1) 総務省消防庁: 消防計画策定ガイドライン, 消防予第 272 号, 2008
- 2) 東京消防庁: 東日本大震災に伴う地震発生時のアンケート調査結果について, 報道発表資料、平成 23 年 8 月 30 日,  
<http://www.tfd.metro.tokyo.jp/hp-kouhouka/pdf/230830.pdf>
- 3) 久保智弘、久田嘉章、村上正浩、三好勝則: 超高層建築の防災計画・事業継続計画 超高層ビル群における負傷者推定について, 平成 22 年度研究成果報告書、工学院大学総合研究所・都市減災研究センター、pp. 109-112, 平成 23 年 3 月
- 4) 久田嘉章、山下哲郎、島村賢太、吉村智昭、田中良一: 首都圏直下・活断層等による強震動予測と超高層建物等の減災対策, 平成 21 年度研究成果報告書、工学院大学総合研究所・都市減災研究センター、平成 22 年 3 月
- 5) 久保智弘、久田嘉章、村上正浩: 東北地方太平洋沖地震における都心の超高層建築の初動対応と室内被害について, 日本建築学会大会学術講演梗概集(関東), pp. 959-960, 2011 年 8 月

1\* : 工学院大学建築学部 特任助教・博士 (工学)  
 2\*\* : 工学院大学建築学部 准教授・博士 (工学)  
 3\*\*\* : 工学院大学建築学科

## 大規模・高層建築物に係る防災管理のための消防計画に関する東日本大震災の実態調査

消防計画、被害想定、消防用設備、初動対応、地域防災計画

氏名 三好勝則\*<sup>1</sup>

### 1. はじめに

平成21年6月1日から施行された消防法の一部改正(以下「本件改正」という。)では、多数の者が利用する大規模・高層の防火対象物は、消防計画を作成し、避難の訓練の実施その他防災管理上必要な業務を行うことが義務付けられた。消防計画は、被害想定に基づいて作成されることが必要となる。具体的な被害態様と必要な対応行動は、一律な方法に限定するのではなく、防火対象物の自主的な取り組みに委ねられるが、合理性を確保するため、「具体的な災害の発生を想定し、その被害態様の全体像（①建物等の基本被害②建築設備等被害③避難施設等被害④消防設備等被害⑤収容物当被害⑥ライフライン等被害等）を評価する」こととされている<sup>1)</sup>。しかしながら、防火対象物側において、被害の算定に必要な情報が十分とは言えないことは、昨年度の本研究において指摘した。

平成23年3月11日に発生した東日本大震災では、各地で建築物に防災管理上の被害や支障が発生した。そこで、東日本大震災における被害状況の調査から、消防計画における被害想定で留意すべき事柄を抽出する。また、地方自治体が策定する地域防災計画についても、東日本大震災を受けた見直し作業が進められており、これらの整合性についても考察の対象とする。

調査は、東日本大震災による建築物等への被害について、岩手県及び宮城県でヒアリング等により調査を行った。なお、消防庁及び財団法人消防科学総合センターが実施した「震災時における建築物の防災管理に係る運用実態調査」の協力を得たので、岩手県、宮城県、福島県及び東京都で行った当該調査の結果<sup>2)</sup>も活用することとした。

### 2. 施設・設備の被害及びその影響

まず、上記3県において、消防法に定める防災管理を要する建築物等で自衛消防組織の設置を要する防火対象物を対象に行ったアンケート調査の結果

(回答数205)は、以下の通りとなっている。地震によりオフィス家具等の転倒・落下・移動があったもの160(78.1%)、消防用設備等について破損や誤作動等の被害があったもの116(56.6%)、このうちどのような消防用設備に被害があったかを複数回答でみると、スプリンクラー設備が46.6%、自動火災報知設備37.9%、誘導灯30.2%、屋内消火栓設備23.3%、非常警報設備(放送設備)21.6%の順となっている。被害の発生した状況は、防火扉が開放してスプリンクラーヘッド破損、スプリンクラー設備の配管が破損して下部床の誘導灯に漏水故障、地震によるほこりで自動火災報知設備が発報などであった。被害のあった消防用設備を地震発生前と同じ状態に復旧するまでの日数は、当日中が10.3%、1週間以内が16.4%で、1週間以上を要したものが47.4%、調査時点(回答期限8月12日)で復旧できていないものが22.4%あった。

| オフィス家具の種類 | 転倒  | 落下 | 移動 |
|-----------|-----|----|----|
| 書類棚       | 101 | 54 | 63 |
| コピー機      | 7   | 6  | 99 |
| 机         | 15  | 1  | 94 |
| ノートパソコン   | 15  | 49 | 53 |
| デスクトップPC  | 59  | 60 | 51 |
| サーバーラック   | 16  | 5  | 55 |
| テレビ       | 41  | 55 | 63 |
| 電子レンジ     | 16  | 38 | 45 |
| 冷蔵庫       | 23  | 1  | 76 |
| その他       | 10  | 14 | 12 |

表1 転倒・落下・移動したオフィス家具等

ヒアリング調査からは、次のような実態であった。避難に関して、地震直後に停電し連絡体制や在館者の避難誘導等の初動対応に支障を生じた、大規模複合施設では停電により放送設備が使用できずエレベーターも停止したために階段で避難渋滞が生じて二次被害の懸念があった。停電時の非常用発電について、

\*1 :工学院大学建築学部まちづくり学科

燃料の不足から残量を確認しながら短時間で運転を停止し、追加の燃料購入もできなかった。また、消防用設備等の予備電源であるバッテリーは1時間しかもたないため非常用電源が使用できなければ作動しない。このため、巡回の強化などでの対応や、営業停止、一部閉鎖をした。なお、消防用設備の配管について冬期の凍結防止用にヒーターを巻き付けているが、停電で加温できなくなった。さらに、予備電源の電圧低下で受信機等の機器が誤作動、誤発報していると機器の製造会社に問い合わせたという事例もあった。

調査結果からは、以下のことが指摘できる。まず、大規模地震時には火災が発生する危険があることは既に認識されており、家具の転倒、移動や天井の落下、配管破損などにより消防用設備が機能しなくなることとならないように、室内の整備が行われる必要がある。また、消防用設備に使用する非常用電源は、火災を想定しており、長時間の停電は予定されていない。停電した場合には人による巡回等の代替手段を講じることとなるが、停電によって人の移動は容易ではなく、さらに、既に被害が発生している場合にはそれへの対応を優先的に行うことから、地震後の火災に備えた監視・初動体制が手薄になる。電源の確保についての方策は重要である。なお、高層建築物の存する地域では、個別の建築物の非常用電源確保によるだけでなく、地域としての電源確保の方法について協議することが効果的であり、都道府県及び市区町村が定める地域防災計画における検討が有益である。

### 3. 応急体制の整備と初動対応

本件改正では、一定規模以上の大規模・高層建築物については、防災管理に係る消防計画の作成と合わせて、自衛消防組織の設置及び防災管理者の選任が義務化された。防災管理者は、必要な知識技能を有する管理・監督的な地位にある者で、消防計画の作成等の業務を行うこととされる。自衛消防組織は、①初期消火活動、②情報の収集、伝達、消防用設備等の監視、③避難誘導、④救出救護を基本任務として必要な要員を確保する。

3 県でのアンケート調査の結果によれば、自衛消防要員に対する防災管理上必要な教育、訓練を行っているものが199(97.1%)で、頻度は年に2回が最も多く(回答数89)、次いで年1回が49、年3回が21

で、年に10回以上実施しているとの回答が10あった。東日本大震災の発生後は、消防計画に基づき、また、訓練を踏まえて自衛消防組織が活動したとの回答が191(93.1%)と、ほとんどである。活動内容では、避難誘導において時期及び移動先についての判断が難しかったとの回答が多い。

ヒアリング調査からは、地震による停電の影響で、社内電話及び外部との電話による連絡ができず、情報等も得られなかった、照明も無く被害への対応が難しかった。マニュアルが長文で直ぐに使えない、自衛消防組織の各班ごとの任務が細分化されすぎているなど、実際の活動に十分役立てられず、実効性に課題が残った。

これらの調査結果においても、初動対応における活動を円滑に行うために、電源の確保が欠かせないことが指摘できる。訓練は、基本的な業務を中心に行われるのが通常であるが、非常用電源の取り扱い、必要な携行品、備品の整備までを含めた訓練を行っておかなければならない。

地方自治体の災害対策本部となる拠点施設については、施設の設置場所、耐震化、通信基盤の確保、非常用電源設備の整備を行っていく必要があるとされる。<sup>3) 4)</sup>活動拠点となることが予想される防災センター等についても、消防計画に定め、自衛消防活動が一元的に管理できる場所の確保と方法を定め、必要な設備を整備する必要がある。また、非常用電源の燃料確保については、地域防災計画における方策の位置づけなど地域としての取り組みも検討が必要である。

### 4. おわりに

各事業書等が作成する防災管理のための消防計画は、見直しが行われることとなるが、被害想定及び応急対応に係る内容が実態に即して実効性を確保するため、地域防災計画等との整合を図ることが重要であり、具体的内容について検討する必要がある。

#### 参考文献と注

- 1) 消防庁、大規模地震等に対応した消防計画ガイドラインについて、消防予第272号、2008
- 2) 消防庁、大規模防火対象物の安全対策の在り方に関する検討部会、2012
- 3) 中央防災会議、防災基本計画一部修正、2011年12月27日
- 4) 消防庁、地域防災計画における地震・津波対策の充実に係る検討会、2011

## 事業継続計画（BCP）策定のための工学院大学における東日本大震災対応業務調査

事業継続計画（BCP）、震災対応、業務優先度  
 危機管理室、災害対策本部

吉田倬郎\* 村上正浩\*\* 久保智弘\* 宮村正光\*\*

### 1 はじめに

#### 1.1 研究背景

事業継続計画（BCP）は、「自然災害、大火災、テロ攻撃などの緊急事態に遭遇した際、事業資産の損害を最小限にとどめ、中核となる事業の継続あるいは早期復旧を可能とするために、平常時の活動や緊急時における事業継続のための方法・手段などの計画」とされている。欧米では、2001年、米国で発生した同時多発テロ以降、一定の普及を見せているが、日本では、広く関心が寄せられる状況にはならなかった。そうした中、2011年3月11日に発生した東日本大震災を機に、日本におけるBCPへの関心は飛躍的に高まった。

BCPの策定は、製造業、流通業、商業など、業務がそのまま収益に繋がる事業にとっては、逼迫の課題であり、事業継続の支障が多大な損失に繋がることが実感されたのである。これに対し大学は、収益を目的とする事業でないこともあって、BCPに関する基礎的研究は見られるものの、その策定に向けた動きは弱かったといえる。この度の東日本大震災では、大学についても、震源に近い地域が甚大な被害を被っただけでなく、工学院大学が立地する首都圏でも、多様な被害を受けており、大学においてもBCPが重要であることが強く実感された。

工学院大学では、地震防災・環境研究センターにおいて、BCPに繋がる研究を開始し、地震に対応したBCPの枠組みの構築や、リスクマネジメント手法の検討などの成果を上げてきている。これらは、都市減災センターの研究課題に継承され、課題5.2もその一環をなし、本研究もその中に位置づけられるものである。

#### 1.2 研究目的

本研究は、工学院大学のBCP策定に繋がる基礎資料の構築を基本的な目的としている。本年度は、東日本大震災を踏まえ、地震時における本学の各部署における震災対応と、震災経験に基づく各部署の通常業務の在り方、の2つの観点から調査を行い、これらからBCP策定に繋がる基礎資料を取りまとめ

ることを目的とした。

#### 1.3 研究方法

本学の教育研究組織および事務組織を構成するすべての部署を調査対象とし、「震災時における各部署の震災対応業務調査」と「通常業務全般についての被災時における業務の優先度調査」の2つを行った。

調査に際し、上記に対応する2つの調査票を作成し、以下の手順で調査を進めた。

- ① 各部署に調査票を配布し、記入していただく。
- ② 記入していただいた調査票を踏まえ、各部署にヒアリングを行う。ヒアリングは、調査票の記入内容の確認と補足が主な目的であるが、研究目的に関連する様々な話題も歓迎することとした。
- ③ ヒアリングを踏まえ、各部署に調査票の記入内容を修正していただく。
- ④ ヒアリングは、記録に残す。
- ⑤ ヒアリングをもとに、各部署で修正された調査票を再修正する。
- ⑥ 再修正した調査票を各部署で確認していただく。

以上の手順は、事情が許した場合に可能であった。ほぼ半数の部署で、①~⑥を行うことができた。

調査対象部署は、表1に示す。当初、法人その他13部署、大学関係21部署を調査対象としたが、調査の過程で、新宿校舎で業務を行っている防災センター、校友会、生協も、調査対象に加えた。なお、学校法人理事会と教員組織は、本年度は調査対象としていない。

表1 調査対象部署

| 法人部署                  | 大学部署                 |
|-----------------------|----------------------|
| 1 危機管理室               | 1 教務部 学務課            |
| 2 総合企画室               | 2 教務部 新宿教務課          |
| 3 学園創立125周年記念事業室      | 3 教務部 八王子教務課         |
| 4 総務部総務課              | 4 教務部 大学院課           |
| 5 総務部人事課              | 5 学生部 新宿学生課          |
| 6 施設部                 | 6 学生部 八王子学生課         |
| 7 財務部財務課              | 7 学生部 大学後援会事務室       |
| 8 財務部管財課              | 8 アドミッションセンター 入試課    |
| 9 情報システム部・情報科学研究教育センタ | 9 就職支援センター 就職課       |
| 10 八王子事務部             | 10 図書館               |
| 11 附属中高               | 11 総合研究所 研究推進課       |
| 12 理科教育センター           | 12 共通過程 学科事務室        |
| 13 事業部・エクステンションセンター   | 13 工学部機械系・GE学部 学科事務室 |
|                       | 14 工学部化学系 学科事務室      |
|                       | 15 工学部電気系・情報学部 学科事務室 |
|                       | 16 建築学部 学科事務室        |
| その他部署                 | 17 情報科学研究教育センター      |
| 1 防災センター              | 18 学習支援センター          |
| 2 校友会                 | 19 学費交流センター          |
| 3 生協                  | 19 学費交流センター          |
|                       | 20 教育開発センター          |
|                       | 21 ECPセンター           |

以下、本年度の成果の一部として、主に法人その他についての調査結果を紹介する。

## 2 大震災における本学各部署の震災対応業務調査

### 2.1 調査の概要

調査は、「3.11 大震災時における当該部署の震災対応業務調査票」と題する書式を各部署にお届けし、まずは可能な範囲でご記入いただくこととした。調査票の記入例を、表2に示す。表頭には、左から順に「対応業務の種類」「業務の結果」「今後に向けての改善提案」の3つを示し、具体的な対応業務に対応付けて、業務の結果と今後に向けての改善提案を記入していただいた。

危機管理室以外の部署については、対応業務の種類として、調査票にあらかじめ、対策本部への対応・被災状況の把握・部署職員への対応・危機管理マニュアルなどの活用・自衛消防組織の活動を共通項目として示し、部署によって必要があれば他の項目を記入し、これらの業務について、業務の結果と今後に向けての改善提案を記入していただいた。

危機管理室については、震災対応を本務とする部署でもあり、対応業務の種類として、対策本部の立ち上げと運営、滞在教職員・学生への対応、帰宅困難者の受け入れと対応など、この部署特有の項目を加えている。

調査票を各部署に配布し、記入いただき、ヒアリングの後、加筆修正を行ったものを、調査票記入の一応の完成形としたが、表2は危機管理室の調査票の完成形の一部である。

表2 調査票の記入例の一部（危機管理室）

| 対応業務の種類      | 業務の結果  | 今後に向けての改善提案  |
|--------------|--|--|
| 対策本部の立ち上げと運営 | <ul style="list-style-type: none"> <li>当日18時くらいに立ち上げ、マニュアルに従い防災センターでの初動対応を実施した。本部(2階)での放送・パソコン機器、文房具等不足を把握していたため引き続き活動した。</li> <li>本部を立ち上げるも機器、文房具等が不足のため主に防災センターで活動。</li> <li>訓練ではすぐに本部を立ち上げて放送をするが、実際は放送機器もなく訓練どおりに出来なかった。</li> <li>翌日10時半に本部を解散した。</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>対策本部用のモニター等の機器、放送設備、文房具等を一式設置するよう検討を要する。</li> <li>もう少し早い段階で立ち上げるべきだった。</li> <li>2階に本部の常設すべき。</li> </ul> |
|              | <ul style="list-style-type: none"> <li>パソコンに強い職員がいなかった。</li> <li>当日理事長と学長は外出していたので田村、山口の二人がまず防災センターに参集した。その後、学科の先生・学長・村上先生が来ていろいろ対応してもらった。</li> <li>責任者である田村は本部でなく防災センターにいた。</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>パソコンを立ち上げることができる人がいないと立ち上げることができない。</li> <li>指示すべき人がいる時いない時の体制が必要。</li> </ul>                           |

各部署の調査票の記入内容の中から重要と判断できるものを抽出し、全容が分かるよう一覧表を作成した。一覧表は、法人部署などと、大学部署の、2種類作製した。表3に、法人部署などの表を示す。今年度の段階では、調査票の記入内容は、各部署の記入状況にばらつきがあるなど、なお、精査が必要であるが、基礎資料としては、所期の成果を取りまとめることができたといえる。

表3 震災対応業務一覧表の一部（法人部署など）

| 総合企画室   | 学園創立125周年記念事業事務局  | 危機管理室  | 総務部総務課   |
|---|---|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>総合企画室は、2名のみ在室だったため、主に下記の対応を行った。</li> <li>アトリウムの帰宅困難者対応。</li> <li>4階の食料配給対応。</li> <li>対策本部の機材作業。</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>当日下午5時頃まで13階の事務室で待機した。</li> <li>午後5時半頃、課長様宅へ。</li> <li>午後6時頃、阿婆と新宿駅に向かったが、エレベーターのため7時頃事務室に戻った。</li> <li>帰宅困難者の受け入れを館内放送で知り、避難者対応。</li> </ul> |  | <ul style="list-style-type: none"> <li>震災発生後、総務部長及び総務課員1名が災害対策本部の設置予定の高層棟2階へ向う。設置機器の未整備のため、直ちに災害対策本部は設置されず。総務部長及び総務課員1名は、エステックビル地下1階防災センターで待機し、学内放送等に対応。その後、災害対策本部が設置された。</li> </ul> |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>自衛消防組織の活動</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>活動しなかった。</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>活用できなかった。</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>震災発生後、直ちに入口を開放し、避難者を確保する等、一部では各人が役割を分担した行動があった。</li> <li>災害対策本部設置後、本部からの指示により、13階に落ちることとなった職員、派遣者、ハート動脈等の役割分担を取りまとめた。</li> </ul>              |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>被災状況の把握</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>125周年事務局の備品・什器・事務用品などにはがいはなかった。</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>防災センターにて、監視カメラ、内線電話等で把握。</li> <li>10ができる人がいないので活用できなかった。</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>高層棟13階法人各部署の被災状況を把握した。書籍等の破壊もあったが、大きな被害は特に見られなかった。</li> </ul>   |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>危機管理マニュアルの活用</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>活動しなかった。</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>発生直後に防災センターに参集するなど一部は活用できた。</li> </ul>                              | <ul style="list-style-type: none"> <li>震災発生後の早急な災害対策本部設置等、危機管理マニュアルに則した行動がとられたが、学園全体が危機管理マニュアルを意識していたものではない。</li> </ul>  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>危機管理マニュアルの活用</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>職員の帰宅可否の管理</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>課長が帰宅し対応指示なし。</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>災害対策本部からの指示あまるまで高層棟13階への待機を命じた。</li> <li>防災無線が約20台あるが、普段訓練をやっていなかったの活用できなかった。エレベーターが止まると無縁機を活用しないと連絡を取り合えない。</li> </ul>                       |

### 2.2 震災対応業務の概要

調査票や一覧表の記入内容の中から、参考になると判断できるものをいくつか紹介する。

まず、対策本部は、危機管理室を中心に運営することになっていたが、震災当日は、2階に本部を立ち上げたのは、発災からしばらくたった18時ごろであった。パソコン等の機器・文房具の用意が不十分で、対策本部を立ち上げるためのシステムを扱える職員も発災時には居なかった。本部を立ち上げたらずちに放送を行うことになっていたが、放送機器が本部になかったため、館内放送は、エステックビルの防災センターから行った。その後、建築学部の教員の協力で、本部の本来の形を作り上げた。

対策本部を立ち上げた時間が遅かったことに関しては、他の部署から、立ち上げが遅いという声が出ている。このことは、重要業務への複数の担当者の配置や、防災関係物品の所在リスト作成の必要を示している。対策本部を2階に常設すべきという意見

も出ているが、それにはスペースの確保等の問題が関連してくる。

地震直後は、「落ち着いて行動するように」というアナウンスが流れていたが、対策本部からは自衛消防活動等ともつながる指示が必要との指摘があった。部署から避難すべきなのか、部署に留まり震災対応に当たるべきかの指示が一部混乱していたが、短時間のうちに伝達する体制を作っておく必要がある。

職員の帰宅について、帰宅可能な職員を帰させたが、安全確認（路線バス・教職員バス運行・JR運行状況）がきちんと取れるまで、帰宅させない方が良かったとの声があった。

被災状況の確認では、当日、けが人・建物損傷・落下物がない部署が多かったが、点検項目を記した被災状況確認チェックシートがあると効率よく状況確認を行えた。

安否確認では、研究室単位で確認を取ってもらった。この度の震災では電気が通っていたので、学外の学生・教職員等には、ポータルを利用して状況を周知出来たが、停電した時の勤務体制・連絡体制を考えておく必要がある。

危機管理マニュアルについては、多くの部署が活用出来なかった。総務部総務課では、マニュアルに則した行動を取れた。その危機管理マニュアルを他の部署に周知させることと、マニュアルを各箇所に常備させる必要がある。自衛消防組織の活動も各人が役割を意識した行動をとれたが、自衛消防隊に編成されていない、派遣者・パート職員への対応を検討することが課題であることが分かった。

### 3 被災時における通常業務の優先度調査

#### 3.1 調査の概要

調査は「通常業務全般についての被災時における業務の優先度等調査票」の書式をお届けし、可能な範囲でご記入いただいた。表頭には、左から順に「業務の種類」「業務の細目と被災時の優先度」「3.1.1の影響」の3つを示している。

業務の種類については、あらかじめ、事務組織業務分掌規定の記載を参考にしたものを例示し、部署によって実情に合わせて変更してもよいこととした。業務の種類ごとに、優先度の判断に対応できる程度に区分した業務の細目を示していただき、各細目について、業務の優先度（最優先業務(◎)、優先業務(○)、普通業務(無印))の三つのレベルの区分で示

していただいた。また、各業務の種類について、大震災の影響を記載していただいた。

調査票は、前述の3.11大震災時における当該部署の震災対応業務調査票とともに各部署に配布し、記入いただき、ヒアリングの後、加筆修正を行ったものを、調査票記入の一応の完成形としたが、表4は総務部総務課の調査票の完成形の一部である。

表4 調査票の記入例の一部（総務部総務課）

| 業務の種類               | 業務の細目と被災時における優先度(◎、○、□) | 311震災の影響  |
|---------------------|-------------------------|---|
| 施設貸出                | ◎施設貸出予定の機関・業者への連絡       | ・震災発生に伴い、翌日、翌々日の使用は、本学園から使用中止を依頼した。また使用のキャンセルがあり、3月の施設使用料収入は、最終的に予定より約400万円程度の減収となった。<br>・4月の中旬に貸出し開始。<br>・節電への対応から、8月は3月までに受け付けていたものは貸し出したが、それ以降の新規のものについては受け付けなかった。 |
| 評議員会                | ◎評議員会の開催                | ・3月11日に評議員会を開催の予定であったが、3月19日に延期し開催した。   |
| 役員改選                | ◎役員改選の実施(3年に1回の開催)      | ・役員改選に伴い、3月15日に開催予定であった、次期評議員集会、次期理事会、現理事会を全て3月19日に延期し開催した。   |
| 新宿～八王子<br>校舎間シャトルバス | □シャトルバスの運行              | ・運行開始が当初の4月5日から18日に延期となった。<br>・計画停電がいつあるかはっきりしなかったため、4月18日～21日のオリエンテーション期間は、通常13便出しているシャトルバスを行と帰りの2往復しか出さなかった。  |

#### 3.2 通常業務の優先度の概要

法人13部署については、通常業務の優先度の回答は、各部署の事情もあって、多彩な記載状況であった。ここでは、それらの状況と注目できると思われるものの概要を紹介する。

優先度の判断の対象となる業務の細目の設定は、各部署によって回答の詳しさが大きく異なっていた。そこには、各部署によって、通常業務の捉え方として、詳細な項目立てをして体系的にとらえることがどの程度なじむか、あるいは可能であるか、という、基本的な問題が関わっているものと思われる。各部署の通常業務の細目を適切に把握することは、災害対応にとどまらず、重要な意味があるはずであるが、現状では、不十分である。これを進めるに際し、災害時の優先度を検討するのは、有力な手掛かりになるものと考えられる。

各部署の通常業務の重要度は、被災時の優先度とは一定の相関がある一方、本来一致するものではないことが、各部署の記載から判断できる。各部署の通常業務の重要度は、全体の業務体系の中で位置づけられる面があるが、それはおのずと存在するもの



ではなく、大学を中心とする学校法人であれば、教育・研究や経営の方針によって、具体的に決まってくる面がある。この点に課題があることが、この度の調査からも認識できた。

#### 4 調査で把握できた災害対応に関する具体的な課題

##### 4.1 危機管理室の一層の充実

工学院大学は、これまで発災型の防災訓練を重ねてきており、その成果の一つが危機管理室の設置である。調査からも、危機管理室の機能が、災害対策本部の立上げ、学生・教職員の安否確認、帰宅困難者の受け入れなどの様々な業務にリーダーシップを発揮し、成果を上げていたといえるが、様々な課題も浮かび上がった。危機管理室としては、当面の業務として、自衛消防組織の再編、危機管理マニュアルの術陽的整備が期待されている。

##### 4.2 災害対策本部の立ち上げ方の整備

地震発生が14時46分であり、危機管理室を中心に、様々な応急対応がなされたが、対策本部の立ち上げが18時位になり、およそ地震発生から3時間以上経過していたことについては、次のような課題が指摘された。

- ① 対策本部用のモニター等の機器、放送設備、文房具等を一式設置の検討。
- ② 本部設置要員（特にネットワーク系の設置ができる者）が確保できる体制構築。
- ③ 2階の本部にメンバーが集まれる体制整備。

このうち、①については、機材の整備が行われている。②は、現状の人員で対応可能な課題と考えられる。③対策本部の基本的なあり方に関わる課題であり、総合的な検討を要する。

##### 4.3 指揮命令系統の整備

指示、命令が上手く伝達され災害対策本部への対応もスムーズであった部署が多かったが、一方では様々な問題点と改善提案を上げていた部署もあった。指揮命令に関する問題点としては、次の5点が挙げられた。

- ① 本部から職員への指示系統が曖昧であった。
- ② 本部要員が業務施設の震災被害状況の即時に

調査を行い、指示、命令また対応を短時間のうちに伝達するうえで、不十分な点があった。

- ③ 帰宅困難者を収容したアトリウムで放送が聞こえにくかった。ハンドメガホンでは届かない。
- ④ 本部からの指示が、1階アトリウムに集合するのか、自席待機なのかの連絡が明確でなかった。
- ⑤ エステックビルB1の事業部には、大学からもエステック情報ビルからも連絡が入らなかった。

これらはいずれも対応可能な課題であり、改善が期待できる。

#### 5 施設の被災状況の把握と対策に関する課題

新宿校舎は、天井の落下が多数発生したほか、エキスパンションジョイントの破損、可動間仕切り装着の棚の破損、非常用エレベーターの故障などが発生し、中でも非常用エレベーターの故障は復旧に日数を要し、その間、一定の不便を強いられた。こうした被災状況の把握は、施設部を中心に、総務課、防災センターが協力して行われ、修繕、復旧には施設部があたり、こうした一連の業務は、適切、敏速に行われたといえる。ただ、被災状況の把握については、限られた人員で行うには限界があり、被災状況の把握については、教職員全員が、被害が無かった場合も含め、被災状況を確認し報告する体制整備が課題として浮かび上がった。

#### 6 まとめと今後の課題

本年度は、2種類の調査を行い、基礎資料の収集を行った。このうち「震災時における各部署の震災対応業務調査」については、なお精査が必要ではあるが、基礎資料の収集としては、所期の目的が達成できた。「通常業務全般についての被災時における業務の優先度調査」については、貴重な資料が収集できた一方、被災時の業務の優先度について全体観を持って検討するうえでは、優先度をバランス良く判断するための業務の細目の設定や、優先度の考え方自体に検討課題があることも判明した。

## 地域防災拠点を核とした防災街区の形成と都市機能継続モデルの構築に関する研究

キーワード エリア防災計画、モバイル空間統計、地域防災拠点、被災地支援

村上 正浩\*

### 1. はじめに

本研究の目的は、新宿駅周辺地域をモデルケースとして、本学新宿校舎を地域防災拠点とした防災街区を形成し、地震時の被害軽減と速やかな都市機能の回復を可能とするモデルを構築することにある。地域防災拠点は、平常時にはひとつづくりやしくみづくり、研究活動等を行い、地震時には応急活動・医療救護活動・復興活動等の拠点となるとともに、非常時通信システムとリアルタイム広域情報共有システムの活用によって地域の情報拠点として機能する。

本年度は、上記目的を達成するため、新宿駅西口地域を防災街区としてエリア防災計画の具体的検討を進め、さらにテーマ4と連携し、2012年2月3日の東京都総合防災訓練においてリアルタイム広域情報共有システムの運用実験と情報通信に関わる計画項目の検証を行った。また、モバイル空間統計を活用した外出者対策の検討を継続し、都内で外出者対策が必要な地域の把握と徒歩帰宅方法の検証を行った。一方、地域防災拠点として新宿区四谷特別出張所管内の避難所運営管理協議会をモデルとした地域防災体制づくりを継続して支援するとともに、東日本大震災後はボランティア活動の拠点として様々な被災地支援活動を展開した。

### 2. 新宿駅西口地域のエリア防災計画の検討

東日本大震災では、大規模ターミナル駅周辺部の人口・業務機能が集積した地域において大量に帰宅困難者が発生し、その対応が大きな課題となった。この教訓を踏まえ、内閣官房地域活性化統合事務局は、「都市再生の推進に係る有識者ボード防災WG」を設置した。報告者は本WGの委員として参加し、昨年度までの本研究の成果<sup>1)</sup>や、東日本大震災時における新宿駅西口地域の事業者の初動対応等に関するアンケート調査<sup>2)</sup>の成果、新宿駅西口地域の防災資源調査の成果（図1）などを反映し、地震発生直後の対応、業務継続性の確保及び早期復旧の可能性の向上、人材育成・教育の実施を通じて、人口・機能

集積地域の防災力の向上を図る「エリア防災計画」の基本方針をとりまとめた。

エリア防災計画では、地域の防災対策上の課題、地域の関係者との連携を踏まえ、①就業者及び滞留者に係る人的被害・負担の抑制（直接被害、退避プロセス、退避スペース等）、②立地企業の業務継続性の向上（機能の自立性の確保、機能喪失時の対応）、③共通事項（運用等、人材育成・教育）の3つの視点から計画を策定していく。新宿駅西口地域を防災街区とし、エリア防災計画に盛り込む項目を検討した結果を表1に示す。具体的な計画内容については現在作成しているところである。なお、表1にある情報通信に関わる項目については、2012年2月3日に東京都総合防災訓練の一環として実施した新宿駅周辺の帰宅困難者対策訓練において、テーマ4と連携し自営通信網を構築したうえで、リアルタイム広域情報共有システム（図2）やエリアワンセグ等の各種情報ツールを利用した情報収集伝達に係る運用実験を行い、各種ツールの有用性と今後に向けた課題を明らかにした。とくにリアルタイム広域情報共

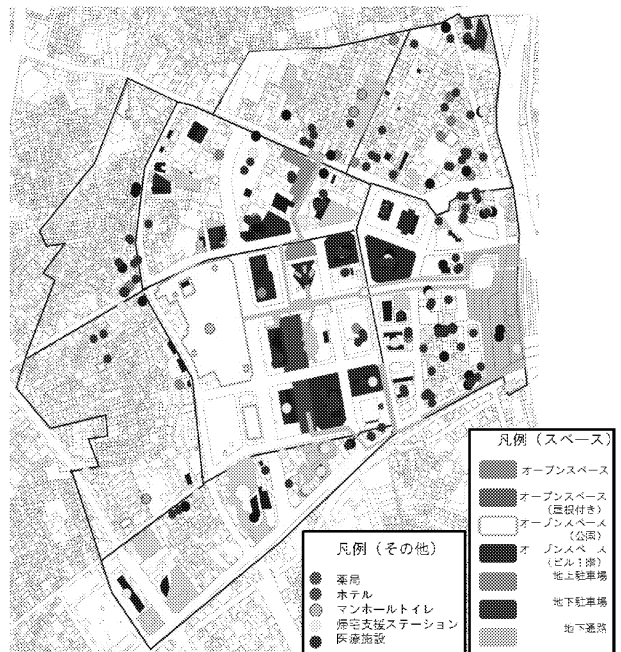


図1 新宿駅西口地域の防災資源調査結果

\* : 工学院大学建築学部まちづくり学科

表1 新宿駅西口地域を防災街区としたエリア防災計画に盛り込む項目案

|                       | リスク・課題        | 計画項目                        |  |  |
|-----------------------|---------------|-----------------------------|--|--|
|                       |               | ソフト対策                       | ハード対策  |  |
| 就業者及び滞留者に係る人的被害・負担の抑制 | 直接被害          | 建築物・各種施設の倒壊                 | ・建築物、各種施設等の耐震化   |  |
|                       |               | 建築物・各種施設の火災                 | ・建築物、各種施設等の不燃化   |  |
|                       |               | 建築物等内部の家具類の転倒・落下・移動、ガラスの飛散等 | ・建物内の什器類の転倒防止・固定<br>・建物外壁の破損、ガラスの飛散対策                                    |  |
|                       |               | 屋外での落下物                     | ・屋外広告物等に係る安全対策の推進  |  |
|                       |               | 高層ビルの長周期震動                  | ・長周期地震動による被害の認識<br>・制震化等高層ビルの長周期振動対策                                     |  |
|                       |               | エレベーターでの閉じ込め                | ・閉じ込め時の救出体制の整備<br>・安全停止装置などの充実   |  |
|                       | 退避プロセス        | 帰宅困難者・滞留者の発生                | ・「むやみに帰さない」（新宿ルール①）<br>・一時待機場所の周知<br>・一時待機場所での運営方法                       | ・滞留者の一時待機場所の確保（各ビル1階スペース等）   |
|                       |               | 退避ルートがわからないことによる混乱          | ・各施設からの退避所への退避ルートの明確化<br>・要援護者への情報提供方法<br>・地域内共同での防災訓練の実施<br>・帰宅支援マップの作成 | ・わかり易いサイン、緊急放送設備<br>・地域内防災対応通信（無線等の活用）   |
|                       |               | 各施設からの退避者の錯綜等による将棋倒し等       | ・混乱を回避する退避誘導<br>・エリア内の被災情報の集約<br>・情報収集のルール<br>・新宿区との情報共有方法の確立            | ・退避しやすい退避路（拡幅等）の整備<br>・エリアを管理する統合的防災センターの整備<br>・各施設等への災害用通信設備の整備                                     |
|                       |               | 建築物内での待機に向けた安全性確認           | ・一時退避後の安全性確認方法<br>・安全性確認後の指示方法の確立  | ・安全性確認のためのモニタリングシステム等の充実<br>・一時退避者への情報伝達設備   |
|                       | 退避スペース等       | 退避スペースの確保                   | ・各施設からの誘導先の明確化<br>・滞留者用スペースでの受け入れに関するルール                                 | ・各ビル1階に滞留者用スペースの整備<br>・退避場所の耐震性等の整備<br>・地下街の利活用  |
|                       |               | 食糧・飲料等の確保                   | ・食糧、飲料等の備蓄・配布に関するルール<br>・退避場所周辺での物資等の融通ルール<br>・物資の保管場所情報の共有              | ・食糧、飲料等の備蓄（組織ごと、滞留者を想定する）<br>・防火を兼ねた拠点水槽の整備<br>・物資等の共有のための輸送路等の整備                                    |
|                       |               | 通信機能等の確保                    | ・災害情報、安否情報の提供・共有ルール<br>・エリアワンセグ等を用いた平時からの情報提供                            | ・通信設備、自家発電等の整備等<br>・大型ビジョンの活用（安否確認方法の周知等に活用）   |
|                       |               | 医療サービスの確保                   | ・医療スタッフの確保方策（医師、応急救護ボランティア等）<br>・ボランティアの募集方法<br>・医療機関毎の役割分担              | ・各ビル1階に応急救護所の設置<br>・医療活動用の備蓄<br>・負傷者搬送のための施設及びルートの確保   |
|                       |               | ライフラインの寸断                   |  | ・上下水道、電気などに係る施設の耐震化  |
|                       |               | 交通機関の停止                     |  | ・道路、鉄道施設等の耐震化  |
|                       | 立地企業の事業継続性の向上 | 機能の自立性の確保                   | エネルギーの確保   | ・非常用発電設備からの電気の供給<br>・拠点施設における非常用発電設備<br>・広域的な自立型エネルギーシステム  |
|                       |               |                             | 通信機能の確保  | ・事業者同士の情報収集伝達の方法の確立<br>・拠点施設における自営通信設備（FWAなど）<br>・地域内防災対応通信（無線・PHS等の活用）<br>・WebGIS等情報ツールを用いた拠点間の情報共有 |
|                       |               | 機能喪失時の対応                    | 業務機能の喪失  | ・新宿ルールの周知徹底<br>・ビル管理会社及びテナント会社の連携<br>・近隣ビルとの業務スペース等の相互貸出   |
|                       | 共通事項          | 運用等                         | 運用等  | ・エリアマネジメント組織の構築<br>・エリア防災計画に関わるインセンティブ   |
| 人材育成・教育               |               | 啓発活動                        | ・防災広報の充実<br>・防災教育の推進<br>・事業者を対象としたセミナーの開催                                |  |
|                       |               | 防災訓練                        | ・東京都と連携した総合防災訓練<br>・医療従事者と連携した災害医療訓練<br>・情報通信訓練<br>・各事業者による自助の防災訓練       |  |
|                       |               | 防災組織の強化                     | ・防災市民組織の強化・活性化の支援<br>・防災サポーターの養成、登録                                      |  |
|                       |               | ボランティア等との連携                 | ・ボランティア、NPO、建築士等との協力・連携<br>・地域の事業者同士の協力・連携                               |  |

有システムについては、クライアント側のPCの利用環境としてJavaが必要なため、セキュリティの関係からシステムの利用が困難となる企業が多くあったことが大きな課題となった。平常時から広く利用できる環境の整備に向けて、システム改良が今後の課題である。

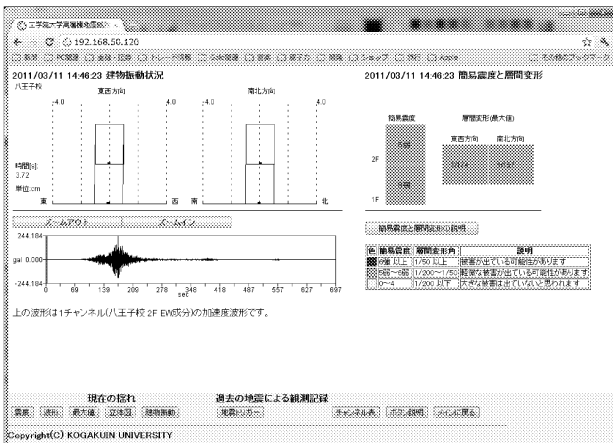
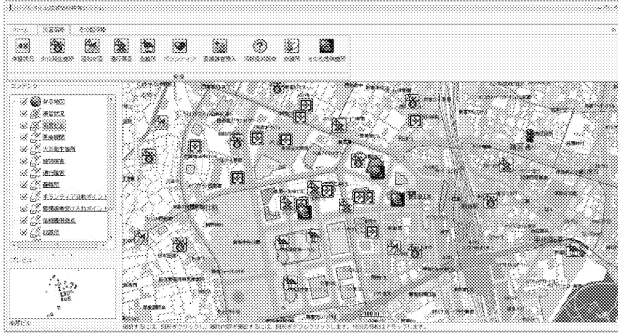


図2 リアルタイム広域情報共有システムの画面例  
 (上: 被害情報等の共有画面、下: 八王子校舎の地震波形・建物被害推定情報の共有画面)

### 3. モバイル空間統計を利用した外出者対策の検討

昨年度よりNTTドコモ先進技術研究所と共同して、東京都を対象にモバイル空間統計を活用した外出者対策について検討してきた<sup>1)</sup>。本年度も継続し、都内の外出者の実態把握を進めつつ、外出者対策が必要な地域を把握し、4つのモデルによるシミュレーションを通じて徒歩帰宅方法を検証した。なお、本年度は東京都総合防災部の委託研究の一環として本テーマを実施した。

#### 3.1 外出者対策が必要な地域の把握

まず、首都直下地震による東京の被害想定を参考とし、平日12時の滞留者数を基に統計手法(K-means法)を用いて都内を150のエリアに分割したうえで、エリアごとに滞留者密度・帰宅困難者密度(千人

/km<sup>2</sup>)を算出した。次に、滞留者密度・帰宅困難者密度がともに高い平日12時と平日18時の結果を利用し、外出者対策が必要と考えられる20エリアを抽出した(図3、表2)。抽出されたエリアは千代田区、中央区、渋谷区、新宿区、港区、台東区、文京区、江東区、墨田区、板橋区、豊島区、世田谷区、目黒区に広く分布し、都内の滞留者総数の19%、帰宅困難者総数の35%が当該エリアに含まれる。

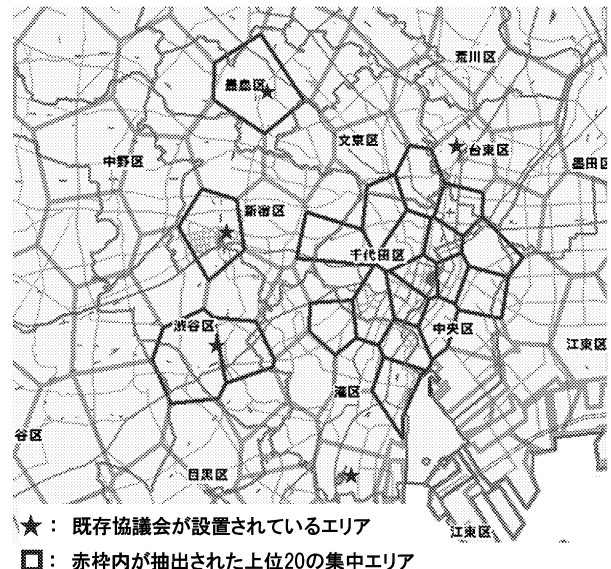


図3 外出者対策が必要な都内上位20エリアの分布  
 表2 外出者対策が必要な都内上位20エリアとエリアに含まれる自治体

| エリア   | エリアに含まれる自治体          |
|-------|----------------------|
| 丸の内   | 千代田区、中央区             |
| 日本橋   | 千代田区、中央区             |
| 日比谷公園 | 千代田区、中央区             |
| 西新宿   | 新宿区、渋谷区              |
| 鍛冶町   | 千代田区、中央区             |
| 東新橋   | 千代田区、中央区、港区          |
| 築地    | 中央区                  |
| 霞が関   | 千代田区、港区              |
| 神田和泉町 | 千代田区                 |
| 飯田橋   | 千代田区、文京区、台東区         |
| 赤坂    | 千代田区、港区              |
| 一ツ橋   | 千代田区                 |
| 本郷    | 千代田区、文京区、台東区         |
| 神宮前   | 港区、渋谷区               |
| 芝浦    | 中央区、港区               |
| 新川    | 中央区、江東区              |
| 日本橋浜町 | 千代田区、中央区、台東区、江東区、墨田区 |
| 西池袋   | 新宿区、文京区、豊島区、板橋区      |
| 五番町   | 千代田区、新宿区             |
| 松濤    | 目黒区、世田谷区、渋谷区         |

#### 3.2 徒歩帰宅シミュレーション

表3に示す前提条件のもと、①地震発生直後に一斉帰宅するモデル(シナリオ1)、②地震発生から72時間後に一斉帰宅するモデル(シナリオ2)、③地震

発生から72時間後に居住地が遠い人から時差帰宅するモデル(シナリオ3)、④地震発生から72時間後に居住地が近い人から時差帰宅するモデル(シナリオ4)、についてシミュレーションを実施した。シナリオ1と2を比較することで地震発生直後の徒歩帰宅を抑制する効果を検証し、シナリオ2・3・4を比較することで時差帰宅の効果を検証する。

シナリオ1と2を比較した結果(図4)、地震直後の帰宅を抑制することで徒歩帰宅完了率が約4割向上できることが確認できた。また、通過負荷(徒歩帰宅者が当該区市をどの程度距離を歩くかを算出した指標)の観点からみると、情報の混乱や徒歩帰宅者の安全性の面からも地震直後の帰宅を抑制することが有効であることが把握できた。一方、シナリオ2・3・4を比較した結果(図5)、どのシナリオも通過できる道路条件および徒歩帰宅が完了するまでの帰宅者数は同じであるが、時差帰宅を行うことで、帰宅者の集中と混乱を軽減できることがわかった。また、シナリオ3と4を比較してみると、滞留場所から帰宅距離が20km以上の帰宅者を優先的に帰宅させる方が帰宅者の集中を回避でき、さらに通過する区市の負担の軽減にもつながることが確認できた。

表3 シミュレーションの前提条件

| 項目                  | 条件  |
|---------------------|---|
| 1) 入力データ            | 地元居住者(滞留区市と居住区市が同一の方)および東京都市圏外居住者(東京都、神奈川県、埼玉県、千葉県、茨城県以外の居住者)を除く、東京都内での全滞留者を対象とした。  |
| 2) 一斉帰宅を抑制するための待機時間 | 首都直下地震帰宅困難者等対策協議会の一斉帰宅抑制の基本方針(案)より72時間(3日間)とした。   |
| 3) 道路の通行可能性         | シナリオ1では、首都直下地震による東京の被害想定報告書および地震に関する地域危険度測定調査(第6回)を参考にし、甚大な建物被害や火災被害が想定される地域内の道路および橋梁の崩落個所については通行できないとし、シナリオ2・3・4については橋梁の崩落個所のみ通行できないとした。 |
| 4) 時差帰宅における距離基準     | シナリオ3と4は、地震発生時の滞留場所と帰宅場所の距離に基づいて時差帰宅を実施する。「遠い/近い」の判断基準については、平日12時と18時における徒歩帰宅する対象者数を2分する距離とし、分析の結果から20kmを基準とした。                           |
| 5) 経路選択モデルと歩行速度     | ①滞留区市の面積重心から帰宅区市の面積までの最短距離を選択、②選択する道路は主要道路(国道と都道都市、高速道路は除く)を選択、③帰宅支援対象道路に指定されている道路を優先選択、という条件で経路選択するモデルとし、道路上を一律時速4kmで移動する。               |

上記は4つのシナリオに基づくシミュレーションから得た知見ではあるが、これらを実現していくには多くの課題がある。たとえば、地震発生後から72時間の間、大量の外出者をどこに受け入れるのか、また受け入れた後、大量の外出者に対して水・食料・トイレ・情報等を十分に提供できるのか、さらに誰が時差帰宅の開始を判断し、都内全域でどのようにコーディネートしながら時差帰宅を実現していくのか、さらに徒歩帰宅者が通過する区市では帰宅者の支援をどのように行っていくのかなど、地震発生直後からの一斉帰宅の抑制と時差帰宅の実現に向けて解決すべき課題は多い。

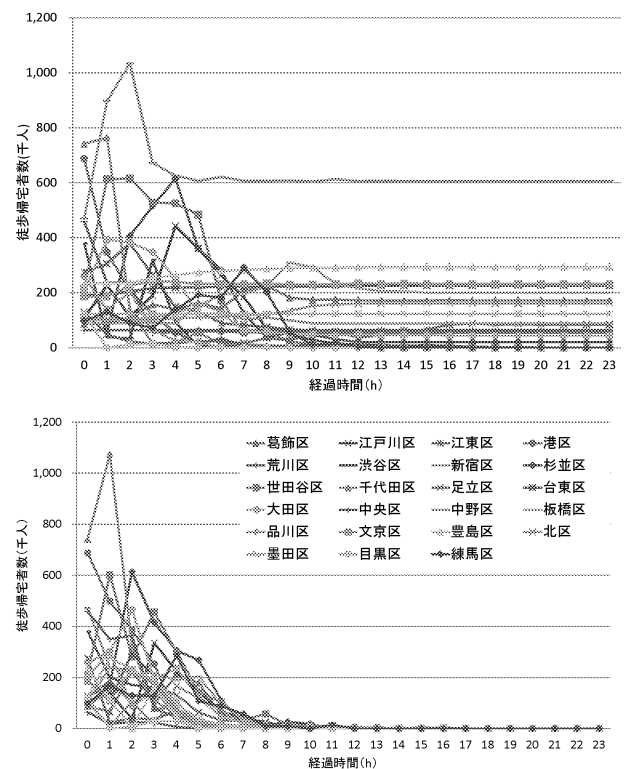


図4 シナリオ1(上)・2(下)の徒歩帰宅者数の推移

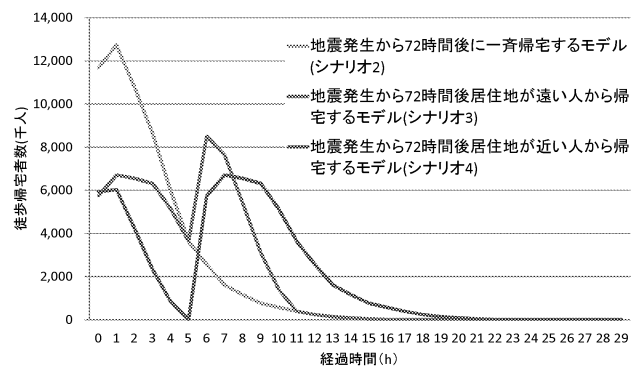


図5 シナリオ2・3・4の徒歩帰宅者総数の推移

#### 4. 避難所を防災拠点とした地域防災体制づくり

昨年度までの四谷第6小学校避難所運営管理協議会での取り組み<sup>1)</sup>を通じて、避難所を防災拠点とした地域防災体制づくりが必要であることがわかった。本年度は、地震発生後の初動期において避難所に求められる5つの機能（地域防災活動の拠点機能、情報拠点機能、医療救護拠点機能、物資供給拠点機能、避難拠点機能）に焦点をあて、四谷特別出張所管内の避難所運営管理協議会をモデルに、避難所を防災拠点とした地域防災体制について検討した（図7）。

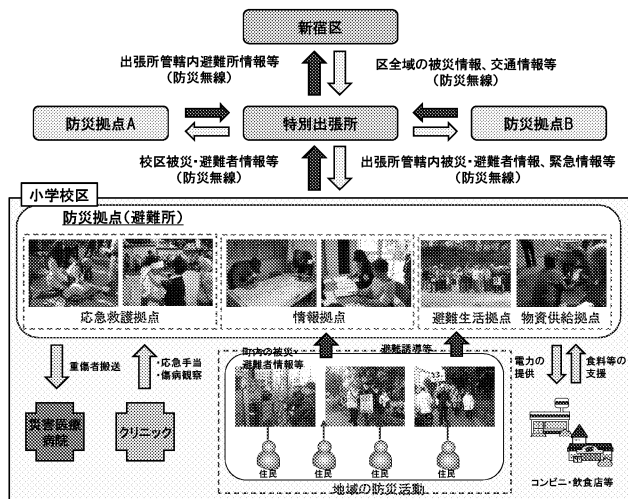


図7 避難所を防災拠点とした地域防災体制

##### (1) 地域防災活動の拠点機能

地震発生後、地域内で発生した様々な被害に対して、避難所を地域防災活動の拠点とし、地域住民が協働した迅速な初動対応と状況把握が行える体制づくりが必要となる。一方、これらと並行して避難所開設に向けた対応も必要となる。新宿区内で震度5弱以上を観測した場合には本部・庶務部・物資供給部は速やかに避難所へ参集し、避難所開設のための準備を行う。開設後は、防災行政無線を使って地域本部（新宿区四谷特別出張所）へ開設報告を行う。また、就学時間帯に地震が発生した場合には、学校教職員が避難所開設を支援する。

##### (2) 情報拠点機能

各町会の一時集合場所、避難所、地域本部、新宿区災害対策本部が連携した情報収集伝達体制を図8に示す。また、新宿区区長室危機管理課へヒアリングを行い、避難所を情報拠点とした情報収集伝達における情報項目について整理した（表4）。

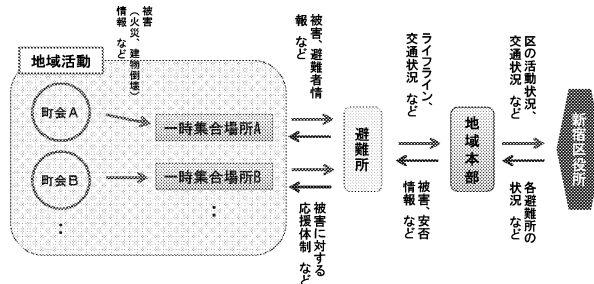


図8 避難所を情報拠点とした情報収集伝達体制

表4 初動期における情報項目の例

| 対応区分 | 情報収集・伝達項目(数値のみ)  | 情報受信項目   |
|------|--|--|
| 避難所  | 被災情報<br>・被害の概況の確認(特に火災、建物倒壊)<br>・人的被害<br>・地域内の安否人数<br>・(在宅避難者数)  | ・避難指示・勧告<br>・被害に対する応援体制<br>・負傷者などの搬送手段<br>・災害時要援護者の安否確認  |
|      | 避難所情報<br>・避難所運営管理協議会の参集状況<br>・ライフライン(水道、電気、ガスなど)の状況<br>・施設内の被害状況<br>・避難所の開設時期<br>・避難所内の人数<br>・教師、児童の人数<br>・活動スペースの使用状況<br>・各避難所の人数状況 | ・居住困難者、滞留者の受け入れ施設状況<br>・被災後旧状況<br>・被災後旧状況<br>・負傷者搬送先の病院情報<br>・第二次避難所の状況<br>・第二次避難所の受け入れ状況<br>・区の活動状況 |
|      | 地域本部<br>・各避難所の被害状況(火災、建物倒壊、人的被害など)<br>・各避難所の開設状況<br>・地域本部の参集状況<br>・本庁舎及び区施設の被害状況<br>・広域避難所の状況<br>・本庁舎及び区施設の被害状況                      | ・正確な震度情報<br>・鉄道などの運行状況<br>・ガス・電気などの供給状況<br>・第二次避難所の状況<br>・災害拠点病院などの医療機関の状況<br>・自衛隊の派遣要請              |
|      | 新宿区<br>・区内の被災状況(特に火災、建物被害)<br>・職員の安否状況・参集可能人数<br>・参集ルート上の被災状況<br>・各地域本部からの情報   | ・自衛隊・警察からの活動状況<br>・鉄道などの運行状況<br>・ガス・電気などの供給状況<br>・自衛隊の派遣要請状況   |

##### (3) 医療救護拠点機能

四谷特別出張所管内には、災害拠点病院、救急告示医療機関、医療救護所がそれぞれ1ヶ所ずつあるが、首都直下地震を想定した場合にはこれらだけでは十分な対応は期待できない。そこで、避難所を医療救護拠点として、地域の医療資源と連携した医療救護体制を構築していく必要がある。四谷ひろばと四谷小学校の周辺には内科や外科が集中していることから、四谷ひろばおよび四谷小学校を応急救護所とし、周辺の医療従事者と連携した医療救護の仕組みづくりが有効だと考える。一方、災害拠点病院である慶応義塾大学病院に隣接する四谷第六小学校については、医療救護所として指定することで、慶応義塾大学病院のトリアージポストとして活用できる可能性があり、慶応義塾大学病院と連携した仕組みづくりが望まれる。

##### (4) 物資供給拠点機能

四谷特別出張所管内には多数のコンビニや飲食店等があり、こうした地域資源と避難所が連携し、避難所を拠点とした物資供給の仕組みづくりを検討しておくことが望ましい。児童の教育の場である小学校に物資備蓄のスペースを十分に確保できないことが問題としてあげられるが、地域にあるコンビニや

飲食店等と連携することで、この問題解決にもつながると期待している。

#### (5) 避難拠点機能

避難拠点として機能するため、避難者の受け入れ、災害時要援護者の支援や帰宅困難者の対応などを事前に検討しておく必要がある。とくに児童の就学時間帯に地震が発生した場合、児童の安全を確保しつつ、住民と学校教職員がどのように役割分担をして避難者の受け入れを行うのか、またライフラインが途絶したなかでの夜間の受け入れ、さらに在宅避難者への対応と支援については検討が必要である。一方、避難所での帰宅困難者の対応については、帰宅困難者による混乱を避けるため、新宿区災害対策本部・地域本部と連携しながら受け入れ施設の情報収集を行い、帰宅困難者への情報提供と施設への誘導などを行っていくことが求められる。

### 5. 大学をボランティア活動拠点とした様々な被災地支援活動<sup>3)</sup>

東日本大震災以降、大学をボランティア活動拠点として、理工系大学の特色・学生の専門性をいかした様々な被災地支援活動を進めてきた。宮城県気仙沼市においては、まず、2011年4月にはものづくりに強い建築系学生の専門性をいかし、身近で加工しやすい段ボールを使って避難所内のプライバシー確保の間仕切りや様々な生活小物の製作など、避難所内の生活環境の改善に取り組んだ（写真1）。7月には、厳しい被災体験をした子どもたちに「子どもらしさ」を取り戻してもらうため、本学が理科教育の普及活動の一環として行っている理科教室を現地に開催し、子どもたちには大いに汗と歓声と笑いを噴出してもらった（写真2）。また、こうした活動と並行して、画像系ソフトやパソコンの扱いに慣れた理工系学生の強みをいかし、津波によって痛み汚れてしまった写真を撮影されたときに近い状態にデジタル上で修復し、被災者の大切な思い出を未来へと残す「あなたの思い出まもり隊プロジェクト」にも7月から取り組んでいる（写真3）。

こうした被災地での支援活動を通じて、学生の問題解決能力や協調性、コミュニケーション力の向上につながっていることが、学生たちの言葉や行動から垣間見ることができた。今後は学生のボランティア活動を持続的に行える環境整備を進めていきたい。



写真1 避難所の環境改善活動の様子



写真2 ちよい理科教室の様子

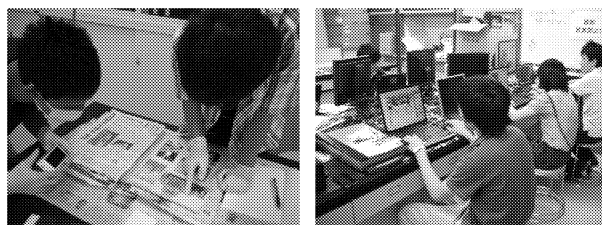


写真3 写真修復活動の様子

### 6. おわりに

本年度は、新宿駅西口地域を防災街区とした都市機能継続モデルの構築に向けてエリア防災計画の具体的検討を進め、さらにテーマ4と連携することでリアルタイム広域情報共有システムの有用性と課題を明らかにした。また、昨年度から継続してモバイル空間統計を活用した外出者対策の検討を進め、都内で外出者対策が必要な地域を把握するとともに、徒歩帰宅者の支援方法を検証した。一方、地域防災拠点として四谷特別出張所管内の地域防災体制づくりを支援し、さらに東日本大震災後はボランティア活動拠点として様々な被災地支援活動を展開した。

#### 参考文献

- 1) 村上正浩、久田嘉章、地域防災拠点を核とした防災街区の形成と都市機能継続モデルの構築に関する研究、工学院大学総合研究所都市減災研究センター 平成22年度研究成果報告書、pp. 121-124、2011
- 2) 新藤 淳、平本達也他、2011年東日本大震災における新宿駅西口・超高層建物のアンケート調査（その2）事業者を対象とした被害と初動対応に関するアンケート調査、日本地震工学会大会、pp. 38-39、2011
- 3) 村上正浩、濱野航平他、理工系大学の特色をいかした被災地支援の取り組み、社会貢献学会第2回大会予稿集、pp. 27-32、2011

## 地域防災拠点を核とした防災街区の形成と都市機能継続モデルの構築に関する研究

キーワード

宮村正光\*

地域の防災ポテンシャル、応急対応力、地域協働、  
地域機能回復、機能継続性

### 1. はじめに

首都圏、特に新宿駅に代表される大規模ターミナル駅周辺地域では、至近距離で大地震が発生した場合、人的・物的・経済的に甚大な被害の発生が懸念される。このような被害に対する震災抵抗力を評価する手法の一つとして、現状では地域防災計画の中で、被害想定や危険度評価などが用いられる。これは、国や各自自治体によって評価対象や算出方法が異なるが、その多くは兵庫県南部地震等の過去の被害データを基に作成された被害予想式等がベースになっている。これは地震に対する地域の防災力や脆弱性をあらかじめ簡便に定量的に把握できることから、震災への備えや緊急時の対応を予め計画するためには有効な手段である。しかし、震災抵抗力の定義や評価方法は、対象となる地域や災害の種類によって被害の波及連鎖が複雑、多様な様相となり、地域固有の特性と地震被害との相関関係は、不明確な部分も多い。より実効的な対策を講じるためには、地域の特性を適切に反映した評価手法が求められている。

新宿西口地域においても、高い耐震性能を有する超高層ビル群の周辺には、雑居ビル等低層の老朽建物が密集し、また昼夜間の時間帯による人口構成の急激な変動や、地域全体としての耐震性能、防災力のアンバランスなど、ソフト、ハード両面で課題が多い。地域として必要な機能を継続するためには、地域の防災ポテンシャルの適切な評価に基づき、自治体と地域の協働による活動体制のスキームや応急対応力の向上、最も基本となる人材育成など、あらゆる視点からの検討が必要となる。

### 2. 地域の潜在的資源の活用

地域の防災ポテンシャルを評価する場合、評価単位、範囲が、基本的な事項として重要である。従来の町丁目の境界を超えて、同種の属性を有する地域ごとにまとめた、街区構成の検討も必要であろう。

#### 1) 人的資源の活用

時間帯ごとに地域に居住する住民構成を考慮した、防災力の評価が必要である。昼間では首都圏以外から、さまざまな年齢構成の膨大な一時滞留者が流入するが、高層ビル群の事務所等に勤務する多数の企業人が対応力の中心となる。一方夜間では、周辺の中低層住居群に居住する人が大半となる。このような地元住民に対してはあらかじめ、年齢構成や住民の属性が把握でき、リーダーや災害時の要支援者の識別などが可能となり、対応力を高めることができる。たとえば多彩な技術を保有する住民の人材バンクの登録制度なども有効であろう。

災害時に公的機関や、民間企業の連携管理を含め柔軟に統括する、地域リーダーを事前に選定して、養成しておくことが何よりも重要である。

#### 2) 物的資源の活用

地域全体の総合的な耐震性能の評価が必要で、超高層ビル群を始めとする耐震性能の高い施設を防災拠点として活用する。想定被災レベルに応じた、健全性評価結果の公表し、拠点機能を果たせる建物を明確にして、具体的な避難計画を提示する。地域としてのライフライン供給能力の提示も不可欠である。

#### 3) リアルタイム広域情報共有システムの有効性

災害直後の行動を支配する周辺地域の情報把握は、公的な情報と併せ、人間行動を支援する上で、不可欠で、極めて重要である。（図1参照）活用訓練を通して、伝達方法や、情報セキュリティの管理上の問題などの課題も明らかになっており、これらを踏まえたエリアごとの強固な情報プラットフォームの構築が望まれる。

### 3. 地域としての重要機能の確保と目標水準の設定

#### 1) 目標とする重要機能の水準と確保

地域継続を考える際の基本となる必要機能水準の例として以下の項目があげられる。

\* : 工学院大学建築学部まちづくり学科



- ① 負傷者の受け入れ能力、他地域への搬送能力  
救急、救命の医療活動
- ② 必要物資の供給能力
- ③ 必要情報の発信・受信能力
- ④ 火災延焼防止能力
- ⑤ 帰宅困難者、収容能力

2) 早期の地域機能の回復に必要な主な要素と課題

- ①施設要素（建物の構造部材、二次部材、設備等）の被災箇所の確認⇒安全性評価判定要員の育成、ガイドラインの作成、資機材の調達、マップの作成
- ②応急対応の対象となる人数、属性、被災状況等の把握、居住・通勤・通学・一時訪問する人の数、属性等の把握及び被災状況（事前・発災時の状況把握）⇒人の属性に応じた支援内容・方法の検討（高齢者・子供、傷病者、外国人等要支援者）
- ③応急対応ポテンシャルの評価

対策本部・避難所等の候補空間、医療機関、食料・飲料・生活必需品の供給、消火機能、情報収集・伝達機能など⇒ポテンシャル評価項目の抽出、評価の実施、マップの作成

- ④活動体制の確立：災害対策本部、自衛消防組織⇒活動体制の階層化と各階層の役割の明確化、活動マニュアルの整備⇒臨機応変な地域リーダーの対応力の向上と人材育成カリキュラムの開発、訓練による実効性の確認と改善点の抽出

4. 地域継続性の評価

対象地域が災害直後にも必要な機能を保持するためには、図2のように平常時に求められる機能水準と災害時の変化・増分量をできるだけ、具体的に把握し、対象地域が保有する人的、物的能力を最大限活用できる仕組みを構築することが、重要である。最終的には図3のフローに示すように、地域全体の健全性の即時的な評価と共に、地域の使用性、機能性、修復性について、必要な水準を確保するための対策の優先順位付けが行われる。この場合、対象エリアの大きさ、施設数などにより、映像情報等、センサーや通信技術などとの統合も不可欠である。

地震時の被害軽減と速やかな都市機能の回復を可能とするモデルを構築に向けて、主な項目が検討されている<sup>1)</sup>。今後地域機能を継続させるためには、地域がもつ潜在的な人的、物的資源を有効に活用し、さらに具体的な研究推進が必要である。

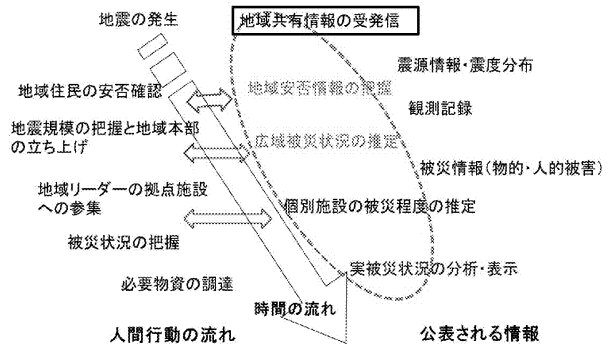


図1 時系列に沿った情報共有の流れ

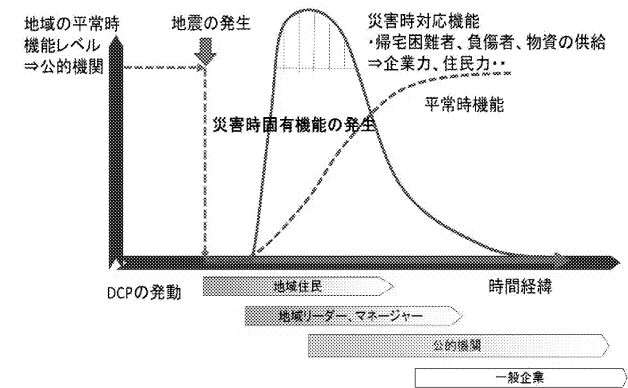


図2 地域の機能継続性の概念

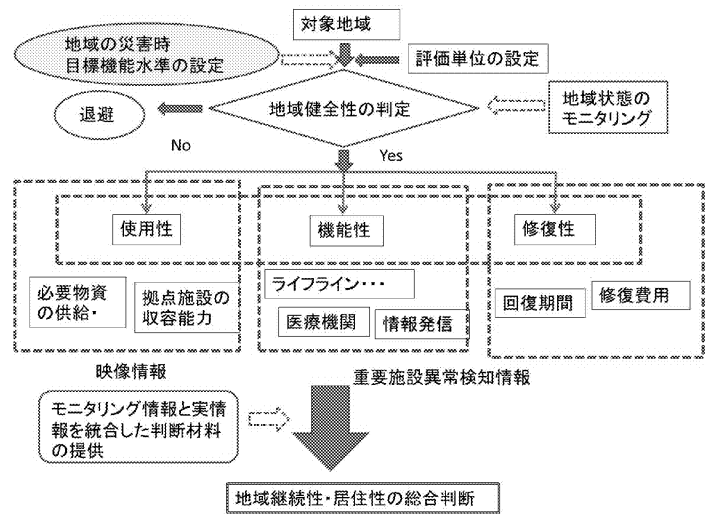


図3 地域継続性判断の概略フロー

参考文献

- 1) 村上正浩、久田嘉章、地域防災拠点を核とした防災街区の形成と都市機能継続モデルの構築に関する研究、工学院大学総合研究所都市減災研究センター 平成22年度研究成果報告書、pp.121-124、2011
- 2) Masamitsu Miyamura, et.: Earthquake Hazrd Mitigation in urban Areas by the integration of socio and engineering approach, International Symposium on Society for Social Management Systems, 2009.May,



総合研究所・都市減災研究センター (UDM) 新規導入設備 (平成 23 年度)  
 長距離無線 LAN・非常用通信システム

水野 修・浅谷耕一 (工学院大学工学部情報通信工学科)、中里秀則 (早稲田大学)

1. 概要

災害対策拠点の分散化を支援し、かつ耐災害性の高い通信システムとして「長距離無線 LAN・非常用通信システム」を構築した。これは、災害発生時では既存の携帯電話網などが満足に使用できないことが想定できるため、無線 LAN システムを組み合わせることで実現する。本システムは、被災地区内の情報受発信のための「情報収集配信システム」、被災が小さく、既存通信インフラとの接続が可能な拠点 (以下バックアップ拠点) との通信を行う「長距離無線 LAN システム」、被災地区間の情報連携を行うための「区域間通信システム」から構成した。概要図を図 1 に、仕様を表 1 に示す。

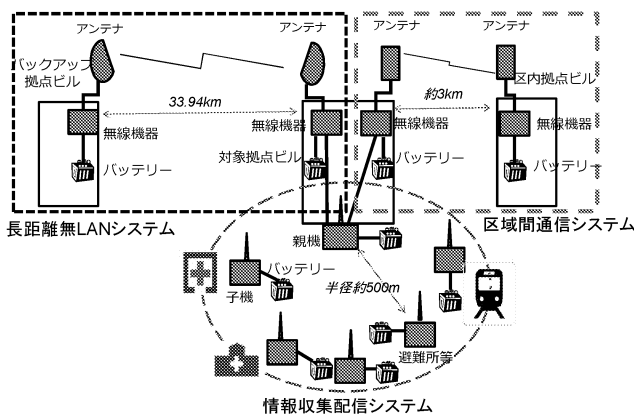


図 1 長距離無線 LAN・非常用通信システム概要

表 1 システムの仕様概要

| システム           | 周波数    | 親局                | 子局                        | 距離            |
|----------------|--------|-------------------|---------------------------|---------------|
| 情報収集配信システム     | 4.9GHz | 工学院大<br>新宿キャンパス   | 西新宿内<br>(可搬:5 台)          | 約<br>400<br>m |
| 長距離無線 LAN システム | 4.9GHz | 工学院大<br>新宿キャンパス屋上 | 工学院大八王子キャンパス 5 号館屋上       | 約<br>34Km     |
| 区域間通信システム      | 5.6GHz | 工学院大<br>新宿キャンパス屋上 | 早稲田大学<br>大久保キャンパス 55 号館屋上 | 約<br>3Km      |

2. 情報収集配信システム

西新宿地区にあるビル、避難所と災害対策本部間の通信を実現する 4.9GHz 帯のアドホックネットワークシステムである。主要な無線機器構成および仕様を表 2 に示す。

本部に設置する親局はコリニア型無指向性アンテナとし、複数の子局からの通信を同時に実現する。子局は指向性のあるパッチアンテナを持つ移動局であり、5 局まで設置できる。システムの写真を図 2 に示す。

表 2 情報収集配信システムの無線機器構成

|    | 機器名    | 型番         | メーカー | 数量  | 備考     |
|----|--------|------------|------|-----|--------|
| 親局 | 無線機    | JRL-749AP2 | 日本無線 | 1 台 | 4.9GHz |
|    | アンテナ   | NZA-657    | 日本無線 | 1 台 | 利得 5dB |
|    | 同軸ケーブル | 7ZCWN 0005 | 日本無線 | 1 本 |        |
| 子局 | 無線機    | JRL-749ST2 | 日本無線 | 5 台 | 4.9GHz |
|    | アンテナ   | NZA-646    | 日本無線 | 5 台 | 利得 5dB |
|    | 同軸ケーブル | 7ZCWN 0005 | 日本無線 | 5 本 |        |

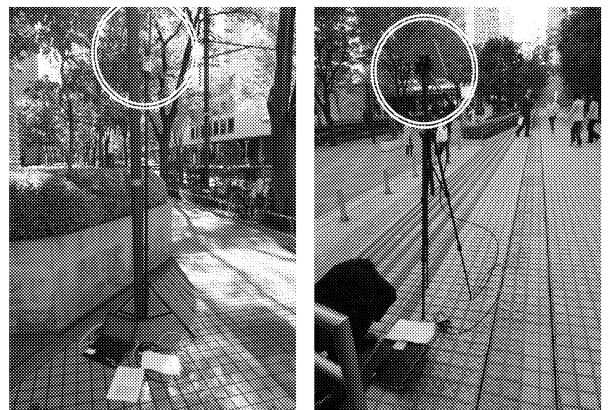


図 2 情報収集配信システム

(左: 親局, 右: 子局. 円内はアンテナ)

### 3. 長距離無線 LAN システム

新宿とバックアップ拠点である八王子を結ぶ無線 LAN システムである。主要な機器構成、および仕様を表3に示す。新宿側は事務所等で2.4GHzが多数使われており、干渉を避ける考えから、4.9GHz帯システムとした。新宿～八王子は約33Km離れているため、利得の高いパッチアンテナを双方の屋上(親局側アンテナ:工学院大学新宿キャンパス屋上,子局側アンテナ:工学院大学八王子キャンパス5号館屋上)に設置した(図3)。無線機はアンテナの横のボックスに格納しているが、電源供給はLANケーブルを用いて屋内(新宿側:A-2234室,八王子側:11-362)から供給する。なお、停電時の電源確保のために、課題4-2で検討した電源システムと接続されている。

表3 長距離無線 LAN システムの無線機器構成

| 項番 | 機器名      | 型番         | メーカー | 数量 | 備考     |
|----|----------|------------|------|----|--------|
| 親局 | 無線機      | JRL-749AP2 | 日本無線 | 1台 | 4.9GHz |
|    | アンテナ     | NZA-647    | 日本無線 | 1台 | 21dB   |
|    | 電源供給ユニット | GMN-101A   | 日本無線 | 1台 |        |
| 子局 | 無線機      | JRL-749ST2 | 日本無線 | 1台 | 4.9GHz |
|    | アンテナ     | NZA-647    | 日本無線 | 1台 | 21dB   |
|    | 電源供給ユニット | GMN-101A   | 日本無線 | 1台 |        |

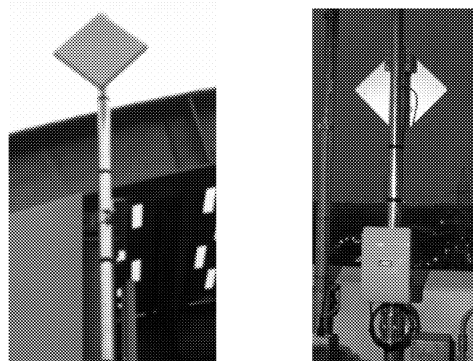


図3 4.9GHz帯アンテナ  
(左:親局(新宿), 右:子局(八王子))

### 4. 区域間通信システム

新宿区内の拠点ビルを結ぶことを想定した無線 LAN システムであり、通信区間は工学院大学新宿キャンパス～早稲田大学大久保キャンパスの約2Kmである。主要な機器構成、および仕様を表4に示す。ここでは2.4GHz帯を避け、4.9GHz帯も本システムで多用していることから、5.6GHz帯の無線 LAN システムを採用した。パッチアンテナを双方の屋上(親局側アンテナ:工学院大学新宿キャンパス屋上,子局側アンテナ:早大久保キャンパス55号館屋上)に設置した(図4)。3.と同様に、電源供給はLANケーブルを用いて屋内から供給し、停電時の電源確保のためにUPS電源と接続されている。

表4 区域間通信システムの無線機器構成

| 項番 | 機器名      | 型番         | メーカー | 数量 | 備考     |
|----|----------|------------|------|----|--------|
| 親局 | 無線機      | JRL-710AP3 | 日本無線 | 1台 | 5.6GHz |
|    | アンテナ     | NZA-646    | 日本無線 | 1台 | 18dB   |
|    | 電源供給ユニット | GMN-101A   | 日本無線 | 1台 |        |
| 子局 | 無線機      | JRL-710ST3 | 日本無線 | 1台 | 5.6GHz |
|    | アンテナ     | NZA-646    | 日本無線 | 1台 | 18dB   |
|    | 電源供給ユニット | GMN-101A   | 日本無線 | 1台 |        |

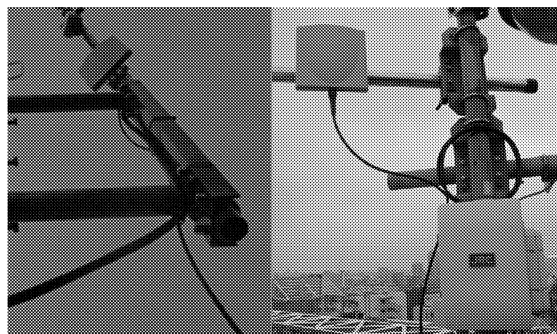


図4 5.6GHz帯アンテナ  
(左:親局(新宿), 右:子局(早稲田))

### 5. おわりに

次年度は本年度構築したシステムを用いて基本特性を明らかにするとともに、減災用のアプリケーションと組み合わせたシステムの運用方式を検討する。

### 謝辞

本システムの検討および設置に際し、ご協力をいただいた早稲田大学大学院国際情報通信研究科松本充司教授に感謝いたします。また、4.9GHz帯無線の屋外使用について、無線局登録にご協力いただいた関係各位に感謝します。さらに設置工事に際し格別のご配慮をいただいた、本学施設部施設管理課江川敦課長に感謝いたします。

## 独立型太陽光発電システムにおける蓄電部の改善とPVモジュール表面の防汚に関する検討

キーワード（独立型太陽光発電，光触媒，撥水剤，二次電池，EDLC）

米盛弘信\*

市川紀充\*\*

荒井純一\*\*

小林 幹\*\*\*

### 1. はじめに

近年，太陽光発電（Photovoltaic：PV）の導入は極めて活発に進展中である。2011年3月11日に東日本大震災が発生した。その際，系統の寸断および燃料不足で発電機が動作せず通信用電源の確保が困難な問題を生じた。ここに，独立型PVシステムは燃料の貯蔵が不要であり，災害発生時の燃料供給途絶の心配がないメリットがある。しかし，独立型PVシステムを災害時で活用するには，長期にわたってメンテナンスフリーであることが望まれる。筆者らは，運用年数が15年を経た独立型PVの現地調査を実施して，PV設備の長期運用に関する技術的な主要課題を見出している<sup>1)</sup>。ここに摘出した課題は，どれも独立型PVを地震災害時の非常用電源として活用するうえで重要な研究課題である。

そこで，本研究では課題の中「PVモジュール表面の汚染による出力低下」と「二次電池の保守・管理」の改善を行う。前者は，防汚剤（光触媒・撥水剤）をPVモジュールの表面に塗布し，防汚効果に期待する。後者は，充放電サイクルによる劣化がほとんどない電気二重層コンデンサ（EDLC）の導入および効果的な運用によって改善を図る。

本報告では，光触媒と撥水剤を塗布したPVモジュール及び無塗布のPVモジュールにおける透過率の測定を行う。そして，防汚剤がPVモジュールの発電量へ与える影響を考察する。また，EDLCと二次電池を実環境下で運用した場合の充電特性を比較して両者が等価交換できることを示す。

### 2. PVモジュール表面の防汚

PVモジュールは，長期に亘って屋外で使用されるため排気ガスや黄砂，花粉，鳥の糞，火山灰など様々な汚染物が付着する。PVモジュールは，汚染物の付着によって日射が遮られ，出力電力が低下する。一般には定期的に人の手によってPVモジュール表面の洗浄を行っている。しかし，人の労力を要

することや高所作業による危険が伴う。したがって，最小限の労力でPVモジュールの出力電力の低下を防ぐ技術開発が必要である。

そこで，本研究では住宅壁面他で防汚対策として活用されている「光触媒」と自動車ガラス用に販売されている「撥水剤」をPVモジュール表面に塗布して防汚効果の検証を行い，防汚剤がPVモジュールの発電電力に与える影響を考察する。

#### 2. 1 光触媒と撥水剤の透過率

PVモジュールに光触媒と撥水剤を塗布したことによる発電電力への影響を検証するため，光触媒と撥水剤の透過率を測定する。採用した光触媒は凜光“R-A-TS”，撥水剤はSOFT99社製“GLASS ROFF ONE”である。実験用として1枚のガラス板の半面に光触媒を塗布し，半面は無塗布のサンプルを用意した。同様に撥水剤のサンプルも用意した。両サンプルにおいて防汚剤の塗布－無塗布部における透過率を測定した。

図1に透過率測定結果を示す。図1(a)は光触媒，図1(b)は撥水剤の透過率の測定結果である。光触媒および撥水剤を塗布すると全体的に無塗布の状態と比べて透過率が低下していることがわかる。また360nm～760nmの波長において，光触媒で約4%，撥水剤で約2%透過率が低下していることがわかる。したがって，PVモジュール表面が汚染されていない初期状態では光触媒よりも撥水剤の方が発電電力への影響は少ないと考えられる。また，汚染物質が付着していない状態では，当然にして防汚剤による透過率低下の影響が出力電力に生じていると思われるが，長期暴露によって防汚剤の効果が得られたならばセルフクリーニング技術として有益であると考えられる。

#### 2. 2 防汚剤による発電量の比較

防汚効果を検証するために実験システムを製作した。実験システムは，PVモジュール（200W）と最大電力点追従制御回路（MPPT），バッテリー，巻き線

\* : サレジオ工業高等専門学校機械電子工学科，\*\* : 工学院大学工学部電気システム工学科

\*\*\* : 工学院大学 名誉教授

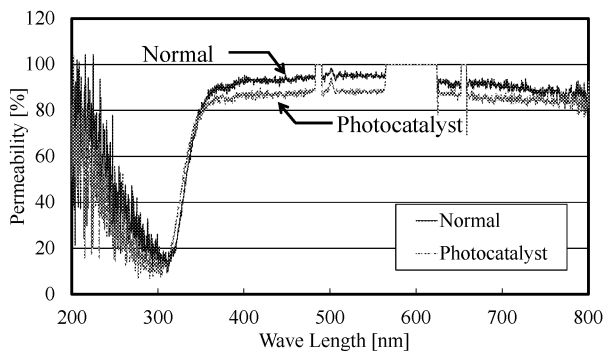
抵抗で構成される。PV モジュールの出力電力は、MPPT の前に設置された電流センサとメモリハイログを用いて測定を行う。

図 2 に 3 ケ月間屋外に暴露した PV モジュールの一日における発電電力を示す。図 2 より、各モジュールは全体的に大きな発電電力の差がないことがわかる。細かくデータを見ると、発電量が 11:30 付近では瞬間的に光触媒は撥水コートよりも約 4%、無塗布より約 5% 発電電力が低い。しかし、12:00~14:00 では光触媒の方が無塗布および撥水コートより発電量が多くなっていることがわかる。

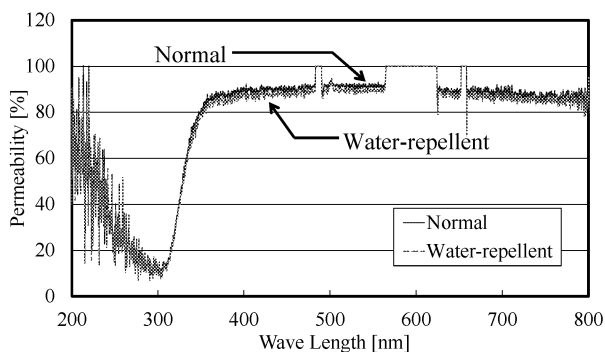
図 2(b) に 2011.9.21 (雨: 台風) の発電電力を示す。全体的に発電量は低いが、各モジュールの発電量の差は 13:00 付近などの瞬間的な点を除いて大きな開きはないことがわかる。

図 2(a)(b) より、晴れ・雨のどちらにおいても瞬間的な発電量の差はあるが、6:00~13:00、15:00~18:00 の時間帯ではそれぞれのモジュールの差はほぼないことがわかった。

したがって、3 ケ月程度の屋外暴露では汚れの付着が少ないと考えられるため各 PV モジュールの出力電力に大きな影響が出ていないといえる。

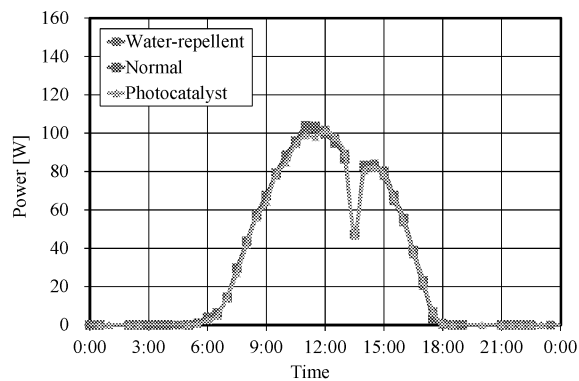


(a) 光触媒

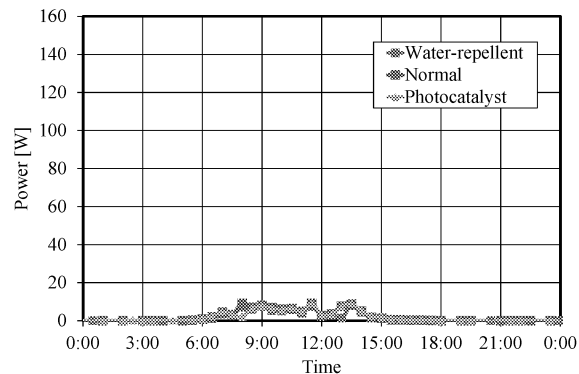


(b) 撥水剤

図 1 重水素ランプを使用した透過率の測定結果

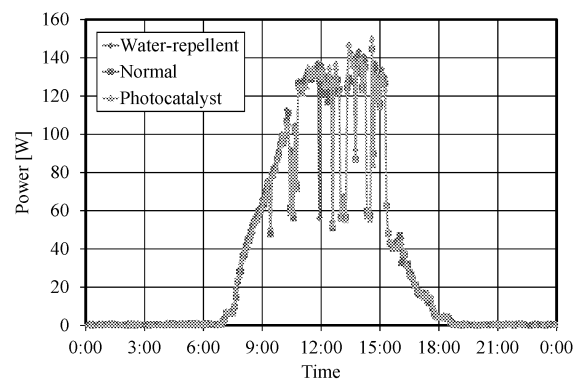


(a) 2011/09/12 (晴れ)

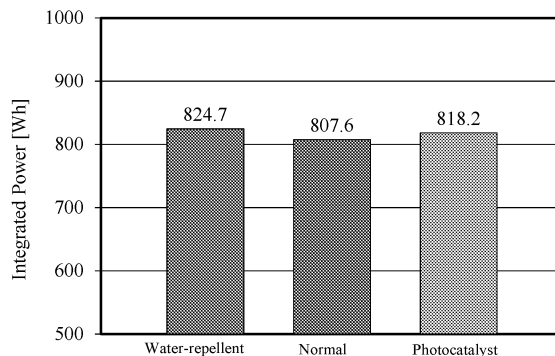


(b) 2011/09/21 (雨)

図 2 発電電力の測定結果



(a) 1 日の発電電力



(b) 1 日の積算電力

図 3 2012/02/11 の発電電力

図3に約8ヶ月間屋外で暴露したPVモジュールの発電電力を示す。図3(a)をみると各PVモジュールの発電電力に差異が見受けられる。そこで、1日の積算電力を算出した。図2(b)は、図2(a)の積算電力である。無塗布のPVモジュールは、807.6Whの発電量であるのに対して、撥水剤を塗布したPVモジュールは824.7Wh、光触媒を塗布したPVモジュールは818.2Whの発電量である。したがって、撥水剤では約2%、光触媒では約1%の改善効果が得られた。この効果が持続または拡大されれば防汚剤をPVモジュール表面に塗布する効果は大きいといえる。

### 3. EDLCによる蓄電部の改善

独立型PVモジュールに用いる蓄電部：二次電池は、充放電サイクルの増加に伴い劣化が起きる。当該システムを地震災害時に活用できるように長期運用するには蓄電部の劣化を軽減する必要がある。

表1 電気二重層コンデンサと二次電池の比較<sup>2)</sup>

|       | 電気二重層コンデンサ | 鉛シール電池                |
|-------|------------|-----------------------|
| 電極材料  | 活性炭        | PbO <sub>2</sub> , Pb |
| 電解液   | 有機溶媒       | 水溶液                   |
| 蓄電方法  | 化学反応なし     | 化学反応                  |
| 充放電回数 | 10万回以上     | 300回                  |
| 環境性   | 有害性少ない     | Pb                    |

表1に二次電池として用いられる鉛蓄電池と近年需要が拡大しているEDLCの特徴を示す。鉛蓄電池の充放電回数は、約300回であるのに対して、EDLCは10万回以上の充放電が可能である。したがって、蓄電部にEDLCを採用することは、独立型PVシス

テムを安定的かつ長期運用する際の重要な選択肢といえる。しかし、鉛蓄電池とEDLCが実環境下でどのように充電されるかを把握しなければ、充電システムの設計が困難である。そこで、実環境下で両者の充電特性を明らかにする。

#### 3. 1 構築したPVシステムによる充電実験

図4に構築した独立型PVシステムを示す。YMT社製15WのPVモジュールで発電した電力をMPPTに通してから蓄電部へ充電する。そして、タイマを用いて19:30~3:00の間、負荷へ放電する。蓄電部は、鉛蓄電池：12V-11Ah×1個およびEDLC：2.5V-1000Fを6直4並にしたものを使用する。負荷は、巻線抵抗4Ωとして、放電電流は3Aとした。日射計は英弘精機株式会社製のMS-602を使用した。このときの電圧と電流および日射をHIOKI社製MEMORY HiLOGGER “8430”を用いて測定した。本実験では、PVモジュール-MPPT-鉛蓄電池とPVモジュール-MPPT-EDLCの場合を同時に測定することによって、蓄電部の違いが充電電力に与える影響を確認する。

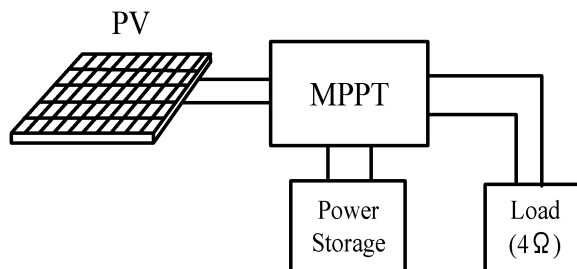


図4 充放電制御システム

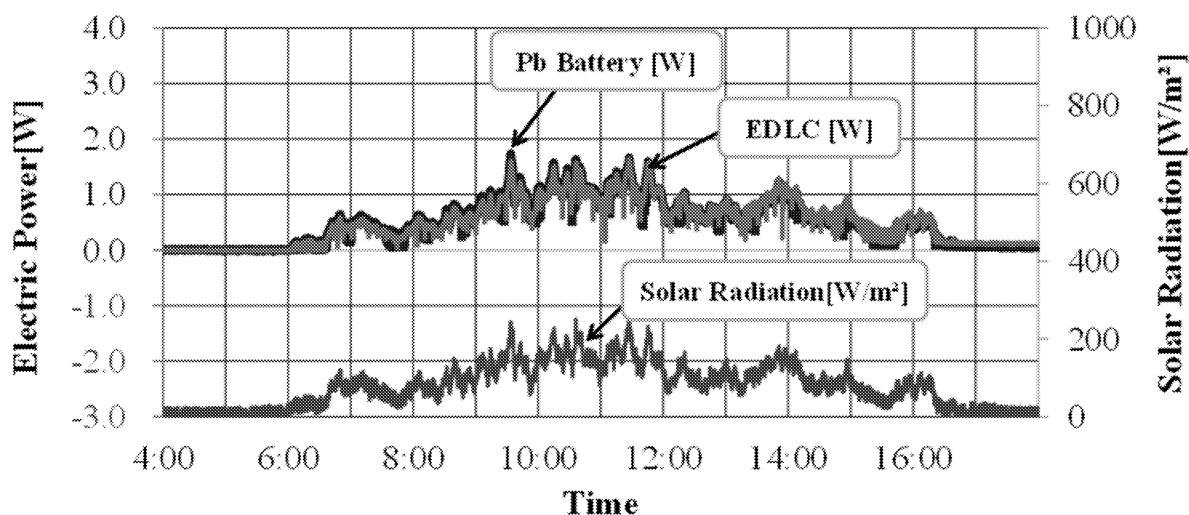


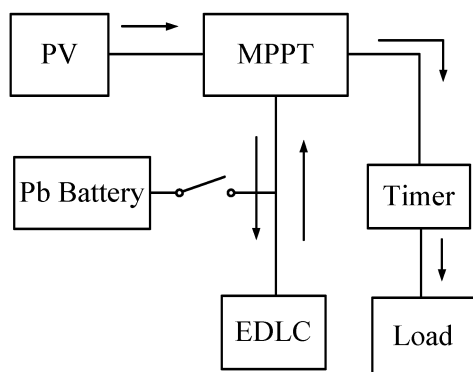
図5 鉛蓄電池とEDLCの充電特性比較

### 3. 2 実験結果

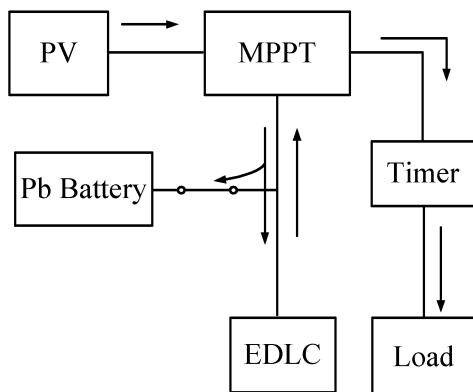
図 5 に、雨の日 (低日射時) の充電特性を示す。鉛蓄電池と EDLC の充電電力を比較するとほぼ等しいことがわかる。これは EDLC を二次電池と等価交換できることを示している。すなわち、二次電池と EDLC を併用することで、①PV から供給される電力の変動を EDLC で吸収、②二次電池の充放電回数を減らすことで性能低下の低減が期待できる。

### 3. 3 システムの改善案

前節より、EDLC が二次電池と等価交換できることを示した。そこで、EDLC を条件によって鉛蓄電池との並列接続に切り替え、鉛蓄電池の性能低下の低減を図る。図 6 に、システム改善案を示す。条件としては EDLC が満充電になるまで図 6(a)のような配線で充電をする。次に EDLC が満充電になったときは図 6(b)のような配線で鉛蓄電池を EDLC と並列接続する。これにより、短時間での充電電力の変動を EDLC によって吸収し、二次電池の充電サイクルを減らすことができると考えられる。



(a) EDLC が満充電ではないとき



(b) EDLC が満充電のとき

図 6 蓄電システムの改善案

### 4. まとめ

本報告では、「PV モジュール表面の汚染による出力低下」と「二次電池の保守・管理」を改善する基礎検討を行った。防汚剤として光触媒と撥水剤を塗布した PV モジュールの透過率は、光触媒で約 4%、撥水剤で約 2%低下することがわかった。発電電力について、約 3 ヶ月の暴露ではすべての PV モジュールに差異が見受けられなかったが、約 8 ヶ月の暴露後には光触媒で約 1%、撥水剤で約 2%の改善効果が得られた。このことから長期暴露における防汚剤の効果は大きいと考えられる。

また、鉛蓄電池と EDLC を実環境下で運用して充電特性の比較を行った。その結果、EDLC を二次電池と等価交換できることを示した。

今後は、PV モジュールの長期暴露を継続して防汚効果の検証を継続して行う。さらに 3.3 節で提案したシステムを実際に構成して検証実験を行う。そして、システムの充放電特性を測定し、今回のデータと比較・検討を行い、特性を評価していく予定である。

### 謝辞

本研究は、文部科学省 平成 22 年度私立大学戦略的研究基礎形成支援事業「建築・都市の減災と震災時機能継続に関する研究拠点の形成」によって実施しております。PV モジュールへの光触媒の塗布を行っていただきました AIT Japan 足立 茂 氏、ならびにサンプルの透過率の測定にご協力いただきました工学院大学教授 本田 徹 博士に感謝いたします。また、独立型太陽光発電の実験に協力いただいているサレジオ工業高等専門学校 電子工学科 野口拓哉君、佐藤雅史君に感謝いたします。

### 参考文献

- 1) 小林 幹, 米盛弘信: “安全・安心に有効である独立型 PV の提案”, 2009 年電気学会産業応用部門大会講演論文集, pp. II-119-II-120, 三重大学 (2009-09)
- 2) 西野 敦, 直井勝彦: “電気化学キャパシタの開発と応用 II”, シーエムシー出版, p.28, (2007-11)
- 3) 遠藤勇徳, 小林 幹: “へき地における独立型 PV システムの活用ー光触媒によるセルフクリーニング効果の検証ー”, 2007 年 (第 25 回) 電気設備学会全国大会, pp.221-222, 広島工業大学 (2007-09)
- 4) 遠藤勇徳, 小林 幹: “電気二重層キャパシタを用いた独立型 PV システムの実地検証”, 2006 年 (第 24 回) 電気設備学会全国大会, pp.15-16, 北海道工業大学 (2006-09)
- 5) 矢崎克侑, 米盛弘信: “EDLC と二次電池を用いた独立型 PV システム用ハイブリッド充電方式の提案 - EDLC による未回収エネルギーの蓄電 -”, 第 2 回大学コンソーシアム八王子学生発表会要旨集, pp.118-119, (2010-12)
- 6) 川口博嗣, 黒川浩助, 野崎洋介, 谷内利明: “EDLC を組み込んだ独立型太陽光発電システムのシミュレーション”, 電子通信エネルギー研究会, (2000-11)
- 7) 角島秀輝: “太陽光電池を用いた独立型電源の制御システム並びに最大電力追従方法及び鉛蓄電池満充電方法”, 特願 2007-87714



## 総合研究所・都市減災研究センター（UDM） 新規導入設備（平成23年度） リアルタイム広域情報共有システム

村上正浩、久保智弘・久田嘉章（工学院大学・建築学部・まちづくり学科）

### 1. 概要

リアルタイム広域情報共有システムは、これまでに開発・運用してきた既存システム群（図1）の高度化を図り、これらのシステムがもつ機能を統合したシステムである。本システムは工学院大学新宿校舎中層棟6階B-0691室に設置し（図2）、通信事業者が提供するインターネット環境および長距離無線LANなどの自営通信網によるイントラネット環境において利用することができる。平常時においては地域点検マップづくりや図上演習訓練、防災訓練などに活用し、地域協働・広域連携体制の推進を図る。一方、地震発生時には地域防災拠点となる工学院大学新宿校舎・八王子校舎の被害推定を行い、緊急対応組織の早期立ち上げと速やかな初動対応を支援するとともに、地域協働・広域連携による効率的な災害情報・被害情報等の共有を可能とし、大学災害対策本部や新宿駅周辺防災対策協議会内での被害全体像の早期把握、さらには学生・教職員ならびに地元企業や滞留者等の安全確保に係る緊急情報などの速やかな情報提供を実現する。

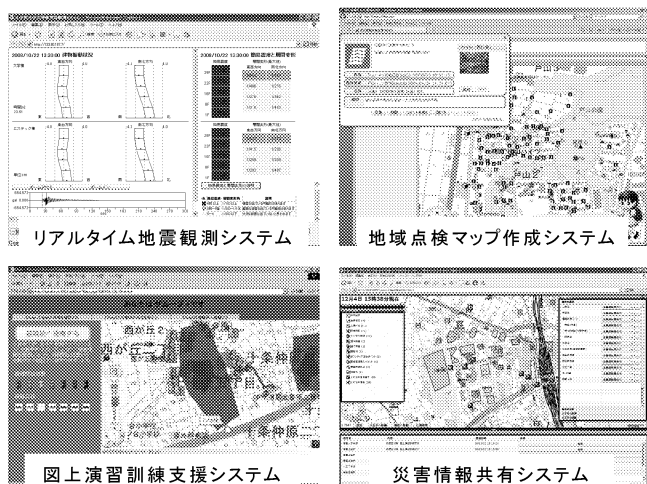


図1 既存システム群



図2 システムサーバー（新宿校舎B-0691室）

### 2. システムの構成

本システムは、地震発生直後において新宿・八王子校舎の加速度計の情報をもとに両校舎の構造的な被害をリアルタイムに推定し、緊急対応組織の立ち上げと初動対応を支援する「リアルタイム地震観測システム（図3）」、地図をベースとして様々な災害情報・被害情報等の共有を可能とし、地域協働・広域連携による様々な応急対応を支援する「広域情報共有システム（図4）」から構成される。これらのシステムは、平常時においては地域点検マップ・帰宅支援マップ・安全安心マップ等の作成、図上演習訓練、地震防災訓練、意識啓発活動などに活用し、地域防災活動や広域連携体制づくりを支援する。

リアルタイム地震観測システムは、新宿校舎および八王子校舎に設置している加速度計の情報をもとに、インターネットエクスプローラーを使って、リアルタイムな加速度波形（図5左）、直近60秒の最大加速度・最大速度・最大変位、特定チャンネルの直近60秒の最大震度、リアルタイムな校舎の揺れの動画（立体図、図5中央）、建物振動状況（平面図動画、震度、層間変形、図5右）等を共有することができる。クライアント側のPCで情報を閲覧するにはJava環境が必要である。

広域情報共有システムは、WebGIS（Geocloud、インフォマティクス）ベースにJava環境で開発したものであり、インターネットエクスプローラーを使って、表1の情報を双方向で共有することができる（図6）。クライアント側のPCについては、動作環境として、OS：Windows XP SP3以上、CPU：Core2 Duo以上、メモリ：2GB以上、HD：空き容量1GB以上、Java環境：Java Runtime Environment 6、が推奨される。

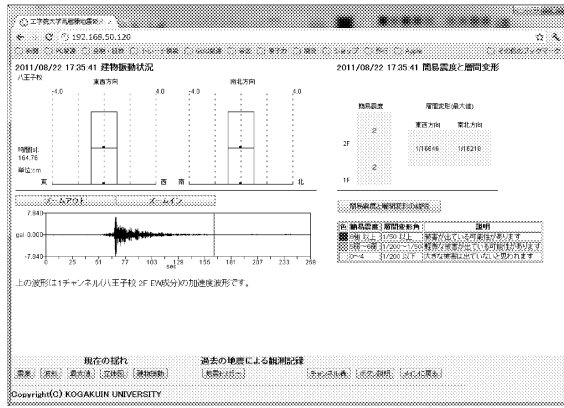


図3 リアルタイム地震観測システム

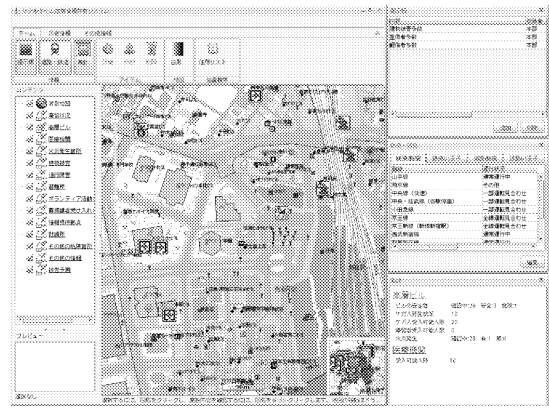


図4 広域情報共有システム

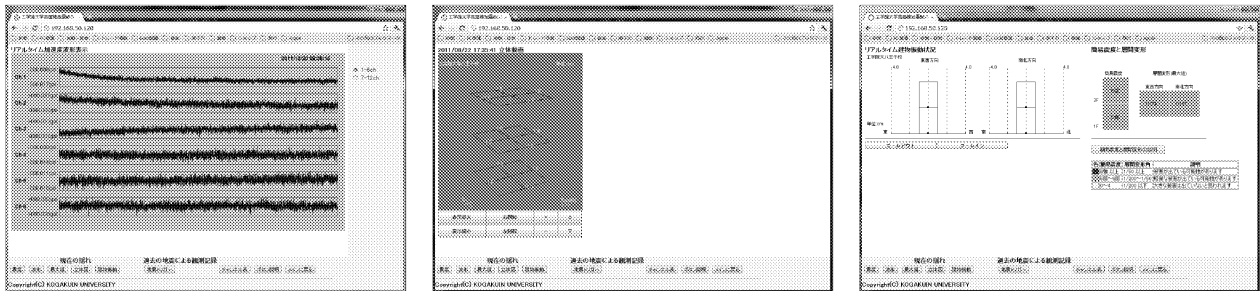
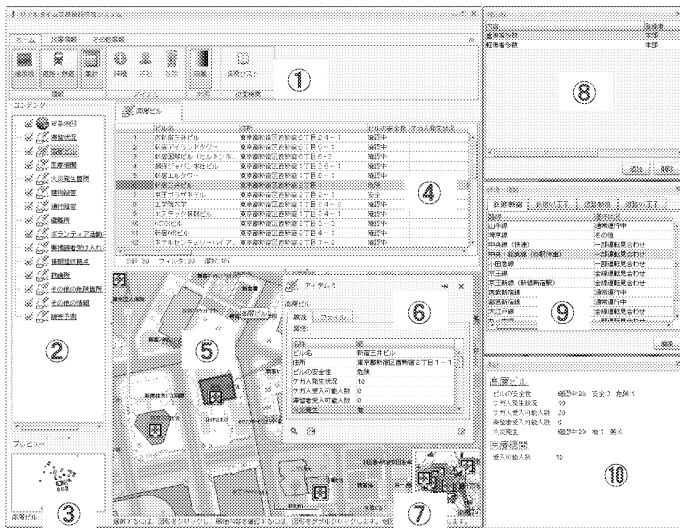


図5 リアルタイム地震観測システムから提供される情報例



- ①リボンメニュー:「ホーム・災害情報・その他情報」タブを切替える。各ボタンをクリックし、当該機能を実行する。
- ②レイヤ切替パネル:各レイヤの表示状態を切替える。各レイヤをダブルクリックすると、「情報テーブル」に当該レイヤに保存されているアイテムの詳細情報一覧を表示する。
- ③プレビュー:「レイヤ切替パネル」で選択しているレイヤをプレビュー表示する。
- ④情報テーブル:当該レイヤの全アイテムの詳細情報を一覧で表示する。
- ⑤地図パネル:レイヤ切替パネルで表示状態のレイヤを、背景地図に重ねて表示する。
- ⑥詳細情報ダイアログ:「地図パネル」上で選択しているアイテムの詳細情報を表示・編集する。
- ⑦索引図:「地図パネル」の表示領域を青枠で表示する。索引図上で青枠をドラックすることで「地図パネル」の表示領域を移動できる。
- ⑧掲示板パネル:掲示板の記事を表示・追加する。
- ⑨鉄道・道路パネル:鉄道・道路情報の表示・更新を行う。
- ⑩集計パネル:各情報項目の集計結果を表示する。

図6 広域情報共有システムの画面構成

表1 広域情報共有システムにより双方向で共有できる主な情報項目

| 情報項目              | 情報内容   |
|-------------------|--|
| 鉄道等運行状況           | <input type="checkbox"/> 新宿駅(チェックボックス):JR 東日本(山手線、埼京線、湘南新宿ライン、中央線、中央・総武線)、小田急電鉄(小田急線)、京王電鉄(京王線、京王新線)、西武鉄道(新宿線)、東京都交通局(都営地下鉄)(新宿線、大江戸線)、東京地下鉄(東京メトロ)(丸の内線、副都心線)<br><input type="checkbox"/> 八王子駅、京王八王子駅(チェックボックス):JR 東日本(中央線、横浜線、八高線)、京王電鉄(京王線) |
| 道路状況              | <input type="checkbox"/> 新宿駅周辺道路(チェックボックス):第一京浜、第二京浜、玉川通り、厚木大山通り、甲州街道、井の頭通り、五日市街道、青梅69街道、新青梅街道、川越街道、中山街道、北本通り、岩槻街道、日光街道、水戸街道、蔵前橋通り、千葉街道<br><input type="checkbox"/> 八王子駅周辺道路(チェックボックス):甲州街道、滝山海道、東京環状線、青梅街道                                    |
| 滞留状況              | 場所(エリア表示)、滞留状況(テキスト入力、写真添付可能)  |
| 高層ビル情報            | ビルの安全性、けが人発生状況、けが人受入可能人数、滞留者受入可能人数、被災情報(数値入力、リストボックス)  |
| 医療機関情報            | 場所(アイコン表示)、受入可能人数、受入状況   |
| 火災発生箇所            | 場所(アイコン表示)、火災の規模等(リストボックス)   |
| 要援護者等受入場所、応急救護所など | 場所(アイコン表示)、情報内容(テキスト入力、多様な形式のファイル添付可能)   |
| 掲示板               | 内容(テキスト入力、多様な形式のファイル添付可能)  |
| 集計結果              | 新宿駅西口地域の高層ビル30棟の被害情報等の集計結果   |

## 総合研究所・都市減災研究センター（UDM）業績報告書（平成23年度）

### テーマ1 小課題番号1.1 久田嘉章（まちづくり学科）

#### 著書

1. 久田嘉章, 新藤 淳, 久保智弘, 2011 年東北地方太平洋沖地震災害調査速報、4.4.4 超高層建物の現状（分担）、日本建築学会、pp.116-180、2011
2. 久田嘉章, 社会貢献学入門－社会貢献活動支援士を目指して－、第3章・第1節 建物・都市の防災・減災（分担）、TKK3大学連携プロジェクト共同テキスト開発委員会、pp.57-66、2011

#### 査読付き論文

1. 久田嘉章、永野正行、野津厚、宮腰研、中川太郎、浅野公之、松本俊明、強震動予測手法に関するベンチマークテスト：理論的手法の場合（その2）、日本建築学会技術報告集 第38号 pp.101-106、2012
2. 加藤研一、久田嘉章、久田嘉章、大野 晋、野畑有秀、森川 淳、山本 優、強震動予測手法に関するベンチマークテスト：統計的グリーン関数法の場合（その2）、日本建築学会技術報告集 第38号、pp.67-72 2012
3. 吉村智昭、永野正行、久田嘉章、青井 真、早川 崇、S.O.Citak、松島信一、川辺秀憲、上林宏敏、強震動予測手法に関するベンチマークテスト：数値解析手法の場合（その2）、日本建築学会技術報告集 第38号、pp.95-100 2012
4. Tsuda, K., K. Koketsu, Y. Hisada, T. Hayakawa, Application of an Earthquake Early Warning System and a Real-time Strong Motion Monitoring System in Emergency Response in a High-rise Building, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, V.31, / 2, pp.231-239, 2011

#### 学術雑誌、商業誌、研究機関への研究報告、展望、解説、論説など

1. 久田嘉章、東京を襲った長周期地震－新宿西口超高層ビル街からの報告－、東日本大震災緊急報告、日本建築学会・建築雑誌、Vol.126, No.1618, pp.5-8, 2011年5月号
2. 久田嘉章、第4回「超高層建築の震災対策」、耐震の入口と出口の話、構造設計ポータル SEINWEB、NTT DATA、2011年4月
3. 久田嘉章、第5回「地域連携による震災対策」、耐震の入口と出口の話、構造設計ポータル SEINWEB、NTT DATA、2011年6月
4. 久田嘉章、第6回「まとめ」、耐震の入口と出口の話、構造設計ポータル SEINWEB、NTT DATA、2011年7月
5. 久田嘉章、「建築の原点に立ち返る－暮らしの場の再生と革新－東日本大震災に鑑みて（第一次提言）2.4, 3.3 首都（分担）」、日本建築学会・建築雑誌、Vol.126, No.1623, pp.59-64, 2011年10月号
6. 友澤史紀、久田嘉章、本橋健司、安達和男、次の巨大地震に対して何をすべきか－既存のビルマンションに課せられた課題－、特集：巨大地震に備えて 技術と対策、新春座談会、月刊リフォーム1月号、テツアドー出版、pp.19-36、2012年1月

#### 招待講演

1. 久田嘉章、来るべき大規模震災に備え我々に今できること、2011年東日本大震災に関する新宿駅西口地域報告会－駅周辺滞留者・帰宅困難者や超高層建築などの経験から都心部の震災対策を考える－工学院大学、2011年4月20日
2. 久田嘉章、震災時における超高層ビルの想定被害と防災・減災対策－新宿駅西口地域での事例紹介－、東京北ロータリークラブ講演会、2011年5月24日
3. 久田嘉章、地震防災・減災と建築、フレンドシップ出張授業、安孫子高校、2011年5月25日
4. 久田嘉章、新宿駅西口地域防災の取組：立ち上げから経過と展望について、第19回 新宿医学会、2011年6月4日
5. 久田嘉章、地震と津波のしくみと東日本大震災について、気仙沼中学校、2011年6月6日
6. 久田嘉章、新宿駅周辺地域における防災・減災活動と東日本大震災の教訓、第14回西京信金産学交流セミナー、2011年6月17日
7. 久田嘉章、東日本大震災の復興支援と今後の地震防災、2011 空間情報シンポジウム、2011年7月7日
8. 久田嘉章、新宿駅周辺地域の震災対策の取組みと2011年東日本大震災から学んだこと」第41回 エネルギー・環境講習会（東京ガス）、2011年7月15日
9. 久田嘉章、工学院大学新宿校舎の揺れと被害（東京工業大学 建築物理研究センター講演会）、東京工業大学、2011年9月27日
10. 久田嘉章、超高層ビルの揺れと被害、首都直下地震に備える！～新宿発、街と医療の連携の取り組み～、日本救急医学会、工学院大学、2011年10月20日

11. 久田嘉章、新宿駅周辺地域における減災への取組と東日本大震災での超高層建物の揺れと被害、日本建築学会近畿支部耐震構造部会、大林組本社ビル、2011年10月28日
12. 久田嘉章、東日本大震災での新宿・超高層ビルの揺れと被害、および今後、首都圏で想定される地震と地震動について、耐震工学研究会、日本大学、2011年11月2日
13. 久田嘉章、新宿副都心超高層ビル街における震災対策への取り組みと東日本大震災による被災状況と課題、東京建築士会まちづくり委員会、晴海トリトンスクエア、2011年11月9日
14. 久田嘉章、主旨説明、2011年東北地方太平洋沖地震で何が起こったかー巨大地震に備えるための地盤震動研究(その1)、第39回地盤震動シンポジウム、日本建築学会、2011年11月15日
15. 久田嘉章、マンションの防災対策と長周期地震動について、第16回斎藤塾勉強会、工学院大学、2011年11月16日
16. 久田嘉章、東日本大震災をどう生かす、東京ガスセミナー、千葉市、2011年11月25日
17. 久田嘉章、首都圏で予測される地震動と2011年東北地方太平洋沖地震と超高層建築、建築物の制振補強法の高度化に関するシンポジウムー2011年東北地方太平洋沖地震の経験を踏まえてー、早稲田大学、2011年12月1日
18. 久田嘉章、超高層建物の応答モデルと被害の実際ー新宿駅周辺地域における減災への取組と東日本大震災での超高層建物の揺れと被害ー、「強震動予測ーその基礎と応用」第11回講習会(日本地震学会)、2011年12月16日
19. 久田嘉章、長周期地震動等による高層ビルの揺れと対策、長周期地震動等に対する室内安全セミナー(東京消防庁)、池袋防災館、2012年3月11日
20. 久田嘉章、地震防災・減災と建築、フレンドシップ出張授業、神奈川県三浦学苑高校、2012年3月15日
21. 久田嘉章、長周期地震動等による高層ビルの揺れと対策、長周期地震動等に対する室内安全セミナー(東京消防庁・工学院大学)、工学院大学、2012年3月22日
22. 久田嘉章、新宿駅周辺地域における震災への取り組みと東日本大震災から学んだこと、第8回関東支部地震災害調査連絡会総会、2012年3月26日

#### 口頭発表

1. 久田嘉章、永野正行、野津 厚、宮腰 研、中川太郎、浅野公之、強震動予測手法に関するベンチマークテスト(その6:理論的手法、ステップ3・4)地球惑星連合大会、2011年5月23日
2. 吉村智昭、永野正行、青井真、川辺秀憲、上林宏敏、早川崇、Seckin Ozgur CITAK、久田嘉章、強震動予測手法に関するベンチマークテスト(その7:数値解析手法、ステップ3・4)地球惑星連合大会、2011年5月23日
3. 加藤研一、久田嘉章、大野晋、野畑有秀、森川淳、山本優、強震動予測手法に関するベンチマークテスト(その8:統計的グリーン関数法、ステップ3・4)地球惑星連合大会、2011年5月23日
4. 久保智弘、久田嘉章、村上正浩、超高層ビルにおける緊急地震速報とオンサイト情報の利活用について、地球惑星連合大会、2011年5月26日
5. 松本俊明、久田嘉章、永野正行、野津厚、浅野公之、宮腰研、中川太郎、強震動予測手法に関するベンチマークテストーその5 理論的手法(ステップ3・4)ー日本建築学会、2011年8月
6. 吉村智昭、永野正行、久田嘉章、青井真、早川崇、Seckin Ozgur Citak、川辺秀憲、上林宏敏、強震動予測手法に関するベンチマークテストーその6:数値解析手法(ステップ3・4)ー日本建築学会、2011年8月
7. 加藤研一、久田嘉章、大野晋、野畑有秀、森川淳、山本優、強震動予測手法に関するベンチマークテストーその7:統計的グリーン関数法(ステップ3・4)ー日本建築学会、2011年8月
8. 田中良一、久田嘉章、中川太郎、佐々木聡、三次元差分法との比較による波数積分法の適用性の検討、日本建築学会、2011年8月
9. 荒川洋輔、久田嘉章、久保智弘、山下哲郎、2011年東北地方太平洋沖地震における超高層建築の強震観測と地震応答解析ーその1:前震・本震・余震による強震観測ー日本建築学会、2011年8月
10. 大古康正、山下哲郎、長房功大、久田嘉章、2011年東北地方太平洋沖地震における超高層建築の強震観測と地震応答解析 ーその2 構造モデルー、日本建築学会、2011年8月
11. 新田龍宏、久田嘉章、山下哲郎、2011年東北地方太平洋沖地震における超高層建築の強震観測と地震応答解析ーその3:弾塑性地震応答解析ー、日本建築学会、2011年8月
12. 久保智弘、久田嘉章、村上正浩、東北地方太平洋沖地震における都心の超高層建築の初動対応と室内被害について、日本建築学会、2011年8月
13. 平本達也、村上正浩、新藤淳、鱒沢曜、久田嘉章、新宿・新都心の地域連携による地震防災に関する研究 ーその1:新宿・新都心における取り組み、日本建築学会、2011年8月
14. 新藤淳、村上正浩、平本達也、鱒沢曜、久田嘉章、新宿・新都心の地域連携による地震防災に関する研究 ーその2:新宿西口現地本部訓練、日本建築学会、2011年8月
15. 鱒沢曜、小宮山甫、村上正浩、新藤淳、久田嘉章、新宿・新都心の地域連携による地震防

- 災に関する研究 その3：地域の傷病者対応における取り組み、日本建築学会、2011年8月
16. 濱野航平、村上正浩、久田嘉章、海沼大樹、地域住民との協働による地震防災対策に関する研究（その1）花園小学校避難所運営管理協議会の取り組み、日本建築学会、2011年8月
  17. 海沼大樹 村上正浩 久田嘉章 濱野航平、地域住民との協働による地震防災対策に関する研究（その2）四谷第六小学校避難所運営管理協議会の取り組み、日本建築学会、2011年8月
  18. 稲垣大輔 村上正浩 久田嘉章 海沼大樹 平本達也 久保智弘、東日本大震災時における工学院大学の初動対応と帰宅困難者対応、日本建築学会、2011年8月
  19. 久田嘉章、松本俊明、永野正行、野津厚、宮腰研、中川太郎、浅野公之、強振動予測手法に関するベンチマークテスト（その6：理論的手法）日本地震学会、2011年10月12日
  20. 久田嘉章、久保智弘、松澤佳、森川淳、2011年4月11日福島県浜通りの地震による地表断層近傍の建物被害調査、日本地震学会、2011年10月12日
  21. 久保智弘 久田嘉章 相澤幸治 大宮憲司 小泉秀人、2011年東日本大震災における新宿駅西口・超高層建物のアンケート調査（その1）工学院大学新宿校舎における揺れとアンケート震度調査、日本地震工学会、2011年11月11日
  22. 新藤淳 平本達也 村上正浩 久田嘉章、2011年東日本大震災における新宿駅西口・超高層建物のアンケート調査（その2）事業者を対象とした被害と初動対応に関するアンケート調査、日本地震工学会大会、2011年11月11日
  23. 田邊朗仁、久田嘉章、久保智弘、荒川洋輔、松澤佳、2011年4月11日福島県浜通りの地震における地表断層近傍の建物被害調査、社会貢献学会第2回大会（神戸学院大学）、2012年12月10日
  24. 大宮憲司、久田嘉章、久保智弘、飯塚章仁、小泉秀斗長周期地震動による高層ビルの震度と危険性について、社会貢献学会第2回大会（神戸学院大学）、2012年12月10日
  25. 田邊朗仁、久田嘉章、久保智弘、荒川洋輔、松澤佳、2011年4月11日福島県浜通りの地震における地表断層近傍の建物被害調査、社会貢献学会第2回大会（神戸学院大学）、2012年12月10日
  26. 稲垣大輔、村上正浩、久田嘉章、久保智弘東日本大震災における工学院大学の帰宅困難者対応、社会貢献学会第2回大会（神戸学院大学）、2012年12月10日
  27. 平本達也、村上正浩、濱野航平、海沼大樹、稲垣大輔 久田嘉章、東日本大震災における工学院大学の被災地支援の取り組み（その1）避難所での段ボールを使った住環境整備について、社会貢献学会第2回大会（神戸学院大学）、2012年12月10日
  28. 海沼大樹、村上正浩、濱野航平、平本達也、稲垣大輔、久田嘉章、東日本大震災における工学院大学の被災地支援の取り組み（その2）「気仙沼 子ども遊ばせプロジェクト」について、社会貢献学会第2回大会（神戸学院大学）、2012年12月10日
  29. 村上正浩、濱野航平、平本達也、海沼大樹、稲垣大輔、久田嘉章、理工系大学の特色をいかした被災地支援の取り組み、社会貢献学会第2回大会（神戸学院大学）、2012年12月10日
  30. Yoshiaki Hisada, Tetsuo Yamashita, Masahiro Murakami, Tomohiro Kubo, Tatsuhiro Arata, Jun Shindo, and Koji Aizawa, Seismic Response and Damage of High-Rise Buildings in Tokyo, Japan, during the Great East Japan Earthquake, Proc. of One Year after the 2011 Great East Japan Earthquake, -International Symposium on Engineering Lessons Learned from the Giant Earthquake-, 建築会館、2012年3月3日
  31. Yoshiaki Hisada, Tetsuo Yamashita, Masahiro Murakami, Tomohiro Kubo, Tatsuhiro Arata, Jun Shindo, and Koji Aizawa, Seismic Response and Damage of High-Rise Buildings in Tokyo, Japan, during the Great East Japan Earthquake, Proc. of 9th CUEE and 4th ACEE Joint Conference, Tokyo Institute of Technology, 東京工業大学、2012年3月7日

#### 外部資金の獲得

1. 久田嘉章、文部科学省・科研費・基盤B一般／平成21～23年度、設計用入力地震動作成のための強振動予測手法の適用と検証(研究代表者)
2. 久田嘉章、文部科学省・科研費・基盤A一般／平成19～23年度、長周期地震動とその都市災害軽減に関する総合研究(研究代表者：瀧澤一起、研究分担者)
3. 久田嘉章、文部科学省・学生支援GP「新たな社会的ニーズに対応した学生支援プログラム いのち・つながり・ちから - 学生連携型地域防災拠点の構築 -」／平成20～23年度(分担者)
4. 久田嘉章、文部科学省・大学改革推進等補助金（大学改革推進事業）・大学教育充実のための戦略的連携支援プログラム「防災・減災・ボランティアを中心とした社会貢献教育の展開」／平成21～23年度(分担者)
5. 久田嘉章、受託研究、すべり速度時間関数に関する既往研究の調査、株式会社 大崎研究室、1,000千円、平成23年度
6. 久田嘉章、指定寄付金、7社共同研究・地震動ワーキンググループ（代表 株式会社 間組）、500千円、平成23年度

#### 各種メディア（新聞・テレビ・ラジオなど）・展示会等で公表

1. 久田嘉章、日本経済新聞 15面「巨大地震 高層ビル「長周期地震動」に弱く共振で揺れ増幅」にて長周期地震動についてのコメントが掲載、2011年5月7日
2. 久田嘉章、朝日新聞 My Town 愛知、防災心【深める】久田嘉章さん 掲載、2011年5月13日
3. 久田嘉章、週刊東洋経済(5/14版)特集「今こそ地域貢献」において「東日本大震災における地域連絡体制の課題」に関するコメントが掲載、2011年5月14日
4. 久田嘉章、住宅新報(5月24日付)「東日本大震災・衝撃連載②」で超高層ビルの揺れについてコメントが掲載、2011年5月24日
5. 久田嘉章、東京新聞・一備える一都心超高層ビル(最上階 震度6弱に)で高層ビルの揺れと対策を解説、2011年6月20日
6. 久田嘉章、フジテレビ「LIVE2011 ニュース JAPAN」で長周期地震動対策に関する説明、2011年7月7日
7. 久田嘉章、NHK「ニュースウォッチ9」で長周期地震動と超高層建物の安全性に関して解説、2011年7月7日
8. 久田嘉章、建築産業新聞・世界で最も震災に強いまちづくりを、2011年7月29日
9. 久田嘉章、中日新聞 特集「備える3.11から」で地震当時の高層ビルの揺れの解析と高層ビルの今後の地震への備えについて説明、2011年8月1日
10. 久田嘉章、日本テレビ「news. every」で長周期地震動による高層ビルの対策に関して解説、2011年8月3日
11. 久田嘉章、都政新報・一東京と未来を切り拓く視点一東日本大震災から半年 東海・東南海では3倍の揺れ、2011年9月9日
12. 久田嘉章、中部日本放送のスペシャル番組「巨大地震～”その時”を生き抜くために～」に長周期地震動について解説、2011年9月15日
13. 久田嘉章、テレビ朝日「報道ステーション SUNDAY」にて長周期地震動による高層ビルの対策に関して解説、2011年10月9日
14. 久田嘉章、朝日新聞・連続特集「揺らぐ地震学」で長周期地震動とビルに関するコメントが掲載、2011年10月22日
15. 久田嘉章、テレビ朝日「ワイド!スクランブル」にて、本学に新しく導入した「大変形加力装置 振動台」を使った長周期地震動による揺や3.11時の状況について解説、2011年10月27日
16. 久田嘉章、NHK「ニュース7」で震災後における長周期地震動の情報のあり方についてコメント、2011年11月14日
17. 久田嘉章、読売新聞 特集「列島再生/第1部 災害に強い国土」に、震災当時の本学の様子など巨大地震解説が掲載、2012年1月20日
18. 久田嘉章、日本テレビ「ZIP!」、長周期地震動と高層ビルの対策等についてコメント、2012年2月16日
19. 久田嘉章、雑誌 アエラ、首都直下地震隠された「震度7」の記事の中で断層近傍の地震動特性や震度7の成因に関するコメント、2012年2月20日
20. 久田嘉章、テレビ朝日「やじうまテレビ!～マルごと生活情報局～」、首都直下地震の震度7に対する高層ビルの対策についてコメント、2012年2月21日
21. 久田嘉章、CBS テレビ「イッポウ」で震災から一年・長周期地震動対策の実態についてコメント、2012年3月8日
22. 久田嘉章、NHK Eテレ3「サイエンス ZERO」で長周期地震動と高層ビルの揺れについてコメント、2012年3月9日

修士1名  
学士13名

#### 査読付き論文

1. 近藤龍哉、伴幸雄、加藤三晴、山本泰稔、既存建物袖壁付き柱の曲げ補強に関する実験的研究、コンクリート工学年次論文集、Vol133 No2、1345-1350、2011
2. 伴幸雄、山本泰稔、近藤龍哉、大和征良、既存建物袖壁付き柱の補強に関する群アンカーの実験的研究、コンクリート工学年次論文集、Vol133 No2、1423-1428、2011
3. 大和征良、山本泰稔、近藤龍哉、接着系あと施工アンカーの引張強度と靱性に関する実験的研究と各種設計式の設計引張耐力比較検討、コンクリート工学年次論文集、Vol133 No. 2、1057-1062
4. 兼平雄吉、小野里憲一、マクロモデルによる単独耐震壁の最大強度の解析精度、日本建築学会構造系論文集、第77巻、第671号、pp. 65-73、2012年1月

#### 学術雑誌、商業誌、研究機関への研究報告、展望、解説、論説など

1. 近藤龍哉、東日本大震災に関する調査報告 被災地を見ての提言、STREC 協会ニュース、一般社団法人構造コンサルティング協会、No46、pp. 21-27、2012. 01
2. 近藤龍哉、(調査報告) 新しい耐震補強工法により補強した RC 造建物の震災後の状況、一般社団法人構造コンサルティング協会、臨時報告書の編集、2012. 01
3. 久田真・小野里憲一 他 28 名、「プレキャストコンクリート製品の性能設計と利用技術研究委員会」報告書、コンクリート工学協会、pp. 227-223、pp. 277-294、2011年11月
4. 小野里憲一、大野義照「鉄筋コンクリート造配筋指針・同解説」の改定、コンクリート工学、Vol. 49、No. 7、pp. 3-8、2011年7月
5. 小野里憲一、方向性のある空間、ない空間、建築技術、p. 112-113、2012年3月
6. 小野里憲一、柱の配置、建築技術、p. 114-115、2012年3月
7. 小野里憲一、壁の配置、建築技術、p. 116-117、2012年3月

#### 口頭発表

1. 近藤龍哉、山本泰稔、加藤三晴、伴幸雄、大和征良、鈴木隆史、立川紗緒美、今岡恵理、既存建物袖壁付き柱の曲げ補強に関する実験的研究 (全7編)、日本建築学会大会学術講演梗概集、No23156~No23162、337-350、2011年9月
2. 常田裕是、阿部周平、高橋良徳、小野里憲一、兼平雄吉、RC耐震壁に付帯する柱・梁部材の最大せん断強度に関する研究 その3. 付帯部材の最大せん断強度式の評価、日本建築学会大会学術講演会、2011年8月25日
3. 高橋良徳、阿部周平、常田裕是、小野里憲一、兼平雄吉、RC耐震壁に付帯する柱・梁部材の最大せん断強度に関する研究 その2. 付帯部材の最大せん断強度を考慮した耐震壁の最大強度、日本建築学会大会学術講演会、2011年8月25日
4. 阿部周平、高橋良徳、常田裕是、小野里憲一、兼平雄吉、RC耐震壁に付帯する柱・梁部材の最大せん断強度に関する研究 その1. 付帯部材の最大せん断強度の誘導、日本建築学会大会学術講演会、2011年8月25日

#### 外部資金の獲得

1. 近藤龍哉、指摘寄付、株式会社ピタコラム、1,000千円、2009年度
2. 近藤龍哉、指摘寄付、株式会社ピタコラム、1,000千円、2010年度
3. 近藤龍哉、指摘寄付、株式会社ピタコラム、2,000千円、2011年度
4. 近藤龍哉、指定寄付、黒沢建設株式会社、300千円、2011年度

#### その他 (報告会・シンポジウムの主催・共催など)

1. 小野里憲一「東日本大震災の経験をどういかにす！」東北被災地における工学院大学活動報告会、2011年5月21日
2. 小野里憲一「鉄筋コンクリート造配筋指針・同解説」追加改定講習会 講師 会場：東京、日本建築学会、2011年7月1日

総合研究所・都市減災研究センター (UDM) 業績報告書 (平成23年度)  
テーマ1 小課題番号1.3 山下哲郎 (建築学科)

口頭発表

1. 米田良祐、山下哲郎：学校体育館の桁行方向の地震応答解析, 日本建築学会大会学術講演会、B-1分冊、pp.693-694、2011年8月

その他 (報告会・シンポジウムの主催・共催など)

1. 山下哲郎「東日本大震災の経験をどういかに！」東北被災地における工学院大学活動報告会、2011年5月21日

テーマ1 小課題番号1.4 河合直人 (建築学部建築学科)

著書

1. 河合直人、2011年東北地方太平洋沖地震災害調査速報、第6章 各構造の被害、6.1 木造建物の被害 (分担)、pp.383-401、日本建築学会、2011年8月

査読付き論文

1. 清水秀丸、向坊恭介、堀川恵巳子、槌本敬大、河合直人、大橋好光、実大震動台実験による伝統的な木造建築の耐震性能検証に関する研究—部材断面がやや小さい都市近郊型試験体の震動台実験結果—、日本建築学会構造系論文集、Vol.76 No.663, pp.943-950, 2011年5月

学術雑誌、商業誌、研究機関への研究報告、展望、解説、論説など

1. 久田嘉章、村上正浩、大学発! 大規模地震対策のための研修プログラム 新都心の地域減災セミナー、近代消防、47(5) (580)、pp.57-62 2009

招待講演

1. 河合直人、東日本大震災—1.被害の概要③木造の被害、日本建築学会大会総合研究協議会、早稲田大学、2011年8月25日

口頭発表

1. 河合直人、三宅辰哉、槌本敬大、荒木康弘、平面的くびれを有する木造在来構法住宅の耐震設計法に関する考察、日本建築学会大会学術講演梗概集、2011年8月
2. 丹下耕助、五十田博、河合直人、岡部実、中川貴文、伝統的木造建築物の垂れ壁付き構面に関する実験的研究—土壁の有無をパラメータとした静的実験、日本建築学会大会学術講演梗概集、2011年8月

学士2名



学術雑誌、商業誌、研究機関への研究報告、展望、解説、論説など

1. 後藤治, ヘリテージマネージャーの職能と仕事, 建築士 713 号, pp.10-14, 2012 年 2 月
2. 後藤治, 恒久住宅建設による「村」再生プロジェクト, 建築雑誌 1625 号, pp. 32-33, 2011 年 12 月
3. 後藤治, 工学院大学「村」再生プロジェクト, BIO CITY49 号, 36-42, 2011 年 12 月
4. 後藤治, 工学院大学「石巻市北上町白浜復興住宅」プロジェクトについて, 住宅 60 号, pp.10-15, 2011 年 11 月
5. 後藤治, 「村」再生プロジェクト, 建築士 708 号, pp.20-23, 2011 年 9 月
6. 後藤治, 工学院大学「村」再生プロジェクト, 日事連 575 号, pp. 16-18, 2011 年 9 月
7. 後藤治, 工学院大学『石巻市北上町白浜復興住宅』プロジェクトについて, 日本建築学会大会 (関東) 建築計画部門研究協議会「利用の時代の災害復興計画」資料集, 2011 年 8 月
8. 二村悟・後藤治, 製茶再生工場における茶のブレンドのための仮設置装置について, 日本建築学会技術報告集 36 号, pp. 745-748, 2011 年 6 月 (査読有)

口頭発表

1. 後藤治, 海外の文化財建造物の防災計画, 日本火災学会・平成 23 年度受託事業実行委員会・公開シンポジウム「文化財建造物の継承・活用と防災」, pp. 51-55, 早稲田大学, 2012 年 2 月
2. 後藤治, 日本における文化遺産の防災対策, 臺北国際消防安全検討會, 台湾科技大学, 2010 年 10 月
3. 後藤治, 文化財建造物を火災から守る体制と対策, 日本建築学会大会 (関東) 防火部門研究懇談会「新宿歌舞伎町ビル火災から 10 年ー維持管理から建築防災の在り方を再考するー」, 早稲田大学, 2011 年 8 月
4. 落合智・中島裕衣子・後藤治, 樹木による歴史的町並の段階的な修景, 日本建築学会大会 (関東) 建築デザイン発表梗概集 G-1, pp.132-133, 早稲田大学, 2011 年 8 月
5. 齋藤智恵子・三浦卓也・後藤治, 郡上八幡にける町家と町屋敷の変遷について その 4 北町地区における城下町の近代化, 日本建築学会大会 (関東) 学術講演梗概集 F-2, pp. 503-504, 早稲田大学, 2011 年 8 月
6. 齋藤智恵子・三浦卓也・後藤治, 郡上八幡にける町家と町屋敷の変遷について その 5 北町地区における旧武家地の町家化, 日本建築学会大会 (関東) 学術講演梗概集 F-2, pp. 505-506, 早稲田大学, 2011 年 8 月
7. 二村悟・後藤治, 消防用専用水道の成立について, 日本建築学会大会 (関東) 学術講演梗概集 F-2, pp. 397-398, 早稲田大学, 2011 年 8 月
8. 田揚裕子・後藤治, オランダ王国における茅葺き屋根について, 日本建築学会大会 (関東) 学術講演梗概集 E-1, pp.943-944, 早稲田大学, 2011 年 8 月
9. 後藤治, 木造密集市街地の改良と保全ー政策と環境に関するマクロとミクロの視点, 安全工学シンポジウム 2011 オーガナイズドセッション J「残したい木造密集市街地と改善すべき木造密集市街地」, 日本学術会議, 2011 年 7 月
10. 田揚裕子・後藤治, オランダにおける茅葺きの消防に冠する研究, 日本火災学会研究発表会, 東京理科大学, 2011 年 5 月

#### 査読付き論文

1. 大橋一正、西川豊宏、遠藤透、藤村竜馬 地震発生時における給排水設備の機能確保に関する一考察 超高層建物における地震防災対策の優先順位の検討 日本建築学会環境系論文集, Vol 76, No. 667, pp. 817-822, 2011. 9
2. 志津えりか、大橋一正、西川豊宏、山下哲郎、増田真也 スプリンクラ配管の静的加力実験 建築の非構造部材・建築設備の耐震補強と改修に関する研究(その1) 日本建築学会技術報告集, Vol 18, No. 38, pp. 249-254, 2012. 2

#### 国際学会論文 (査読付も含む)

1. Erika Shizu, Tetsuo Yamashita, Toyohiro Nishikawa and Kazumasa Ohashi, STATIC LOADING TESTS OF SPRINKLER PIPING FOR SEISMIC RETROFIT AND RENOVATION OF AGED BUILDINGS JOINT CONFERENCE PROCEEDINGS 9th International Conference on Urban Earthquake Engineering/ 4th Asia Conference on Earthquake Engineering March 6-8, 2012, Tokyo Institute of Technology, Tokyo, Japan
2. Toyohiro Nishikawa, Kazumasa Ohashi and Erika Shizu, SEISMIC RISK MANAGEMENT OF BUILDING EQUIPMENT FOR BUSINESS CONTINUITY PLANNING JOINT CONFERENCE PROCEEDINGS 9th International Conference on Urban Earthquake Engineering/ 4th Asia Conference on Earthquake Engineering March 6-8, 2012, Tokyo Institute of Technology, Tokyo, Japan

#### 口頭発表

1. 森美沙子、西川豊宏、志津えりか、江藏由也、古上祐弥 スプリンクラ設備の耐震補強と改修に関する研究(その1) 社会貢献学会第2回大会予稿集, p. 105, 2011. 12
2. 志津えりか、西川豊宏、江藏由也、古上祐弥、森美沙子 スプリンクラ設備の耐震補強と改修に関する研究(その2) 社会貢献学会第2回大会予稿集, p. 107, 2011. 12
3. 江藏由也、西川豊宏、志津えりか、古上祐弥、森美沙子 建築設備の地震防災対策に関する研究 社会貢献学会第2回大会予稿集, p. 106, 2011. 12
4. 藤村竜馬、大橋一正、田中孝、西川豊宏、志津えりか、矢澤俊一 建築設備における地震リスク評価手法に関する研究 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集, PP. 205-208, 2011. 9
5. 志津えりか、藤村竜馬、大橋一正、田中孝、西川豊宏、矢澤俊一 既存建物におけるスプリンクラ設備の地震リスク分析に関する研究 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集, PP. 213-216, 2011. 9
6. 藤村竜馬、大橋一正、西川豊宏、志津えりか 建築設備における地震防災対策の基本計画立案手法に関する研究(その1) 日本建築学会大会学術講演梗概集 D-2, PP. 1203-1204, 2011. 8
7. 志津えりか、藤村竜馬、大橋一正、西川豊宏 地震時BCPに資する建築設備機能の評価とマネジメント(その8) 日本建築学会大会学術講演梗概集 D-2, PP. 1205-1206, 2011. 8

#### 査読付き論文

1. 八戸英夫, 小林光男, 後藤芳樹, 丹羽直毅, 平均・分散検定を用いた小ねじの締付け試験における繰返し試験回数 の妥当性について, 材料試験技術, Vol. 56, No. 1, pp. 25-31 (2011)
2. 米山高史, 立野昌義, 後藤芳樹, 小久保邦雄, 小型試験片を用いた一軸引張試験によるはんだ合金の力学的特性, 材料試験技術, Vol. 56, No. 1, pp. 18-24 (2011)
3. 小林光男, 平川嘉壽, 田中道彦, 山本健司, 高压設備における圧力円筒ねじ端の設計指針における適用対象の拡大, 構造物の安全性及び信頼性 (A 論文) [日本建築学会], Vol. 7, pp. 492-497 (2011)
4. 林, 小久保邦雄, 小松, クリンチング継手の引張せん断強さの評価-アルミニウム合金板接合へのクリンチング継手の適用に関する研究 (第1報), 塑性と加工, Vol. 52, No. 603, pp. 459-463 (2011).
5. 林, 小久保邦雄, 小松, クリンチング継手の疲労強さの評価-アルミニウム合金板接合へのクリンチング継手の適用に関する研究 (第2報), 塑性と加工, Vol. 52, No. 603, pp. 464-468 (2011).
6. P.Lin, K.Kokubo, K.Komatsu, Study of Built-up Aluminum Beam Connected by Mechanical Clinching, Jour. Solid Mechanics and Material Processing, Vol. 5, No. 9, p495-507 (2011)
7. 羅 旭, 溝口, 小久保邦雄, はんだ接合部の熱変形に及ぼすアンダーフィル剛性の影響, 材料 (accepted 2011. 9), Vol. , No. (未定)

#### 学術雑誌, 商業誌, 研究機関への研究報告, 展望, 解説, 論説など

1. 小林光男, ねじ締結体の強度評価・信頼性向上技術の開発 (工学院大学機械要素設計研究室), 機械設計, pp. 76-77 (2011. 10)
2. 丹羽直毅, 小林光男, 八戸英夫, 湯本敦史, 科目「セミナー」を活用した社会人基礎力向上の試み, 日本工学教育協会誌, Vol. 59, No. 2, pp. 97-102 (2011. 3)
3. 玉置, 河野, 飯川, 小宮山, 角, 丹羽直毅, 一之瀬和夫, 小林光男, 低い加工力と高い生産性を持つ孔型圧延を用いた結晶粒微細化を目的とした実用強加工法の開発, 工学院大学研究報告, No. 111, pp. 1-6 (2011. 10)

#### 口頭発表

1. 小林光男, 後藤芳樹, 福田勝己, 小ねじの締付け軸力に及ぼす感性の影響, 日本設計工学会春季研究発表講演会, pp. 71-72, 2011年5月
2. 小林光男, 生野雅也, 斎藤久, 渡邊健太郎, 後藤芳樹, 一之瀬和夫, 小久保邦雄, 大橋一正, 西川豊宏, 地震によるスプリンクラー配管構造の検討事例, 日本機械学会 M&M2011 pp. 718-719, 2011年7月
3. 小林光男, 羽生恭介, 後藤芳樹, 内田靖友, 小ねじの機械的性質と強度的使用効率, 日本機械学会 M&M2011, pp. 718-719, 2011年7月
4. 生野雅也, 小林光男, 後藤芳樹, 一之瀬和夫, 小久保邦雄, 地震によるスプリンクラー配管構造の強度 (区分配管構造における解析), 日本機械学会東北支部第47期秋季講演会, pp. 184-185, 2011年9月
5. 並木良太, 一之瀬和夫, 大石久巳, 久保木功, 丹羽直毅, 林, 小林光男, 円管の引き裂きとカーリングに及ぼす諸条件の影響, 第62回塑性加工連合講演会, pp. 145-146, 2011年10月
6. 小林光男, 福田勝己, 後藤芳樹, GFRP製ねじの締付け及び強度特性に及ぼすナット高さの影響, 精密工学会九州支部講演会, pp. 163-164, 2011年12月

#### 博士

修士 15名

学士 32名

#### その他 (報告会・シンポジウムの主催・共催など)

1. 小林光男, 後藤芳樹, 一之瀬和夫, 小久保邦雄, 建築のライフライン設備の耐震性向上と長寿命化, 工学院大学総合研究所・都市減災研究センター第2回研究報告会, pp. 6-7, 2011年6月

#### 査読付き論文

1. 鈴木澄江、真野孝次、阿部道彦：硬焼生石灰を添加したモルタル供試体によるポップアウトの確認試験方法に関する実験的検討，コンクリート工学年次論文集，Vol. 33，ROMNo. 1010，2011.6
2. 上本洋、阿部道彦、鹿毛忠継、浅野研一：高炉スラグ細骨材を用いたコンクリートの凍結融解に関する実験，コンクリート工学年次論文集，Vol. 33，ROMNo. 1014，2011.6
3. 梶田佳寛、石東昇、阿部道彦、鹿毛忠継：高炉スラグ細骨材を使用したコンクリートの圧縮強度および細孔構造に関する実験，日本建築学会構造系論文集，No. 665，pp. 1199-1204，2011.7

#### 学術雑誌、商業誌、研究機関への研究報告、展望、解説、論説など

1. 阿部道彦、中田善久、濱崎仁：日本建築学会型枠の設計施工指針改定について，コンクリート工学，Vol. 49，No. 4，pp. 9-14，2011.4
2. 阿部道彦、宇治公隆、野口貴文、並木哲：建設産業・建設材料の将来展開 日本学術振興会建設材料第76委員会第400回会議，建築技術，No. 736，p. 197，2011.5
3. 阿部道彦、宇治公隆、野口貴文、並木哲：建設産業・材料の将来展望，コンクリート工学，Vol. 49，No. 6，pp. 57-58，2011.6
4. 阿部道彦、中田善久、濱崎仁：型枠の設計・施工指針改定ダイジェスト，建築技術，No. 737，pp. 172-177，2011.6
5. 阿部道彦、渡辺博志、陣内浩、鹿毛忠継、西田朗：委員会報告 コンクリートに関連する品質基準・試験方法の解釈研究委員会，コンクリート工学年次論文集，Vol. 33，No. 1，pp. 36-40，2011.6
6. 阿部道彦：スマートな建材をめざして 建築材料の変遷，J. Soc. Inorg. Material，Vol. 18，No. 355，pp. 325-333，2011.11
7. 梶田佳寛、阿部道彦、他20名：受託研究報告書 原子力発電所施設における小規模鉄筋コンクリート工事の品質管理に関する研究（最終報告書ドラフト版），建築研究振興協会，2012.2
8. 阿部道彦、他13名：高炉スラグ細骨材を用いるコンクリート施工についての調査研究（その3）報告書，日本建築学会，2012.3
9. Michihiko ABE，Hiroshi WATANABE，Hiroshi JINNAI，Tadatsugu KAGE，Akira NISHIDA：Committee Report：JCI-TC095A，Technical Committee on Interpretation of Quality Standards and Testing Methods for Concrete，2012.3

#### 口頭発表

1. 中村則清、阿部道彦：各種ポルトランドセメントを用いたコンクリートの促進中性化に及ぼす養生条件の影響，日本建築学会大会学術講演梗概集 A-1，pp. 559-560，2011.7
2. 齊藤辰哉、上本洋、鹿毛忠継、阿部道彦、浅野研一：高炉スラグ細骨材を用いたコンクリートの凍結融解抵抗性に関する実験（その1 ブリーディングおよび強度性状），日本建築学会大会学術講演梗概集 A-1，pp. 591-592，2011.7
3. 上本洋、齊藤辰哉、鹿毛忠継、阿部道彦、浅野研一：高炉スラグ細骨材を用いたコンクリートの凍結融解抵抗性に関する実験（その2 凍結融解抵抗性と気泡組織），日本建築学会大会学術講演梗概集 A-1，pp. 593-594，2011.7
4. 鈴木澄江、真野孝次、阿部道彦：硬焼生石灰を混合したモルタル供試体によるポップアウト試験方法に関する検討，日本建築学会大会学術講演梗概集 A-1，pp. 607-608，2011.7
5. 古川雄太、石川嘉崇、阿部道彦、友澤史紀：石炭溶融水砕スラグのコンクリート用細骨材への利用に関する研究（その13 材齢経過に伴う品質の向上），日本建築学会大会学術講演梗概集

A-1, pp. 635-636, 2011. 7

6. 熊谷茂、石川嘉崇、阿部道彦、友澤史紀、石炭溶融スラグのコンクリート用細骨材への利用に関する研究（その14 石炭溶融スラグを用いたモルタルのブリーディングに関する検討），日本建築学会大会学術講演梗概集 A-1, pp. 637-638, 2011. 7
7. 篠山彰、花野克哉、高橋大祐、阿部道彦：住宅基礎の高耐久化に関する実験（その1 実験概要および受入れ時の品質），日本建築学会大会学術講演梗概集 A-1, pp. 839-840, 2011. 7
8. 花野克哉、篠山彰、高橋大祐、阿部道彦：住宅基礎の高耐久化に関する実験（その2 コアの性状および配筋精度），日本建築学会大会学術講演梗概集 A-1, pp. 841-843, 2011. 7
9. 須藤智大、金子樹、阿部道彦：硬化コンクリートへの塩化物イオンの浸透促進方法に関する実験的研究，日本建築学会関東支部研究発表会，1028, 2012. 3
10. 古川雄太、石川嘉崇、阿部道彦：石炭溶融スラグ細骨材を用いたモルタルの強度発現および空気量調整に関する研究，日本建築学会関東支部研究発表会，1013, 2012. 3
11. 齊藤辰哉、上本洋、阿部道彦：高炉スラグ細骨材の破砕値に関する実験的検討，日本建築学会関東支部研究発表会，1016, 2012. 3
12. 鶴見淳也、松村洋考、上本洋、阿部道彦：高炉スラグ細骨材を用いたコンクリートの凍結融解および中性化に関する実験，日本建築学会関東支部研究発表会，1016, 2012. 3
13. 松本隆行、青木穂高、外山明日香、阿部道彦：高耐久コンクリート基礎の圧縮強度に関する検討，日本建築学会関東支部研究発表会，1028, 2012. 3
14. 矢島怜、関口祐平、阿部道彦：低品質骨材を使用したコンクリートの長期的性状，日本建築学会関東支部研究発表会，1030, 2012. 3
15. 西村涼太郎、鴫崎道樹、阿部道彦：震災廃棄物の発生量に関する調査研究，日本建築学会関東支部研究発表会，1038, 2012. 3

修士 2名

学士 11名

#### その他（報告会・シンポジウムの主催・共催など）

1. 阿部道彦：都市減災研究センター（UDM）2010年度報告会，研究テーマ3 震災廃棄物の再資源化と高機能化，工学院大学，2011年6月18日
2. 長田直俊、坂元耕三、大迫政浩、肴倉宏史、辻幸和、阿部道彦、真野孝次：コンクリート用溶融スラグ骨材の試験方法等の標準化に関するシンポジウム，主催：財団法人建材試験センター，場所：工学院大学，2011年9月29日
3. 阿部道彦、清水昭之：JIS A 5308 レディーミクストコンクリート追補説明会，共催：日本規格協会、全国生コンクリート工業組合連合会、全国生コンクリート協同組合連合会，場所：広島県民文化センター，2011年10月19日
4. 阿部道彦、陣内浩、上野敦、西田朗、渡邊賢三、渡辺博志、鹿毛忠継、瀬古繁喜、伊藤康司、永山勝：コンクリートに関する品質基準・試験方法の解釈に関するシンポジウム，主催：コンクリート工学会，場所：中央大学駿河台記念館，2011年11月16日

#### 査読付き論文

- 1) 小室清人、田村雅紀、炭素固定性を有する海洋生物殻を混入したモルタルの基礎力学特性、日本コンクリート工学会、コンクリート工学年次大会、大阪、2011.7
- 2) 小室清人、田村雅紀、炭素固定性を有する海洋生物殻を用いた鉄筋コンクリート造建築物のカーボンニュートラル性の検討、日本建築学会技術報告集 (採用)、2012

#### 国際学会論文 (査読付も含む)

- 1) M Tamura W Kyohei, Y Nachi, Environmental Impact Evaluation of In-transit and Usage of Concrete Materials conveyed to Tokyo District for promoting the Building Stock Management, Journal of SUSB(Sustainable Building Research Center), Hanyang University, Korea, 2011

#### 学術雑誌、商業誌、研究機関への研究報告、展望、解説、論説など

- 1) 君島新一、田村雅紀、大原千佳子、新素材壁紙のテクスチャーに関する自然素材の表現性評価、工学院大学研究報告、第 111 号、2011.11
- 2) 小室清人、田村雅紀、炭素固定性を有する海洋生物殻含有建材に関するカーボンニュートラル性の検証、工学院大学研究報告、第 111 号、2011.11

#### 口頭発表

- 1) 大原千佳子、田村雅紀、君島新一：新素材壁紙のテクスチャーに関する自然素材の表現性評価、その 1 実験概要及び評価指標の確認、2011 年度日本建築学会学術講演梗概集、2011.9
- 2) 君島新一、田村雅紀、大原千佳子：新素材壁紙のテクスチャーに関する自然素材の表現性評価、その 2 官能検査の結果及び印象評価、2011 年度日本建築学会学術講演梗概集、2011.9
- 3) 田村雅紀、岡野速人、小室清人：各種副産微粉を混和したセメント系建設資材の熱的物性変化 その 1 ペースト供試体による力学特性と細孔分布、2011 年度日本建築学会学術講演梗概集、2011.9
- 4) 君島新一、田村雅紀、大原千佳子：新素材壁紙のテクスチャーに関する自然素材の表現性評価、日本建築仕上学会学術講演論文集、2011.10
- 5) 田村雅紀、岡野速人、徐叢曜：各種副産微粉を混和したセメント系建築仕上げ材の熱的物性変化、日本建築仕上学会学術講演論文集、2011.10
- 6) 田村雅紀、水沼秀一、千崎大輔、名知洋子：建築仕上材を対象とした製造・輸送時の環境負荷評価、日本建築仕上学会学術講演論文集、2011.10
- 7) 小室清人、田村雅紀：炭素固定性を有する海洋生物殻を使用した建材に関するカーボンニュートラル性の検証日本建築仕上学会学術講演論文集、2011.10
- 8) 磯川光、田村雅紀、金巻とも子：ペット共棲住宅の QOL 改善を目的とした内装建材性状の評価、日本建築仕上学会学術講演論文集、2011.10
- 9) 清永美奈子、田村雅紀、後藤治、山本博一、高塚里美：伝統的木造建築に用いられるこけら材の高度維持・保存方法に関する研究、日本建築仕上学会学術講演論文集、2011.10
- その 6 こけら材の 1 年間の屋外暴露試験結果、日本建築仕上学会学術講演論文集、2011.10
- 10) 石塚裕実、田村雅紀、後藤治、田揚裕子、山本博一：茅勾配を変化させた伝統的茅葺屋根の内部温湿度分布と乾燥状態の評価、日本建築仕上学会学術講演論文集、2011.10
- 11) 田村雅紀、磯川光、金巻とも子、熊野康子、ペット共棲住環境の QOL 改善を目的とした製造・施工段階対策、その 1 平常時における計画と対応、社会貢献学会第 2 回学術講演集、2011.12
- 13) 田島三嘉、田村雅紀、内田友賀：ペット共棲住環境の QOL 改善を目的とした製造・施工段階対策、その 2 災害時における計画と対応、社会貢献学会第 2 回学術講演集、2011.12
- 14) 石垣美季、田村雅紀、嵩英雄ほか、各種セメントを用いたコンクリートの蓄熱による基礎的

- 物性, 2011 年度日本建築学会関東支部研究報告集, 2011. 3
- 15) 山縣翔太, 田村雅紀: 都市地域における鉄筋コンクリート造建築物の解体・処理・輸送段階のシステム分析と環境負荷, 2011 年度日本建築学会関東支部研究報告集, 2011. 3
  - 16) 中村祐樹, 田村雅紀: 建築系災害廃棄物を対象とした輸送時環境負荷評価, 2011 年度日本建築学会関東支部研究報告集, 2011. 3
  - 17) 田島三嘉, 田村雅紀, 金巻とも子: 災害時におけるペット共棲環境の QOL 改善を目的とした建築技術・システムに関する基礎的検討, 2011 年度日本建築学会関東支部研究報告集, 2011. 3
  - 18) 相良賢治, 田村雅紀: 環境配慮型打継ぎ資材を用いたコンクリートの基礎物性評価, 2011 年度日本建築学会関東支部研究報告集, 2011. 3
  - 19) 野村奈緒, 田村雅紀: 茅勾配と改質処理を施した茅部材の含水特性とカビ劣化性状の評価, 2011 年度日本建築学会関東支部研究報告集, 2011. 3
  - 20) 森田泰代, 田村雅紀, 後藤治, 清永美奈子: 屋外暴露した改質こけら葺き屋根の物理的変状の評価, 2011 年度日本建築学会関東支部研究報告集, 2011. 3
  - 21) 五十嵐怜, 田村雅紀, 植生の有機物骨格を利用した無機有機複合体の基礎的物性に関する研究, 2011 年度日本建築学会関東支部研究報告集, 2011. 3

#### 各種メディア (新聞・テレビ・ラジオなど)・展示会等で公表

- 1) 田村雅紀, ペット共棲の重要性の高まり, 建設通信新聞 (8 月 1 日付)
- 2) 田村雅紀, ペットと暮らす居住空間への新たな提案, 建設通信新聞 (7 月 15 日付)
- 3) 田村雅紀, ペットと暮らす居住空間への新たな提案, 日刊建設工業新聞 (7 月 13 日付)

#### その他 (報告会・シンポジウムの主催・共催など)

田村雅紀, 熊野康子, 金巻とも子ほか, ペットと暮らす居住空間への新たな提案, 日本建築学会関東支部材料施工専門委員会, ユニバーサルデザイン建材WG シンポジウム, 2011. 7

#### 外部資金

- 1) 平成 23 年度文科省科研費・若手研究 A (研究代表者: 田村雅紀), 都市減災・早期復興に資する震災廃棄物起源材料の高度利活用研究
- 2) 平成 23 年度文科省科研費・基盤研究 A (研究分担者: 田村雅紀), 文化的価値のある伝統的木造建築を維持するための植物性資材確保の基礎的要件の解明 (代表: 山本博一 東京大学教授)

総合研究所・都市減災研究センター (UDM) 業績報告書 (平成23年度)

テーマ4 小課題番号4.1 水野 修 (情報通信工学科)

学術雑誌、商業誌、研究機関への研究報告、展望、解説、論説など

1. 山本 翔, 隆 晃人, 倉田 篤, 浅谷耕一, 水野 修, 都市災害を想定した減災情報サービスのユースケースの提案, 電子情報通信学会技術報告 IN2011-158, 2012年3月

口頭発表

1. 山本 翔, 瀧口貴史, 浅谷耕一, 水野 修, 首都圏直下型地震に対応する減災情報ネットワークの提案, 電子情報通信学会 第13回ネットワークソフトウェア研究会, 2011年6月
2. 大塚雅博, 山本 翔, 浅谷耕一, 水野 修, 都市災害時に適用するユーザ情報収集・配信システムの提案, 電子情報通信学会 第14回ネットワークソフトウェア研究会, 2011年10月
3. 隆 晃人, 山本 翔, 浅谷耕一, 水野 修, 都市災害時におけるエリア情報収集配信のためのアクセスポイント設置法, 2012電子情報通信学会総合大会 B-6-16, 2012年3月
4. 山本 翔, 浅谷 耕一, 水野 修, 減災情報ネットワークにおける長距離無線 LAN システムの基礎検討, 2012電子情報通信学会総合大会 B-6-17, 2012年3月

テーマ4 小課題番号4.1 小林亜樹 (情報通信工学科)

口頭発表

1. 小山貴夫, 宮前佑矢, 小林亜樹, 月館 司: 寒冷地暖房制御のための気温情報収集システムの開発, 2012信総大論文集 B-20-17, 通信講演論文集2, p.685, 岡山市, 2012年3月
2. 小林亜樹, 新守敏明, 猪上雅之, 小山貴夫: 寒冷地暖房制御のための戸別気温予測に関する基礎検討, 2012信総大論文集 B-20-16, 通信講演論文集2, p.684, 岡山市, 2012年3月
3. 石倉頌子, 小林亜樹: 寄り道経路推薦方式, 情報処理学会第74回全国大会講演論文集 1P-2, No.1, pp.671-672, 名古屋市, 2012年3月
4. 古賀健士郎, 庄司功樹, 小林亜樹: タイミングを考慮した将来イベント tweet の再通知, 情報処理学会第74回全国大会講演論文集 3P-4, No.1, pp.709-710, 名古屋市, 2012年3月
5. 近藤聡士, 橋本 歩, 小林亜樹: 乗り換え案内結果の集約化インタフェースの提案, 情報処理学会第74回全国大会講演論文集 3P-5, No.1, pp.711-712, 名古屋市, 2012年3月
6. 工藤悠太, 小林亜樹: リツイート率の算出による価値あるツイートの発見手法, 情報処理学会第74回全国大会講演論文集 3X-1, No.3, pp.297-298, 名古屋市, 2012年3月
7. 橋本歩, 小林亜樹: 納得感を高める検索過程の可視化方式, DEIM forum 2012 論文集, C8-3 神戸市, 2012年3月
8. 庄司功樹, 小林亜樹: 協調的な情報を用いた検索ナビゲーション手法, FIT2011 D-012, FIT2011, No.2, pp.149-150, 函館市, 2011年9月
9. 橋本歩, 小林亜樹: 次の検索を支援するインタフェースの提案, FIT2011 D-011, FIT2011, No.2, pp.147-148, 函館市, 2011年9月
10. 横田智博, 小林亜樹: 協調フィルタリングによる情報推薦の評価実験を支援する擬似データセットの提案, FIT2011 D-003, FIT2011, No.2, pp.127-128, 函館市, 2011年9月

修士2名

学士6名



総合研究所・都市減災研究センター (UDM) 業績報告書 (平成23年度)  
テーマ4 小課題番号4.1 山口実靖 (情報通信工学科)

学術雑誌、商業誌、研究機関への研究報告、展望、解説、論説など

1. 大浦 亮・山口実靖, 実機を用いた高速 TCP の公平性の評価, FIT2011 第10回情報科学技術フォーラム, RL-003, 2011年9月 (査読有)
2. 山田将也, 山口実靖, 仮想計算機環境における二重ファイルシステム構造を考慮した仮想HDDイメージファイルの配置, 第4回Webとデータベースに関するフォーラム(WebDB Forum 2011), 2011年11月 (査読有)
3. 新居健一, 山口実靖, I/Oスケジューラの改善による仮想計算機環境におけるI/O性能の向上, 第4回Webとデータベースに関するフォーラム (WebDB Forum 2011), 2011年11月 (査読有)
4. Ryo Oura and Saneyasu Yamaguchi, Fairness Analysis among Modern TCP Congestion Avoidance Algorithms using Actual TCP Implementation and Actual Network Equipments, 2nd International Workshop on Advances in Networking and Computing (WANC), 2011年12月 (ポスター)
5. Tsubasa Matsumoto, Saneyasu Yamaguchi, and Tota Sakai, A Study on Improving Power-Consumption Performance Ratio in GPGPU Computing, 2nd International Workshop on Advances in Networking and Computing (WANC), 2011年12月 (ポスター)
6. Ryo Oura, Saneyasu Yamaguchi, Fairness Comparisons Among Modern TCP Implementations, The 6th International Workshop on Telecommunication Networking, Applications and Systems in conjunction with AINA2012, 2012年3月 (査読有)

口頭発表

1. 山田 将也, 山口 実靖, 仮想計算機環境におけるVMイメージファイルの配置に関する一考察, マルチメディア, 分散, 協調とモバイル(DICOM02011)シンポジウム, 6H-4, pp. 1234 - 124, 2011年7月
2. 服部 拓也, 新居 健一, 山口 実靖, Android OSにおける演算性能とI/O性能の評価と解析, マルチメディア, 分散, 協調とモバイル(DICOM02011)シンポジウム, 7H-1, pp. 1399 - 1406, 2011年7月
3. 久野 陽介, 新居 健一, 山口実靖, ライブマイグレーション中の仮想計算機上のプロセスの性能に関する考察, マルチメディア, 分散, 協調とモバイル(DICOM02011)シンポジウム, 8H-3, pp. 1611 - 1620, 2011年7月
4. 山田将也・山口実靖, 二重ファイルシステム環境を想定した仮想HDDイメージファイルの再配置に関する考察, FIT2011 第10回情報科学技術フォーラム, B-045, 2011年9月
5. 服部拓也・新居健一・山口実靖, Android OSのI/O性能評価と動作解析, FIT2011 第10回情報科学技術フォーラム, B-046, 2011年9月
6. 竹内洗祐・山口実靖・長廻雄介, 二重キャッシュ環境の下位キャッシュにおける参照の局所性の解析, FIT2011 第10回情報科学技術フォーラム, B-047, 2011年9月
7. 長廻雄介・山口実靖, 上位キャッシュサイズを考慮した二重キャッシュ環境における下位キャッシュの置換手法, FIT2011 第10回情報科学技術フォーラム, B-048, 2011年9月
8. 渡邊有貴・山口実靖, ホストOSとゲストOSの統合的動作解析によるVMメモリ割当量に関する考察, FIT2011 第10回情報科学技術フォーラム, B-053, 2011年9月
9. 新居健一・山口実靖, I/Oスケジューラの改善による仮想計算機I/O性能向上手法の応答性能の評価, FIT2011 第10回情報科学技術フォーラム, B-054, 2011年9月
10. 久野陽介・新居健一・山口実靖, 遠隔ライブマイグレーションによるVM上プロセスの性能に関する考察, FIT2011 第10回情報科学技術フォーラム, B-055, 2011年9月

11. 堀内浩基・山口実靖, 広域分散環境における KVS の性能に関する一考察, FIT2011 第 10 回情報科学技術フォーラム, D-027, 2011 年 9 月
12. 渡邊有貴, 山口実靖, 仮想化環境における VM メモリ割当量とキャッシュ利用に関する一考察, 情報処理学会第 153 回データベースシステム研究発表会, 2011 年 11 月
13. 竹内 洗祐, 長廻 雄介, 山口 実靖, 多段キャッシュ環境の下位キャッシュにおける参照の時間的局所性の解析, 第 150 回 マルチメディア通信と分散処理研究会 (31), 2012 年 1 月
14. 渡邊 有貴, 山口 実靖, 仮想計算機キャッシュと仮想記憶を考慮した仮想計算機メモリ割当量に関する一考察, 第 150 回 マルチメディア通信と分散処理研究会 (39), 2012 年 1 月
15. 堀内浩基, 山口実靖, KVS の性能伸縮性の評価, 情報処理学会第 74 年全国大会, 1N-1, 2012 年 3 月
16. 久野陽介, 山口実靖, 複数 VM の遠隔ライブマイグレーションにおける VM 上プロセスの性能, 情報処理学会第 74 年全国大会, 2K-4, 2012 年 3 月
17. 山田将也, 山口実靖, 仮想計算機環境を考慮した仮想 HDD イメージファイルの再配置手法の性能評価, 情報処理学会第 74 年全国大会, 2K-5, 2012 年 3 月
18. 新居健一, 山口実靖, アクセス履歴を用いた I/O スケジューラの動的変更, 情報処理学会第 74 年全国大会, 2K-7, 2012 年 3 月
19. 渡邊有貴, 山口実靖, 仮想記憶を考慮した仮想計算機のメモリ割当, 情報処理学会第 74 年全国大会, 2K-8, 2012 年 3 月
20. 長廻雄介, 山口実靖, 複数サーバ環境における上位キャッシュを考慮した下位キャッシュ置換手法の性能評価, 情報処理学会第 74 年全国大会, 3J-8, 2012 年 3 月
21. 永田恭輔, 山口実靖, Android アプリケーションの起動性能の解析システム, 情報処理学会第 74 年全国大会, 3K-2, 2012 年 3 月
22. 服部拓也, 新居健一, 山口実靖, Android OS におけるデータベースのアクセス性能に関する考察, 情報処理学会第 74 年全国大会, 3K-3, 2012 年 3 月
23. 松本翔飛, 山口実靖, GPU を用いた Web データの並列処理, 情報処理学会第 74 年全国大会, 4K-2, 2012 年 3 月
24. 小林宙記, 山口実靖, 堀内浩基, KVS におけるノード削除性能の評価, 情報処理学会第 74 年全国大会, 5W-6, 2012 年 3 月
25. 小川寿人, 山口実靖, Android 端末における、演算性能の評価と消費電力の測定, 情報処理学会第 74 年全国大会, 6J-6, 2012 年 3 月
26. 竹内洗祐・長廻雄介・山口実靖, 複数サーバ接続ネットワークストレージへの参照の局所性の解析, 電子情報通信学会 2012 年総合大会講演論文集, D-6-19, 2012 年 3 月
27. 大浦 亮・山口実靖, パケットロス環境における実 TCP と実ネットワーク機器を用いた TCP 輻輳回避アルゴリズムの公平性の解析, 電子情報通信学会 2012 年総合大会講演論文集, D-6-20, 2012 年 3 月
28. 高橋真史・大浦 亮・山口実靖, 仮想計算機を用いた高遅延環境における TCP 通信の性能の向上, 電子情報通信学会 2012 年総合大会講演論文集, D-6-31, 2012 年 3 月

#### 査読付き論文

1. Koichi Nishibe, Yuki Fujita, Kotaro Sato, Kazuhiko Yokota and Toru Koso, Experimental and Numerical Study on the Flow Characteristics of Synthetic Jets, Journal of Fluid Science and Technology Vol. 6 (2011), No.4, pp.425-436
2. Koichi Nishibe, Kotaro Sato, Yoshinobu Tsujimoto and Haruo Yoshiki, Control of Flow Instabilities Downstream of Radial Inlet Guide Vanes, Journal of Fluid Science and Technology Vol. 6 (2011), No.4, pp.651-661
3. 西部光一, 藤田祐樹, 佐藤光太郎, 横田和彦, シンセティックジェットの基本流動特性に関する研究 (第一報, 自由噴流の挙動について), 日本機械学会論文集 (B編), 第77巻, 783号 (2011), 2093-2104頁

#### 国際学会論文 (査読付も含む)

1. Ryota Tsunoda, Koichi Nishibe, Yuki Fujita, Kotaro Sato, Kazuhiko Yokota and Toru Koso, Study on the Flow Characteristics of Synthetic Jets near a Rigid Plane Boundary, ASME-JSME-KSME Joint Fluids Engineering Conference 2011, 9th Symposium on Fundamental, Issues and Perspectives in Fluid Mechanics, Hamamatsu, 2010.07.24

#### 口頭発表

1. 小泉怜, 中川盟士, 西部光一, 佐藤光太郎, 横田和彦, 円柱曲面シンセティックジェットの流動特性, 日本混相流学会年会講演論文集 2011, 368-369, 京都, 2011.08.08
2. 根本篤, 田中雅人, 佐藤光太郎, 武沢英樹, 横田和彦, 気泡の運動により生成されるシンセティックジェットの流動特性, 日本混相流学会年会講演論文集 2011, 京都, 2011.08.08
3. 紙谷祐樹, 佐藤光太郎, 横田和彦, 吹き出しスロットを有する平板翼の流動特性, 日本混相流学会年会講演論文集 2011, 京都, 2011.08.08
4. 福島大海, 江口直哉, 佐藤光太郎, 横田和彦, 円板型粘性マイクロポンプの性能特性, 日本混相流学会年会講演論文集 2011, 京都, 2011.08.08
5. 根本篤, 田中雅人, 佐藤光太郎, 武沢英樹, 横田和彦, 放電気泡を利用したシンセティックジェット・アクチュエータの開発, 日本機械学会年次大会 2011 (東京)

#### 外部資金の獲得

研究代表者及び研究分担者がこれまでに受けた研究費 (科学研究費補助金、所属研究機関より措置された研究費、府省・地方公共団体・研究助成法人・民間企業等からの研究費等。なお、現在受けている研究費も含む。) による研究成果等のうち、本研究に生かされているものを選定し、それぞれの研究費毎に、資金制度名・研究種目名、期間 (年度)、研究課題名、研究代表者又は研究分担者の別、研究経費 (直接経費) を記入してください。なお、研究代表者・研究分担者及び連携研究者には下線を付してください。

1. 佐藤光太郎、横田和彦、文部科学省・科研費・基盤C一般/平成21~23年度/1,000千円、シンセティックジェットを利用した高揚力装置開発のための基礎的研究 (研究代表者)
2. 横田和彦、佐藤光太郎、文部科学省・科研費・基盤C一般/平成23~25年度/100千円、柔軟シートフラッタを利用した風力発電のための基礎研究 (研究分担者)

#### 博士

1. 西部光一、シンセティックジェットの基本流動特性に関する研究、2011年1月27日

修士5名

学士5名

#### 査読付き論文

1. 荒井純一, 安斎雄亮, 「電力貯蔵装置の風力発電出力平準化制御方式」電気設備学会誌, Vol. 31, No. 12, pp968-973, 2011
2. 市川紀充, 金属管体開口部に取り付けたシールド導体による静電誘導電圧の低減効果, 電気設備学会誌, Vol. 31, No. 10, pp. 813-820, 2011
3. Norimitsu Ichikawa, Yuuki Huruta, Electrostatically induced voltage generated in “metal boxes with different volume” measured by spark gap and electromagnetic wave sensor, *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, Vol. 18, No. 5, pp. 1433-1438, 2011

#### 国際学会論文 (査読付も含む)

1. Kyosuke Okamura, Junichi Arai, Yukihiro Sawada 「Study on Voltage Control of Distribution Network with Photovoltaic power Generation」, 2011年7月11日, ICEE 国際学会, 香港, ICEE-A-130
2. Tsuyoshi Takada, Junichi Arai, Kaoru Koyanagi, Ryuichi Yokoyama, 「Analysis of Flexible Inverter for Household Photovoltaic Cell with Active Power and Reactive Power Controls」, 2011年7月, ICEE 国際学会, 香港, ICEE-A-134
3. Shuhei Yamada, Junichi Arai, 「Research of microgrid composed of inverter power source and synchronous generator」, 2011年7月, ICEE 国際学会, 香港, ICEE-A-129
4. Norimitsu Ichikawa, Japanese trend of fatal accidents caused by electric shocks and the prevention of the accidents, *2012 IEEE IAS Electrical Safety Workshop*, Florida, pp. 85-86, 2012
5. Norimitsu Ichikawa, Seiji Takei, Change in electrostatically induced voltages of an ungrounded metal box without openings generated by a moving charged object, *14<sup>th</sup> International Symposium on Electrets*, Montpellier, pp. 191-192, 2011

#### 学術雑誌、商業誌、研究機関への研究報告、展望、解説、論説など

1. 山田修平, 荒井純一, 「インバータ電源と同期発電機で構成するマイクログリッドの運転特性」平成23年10月 pp 53-58, 工学院大学研究報告第111号, 2011
2. 岡村恭祐, 荒井純一, 「太陽光発電を導入した系統電圧変動の対策」平成23年10月 pp 47-51, 工学院大学研究報告第111号 2011
3. 高田剛, 荒井純一, 「有効・無効電力指令により動作する家庭向け太陽光発電用インバータの新制御方法」工学院大学研究報告 平成23年10月 pp 80-84, 工学院大学研究報告第111号, 2011
4. 市川紀充, 人命を守り、日本のスマートシティー・コミュニティ化に貢献する!、電気学会誌, Vol. 132, No. 3 付録, p. 1, 2012
5. 市川紀充, 感電災害の発生状況と対策のポイント、安全と健康, Vol. 12, No. 6, pp. 22-26, 2011
6. ビル・工場電気設備の安全と災害防止調査専門委員会、ビル・工場電気設備での障害・災害と未然防止対策、電気学会技術報告第1225号、pp. 1-44, 2011

#### 口頭発表

1. 永平智樹, 荒井純一, 進士誉夫 緒方隆雄 山下明, 「自立運転用蓄電池インバータの研究」電気学会全国大会 2012年3月21日
2. 西村和則, 市川紀充, 中小需要家における AMI インターフェースデマンド制御、電気学会全国大会シンポジウム、2012年3月
3. 市川紀充, 武井誠司, 開口部の無い浮遊電位の金属管体に生じる誘導電圧、電気設備学会全国大会、2011年9月
4. 上野達也, 市川紀充, 坂本哲夫, 低電圧直流給電の配線長による放電時間への影響、電気設備学会全国大会、2011年9月
5. 川本哲也, 荒井純一, 市川紀充, 帯電した人体のモニタリング技術の基礎研究、電気設備学会全国大会、2011年9月

学士11名, 修士6名 (荒井純一)

学士12名 (市川紀充)

#### 査読付き論文

1. 相川和哉, 米盛弘信: “IH クッキングヒータにおける加熱コイルの形状がコイル損失に与える影響”, 日本AEM学会論文誌, (2012-03) 掲載予定
2. 葛西裕生, 米盛弘信: “IH クッキングヒータから放射される高周波騒音と不快感の関係”, 日本AEM学会論文誌, (2012-03) 掲載予定
3. 奥山耕平, 荒井純一, 米盛弘信: “FEM 解析による分割コイル方式 IH クッキングヒータの漏れ磁束低減効果の検証”, 日本AEM学会論文誌, (2012-03) 掲載予定
4. 米盛弘信, 藤原章裕: “IH クッキングヒータから発する高周波騒音”, 電気設備学会誌, 31巻9号, pp.56-57 (2011-09)

#### 国際学会論文 (査読付も含む)

1. Hironobu Yonemori, Akihiro Fujiwara, Miki Kobayashi: “A Study on the High Frequency Acoustic Noise and Vibration of a Pan Generated by an IH Cooker”, 15th International Power Electronics and Motion Control Conference EPE-PEMC 2012 ECCE Europe, Novi Sad, Republic of Serbia (2012-09) 投稿済・査読中
2. Akihiro Fujiwara, Hironobu Yonemori, Miki Kobayashi: “Basic Study by the Finite Element Method on a High Efficient Heating of IH Earthenware Pan”, 15th International Power Electronics and Motion Control Conference EPE-PEMC 2012 ECCE Europe, Novi Sad, Republic of Serbia (2012-09) 投稿済・査読中

#### 学術雑誌、商業誌、研究機関への研究報告、展望、解説、論説など

1. 米盛弘信, 藤原章裕, 平野良幸: “IH クッキングヒータが発する高周波騒音の解明”, サレジオ高専研究紀要, 第37号, pp.47-53 (2011-11)
2. 米盛弘信, 高橋 孝: “サレジオ高専機械電子工学科における学科プロジェクトの発足とその教育効果に関する一報告”, サレジオ高専研究紀要, 第37号, pp.55-60 (2011-11)
3. 奥山耕平, 荒井純一, 米盛弘信: “新方式を用いた誘導加熱器の漏れ磁束低減効果の検証”, 工学院大学研究報告, 第111号, pp.59-63 (2011-10)
4. 米盛弘信, 小林 幹: “用途を都市減災に据えた独立型太陽光発電の開発”, 電気設備学会誌, 31巻4号, pp.273-276 (2011-04)

#### 口頭発表

1. 藤原章裕, 米盛弘信: “有限要素法を用いた IH 対応鍋の磁束密度分布の解明”, 第3回大学コンソーシアム八王子学生発表会要旨集, pp.132-133 (2011-12)
2. 安達匡一, 大澤泰樹, 畔柳和好, 米盛弘信: “誘導加熱による異形状アルミニウム合金の間接加熱装置に関する基礎検討—異なる形状の被加熱対象物における表面温度分布の解明—”, 第3回大学コンソーシアム八王子学生発表会要旨集, pp.134-135 (2011-12) 準優秀賞受賞
3. 野口拓哉, 米盛弘信: “太陽電池モジュール表面の防汚に関する検討—光触媒と撥水コートと比較—”, 第3回大学コンソーシアム八王子学生発表会要旨集, pp.136-137 (2011-12) 優秀賞受賞
4. 広山 慧, 米盛弘信: “ほうろろ鍋を誘導加熱したときに発生する高周波騒音の解明”, 第3回大学コンソーシアム八王子学生発表会要旨集, pp.138-139 (2011-12)
5. 佐藤雅史, 米盛弘信: “EDLC を用いた独立型 PV システムの蓄電部改善に関する基礎検討”, 第3回大学コンソーシアム八王子学生発表会要旨集, pp.140-141 (2011-12)
6. 相川和哉, 米盛弘信: “IH クッキングヒータの加熱コイル形状が加熱効率に与える影響”, 第3回大学コンソーシアム八王子学生発表会要旨集, pp.286-287 (2011-12)
7. 葛西裕生, 米盛弘信: “IH クッキングヒータから放射される高周波騒音のパワースペクトル値が使用者に与える不快感の解明”, 第2回大学コンソーシアム八王子学生発表会要旨集, pp.288-289 (2010-12) 特別賞・優秀賞受賞
8. 大澤泰樹, 畔柳和好, 米盛弘信: “誘導加熱による異形状アルミニウム合金の間接加熱装置に関する基礎検討—簡易供試装置による被加熱対象物の温度分布—”, 第3回大学コンソーシアム八王子学生発表会要旨集, pp.302-303 (2011-12) 準優秀賞受賞
9. 佐伯遥馬, 米盛弘信: “誘導加熱を用いた缶飲料加熱装置のオールメタル化に関する基礎検討—スチール缶とアルミ缶の磁束密度分布—”, 第3回大学コンソーシアム八王子学生発表会要旨集, pp.316-317 (2011-12) 特別賞・優秀賞受賞
10. 丸山 諒, 佐藤雅史, 吉野航平, 安達匡一, 藤原章裕, 米盛弘信: “Solar Bike Race 2011 in HAMAMATSU—3輪ソーラーバイクの製作と大会報告—”, 第3回大学コンソーシアム八王子学生発表会要旨集, pp.330-331 (2011-12) 準優秀賞受賞
11. 土屋樹生, 細見温聖, 依田文徳, 米盛弘信: “2011 山中湖アートイルミネーションコンテスト参加作品の制作過程と現状報告—”, 第3回大学コンソーシアム八王子学生発表会要旨集, pp.360-361 (2011-12)
12. 米盛弘信, 葛西裕生, 藤原章裕, 広山 慧, 平野良幸, 中川和彦: “IH クッキングヒータが発生する音と電磁波の解明による人体への影響を考慮した環境改善策”, 第3回大

- 学コンソーシアム八王子学生発表会要旨集, pp. 366-367 (2011-12)
13. 相川和哉, 米盛弘信: “IH クッキングヒータにおける加熱コイルの形状がコイル温度に与える影響”, 2011 年 (第 29 回) 電気設備学会全国大会講演論文集, pp. 331-332 (2011-09)
  14. 葛西裕生, 米盛弘信: “IH クッキングヒータから放射される高周波騒音と擬似騒音による不快感の検証”, 2011 年 (第 29 回) 電気設備学会全国大会講演論文集, pp. 47-48 (2011-09)
  15. 広山 慧, 米盛弘信: “IH クッキングヒータから発生する高周波騒音と鍋サイズの関係”, 2011 年 (第 29 回) 電気設備学会全国大会講演論文集, pp. 449-450 (2011-09)
  16. 米盛弘信, 藤原章裕, 小林 幹: “IH クッキングヒータから発生する高周波騒音の鍋材質依存性”, 2011 年 (第 29 回) 電気設備学会全国大会講演論文集, pp. 451-452 (2011-09) 発表奨励賞受賞
  17. 藤原章裕, 米盛弘信: “有限要素法を用いた IH 対応土鍋の磁束密度分布の解明”, 2011 年 (第 29 回) 電気設備学会全国大会講演論文集, pp. 329-330 (2011-09)
  18. 佐伯遥馬, 米盛弘信: “誘導加熱を用いた缶飲料加熱装置のオールメタル化に関する基礎検討ーコイル電流周波数と加熱効率の関係ー”, 2011 年 (第 29 回) 電気設備学会全国大会講演論文集, pp. 325-326 (2011-09)
  19. 大澤泰樹, 畔柳和好, 米盛弘信: “誘導加熱による異形状アルミニウム合金の間接加熱装置に関する基礎検討”, 2011 年 (第 29 回) 電気設備学会全国大会講演論文集, pp. 327-328 (2011-09)
  20. 佐伯遥馬, 米盛弘信: “誘導加熱を用いた缶飲料加熱装置のオールメタル化に関する基礎検討”, 平成 23 年電気学会産業応用部門大会講演論文集, p. Y-29, 琉球大学 (2011-09)
  21. 広山 慧, 米盛弘信: “鍋サイズが IH クッキングヒータから発生する高周波騒音に与える影響”, 平成 23 年電気学会産業応用部門大会講演論文集, p. Y-30, 琉球大学 (2011-09)
  22. 奥山耕平, 荒井純一, 米盛弘信: “FEM 解析による分割コイル方式 IH クッキングヒータの漏れ磁束低減効果の検証”, 第 23 回「電磁力関連のダイナミクス」シンポジウム講演論文集, pp. 171-176, ウィンクあいち (2011-05)
  23. 米盛弘信, 藤原章裕: “IH クッキングヒータが発生する高周波騒音の指向性”, 第 23 回「電磁力関連のダイナミクス」シンポジウム講演論文集, pp. 437-442, ウィンクあいち (2011-05)
  24. 藤原章裕, 米盛弘信: “IH クッキングヒータから発生する高周波騒音の発生メカニズムの解明”, 第 23 回「電磁力関連のダイナミクス」シンポジウム講演論文集, pp. 443-448, ウィンクあいち (2011-05)
  25. 相川和哉, 米盛弘信: “IH クッキングヒータにおける加熱コイルの形状がコイル損失に与える影響”, 第 23 回「電磁力関連のダイナミクス」シンポジウム講演論文集, pp. 457-432, ウィンクあいち (2011-05)
  26. 葛西裕生, 米盛弘信: “IH クッキングヒータから放射される高周波騒音と不快感の関係”, 第 23 回「電磁力関連のダイナミクス」シンポジウム講演論文集, pp. 463-468, ウィンクあいち (2011-05)
  27. 藤原章裕, 米盛弘信: “IH クッキングヒータから発生する超音波騒音に関する検討”, M2M 研究会専門部会セミナー第 2 回教育専門部会ーM2M 活用学生実験・応用研究の実践ー, pp. 9-10, こども教育宝仙大学 (2011-04)
  28. 米盛弘信, 高橋 孝: “サレジオ高専機械電子工学科における学科プロジェクトの発足ーものづくり講座と資格講座の教育効果ー”, 第 59 回年次大会 (平成 23 年度) 工学教育研究講演会講演論文集, pp. 312-313, 北海道大学 (2011-09)
  29. 吉野純一, 米盛弘信, 内田 健, 亀田多江, 市村 洋: “首都圏高等教育機関による外部研究力活用に関する事例ー本科生-専攻科生-外部連携 (企業含む)ー”, 第 59 回年次大会 (平成 23 年度) 工学教育研究講演会講演論文集, pp. 326-327, 北海道大学 (2011-09)
  30. 藤原章裕, 米盛弘信: “高専低学年から始める研究活動ー10 代で査読付論文が学会誌に掲載された経緯ー”, 第 59 回年次大会 (平成 23 年度) 工学教育研究講演会講演論文集, pp. 392-393, 北海道大学 (2011-09)
  31. 安達匡一, 佐伯遥馬, 藤原章裕, 矢崎克侑, 米盛弘信: “ものづくりから始めるコミュニケーション能力の向上ー先輩から教わるプレゼンテーションのノウハウー”, 第 59 回年次大会 (平成 23 年度) 工学教育研究講演会講演論文集, pp. 416-417, 北海道大学 (2011-09) JSEE 研究講演会発表賞受賞

#### 外部資金の獲得

1. 米盛弘信, サレジオ高専課題研究費/平成 23 年度/300 千円, 光触媒による PV モジュール表面のセルフクリーニングと EDLC による蓄電部の改善 (研究代表者)

#### 知的財産権の取得 (国内特許、国外特許、実用新案、著作権など)

1. 畔柳和好, 米盛弘信, 大澤泰樹: “誘導加熱装置”, 特許出願 2012-265103, (2012-12)

#### その他 (報告会・シンポジウムの主催・共催など)

1. 平成 23 年度 (第 29 回) 電気設備学会全国大会 発表奨励賞受賞 (2011-11)
2. 電気設備学会 第 22 回電気設備学会賞 学術部門「論文奨励賞」受賞 (2011-06)

総合研究所・都市減災研究センター (UDM) 業績報告書 (平成23年度)  
テーマ4 小課題番号4.2 大竹 浩靖 (機械工学科)

国際学会論文 (査読付も含む)

1. Ohtake, H., Mazume, T., Koizumi, Y., Study on Subcooled Flow Boiling Heat Transfer under Oscillatory Flow and Vibration Conditions (Onset Nucleate Boiling, Net Vapor Generation and Critical Heat Flux), Proc. the 19th International Conference on Nuclear Engineering, CD-ROM ICONE 19-44143, 2011.

口頭発表

1. 大竹 浩靖、馬詰 丈彦、地震振動が冷却限界および沸騰気泡挙動に及ぼす影響に関する研究 (加熱面振動下の CHF 発生機構の考察)、第 16 回動力エネルギー技術シンポジウム、日本機械学会、大阪、2011 年 6 月

外部資金の獲得

1. 科学研究費補助金・基盤研究(C)、平成 21 年度～23 年度、高張力鋼板 (ハイテン・超ハイテン) 製造プロセス改善に関する熱工学的検討、研究代表者、平成 21 年度:2,900 千円、平成 22 年度:500 千円、平成 23 年度:500 千円。

修士 1 名

学士 1 名

テーマ4 小課題番号4.2 雑賀 高 (グローバルエンジニアリング学部)

査読付き論文

1. 野原徹雄, 雑賀 高, 尿素を原料とするアンモニア燃料水素エネルギーシステムの研究 (続報) — 酵素触媒による尿素加水分解およびアンモニア分解による水素生成 —, 日本エネルギー学会誌, Vol. 90, No. 9, pp. 895-904, 2011.

学術雑誌、商業誌、研究機関への研究報告、展望、解説、論説など

1. 雑賀 高, 「ウレアーズ」新しいバイオ燃料変換マテリアルとしての可能性, マテリアルステージ, Vol. 11, No. 9, pp. 9-11, 2011.

口頭発表

1. 浜野友紀, 野原徹雄, 雑賀 高, 尿素を燃料とする水素エネルギーシステム (第 3 報), 第 20 回日本エネルギー学会大会, 2011 年 8 月.
2. 鈴木健太, 大久保 裕, 浜野友紀, 雑賀 高, アンモニア燃料・燃料電池自動車の開発設計, 第 20 回日本エネルギー学会大会, 2011 年 8 月.
3. 矢川一輝, 平野貴之, 雑賀 高, CO2 回収 DME ハイブリッドシステムの研究, 第 20 回日本エネルギー学会大会, 2011 年 8 月.

外部資金の獲得

1. 雑賀 高, 文部科学省・科研費・基盤研究C, 400 千円, 水素生成のための尿素エネルギーシステムに関する研究 (研究代表者)

博士

1. 野原徹雄, 尿素を原料とするアンモニア燃料・水素エネルギーシステムの研究, 2011 年 7 月 16 日

修士 4 名

学士 1 名

その他 (報告会・シンポジウムの主催・共催など)

1. 第 6 回ワークショップ「エンジニアリング・デザイン教育」の主催  
— 真の技術者を育成するエンジニアリング・デザイン教育を目指して —  
2012 年 2 月 25 日, 工学院大学新宿校舎  
主催: 日本工学教育協会エンジニアリング・デザイン教育調査研究委員会  
委員長 雑賀 高

#### 外部資金の獲得

科学研究費補助金 2010-2011 年度 (挑戦的萌芽研究) 「震災時における都心部非定住者の受療行動予測・対応策に関する研究」 (研究代表者: 山下哲郎 (てつろう))

#### 修士1名

1. 佐藤豪、首都直下地震を想定した新宿駅周辺の被災人口の推計、2010年3月19日

#### テーマ5 小課題番号5.2 氏名 久保智弘 (まちづくり学科)

#### 口頭発表

1. 久保智弘、久田嘉章、村上正浩: 超高層ビルにおける緊急地震速報とオンサイト情報の利活用について、地球惑星学会合同大会, HDS030-08, 2011年5月
2. 久保智弘、久田嘉章、村上正浩: 東北地方太平洋沖地震における都心の超高層建築の初動対応と室内被害について、日本建築学会大会学術講演梗概集(関東), pp. 959-960、2011年8月
3. 荒川洋輔、久田嘉章、久保智弘、山下哲郎: 2011年東北地方太平洋沖地震における超高層建築の強震観測と地震応答解析 その1 前震・本震・余震による強震観測、日本建築学会大会学術講演梗概集(関東), pp. 305-306、2011年8月
4. 稲垣大輔、村上正浩、久田嘉章、海沼大樹、平本達也、久保智弘: 東日本大震災時における工学院大学の初動対応と帰宅困難者対応、日本建築学会大会学術講演梗概集(関東), pp. 877-878、2011年8月
5. 久田嘉章、久保智弘、松澤 佳、森川 淳: 2011年4月11日福島県浜通りの地震による地表断層近傍の建物被害調査、日本地震学会秋季大会、2011年10月
6. 久保智弘、久田嘉章、相澤幸治、大宮憲司、小泉秀斗: 2011年東日本大震災における新宿駅西口・超高層建物のアンケート調査 その1) 工学院大学新宿校舎における揺れとアンケート震度調査、日本地震工学会大会、pp. 36-37、2011年11月

#### 各種メディア (新聞・テレビ・ラジオなど)・展示会等で公表

1. 東京新聞(6月12日付)、(東日本大震災における超高層建築物の揺れについて)
2. 「Mr.サンデー」、フジテレビ、2011年9月25日(日) 21時00分(大変形加力装置による家具転倒実験の協力)
3. 「ワイド!スクランブル」、テレビ朝日、2011年10月27日(木)(大変形加力装置による家具転倒実験の協力)

#### 修士0名

#### 学士0名



総合研究所・都市減災研究センター (UDM) 業績報告書 (平成23年度)  
テーマ5 小課題番号5.2 三好勝則 (建築学部まちづくり学科)

学術雑誌、商業誌、研究機関への研究報告、展望、解説、論説など

1. 三好勝則、復興に関するガバナンス強化のために～大学組織との連携システムづくり～、計画行政、34(3) (108)、pp18、2011

招待講演

1. 三好勝則、東日本大震災から学ぶ巨大地震への備えー減災のための地域づくりー、愛知東邦大学地域創造研究所・東日本大震災研究会、2012年2月11日

口頭発表

1. 三好勝則、地震・津波発生時における防災機関の活動と課題、日本計画行政学会・四国支部研究会、徳島大学、2011年7月

その他 (報告会・シンポジウムの主催・共催など)

- 東日本大震災復興支援特別委員会、日本計画行政学会  
東日本大震災調査復興支援本部 研究・提言部会・首都、日本建築学会

テーマ5 小課題番号5.2 吉田倬郎 (建築学部建築学科)

著書

1. 吉田倬郎、建築積算士ガイドブック、2. 建設産業について (分担)、pp.10-20、(社)日本建築積算協会、2011年4月

査読付き論文

1. 鈴木光、吉田倬郎、三原斉、施工者から見た外壁ラス下地モルタル塗り仕上げの現状の研究、日本建築学会計画系論文集 Vol.76.No.661, pp.673-679, 2011.3

国際学会論文 (査読付も含む)

1. Mitsuhiro YAMASHITA, Takuro YOSHIDA, The basic study on the facility management expense for Engineering University, Proceedings of the The 16th International Symposium on "Advancement of Construction Management and Real Estate" pp375-380, 2011.09.25

学術雑誌、商業誌、研究機関への研究報告、展望、解説、論説など

1. 吉田倬郎、建築費概算の意義と課題、建築と積算、Vol.43.No.463、pp.25-28, 2011.7

口頭発表

2. 飯田恭一、吉田倬郎、オフィスビルの改修記録等から見た主な外部仕上げ・内部仕上げの供用年数の研究、日本建築学会大会、2011年8月
2. 山下光博、吉田倬郎、工科系大学における施設管理費に関する事例研究 各部位・設備種別の支出傾向の類型化、日本建築学会大会、2011年8月

外部資金の獲得

1. 吉田倬郎、科研費・基盤C/平成22～24年度/210千円、インターンシップを中心とする建設現場人材教育に関する研究(研究分担者) /代表:三原斉(ものづくり大学教授)

#### 著書

1. 村上正浩、いまからのキャンパスづくり 大学の将来戦略のためのキャンパス計画とマネジメント (分担)、pp. 175-177、日本建築学会、2011

#### 学術雑誌、商業誌、研究機関への研究報告、展望、解説、論説など

1. 村上正浩、震災特集(3)：復旧・復興への取り組み 避難所での段ボールを使った被災者の支援の取り組み、住宅、60巻、pp. 11-14、2011 (査読なし)

#### 招待講演

1. 村上正浩、首都直下地震に備えて、都議会民主党防災対策プロジェクトチーム会議、東京都議会棟、2012年2月29日
2. 村上正浩、首都直下地震に備えて-いま、私たちにできること-、四谷第6小学校防災デー、四谷第6小学校、2012年2月18日
3. 村上正浩、理工系大学の特色をいかした被災地支援活動を通じて、町田市防災講演会、町田市、2012年1月22日
4. 村上正浩、DCP (地区業務継続計画) の考え方とその有効性、平成23年度地域熱供給シンポジウム、秋葉原、2012年1月12日
5. 村上正浩、工学院大学の防災・減災の取り組み、4大学学長懇談会、京王プラザホテル、2011年12月20日
6. 村上正浩、四谷第6小学校避難所運営管理協議会の取り組み、ベトナム国別研修教育訓練省教育機関における気候変動対策本邦研修コース、新宿区四谷第6小学校、2011年12月7日
7. 村上正浩、首都直下地震に備える-防災まちづくりに取り組もう-、三鷹市西社会教育会館、2011年11月22日
8. 村上正浩、災時における都市の被災イメージと医療機関及び地域の連携のあり方、東精協病院管理運営委員会・事務管理委員会合同講演会、工学院大学、2011年11月18日
9. 村上正浩、災害時における帰宅困難者とトイレ、横浜国際トイレフォーラム2011 第27回全国トイレシンポジウム Yokohama International Toilet Forum 2011 The 27th Toilet Symposium、神奈川大学、2011年11月12日
10. 村上正浩、帰宅困難者への対応や避難所での支援方法と地域連携について、公益財団法人特別区協議会特別区職員研修所 BCP (事業継続計画) セミナー、特別区政会館、2011年11月8日
11. 村上正浩、首都直下地震に備える、四谷地区防災講演会、四谷地域センター、2011年10月3日
12. 村上正浩、大規模震災に備えた防災まちづくり、平成23年度豊橋市防災講演会、ライフポートとよはし、2011年9月10日
13. 村上正浩、災害時の街と医療の連携-地域防災対策の立場から-、第2回新宿高層ビル街区災害医療研究会、工学院大学、2011年9月8日
14. 村上正浩、都心立地・私立大学キャンパスの避難所機能とリスクマネジメント、日本建築学会キャンパス地域連携小委員会~キャンパスと地域のサステナビリティ~震災と大学キャンパス 復興期の地域との連携~、早稲田大学、2011年8月22日
15. 村上正浩、震災時における都市の被災イメージと医療機関及び地域の連携のあり方、東京医科大学八王子医療センター防災講演会、東京医科大学八王子医療センター、2011年7月21日
16. 村上正浩、来たるべき大規模地震に備えて、八王子市防災講演会、八王子市いちょうホール、2011年6月1日

#### 口頭発表

1. 新藤 淳、平本達也、村上正浩、久田嘉章、2011年東日本大震災における新宿駅西口・超高層建物のアンケート調査 (その2) 事業者を対象とした被害と初動対応に関するアンケート調査、日本地震工学会大会、pp. 38-39、2011 (査読なし)
2. 稲垣大輔、村上正浩、久田嘉章、久保智弘、東日本大震災時における工学院大学の帰宅困難者対応、社会貢献学会第2回大会予稿集、pp. 101、2011 (査読なし)

3. 濱野航平、村上正浩、平本達也、海沼大樹、稲垣大輔、東日本大震災における工学院大学の被災地支援の取り組み（その3） 「あなたの思い出まもり隊プロジェクト」の取り組み、社会貢献学会第2回大会予稿集、pp.101、2011（査読なし）
4. 海沼大樹、村上正浩、濱野航平、平本達也、稲垣大輔、久田嘉章、東日本大震災における工学院大学の被災地支援の取り組み（その2） 「気仙沼 子ども遊ばせプロジェクト」について、社会貢献学会第2回大会予稿集、pp.100、2011（査読なし）
5. 平本達也、村上正浩、濱野航平、海沼大樹、稲垣大輔、久田嘉章、東日本大震災における工学院大学の被災地支援の取り組み（その1） 避難所での段ボールを使った住環境整備について、社会貢献学会第2回大会予稿集、pp.99、2011（査読なし）
6. 村上正浩、濱野航平、平本達也、海沼大樹、稲垣大輔、久田嘉章、理工系大学の特色をいかした被災地支援の取り組み、社会貢献学会第2回大会予稿集、pp.27-32、2011（査読なし）
7. 鱒沢曜、小宮山甫、村上正浩、新藤淳、久田嘉章、新宿・新都心の地域連携による地震防災に関する研究 その3：地域の傷病者対応における取り組み、日本建築学会 2011年度大会、F-1分冊、p.905-906、2011（査読なし）
8. 新藤淳、村上正浩、平本達也、鱒沢曜、久田嘉章、新宿・新都心の地域連携による地震防災に関する研究 その2：新宿西口現地本部訓練、日本建築学会 2011年度大会、F-1分冊、p.903-904、2011（査読なし）
9. 平本達也、村上正浩、新藤淳、鱒沢曜、久田嘉章、新宿・新都心の地域連携による地震防災に関する研究 その1：新宿・新都心における取り組み、日本建築学会 2011年度大会、F-1分冊、p.901-902、2011（査読なし）
10. 村上正浩、岡島一郎、鈴木俊博、山下仁、モバイル空間統計を活用した滞留者・帰宅困難者数の推定と具体的対策の検討、日本建築学会 2011年度大会、F-1分冊、p.893-894、2011（査読なし）
11. 海沼大樹、村上正浩、久田嘉章、濱野航平、地域住民との協働による地震防災対策に関する研究（その2） 四谷第六小学校避難所運営管理協議会の取り組み、日本建築学会 2011年度大会、F-1分冊、p.891-892、2011
12. 濱野航平、村上正浩、久田嘉章、海沼大樹、地域住民との協働による地震防災対策に関する研究（その1） 花園小学校避難所運営管理協議会の取り組み、日本建築学会 2011年度大会、F-1分冊、p.889-890、2011（査読なし）
13. 稲垣大輔、村上正浩、久田嘉章、海沼大樹、平本達也、久保智弘、東日本大震災時における工学院大学の初動対応と帰宅困難者対応、日本建築学会 2011年度大会、F-1分冊、p.877-878、2011（査読なし）
14. 久保智弘、久田嘉章、村上正浩、東北地方太平洋沖地震における都心の超高層建築の初動対応と室内被害について、日本建築学会 2011年度大会、B-2分冊、p.959-960、2011（査読なし）
15. 池島由華、坂本成弘、村上正浩、関沢愛、高層建築物の階段避難を想定した群集合流実験、日本建築学会 2011年度大会、A-2分冊、p.211-212、2011（査読なし）

#### 外部資金の獲得

研究代表者及び研究分担者がこれまでに受けた研究費（科学研究費補助金、所属研究機関より措置された研究費、府省・地方公共団体・研究助成法人・民間企業等からの研究費等。なお、現在受けている研究費も含む。）による研究成果等のうち、本研究に生かされているものを選定し、それぞれの研究費毎に、資金制度名・研究種目名、期間（年度）、研究課題名、研究代表者又は研究分担者の別、研究経費（直接経費）を記入してください。なお、研究代表者・研究分担者及び連携研究者には下線を付してください。

1. 村上正浩、受託事業、大地震発生時における外出者対策の推進に関する調査研究委託、東京都総務局総合防災部、9,700千円、平成23年度
2. 村上正浩、受託事業、発災対応型防災訓練企画運営業務委託（四谷地区及び角筈地区）、新宿区区長室危機管理課、3,000千円、平成23年度
3. 村上正浩、受託事業、新宿駅周辺防災まちづくり事業業務委託、新宿区区長室危機管理課、3,000千円、平成23年度

#### 各種メディア（新聞・テレビ・ラジオなど）・展示会等で公表

1. 村上正浩、あなたの思い出まもり隊、マイナビニュース、2012年2月29日
2. 村上正浩、あなたの思い出まもり隊、週アス PLUS、2012年2月25日
3. 村上正浩、あなたの思い出まもり隊、朝日新聞、2012年2月26日

4. 村上正浩、あなたの思い出まもり隊、神戸新聞 NEWS、2012年2月22日
5. 村上正浩、あなたの思い出まもり隊、NHK ニュース、2012年2月21日
6. 村上正浩、あなたの思い出まもり隊、マイナビニュース、2012年2月21日
7. 村上正浩、あなたの思い出まもり隊、デジカメ Watch、2012年2月21日
8. 村上正浩、あなたの思い出まもり隊、デジカメプラス、2012年2月21日
9. 村上正浩、あなたの思い出まもり隊、ガジェット通信、2012年2月21日
10. 村上正浩、あなたの思い出まもり隊、時事ドットコム、2012年2月21日
11. 村上正浩、新宿防災フェスタ、新宿区、2012年1月15日
12. 村上正浩、あなたの思い出まもり隊、読売新聞（首都圏版）、2011年10月23日
13. 村上正浩、あなたの思い出まもり隊、NHK おはよう日本、2011年10月6日
14. 村上正浩、あなたの思い出まもり隊、デジカメウォッチ、2011年10月5日
15. 村上正浩、NHK 防災パーク、NHK、2011年8月27～28日
16. 村上正浩、モバイル空間統計、日本経済新聞、2011年8月3日
17. 村上正浩、モバイル空間統計、朝日新聞、2011年7月21日
18. 村上正浩、Campus Flash、サンデー毎日、6. 5号、pp.71、2011年6月5日
19. 村上正浩、学生が建築のノウハウいかして被災地支援、NHK おはよう首都圏、2011年5月30日
20. 村上正浩、第七回学生天国、大学コンソーシアム八王子、2011年5月8日

修士2名

学士14名

#### その他（報告会・シンポジウムの主催・共催など）

1. 四谷第6小学校避難所運営管理協議会地震防災訓練報告会、2012年2月27日
2. 地域と連携した防災教育の推進事業、都立八王子北高等学校、2012年2月10日
3. 新宿駅周辺防災対策協議会・情報収集伝達訓練、新宿駅周辺防災対策協議会、2012年2月3日
4. 平成23年度第1回危機管理士2級試験自然災害編、日本危機管理士機構、2012年1月27～28日
5. 町田市自主防災組織リーダー講習会、町田市、2012年1月22日
6. 社会貢献学会第2回大会、社会貢献学会、2011年12月10日
7. 西新宿小学校避難所運営管理協議会防災ワークショップ、2011年11月23日
8. 工学院大学新宿校舎地震防災訓練、2011年11月10日
9. 四谷第6小学校避難所運営管理協議会地震防災訓練、2011年11月6日
10. 中野町甲和会地震防災訓練、2011年11月3日
11. 四谷第6小学校避難所運営管理協議会図上演習訓練、2011年10月26日
12. 工学院大学八王子校舎地震防災訓練、2011年10月25日
13. 第39回日本救急医学会総会・学術集会 市民公開講座、日本救急医学会、2011年10月19～20日
14. 防災ワークショップ、都立広尾高等学校「奉仕」、2011年10月12日
15. 学園創立125周年記念講演会 東日本大震災復興支援シリーズ第2弾 「いま、私たちにできること」 ニーズとシーズをつなぐ、2011年9月17日
16. 東日本大震災・支援プログラム 気仙沼市ボランティア活動、工学院大学、2011年7月15～18日
17. 「あなたの思い出まもり隊」プロジェクト、工学院大学、2011年7月～現在
18. 危機管理に関する勉強会、齊藤塾、2011年5月18日、5月24日、6月22日、7月20日
19. 学園創立125周年記念講演会 首都圏で生活する私達のための東北被災地活動報告会 東日本大震災の経験をどういかに！ 首都圏の私たちにできることは？ 被災地の復興のためには？、2011年5月21日
20. 東日本大震災・支援プログラム 気仙沼市ボランティア活動、2011年4月22～25日
21. 2011年東日本大震災に関する新宿駅西口地域報告会 一駅周辺滞留者・帰宅困難者や超高層建築などの経験から都心部の震災対策を考える一、新宿駅周辺防災対策協議会、2011年4月20日

#### 招待講演

1. 宮村正光、地震発生直後における検知と監視技術の活用の可能性、平成23年度都市地震工学シンポジウム、東京工業大学、2011年10月12日
2. 宮村正光、大規模地震に備える企業のBCP—東日本大震災を踏まえて、建設業・不動産業に求められるものは—、町田商工会議所特別講演会、2011年11月5日
3. 宮村正光、技術セミナー、基礎から学べる構造設計シリーズ塔状工作物編、地震荷重の算定方法、(財)日本建築センター、2012年3月23日

#### 口頭発表 (査読なし)

1. 新山龍, 安達俊夫, 宮村正光, 太田宏: 地形・地盤条件に着目した事業継続性に関する研究—その1 2007年新潟県中越沖地震における被害調査結果—, 第46回地盤工学研究発表会, pp.1913-1914, 2011.7
2. 太田宏, 安達俊夫, 宮村正光, 新山龍: 地形・地盤条件に着目した事業継続性の評価に関する研究—その2. 事業中断期間と液状化程度—, 第46回地盤工学研究発表会, pp.1913-1914, 2011.7
3. 新山龍, 安達俊夫, 宮村正光, 太田宏: 地形・地盤条件に着目した事業継続性の評価に関する研究—その3 2004年新潟県中越地震における被害調査結果—, 日本建築学会大会学術講演梗概集, B-2, pp.191-192, 2011.8
4. 太田宏, 安達俊夫, 宮村正光, 新山龍: 地形・地盤条件に着目した事業継続性の評価に関する研究—その4. 事業中断日数と微地形の関係—, 日本建築学会大会学術講演梗概集, B-2, pp.193-194, 2011.8
5. 新山龍, 安達俊夫, 宮村正光, 太田宏, 吉田理恵: 2004年新潟県中越地震による公共施設の復旧に関する研究—長岡市の被害調査結果—, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 2011.11
6. 菊池生恵, 宮村正光, 災害時要援護者への対応に関する調査・研究、障がい者への支援と対策、社会貢献学会第2回大会、2011.12
7. 松山美樹, 宮村正光, 震災時における医療施設の機能支障に関する研究、人工透析患者に対する震災事例の調査と課題の抽出、社会貢献学会第2回大会、2011.12
8. 浅川直紀, 宮村正光, 首都圏における潜在的震災危険度の評価手法に関する研究、夜間人口差の異なる3地域の比較事例、社会貢献学会第2回大会、2011.12

#### その他 (委員会など)

1. 東日本大震災を踏まえた官庁施設の機能確保に関する検討会、委員  
国土交通省大臣官房官庁営繕部 整備課、平成23年11月10日～平成24年3月31日

学士9名

**総合研究所・都市減災研究センター（UDM）**  
**平成22年度研究成果報告会と外部評価の実施（2011年6月18日）**

総合研究所・都市減災研究センター（UDM）では、2011年6月18日（土）に平成22年度の研究成果報告会（添付参照）を実施し、工学院大学の内外から著名な外部委員を招へいし、外部評価シート（添付参照）を使用した外部評価を実施した。外部評価委員名簿と、4名の外部評価委員による評価結果・所見・提言を下記に記す。

**外部評価委員名簿**

1. 外部委員

- ①中林 一樹 首都大学東京都市環境学部 教授
- ②福和 伸夫 名古屋大学大学院 環境学研究科 都市環境学専攻 教授

2. 学内委員

- ①木村 雄二 環境エネルギー化学科 教授
- ②野澤 康 建築都市デザイン学科 教授

**外部評価の評価項目**

[評点] は小課題ごとに実施して頂いた。判定基準は以下の通りである。

非常に良い（優）=A、良い（良）=B、概ね適切（可）=C、改善が必要（不可）=D

[コメント] 小課題・中課題ごとに総合所見を記載して頂いた。

**外部評価委員による評点と所見・提言**

**【テーマ1～5について：総合所見および今後に対する提言】**

【委員 A】新宿をモデル地域として、研究テーマ1、2、4、5の「研究実験の場」として、具体的にオーバーラップさせていくことが重要になるのではないかと。都市型震災のテーマ課題の因果構造をそれなりに設定して置くことであろう。現状の耐震性能における被害と資源の状況に対して、テーマ1、2と3の研究成果が一定実現したときの被害と資源の状況が、テーマ5とリンクしてシミュレートできると、具体的な取り組み課題が社会発信できるのではないかと、思う。

**<テーマ1：都市型建築の効果的な耐震補強・改修法の開発と推進>**

| 小課題               | 1. 目的・必要性  | 2. 実施状況    | 3. 成果      |
|-------------------|------------|------------|------------|
| 1.1：強震動・超高層       | A, B, A, A | A, B, A, B | A, A, A, B |
| 1.2：RC造補強・改修      | A, B, A, A | A, B, A, C | B, B, A, C |
| 1.3：体育館性能・補強      | A, C, A, A | B, B, A, B | B, C, A, C |
| 1.4：都市型・伝統木造診断・補強 | B, C, B, B | -, C, A, B | -, C, A, B |

**【小課題1.1へのコメント】**

【委員 B】検討内容がやや多岐に渡る。3つのテーマをもう少し整理すると良い。ベンチマークテストは建築学会の活動と密接に関係があるように思われ、地味だが大事なテーマ。できれば手法ではなく、震源や地盤のモデリングの与える違いについて検討されることが望ましい。大規模地殻内地震の震源モデル化と震源近傍強震動については、地表まで断層が切れる場合についての予測法の検討のようである。東日本大震災で問題となった海溝型地震の海溝軸周辺での大規模滑りが強震動や津波に与える影響についても今後、検討を加えられると良い。特に、千葉沖の地震については要注意の用に思われる。高層ビルの制震補強については、貴重な事例研究となるので、今後の具体化が望まれる。

【委員 A】(超)高層ビルへの地震影響は、直下地震の場合と、遠隔地での巨大地震による長周期問題とがある。それぞれによって、被害や影響の特徴があると思うので、その峻別が必要ではないかと。東海地震（遠隔地の巨大地震）時の振動特性と超高層への影響、直下地震時の影響を対比的に検討・整理できると（少なくともそのような視点を持って整理検討すると）、対策計画によりつながる成果となるのではないかと。

【委員 D】計画通りに研究を実施していることが確認された。特に超高層建築物の長周期振動については、今回の地震でも注目された点であり、さらに研究を深めていただきたい。

【委員 C】研究目的が明確であり、実施する必要性が高い。また、成果が得られている。

**【小課題1.2へのコメント】**

【委員 B】集合住宅に多く使われている袖壁付き柱に対する新たな補強方法として、鉄骨枠付き湿式パネルによる袖壁増し厚補強工法を提案し、その効果を加力実験により検証している。何故鉄骨枠付き湿式パネルを利

用したのか、分かりやすい説明があると良い。また、他の工法と比較した施工性、コスト、耐力&靱性能、などについての比較があると良い。シングル配筋ラーメン構造の提案については、進捗の状況が分からない。研究成果についてのコメントが無かったので、成果の出方が十分に理解できなかった。

【委員 A】「既存袖壁付き柱」を持つ住宅等が、RC造としては一般的なものなのか、当該建物がどのくらいのシェアを持っているのか、がよく分かっていないのですが、1981年以前には一般的に多く使われているものと考えて良いのでしょうか。耐震補強が進まない大きな原因は、民間でも、公的にも「資金不足」であり、耐震性能の補強・強化と経済・コスト的な観点からの分析が望ましい。耐震補強方法の選択としては、コストパフォーマンスが最も重要な利活用につながるのではないかと。

【委員 D】計画通りに研究を実施していることが確認された。成果発表はこれからであろうが、積極的に外部に向けて発信していただきたい。(あくまでも感想)旧耐震の集合住宅は、改修にあたって2戸1化や増築など建築計画的な変更を行う場合も多く、そういった変更部分を補強に活用するというアイデアはあり得ないのか? 建築計画・設計分野との連携があっても面白いと思われる。

【委員 C】研究目的は明確であるが、耐震補強のための前提条件となる設計条件などの明確化が期待される。

### 【小課題 1.3 へのコメント】

【委員 B】学校体育館の変形に伴う内外装材の損壊を回避するために、Xブレース構造の応答変形の簡易評価をしようとしているが、何故、限界耐力計算法を利用したのか? 層間変形角1/100の変形に押さえるには耐震診断指標を1.4にする必要がある、というのは、過大な印象もある。従来、体育館で構造的に大被害を受けたものは少なく、天井・屋根の落下が多いように思う。耐力を上げる必要が本当にあるのでしょうか? むしろ剛性を上げることではないのでしょうか。C値とF値のバランスのことに留意する必要がある印象を持ちます。また、1層RC、2層Sの場合にはそもそも限界耐力計算法は使わない方が良いでしょう。また、ここでの検討の方法では、天井材についての検討には適用できないのでは無いでしょうか? 動的解析は入力やモデリングに結果が大きく左右されるので、なかなか難しそうですね。

【委員 A】体育館が地震の後に使えるか否かは、フレームの変形程度による「内装材の破損」で決まっている。構造的な問題ではないにも拘わらず、内装材の破損被害が避難者にとって「使用できない」判断となる。従って、最終的には、耐震補強による「地震時に構造的な破損が生じるか否か」から研究を始めるとしても、「変形及びその結果としての内装への損傷」について、知見を出していただけると、有用な研究となるので、今後期待したい。

【委員 D】計画通りに研究を実施していることが確認された。成果発表はこれからであろうが、積極的に外部に向けて発信していただきたい。

【委員 C】指針に対する今後の提言が期待される。振動解析により得られると期待される成果が、今回の解析で求めた限界耐力と質的に異なることが予測されるのかについて、さらなる明確化が期待される。研究成果の取りまとめと外部へのさらなる発信が期待される。

### 【小課題 1.4 へのコメント】

【委員 B】テーマそのものは大変面白いが、本研究プロジェクトとして、何故、伝統的町並の建造物を中心にした検討をしたのか? テーマ1のタイトル都市型建築とは矛盾を感じるのでは、何らかの説明(言い訳)が必要。

【委員 A】土蔵は、日常火災対策としての「耐火的建物」であるが、地震工学的には不透明の事象が多いように見受けました。UDMとしては、構造分野との連携で、伝統的建物の構造学的研究ができると非常の先駆的な取り組みに成るのではないかと、思います。伝統建築物の工法を活かした耐震補強、土蔵の構造における耐震補強についての知見が得られることを期待したい。

【委員 D】計画通りに研究を実施していることが確認された。この小課題については、テーマ1の扱う「都市型建築」の解釈や小課題1.1~1.3との関係がややわかりにくい。今後、この点を整理して明示していただきたい。具体的には、今回の発表にあったような住宅形式から得られた知見が、都市部に多くある一般的な戸建て住宅に応用可能であるかどうか、などを示していただきたい。

【委員 C】研究成果は得られているが、何故横手市を研究の対象として取り上げているのかについて、さらなる説明が必要とされる。

### 【テーマ1の総合所見および今後に対する提言】

【委員 B】全体として「都市型建築の効果的な耐震補強・改修法」という統一テーマに対し、各課題がバラバラな印象を持つ。全体としてのロードマップ、課題の関係を明示する必要がある。一般的な集合住宅や事務所、戸建て木造住宅などの検討が抜けているので、気になる。

【委員 A】超高層、RC中高層、鉄骨大空間、伝統木造の耐震補強・改修についての個別研究を横並びで進めても、「都市型建築の・・・」とはならないので、次年度以降、都市で最も被害をもたらす一般木造建物や、1981年以前のマンション(S造とRC造)の耐震補強・改修についても、少し視野を広げていただけることを期待し

たい。

【委員 D】計画通りに研究を実施していることが確認された。今後、対外的な成果発表を積極的に行っていただきたい。4つの小課題の関係性・連携の有無、「都市型建築」の中での各小課題の対象物の位置づけなどを、もう少し明確にしておく必要がある。いずれの小課題も、「耐震診断・補強」を主たる目的としているが、補強方法への示唆だけではなく、今後の建築基準法の新たな耐震基準や構造計算方法の設定に有用な示唆を与えるものになると考えられるので、そちらも目指してはどうか。

【委員 C】研究組織を構成するメンバー間の連携、分担の中身が見えない部分がある。

### <テーマ2：建築機能維持施設の効果的な耐震補強・改修法の開発と推進>

| 小課題                   | 1. 目的・必要性  | 2. 実施状況    | 3. 成果      |
|-----------------------|------------|------------|------------|
| 2.1：非構造・設備補強・改修       | A, B, A, B | B, B, A, C | B, C, B, D |
| 2.2：ライフライン設備・耐震性・長寿命化 | -, C, B, C | -, B, A, C | -, B, A, B |

#### 【小課題2.1へのコメント】

【委員 B】地味だが大事な研究テーマ。是非、良い成果を出して欲しい。様々な設備部材があるので、少しずつ対象部材を増やしていくと良い。天井の問題も是非手がけて欲しい。この種の検討は研究成果を残すことは難しいが、技術資料をまとめることの意義は大きい。

【委員 A】地震時のスプリンクラーでは設備としての振動による損傷とともに、機能的な影響はどのように評価されるのか。地震後に変形しても「火災対応」できる機能が維持されているのか、逆に、変形損傷とともに放水（水漏れ）して、水害を発生させるのか。望ましくは、変形しても、停電になっても、水損をおこさず、火災に対しては放水機能が保持できることが目標となるのだと思うが。

【委員 D】計画通りに研究を実施していることが確認された。成果発表はこれからであろうが、積極的に外部に向けて発信していただきたい。当然やられていることと思うが、小課題1.1で扱っている超高層建物上層階での長周期振動を想定とした実験・考察も必要であろう。

#### 【小課題2.2へのコメント】

【委員 B】同上。何故、スプリンクラー、タンク、ボルト締結部の検討を行ったのか、その説明があると良い。

【委員 A】スプリンクラーの配管構造からタンクのスロッシングまで、多様な設備防災を紹介いただいたが、機械系分野との連携で、都市のエネルギー系施設設備に的を絞った取り組みが、テーマに沿うのではないかと思う。スプリンクラーの配管構造の研究は、2.1の中に取り込まれるものではないか。

【委員 D】当初の研究計画にはスプリンクラーに関する事項は含まれていないのではないか。この点、本日の発表では、小課題2.1と重複しており、整理が必要である。こちらも当然やられていることと思うが、小課題1.1で扱っている超高層建物上層階での長周期振動を想定とした実験・考察も必要であろう。

【委員 C】配管の固定方法について検討の対象としない理由が不明確である。荷重による評価ではなく、曲げモーメントによる評価を採用すればさらに定量的な議論が可能であり、加えて、配管の形状（断面係数と応力集中係数）を考慮すれば材料の強度評価との関連がさらに明確化されると考える。また、配管腐食の特性に及ぼす影響の今後の評価について期待される。研究成果の取りまとめと外部への発信が期待される。

#### 【テーマ2の総合所見および今後に対する提言】

【委員 B】建築設備全体に関する分析をした上で、戦略的に計画をし、部材の重要度に応じて、ロードマップを作って、検討をしていてもらいたい。課題2-1と2-2の関係がやや不明確になっている。

【委員 A】機械系分野との連携で、都市の基盤であり、ライフラインである、エネルギー系施設設備に的を絞った取り組みが、テーマに沿うのではないか。

【委員 D】ほぼ計画通りに研究を実施していることが確認された。今後、対外的な成果発表をさらに積極的に行っていただきたい。大地震は単独で来るものではなく、その後も大きな余震が来るのが通常である。その際に、本震で壊れるような消火設備では問題があるわけで、このテーマは大変重要であると考えられ、今後の研究の発展と応用、実用化を期待したい。小課題2.1と2.2それぞれの研究計画はほぼ実現されているが、この2つの小課題相互間の関係をもう少し明確に示す必要があるのではないか。特に今回の報告でスプリンクラーに関する内容を重複しているので。

【委員 C】研究分担者個々の役割の明確化が期待される。

### <テーマ3：震災廃棄物の再資源化と高機能化>

| 小課題                 | 1. 目的・必要性  | 2. 実施状況    | 3. 成果      |
|---------------------|------------|------------|------------|
| 3.1：震災廃棄物・再資源化・高機能化 | A, B, A, A | B, B, A, A | A, A, A, A |



**【テーマ3の総合所見および今後に対する提言】**

【委員 B】震災廃棄物の問題の問題は重要であるが、検討課題を見ると、廃棄物の問題だけでなく、復興住宅や代替材料のことも含んでいるようである。であれば、テーマ全体のタイトルを変えると共に、小課題を複数設定してはどうか？現状は各研究者の課題が個別に出ている印象が強く、テーマ3としての構造がみえにくい。

【委員 A】震災廃棄物の再資源化が、その俊哉建物の復興時の資源とすることができれば、低カーボン・テクノロジーの復興手法となり、非常に重要な研究開発である。将来的に、産業廃棄物の再資源化をその災害での復興事業に活用するための総合的な取り組みに展望してほしい。

【委員 D】ひとつの大きな目的を持って、多角的な視点で研究を進めていることが確認された。木造住宅の基礎に関する議論は重要であると考えられるが、今回の発表のように「復興住宅」に限定する必要はあるのか？東日本大震災では、地震動による建物倒壊の他、津波による被害が甚大であった。そのため、建築廃材が海水に長時間さらされたり、あるいは流失した油が混合したりしている。こうした廃材を再生する方法も検討項目として追加できると良い。東京でも東南海でも津波被害が加わることも想定されるので、有用な知見となるであろう。

【委員 C】研究目的が明確であり、良好な成果を挙げ、成果の公表もなされていると判断される。

**<テーマ4：災害対策拠点の分散化を支援する耐災害性の高い電源・通信システムの開発>**

| 小課題             | 1. 目的・必要性  | 2. 実施状況    | 3. 成果      |
|-----------------|------------|------------|------------|
| 4.1：災害拠点・通信システム | A, B, A, A | B, B, A, B | A, A, A, C |
| 4.2：非常用電源供給システム | -, B, A, A | -, B, A, B | -, A, A, B |

**【小課題 4.1 へのコメント】**

【委員 B】減災情報は、災害情報、防災情報との違いが良く分からない。無線系を前提としたことについて、説明をされたい。現状、情報提供のための種々の通信手段がある。その優劣を示すべき。

【委員 A】揺れによって損なわれる指向性能障害とは、送受信する情報量としてはどの程度のものといえるのか。また、マルチ（3大学）の情報通信とは、同時に3者が通話できることを意味するのか。災害時に分散した防災拠点間で必要な情報交換は、テーマ5と関連して、どのような情報の授受ができるのか、今後は、訓練などを通して、利活用面からの追求も必要であろう。

【委員 D】計画通りに研究を実施していることが確認された。プレゼンテーションの中で、他の小課題との連携が明示されていて良い。

【委員 C】研究成果の取りまとめと外部への発信が期待される。

**【小課題 4.2 へのコメント】**

【委員 B】全体の構造の解説が有ったので、位置づけが良く分かった。必要電力量についての検討が望まれる。本当に電気容量は通信用だけで良いのか？

【委員 A】最終的に、どのような電気供給ができると、情報システムが地震後に継続的に機能し、災害対応ができるのか。災害時の情報活動条件を設定して、その機能に対する電気供給システムの可能性と課題を整理されることを期待したい。

【委員 D】計画通りに研究を実施していることが確認された。

【委員 C】研究組織を構成するメンバー間の連携ならびに担当課題が明確に示されている。

**【テーマ4の総合所見および今後に対する提言】**

【委員 B】事前の備えと災害時の対応に関わる情報の種類、ならびに通信系統、情報端末に関する整理をした上で、この課題で取り組む内容について、明確化することが望まれる。

【委員 A】震災時にどのような情報の可能性が期待でき、どのような被害によってその機能がダウンするのか。想定外の出来事とは何か、どのようなボトルネックがありえるのか、などを、最終的には検討しておくことが望まれる。そのためには、テーマ1、テーマ2との連携が不可欠でしょう。

【委員 D】テーマ4の中の2つの小課題、さらにその中の小さな課題の相互関係が明示されていて良い。今後、特にテーマ5とのやりとりを密にして、研究を進めていっていただきたい。

【委員 C】研究目的が明確である。

**<テーマ5：自治体・地域協働による震災時の都市機能維持>**

| 小課題                   | 1. 目的・必要性  | 2. 実施状況    | 3. 成果      |
|-----------------------|------------|------------|------------|
| 5.1：医療施設・機能維持         | A, C, A, A | A, B, B, D | B, D, B, D |
| 5.2：超高層建築・防災計画・事業継続計画 | A, B, A, A | A, B, A, B | A, A, B, B |
| 5.3：都市機能継続モデル         | -, A, A, A | -, B, B, A | -, A, B, B |

### 【小課題 5.1 へのコメント】

【委員 B】新宿においては非居住者に対する災害時医療は重要な課題。今回は、基礎となる人数把握を進めている段階。自転車と動画を用いた収録システムはユニーク。他地域への展開効果もあるので、是非、良い成果を出して貰いたい。

【委員 A】災害時の医療システムをどのようなものとするのか、前提が変われば、医療の仕組みも変わる。新宿区（東京都）の仕組みとして、拠点病院に被災者が自らは行かない（トリアージの結果、病院が必要な人は、自分ではいけない状況にない？）野ではないかと思うので、人口の分布と病院ではなく、分布に併せた医療システムの検討が必要であろう。また、路上の分布に比例して負傷者が発生するわけでもないであろう。どこでどのくらいの負傷者が出るのか、以下の研究（5.3）などとの連結が必要であろう。

【委員 D】研究計画と今回の発表の間に若干のギャップがあるように感じられる。できるだけ研究計画に沿って進めていただくとともに、追加・変更などについては、報告書などに明示してほしい。小課題 5.2 と内容が重複している部分があるように見受けられる。十分に調整してほしい。道路上、地下道の人口分布の調査報告はあったが、建物内の人口はカウントしなくて十分か。調査した人口分布から治療・処置が必要な患者の分布をどのように割り出すのか？

【委員 C】研究成果の取りまとめと外部への発信が期待される。また、役割分担に不明確なところがある。

### 【小課題 5.2 へのコメント】

【委員 B】学術的成果と実践とのバランスをどう考えるかがポイント。この種のことは、社会やメディアから注目されやすい一方、事例的側面が強く、一般性に欠ける場合が多い。特に、新宿は相当に特殊な状況にある。事例研究に特化するかどうか、見極めが必要と思われる。評価者は、研究成果は副次的成果と考え、徹底的に事例研究をするのが良いと思っている。

【委員 A】超高層ビルは、テナントビルで、テナントビルとしての BCP と、テナント事業者としての BCP がある。両者の連結はどのようであればいいのか。とくに最大の弱点は、垂直方向の移動であり、外部空地に対する建物空間容積が超大規模であるので、災害対応活動時における建物内移動のあり方についての課題の整理が望まれ、今後に期待したい。

【委員 D】小課題 5.1 と内容が重複している部分があるように見受けられる。十分に調整してほしい。この小課題の中だけでも内容が多岐にわたり、まだ整理しきれていない。今後、各メンバーの研究を小課題全体としてどのように編むのかを十分に検討・考察していただきたい。

【委員 C】役割分担が明確である。また、成果が得られている。

### 【小課題 5.3 へのコメント】

【委員 B】西新宿の住民の一人として、工学院大学が、地域と協働して減災活動をするのは、極めて重要である。より一層の連携を進めるには、工学院大学がどれだけ黒子になれるか、がポイントになるように思われる。このことは、組織トップとの軋轢も生む。また、研究成果とは矛盾することも多い。ここでやっているような、基礎データの構築は大学が得意なことであり、是非頑張っていくて貰いたい。

【委員 A】東日本大震災時の帰宅問題のみならず、来街者のさまざまな行動の把握、これまでの駅前滞留者対策協議会の取り組みの検証を是非進めてほしいと期待している。来街者の特性の解明は、新宿の特性そのものの解明なので、なかなか容易ではないのですが、非常に重要なので是非とも追求してほしいと思います。

【委員 D】プレゼンテーションの中で、他の小課題との連携が明示されていて良い。研究計画の一部が実施されていない部分（リアルタイム広域情報共有システムの基本設計）がある。できるだけ研究計画に沿って進めていただくとともに、追加・変更などについては、報告書などに明示してほしい。

【委員 C】防災訓練における経験の積み上げを行いながら、実績を蓄積しつつある。

### 【テーマ 5 の総合所見および今後に対する提言】

【委員 B】サブテーマ間の連携と、全体としてのターゲットの明確化が必要。

【委員 A】新宿という非常に特殊な地区特性を持っているモデル地域で、最も特徴的な町構造の BCP、DMP（防災計画）はテーマ 1 と密接に絡んでいる課題であろう。その上で、来街者を含めて地域住民と来街者がどのように新宿の 24 時間を使っているのか、それへの対応を是非、解明してほしい。特に、モバイル空間統計の活用にはいろいろな可能性があるのかなと思いました。

【委員 D】ほぼ計画通りに研究を実施していることが確認された。今後、対外的な成果発表をさらに積極的に行っていただきたい。3つの小課題相互の関係がやや調整不足である。重複した内容があり、これを統一して情報共有することで、テーマ 5 全体が一体感を持って進められるのではないかな。

【委員 C】テーマ全体としては魅力的であるが、一部に成果のとりまとめと外部への発信が十分でないところが認められる。

文部科学省私立大学戦略的研究基盤形成支援事業  
都市減災研究センター(UDM)第1回研究評価シート

評価委員氏名： \_\_\_\_\_

<テーマ1～5：テーマ名>

| 評価項目                     | 小課題*.1の評価 | 小課題*.2の評価 |
|--------------------------|-----------|-----------|
| 1. 研究目的が明確であり、その必要性が高いか。 | 評点 ( )    | 評点 ( )    |
| 2. 研究実施状況                | 評点 ( )    | 評点 ( )    |
| 3. 研究成果                  | 評点 ( )    | 評点 ( )    |
| 【小課題*.1へのコメント】           |           |           |
| 【小課題*.2へのコメント】           |           |           |
|                          |           |           |

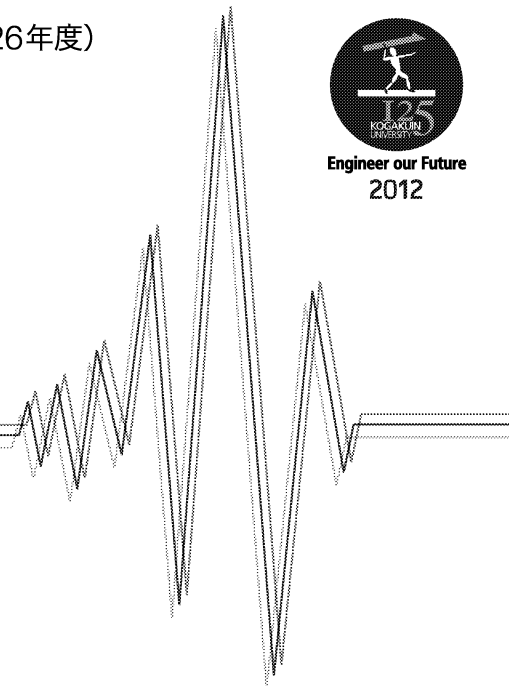
[評点] 以下の判定基準に基づき、小課題ごとに評価をお願いします。(必須項目)

非常に良い(優) = A      良い(良) = B  
概ね適切(可) = C      改善が必要(不可) = D

[コメント] 小課題ごと及び中課題の総合所見を記載してください。評点がC、Dの場合は特に記載してください。



Research Center for  
Urban Disaster Mitigation



工学院大学総合研究所

都市減災研究センター(UDM)  
研究成果報告会

日時:平成23年6月18日(土) 14時～17時30分

場所:工学院大学 新宿校舎 高層棟6階 0611教室



参加費無料

平成22年度研究成果報告

～建築・都市の減災と震災時機能継続に関する研究拠点の形成～

テーマ1:都市型建築の効果的な耐震補強・改修法の開発と推進

テーマ2:建築機能維持施設の効果的な耐震補強・改修法の開発と推進

テーマ3:震災廃棄物の再資源化と高機能化

テーマ4:災害対策拠点の分散化を支援する耐災害性の高い電源・通信システムの開発

テーマ5:自治体・地域協働による震災時の都市機能維持

# 工学院大学総合研究所 都市減災研究センター(UDM) 2010年度研究成果報告会

日時 2011年6月18日(土)14:00～17:30

場所 新宿校舎 0611教室 (高層棟6階)

## program

### 《建築・都市の減災と震災時機能継続に関する研究拠点の形成》

司会：阿部道彦 教授

14:00～14:20

主旨説明

UDMセンター長 久田嘉章 教授

#### 研究テーマ1

### 都市型建築の効果的な耐震補強・改修法の開発と推進

14:20～14:30 ……小課題 1.1) 首都圏直下地震・活断層等による強震動予測と  
超高層建物等の減災対策

久田嘉章 教授

14:30～14:40 ……小課題 1.2) 鉄筋コンクリート造建築の効果的な耐震補強・改修法の開発と推進

近藤龍哉 准教授

14:40～14:50 ……小課題 1.3) 体育館の耐震性能評価と補強法に関する研究

山下哲郎 准教授

14:50～15:00 ……小課題 1.4) 都市型木造建物・伝統木造建物の耐震診断・補強法の開発と推進

河合直人 教授

#### 研究テーマ2

### 建築機能維持施設の効果的な耐震補強・改修法の開発と推進

15:00～15:10 ……小課題 2.1) 非構造部材・建築設備の耐震補強と改修

西川豊宏 准教授

15:10～15:20 ……小課題 2.2) 建築のライフライン設備の耐震性向上と長寿命化

小久保邦雄 教授

15:20～15:30

休憩

#### 研究テーマ3

### 震災廃棄物の再資源化と高機能化

15:30～15:40 ……小課題 3.1) 震災廃棄物の再資源化と高機能化

阿部道彦 教授

#### 研究テーマ4

### 災害対策拠点の分散化を支援する耐災害性の高い 電源・通信システムの開発

15:40～15:50 ……小課題 4.1) 災害拠点の分散化を支援する通信システム

水野修 教授

15:50～16:00 ……小課題 4.2) 分散型非常用電源供給システムの構築

荒井純一 教授

#### 研究テーマ5

### 自治体・地域協働による震災時の都市機能維持

16:00～16:10 ……小課題 5.1) 震災時における医療施設の機能維持

山下てつろう 教授

16:10～16:20 ……小課題 5.2) 超高層建築の防災計画・業務継続計画

久保智弘 特任助教

16:20～16:30 ……小課題 5.3) 地域防災拠点を核とした防災街区の形成と都市機能継続モデルの構築

村上正浩 准教授

16:30～17:30 ……ディスカッション

