

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24年度
研究成果報告書

平成25年3月

工学院大学

はじめに	久田嘉章（センター所長）	i - ii
研究成果報告		
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 1.1)	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	
	久田嘉章 山下哲郎 吉村智昭 新田龍宏	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	既存RC造建物のそで壁増し厚補強工法の開発研究	
	近藤龍哉 伴 幸雄 加藤三晴 山本泰稔	7-10
1.2-2	シングル配筋ラーメン構造開発のための予備実験	
	小野里憲一 常田裕是 高橋良徳	11-14
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	置屋根型鉄骨空間構造の支承部の繰り返しせん断加力実験	
	山下哲郎 竹内良太 白鳥和希 吉田和正 林 拓馬	15-20
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	
	河合直人 神田剛史 進藤貴行	21-24
1.4-2	伝統木造建物の地震時挙動に関する解析的研究	
	河合直人 後藤治 松本憲幸 松岡将吾	25-28
1.4-3	土蔵、土蔵造の建物の地震被害とその対策	
	後藤 治	29-30
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 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	振動台によるライン天井の落下実験と損傷クライテリアの評価	
	山下哲郎 久田嘉章 西川豊宏 久保智弘 志津えりか 小泉秀斗 坂本有奈利 實方啓朗 武田和也 富永政裕	31-36
2.1-2	天吊り設備機器・配管の耐震性能実験	
	西川豊宏 山下哲郎 大橋一正 久保智弘 志津えりか 坂本有奈利	37-42
2.1-3	地震に対するスプリンクラ設備の配管構造の強度解析	
	生野雅也 小林光男 後藤芳樹 一之瀬和夫 小久保邦雄 西川豊宏 山下哲郎 大橋一正	43-46
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座金の影響	
	小林光男 丸山美紀子 後藤芳樹 一之瀬和夫 小久保邦雄	47-48

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 後藤芳樹 小林光男 一之瀬和夫 小久保邦雄	49-50
2. 2-3	スロッシングとタンク強度の検討 小久保邦雄 後藤芳樹 小林光男	51-54
2. 2-4	補修・補強用締結構造の開発および強度評価方法 -複合負荷法の設計とそれによる実験- 一之瀬和夫 小林光男 後藤芳樹 小久保邦雄 若林博之	55-56

テーマ3 震災廃棄物の再資源化と高機能化

小課題 3.1) 震災廃棄物の再資源化と高機能化：

3. 1-1	塩化物イオンのコンクリートへの浸透・拡散に関する乾燥・湿潤条件の影響 金子 樹 彦根俊海 小熊悠暉 阿部道彦	57-60
3. 1-2	住宅基礎コンクリートの性状に及ぼす締固め方法の影響 花野克哉 篠山 彰 佐藤顕太 宮本真道 阿部道彦	61-64
3. 1-3	経年コンクリートの品質評価に関する研究 鈴木健之 田迎聡士 中村 建 中村則清 阿部道彦	65-68
3. 1-4	質量変化によるコンクリートの中性化の評価 岡 雅聡 齊藤辰弥 阿部道彦	69-72
3. 1-5	震災廃木材を含む未利用木材を有効利用した低圧縮型木片コンクリートの基礎物性評価 荒川京平 田村雅紀	73-76
3. 1-6	災害対応を含む環境配慮型打継ぎ資材の施工システムにおける複合的環境側面の評価 有賀拓矢 田村雅紀	77-80
3. 1-7	外装材利用を目的とした震災廃木材を含む木片セメント板の基礎的物性と硬化促進改質処理効果 佐山俊介 田村雅紀	81-84
3. 1-8	震災廃棄物を含む海洋生物殻を混和した多層構造型空隙コンクリート材料の遮熱性能評価に関する基礎的検討 小川剛司 田村雅紀	85-88
3. 1-9	廃棄物系起源材料を含む構造体コンクリートの物理的耐用年数に関する品質保証技術の導入と検証 針原光成 田村雅紀	89-92
3. 1-10	文化財の技術保全を目的とした屋外暴露-改質こけら葺き材の初期劣化性状の評価 直井優太 田村雅紀 後藤 治 山本博一	93-96
3. 1-11	災害時を含めたペット共棲住環境の品質評価 程原恵多 田村雅紀 金巻とも子	97-100

3. 1-12	カビ劣化が顕著なこけら葺き材の無機改質処理と色彩劣化度調査 大城 毅 田村雅紀	101-104
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運用方式の検討 水野 修 浅谷耕一 中里秀則	105-108
4. 1-2	準孤立拠点での情報通信システムの運用と通信確保 小林亜樹	109-112
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消費電力の削減 山口実靖	113-116
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	柔軟シートフラッタ発電と循環制御翼に関する研究 佐藤光太郎 横田和彦	117-122
4. 2-2	独立型太陽光発電システムの特性評価 荒井純一 市川紀充 小林幹	123-126
4. 2-3	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 『都市型コー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飽和およびサブクール流動沸騰熱伝達に関する研究）』 大竹浩靖	127-130
4. 2-4	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 雑賀 高 野原徹雄	131-132
4. 2-5	EDLC を用いた独立型太陽光発電システムにおける蓄電手法の一検討 米盛弘信 市川紀充 荒井純一 小林 幹	133-136
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	医療救護所に求められる機能 長澤 泰 山下哲郎 笥 淳夫 村上正浩 与志平知子	137-142
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 私立工科系大学における首都直下地震による財務影響分析に関する研究 久保智弘	143-146
5. 2-2	工学院大学における東日本大震災対応業務および業務優先度調査に基づく 事業継続計画の枠組み策定 吉田倬郎 村上正浩 久保智弘 宮村正光	147-152

5.2-3	大地震発生直後における建物健全性の応急的使用性に関する研究 —罫書き装置を用いた層間変位の簡便な測定法— 宮村正光	153-154
5.2-4	超高層建築の防災計画・業務継続計画 リアルタイム震動を用いたオフィス家具の転倒時間に関する研究 久保智弘 山下哲郎 坂本有奈利 大宮憲司 小泉秀斗	155-158
小課題 5.3)	地域防災拠点を中心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 村上正浩	159-164
5.3-2	大規模・高層建築物における防災管理に係る東日本大震災の実態調査 三好勝則	165-166

資料1：平成24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)、山下哲郎 (建築学科)	167-170
	小課題番号 1.2 近藤龍哉・小野里憲一 (建築学科)	171-172
	小課題番号 1.3 山下哲郎 (建築学科)	173
	小課題番号 1.4 河合直人 (建築学科) 後藤 治 (建築デザイン学科)	174-175
テーマ2	小課題番号 2.1 西川豊宏 (建築学科)、山下哲郎 (建築学科)	176
	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) 一之瀬和夫 (機械システム工学科)、小久保邦雄 (名誉教授)	177
テーマ3	小課題番号 3.1 阿部道彦・田村雅紀 (建築学科) 後藤 治 (建築デザイン学科)、石川嘉崇 (電源開発)	178-183
テーマ4	小課題番号 4.1 水野 修・小林亜樹・山口実靖 (情報通信工学科)	184-186
	小課題番号 4.2 佐藤光太郎・雑賀 高 (機械創造工学科) 荒井純一・市川紀充 (電気システム工学科) 大竹浩靖 (機械工学科)、米盛弘信 (サレジオ高専)	187-192
テーマ5	小課題番号 5.1 笥 淳夫 (建築デザイン学科)	193
	小課題番号 5.2 久保智弘・宮村正光 (まちづくり学科) 吉田倬郎 (建築学科)	194-196
	小課題番号 5.3 村上正浩・三好勝則 (まちづくり学科)	197-200

資料2：平成24年度・研究進捗状況報告書と研究報告会

①鉄筋コンクリート関連・報告会 (2013年2月21日)	201
②建築非構造材・ライフラインの安全性と機能維持・報告会 (2013年2月21日)	202
③テーマ4・5：合同報告会 (2013年3月15日)	
「震災時の都市機能維持に向けた耐災害性の強い通信・電源システムの活用」	203

平成24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の形成を目的として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、様々な支援のもとで実施しています。

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で運営されています。テーマ1（都市型建物）とテーマ2（機能維持施設）では、首都東京の地震動を推定し、高層建物などの都市型建物・設備等の効率的な耐震補強・改修法の開発を行い、ハード対策と1次被害の低減に関する研究を実施しています。テーマ3（震災廃棄物）では、震災後の都市圏における建設物の資源循環の仕組みと、復興建物の耐久性向上による長寿命化の研究を行っています。またテーマ4（非常時通信）とテーマ5（地域連携）では、主として首都圏での地域連携によるソフト面の2次被害の低減を目的として災害対策拠点の分散化を支援する耐災害性の高い電源・通信システムの構築、震災時の医療施設の機能維持、超高層建物の防災計画・事業継続計画、地域防災拠点を核とした防災街区の形成と都市の機能継続モデルの構築に関する研究を遂行しています。

現在までに建築・都市における減災と機能継続に関するハード・ソフト対策を融合する多くの成果を得ています。特に2012年度は、2011年東日本大震災で得られた貴重な教訓を採り入れています。例えば、テーマ1・2では東日本大震災における超高層建築など都市型建物の揺れと被害を広く調査し、本プロジェクトで購入した高軸力載加型加力設備と大変形水平加力設備と数値シミュレーションにより、建物の躯体構造や室内・設備の揺れ・被害を再現し、首都直下地震や南海トラフの巨大地震などを想定した場合にも有効な耐震補強法を提案しています。テーマ3では、廃棄物を活用した天然砂やコンクリートの代替材料や、廃棄物になり難い高耐久コンクリートに関する研究成果が得られています。テーマ4・5では、太陽光等による自然エネルギーと蓄電と長距離無線LANによる新宿・八王子間の非常用通信網と、地震計とWeb GISを活用した広域情報共有システムを新設し、運用を開始しています。これらを用いて、自治体（東京都、新宿区）と地元事業者（新宿駅周辺防災対策協議会）、拠点病院・医師会などと連携し、帰宅困難者や多数傷病者、建物の安全確認と継続使用への対応等をテーマとしてセミナー・講習会を開催し、2013年1月17日に地域防災訓練を実施しました。これらの成果は各種学会やメディア等で広く公表され、さらに新宿駅周辺地域における防災対策やエリア防災計画の推進、2012年東京都地震被害想定や内閣府防災対策推進検討会議・首都直下地震対策検討WGによる対策案への反映、日本建築学会の提言、TKK3大学連携プロジェクトによる連携授業や社会貢献活動などに広く活用されています。

本報告書は、都市減災研究センター（UDM）が実施した平成24年度の研究成果をとりまとめています。また、参考資料1では参加研究者による業績の一覧、参考文献2ではUDM運営委員会や報告会、参考文献2には、2012年9月に文部科学省に提出した中間報告書を掲載しています。このほか、文末の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、ぜひご参考頂く、忌憚無いご意見を頂ければ幸いです。

2013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共同研究者（2012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 吉村智昭（大阪大学）
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、久保智弘
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、一之瀬和夫
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、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、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、大竹浩靖、雑賀 高、横田和彦（青山学院大学）、小泉安郎（信州大学）、米盛弘信（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
5.2	超高層建築の防災計画・事業継続計画	久保智弘、吉田倬郎、宮村正光
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、三好勝則

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>
- ・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

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***
新田龍宏****

1. はじめに

著者らは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を実施している。具体的には、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。ここでは昨年度までの研究を概観し、2012年度の成果を報告する。

2. 2010/2011 年度の成果概要^{1),2)}

2010/2011 年度における研究成果の概要を説明する。2010 年度は、①信頼性の高い強震動計算法を確認するために、複雑な震源と地盤モデル(多層構造、盆地構造)を対象とした強震動予測手法のベンチマークテストの実施、②活断層帯における震源近傍の強震動シミュレーションとして、1999 年コジャエリ地震を対象とした規模の大きな地殻内地震による震源近傍における強震動計算、および、③超高層建築における地震動特性の検討を行うために、工学院大学新宿校舎を対象とした3次元立体フレームモデルを構築し、観測地震波との比較検討を実施した¹⁾。

2011 年度は、①信頼性の高い強震動計算手法を確認するために、実際の堆積盆地地盤として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、②活断層帯における震源近傍の地震被害を調べるため、2011 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、③超高層建築における地震動特性として、2011 年東北地方太平洋沖地震による工学院大学新宿校舎の振動性状と被害の調査、および3次元立体フレームモデルによる地震応答解析を実施した²⁾。

2. 強震動予測手法に関するベンチマークテスト

著者らは、これまでに強震動予測における代表的な3手法(理論・数値・統計的手法)によるベンチマークテストを実施した³⁾⁻⁵⁾。多くの強震動計算に関わる研究者・実務者の参加のもと、同じ条件下の震源・地盤モデルで提出された結果の比較検討を実施し、震源や地盤のもモデル化や手法の制約などから、結果の差異が生じるものの、同じ設定条件下では実用上ほぼ同等の計算結果を得ることを確認している。一方、2012 年度のベンチマークテストでは関東平野の実際の地震の再現を試みており、その結果、観測された地震動と計算果に大きな差異が出る場合があることを確認した。

2011 年東北地方太平洋沖地震の際、関東平野で観測された長周期地震には、一般に明瞭な卓越周期が見られなかった。一方、伊豆方面など西方から入射する地震動では、都心部で周期約8秒のLove波が卓越しており、これまで知られている首都圏での地震動特性とは異なる結果であった。従って、堆積盆地内の地震動特性は入射する地震動の到来方向により、その特性が大きく変化する明らかになっている⁶⁾。

一方、近年では、新たに同定された浅いフィリピン海プレートの境界面における首都直下地震、南海トラフ沿いの超巨大地震など、最悪に近い条件下で、公的機関による多くの被害想定が公開されている。地震被害想定は、被害の全体の概要を知ることが目的であり、多くの可能性がある震源や計算結果から大きめの結果を出す傾向がある。このため、得られた結果は、広域な地域で全て震度6強以上となる場合などがある。従って、個別の地域での結果に詳細な検討が加えられている訳ではないことに注意すべきである。実際の地震では、地震動のランダム的な特性、微細な地盤・地形効果などによって、震度分布は大きく変動する。例えば首都圏では、1855 年安政江戸地震の震度分布では、地盤条件によって震度5や6などが分散することが知られている。

* : 工学院大学・建築学部・まちづくり学科 ,
*** : 大阪大学・大学院・工学研究科

*** : 工学院大学・建築学部・建築学科
**** : 工学院大学大学院生

以上の背景から、著者らは関東平野における首都直下地震や、南海トラフ沿いの巨大地震を対象として、より精度の高い強震動予測結果を得るため、実地震動との比較検討を含む新たなベンチマークテストを実施することとしている。手法では、長周期には理論的手法、または数値解析手法、短周期には統計的グリーン関数法などの経験的手法を用い、最終的にはハイブリッド手法により波形計算を行う予定である。

2012年度はハイブリッド手法を用いる際のいくつかの注意点をとりまとめた。特にハイブリッド手法における接続周期帯域（0.5～4秒程度）は、工学上で最も重要な帯域である。異なる手法による計算波形を接続する際、下記に示すような様々な課題が存在し、今後はさらなる検討が必要である。

・ランダム位相とコヒーレント位相の波形接続：統計的手法では一般にランダム位相を、理論的手法ではコヒーレントな位相を、それぞれ使用する。異なる位相の重ね合わせでは接続周期帯域での振幅スペクトルは落ち込んでしまう（図1）。統計的手法において低振動数でコヒーレント位相を導入するために、様々な手法が提案されているが、接続周期での振幅の落ち込みを、 ω^2 モデルのスペクトルで振幅を再調整する方法などを検討している（図1）。

3. 広帯域の地震動を考慮した工学院大学新宿校舎の地震応答性状と制震補強の検討

超高層建築として新宿西口にある工学院大学新宿校舎を例に、観測記録と整合する固有周期やモード形、減衰特性を持つ3次元立体フレームモデルを新たに構築し、効率的な制震補強案の検討を行った。

3.1 工学院大学新宿校舎の概要

図2に大学棟の立面、軸組、平面図を示す。大学棟は地上29階、地下6階建ての鉄骨造であり、東西端部にコアを持つダブルコアの超高層建築物である。また、東西端部のコアを結ぶ25.6mの大スパン梁と、階高が5mを超える16、21階にスーパーフレームが配置されているという構造的な特徴を持つ建物である。またサーボ型加速度センサーを設置し、強震観測を行っている。

図3に工学院大学新宿校舎の立体モデルのアクソメ図を示す。立体モデルは竣工図面および構造計算書をもとに作成している。地下部分は地下6階まで

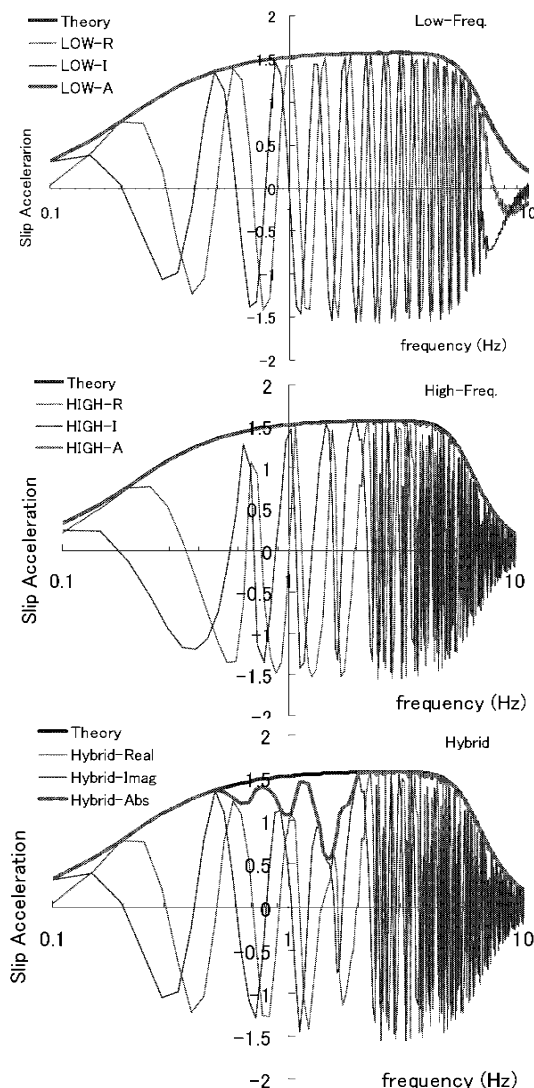


図1 2種類の異なる位相スペクトルを持つ ω^2 モデルの波形の合成による振幅スペクトル（左：0位相、中：ランダム位相、右：0.5-2 Hzで合成したハイブリッド）

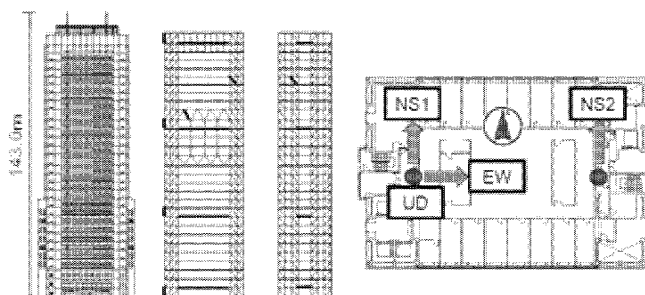


図2 左から工学院大学新宿校舎の立面図・軸組図・平面図、および加速度センサー設置場所

街区単位でRC造であり、非常に剛性の高い構造となっている。従って、本モデルでは地上階の構造部

材のみ扱い、柱脚の支持条件は固定端としている。また、非構造部材については考慮していない。建物重量は構造図および構造計算書より床（積載荷重、固定荷重）、壁及び小梁の重量を入力し構造部材は解析ソフトの自動計算により算出した。

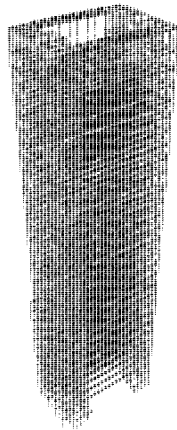


図3 立体モデル

3.2 伝達関数の適合法による振動特性の同定⁷⁾

観測記録を用いた伝達関数の適合法により、新宿校舎の固有周期、減衰定数、刺激関数の同定を行った。このために多くの観測記録を用いたが、代表例として東北地方太平洋沖地震本震及び最大の余震をとりある。表1に同定した固有周期及び減衰定数、図4に刺激関数を立体モデルの固有値解析の結果と併せて示す。固有周期は伝達関数の頂点から求めたものである。これより導いた調和地動に対する伝達関数の理論解の実部振幅 $G_k(\omega)$ (式(1)) を最小二乗法により観測記録に適合させ、最小二乗法により、j 次の減衰定数 h_j と刺激関数 $\beta_j \cdot \phi_{j,k}$ を同定している。図4に同定した刺激関数と、た立体モデルによる刺激関数の比較を示すが、両者良く一致している。

$$|G_k(\omega)| = \sqrt{G_{RR}(\omega)^2 + G_{II}(\omega)^2} \quad (1)$$

$$G_{RR}(\omega) = \sum_{j=1}^N \frac{1 + (2h_j B_j)^2 - B_j^2}{(1 - B_j^2)^2 + (2h_j B_j)^2} \cdot \beta_j \phi_{j,k}$$

$$G_{II}(\omega) = \sum_{j=1}^N \frac{-2h_j B_j^3}{(1 - B_j^2)^2 + (2h_j B_j)^2} \cdot \beta_j \phi_{j,k}$$

3.3 同定結果を用いた3次元立体フレームモデル

東北地方太平洋沖地震において、大学棟 1F で観測された波形を入力とし、立体モデルを用いた地震応答解析を行った。モデルの仮定条件を以下に示す。

- ・各階の床は剛床と仮定
- ・柱脚は固定支持と仮定
- ・弾性範囲内でパネルゾーンのせん断変形を考慮 4)
- ・減衰は東北地方太平洋沖地震において同定された結果を参考に NS1 次モード 1.5%、NS3 次モード 3.0% のレイリー減衰と仮定
- ・柱は塑性化しないと仮定

表1 同定した減衰定数と固有周期

方向	次数	減衰定数		固有周期(秒)		
		宮城本震	最大余震	宮城本震	最大余震	立体モデル
NS	1	1.87%	1.17%	3.08	3.12	3.10
	2	1.20%	1.16%	0.95	0.95	0.99
	3	3.19%	2.33%	0.47	0.48	0.50
EW	1	1.25%	1.26%	2.96	2.96	2.98
	2	2.30%	0.78%	0.99	1.00	1.03
	3	2.94%	2.39%	0.52	0.52	0.54

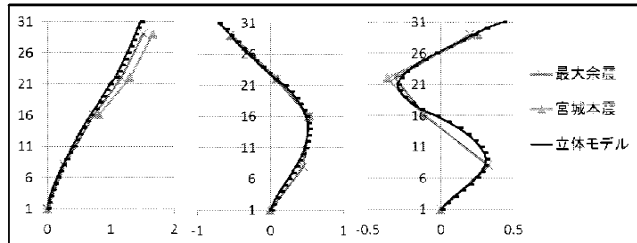


図4 刺激関数の比較 (NS1 次、NS2 次、NS3 次)

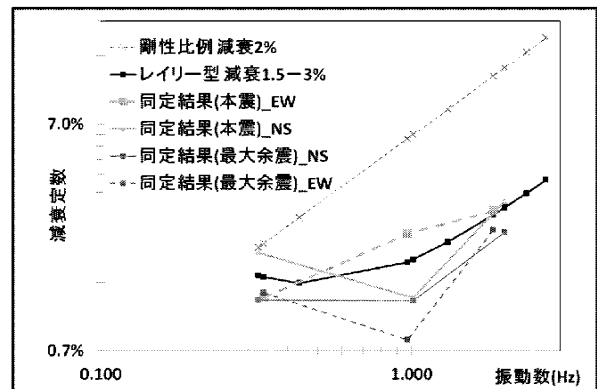


図5 減衰の比較

- ・全ての梁を合成梁として評価し、床スラブの剛性を考慮した断面二次モーメント及び正負で異なる全塑性モーメントを算出
- ・ブレースは座屈を考慮した柴田・若林モデル

図5にいくつかの地震記録から同定した減衰と、新宿校舎の設計時に仮定されている 2% の剛性比例型減衰の比較を示す。同定した減衰定数は設計上の値を下回っている。特に高次モードでは大幅に下回っていることが確認できる。

次に、解析結果と観測記録の比較を図6 (29階 NS成分の加速度と変位波形) と図7 (高さ方向の最大値) に示す。観測波形についてはハイパス (1 から 2 Hz) のフィルターをかけている。図より、位相と振幅も良く一致しているが、EW成分ではやや振幅を過小評価している。これは減衰を過大評価であることが一因と考えられる。なお、2011年東北地方

太平洋沖地震の地震動は、短周期から長周期まで広帯域な地震動が入射したため、新宿校舎は主に1次モードと2次モードが卓越したことを確認している。

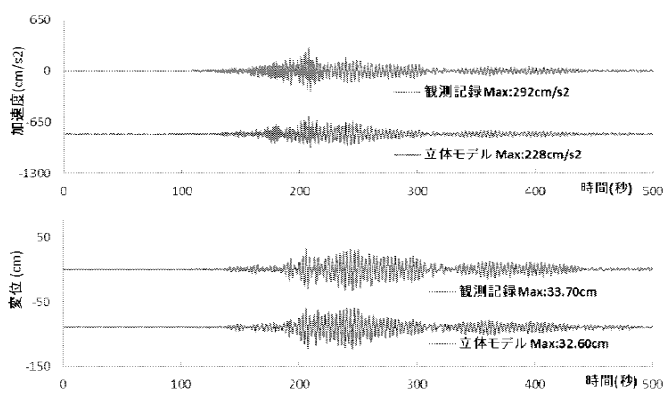


図6 解析結果と観測記録の比較(NS方向29階)

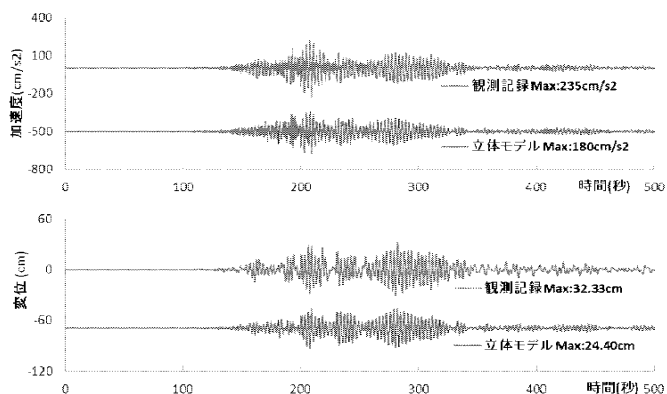


図7 解析結果と観測記録の比較(NS方向29階)

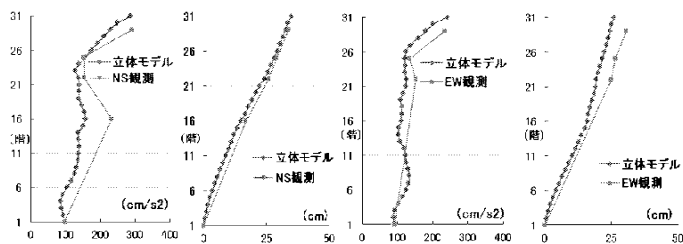


図8 解析結果と観測記録の比較(各階最大応答値)
左からNS加速度、NS変位、EW加速度、EW変位

3.4 制震補強案の検討

立体フレームモデルによる制震補強案の検討を行う。ダンパー設置位置の候補を図9に示す(日本設計提供の資料に加筆)。候補の①は、ウォールスルー空調機を撤去する必要があり、設置に難がある。②の下階、及び、③の上階については動力線、通信幹線等の影響で設置は困難である。③、④については設備配管の関係で設置不可能である。また、⑦については階高の高い16階、21階のみ設置の候補とし

た。EW方向は大スパン梁部分しか設置候補が挙がらず、ダンパー反力による梁へのモーメントを検討する必要がある。そのため、本研究ではまずはNS方向のみ検討を行った。

使用する標準的なダンパーとして、今回はKYB株式会社の制震用オイルダンパーとした。使用ダンパーの性能を表2、図10に示す。また、ダンパー設置の際、図10に示すようなブレースとダンパーの直列モデルとして組み込んだ。

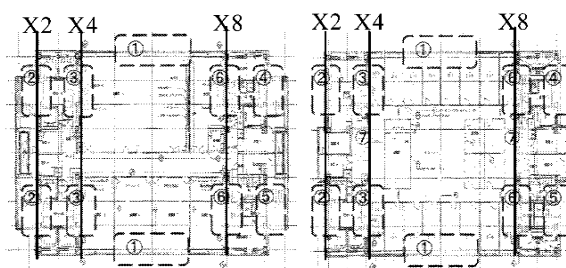


図9 ダンパー設置位置の候補(日本設計提供の資料に加筆:左:低層階 右:中・高層階)

表2 使用オイルダンパー性能

型式	BDH2000 160
最大減衰力 F_{max} (kN)	2000
リリーフ減衰力 F_r (kN)	1600
減衰係数 C_1 (kN·s/mm)	50
減衰係数 C_2 (kN·s/mm)	3.39
内部剛性 k_d (kN/mm)	540

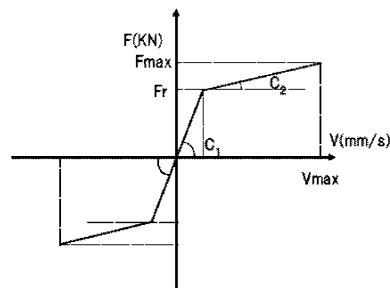


図10 使用オイルダンパーの減衰力-速度関係

はじめに、設置可能な位置である117か所にダンパーを設置し、1次モードと2次モードの正弦波を入力により、ダンパーの有無で十分な減衰効果があることを確認した。次にダンパーの数を36個として、様々な配置で1次・2次モードともに効果的なダンパーの配置を検討した。その結果、上層または下層に集中配置した場合と比べて、上・下層に分散配置の方が、効果的に制震効果があることを確認した。

3.5 地震応答解析による補強案の検討

東海・東南海連動地震、首都直下地震による地震動、及び、エルセントロ波による制震補強案の検討を行う。図1 1に4つのダンパーの設置案を示すが、ダンパーは分散配置とし、ダンパー20基使用(D20)、ダンパー28基使用(D28)、ダンパー44基使用(D44)、ダンパー60基使用(D60)の4種のモデルである。

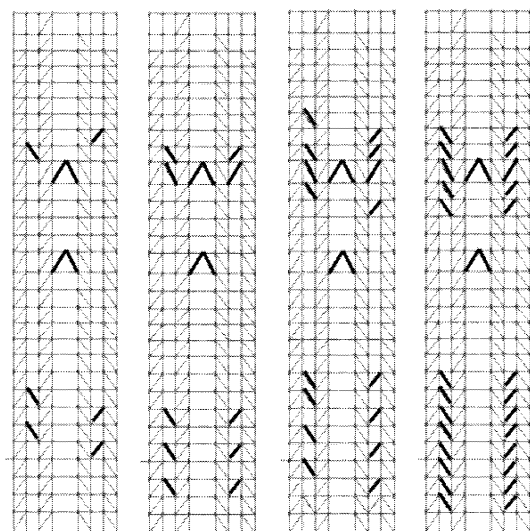


図 1 1 X8 通りにおけるダンパー配置
(左から D20、D28、D44、D60 の各モデル)

図1 2、1 3は、長周期地震動が卓越する想定東海・東南海地震を入力した場合における、29階の変位波形と、曲げを含む層間変形角である。波形にはダンパーを付与していない場合と、付与した場合を重ねて示し、さらに層間変形角には構造計算書モデルでの解析結果も併せて示している。ダンパー無しモデルと比べて変位波形では、D20 モデルでは33%、D60モデルでは41%も最大振幅が減少している。ここでは示さないが、加速度波形では、D20 モデルでは4.8%、D60モデルでは9.1%の最大振幅の減少が確認されている。一方、層間変形角では、ダンパー無しでは1/200を超えているが、ダンパーありでは、いずれのモデルでも1/200以内である。図で構造計算とあるのは、構造計算書と同じ2%の剛性比例型の減衰を用いた場合であるが、ダンパー無しであるにもかかわらず、1/200以下となっている。

同様に図1 4、1 5は、短周期地震動が卓越する首都直下地震を入力した場合における、29階の変位波形と層間変形角である。変位波形ではダンパーがない場合と比べ、D20モデルでは18%、D60モデルでは20%の最大振幅の減少が見られた。層間変形角

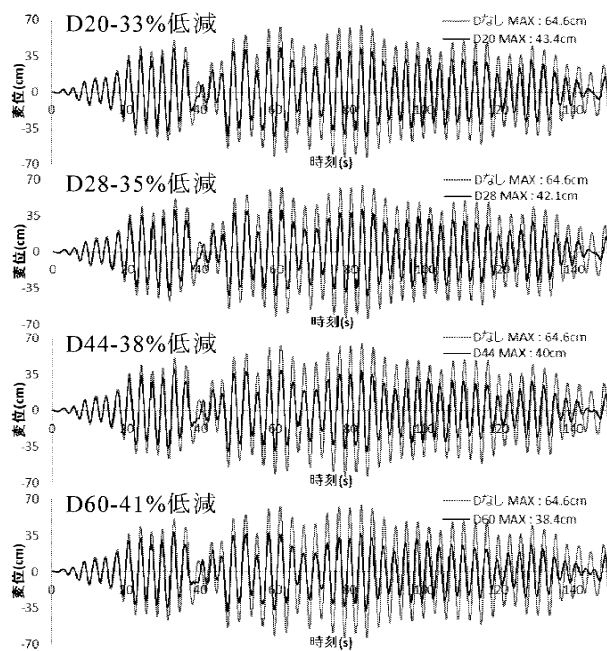


図 1 2 想定東海・東南海地震による 29F の変位波形
(上から D20、D28、D44、D60)

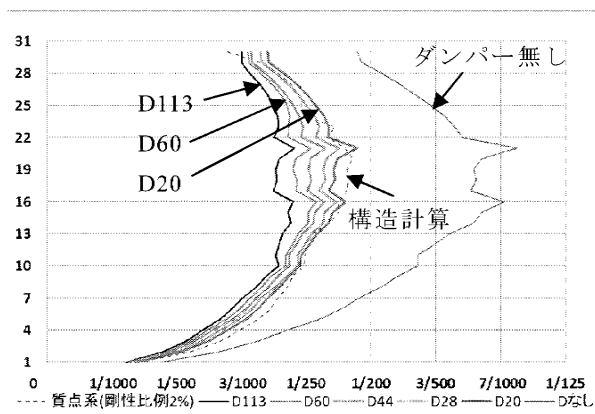


図 1 3 想定東海・東南海地震による曲げを含む層間変形角

でもダンパーが多いほど振幅が低減し、東海・東南海地震ほどではないが、その効果が確認できる。一方、加速度波形では、D20モデルで9%、D60モデルで6.2%の最大振幅が減少し、ダンパーの効果はあるものの、数が多いほど剛性が大きくなり、加速度は逆に大きくなってしまった。

図1 6に、エルセントロ波（50cm/sec 基準化）を入力した場合における層間変形角を示す。ダンパーがない場合、構造計算書モデルを用いた解析では1/100以内に収まっているが、本モデルでは21階～28階において層間変形角が1/100を越えている。この解析条件で1/100以内に収めるにはD60が必要となることが分かった。エルセントロ波に対して本モ

デルで大きな応答を示すのは、1次・2次の固有周期に相当する約3秒と1秒に、エルセントロ波は卓越するためと考えられる。

鉄骨造建物の地震応答解析では、一般に2%の剛性比例減衰が用いられるが、実際の減衰は本モデルのように高次モードでかなり小さい可能性がある。従って、応答解析では振幅を過小評価する可能性があることに注意を要する。

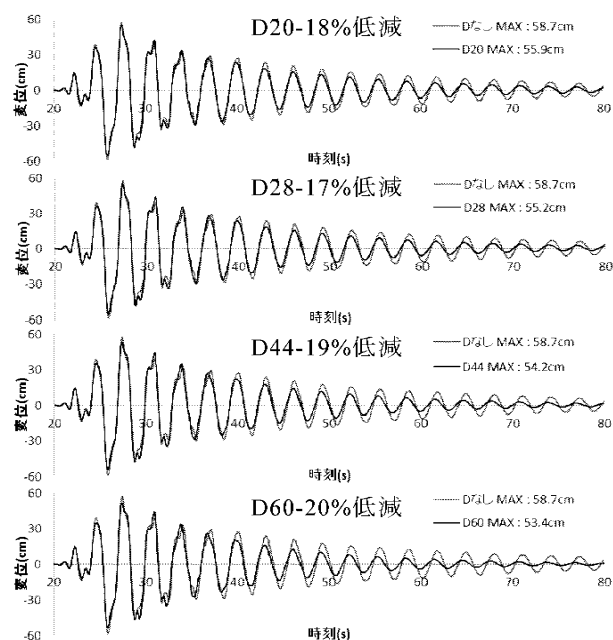


図14 首都直下地震による29Fの変位波形(上からD20、D28、D44、D60)

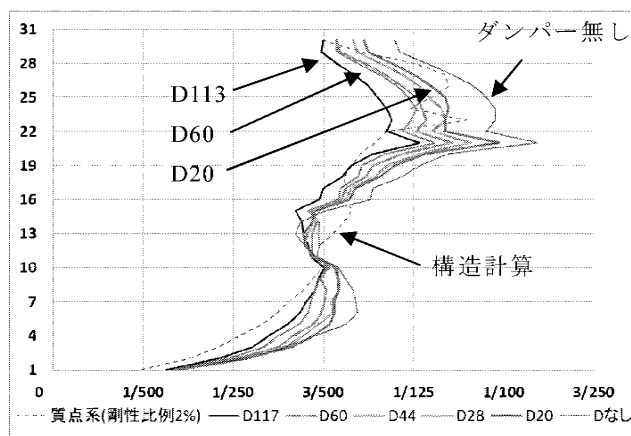


図15 首都直下地震による曲げを含む層間変形角

5. おわりに

今年度は、首都圏でのより高精度な強震動予測を行うための新たなベンチマークテストの実施、および、工学院大学新宿校舎を対象とした3次元立体フレームモデルの構築とダンパーによる制震補強案を

検討した。その結果、長周期地震動が卓越する東海・東南海連動地震、および短周期地震動が卓越する首都直下地震、いずれに対してもダンパーによる変位及び加速度の低減効果が確認できた。一方、2%の剛性比例減衰では減衰を大きく考慮している可能性があり、ダンパーを付与しないとエルセントロ波入力で最大層間変形角が1/100を超えることを確認した。

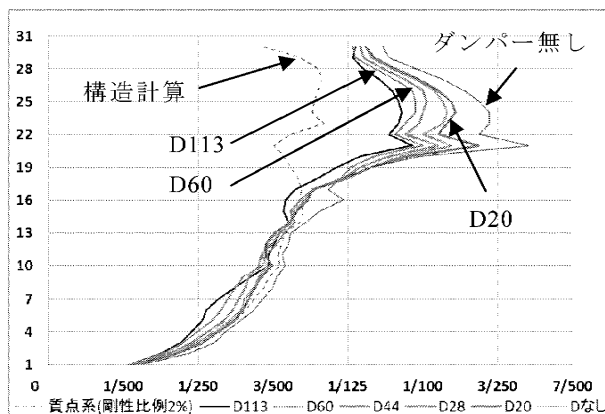


図16 エルセントロ波(50kine基準)による曲げを含む層間変形角

謝辞

本プロジェクトの一部は、文部科学省・科学研費・基礎研究Bの研究助成で行われています。東海・東南海連動地震の地震動は大成建設より提供頂きました。

参考文献

- 1) 久田嘉章ほか、都市減災研究センター (UDM) 研究報告書 (平成22年度)、pp.1-10、2011年3月
- 2) 久田嘉章ほか、都市減災研究センター (UDM) 研究報告書 (平成23年度)、pp.1-6、2012年3月
- 3) 松本俊明、久田嘉章、永野正行、野津 厚、浅野公之、宮腰 研、田邊朗仁、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3)、日本建築学会技術報告集、第41号、pp.71-76、2013年2月
- 4) 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：統計的グリーン関数法の場合(その3)、日本建築学会技術報告集、第41号、pp.37-42、2013年2月
- 5) 吉村智昭、永野正行、久田嘉章、青井 真、岩城麻子、早川 崇、Citak Seckin Ozgur、松島信一、川辺秀憲、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3)、日本建築学会技術報告集、第41号、pp.65-70、2013年2月
- 6) 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 SEIBWEB、NTT ファシリティーズ、2011年7月
- 7) 山下哲郎、久田嘉章、坂本有奈利、久保智弘、新宿区超高層街区に建つ鉄骨造超高層建築の東北地方太平洋沖地震前後の振動特性、日本地震工学会論文集、第12巻、第4号、pp.3-16、2012年9月

既存 RC 造建物のそで壁増し厚補強工法の開発研究

キーワード 既存 RC 造建物耐震補強、そで壁増し厚
鉄骨枠付き湿式パネル、鋼板型リブ付き湿式パネル

近藤龍哉* 伴 幸雄**
加藤三晴*** 山本泰稔****

1. はじめに

耐震性能が不足する既存鉄筋コンクリート造建物を「使用しながら・建物外側から補強する技術開発研究」を行っている。

耐震改修促進法では平成 27 年度末に耐震化率を 90%以上に高めることを目指している。

東京都では「緊急輸送道路沿道建物の耐震化を促進する条例 (平成 23 年 3 月 18 日)」で、私有建物を含めて、沿道建物の耐震診断の義務化と改修改修等実施努力義務を課している。くわえて、東京都が所有する建物は平成 32 年を目途に耐震化率 100%を目指している。また、都営住宅 (6,700 棟 : 262,000 戸) も東京湾北部および多摩直下地震 (いずれも M7.3) を想定して、平成 27 年度末には耐震化率 90%、平成 32 年度末には耐震化率 100%を目指している。

首都圏の各自治体でも耐震化が進められ、川口市が管理する耐火住宅 (RC 造市営住宅) や川口市が管理する市営住宅も耐震化率の向上を図っている。さらに、地方都市でも同様に耐震化が進められている。加えて、政権交代 (2012 年 12 月) に伴い耐震化工事が増える傾向がみられる。

こうした中で、学校校舎等の「使用性・公平性・使いながら補強工事する」の配慮が軽い建物では耐震改修工事が進んでいる。一方、配慮が重い集合住宅や商業建物では改修工事は極めて遅れている。

本技術開発研究は「使用性・公平性・使いながら補強工事する」、「建物の外側から工事する」工法の開発であり、自治体、構造事務所等から多くの期待が寄せられている技術である。

2. 新工法の概要

新工法は「鉄骨枠付き湿式パネル (以下では補強パネルと記す)」を既存袖壁付き柱の袖壁部に建物の外側から取り付けて、袖壁を増して、建物の耐震性能を向上させる工法である。既存部と補強パネルの

接合は補強パネル周囲の鉄骨枠を介してあと施工アンカーで行う。鉄骨枠を用いることで、あと施工アンカーの補強パネル内への定着が良好になり、定着長を大きく縮減でき、柱梁枠外に補強パネルを取り付けることを可能にした。

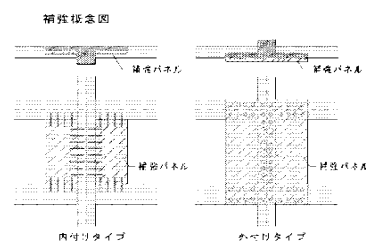
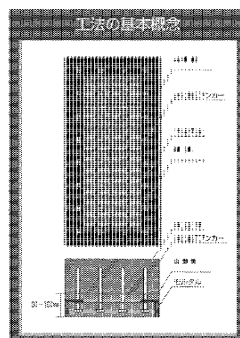
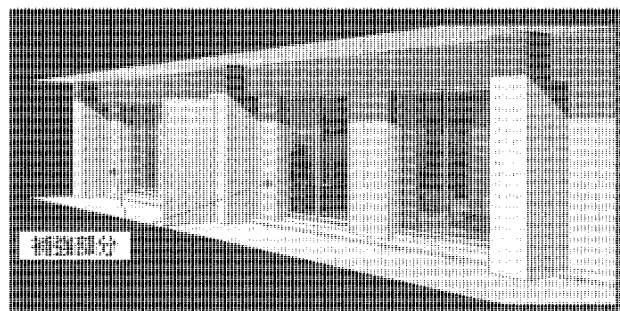


図 1 工法イメージ

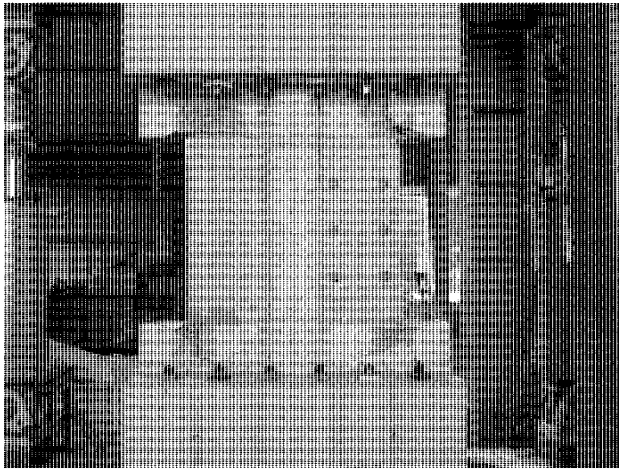
3. 2010/2011 年度の成果概要

せん断力が支配的な状態と曲げモーメントが支配的な状態とを想定して、耐力評価実験を行った。いずれも、無補強試験体と比較して強度で 1.6 倍程度以上、変形性能は $F=2.0$ 以上であった。また、初期剛性も大きく、層間変形角 $R=1/500\text{rad}$ 以下でも最大強度の 80%程度の強度発現があった。

補強試験体の終局状況は、既存袖壁および補強パネルの損傷は軽微である。水平接合部 (基礎梁・床梁) の損傷は極めて大きい (写真 1、～写真 4)。よって、終局強度は水平接合部の破壊機構に大きく依存することが分かった。接合部要素実験を行い (写

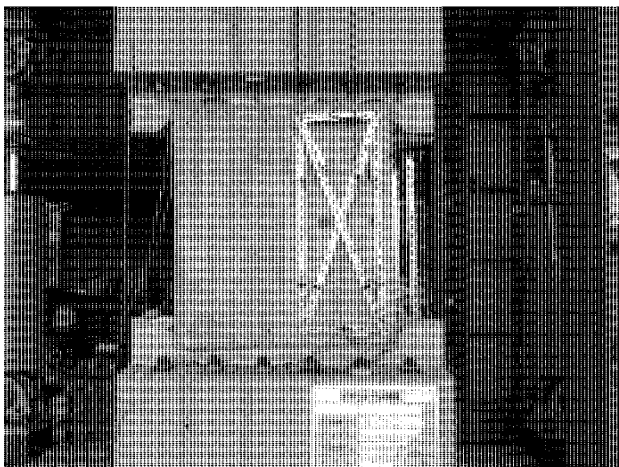
* : 工学院大学建築学部建築学科、 ** : 矢作建設工業株式会社技術研究所
*** : 株式会社ピタコラム技術部、 **** : 芝浦工業大学名誉教授

真 5)、接合部耐力計算法を策定した。耐震補強効果の詳細は参考文献 1) と参考文献 2) に記す。



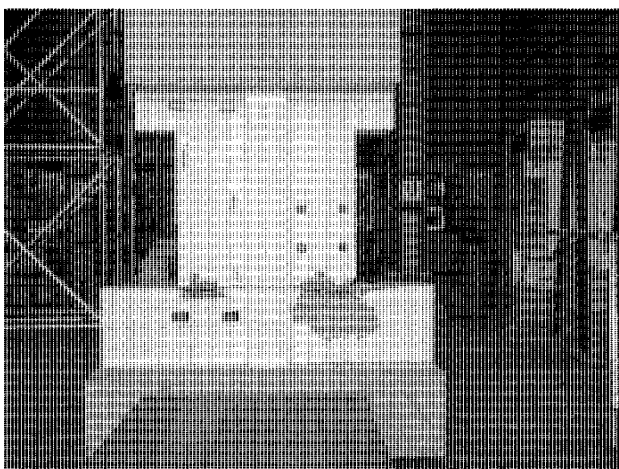
水平接合部の損傷が大きい

写真 1 補強パネルによる枠内付け補強実験結果



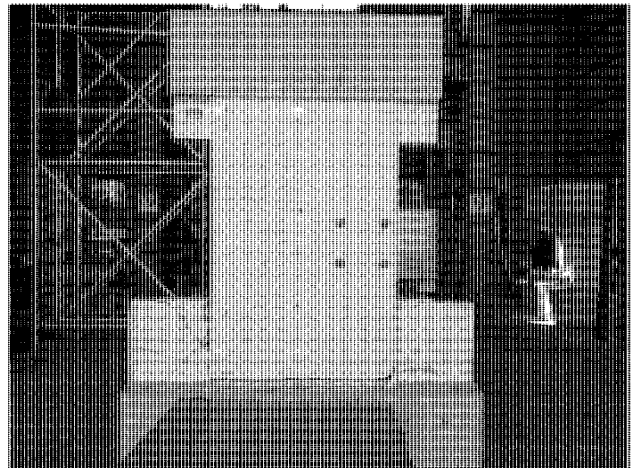
水平接合部の損傷が大きい

写真 2 補強パネルによる枠外付け補強実験結果



水平接合部の損傷が大きい

写真 3 補強パネルによる枠内付け補強実験結果



水平接合部の損傷が大きい

写真 4 補強パネルによる枠外付け補強実験結果

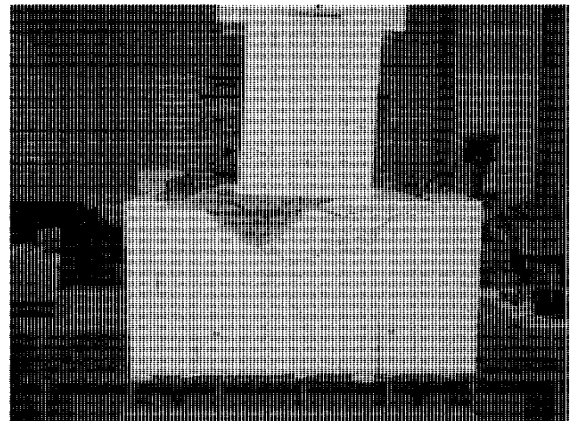


写真 5 接合部強度検証実験

4. 2012 年度の成果

新工法の設計法の策定を行った。

2009 年度・2010 年度・2011 年度の研究の結果、新工法の危険断面位置は水平接合部（基礎梁および床梁と補強パネルの接合部）であることが分かった。また、水平接合部の強度算定法も策定した。しかし、補強パネルの強度算定法を示せては無く、よって、「複数の危険箇所を想定して最も危険な箇所を特定し強度計算する（構造設計の一般的な手法）」に倣う強度算定法を策定できていなかった。

2012 年度は補強パネルのせん断耐力実験を基に補強パネルのせん断強度算定法を示した。詳細を参考文献 3) に記す。そして、新工法の補強設計法を策定した。

写真 6 から写真 9 に新工法の実施例を示す。また、表 1 に実施状況を記す。主に、集合住宅の耐震補強で、2012 年 7 月現在で 46 棟の補強が行われた。建物高さが 20 m を超えるものの補強も行われている。

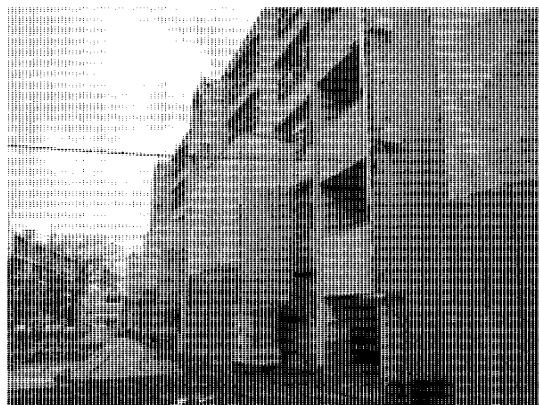


写真6 建物住まいながら外側補強工事模様

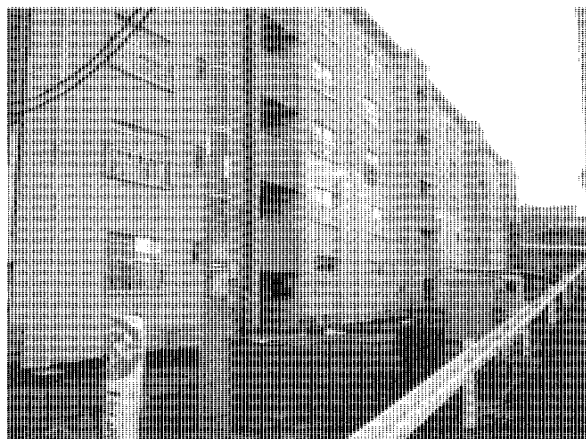


写真9 川崎市市営住宅枠外付け増し厚補強



写真7 川口市耐火住宅枠内付け増し厚補強

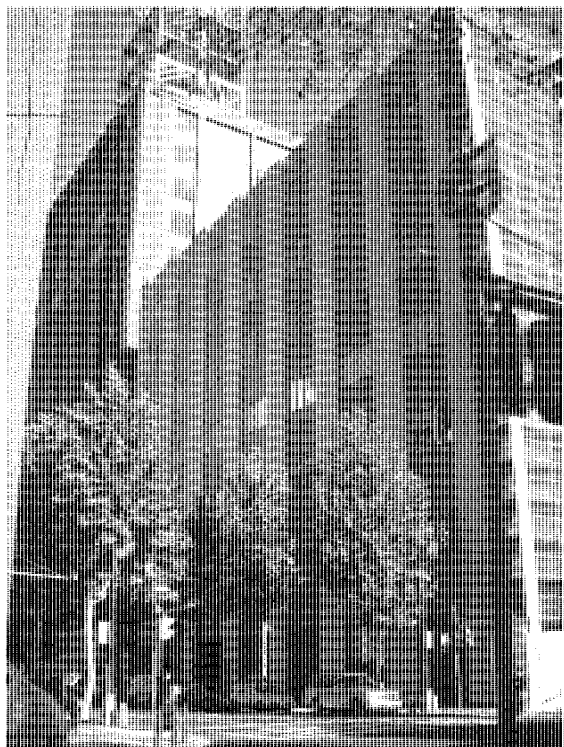


写真8 札幌 NTT ビル 20m超建物の実施例

5. 今後の課題と予定

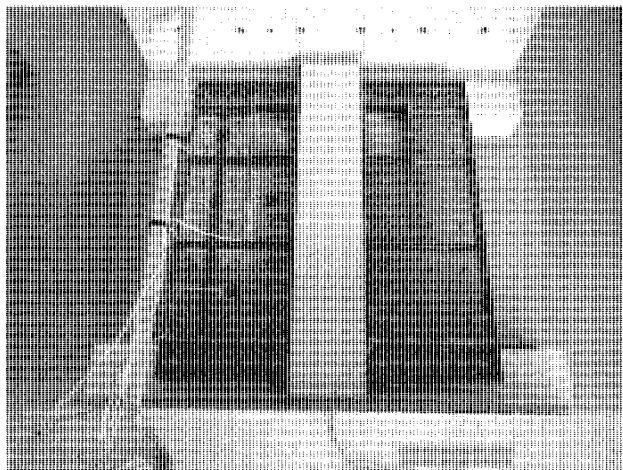
「鋼板型リブ付き湿式補強パネル」によるそで壁増し厚補強の技術開発を進めている。

一般に、内階段型（2住戸間に階段室がある）の集合住宅では南側構面に有開口（小窓・換気扇孔など）そで壁付き柱が多くあり、北側構面には無開口そで壁付き柱が多くある。一方、片廊下型（各階の建物北側に廊下がある）の集合住宅では南側構面に無開口そで壁付き柱が多くあり、北側構面には有開口そで壁付き柱が多くある。

「鉄骨枠付き湿式パネル」は鉄骨枠内に縦横筋を配して、横筋のせん断抵抗力とパネル内に生じる圧縮ストラットの抵抗力の和で耐震性能を確保する。よって、有開口そで壁付き柱では横筋のせん断抵抗機構の連続性と圧縮ストラットの反力点の確保ができず、耐震性の向上を得られない。「鉄骨枠付き湿式パネル」の利用は無開口そで壁付き柱の補強に限られ、集合住宅の片側構面の補強に寄与するに留まる。内階段型の集合住宅では北側構面に、片廊下型集合住宅では南側構面のみが補強対象に限定される。

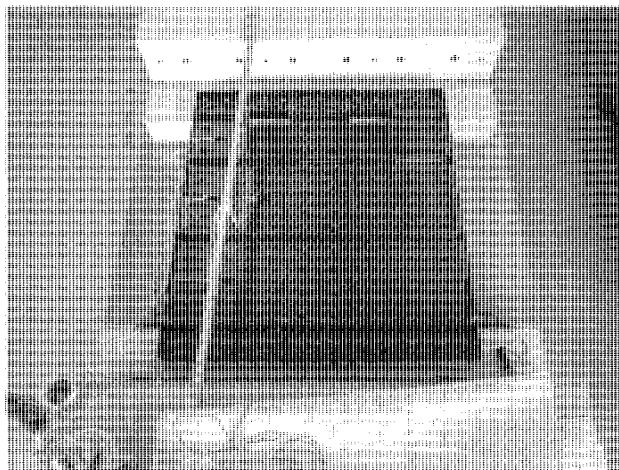
有開口そで壁付き柱の耐震補強も狙って、パネル内に引張ストラットの抵抗力が生じることが期待できる「鋼板型リブ付き湿式補強パネル」による補強工法の開発を計画している。写真9と写真10は試験体作成過程を示す。有開口そで壁付き柱に鋼板型リブ付き板をあと施工アンカーで留め付け、その後に無収縮モルタルを打設して、既存期待を「鋼板型リブ付き湿式補強パネル」で補強する。

実験は2013年2月から3月に行い、2013年度内に工法の有効性を検証する予定である。



(試験体製作過程)

写真10 有開口そで壁付き柱の枠内付け補強



(試験体製作過程)

写真11 有開口そで壁付き柱の枠外付け補強

表1 新工法による耐震化実施状況

ピタウォール実績表(平成24年7月現在)						
No	建物名称	棟数(階数)(補強面積など)	住所	竣工(予定)年月	設計事務所	評定機関
1	大通4丁目ビルBD棟(西面)	1棟(2階から7階)(388m ²)	北海道札幌市	平成24年6月	㈱NTTファシリティーズ	㈱建築構造センター
2	川口市北町耐火住宅	2棟(1階)(10箇所)	埼玉県川口市	平成24年3月	㈱森田建築事務所	(社)埼玉建築設計監理協会
3	大通4丁目ビルBD棟(南面)	1棟(1階から7階)(312m ²)	北海道札幌市	平成25年3月	㈱NTTファシリティーズ	㈱建築構造センター
4	野川西住宅1棟、2棟、3棟、4棟、5棟、8棟	6棟(258m ²)	神奈川県川崎市	平成25年2月	㈱小川建築設計事務所	川崎市耐震改修構造判定委員会
5	有馬第一住宅11号棟ほか2棟	3棟(187m ²)	神奈川県川崎市	平成25年3月	㈱水谷建築設計事務所	川崎市耐震改修構造判定委員会
6	有馬第一住宅15号棟ほか4棟	5棟(186m ²)	神奈川県川崎市	平成25年3月	㈱水谷建築設計事務所	川崎市耐震改修構造判定委員会
7	明石穂住宅6号棟ほか1棟	2棟(7箇所)	神奈川県川崎市	平成25年3月	㈱川崎設計	川崎市耐震改修構造判定委員会
8	安城市営新田住宅	4棟	愛知県安城市	評定資料作成中	浦野設計	アスコット
9	岐阜市営三田洞団地	1棟	愛知県岐阜市	評定資料作成中	山田建築設計事務所	アスコット
10	岐阜市営大洞団地	5棟	愛知県岐阜市	評定資料作成中	山田建築設計事務所	アスコット
11	川崎市南平耐火住宅	8棟	神奈川県川崎市	評定資料作成中		川崎市耐震改修構造判定委員会
12	川崎市初山住宅	3棟	神奈川県川崎市	評定資料作成中		川崎市耐震改修構造判定委員会
13	川崎市宮内住宅	3棟	神奈川県川崎市	評定資料作成中		川崎市耐震改修構造判定委員会
14	入間市霞川団地	1棟	埼玉県入間市	評定完了	K構造建築設計事務所	建築研究振興協会
	合計14件	合計46棟	6市町村		8設計事務所	5機関

参考文献

- 1) 近藤龍哉、山本泰稔、加藤三晴、伴幸雄、鈴木隆史、立川沙緒美、既存鉄筋コンクリート造そで壁付き柱の補強工法の提案と検証、日本建築学会学術講演梗概集(2010年度大会)、543ページ～550ページ、2010
- 2) 近藤龍哉、山本泰稔、加藤三晴、伴幸雄、大和征良、鈴木隆史、立川沙緒美、今岡恵理、既存建物そで壁付き柱の曲げ補強に関する実験的研究、日本建築学会学術講演梗概集(2011年度大会)、337ページ～350ページ、2011
- 3) 近藤龍哉、山本泰稔、加藤三晴、伴幸雄、今岡恵理、鉄骨枠付き湿式パネルのせん断耐力と抵抗機構に関する実験的研究、日本建築学会学術講演梗概集(2012

年度大会)、813ページ～818ページ、2012

シングル配筋ラーメン構造開発のための予備実験

シングル配筋、鉄筋コンクリート造、耐震補強、高強度

小野里憲一*

常田 裕是**

高橋 良徳**

1. はじめに

高強度のコンクリートと鉄筋が利用できるようになり、これまでは鉄骨鉄筋コンクリート造で建てられていた建物でも、現在は鉄筋コンクリート造で建てるが多くなってきた。これは鉄筋コンクリート内に鉄骨を内蔵させなくとも、それを補う性能が高強度の鉄筋やコンクリートで得られるため、鉄骨を内蔵させないことにより鉄骨の発注・製造に関わる作業が削減できるという利点があるからである。本研究は既存建物の耐震補強工法として、同様の効果を期待して高強度の材料を使用した新しい工法を開発することを目的としている。ここで提案する工法は柱と梁の主筋をシングル配筋とした厚さの薄いラーメン構造で、これを耐震性能が不足する既存鉄筋コンクリート建物に外付けすることで耐震性能を補う。高強度の材料を利用することで補強ラーメン構造を薄肉にでき、この構造で既存建物のラーメン構造を補強できれば、窓などを塞ぐようなブレースもなく、建物の風合いを損なわない補強が可能

になる。以後、この構造をシングル配筋ラーメン構造と呼ぶ。

2. シングル配筋ラーメン構造

薄肉のラーメン構造を既存建物に外付して補強する工法は既に存在するが、その工法は鉄筋コンクリート骨組みの断面内に鋼板を内蔵する構造である。しかし、高強度のコンクリートと鉄筋を利用することで鋼板を内蔵しなくても同程度の強度を確保することが期待できる。鋼板を内蔵させないことで、鋼板を発注・加工・運搬するという工程や、鋼板に空けた孔にアンカーを通すという煩雑な作業等を省くことができ、また、部材断面で最も応力が大きくなる外端部分に主鉄筋を配筋できるため、鉄骨を内蔵する工法に比較して使用する鋼材量を削減できるというメリットが期待できる。

シングル配筋ラーメン構造に使用するコンクリートは圧縮強度 60N/mm^2 級、鉄筋は SD490～SD685 級を使用することを計画している。図1に示すように鉄筋を組立て、図2のように既存躯体に外

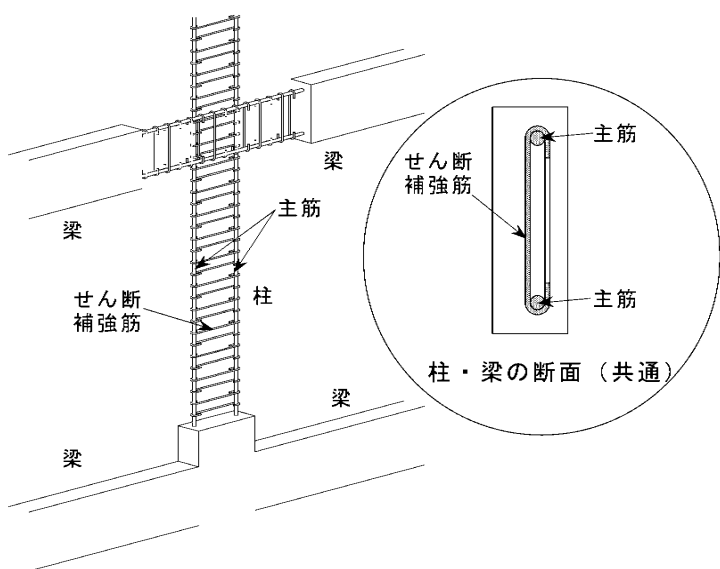


図1 シングル配筋ラーメン構造

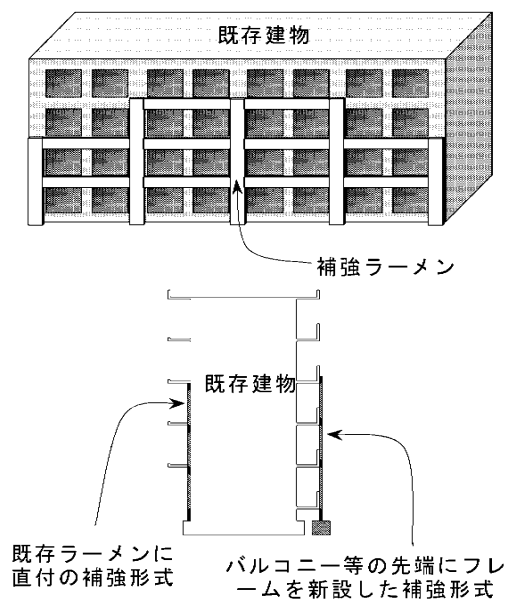


図2 既存建物の補強例

* : 工学院大学建築学部建築学科教授

** : 工学院大学大学院工学研究科建築学専攻大学院生

付けして耐震性能の不足する建物を補強する。

ただし、補強部材の断面を極端に薄くするために高強度の材料を用いた耐震補強工法はこれまでに存在しない。その理由として、高強度の鉄筋を利用してコンクリート断面を薄くすると、複層配筋に比較して接合部破壊や付着割裂破壊の可能性が高まるという問題点があげられる。そこで、配筋をシングル配筋にすることにより、複層配筋に比較して問題になると考えられる接合部破壊について実験を行い、その問題点を確認する。

3. 実験計画

実験計画は昨年度の報告書に詳細を記載しているので、ここでの記載は省略する。

4. 実験結果

実験に用いた試験体の接合部の種類を図3に示す。また、各試験体の実験結果から荷重-層間変形角を図4に、試験体と最大強度を関係を図5に示す。最大強度は L-1→L-2→L-3→L-4 の順番で徐々に高くなっていくことが分かる。なお、いずれの試験体でも負荷荷側の強度は正載荷側の強度より小さくなって

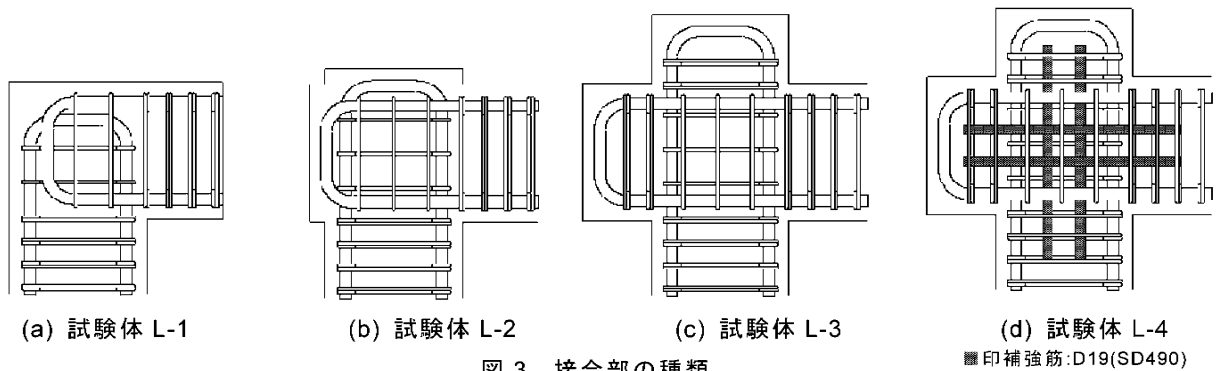


図3 接合部の種類

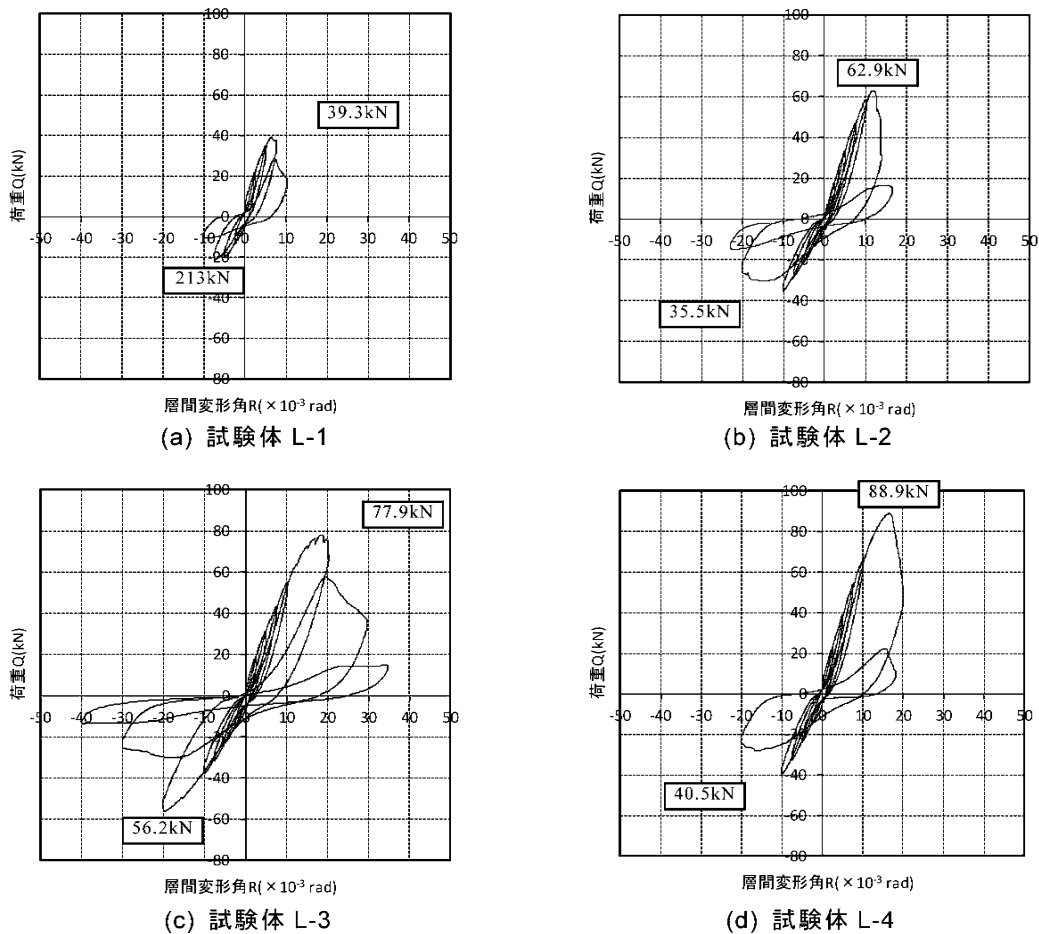


図4 荷重-層間変形角関係

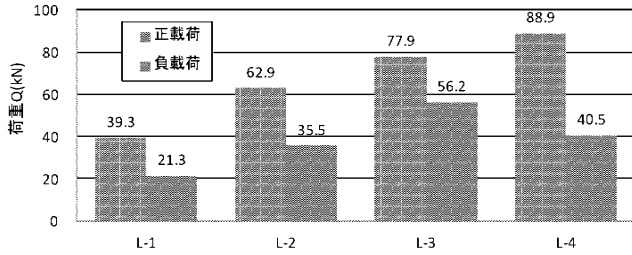


図5 最大強度の比較

おり、L-4 に関しては L-3 より負載荷側の強度が小さくなっている。これは、正載荷が常に先行して行われることによって正載荷で生じた損傷による負載荷側の強度が低下するものと考えられ、負載荷側の強度は正確には捉えられていない。

一般に接合部に配筋された補強は接合部強度にあまり影響を与えないとされているが、本実験では主筋と同程度の配筋を行っているためによるのか、強度が明確に向上することが確認できた。

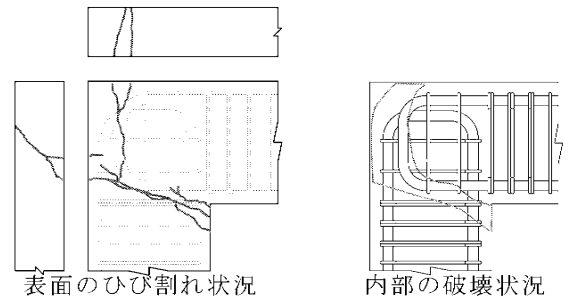
図6は最終時の破壊状況で、表面のひび割れ状況を線で、内部の破壊状況を塗りつぶして示している。破壊の観測から L-1 は主筋によるコンクリートの掻き出し破壊、L-2 接合部のせん断ひび割れを伴う主筋によるコンクリートの掻き出し破壊、L-3 は接合部のせん断破壊。L-4 は柱と梁の主筋の間に厚さ方向にコンクリートが裂かれた。

5. 考察

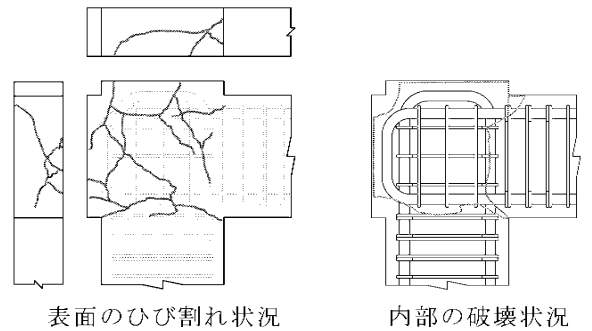
図7の(a)は○印が L4 試験体の実験値を示している。○に続く破線はコンクリート強度を高くした場合の強度の推定値でコンクリート強度 σ_B の 0.5 乗りの比で強度の増加させている。また、実線は柱梁主筋の降伏で試験体が曲げ破壊をする場合の計算値で、細い方の線は主筋に SD490 を、太い方の線は主筋に SD685 級を使用した場合を示している。今回の実験はコンクリート強度が 20.8N/mm^2 で、接合部の強度が柱梁が曲げ降伏する場合の強度を下回ったが、実際に使用することを想定しているコンクリート強度である 60N/mm^2 であれば、主筋に SD685 級の鉄筋を使用した場合でも、接合部の強度が柱梁が曲げ降伏する場合の強度を上回ると予想される。

図7の(b)は右隣りの図に示すように主筋を2段配筋の場合で図(a)と同様に描いている。主筋を2段配筋にした場合には、主筋に SD685 級を使用すると接合部破壊となることが予想される。

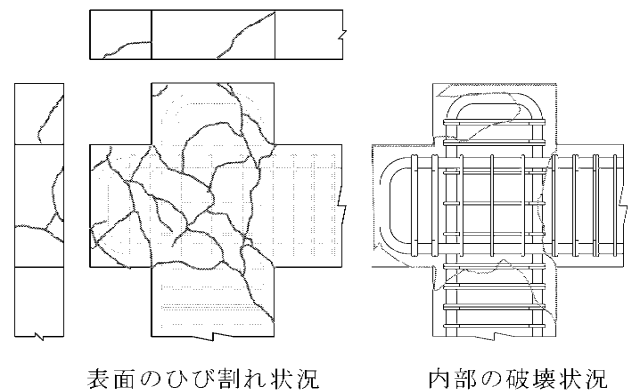
写真1(a)は今回実験を行った試験体の配筋模型で



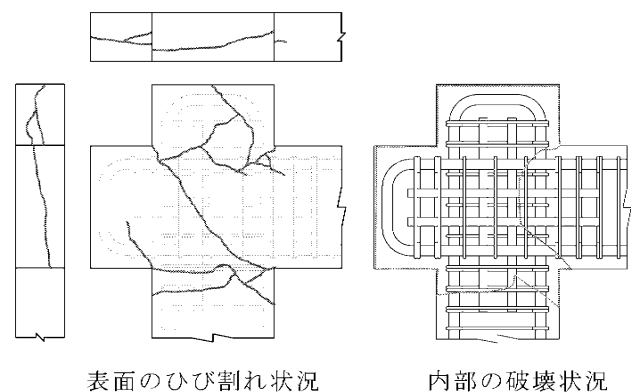
(a) 試験体 L-1



(b) 試験体 L-2



(c) 試験体 L-3



(d) 試験体 L-4

図6 試験体の破壊状況

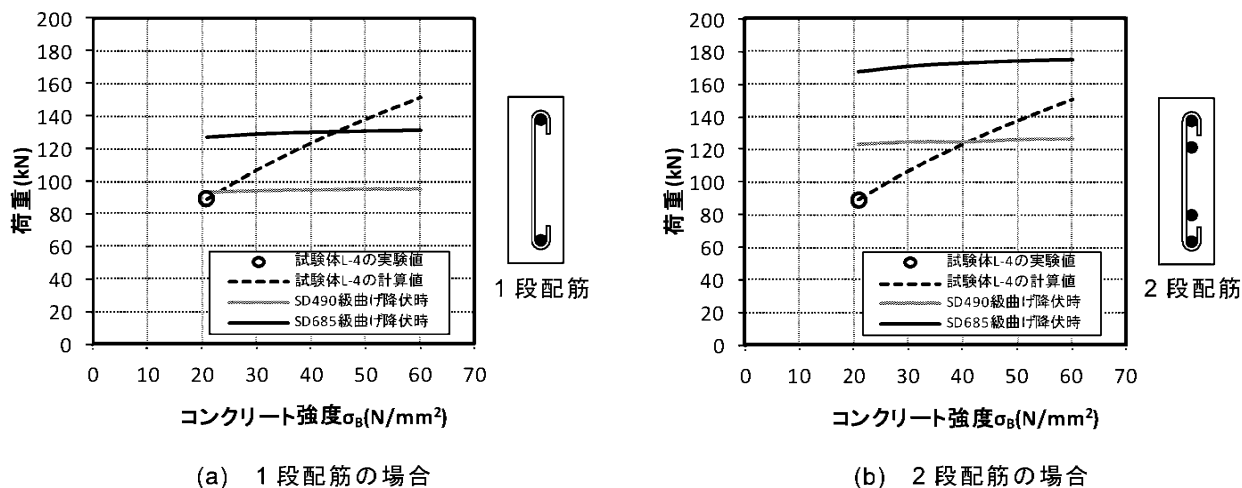


図7 推定接合部強度

ある。接合部に配筋されたせん断補強筋の1本を黒く塗りつぶしているが、そのせん断補強筋はそれに直交して配筋しているせん断補強筋とは分離している。これらのせん断補強筋はそれぞれ柱と梁の主筋に巻くように配筋し、両者を合わせるという組み立て方法が取られている。しかし、試験体L-4の破壊を見るとこの柱主筋と梁主筋の間でコンクリートが裂かれるように破壊した。そこで、写真1(b)のように、両者に巻かれたせん断補強筋が互いに絡み合うように配筋すれば、そのような破壊の防止効果が期待できると予想される。なお、写真1(b)のような配筋の組立が可能かどうか検討したところ、組立加工であることを確認した。

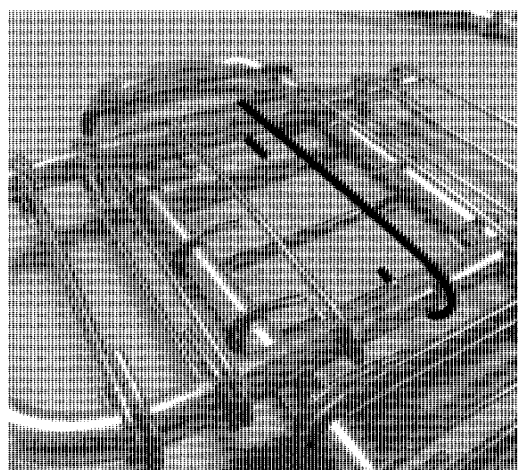
6. まとめ

シングル配筋ラーメン構造の開発のための予備実験として最も接合部強度の低いL形接合部の実験を行った。実験により以下の結果を得た。

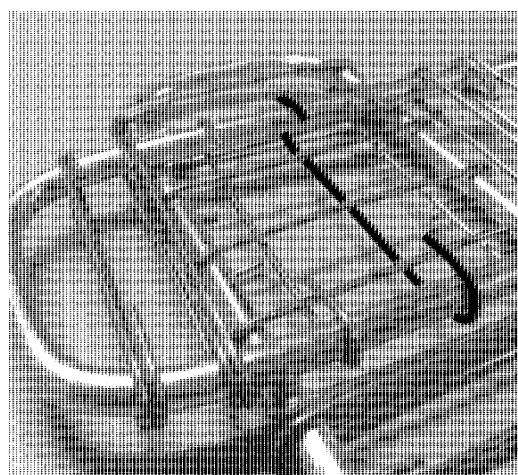
- 1) 接合部強度は主筋の定着長さを長くするほど高くなる。
- 2) 接合部に配筋された補強筋は、接合部のせん断強度を高めることができる。
- 3) 1 段配筋であれば主筋に SD685 級を使用してもコンクリート強度を 60N/mm^2 にすれば接合部破壊を防止できると予想される。
- 4) 接合部内のせん断補強筋の配筋方法を改良するにより接合部破壊を防止する効果が得られる可能性がある。

参考文献

- 1) 日本建築学会：鉄筋コンクリート造建物の靱性保証型耐震設計指針・同解説、p. 275、1999



(a) 今回の配筋



(b) 改良した配筋

写真1 接合部のせん断補強筋の配筋

置屋根型鉄骨空間構造の支承部の繰り返しせん断加力実験

置屋根 支承部 アンカーボルト 東日本大震災
 ベースモルタル スライド支承

山下哲郎¹⁾
 吉田和正³⁾

竹内良太²⁾
 林拓馬³⁾

白鳥和希²⁾

1. はじめに

2011年3月の東日本大震災においては、RC造下部構造の上に鉄骨造の屋根が載る、いわゆる置屋根の体育館において、鉄骨屋根版とRC造躯体を接合する支承部の被害(図1)が多発した¹⁾²⁾。

置屋根の支承部は一般的な露出柱脚と類似の形式であり、躯体に埋め込まれたアンカーボルトを介して鉄骨屋根版と躯体を接合する。主な被害は

- ・アンカーボルトの破断、抜け出し
- ・ベースモルタルの破壊
- ・RC造躯体におけるアンカーボルト側方破壊

である。今回は、置屋根型の鉄骨空間構造に用いられるスライド支承とピン支承に一定の鉛直軸力と、水平方向に繰り返し漸増振幅強制変位荷重を与え、アンカーボルトとベースモルタルの被害を再現してその挙動を観察する。RC部分のアンカーボルト側方破壊についてはすでに研究が行われている³⁾⁴⁾ため、今回のRC部分には十分な配筋と端あきを確保し、側方破壊を防止する。

2. 実験計画

2. 1. 実験装置

図2,3に実験装置の全容を示す。ピン支承および置屋根で多用されるスライド支承の実験を行う。アンカーボルトを埋め込んだ鉄筋コンクリートのボックスをPC鋼棒で固定してその上に支承部を再現し、試験体上方にスライダーを用いて設置した鉛直加力用ジャッキで鉛直荷重を与えつつ、水平加力用ジャッキで繰り返し漸増振幅強制変位を加える。鉛直荷重用ジャッキと試験体の間には球座を設置し、試験体の傾斜に対応する。

2. 2. 試験体

図4に支承部試験体の詳細を示す。試験体は7体で、ピン支承が4体、スライド支承が3体である。表1に各試験体の特徴を示す。パラメーターは加力芯からRC天端までの偏心距離 e 、ベースモルタル厚さ、鉛直荷重の大きさの3種類である。

アンカーボルトは転造ねじ ABR400 規格(軸部鋼材 SNR400)の M22 を使用する。表2に機械的性質

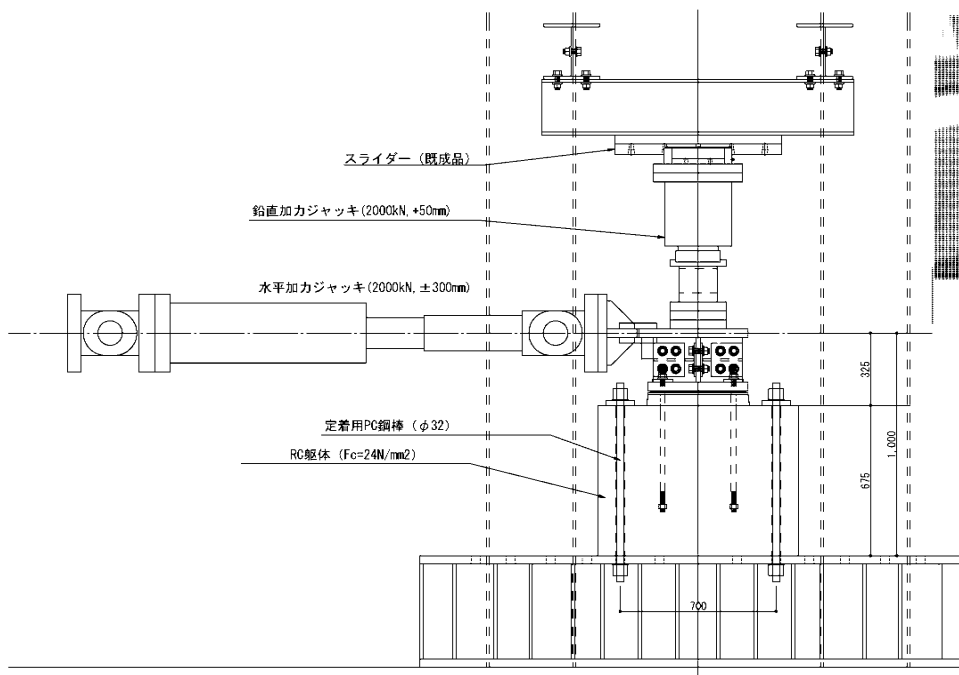


図2 セットアップ

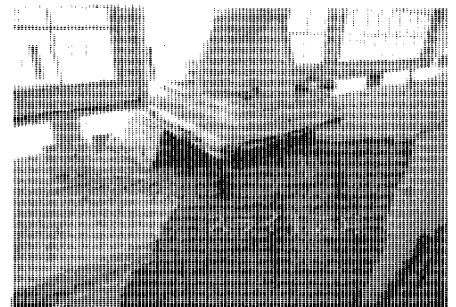


図1 被害を受けた置屋根支承部¹⁾

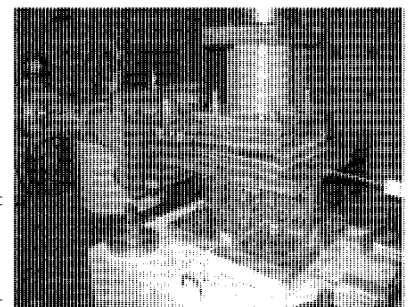


図3 試験体セット状況

1)建築学部建築学科准教授 2)大学院建築学専攻 3)工学部建築学科 (いずれも2013年2月28日現在)

を示す。鉄筋コンクリート部への有効埋め込み深さは設計施工指針⁵⁾に定められた最低長さの440mm(径の20倍)であり、先端に抜け出し防止ナットおよび板厚12mm x 70mm角の定着板を使用する。ベースプレートの穴径はアンカーボルト呼び径+5mmの27mmで、スライド支承のルーズホール長さは穴芯位置で±50mm(計100mm)、幅27mmである。スライド支承ではルーズホールの抑えにワッシャープレート(SS400, PL-12-70x70)を使用する。試験体セット後、アンカーボルトのナットにトルクレンチで70Nmのトルクを導入する⁵⁾。

アンカーボルト以外で曲げ降伏や大きな弾性変形を生じないように、ベースプレート厚さは40mm、偏心曲げを受ける十字プレート厚さは32mmとし、十分な強度と剛性を確保する。

ベースモルタルには早強タイプの無収縮モルタルを圧入する。鉄筋コンクリート部は側方破壊しないよう十分な端あき距離と帯筋を配置した。表3にはコンクリートとモルタルの材料強度を示す。

表2 アンカーボルト鋼材

規格	SNR400B
降伏強度	N/mm ² 303
引張強度	N/mm ² 431
伸び	32
YR	0.70

表3 コンクリート、モルタル強度

	材齢	圧縮強度	割裂強度
	日	N/mm ²	N/mm ²
コンクリート	21	31.0	3.1
モルタル	17	54.2	3.4

なおスライド支承では、ベースプレートとモルタルの間にテフロンのスライディングパッドを圧着した板厚9mmのプレートを敷き、テフロンシートと接触するベースプレート裏面には2.3mm厚のステンレスシートを断続溶接した。スライディングパッドの摩擦係数は公称値で0.06である。

2. 3. 鉛直加力について

最初に所定の固定荷重(100または200kN)を鉛直加力用ジャッキで載荷して油圧をロックし、その後水平加力を実施した。スライド支承のS-325では鉛直荷重の変動は小さかったが、回転量の大きいピン支承とS-658では変動が大きい。なお、ピン支承で偏心の大きいP-658,708試験体については、回転量が球座の許容範囲を越えることが予想されたため、鉛直加力を省略した。

表1 試験体

試験体	形式	アンカーボルト	偏心距離	ベースモルタル厚	鉛直荷重	アンカーせん断耐力	曲げ耐力
			<i>e</i> mm	mm	<i>N</i> kN	<i>P_{ys}</i> kN	<i>P_{jb}</i> kN
S-325-50-100	スライド	4-M22	325	50	100	176	297
S-325-50-200	スライド		325	50	200	176	361
S-658-50-100	スライド		658	50	100	106	147
P-325-50-100	ピン		325	50	100	176	297
P-375-100-100	ピン		375	100	100	164	258
P-658-50-0	ピン		658	50	0	106	115
P-708-100-0	ピン		708	100	0	98	107

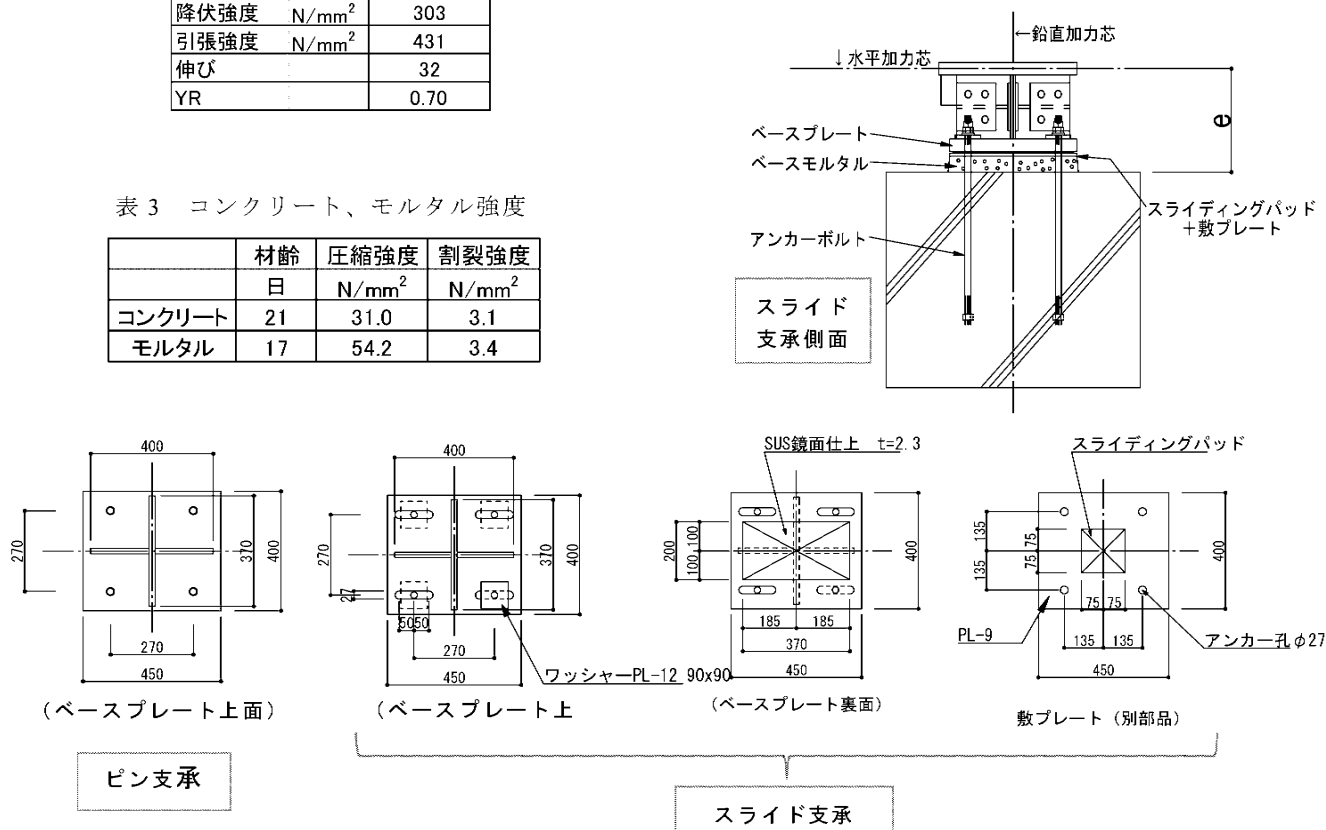


図4 試験体詳細

2. 4. 耐力の算定

構造設計では4本のアンカーボルトのせん断耐力を合計し、支承部の耐力とする。加力芯より RC 天端までを偏心距離 e (図4) とし、4本のアンカーが等しくベースプレートの孔縁に接触すると仮定する。

支承部に作用する水平力がせん断耐力 P_{ys} に達するとき、引張側アンカーボルト1本に作用する引張力 N_t は式(1)で表される。

$$N_t = \frac{1}{2} \cdot \frac{P_{ys} e}{j} \quad (1)$$

アンカーボルト単体の降伏条件は式(2)を用いる⁹⁾。

$$\left(\frac{N_t}{N_y} \right)^2 + \left(\frac{Q_t}{Q_y} \right)^2 = 1, \quad \left(\begin{array}{l} N_y = \sigma_y \cdot A_b \\ Q_y = \sigma_y / \sqrt{3} \cdot A_b \end{array} \right) \quad (2)$$

Q_t は引張とせん断を受ける際の降伏時せん断力、 N_y 、 Q_y はそれぞれ降伏軸力、降伏せん断力で、 σ_y は降伏強度、 A_b はアンカーボルト軸部断面積である。圧縮側アンカーボルトのせん断耐力を Q_y とすると、 $P_{ys} = 2(Q_t + Q_y)$ 及び式(1)(2)を用いて P_{ys} の算定式を得る。

$$P_{ys} = \frac{4Q_y}{1 + \frac{e^2}{3j^2}} \quad (3)$$

曲げ耐力 P_{yb} は式(4)で算定する⁶⁾。

$$P_{yb} = \frac{M_u}{e}, \quad M_u = T_u d_t + \frac{(N + T_u) D}{2} \left(1 - \frac{N + T_u}{N_u} \right) \quad (4)$$

ここで、 T_u : 引張側アンカーの耐力、 d_t : ベースプレート図心から引張側アンカー図心までの距離、 N : 鉛直荷重、 N_u : ベースモルタルの圧縮耐力 $= 0.85F_c BD$ 、 D : ベースプレートのせい、である。表1に算定値を示す。全モデルで P_{ys} の方が低い。

3. 支承部の破壊挙動

3. 1. スライド支承の挙動

スライド支承3体の荷重とベースプレートの水平変位の関係を図5、荷重と支承回転角の関係を図6に示す。図中の点線は表1の P_{ys} である。

1) S-325-50-100 および S-325-50-200 について

変位がルーズホール長さ以下の領域では、設計意図通りルーズホール方向に支承がスライドした。しかしながら初期スライド時の計測荷重は概ね 40kN 付近であり、スライディングパッドの摩擦係数から期待される 6kN (S-325-50-100)、12kN (S-325-50-200) を大幅に上回った。これは、アンカーボルトの締め付けによりベースプレート上面とワッシャープレート間に生じた摩擦によるものと推定される。実際、

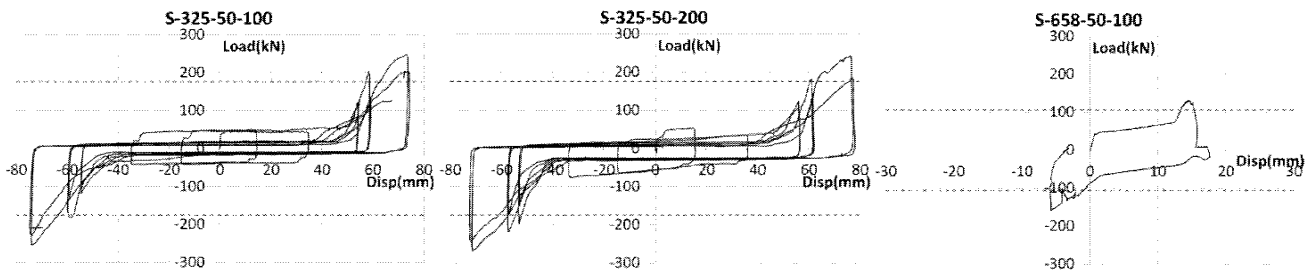


図5 スライド支承の荷重とベースプレート変位の関係

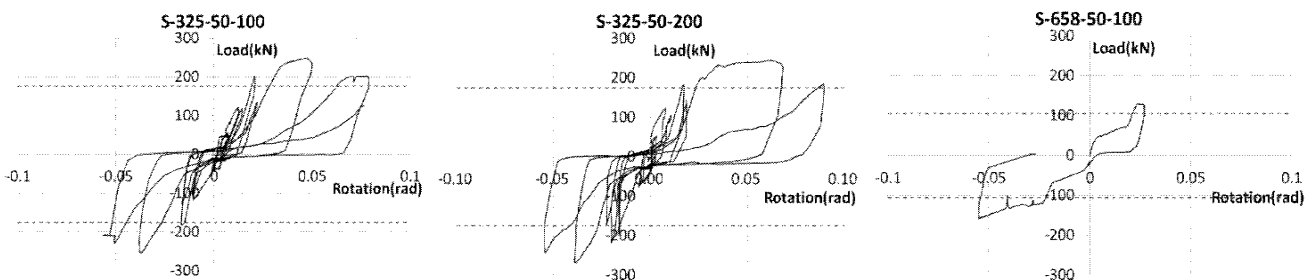


図6 スライド支承の荷重と支承回転角の関係

アンカーボルトに塑性伸びが生じると荷重は前述の想定値付近まで大幅に低下した。

ルーズホール端に接触した後、アンカーボルトはせん断と曲げによる塑性変形を生じ、若干の抜け出しを生じた。±75mm の振幅で、球座の変形角がほぼ限界に達したため加力を中止した。

モルタルは、アンカーが穴縁に接触するまでは無損傷であったが、接触後アンカーボルトの位置で側面に引張によるひび割れが生じた後 (図7)、アンカーボルトから外側のモルタルがアンカーボルトの変形により押し出され、かつベースプレートの回転により徐々に圧壊し、最終的には東日本大震災の被害例¹⁾と同様に粉々になった (図8)。しかしながら試験終了後ベースプレートを取り除いて観察すると、アンカーボルトより内側のモルタルは健全で、鉛直荷重支持能力の喪失は無いように見受けられる。

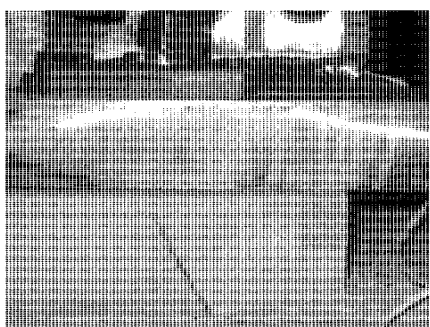


図7 モルタル側部のひび割れ

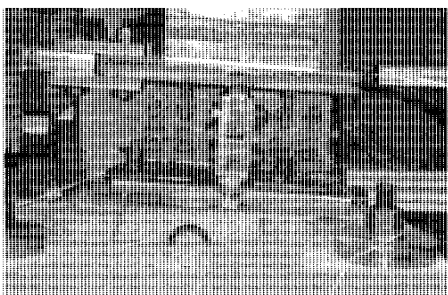


図8 外側モルタルの圧壊

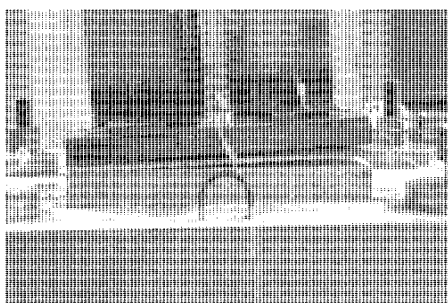


図9 スライド支承の引っ掛かり

2) S-658-50-100 について

最初の±15mm 振幅の加力の途中、スライド部が引っ掛かり傾斜が生じた。正負反転の際に引っ掛かった部分がすべりを生じ、荷重変形曲線に凸部が生じた (図5)。その後負加力の途中でスライド部に再度引っ掛かりが生じ、逆方向への傾斜が生じる中で鉛直加力ジャッキより油漏れが生じ、加力を停止した。負加力時の引っ掛かりは、最初引張側アンカーのワッシャープレートとベースプレート上面の摩擦に始まり、ベースプレートが動かなくなると支承が傾斜し、スライディングパッド接触部が離間して浮き上がる (図9)、というプロセスをたどる。

3. 2. ピン支承の挙動

ピン支承4体の荷重とベースプレートの水平変位の関係を図10、荷重と支承回転角の関係を図11に示す。偏心距離により耐力が大幅に異なり、曲げの

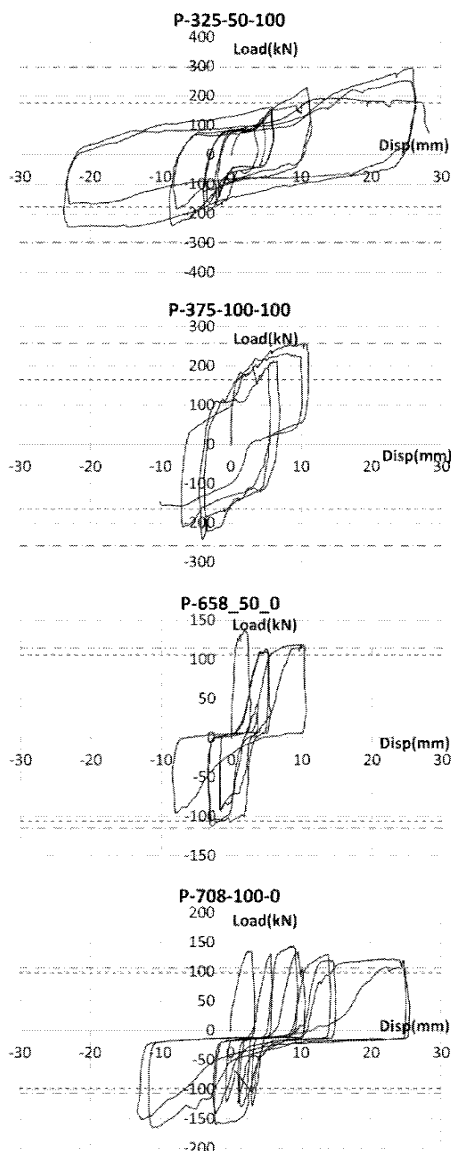


図10 ピン支承の荷重とベースプレート変位の関係

影響が大きいことがわかる。最大耐力は式(4)の P_{yb} (一点鎖線)、最大耐力後の平坦部は式(3)の P_{ys} (破線) がほぼ一致する。

試験体の回転角が大きく、鉛直荷重を加えた P-325 試験体はいずれも球座の変形角が限界に達して加力を中止した。P-658-50-0, P-708-100-0 試験体では予想通り最終的に 0.2rad に及ぶ非常に大きな回転が生じ、引張側アンカーボルトの大きな伸びを生じたが、破断は生じなかった (図 12)。また最初 (正加力) に引張側になるアンカーボルトに伸びが集中し、特に回転角に偏りが生じた。

ベースモルタルの破壊は、スライド支承のルーズホール接触後と同様に、アンカーボルトの外側で引張による亀裂が生じた後、その亀裂が拡大してアンカーボルトから外側のモルタルがアンカーボルトの変形により押し出され、かつベースプレートの回転より徐々に圧壊した。しかしながらモルタルの厚さと偏心により破壊性状には差が生じ、モルタル厚が薄く、偏心が小さいほどせん断が卓越し、モルタルの損傷が顕著である (図 13)

4 まとめ

東日本大震災で多くの被害が生じた鉄骨空間構造の支承部を再現し、繰り返しせん断加力実験を実施して耐力特性と破壊挙動を調べた。その結果

- 1) モルタルとアンカーボルトの破壊状況は地震被害報告と類似しており、ほぼ被害を再現できた。
- 2) せん断耐力は設計に用いる耐力式で概ね近似できる。しかしながら、設計耐力に達する時点でモルタルにはすでに顕著な損傷が生じる。
- 3) 偏心距離が 325mm の試験体ではスライド機構が機能したが、658mm では途中で引っ掛かり、その後ピンと同様の状態となった。
- 4) ピン支承では回転角が大きく特に偏心の大きな試験体では顕著である。回転角が大きな試験体に一定軸力を加力することは現状では困難であり、加力治具や制御方法の改良が必要である。

謝辞

鉄筋コンクリート試験体の設計に関して、工学院大学名誉教授廣澤雅也博士、同教授小野里憲一博士より貴重な助言を頂いた。実験には高軸力加力装置架台を使用した。以上ここに記して深謝を表す。

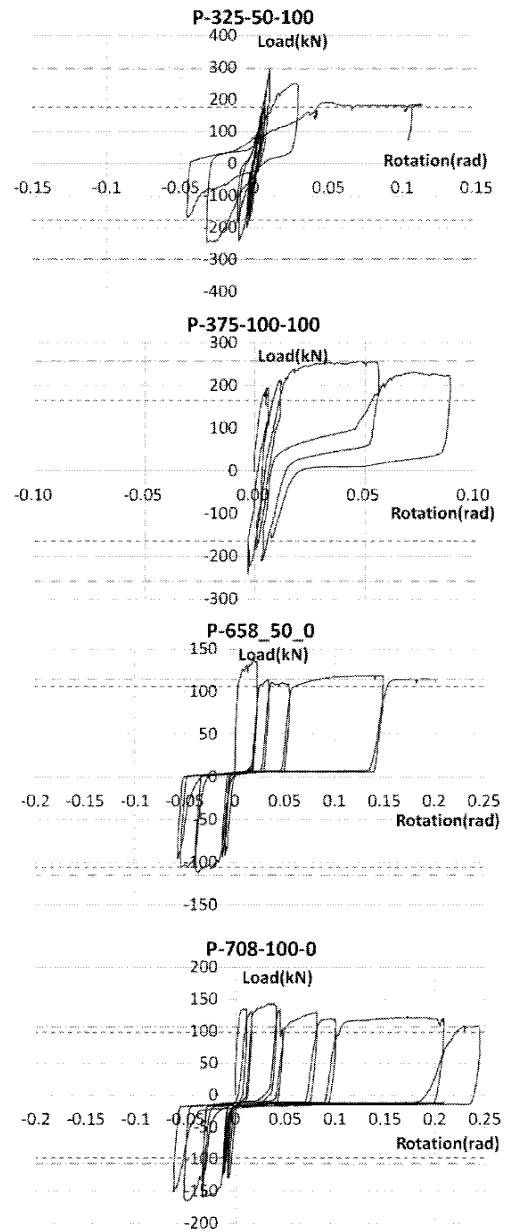


図 11 ピン支承の荷重と支承回転角の関係

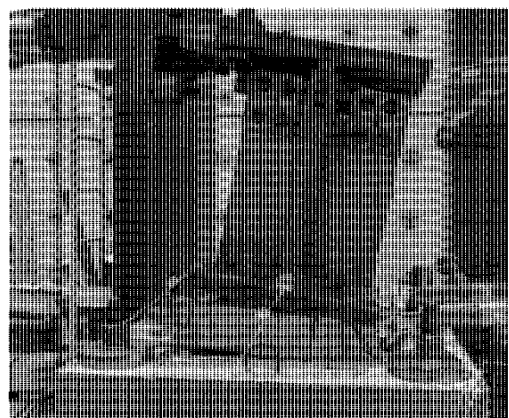


図 12 支承の回転とアンカーの伸び

参考文献

- 1) 建築研究振興協会ほか：東日本大震災における鉄骨置屋根構造の被害調査報告、2012
- 2) 竹内徹：学校体育館の被災状況と被災後改修の実例、大空間施設の耐震性能を考える—東日本大震災を経験して—、2012年度建築学会大会 PD資料、pp.40-59、2012/9
- 3) 浅田勇人，吉敷祥一，山田哲：鉄骨造露出型柱脚における鉄筋コンクリート基礎・アンカー系の側方破壊挙動、日本建築学会構造系論文集 第75巻 第654号，pp.1517-1525，2010/8
- 4) 浅田勇人，吉敷祥一，山田哲：鉄筋コンクリート基礎立上部に設置した引張ブレース付露出型柱脚のせん断抵抗能力、日本建築学会構造系論文集 第76巻 第665号，1347-1356，2011/7
- 5) 日本鋼構造協会：建築構造用アンカーボルトを用いた露出柱脚設計施工指針・同解説、2009/10
- 6) 日本建築学会：鋼構造接合部設計指針、2006

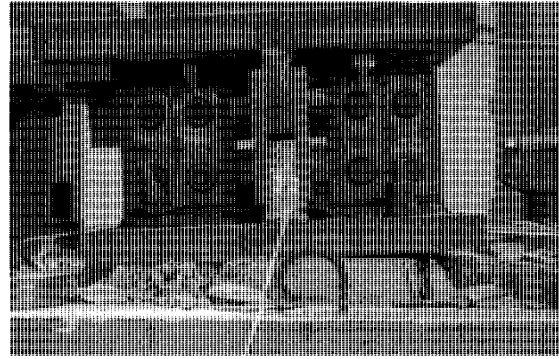


図13 ピン支承のモルタル圧壊

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*1 神田剛史*2 進藤貴行*3

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と耐力壁を併用した構造物の地震時挙動に関する振動実験結果について述べる。

2. 平成23年度までの研究内容

平成23年度には、木質ラーメンフレーム2種類の静的加力試験及び偏心が大きい併用構造に対する振動実験を行った。

2.1 木質ラーメンフレームの静的加力試験

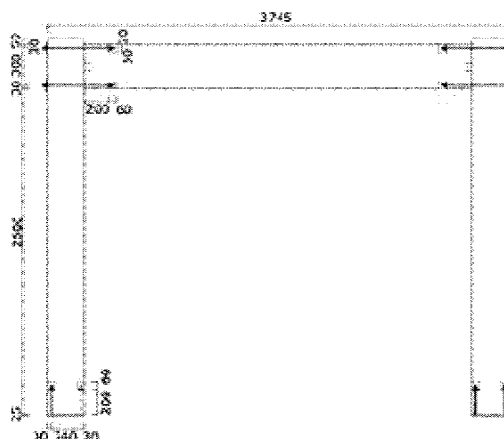
(1) 目的

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) 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)

1) 低剛性高靱性タイプ



2) 高剛性低靱性タイプ

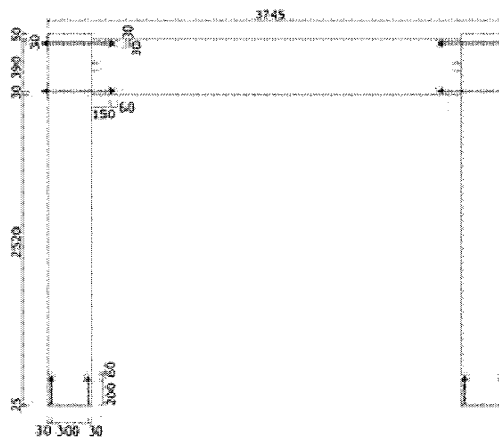


図1 門型フレームの各試験体概要図

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。

(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。

*1: 工学院大学建築学部建築学科, *2: 工学院大学建築学部研究生, *3: 工学院大学工学部建築学科学部生

(4) 加力スケジュール

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

(5) 試験結果

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。

表1に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 $0.2Pu\sqrt{2\mu-1}$ 、最大耐力 P_{max} の2/3、特定変形時耐力 $P(1/150)$)を示す。

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。

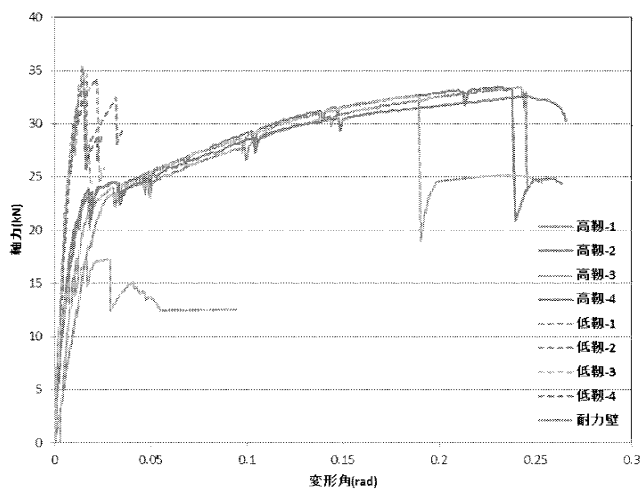


図2 実験結果－包絡線一覧

表1 各試験体の特性値

	2/3Pmax kN	$0.2Pu/\sqrt{2\mu-1}$ kN	P_y kN	$P(1/150)$ kN	$P(1/200)$ 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

	2/3Pmax kN	$0.2Pu/\sqrt{2\mu-1}$ kN	P_y kN	$P(1/150)$ kN	短期許容耐力 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

2.2 併用構造の振動台実験

(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。

(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 25kN 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体の試験体と同様、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。

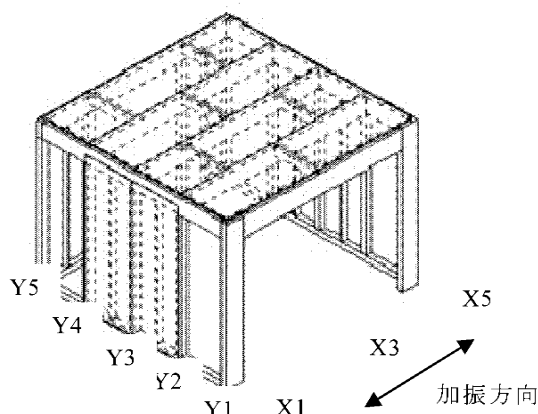


図3 箱形試験体概要図

(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) 入力地震波

入力地震動には、日本建築センターによる人工地震波 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

(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。

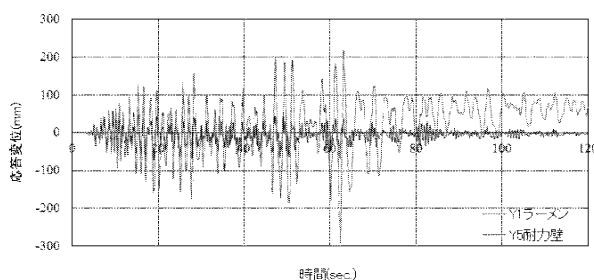
(6) 試験結果

低剛性高靱性タイプの集成材フレームを用いた場合、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。

高剛性低靱性タイプの集成材フレームを用いた場合には、BCJ-L1 加振では、集成材フレーム X1 通の梁座彫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。

図 4 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。図 2 の静的加力試験からも予測できるように、集成材フレームと耐力壁は初期剛性では大きな違いがないが、変形が進むにつれて耐力差が大きくなり、耐力壁側の変形の増大が著しくなる。

1) 低剛性高靱性タイプ BCJ-L2



2) 高剛性低靱性タイプ BCJ-L2

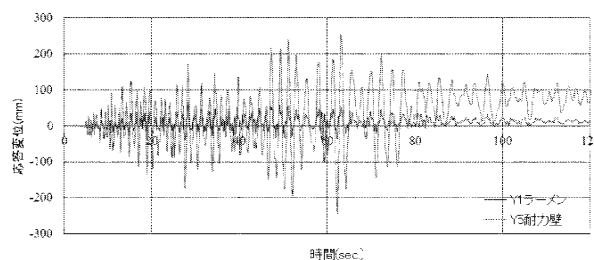


図 4 各試験体の応答変位時刻歴

3. 併用構造の振動台実験 (偏心が小さい場合)

3.1 試験目的

平成 23 年度の振動実験では、耐力壁の耐力が木質フレームに比して小さく、大地震動に対して耐力壁側の変形が大きいねじれ振動を生じた。平成 24 年度は、耐力壁の耐力を高め、耐力偏心が小さな構造として振動実験を行い、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。

3.2 試験体

箱形試験体は、ほぼ平成 23 年度の試験体と同様であるが、木質耐力壁構造部分の構造用合板 (厚さ 24(mm)) に対する釘打ちを N50 釘@100(mm)とした。

木質ラーメン部分は平成 23 年度の試験体と同様、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。

3.3 加振方法、測定方法

加振方法、入力地震波、測定方法は平成 23 年度と同様である。

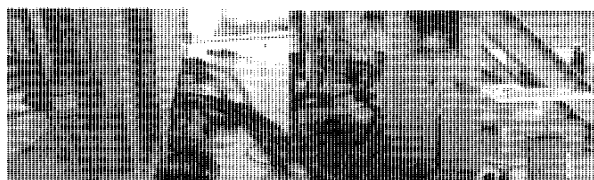
3.4 試験結果

(1) 破壊性状

集成材フレームが低剛性高靱性タイプの場合、BCJ-L1 加振後では、わずかに構造用合板の釘が浮いた。BCJ-L2 加振後では、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。

集成材フレームが高剛性低靱性タイプの場合、

BCJ-L1 加振後では、構造用合板の釘がわずかに浮いた。BCJ-L2 加振後では、集成材フレーム X1 通の座彫り部分の割裂破壊が進み、X5 通柱脚の割裂破壊が生じた。構造用合板の釘が完全に引き抜け、せん断破壊が生じた。



①Y5 通並行耐力壁 ②X5 通右柱脚

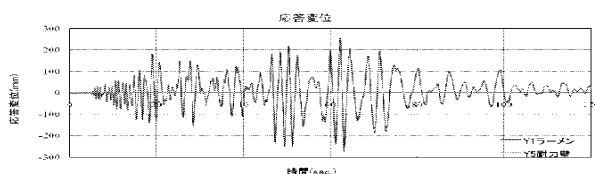
図 5 高剛性低靱性タイプの破壊状況 (BCJ-L2)

(2) 応答変位

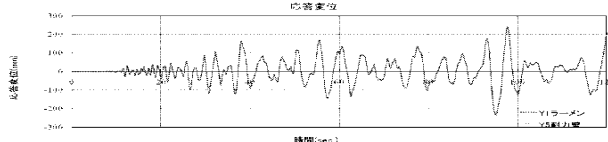
図 6 に BCJ-L2 加振時の集成材フレーム架構と耐力壁架構の応答変位を比較した。

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る。

BCJ-L2 においては、低剛性高靱性タイプでは 40 秒付近まではラーメンの応答変位が耐力壁を上回り、以降はほぼ同じ波形を示した。また高剛性低靱性タイプでは 20 秒付近まで耐力壁が変位で上回る以外は、ほぼ同じ波形を示した。



(1) 低剛性高靱性タイプ



(2) 高剛性低靱性タイプ

図 6 各試験体の BCJ-L2 に対する応答変位

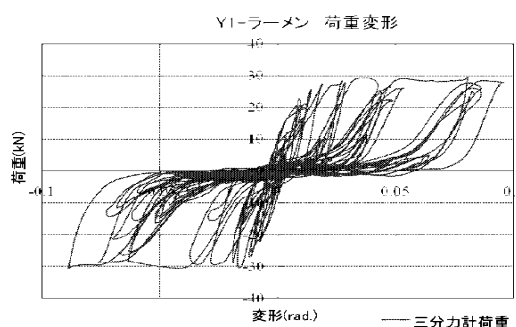
(3) 荷重変形関係

図 7 に各試験体の BCJ-L2 加振時の集成材フレームの荷重変形角関係を示す。変形角は Y1 通り (ラーメン) の層間変形から求めている。また荷重は Y3 通りの応答加速度(CH5、CH7)の平均値に試験体重

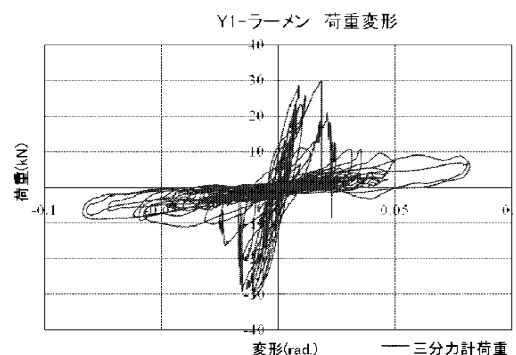
量(=115.0[kN])を乗じて求めた。

低剛性高靱性タイプの集成材フレームは、変形角 1/10rad. 近くまで耐力を維持しており、耐力壁と双方で地震荷重を負担して並進振動に近い振動を生じていることが分かる。

一方、高剛性低靱性タイプの集成材フレームは 1/50rad. 程度で耐力低下を示すが、10kN 程度の残存耐力を有すること、水平構面と直交壁によりねじれ振動が抑制されることから、それ以後も大きなねじれ変形は発生せず、並進振動を示したと考えられる。



(1) 低剛性高靱性タイプ



(2) 高剛性低靱性タイプ

図 7 集成材フレームの荷重変形関係 (BCJ-L2)

4. まとめ

集成材フレームと耐力壁を併用した構造物について、平成 23 年度は耐力偏心の大きい場合、平成 24 年度は耐力偏心の小さい場合の振動実験を行った。

これらの実験結果を基に、数値解析との照合、構造要素の配置が変わった場合の応答予測、簡易な応答予測法の妥当性の検討を行ない、集成材フレームの耐震補強設計法を提案することが、今後の課題である。

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 松岡将吾*4

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. 平成23年度の研究内容

2.1 解析モデル

解析で使用される3次元モデルの全体像を図1に示す。解析プログラムは"Wallstat"¹⁾(建築研究所中川貴文作成)を用いた。建物の長さは加振方向とするY方向に7.28m、X方向に10.92m スパンで、3.64m 間隔に柱を設け、長さ0.91mの耐力壁をY方向に8枚、X方向に12枚設置した。

鉛直構面の履歴モデルは2008年震動台実験²⁾試験体A棟の建物全体の荷重変形関係をトレースし、基準法に定める2種地盤における極めて稀な地震動に対して、単純な平面で柱脚固定時に8枚の耐力壁で約1/15radの変形角となる耐力を標準と定めた。

質量は2010年度震動台実験³⁾試験体No.4を参考に1階上半分15184kg、1階下半分11209kgと仮定している。

柱脚の条件としては、柱脚を固定した場合と柱脚の滑りを許容する場合、柱脚の浮き上がりのみを許容する場合の3ケースについて解析を行った。柱脚

の滑りを許容する場合については、柱脚と地面の接地面の摩擦係数 μ を0.3、0.4、0.5とし、浮き上がりも許容している。

鉛直構面の剛性耐力の配置を変化させて表1に示す8つの解析ケースとした。均等に配置されたケース2を標準とし、Y方向にある壁2枚の強さを変えることで各ケースのモデルとする。同様に床の剛性を標準、0.5倍、2.0倍の3パターンをそれぞれモデル化した。水平構面については、スギ板30mm×190mm、脳天釘打ちの試験結果⁴⁾を標準床としてモデル化し、その0.5倍、2倍も解析に含めた。

なお、解析における構面の粘性減衰定数は、瞬間剛性比例で2%としている。

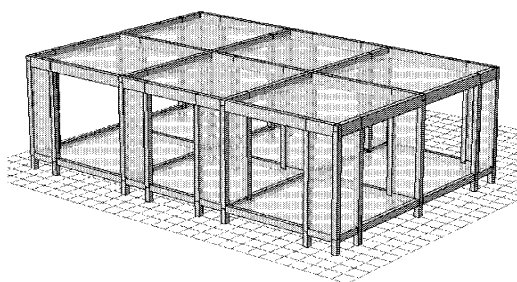


図1 解析モデル全体像

表1 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)

2.2 入力地震動

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波について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。これを短辺方向に入力する。

*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: 工学院大学大学院工学研究科建築学専攻修士課程, *4: 工学院大学工学部建築学科学部生

2.3 解析結果

各ケースの最大応答変位(7波の平均)を図2に、各ケースの最大滑り量を図3に示す。全体的な傾向として上部構造の最大応答変位は柱脚の滑りを許容する場合、摩擦係数 0.3、0.4 程度であると、柱脚固定の場合よりも小さい値となり、浮き上がりのみ許容する場合では他の場合よりも大きい値となった。

床のせん断剛性が高くなるほど床のせん断変形が小さくなる傾向が見られ、床の剛性が0.5倍だと一階床による一体化が不十分だと思われる。

柱脚の滑り量については、摩擦係数0.3と0.4では滑り量に大幅な差がみられ、剛性に偏りのあるケース6~8の滑り量は地震波7波の平均で100mmを超える結果となった。

Y方向の最大応答変位からみた上部構造の変形状態の例として、ケース5について図4に示す。柱脚固定の場合と柱脚移動の場合の変形を比べると、上部構造の最大の変位は摩擦係数が0.3、0.4であると柱脚固定の場合よりも小さく、摩擦係数0.5であると柱脚固定よりも大きい値となっていることが図4より読み取れる。

各通りの最大応答時の変位からみた変形図を柱脚固定、ケース1について図5に、床の剛性が標準の場合を左側に、0.5倍の場合を右側に示す。

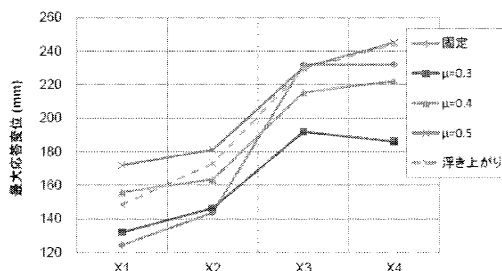


図4 最大応答変位から見たY方向の変形状態

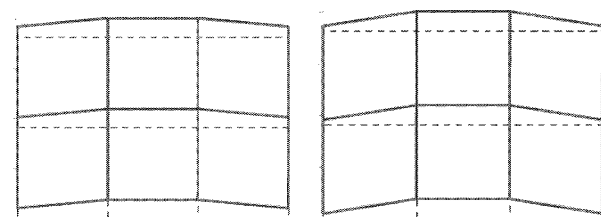


図5 ケース1変形図(左:標準床、右:床0.5倍)

3. 平成24年度の研究内容

3.1 解析モデル

解析モデルは平成23年度とほぼ同様であるが、Y方向の鉛直構面の間隔を変化させた。なお、解析の安定のため、1階床と2階床に梁を追加している。

Y方向の構面の間隔は、X1-X2、X2-X3、X3-X4の順に、モデル1(図6a)は3.64m、5.46m、1.82m、モデル2(図6b)は3.64m、2.73m、4.55m、モデル3(図6c)は2.73m、4.55m、2.73mである。

鉛直構面の剛性耐力の配置は、表2に示す4つの解析ケースとし、それぞれの壁が均等なケース1を標準とし、Y方向にある壁2枚の強さを各通りで変化させた。表3に各モデル、各ケースの偏心率の計算結果を示す。

柱脚の仕様も平成23年度と同様で、柱脚を固定(ピン接合)する場合、柱脚の滑りを許容する場合、そして柱脚の浮き上がる場合のみを考慮する場合の3パターンについて考える。さらに柱脚の滑りを許容するパターンについては摩擦係数 μ を0.3、0.4、0.5の3パターンを考え、それぞれ軸力変動を考慮する場合と考慮しない場合を加える。合計8パターンについて解析を行う。

3.2 入力地震動

入力地震動は、平成23年度と同じものを用いる。すなわち、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波について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、

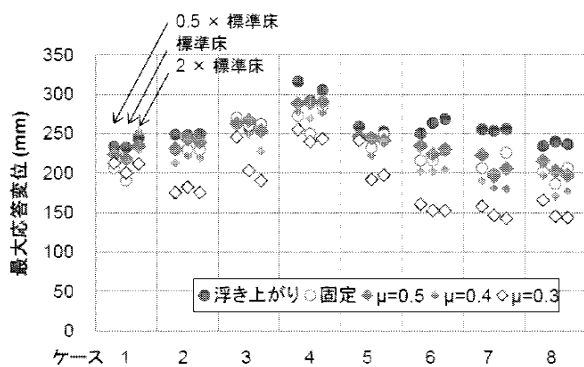


図2 各ケースの最大応答変位(地震波7波の平均)

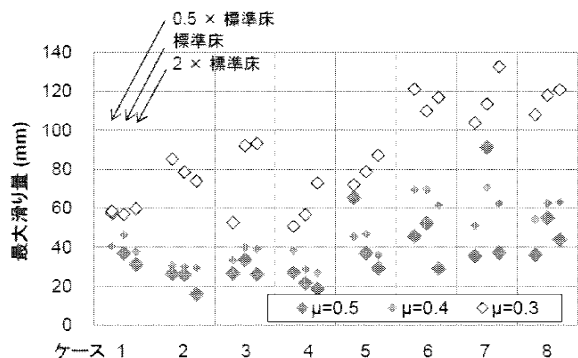


図3 各ケースの最大滑り量(地震波7波の平均)

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 を乗じる。これを短辺方向に入力する。図 7 に時刻歴波形を示す。

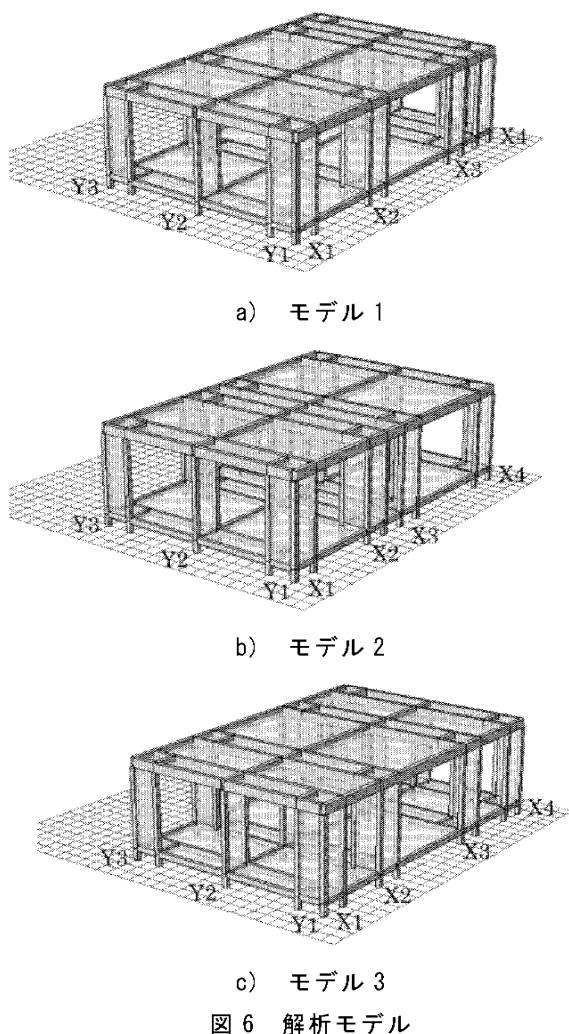


表 2 解析ケース一覧

	X1通り	X2通り	X3通り	X4通り	
ケース1	2	2	2	2	どの通りも等しい
ケース2	3	1	1	3	外壁が強い一般型
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

表 3 偏心率

	ケース1	ケース2	ケース3	ケース4
モデル1	0.080322	0.037088	0.101577	0.29821
モデル2	0.042145	0.018929	0.203573	0.38099
モデル3	0	0	0.184366	0.389104

3.3 解析結果の概要

図 8 に上部構造最大応答変位の地震波 7 波の平均を、図 9 にその 7 波の最大値を、柱脚の条件および解析ケースごとに示す。図中の 0.3、0.4、0.5 は軸力

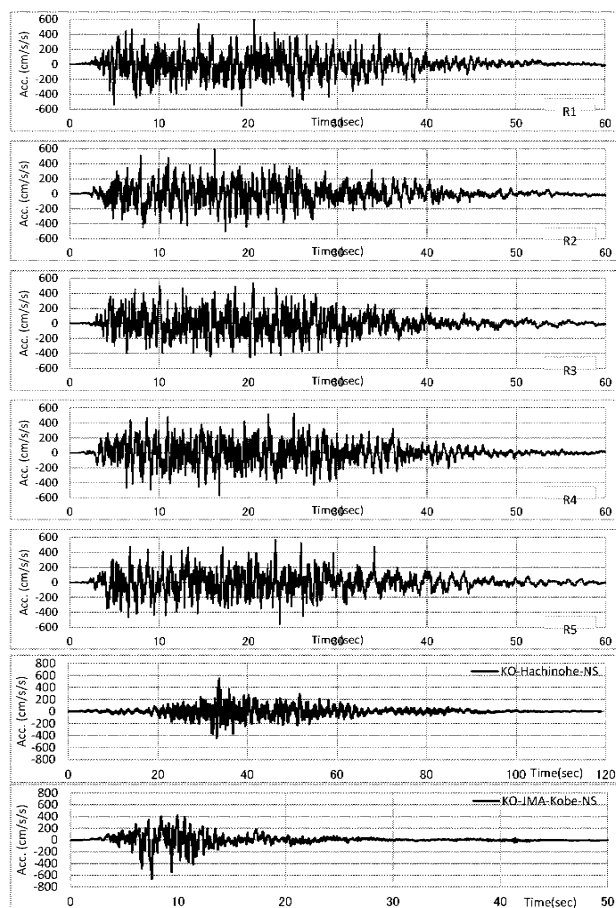


図 7 入力地震動の時刻歴波形

を考慮する場合、 $n_{0.3}$ 、 $n_{0.4}$ 、 $n_{0.5}$ は軸力を考慮しない場合で、それぞれ摩擦係数 $\mu=0.3$ 、 0.4 、 0.5 の場合を表す。

また、表 4 に地震波 7 波を入力して出てきた最大応答変位の 7 波の平均を、表 5 に各地震波 7 波に対する最大応答変位のうちの最も大きなものを示す。

また、表 6 に柱脚の様子が摩擦係数 0.3 (軸力考慮有) のパターンの柱脚の滑り量について、地震波 7 波を平均化したもの、表 7 に 7 波のうち最も最大滑り量が大きいものを取り出して示す。

これらの結果を概観すると摩擦係数が 0.3、0.4、0.5 と上がっていくにつれて平均・最大ともに変位が大きくなっている傾向が見られる。

さらに偏心率の観点から変位を見ると若干誤差はあるものの、同ケースで比べたとき、概ね偏心率が小さいほうが変位が小さい。今回の結果からは偏心率が小さく、摩擦も小さいほうが、上部構造の最大応答変位は小さいと考えられる。

またモデル 2 のように中央の柱間隔を狭くしてしまると全体的に他よりも大きく変位しているように

見て取れる。

さらに滑り量も考慮したときケース1, 2, 3に関しては相対的な変形は小さいものとなっており、このときモデル2が最も変位が大きい。しかしケース4は若干特殊でまず柱脚の滑り量が極端に小さくなるのに上部構造は大きく変位してしまっている。これは相対的にみるとかなりねじれが大きく起こっていることを表している。だがこのときはモデル2が最も変位が少ない。

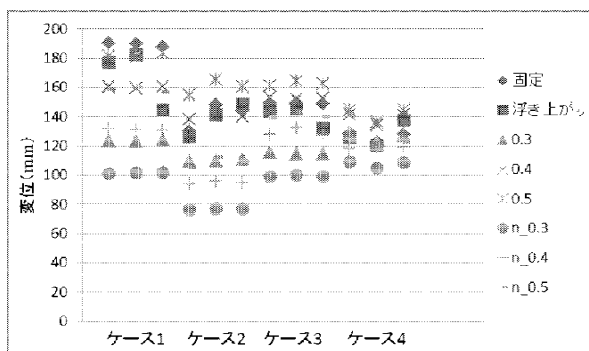


図8 上部構造最大応答変位 (7波の平均)

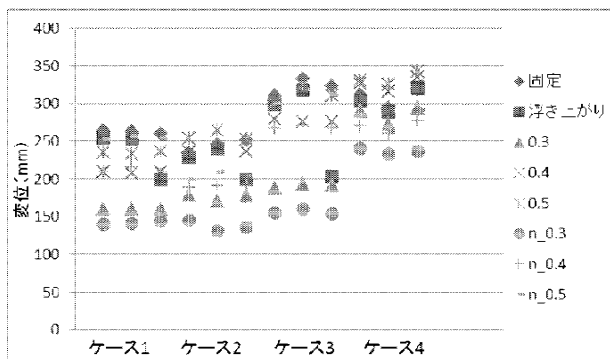


図9 上部構造最大応答変位 (7波の最大値)

表4 最大応答変位 (7波の平均)

	ケース1			ケース2		
	m1	m2	m3	m1	m2	m3
固定	190	190	188	130	148	144
浮き上がり	177	182	144	126	141	149
0.3	123	123	124	110	110	111
0.4	160	160	160	138	143	140
0.5	181	181	183	155	165	160
n.0.3	101	101	102	76	77	77
n.0.4	132	131	130	94	96	94
n.0.5	159	160	157	105	112	110
全体平均	153	154	149	117	124	123
	ケース3			ケース4		
	m1	m2	m3	m1	m2	m3
固定	148	149	149	128	123	128
浮き上がり	144	145	132	126	120	137
0.3	116	114	114	128	122	127
0.4	153	152	153	142	134	141
0.5	161	164	162	144	136	144
n.0.3	99	100	99	109	105	108
n.0.4	128	132	127	118	117	119
n.0.5	139	144	140	123	118	123
全体平均	136	138	135	127	122	128

表5 最大応答変位 (7波の最大値)

	ケース1			ケース2		
	m1	m2	m3	m1	m2	m3
固定	264	263	260	234	246	251
浮き上がり	254	253	199	229	240	199
0.3	160	160	160	178	171	177
0.4	210	207	209	235	239	236
0.5	235	233	236	253	265	252
n.0.3	140	141	144	146	131	136
n.0.4	210	214	210	188	192	190
n.0.5	253	257	253	199	210	204
平均最大	264	263	260	253	265	252
	ケース3			ケース4		
	m1	m2	m3	m1	m2	m3
固定	310	333	323	311	294	319
浮き上がり	299	318	203	304	289	321
0.3	188	194	191	290	272	294
0.4	279	276	276	327	316	335
0.5	301	324	310	331	325	342
n.0.3	155	160	154	241	233	236
n.0.4	267	270	267	269	260	277
n.0.5	301	319	311	285	264	292
平均最大	310	333	323	331	325	342

表6 最大滑り量 (7波の平均)

平均	ケース1			ケース2		
	m1	m2	m3	m1	m2	m3
0.3	39	37	46	30	34	33
0.3	ケース3			ケース4		
	m1	m2	m3	m1	m2	m3
0.3	27	30	21	-1	2	0

表7 最大滑り量 (7波の最大値)

最大	ケース1			ケース2		
	m1	m2	m3	m1	m2	m3
0.3	160	161	158	163	168	157
0.3	ケース3			ケース4		
	m1	m2	m3	m1	m2	m3
0.3	145	155	148	63	50	62

4. まとめ

水平構面剛性が小さく、柱脚の滑動や浮き上がりが生じる伝統的木造建築物の地震時挙動について、1階建ての3次元モデルを用い、鉛直構面の配置等を変えて地震応答解析を行った。その結果、上部構造の最大応答変位は柱脚固定 (ピン接合)、柱脚浮き上がり許容、柱脚滑り許容の順に小さくなるが、摩擦係数が0.5の場合には柱脚固定との差は小さかった。また、偏心がある場合には上部構造最大応答変位が大きくなるが、水平構面剛性の影響は小さかった。今後は2階建てや不整形な形状についても解析を行い、地震時挙動に関する知見を蓄積する必要がある。

参考文献

- 1) 中川 貴文「木造住宅倒壊解析ソフトウェア“wallstat”」、(独) 建築研究所ホームページ
- 2) (財)日本住宅・木材技術センター「伝統的木造軸組構法住宅の耐震性能検証実験報告書」2009年3月
- 3) 特定非営利活動法人緑の列島ネットワーク「伝統的構法の設計法作成及び性能検証実験検討委員会報告書」2012年3月
- 4) 文部科学省「大都市大震災軽減化特別プロジェクト II 震動台活用による構造物の耐震性向上研究 平成18年度成果報告書 3.1.5 E・ディフェンスによる京町家実験」2007年3月

土蔵、土蔵造の建物の地震被害とその対策

歴史的建築物、東日本大震災、文化財ドクター、土壁、漆喰壁

後藤 治*

1. はじめに

筆者はUDMにおいて、阪神淡路大震災、新潟県中越地震・同中越沖地震、石川県能登半島地震等の近年の大規模地震動による都市部に所在する歴史的建築物の被害の実態から、今後の都市部における大規模地震において、歴史的建築物の保存継承に貢献できる研究を目指してきた。近年の大規模地震では、伝統構法の木造建築物については、通し柱の折損による倒壊、土壁・漆喰壁の崩落・亀裂による被害が目立った。特に後者については、壁を厚く塗る土蔵の被害が甚大であることから、今後の都市部においては、歴史的街並の景観形成において重要な役割を果たしている土蔵造の町家の被害が深刻になることが予想された。そのため、筆者の研究グループでは、通し柱の折損や土壁・漆喰壁の破損に効果的な対策となる手法の開発を目指して研究を進めてきた。

研究を進めるにあたっては、具体的事例による実証的研究、新たな改修・補強方法の開発を目標とした。2011年3月11日に東日本大震災が発生したことにより、東日本大震災で発生した歴史的建築物の被害調査並びにその対応を行うことにより、新たな改修・補強方法の開発への着手が遅れることになった。本年度は、主に東日本大震災にともなう活動の成果並びに新たな改修・補強方法の開発の展望について報告する。

2. 2010・2011年度の成果概要

2.1 秋田県横手市増田町における実証研究

具体的な事例による実証研究としては、大規模な町家建築と土蔵が多数残り、伝統的建造物群保存地区の候補地となっている秋田県横手市増田町の中心市街地をモデルに研究を進めている。市が取得した旧石平金物店(町家及び土蔵が現存)を対象に、初年度は、実測調査・予備的な耐震診断を実施した。2年度は、初年度の結果をもとに、危険箇所の応急的な補強案を作成、3年度の早期に補強を実施した。実施にあたっては、東日本パワーファスニング株式会社の協力により、同社が開発した長い寸法を持つネジを利用した。同ネジは、今後の伝統構法の木造建築物の改修補強に有効なものとして期待できる。

2.2 東日本大震災にともなう調査研究

東日本大震災にともなう調査研究については、日本建築学会建築歴史・意匠委員会による調査研究に参加する形で進めた。同委員会では震災後の4月に災害特別調査研究WGを立ち上げ、筆者は、同委員会及びWGの幹事を務めた。同WGでは、9月に2011年9月に文化庁から東日本大震災被災文化財建造物復旧支援事業(文化財ドクター派遣事業)を受託し、2012年3月まで事業を行い、被災した歴史的建築物の状況把握と、それを残すために所有者等に助言を行う活動を促進し、報告書をまとめた。また、2012年3月に東京と仙台市において、公開研究会を開催し成果を公表した。東京の公開研究会は、工学院大学で開催した。文化財ドクター派遣事業の実施にあたっては、歴史的建築物の保存のために所有者等に実務上の助言も必要なことから、日本建築家協会、日本建築士会連合会の協力を得た。

被災調査によって、本研究で想定した通り、土蔵に加えて土蔵造の町家の壁の被害例が多数見られ、その被害が深刻であることが明らかになった。深刻である理由のひとつは、被害程度が大きくないにもかかわらず、職人の不足や技術的アドバイスの遅れ等によって、取り壊しにいたっている事例が多くみられることである。こうした状況を未然に防ぐために、土壁の改修補強に有効な新手法の開発が急務であることをさらに強く認識する結果となった。

3. 2012年度の成果

3.1 秋田県横手市増田町における実証研究

2012年度は、旧石平金物店について、限界耐力設計法による計算を用いた耐震診断を実施した(岐阜県立森林アカデミー小原勝彦准教授による)。その結果、予備的な耐震診断による予測通り、土蔵よりも町家部分に補強が必要であることが判明した。また、耐震診断による町家部分の弱点に対して、実施した応急的な補強が有効に働いていることが判明した。次年度には、耐震診断の結果に基づき、具体的な補強案を検討する予定である。

3.2 東日本大震災にともなう調査研究

2012年度も、日本建築学会災害特別調査研究WG

*工学院大学建築学部建築デザイン学科教授

では、日本建築家協会、日本建築士会連合会と協力して、引き続き歴史的建築物の被災調査と保存継承のための助言を続けている。2011年度に続き、文化財ドクター派遣事業も行っているが、2012年度は日本建築家協会が事務局となり、日本建築学会と日本建築士会連合会が協力する形で、文化財保護芸術研究助成財団の助成を得て進めている。

また、日本建築学会建築歴史・意匠委員会の文化遺産災害対策小委員会（主査筆者）と災害特別調査研究WGの有志で、日本建築士会連合会と協力し、熊本県建築士会の事業として「被災歴史的建造物の調査・復旧方法の対応マニュアル」をまとめた。その目次は下記の通りである。

はじめに

- 1 緊急時－災害発生から調査まで
 1. 1 調査支援体制の確立に向けて
 1. 2 災害の発生から共同体制の構築まで
 - 1) 被害状況の把握
 - 2) 調査・支援組織の立ち上げ
 1. 3 情報収集・管理機能体制の確立、相談窓口の設置
 1. 4 調査からアドバイスまで
 1. 5 調査票の書き方
 1. 6 応急危険度判定・被災度調査への対応
 - 1) 応急危険度判定
 - 2) 公費解体の回避
 1. 7 行政等からの支援の必要性・有効性
- 2 事後－歴史的建造物の被害の見方と応急処置・補修方法
 2. 1 木造伝統構法（軸組）
 2. 2 組積造
 2. 3 土壁・漆喰壁
 2. 4 瓦
- 3 復旧－本格的な補強・改修
 3. 1 木造伝統構法
 3. 2 組積造
 3. 3 土壁・漆喰壁
 3. 4 瓦

参考資料 地震から文化財を守るために

木造伝統構法の補強・改修にあたって

これまでの地震被害とその復旧への対応を参考に、災害発生後の「緊急時・事後・復旧」という段階を想定し、それに沿った章立てとしている。緊急時は、災害発生から3週間から1ヶ月程度の期間、事後は、

緊急時を脱して以降、3ヶ月から6ヶ月程度、復旧は、災害後半年以降で、復旧のために行う改修や補強については、災害の有無にかかわらず行うことが望まれるものである。

なお、土壁・漆喰壁の部分については、日本建築学会内外装工事運営委員会幹事の古賀一八氏（東京理科大学講師）の協力を得て、現在普及している一般的な方法をまとめた。

3. 3 土壁・漆喰壁の改修補強の新技术法の検討

土蔵、土蔵造建物の被害をみると、厚く塗った壁の重量に対して、壁の下地の強度が不足しており、それによって土壁の崩落が発生している事例が多くみられる。また、仕上げの漆喰塗と中塗りの土壁との馴染みが悪く、仕上げの漆喰層のみが剥離した事例も多くみられる。これらの被災に対して効果的な、簡便な改修補強手法や、その被害を未然に防ぐ手法の開発計画に着手し、初期的な実験を田村准教授に依頼し実施した。

4. おわりに

新年度の計画としては、含浸性の高い樹脂系の接着材を利用して、土壁や剥離した漆喰壁を固めることや、強度的に問題がある土蔵や土蔵造建物の壁面を強化することを予定している。

また、土蔵や土蔵造の建物は、大壁工法であるため、柱や梁の腐朽が真壁工法の建物よりも発生しやすく、それが原因で地震時の被害が大きくなっている事例も多数報告されている。上記の含浸力の高い接着剤による補強は、腐朽によって虫害が発生した木材の補強にも応用できるものと考えられる。そのため、新年度には腐朽し虫害が発生した実際の建築部材を利用して、補強の効果を測定する実験を行うことも計画している。

さらに、含浸力の高い接着剤による補強は、近代洋風建築の漆喰塗りで仕上げた装飾天井の落下防止（下地の木摺りと漆喰の接着力の強化、東日本大震災で東京の九段会館で当該事故により大きな被害が発生したことは記憶に新しい）にも有効と考えられるので、当初の計画には含まれていないが、これについても具体的な事例による検証を行いたい。

参考文献

- 1) 熊本県建築士会調査委員会サポートチーム、被災歴史的建造物の調査・復旧方法の対応マニュアル、熊本県建築士会、全102頁、2012年1月

振動台によるライン天井の落下実験と損傷クライテリアの評価（小課題 2.1-1）

ライン天井 落下 振動台
 加速度 Tバー 損傷クライテリア
 東北地方太平洋沖地震

山下哲郎¹⁾ 久田嘉章²⁾ 西川豊宏³⁾ 久保智弘⁴⁾
 志津えりか⁵⁾ 小泉秀斗⁵⁾ 坂本有奈利⁵⁾
 實方啓朗⁶⁾ 武田和也⁶⁾ 富永政裕⁶⁾

1. はじめに

2011年3月に発生した東北地方太平洋沖地震では、非構造部材特に天井の落下が広範囲に生じ、そのための死傷者も報告されている。震源から約400km離れた新宿の工学院大学（地上29階建鉄骨造超高層）でも、強い揺れにより一部の天井の落下、脱落が生じた（写真1）。2012年度の研究では、振動台上に落下したライン天井の一部を再現して動的落下実験を行い、落下のメカニズムを解明すると共に、落下条件として入力加速度や施工条件の影響を定量的に調べ、既往のシステム天井の損傷クライテリア¹⁾の妥当性を評価する。

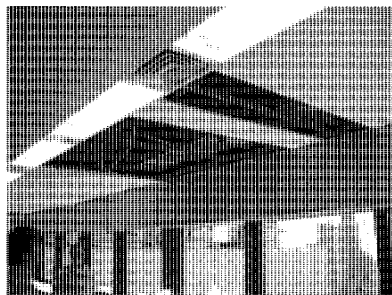


写真1 工学院大学 28階天井被害

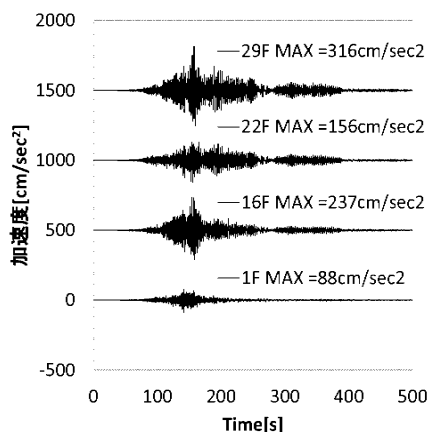
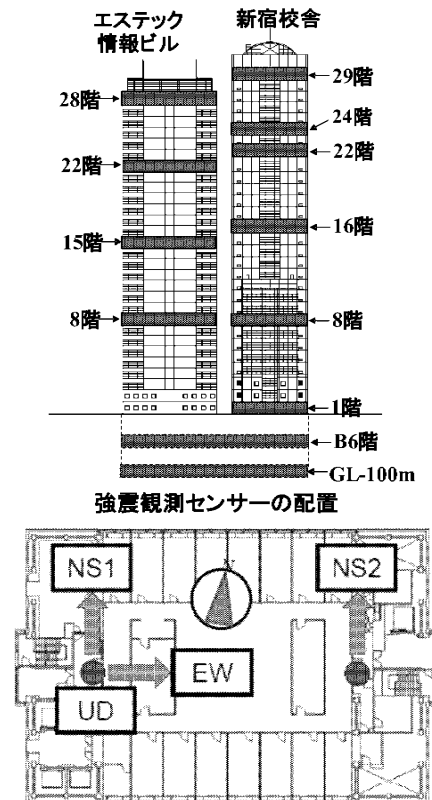


図1 東北地方太平洋沖地震における工学院大学の観測記録

2. 工学院大学の天井被害

表1に東北地方太平洋沖地震における工学院大学の天井被害の概要を示す。11階以下は在来天井、12階以上はライン天井であるが、天井被害はすべてライン天井で発生しており、落下は14、21、27、28階、落下にまでは至らないが支持材からの天井板の脱落やズレは14、16、19、20、23、24、26、28階で観察された。工学院大学では1、8、16、22、24、29階に加速度センサーを配置しており、図1に東北地方太平洋沖地震において天井被害が発生した階付近の応答加速度の観測記録（NS方向）を示す。加速度は1階で88cm/sec²、16階で237cm/sec²、22階で156cm/sec²、29階では316cm/sec²であった。



設置位置と+方向（基準階平面図）
 図2 加速度計配置

1) 建築学部建築学科准教授 2) 同まちづくり学科教授 3) 同まちづくり学科准教授
 4) 同まちづくり学科特任助教 5) 大学院建築学専攻 6) 工学部建築学科
 （いずれも2013年2月28日現在）

表1 工学院大学の天井被害概要

高層棟	場所	状態
28	第1会議室	一部天井落下
	第4会議室	天井板のたわみ
27	2718	天井板の落下
26	2612	天井板のたわみ
24	弱電実験室	天井一部ズレ 2箇所
	2432	天井の一部ズレ
	2418	天井の一部ズレ
23	南側通路	天井の一部ズレ
	2373	天井の一部ズレ
	2381	応接室天井のズレ
22	2373	天井の一部ズレ
	入り口	東西入り口の天井ズレ
21	廊下	一部天井落下
	第6会議室	天井の一部ズレ
20	2011	天井の一部ズレ
	廊下	天井の一部ズレ
	入り口	天井の一部ズレ
19	1937	天井の一部ズレ
	1861	天井の一部ズレ
17	入り口	天井の一部ズレ、ホワイトボードの落下
	1772	天井の一部ズレ
	1776	天井の一部ズレ
16	1718	天井の一部ズレ
	入り口	入り口付近、天井の一部ズレ
	1616	天井の一部ズレ、撤去
	1667	天井の一部ズレ、撤去
15	1661	天井の一部ズレ
	1517	天井の一部ズレ
14	1518	天井の一部ズレ
	通路	天井の一部落下
12	管理室	天井の一部落下
5	学長室	天井の一部破損
5	511	天井の一部に小穴

3. 実験概要

3.1 加力装置

動的加力には大変形加力装置振動台²⁾を使用する。図3、写真2に振動台と試験体の概要を示す。試験体の天井は振動台上の鉄骨フレームから吊られるが、フレーム自体の1次固有振動数は約30Hzであり、その変形は無視できると考える。落下した天井のほとんどが壁際であったため、天井の両側に木造で壁面を構成し、壁面に天井板の支持材（後述）を取り付ける。

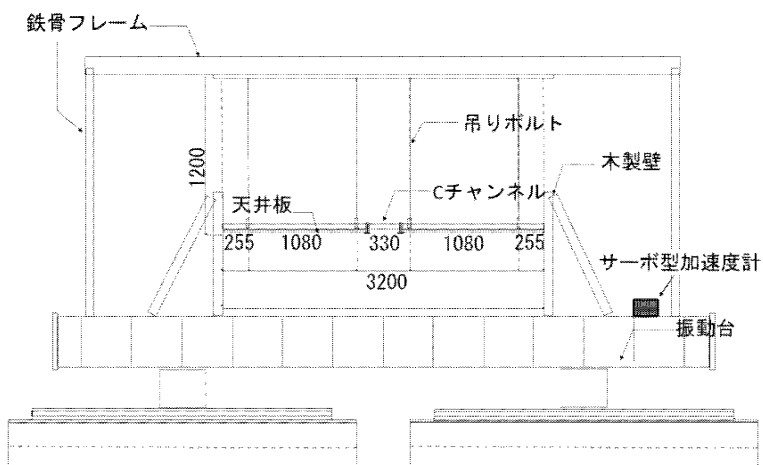


図3 大型加力振動台および試験体

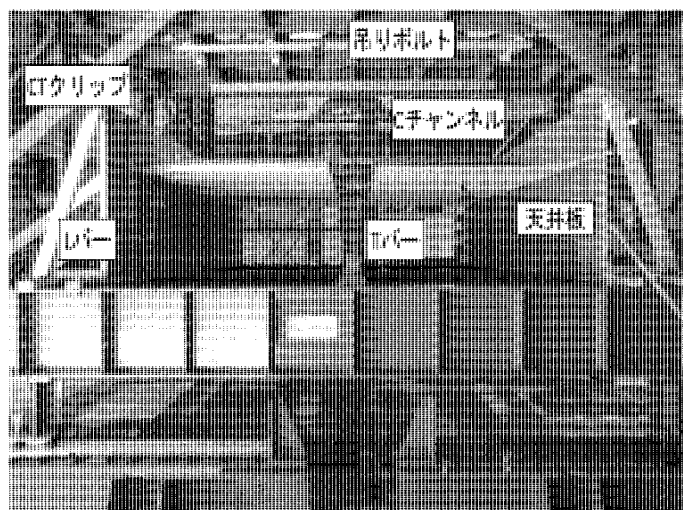


写真2 大型加力振動台

3.2 ライン天井試験体の構成

図4に試験体のライン天井概要を示す。落下した天井板は平行したT型断面の「Tバー」と、天井を壁際で支持するL型断面の「Lバー」の間に架け渡される（図5）が、その際特に固定されることはなく、両部材のフランジに載っているだけである。

Tバーは直交する3本のC型断面の「Cチャンネル」から固定金具のクリップで吊られる。Cチャンネルは継手部分で施工時の長さ調整が可能であるが、実際のライン天井の施工状況を再現し、両端がちょうど両側の壁に接触してCチャンネルそのものが振動しないよう長さを調整した。Lバーは壁にビスで固定される。表2には試験体各部の重量を示す。

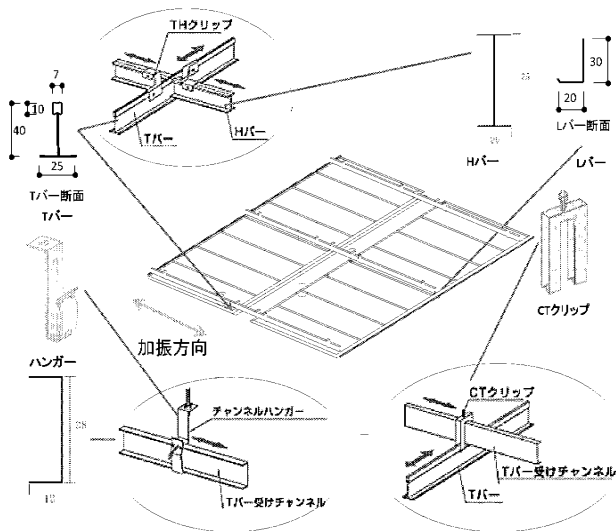


図4 システム天井ライン工法³⁾

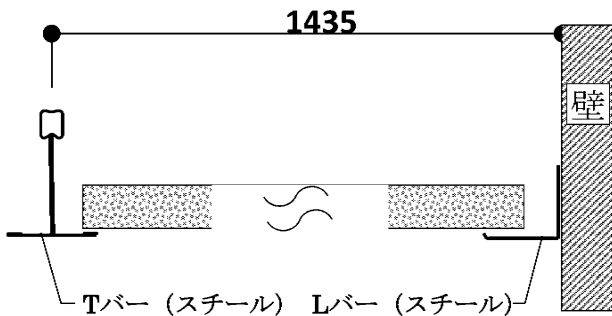


図5 天井配置概要

表2 天井部材重量

部材名称	単一部材質量 (kg)	部材数	各部材合計質量 (kg)
天井材	2.88	16	46
Hバー	0.50	18	9
Cチャン	1.70	3	5
Tバー	1.40	2	3
Lバー	0.76	2	2
吊りボルト	0.55	12	7
ハンガー	0.06	12	1
合計			72

3.3 天井板の隙間について

天井板を支持材であるTバーとLバーのフランジに載せる際、施工上両端に隙間ができる(図5)。この隙間の大きさが落下に影響する(後述)ため、実験に先立ち、工学院大学24階にて実際の隙間の大きさを実測調査した。調査結果をヒストグラムにまと

めたものを図7に示す。以後「隙間」とは図6に示すように、天井板両側の隙間の合計とする。隙間の平均値は約10mm、最大値は15mmで、標準偏差は2.7mmである。

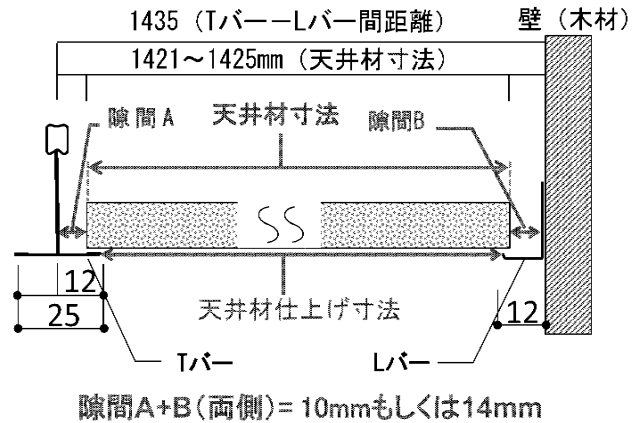


図6 天井板隙間概念図

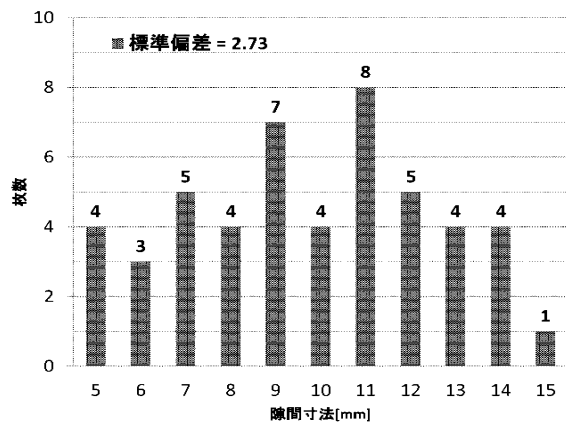


図7 工学院大学天井施工調査

上記の調査結果より、試験体に設ける隙間は10mmと14mmの2種類とした。12mm以上の隙間では、天井板が移動して片側に寄り切ると落下する。

但し、実際に組み立てた試験体の隙間を計測したところ、平均で約-2mmの誤差があり、隙間が全体的に狭くなっていた。

3.3 加力波形

周期0.5s、1.0sの加速度振幅漸増波を振動台に入力する。図8に加速度波形を示す。継続時間は80sで、入力加速度の最大値は周期0.5sで958gal、1.0sで580galであり、いずれも加力装置の限界性能から定めた。

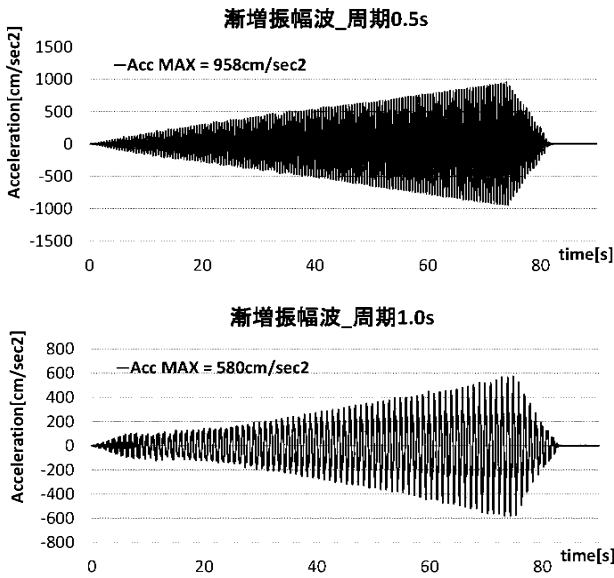


図8 試験体入力波

実験パターンを表3に示す。隙間 10mm, 14mm のそれぞれについて2種類の波形を入力する。1パターンにつき3回加力を実施する。試験体は一体につき16枚の天井板を有するため、1つの加力パターンで述べ48枚の天井板が加力される事になる。

表3 実験条件

実験パターン	隙間条件[mm]	入力波	実験回数
①	10	漸増振幅波 周期1.0s	3
②	10	漸増振幅波 周期0.5s	3
③	14	漸増振幅波 周期1.0s	3
④	14	漸増振幅波 周期0.5s	3

4. 実験結果

4.1 隙間と落下加速度

表4に天井板の滑り始め、表5に天井板落下時の加速度を示す。加速度は振動台上に設置した加速度センサーの計測値である。滑り始め、落下加速度ともにwebカメラの実験映像からその瞬間を特定し、その前後半周期中の加速度最大値をとった。天井板の滑り始めは加速度 200~300cm/sec²の間、落下は加速度 300~600 cm/sec²の間で発生している。

表4 滑り出し加速度[cm/sec²]

実験パターン隙間-周期	No.1	No.2	No.3
①-10mm-1.0s	227	208	219
②-10mm-0.5s	226	196	229
③-14mm-1.0s	-	205	219
④-14mm-0.5s	233	284	248

表5 落下始め加速度[cm/sec²]

実験パターン隙間-周期	No.1	No.2	No.3
①-10mm-1.0s	403	511	390
②-10mm-0.5s	550	450	601
③-14mm-1.0s	-	386	377
④-14mm-0.5s	315	363	355

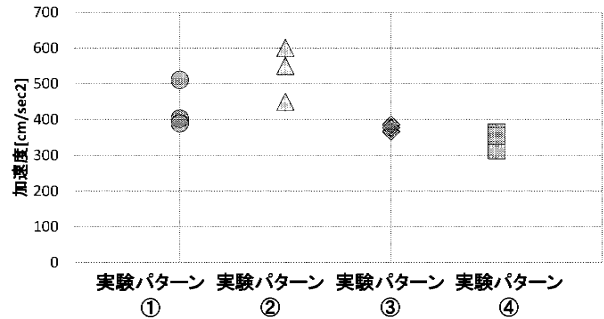


図9 天井板の落下加速度と隙間の関係

図9は天井板の落下加速度と隙間との関係を示す。隙間 10mm の場合、14mm の試験体より落下加速度が大きく、隙間 10mm で 400~600cm/sec²、隙間 14mm では約 300~400cm/sec² となった。

また、隙間 14mm では述べ 48 枚×2=96 枚中 28 枚が落下、隙間 10mm で述べ 96 枚中 17 枚が落下した。当然ではあるが隙間が 14mm の方が隙間 10mm より多く落下することが確認できた。

4.2 落下のメカニズム

天井は固定されていないため、振動の慣性力で移動する。このとき、左右いずれかの掛かり代が0になると落下する(図10)。しかし、天井板の移動だけでは落ちない隙間 10mm の場合も落下が生じる。これは図11に示すように、天井板がTバーに衝突する際慣性力でTバーを押し上げてTバーが変形し、TバーとLバーのフランジ間が開いたことにより生じたものと推定される。

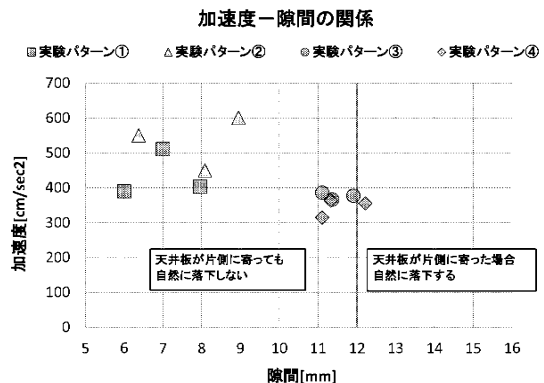


図10 天井板の隙間と落下の関係

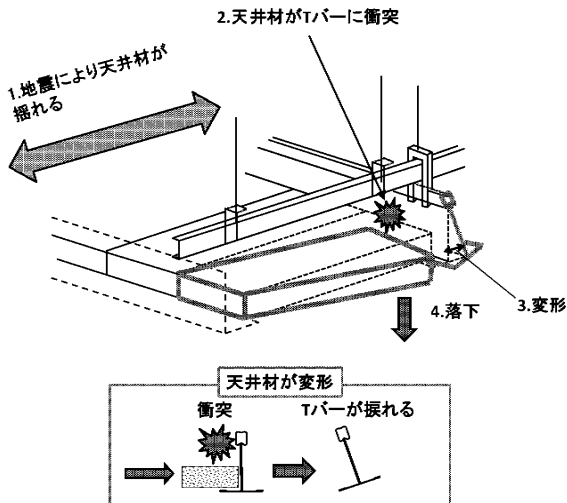


図 11 天井板の T バーへの衝突

実験映像により、落下までに概ね図 12 のようなプロセスをたどることが判明した。最初は天井板がばらばらに T バーに衝突するため作用する慣性力は小さいが、やがて天井板が連なって移動し、同時に T バーに衝突するため大きな慣性力が作用し、T バーが変形して支持材間隔が広がり、落下を生じる。

5. T バーの静的加力実験

上記のメカニズムを検証するため、T バーの静的加力実験を実施した。図 13 に試験体の平面図を示す。T バーにほぼ等分布の荷重が加わるように引張装置をトーナメント方式にて加力した。

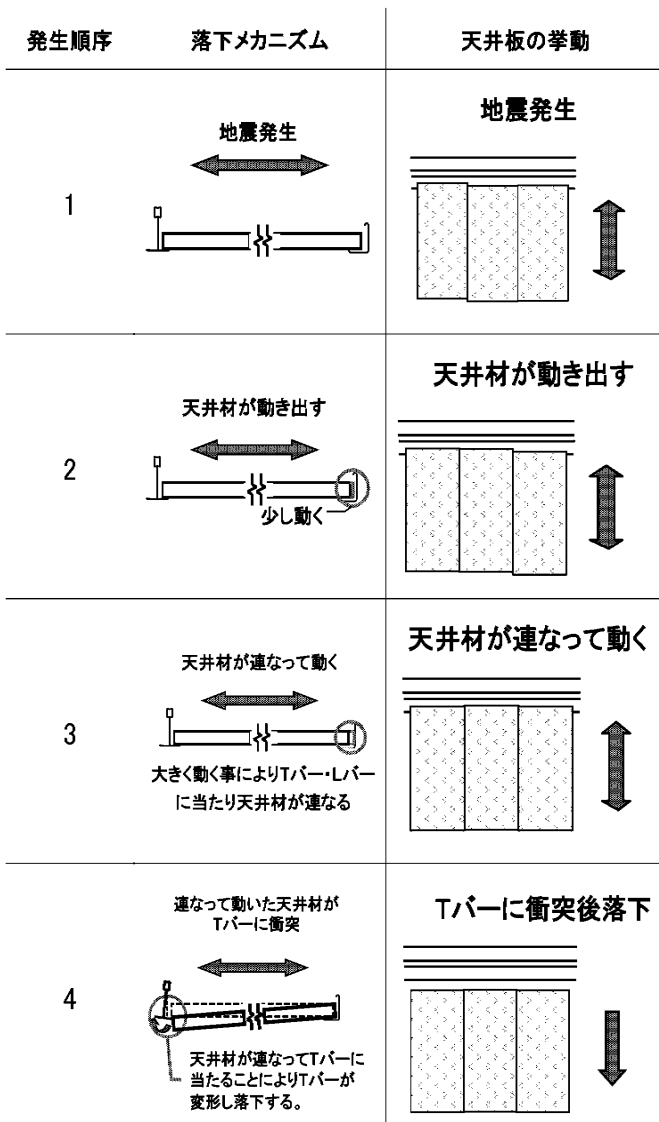


図 12 天井落下プロセス

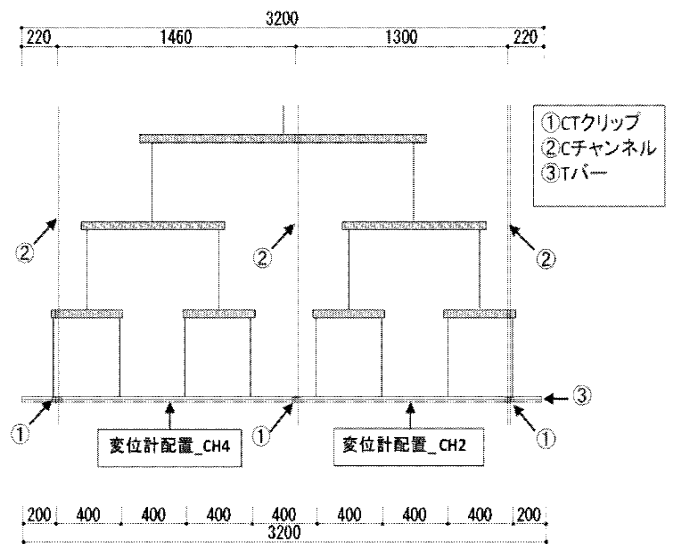


図 13 T バーの静的加力実験平面図

C チャンネルの先端を壁で支持して反力をとったため、荷重により T バーの曲げ、ねじれだけでなく、T バーと C チャンネルを接合するクリップの曲げや C チャンネルの軸方向変形も生じる。クリップ間の 1300mm スパンと 1460mm スパンの中心に機械式変位計を設置し水平変位を計測した。

図 14 に荷重変位関係を示す。天井板が及ぼす慣性力から天井板落下時の T バーの変形を推定する。慣性力は天井板の質量と落下時の加速度から求めた (表 6)。直線近似した荷重変形関係と慣性力より、T バーの変位計位置における水平変位は概ね 1~2mm であり、10mm 程度の隙間があれば、変形により落下する 12mm に到達することがわかる。

表6 天井板の慣性力

落下加速度	1300mm部分	1460mm部分
435cm/sec ²	43	48
534cm/sec ²	53	59
377cm/sec ²	38	41
344cm/sec ²	34	38

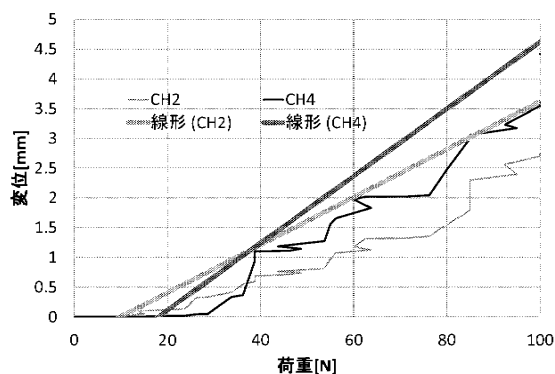


図14 Tバーの荷重変位関係

表7 システム天井の損傷クライテリア^{4),5)}

	損傷度		応答加速度[cm/sec ²]
	損傷度1	損傷度2	
損傷度1	部材の脱落はない	一部のボードがずれる	150 ≤ A ≤ 500
損傷度2	天井のラインに曲りやズレがある	一部のパネルが落下するが設備の落下はない	500 ≤ A ≤ 1200
損傷度3	天井の部材がずれ、変形・落下する	重量部材が落下する	1200 ≤ A

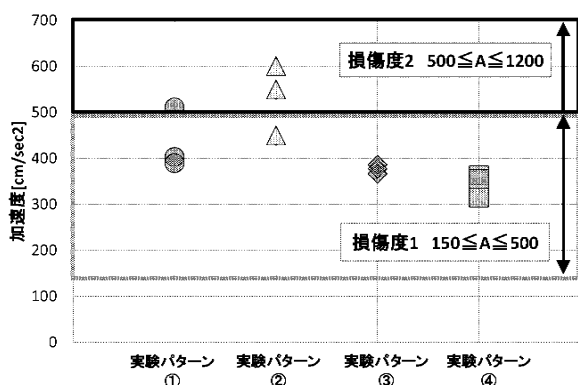


図15 損傷クライテリアと実験結果の記録

6 システム天井の損傷クライテリアの評価

表7.にシステム天井の応答加速度による損傷クライテリア^{4),5)}を示す。図15に本実験における実験パターン別の落下時の加速度と表7における損傷クライテリアの応答加速度を示す。既存の損傷クライテリアと本実験結果を比較すると、天井板の滑り始めは既存のクライテリアにおける損傷度1の150～500cm/sec²の範囲と対応するが、同じ損傷度1の加速度でも試験体の半数以上で落下がみられる。また

東北地方太平洋沖地震で実際に天井落下が生じた際の加速度は150～350gal程度であり、今回の実験結果ともよい一致を示す。したがって、工学院大学新宿校舎と同様のライン天井に関しては、損傷度1と2の境界を、今回の落下加速度の下限値である300gal程度とすることが妥当と考えられる。

7 まとめ

- ・天井の落下メカニズムを振動台による動的実験およびTバーの引張実験により確認した。
- ・既存のシステム天井の損傷クライテリアと実験結果を比較すると、工学院大学新宿校舎と同様のライン天井に関しては、損傷度1と2の境界を300gal程度とすることが妥当と考えられる。

謝辞

工学院大学名誉教授大橋一正博士より、実験全般について貴重な助言を頂いた。

参考文献

- 1)久保智弘、久田嘉章、相澤幸治、大宮憲司、小泉秀斗：東日本大震災における首都圏超高層建築における被害調査と震度アンケート調査、日本地震工学会論文集、第12巻、第5号（特集号）、2012
- 2)坂本有奈利、山下哲郎、久保智弘、久田嘉章：クランクによる振幅増幅を利用した大振幅振動台の開発、日本建築学会大会学術講演梗概集（東海）、2012.9、構造Ⅱ、pp1247-1248
- 3)株式会社桐井製作所HP：e-CEILINGシステム天井 <http://www.kirii.co.jp/products/eceiling/line.html>
- 4)神原浩、林康裕、田村和夫：アンケート調査に基づく建物の非構造部材被害と地震動強さとの関係、日本建築学会構造系論文集、第578号、155-161、2004.4
- 5)金子美香、東野雅彦：家具・非構造部材、設備系の被害、長周期地震動対策に関する公開研究集会、2011.2、p175-236
- 6)童華南、山崎文雄、清水善久、佐々木裕明：計測震度と従来の地震動強さ指標の対応関係、土木学会第51回年次学術講演会、平成8年9月
- 7)ロックウール工業会：システム天井構成部材の強度基準、技術資料1-2011、2011.9
- 8)日本建築学会：非構造部材の耐震設計施工指針・同解説および耐震設計施工要領、2003

天吊り設備機器・配管の耐震性能実験

建築設備，天吊り機器・配管，非構造部材，地震リスク，
 振動台実験

西川 豊宏* 山下 哲郎**
 大橋 一正*** 久保 智弘****
 志津えりか***** 坂本有奈利*****

1. はじめに

1978年に発生した宮城県沖地震において、多くの建築設備に被害が生じた。そのことを受けて、1982年に日本建築センターから建築設備耐震設計・施工指針が発行され、建築設備の耐震性は徐々に向上し、被害件数も減少傾向にある。しかしながら、今日において建築設備の機能確保を目的として、更なる耐震性能の向上が求められている。

近年発生した東北地方太平洋沖地震は、発生マグニチュード9.0と大規模な地震動であったことに加え、その揺れの継続時間が長かった。その影響で、建築設備の被害は、従来にも増して吊り支持の配管や機器に関する被害が多かった。文献¹⁾によると、天吊り機器については、図1に示すように機器付属金物の変形や抜けによる機器本体の落下や、長時間の揺れによる吊りボルトの疲労破壊、大規模な地震動の影響で引っ掛け金物が外れる等の被害があり、それらの被害にともない天井が破損または崩落するといった被害も報告されていた。天吊り配管は、図2に示すように配管相互の振動性状の違いによる配管接合部での破断や、構造躯体との振動性状の違いによる防火区画貫通部での配管の破損があった。また、長時間の揺れによる吊りボルトの疲労破壊や、SP配管のように天井に接続されている配管は天井との振動性状の違いによりヘッドと天井が衝突し、ヘッドまたは配管が破断する被害が報告されていた。本研究では建築設備の地震リスクを実験データや学術的既存データを活用し、建築設備システムの損傷確率によって評価することを目的に東日本大震災において被害が顕在化した天吊り機器・配管を対象とした耐震性能実験を実施した。実験では、経年使用した配管の強度低下と耐力値の分散や可とう性配管の技術基準についての妥当性を検証した。また、加振実験による設備機器用吊りボルトの引張試験から、

長時間の加振による材料強後の劣化と分散を定量化した。

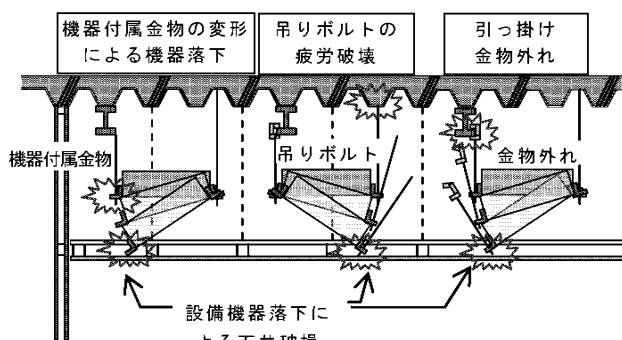


図1 天吊り機器の被害

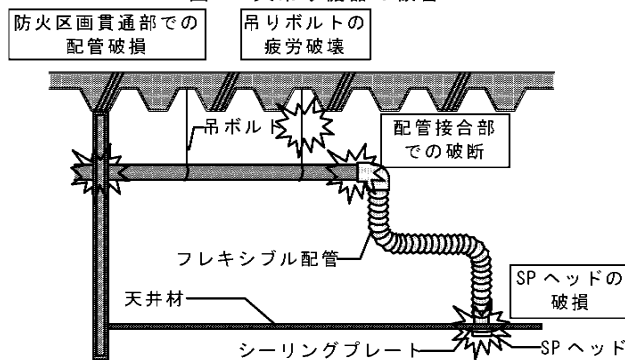


図2 吊り支持された配管の被害

2. 2010/2011年度の成果概要

2010年には実建物において使用されていたSP配管とそれと同形状の新品試験体を用いて静的加力実験を行い、配管が破断に至る荷重及び変位量を調査した。2011年には、静的加力実験を継続して行い更に実験データを蓄積した。

3. 建築設備の地震リスク評価手法

地震時においても建築設備が健全に機能することで建物を有効に使用することが可能になる。既存建物において建築設備に事前対策を講じるための支援情報として、建築設備の地震リスク評価を行う。なお、建築設備は設備機器・配管単体が連なったシス

* : 工学院大学建築学部まちづくり学科准教授,

*** : 工学院大学名誉教授

***** : 工学院大学工学研究科建築学専攻修士課程

** : 工学院大学建築学部建築学科准教授

**** : 工学院大学建築学部まちづくり学科特任助教

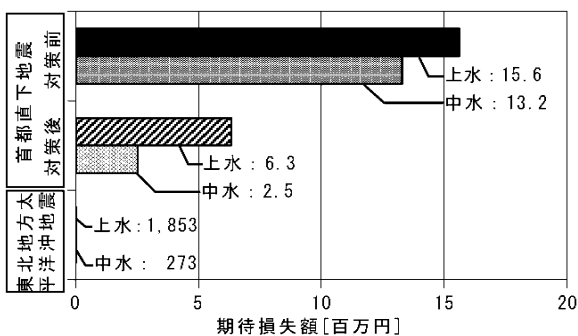
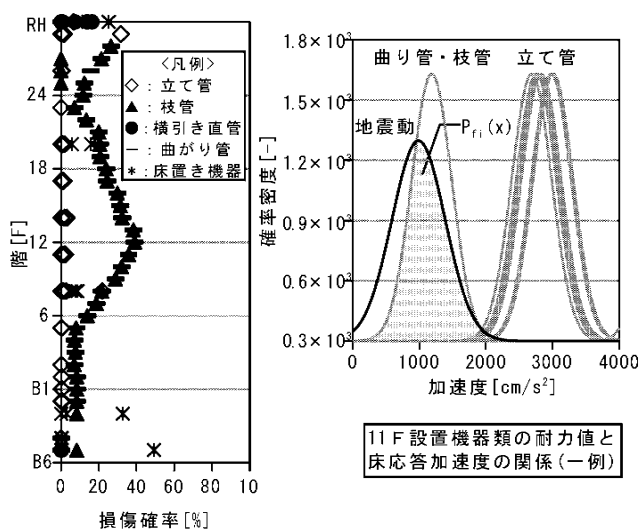
テムとして機能しているため、設備をシステムとして評価する必要がある。

まずシステムを構成する設備機器・配管を抽出し、設備機器・配管単体の損傷確率を式(1)^{2), 3), 4)}に示すように算出する。

$$P_{fi}(x) = \int_0^{r_{mi}} \left(\sqrt{2\pi} \cdot \sqrt{\zeta_{Ci}^2 + \zeta_{Ri}^2} \right) \cdot \exp \left[-\frac{(\ln x - \ln C_{mi})^2}{2(\zeta_{Ci}^2 + \zeta_{Ri}^2)} \right] \cdot x \, dx \quad \text{式(1)}$$

- P_{fi} : 各被害形態に対応する損傷確率
- r_{mi} : 設備機器・配管 i に作用する地震動の中央値
- ζ_{Ci} : 耐力値の対数標準偏差
- ζ_{Ri} : 作用地震動の対数標準偏差
- C_{mi} : 設備機器・配管 i の作用地震動に換算した耐力の中央値
- x : 作用地震動

図3に工学院大学新宿校舎における給排水衛生設備の損傷確率算出結果を示す。損傷確率は、中層・高層系統の曲り管や枝管、水槽などの床置き機器におけるリスクが高いと算出された。これら、設備機器・配管単体で算出した損傷確率をシステムとして評価するため、設備機器・配管が損傷した際に復旧工事に要する費用注1)を掛け合わせることで設備機器・配管の損失額を期待値として算出した。



更に、各階に設置された衛生器具・給水器具が機能するために必要な設備機器・配管の損失額の期待値を足し合わせ、システムとしての損失額の期待値を算出した。算出の結果を図4に示す。首都直下地震発災による損失額の期待値は、上水が15 600 000円、中水が13 200 000円であった。そこで、損失額の期待値が高い受水槽に地震防災対策(パネル強度を向上させるため、パネル交換を想定した。)を施したことを想定すると、損失額の期待値は上水が6 300 000円、中水が2,500 000円になり、対策による効果を確認した。なお、同様に東北地方太平洋沖地震発生時における損失額の期待値を算出した結果、上水が1 853円、中水が273円となり、首都直下地震と比較して低い値となった。東北地方太平洋沖地震において工学院大学新宿校舎の設備機器・配管が損傷しなかったことから見ても数値の妥当性が検証できた。

4. 天吊り設備機器・配管の耐震性能に関する実験

4.1. 実験目的及び対象設備

図5に評価対象と評価方法を示す。評価対象は東日本大震災において被害が顕在化した天井等の非構造部材とそれに組み込まれた設備機器・配管である。設備機器・配管は配水管、各種機器・器具、配線類に分類でき、その中の配水管については、表1に示すようなフレキシブル形継手を設けて天井の揺れに追随させる工法(可とう性継ぎ手有)と、固定金具等を設けて配管を動かさない工法(可とう性継ぎ手無)に分類できる。フレキシブル継手を設けて天井の揺れに追随させる工法に関しては、日本建築センター⁵⁾から、±200mm程度の変位に対応できるものが望ま

表1 スプリンクラー配管の耐震対策例

	SP配管工法例
フレキシブル形継手を設けて天井の揺れに追随させる対策 [±200mm程度の変位に対応できるものが望ましい]	
固定金具等を設けて配管を動かさない対策	

しいとの基準が設定されているが、基準の裏付けとなる定量的な知見は少なく、実験データの蓄積等が必要である。従って本研究では、これら基準の妥当性の検証及び経年使用や東日本大震災において顕在化した長時間の振動による材料強度の低下と強度のばらつきを実験により検証した。

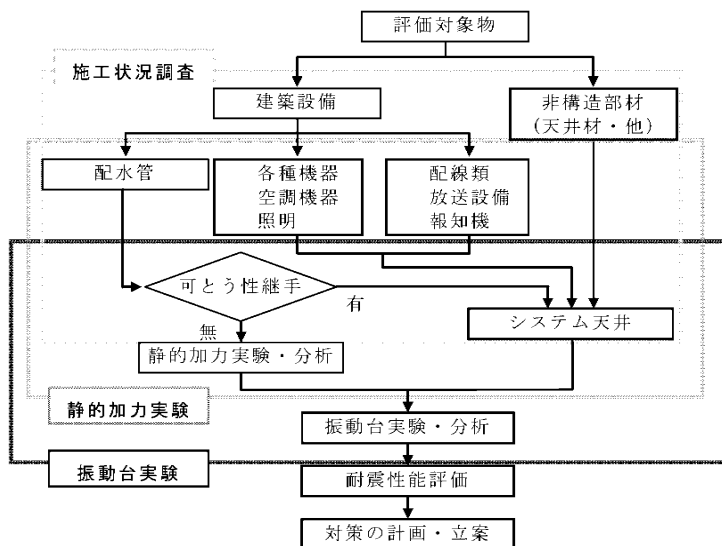


図 4 本研究の評価対象と評価方法

4.2. スプリンクラー配管の静的加力実験

4.2.1. 実験目的・概要

経年使用した配管の材料強度と強度のばらつきを調査するため、実際に 40 年間建物で使用された配管 (以降 経年試験体) と、それと同形状の配管 (以降 新品試験体) を使用し、スプリンクラー (以降 SP) 配管の静的加力実験を行った。表 2 に実験に使用した試験体の詳細を示す。図 5 に静的加力実験の実験装置と計測概要を示す。荷重載荷装置としてチェンブロックを用いた静的加力実験を行った。試験体の末端部には鉄製プレートを取り付け、フックを介して垂直上方向に加力した。

表 2 静的加力実験試験体概要

		単管の実験	巻き出し配管の実験
実験回数	経年試験体	7 回	9 回
	新品試験体	23 回	26 回
試験体寸法	a	240~770	80~120mm
	b	0	275~770mm
	c	0	240~600mm

試験体にかかる荷重はロードセル、加力方向に対する配管の変位量は変位計を用いて 1 秒間隔で測定値を計測した。なお、配管の破断を判断するため、配管内には 0.3MPa に加圧した空気を充填した。

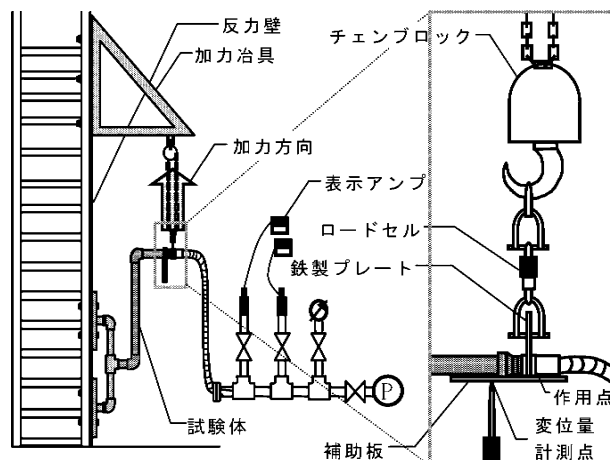


図 5 静的加力実験の実験装置と計測概要

4.2.2. 実験結果

表 3 に実験データの平均値と標準偏差、図 6 に正規分布を示す。図表によると経年試験体の破断モーメント (平均値) は新品試験体に比べて小さく、その差は単管の実験で 148.9kN・mm、巻き出し配管の実験で 114.0kN・mm であった。また、巻き出し配管の実験においては、経年試験体の標準偏差 (分散) が新品試験体に比べて大きく、試験体の劣化状況のばらつきが実験値から推定された。

表 3 実験データの平均値と標準偏差

	単管の実験		巻き出し配管の実験	
	新品	経年	新品	経年
平均値 [kN・mm]	1,254.4	1,105.5	1,337.9	1,223.9
標準偏差 [kN・mm]	71.2	54.4	155.6	170.0

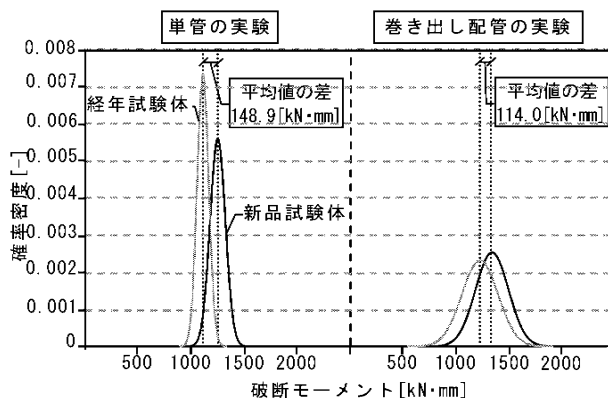


図 6 正規分布

4.3. 天吊り設備機器・配管の振動台実験

4.3.1. 実験概要

表 4 に加振装置の仕様と設置条件、図 7 に振動台

及びフレームの概要を示す。実験で使用した加振装置は、水平一方向に加振可能な振動台（幅4000mm、長さ6000mm）である。振動台の架台上にはフレームを堅固に設置し、梁から1200mm下部にシステム天井（シングルライン工法）を取り付け実際の施工状況を再現した。

表5に試験体・計測概要、表6に入力地震波⁶⁾を示す。吊り支持された配管においてはSP配管を対象とし、枝管から巻き出し配管、ヘッドまでを再現した。枝管は区画貫通部をモルタルにより固定された状態を想定し、端部をフレームに固定した。枝管の長さは2,460mmの配管用炭素鋼管25Aを使用し、梁より800mm下部に、吊りボルト（JIS G3505 SWRM12）2本で水平に設置した。巻き出し配管は1100mmのフレキシブル配管を使用しSPヘッドと接続した。なお、配管内の水重量はそれに相当する鉛テープを均等にに取り付けて再現した。計測装置は、図に示すように配管の端部に加速度計を設置した。

天吊り機器を再現した実験においてはVAVユニットを想定し、500mm×555mmの木板を用い、吊りボルトの接続部は実際の施工状況を再現するためステンレス製の板を取り付け、梁より600mm下部に、吊りボルト4本で水平に設置した。なお、VAVユニットの重量と重心を考慮し、木板の下部に錘を付加した。計測装置は、試験体の加速度を計測するため、試験体中央部に加速度計を設置した。

入力地震波は、東北地方太平洋沖地震における被害の再現実験を行うための工学院大学新宿キャンパスで計測された地震波と、首都直下地震における被害予測を行うための想定地震波⁶⁾とした。

表4 加振装置の仕様と設置条件

	項目	仕様
加振装置	加振方向	水平1方向(長辺方向)
	荷重出力	±200kN
	速度	±500mm/s
	最大ストローク	±1250mm

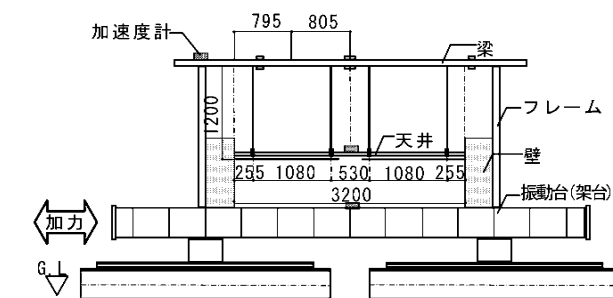


図7 振動台及びフレームの概要(単位:mm)

いずれの地震波も、東北地方太平洋沖地震で天井材が落下した工学院大学新宿キャンパス28階天井の揺れを再現するため、29階NS方向^{注2)}の床応答加速度を入力した。

表5 試験体・計測概要

SP配管の振動台実験			天吊り機器の振動台実験		
枝管	材料	SGP, 25A	木板	材料	合板
	長さ	2640mm		面積	555×500mm ²
	質量	7.1kg(2.9kg/m)			
巻き出し配管	材料	SUS316	ステンレス板	材料	ステンレス
	長さ	1100mm		面積	100×200mm ²
	質量	1.0kg(0.91kg/m)			
吊り材	規格	w3/8	吊り材	規格	w3/8
	長さ	800mm		長さ	600mm
総質量	8.1kgf		総質量	20.68kgf	

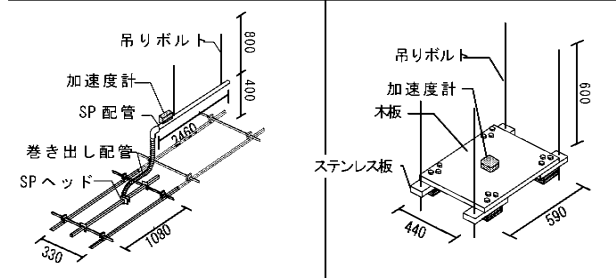
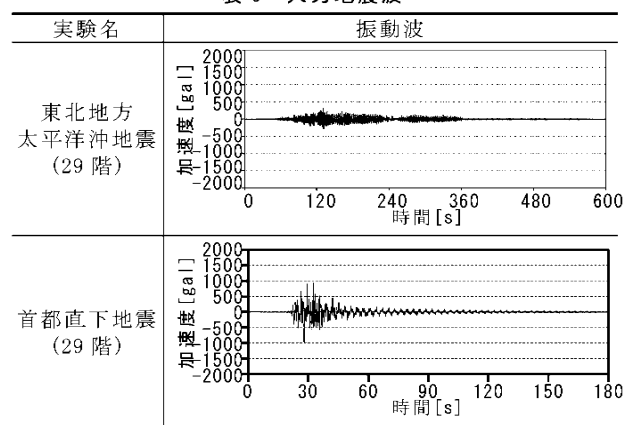


表6 入力地震波⁶⁾



4.3.2. 実験概要 SP配管を対象とした振動台実験

建築設備耐震設計・施工指針で示される±200mmの妥当性を検証するため、各階の床応答加速度が異なる超高層建築物に設置されたSP配管の応答変位量を解析モデルにより想定した。

解析ソフトはSNAP ver.5^{注3)}の立体フレームモデルを使用し、図8に示すような解析モデルを作成した。各種接合条件は表7に示すように実験時における各部材を目視した条件により設定した。なお、表中の半固定は、SP配管における静的加力実験の結果を参考に210kN・m/radの力が加わると動き出す条件とした。

図9に解析結果と実験結果を示す。首都直下地震

29F 入力と東北地方太平洋沖地震 29F 入力による解析結果と計測結果が概ね一致していることが確認され、解析モデルの再現性が確認できた。従って、本モデルを用いて超高層建築物に設置された SP 配管の応答変位量を想定した。想定には、首都直下地震による工学院大学の想定地震波(図10)をモデルの X 方向に入力した。

図11に配管の最大応答変位量を示す。配管の変位量の最小値は24階で-42mm~38mmであり、最大値は29階で-76mm~86mmであった。配管の変位量は、設備耐震設計・施工指針で示される±200mm程度の余長で充分対応でき、指針の数値の妥当性を検証した。

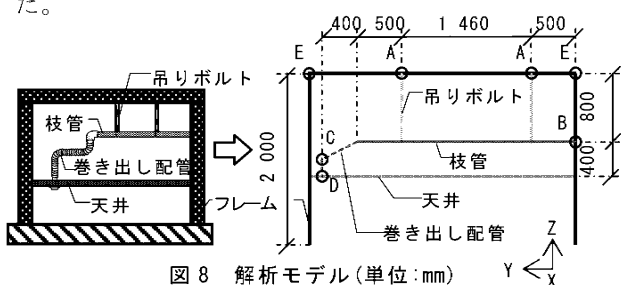


図8 解析モデル(単位:mm)

表7 解析に使用した配管や吊りボルトの接合方法

接合点	方向	設定自由度		
		X	Y	Z
A 吊りボルトとフレームの接合部	並進	固定	固定	固定
	回転	半固定	半固定	固定
B 支管とフレームとの接合部	並進	固定	自由	固定
	回転	半固定	自由	半固定
C フレキ中央部	並進	自由	自由	自由
	回転	自由	自由	自由
D ヘッド接続部	並進	固定	固定	固定
	回転	半固定	半固定	半固定
E フレーム	並進	固定	固定	固定
	回転	固定	固定	固定

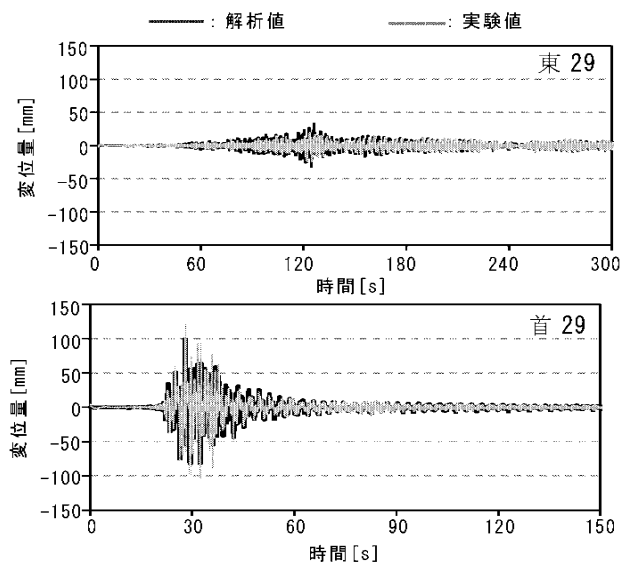
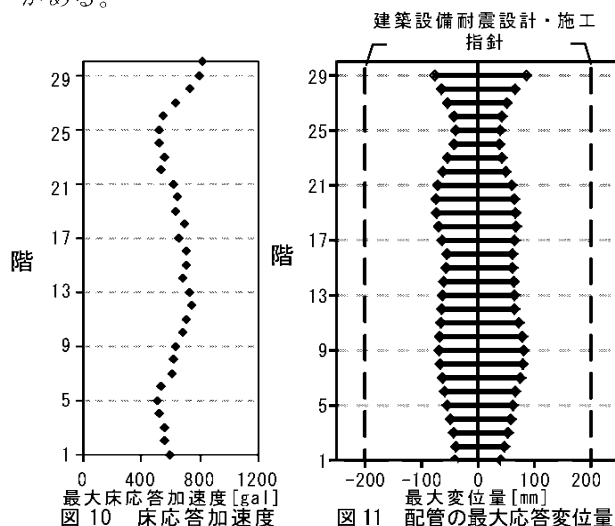


図9 算出した解析結果と計測した実験結果

しかし、本報において、解析に使用したモデルには、吊りボルトやフレキシブル配管特有の材料特性を考慮できていない。従って、それら各材料特性を考慮した解析モデルを作成するとともに、吊り高さや配管の接続方法の違いを考慮した実験を実施する必要がある。



4.3.3. 天吊り機器を対象とした振動台実験

(1) 振動台実験

吊ボルトが断続的な揺れにより破断に至る過程を再現するため、振動台実験を行った。なお、吊りボルトに最も負荷が掛る状態を再現するため、試験体の固有周期を図12に示すように算出した結果、固有周期は約0.4秒であると判断した。よって、図13示すように周期0.4秒の正弦波を入力地震波とし、継続時間は2分から吊りボルトが破断するまで2分ずつ継続時間を延ばしていった。

長時間の加振により試験体の応答加速度が低下する傾向がみられ、正弦波を10分間継続して入力した際に吊りボルトが破断した。実験で計測した天吊り機器の応答加速度は最大で約2425galであったのに対し、破断時の応答加速度は約1388galであった。これまで設備機器配管の耐力値を検討する際は応力の最大値を基に計算してきたが、長時間の加振によ

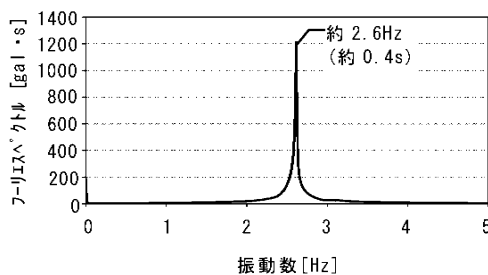


図12 天吊り機器の加速度フーリエスペクトル

る破壊を評価する際は、更なる実験データの蓄積が必要になる。

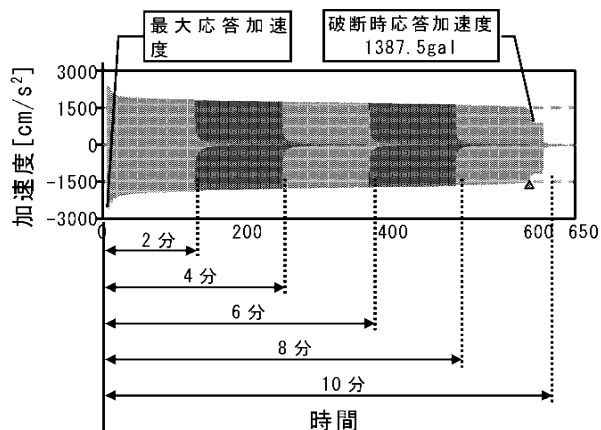


図13 正弦波(0.4s)加振による時刻歴応答加速度・変位

(2) 引張試験

振動台実験にて加振した吊りボルトについて、長時間の加振による材料強度の違いを調査するため、アムスラー型万能試験機 UH-200A^{注4)}を用いて引張試験を行った。

吊りボルトの引張試験で計測した引張応力(弾性限界)の平均値と実験値のばらつきを示す標準偏差を表9に示す。それらの数値を用いて図14に示す正規分布を求めた。正弦波(0.4s)加振後の吊りボルトは、加振時間が長くなるにつれて強度が低下し、弾性限界荷重のばらつきが大きくなった。更にデータを分析するためランダム波を入力した結果を見ると、揺れの継続時間が長い東北地方太平洋沖地震加振で

表8 実験で計測した引張強度の平均値と標準偏差

試験体名	弾性限界 [N/mm ²]	
	平均値	標準偏差
新品	328.1	8.6
東北地方太平洋地震	322.5	11.6
首都直下地震	317.5	10.7
正弦波(0.4s)2分	323.3	13.2
正弦波(0.4s)4分	306.0	13.7
正弦波(0.4s)6分	269.1	17.1
正弦波(0.4s)8分	258.7	19.6
正弦波(0.4s)10分	218.6	45.2

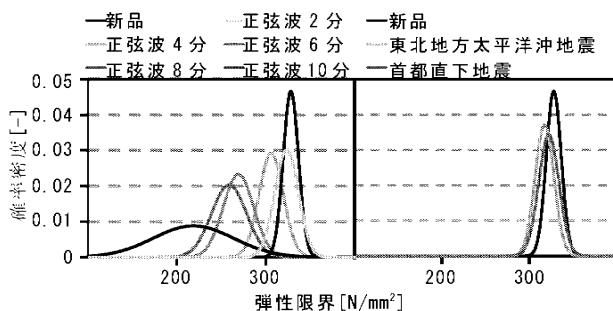


図14 吊りボルト引張試験結果の正規分布

は材料強度のばらつきが大きくなることが確認され、大きな加速度を持つ首都直下地震加振では材料強度の低下が大きいことを確認した。

これらの実験結果から、経年劣化や長時間の使用した設備機器・配管においては、材料強度の低下や強度のばらつきを考慮した評価を行う必要性を確認した。

5. まとめ

本報では、既存の超高層建築物における建築設備の地震リスクを定量的に評価するための指標として損傷確率の算出方法を示すとともに、損傷確率算出に必要なデータや指針の裏付けとなるデータを収集し、定量的なリスク評価を実現させることを目的とし、実験を行った。得られた知見を以下に示す。

- ・SP 静的加力実験において、経年使用した配管の強度低下と損傷時のばらつきが大きくなることを確認した。
- ・SP 配管の加振実験結果から、フレキシブル形配管の設置基準である±200 mmの変位量について、28階建ての超高層建築物における首都直下地震発生を想定した場合の変位量は最大で100 mm以下となり、指針の妥当性を検証した。
- ・加振実験に使用した吊りボルトの引張試験結果から、長時間の加振による材料強度のばらつきと強い揺れによる強度の低下を確認した。

参考文献

- 1) 社団法人建築設備技術者協会 震災復興支援会議：2011.3.11 東日本大震災による建築設備被害状況に関する調査報告，2011.9，p.3
- 2) 中村孝明，遠藤透：BCPへの貢献を目的とした建物の機能確保に関する研究，日本建築学会総合論文集，No.7，pp.87-92，2009.1
- 3) 遠藤透，中村孝明，大橋一正，萩原啓太：被害相関を考慮した建築設備の地震時復旧曲線の評価，日本建築学会技術報告集，第14巻，第28号，pp.503-508，2008.10
- 4) 室津義定，米沢政昭 ほか：システム信頼性工学，共立出版，1996.4
- 5) 日本建築センター：建築設備耐震設計・施工指針 2005年度版，2012.5
- 6) 田中良一，久田 嘉章：首都圏にある超高層キャンパスの地震防災に関する研究(その2)，日本建築学会大会学術講演梗概集，B-2，pp. 615-616，2007.8

注

- 1) 各設備機器・配管の損失額は、建設工事標準歩掛をもとに設備機器・配管が損傷した際に工事に掛かる費用を算出した。
- 2) N方向を+とする
- 3) 構造システム：SNAP ver.5 テクニカルマニュアル，2009
- 4) 本引張試験は吊りボルトを軸方向へ油圧方式にて加力を行うが、機器の仕様上1.0kNまではハンドルを人手により固定した。

地震に対するスプリンクラ設備の配管構造の強度解析

キーワード 地震 スプリンクラ設備 静的構造解析
建築設備 減災工学

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*⁵ 西川豊宏*⁴ 山下哲郎*⁴ 大橋一正*⁵

1. はじめに

我が国では、最近20年間でも、北海道南西沖地震から東北地方太平洋沖地震に至るまで、多くの地震が起きており、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られる。各々には特徴があり、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。

地震の二次災害として火災による被害が多く、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だが、1980年代以前に建設された建物のスプリンクラ設備は、可とう性の低い材料を使用した事例が多く、地震時にスプリンクラ設備の破損による消化機能の停止や、漏水に伴う水損の危険性も指摘される。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、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。

2. 昨年度までの成果の紹介

昨年度までの内容では、阪神・淡路大震災のほか、大規模な地震を想定した数値データを一つの研究室を取り上げ、その上部天井裏にあるスプリンクラ設備配管構造に入力することで、地震によって配管にかかる応力を見るといった解析を行ってきた。

3. 今年度の研究内容

3. 1. 今年度の目的・内容

本年度は、高層建築のオフィスビルに設置されたスプリンクラ設備の配管構造を研究対象として強度解析を行う。スプリンクラ設備構造及び配管構造要

素が地震の大きさ、その方向及び配管の支持条件の違いによる解析結果を比較検討することで、配管構造の健全性の確保につなげることを目的とする。

内容としては、工学院大学新宿校舎を対象に、高層ビルの解析対象のモデルとして取り上げ、オフィスビルに類似構造を持つ天井裏のスプリンクラ配管設備を現実に近い形で解析をする。新宿校舎のスプリンクラ設備を模造したモデルは以下の様なものである。

各部屋部まで行き渡っているスプリンクラ設備の配管構造は、呼び径150の本管から、末端が呼び径25で各部屋のスプリンクラヘッドまで伸びる。スプリンクラ設備の施工図面には全体構造が記載されているが、スプリンクラ設備の配管から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おらず、現場合わせの場合が多く、途中の配管構造は形状及び寸法が場所ごとに各々異なっている。

なお、支持の位置は実地検証により目視することで位置を確認し、モデル化している。黙視できない位置にある支持については、等間隔で支持をつけることで実物を再現している。図1がスプリンクラ設備の解析モデルである。

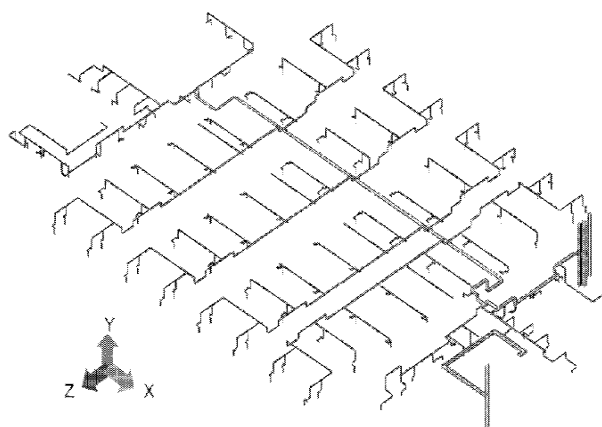


図1 スプリンクラ設備のモデル

*1 : 工学院大学大学院工学研究科機械工学専攻修士2年, *2 : 工学院大学工学部機械システム工学科教授
*3 : 工学院大学工学部機械工学科教授, *4 : 工学院大学建築学部准教授, *5 : 工学院大学名誉教授

3. 2. 負荷の大きさの変化による解析

負荷は地震を再現したもので、加速度を 0.2G 刻みで上げていく。配管に与えられた加速度の大きさに、許容応力と配管にかかる応力とを比較する。この解析結果を図 2 と図 3 に示す。図 3 では、丸が X 方向、四角が Y 方向、三角が Z 方向にそれぞれ配管に応力が最もかかった場所を意味する。

工学院大学 18 階スプリンクラ設備の配管構造は、Y 方向への負荷に対して、1G までに許容応力を超えることがなく、他方向の負荷と比べ、比較的安全といえる。Z 方向に加わる負荷は、約 0.9G で許容応力を超えることがわかる。X 方向へかかる負荷に対しては 0.5G 弱で配管の許容応力を超えてしまう。このため、X 方向への強い揺れが発生すると、配管が破損する恐れがあるといえる。また、実際に最も負荷がかかる点のほとんどは、配管構造の枝分かれした末端部分であるといえる。ここで考えられるのは、設計上の問題ではないが、建築構造の設備においての現場合わせ的な部分で、施工図面にないところに問題が出る可能性があり、目に付かない天井裏の配管などは施工の場で問題が出る可能性が示唆される。改善策として考えられるのは、支持を増やすこと、支持の方向を考え設置すること、現在では記されていない部分の設計図を、地震に強い設計として作り、壊れにくい最適な形状で配管構造を作るといことがあげられる。

3. 3. 階の違いによる値の変化

工学院大学では、東日本大震災による観測データがとられており、地下 6 階から、1 階、8 階、16 階、22 階、24 階、29 階に観測地点がある。これらの点で観測された加速度の最大点を、本研究用で作成した配管構造モデルにかけることで、階の違いによる応力のかかり方の違いを比較する。

まず、地震動を観測するためのセンサが 3 成分すべてそろっている 24 階の解析を大きくとり扱う。実際に 24 階で観測された加速度に対する解析結果を図 4 に示す。解析結果から言えることは、HPGSL に設定されている許容応力値の 163.58MPa と比較しても安全域にあることになるということである。これは、東日本大震災の際に新宿校舎で観測された加速度は、震源地から遠かったこともあり、配管にとっては大きな影響をもたらさなかった結果であると考えられる。また、他方向もほぼ同じ位置、同じ数値

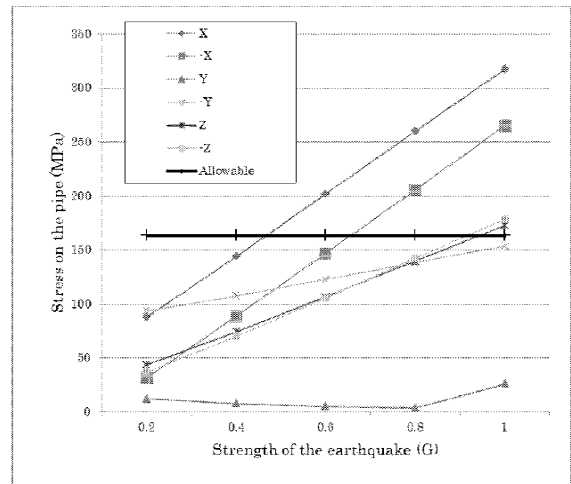


図 2 負荷が増えたときの応力の変化

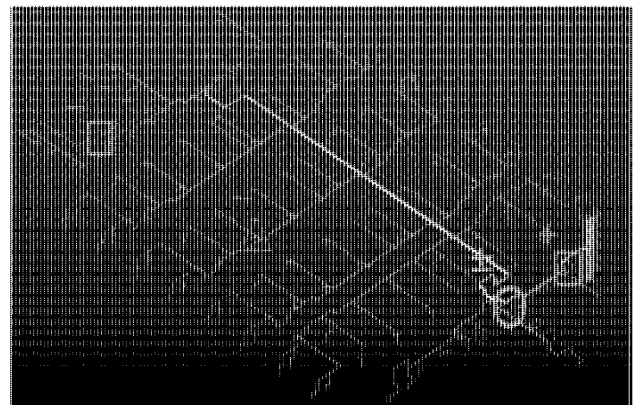


図 3 配管にかかる応力の最大点

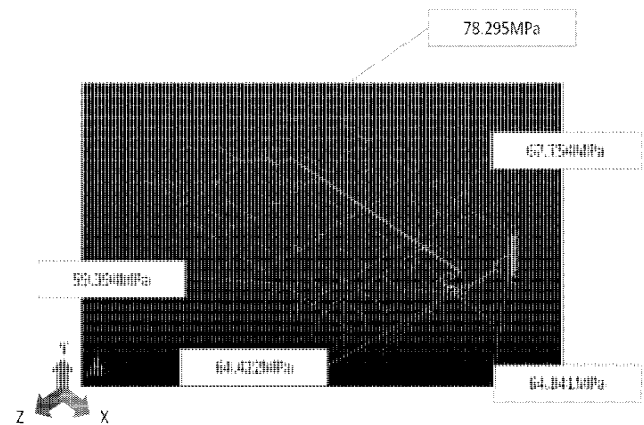


図 4 24 階の解析結果 (東方向)

を示した。高層ビルということもあったが、配管への影響という面においては大きくなかったといえる。また、どの成分もほぼ同じ応力のかかり方を示していることが見て取れ、特に最も応力が集中する箇所は、黙視できないことによる支持の不足だったためである。

また 24 階以外の部分でも実行し、それぞれの方向

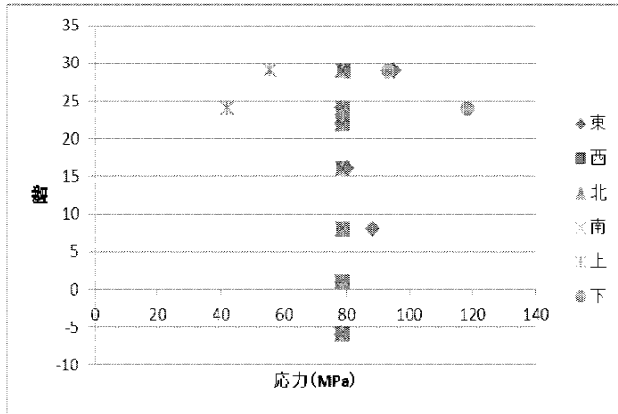


図5 階ごとの解析結果

ごとに比較する。図5にこの結果を載せているが、結果として、階ごとに極端な応力の違いがないことがわかる。特に西、北、南は1MPa以内に収まるほどの微々たる差でしかない。

確かに、本校校舎で観測された値を見ると、高層階であるほど揺れが大きく、その分だけ加速度も高層階が高い値を示している。しかし階の違いだけでは、配管に大きな影響を及ぼすだけの加速度の違いはなかったと考えられる。地震自体がもっと大きくなければ配管への影響は大きくなると考えられる。

3. 4. 配管静的加力実験の解析

配管静的加力は、建築学科の研究で行われた実験である。試験体は、呼び径25[A]のSGP配管を使用し、エルボやチーズは、ねじ込み式で接合されている。配管静的加力実験は、二股に分かれた一端を固定した試験体を、もう一端に上方向へ力をかけていくことで配管が破損するまでを見る(図6)。この実験を解析することにより再現している。表1には試験体ごとの寸法を示している。

この試験体を再現するにあたって作成したモデルは、溶接により管同士を接合したものとねじ込み式のものである。これら2種類のモデルの解析結果と、実験結果とを比較し、検討、考察をしていく。

まず解析で求めたこの2種類の値を比較するものとする。解析結果は図7のようになったが、溶接により接合された試験体の解析結果で、応力が最も高い点は、固定端から最も近い位置にある曲げの部分になっていることがわかる。また、ねじ込み式の試験体の応力が最も高い点は、固定端付近に取り付けられたチーズの部分であることがわかる。応力の比較をすると、ねじ込みされた試験体のほうが、溶

接により接合された試験体よりも応力が高くなっている。これは、溶接された試験体のほうが、ねじ込みにより作られた試験体よりも丈夫であることをあらわにしている。

続いて建築学科から頂いた実験より求められた結果と、ねじ込み式の解析により求めた結果についての比較を行う。解析で求めたものは、チーズと管のつなぎ目の部分が最も破損する確率は高く、実験で破損した部分も破損の確率でみると実験結果と解析結果は一致するものと言える。

次に荷重に対する強さの比較をする。図8がその比較だが、ほぼ実験値内に解析値が入っており、実験と解析が一致することがわかる。実験値と若干のずれは、目分量によるものとなるために精度が悪いという理由や、降伏点の取り方の違い、実験と解析で使われている材料の違いによるものなどが考えられる。

変位についての比較は、実験で求められた変位は、解析で求められる変位と比較し、大差がなく一致し

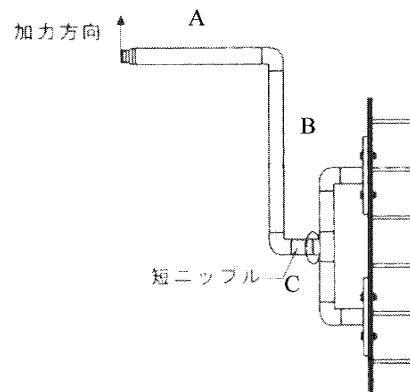


図6 加力実験

表1 試験体の寸法

(mm)	A	B	C
1	195	324	4
2	215	364	14
3	255	384	14
4	690	164	4
5	205	439	4
6	255	404	14
7	235	524	4
8	220	179	44
9	255	194	44

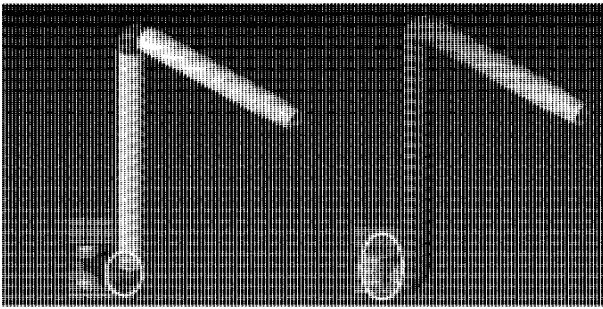


図7 解析による応力の分布
(右が溶接、左がねじ込み式)

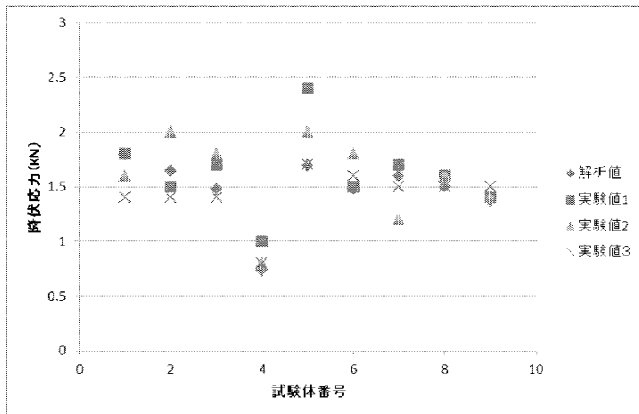


図8 実験値との比較

ていると言える。ここに表れた誤差の原因として、配管に施すねじ切りのむらや、実験環境の面で大きな伸びがあったなどが考えられる。

3. 5. まとめ

本報告では主にフロア全体の配管構造のモデルについて、地震による加速度を負荷とし、揺れの大きさや方向を変化させて与え、配管構造の強度を検討した。また、静的加力実験をコンピュータ上で再現することでスプリンクラ設備を構成している要素の詳細なデータを取ることができ、また解析の妥当性を確認するといった作業をしてきた。以上これらの解析結果から得た結論を次のようにまとめる。

(1) スプリンクラ配管構造に南北、上下、東西の成分ごとの地震負荷を与え、配管構造の強度を検討した。ここで構造内ではどういった点に応力が発生しやすいか、どの方向から与えられた負荷に対して弱いのかを確認した。

(2) 実際に発生する地震の多くは、配管自体に大きな影響を与えるものではないが、大地震でかつ震源地が近い場合には配管の破損の恐れがある。可と

う性のある管を使用することが望ましいが、できない場合は支持の検討が良い選択であると考えられる。本研究では支持のあり方を改善する事を示唆し、支持の条件や支持数は非常に重要な役割を持つことを証明した。現状では問題ないと言える支持も、コスト面、安全面を考慮した支持数やその位置をさらに改善していくことが必要と考える。

(3) 配管は、その状況、用途に合った部材、接合方法、構造を考える必要がある。スプリンクラ設備を構成するうえで問題となるのは建築及び土木分野で行われる現場合わせである。解析の中でもこれらの点に応力が掛かりやすいことが見て取れる。計画図及び施工図と実際の配管が異なることがあり、解析上に注意が必要だけでなく、感覚だけでつなぎ合わせることは問題が起こりやすい点と考えられる。

4. おわりに

建築物では軽視されがちである配管設備の構造だが、ライフラインの確保及び減災工学の立場から、配管設備の健全性も重要な意味を持つ。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言える。このような配管設備等の解析は、実際に建物が建てられる段階でも取り入れるべきであり、災害が発生した二次災害を未然に防ぐことにつながっていくと考える。

5. 今後の予定

正確な解析結果を出すため、特に解析上での支持の固定条件の見直しや、動的解析を進めていくことが必要と考える。

参考文献

- 生野雅也, 齋藤久, 小林光男, 後藤芳樹, 一之瀬和夫, 小久保邦雄: 減災のためのスプリンクラ配管構造の解析, 都市減災工学研究センター研究報告(2011)UDM. 2)
- 生野雅也, 小林光男, 後藤芳樹, 一之瀬和夫, 小久保邦雄, 大橋一正, 西川豊宏, 山下哲郎: 地震によるスプリンクラ配管構造の強度, 都市減災工学研究センター研究報告(2012)UDM.
- 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: 首都圏直下地震・活断層等による地震動予測と超高層建物等の災害対策, 都市減災工学研究センター研究報告(2012)UDM.

熱負荷を受けるねじ締結体の軸力挙動に及ぼす座金の影響

キーワード：ねじ締結体，熱負荷，軸力挙動，
 初期締付け力，座金

小林光男* 丸山美紀子** 後藤芳樹***
 一之瀬和夫* 小久保邦雄***

1. 緒言

建築系構造物及び各種プラント設備などを構成する構造は，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．それらの管と管の結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や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ほかに温度負荷を受けることになる．この配管構造のフランジ継手など，被締結体が熱負荷を受ける場合，ボルト軸力（初期締付け力を含む）が熱負荷により生じる追加軸力，または除熱による減少軸力により変化することが考えられる．つまり，追加軸力はボルトの降伏点を超える場合や，減少軸力は初期締付け力を低下させることが考えられるために，これらの関係を明らかにすることは，ねじ締結体を含む機械の安全性及び信頼性に大きく影響を与えるので，この問題は，熱負荷を受けるねじ締結体の設計上重要であると考えられる．

＜これまでの研究経過＞

本小課題では，熱負荷による追加軸力の存在，軸力に及ぼす初期締付け力の影響及び締付け長さの影響について，ねじ締結体の高温設計の注意点を実験的に検討している．

本報告では，被締結体の締付け範囲を支配（被締結体のばね定数）する座金に着目し，ねじ締結体が熱負荷を受ける場合の座金の作用がボルト軸力へ及ぼす影響を検討し，ねじ締結体の高温設計における座金（材料や形状寸法による剛性）がボルト軸力挙動へ与える影響を検討する．

2. 理論

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，初期締付け力と温度負荷によるねじ締結体の軸力挙動，熱負荷によるボルトの追加軸力を把握しようとするものである．ボルト・ナットで被締付け物に初

期締付け力 F_f で締結すると，ボルトには λ の伸び，被締付け物には δ の縮みが発生し，各々が比例関係にあるとすれば次式となる．

$$F_f = K_t \lambda, \quad F_f = K_c \delta$$

ここで， K_t はボルト系の引張りばね定数で， K_c は軸方向外力 W が作用すると，締付け長さ（ボルトとナット座面間の距離）は $\Delta\lambda$ だけ伸び，ボルト軸部に F_t の追加軸力が生じ ($F_f + F_t$) の軸力となり，被締付け物からは F_c の圧縮力が失われ ($F_f - F_c$) の締付け状態となる．これらの関係は次式となる．

$$F_f + F_t = K_t (\lambda + \Delta\lambda)$$

一般的には内力係数 ϕ は，各種外力 W のうちボルトが分担する荷重の割合を示し， K_t と K_c の大小関係によって求まり，外力が同じであっても F_t の大きさが異なる．これらの関係について静的，振動，疲労及び衝撃等の各種外力について検討されている．本報告のように熱負荷に対する追加軸力については他の外力の場合と比べ影響因子が多く非常に複雑である．

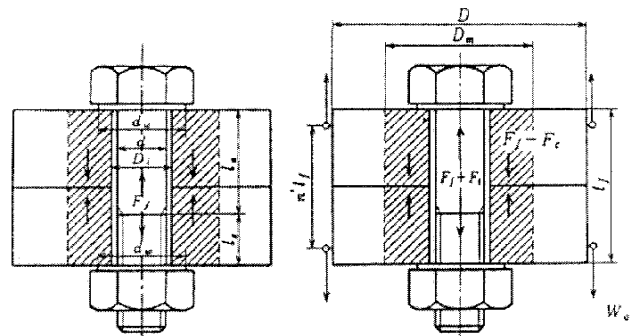


Fig.1 Model of bolted joints

3. 実験

3.1 試験片及び実験装置 ねじ締結体モデルにおいて被締結体の形状・寸法は，40×40×20の直方体を2枚，単一ボルトで締結し（通し穴径直径11mm），材質はアルミ合金 A6061 製である．また，ボルトは呼び径 M10×1.5 六角ボルト（首下長：60mm，ねじ部長さ：30mm）で，強度区分 8.8 ボルトの鋼製の転造後

* : 工学院大学工学部機械システム工学科，
 *** : 工学院大学工学部機械工学科

** : 工学院大学大学院工学研究科修士課程1年

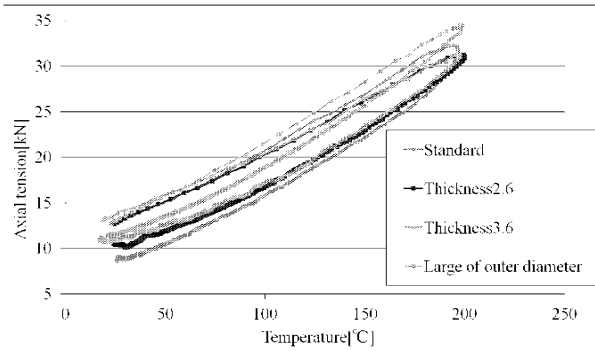


Fig.2 Behavior of axial force by thermal load(S45C)

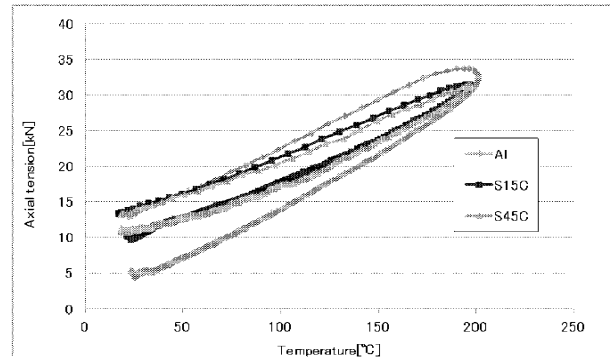


Fig.3 Behavior of axial load by thermal load(thickness 3.6)

熱処理ボルトで、材質は S45C の炭素鋼である。

3・2 座金 座金はアルミニウム合金、S15C、S45C の 3 種類の材料を使用する。また、それぞれの材料に対して、M10 の一般的な座金の形状（以下、座金の形状を（内径×外径×厚さ [mm]）とする）を標準の座金（11×22×1.6）として、外径が大きいもの（11×32×1.6）、厚さが 1mm 厚いもの（11×22×2.6）、2mm 厚いもの（11×22×3.6）をそれぞれ使用する。

3・3 実験方法 実験測定システム及び実験方法は、前報告と同じである。

4. 実験結果及び考察

4・1 共通する軸力挙動：図 2 と図 3 より、ねじ締結体に熱負荷を与えた場合にボルト軸力は増加することがわかる。ボルト軸力は温度増加と直線関係にあり、徐々に冷却すると、温度は室温に戻り、軸力は初期締付け力より低下している。これは、ボルトの応力緩和に関係していると考えられる。

4・2 座金の厚さの違いに対する軸力挙動：図 2 より、座金の厚さによる軸力挙動の違いはほぼ見られないことがわかる。他材料も同様な挙動をとった。材料によるばらつきはあったが、同一の材料の座金の厚さに関して差異はない。これは、被締結体に対して座金が硬いため、圧縮変形量が大きく、被締結体の陥没によるものと考えられる。材料ごとにばらつきが見られたのは材料による強度が異なるためと考えられる。

4・3 座金の大きさに対する軸力挙動：図 2 より、標準と比較して、外径が大きい座金の方が最大軸力が大きく軸力低下が小さい。このことから座金の外径の大きさ、つまり被締結体との接触面積が影響しているといえる。ただし、アルミニウム合金の場合は標準と外径大は同様の軸力挙動を示した。

4・4 座金の材料の違いに対する軸力挙動：図 3 より、アルミニウム合金が突出したグラフになり、S15C と

S45C がほぼ一致したグラフとなったことがわかる。このことから、材料による違いは剛性が関係していると考えられる。つまり、S15C と S45C は被締結体であるアルミニウム合金に対して剛性が同じであるといえる。剛性は材料面からいえば、ヤング率に依存しており、S15C と S45C はヤング率が共に 206GPa である。よって、座金の材料に対する軸力挙動はその材料のヤング率に依存すると考えられる。また、アルミニウム合金が突出したグラフになったことは、軸力がアルミニウム合金の降伏点である 274MPa に達しているため、塑性変形が生じていることも一因であると考えられる。

5. 結言

1) 共通する軸力挙動：ねじ締結体が高温負荷を受ける場合、座金の材料や形状に関わらず軸力が上昇し、室温となると軸力が初期締付け力よりも低下する。これは応力緩和によるものである。

2) 座金の厚さの違いによる影響：座金の厚さによる違いはほとんどない。被締結体に対して座金が硬いため、圧縮変形量が大きく、被締結体の陥没によるためである。

3) 座金の大きさによる影響：座金の大きさ、つまり被締結体との接触面積が影響しているといえる。しかし、アルミニウム合金の場合は座金の大きさによる違いは示さない。

4) 材料の違いによる影響：アルミニウム合金は突出した軸力挙動を示し、S15C と S45C は同様な軸力挙動を示した。つまり、座金の材料に対する軸力挙動はその材料のヤング率に依存する。

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*, 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伴い、地震後の影響評価は重要な課題となっているが、過大荷重がボルトの耐久性・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。

〈これまでの研究経過〉

2009年度：ボルトの過大荷重疲労試験を実施するにあたり、供試ボルト・ナットのサイズおよび鋼種を選択した。サイズはM8、鋼種はSCM435とS45Cの2種類について引張試験を行い、過大荷重疲労試験に適したS45Cを選択した。また、標点距離（ボルト頭－ナット間距離）の異なるS45Cボルトの引張試験を実施し、ボルト直径dに対し標点距離を1.2dとすることが適切であることを確認した。

2010年度：S45Cボルトの疲労試験を行い、S-N曲線を作成した。この曲線を基に、S45Cボルトが確実に疲労破断する繰返し数、 $N_f = 10^6$ 回の応力振幅を一定荷重による疲労試験を行う応力振幅とし、この応力振幅において9本の試験片を用いて、破断繰返し数求め、ワイブル確率分布を仮定し、50%破壊確率の破断繰返し数 $N_f = 6 \times 10^5$ 回を求めた。

2011年度：過大荷重疲労試験を実施した。一定荷重の疲労試験の途中で1回だけ過大荷重を加えることにした。過大荷重の大きさは繰返し荷重に対する比率、いわゆる過大荷重比を1.5、2.0、3.0倍とし、それぞれ5回ずつ試験を実施した。過大荷重負荷時期は、破断寿命の50%にあたる 3.0×10^5 回とした。過大荷重比1.5、2.0、3.0倍の疲労寿命は、過大荷重なしに比べ、それぞれ3.3、1.2、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傾向を示したとなった。

本報告では、過大荷重の繰返し数を10回、100回とした場合について報告する。過大荷重負荷時期および大荷重比は前報と同様、破断寿命の50%、 3.0×10^5 回、過大荷重比1.5、2.0、3.0倍である。

2. 実験方法

2.1 供試材料 本研究では、市販のS45Cのボルト・ナットを用いた。詳細は表1に示す。ボルトの有効断面積は 36.6 mm^2 である。応力の算出にはこの有効断面積を用いた。

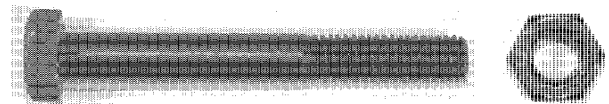


図1 S45Cボルト・ナット

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、片振り引張り繰返し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。

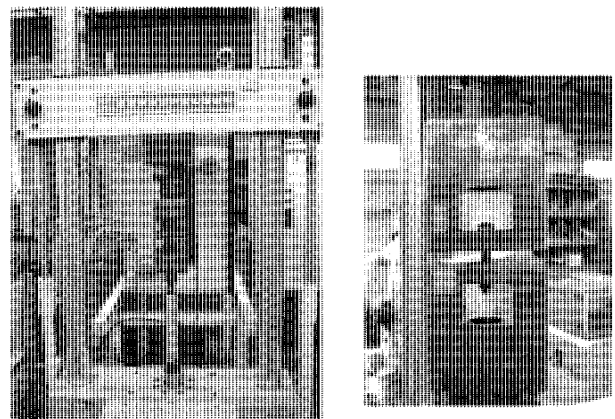


図2 疲労試験機及とホルダーへのボルトの取付け

* : 工学院大学工学部機械工学科教授, ** : 工学院大学工学部機械システム工学科教授,
*** : 元工学院大学教授

3. 実験結果及び考察

疲労試験を実施し、図3に示すS-N線図を作成した。この線図から破断繰返し数 10^6 回における応力振幅 74MPa をもとめ、過大荷重試験の繰返し応力とした。このときの繰返し最大荷重は 5.9kN となる。過大荷重の大きさ、いわゆる過大荷重比は、繰返し最大荷重に対する比率で表わし、1.5、2.0、3.0 倍とし、それぞれ荷重 8.8kN、11.8kN、17.7kN に相当する。過大荷重負荷時期を、破断寿命の 50%、 3.0×10^5 とし、過大荷重を 1、10、100 回加える過大荷重疲労試験を実施した。

図4は、過大荷重を1回加えた場合であり、試験の結果をワイブル確率紙上にプロットした。図から、破断確率 50%の繰返し数を求めると、過大荷重比 1.5、2.0、3.0 倍の疲労寿命は、過大荷重なしに比べ、それぞれ 3.3、1.2、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が、疲労寿命の増加傾向は、過大荷重比 3.0 倍 > 1.5 倍 > 2.0 倍となり、過大荷重の大きさの順にはなっていない。

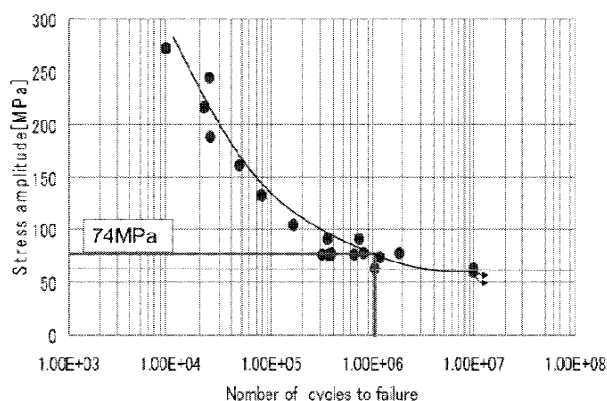


図3 S45CボルトのS-N線図

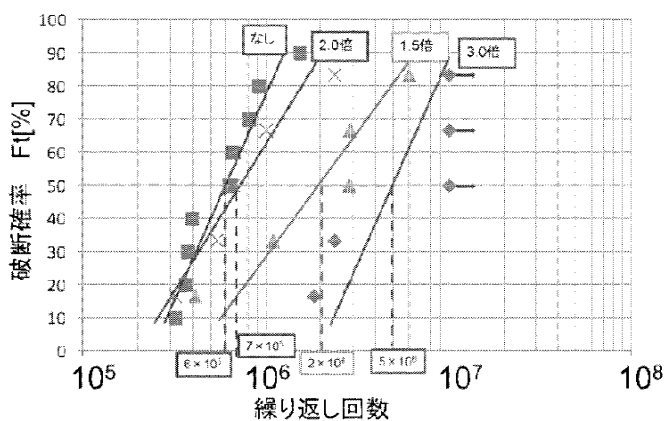


図4 過大荷重1回のワイブルプロット

過大荷重を10回及び100回加えた場合について、同様に試験を行い、試験片数が3本ずつではあるが、50%破断確率の破断繰返し数を求めて表2に示した。寿命比は、過大荷重なしに対する過大荷重ありの50%破壊確率破断繰返し数である。また、前報で報告したように、ボルトとナットとのはめあい端におけ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から、過大荷重が増加した場合の寿命比増加の傾向は、以下のように考えられる。

過大荷重比 1.5 倍では、ねじ底において部分的に降伏が起こっている状態、2.0 倍では全断面において降伏が起こっており、3.0 倍では全断面の硬さが増加しており、さらに加工硬化が進んでいる状態であることがわかった。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が大きいものと考えられる。したがって、1.5 倍では、繰返し数が10回までは寿命比が増加するが、100回では残留応力が消失し、寿命が伸びなかったものと考えられる。また、2.0、3.0 倍の場合には、10回までは加工硬化によって寿命は増加するが、100回では疲労による被害が優位となり、硬さも増加せず、寿命比も10回の場合よりも減少したものと考えられる。

結論および参考文献： 省略

表2 過大荷重による疲労の寿命比

過大荷重	過大荷重比	過大荷重回数	50%破壊確率破断繰返し数 $\times 10^5$	試験数	寿命比
なし			6	9	
	1.5	1	20	5	3.3
		10	18	3	3.0
あり	2.0	100	6	3	1.0
	2.0	1	7	5	1.2
		10	23	3	3.8
	2.0	100	13	3	2.2
3.0	1	50	5	8.3	
	10	50	3	8.3	
	100	28	3	4.7	

* : 工学院大学工学部機械工学科教授, ** : 工学院大学工学部機械システム工学科教授,
 *** : 元工学院大学教授

スロッシングとタンク強度の検討

小久保邦雄* 後藤芳樹* 小林光男*

*

1. 緒言

貯水タンクの地震時の信頼性はきわめて重要な課題である。高層ビルのスプリンクラーなどの貯水タンクでは火災発生時の初期消火に必須である。また災害後の飲み水の確保などにも必要である。

貯水タンクにはその大きさや形状も種々のものが用いられ、大型の直方体や円筒形状のものなどがある。背の高いものでは転倒モーメントにより基礎の破壊が見られる。直方体のタンクでは側面の平板部が内圧の変動により曲げ変形を受けて接続部で漏水するものも見られる。また天板の破壊によりタンク形状を保つことができなくなり全体が破壊するモードもある。円筒タンクでは平板よりも剛性が高いが圧縮応力側に種々の座屈変形が生じこの部分から漏水することもある。

本研究ではこれらの種々の破壊モードに対して内部流体の運動や内圧の影響を明らかにすることを目的として振動台による加振実験と数値解析によりタンクの破壊に及ぼす流体の運動や内圧の影響を明らかにする。

2. 振動台によるスロッシング挙動の測定と座屈実験

容器内流体のスロッシング挙動の測定には図1に示す幅300～800mm、高さ1000mmで奥行き300mmの二次元タンクを用いて、側板と前面はアクリル板で、内部の水位を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流体運動の固有周期を求め、それを考慮して兵庫県南部沖地震東西波の時間軸を決め、加速度の大きさは10%～17.5%を入力する。図2には振動台による加振実験で用いた兵庫県南部沖地震波を示している。振動台が1次元振動台のため、兵庫県南部沖地震波のEW方向の加速度を使用した。流体の水位の変動、側面や天板の圧力とひずみを測定する。水面の揺動は水に微量の白色水性塗料を加えレーザ変位計荷より測定する。側板のひずみは圧力計によりうまく圧力が測定できないとき応力から圧力を換算するために測定した。図1に測定器の取り付け位置をあわせて示す。

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。

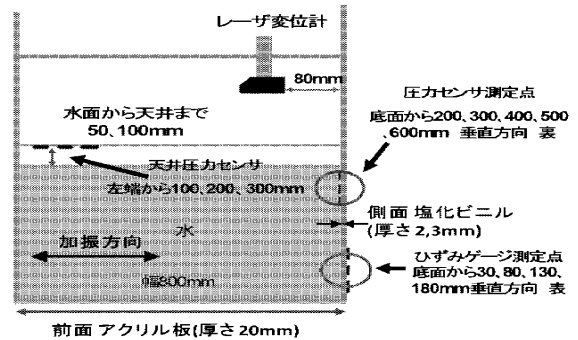


図1 実験タンクと測定位置

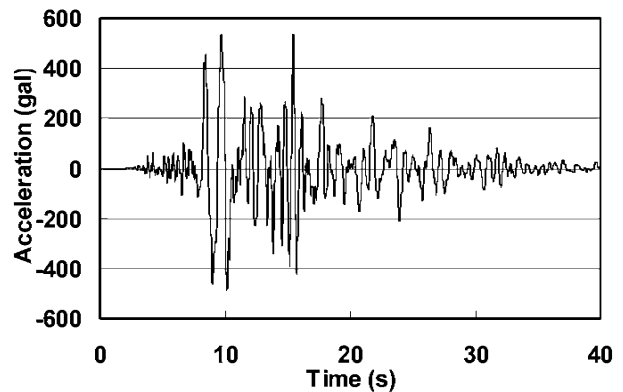


図2 入力加速度(兵庫県南部沖地震波 (EW方向))

側面での圧力の測定は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もので、測定位置はタンクそこから100～400mmで測定した。

振動台による円筒タンクの動的座屈実験で使用したタンクは直径600mm、高さ650mmで厚さ0.19mmのポリエスチルシートを上下のフランジに巻き付けて作成した。内部に液体を有するタンクの座屈実験では座屈後の水漏れ対策が必要であるため、ここでは小型の容器を手作りで製作した。また座屈現象は座屈開始時の変形が目視では観察しにくいいため、壁面の裏表のひずみ測定により曲げ変形の発生により座屈判定をおこなう。実験を行う前に数値解析のデータを参考に、座屈波形が発生する箇所とモードを推定し、その近傍の壁面の曲げひずみの測定から座屈発生を判断する。また座屈するときの円筒容器の膜応力を測定し、座屈発生限界を明らかにする。

* 工学院大学工学部機械工学科, ** 工学院大学工学部機械システム工学科

3 有限波高スロッシング解析と実験の比較

解析は ANSYS の線形の構造・流体連成解析機能と有限要素法構造解析 ANSYS と流体解析 STAR-CD (非定常,自由表面解析) を 2 台のパソコンで連成させるソフト MpCCI を用いて行う。解析との比較のため実験で用いたタンクは直方体で、寸法は幅 860mm, 高さ 740mm, 奥行き 140mm であり、流体内部に隔壁を入れた実験(図 3)も行い、両者を比較した。振動台の入力加速度は兵庫県南部沖地震波の実際の加速度の 10~17.5%である。測定方法は図 1 に示した方法である。

図 4 と 5 に解析と実験による液面変位の時刻歴応答の比較を示す。図 4 に示す通り ANSYS の線形解析法では加速度 10%程度で微小の液面変位では実験結果と解析結果はよく一致している。しかし、この方法ではそれ以上の大振幅スロッシングになると液面の揺動変位は計算と実験で一致しなくなる。そこで流体ソルバ STAR-CD と連成インターフェイス MpCCI を用いて ANSYS の構造解析を連成させる解析を行った。連成システムでは、それぞれの専用ソルバを用いて構造と流体の解を転送し、ある時刻の構造の変形を境界条件として流体の解析を進め、この解をもとに次のステップの構造の解析をすすめる、いわゆる弱連成の解析を進めていく。このような解析を行うと図 5 に示す通り加速度 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った。これによりタンクへの負荷を適切に評価する解析方法が得られた。

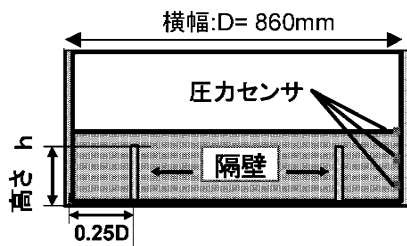


図 3 タンク(隔壁あり)

つぎにモデルタンクには東西方向に高さ 100mm 厚さ 3mm の塩化ビニル製隔壁を設置し、入力加速度は地震波の 10~17.5%とし、水位は 300mm である。

実験でも同条件の隔壁を設置したタンクを用いて、底面から 10cm 間隔で圧力センサを貼付した。隔壁のある場合にも圧力センサの測定からタンク側面にスロッシングが与える圧力変動が連成解析による値と精度良く一致していることを確認した。

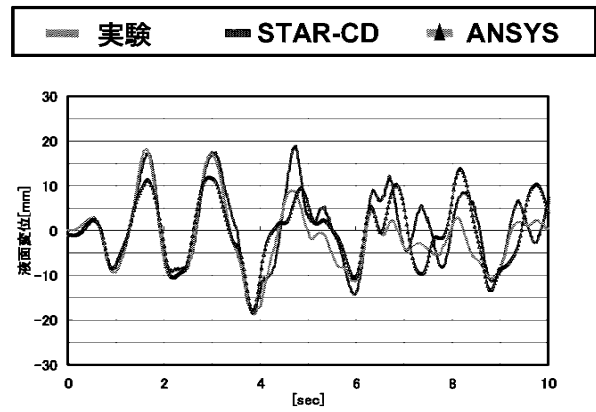


図 4 液面の時刻歴応答(水位 100mm 加速度 10%)

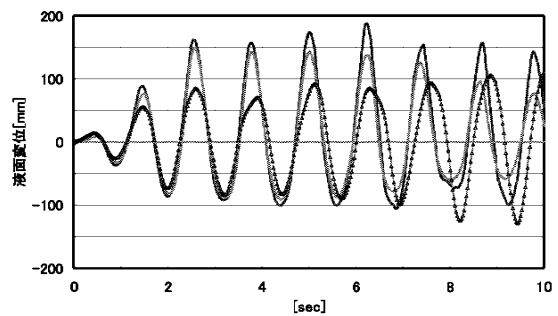


図 5 液面の時刻歴応答(水位 300mm 加速度 17.5%)

図 6 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。実験と解析の比較は加速度が小さいところでのみ行うことができるが、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が、この部分では図 7 に示すように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、タンク的设计では注意が必要である。

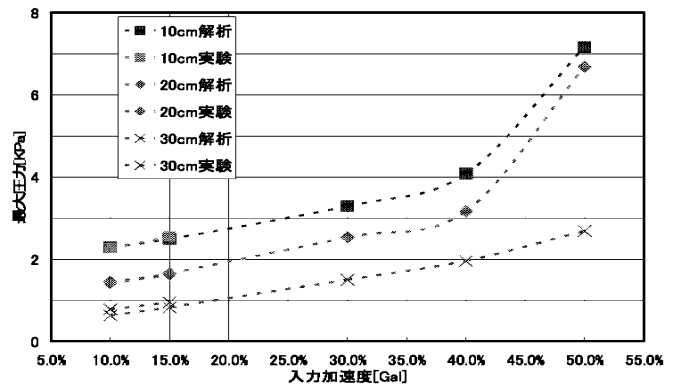
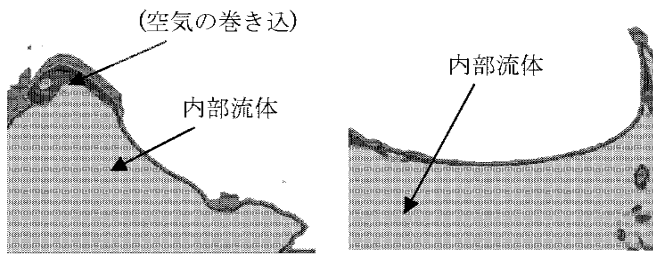


図 6 側板の圧力の実験と解析の比較(隔壁なし)



(a) 2.77[s] (b) 3.08[s]

図7 内部流体の動き(入力加速度50%)

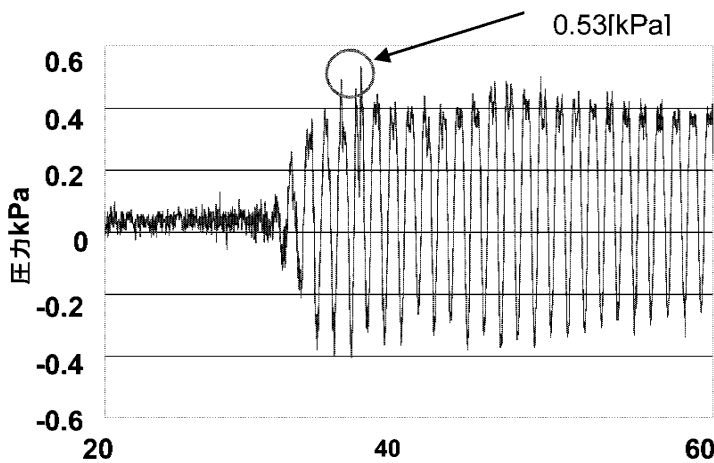


図8 タンク側面の圧力変動の測定

(幅600mm 水位600mm 加速度10%)

タンクの側面の水位600mm 加速度10%のときの圧力変動の測定例を図8に示す。一方、天井に発生する最大圧力は加速度が17.5%のときに1.95kPa発生した。側面の水圧力変動の最大値を加速度が17.5%のときに換算すると0.93kPaであるから天井に発生する圧力のほうが大きくなるのがわかり、タンクの設計では天井のパネルの方に注意が必要である。

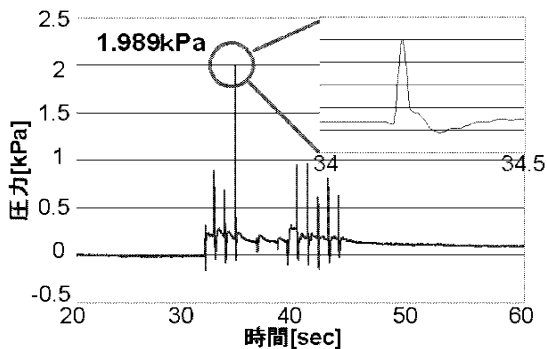


図9 天井に発生する圧力

(幅600mm 水位600mm 加速度17.5%)

これらの実測と解析により貯水タンクの側壁や天井に加わる圧力が評価できた。これらのデータはタンクの設計で考慮しなければいけ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、タンク壁面に生じる流体から圧力も評価でき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。

4 円筒タンク動的座屈

座屈実験用に製作したポリエステル性の薄肉タンク壁面の水位450mmのときには加速度34%の加振時のひずみ測定結果を図10に示す。この図から四角枠で囲った時刻のタンク表裏のひずみ変化より2つのひずみの変化分の符号が逆になっていることから大きな曲げ変形が生じていることがわかる。このようにひずみの時刻歴応答の変動を見ることにより、座屈変形が発生していることがわかる。

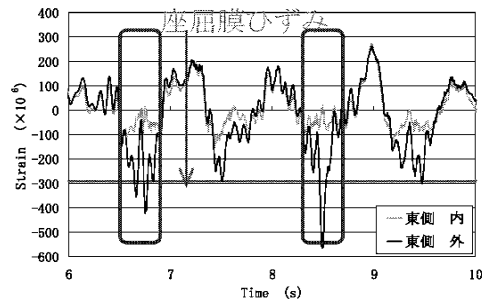


図10 壁面のひずみ測定結果(6~10秒の拡大図)

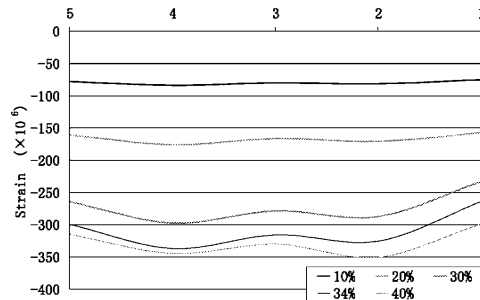


図11 円周方向ひずみ(水位450mm)

図10よりタンクの軸方向ひずみの測定から座屈変形が発生したと判断できることを見た。周方向ひずみも座屈モードの発生を確認するために円周方向の5箇所に座屈変形の波長を想定してひずみを測定した。タンクの周方向に貼り付けたひずみの測定結果を図11に示す。この図から振動台の入力加速度の小さいときにはタンク壁面表の周方向のひずみの値には変動が見られないが、入力加速度が大きくなるにつれてタンク壁面に座屈波長で変形が生じ、壁面が波打つ現象が起きていることが確認できる。

つぎに、図 12 の水位 600 mm のときの実験では水位 450 mm のときと同様に入力加速度 34% で座屈膜ひずみに近づくにつれて曲げひずみが大きくなっていることが観察できる。しかし水位 600 mm の時は 450 mm のときと異なり外側と内側のひずみの値が逆になっていることがわかる。ひずみの値の詳細を確認するために図 12 のひずみの時刻 5～9 秒の時刻歴応答を見てみると四角枠で囲った時刻で表裏のひずみの変動分の符号が逆になっていることが確認できる。すなわち水位 600 mm でも加速度 34% で座屈現象が発生し曲げひずみが大きくなっていることが確認できた。

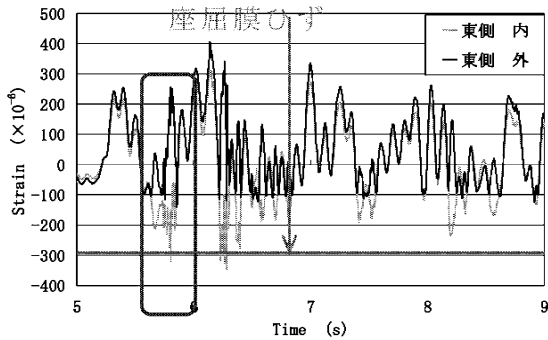


図 12 時刻歴応答拡大図 (5～9 秒)
(水位 600mm 加速度 34%)

ひずみの測定結果からタンク壁面の座屈変形の波打ち形状が観察できたが、実験後の大きく座屈した後の変形は図 13 のようになり、いわゆるダイヤモンド座屈と呼ばれる凹凸の大きな変形が生じていた。これらのダイヤモンド座屈の凹凸の測定では、ひずみゲージの測定位置を凹凸発生場所に対応させることは難しく、裏表の一方だけでは測定が難しいことを意味する。

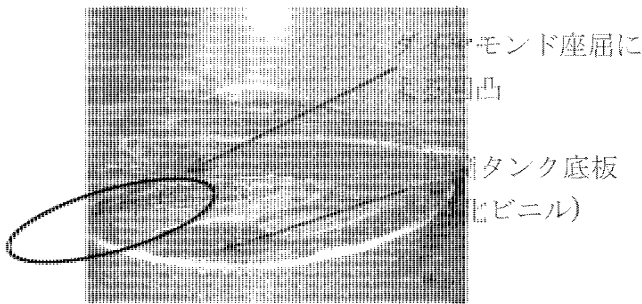


図 13 ダイヤモンド座屈

実験ではダイヤモンド座屈となり、象脚座屈はえられなかった。このため解析により内部の流体圧を考慮して下端固定、上端に横荷重を加える座屈解析を行った。内部の流体を次第に増加させると水位上昇に伴いせん断座屈モードが発生する場所が上に移動して、座屈荷重の増加も見られた。水圧によるタンク壁面の引張り応力により剛性が増加する効果が得られるためである。水位が 0mm～540mm までは、せん断座屈が発

生していたが 550mm を超えると、図 14 に示すようにせん断座屈が発生する前に下端のダイヤモンド座屈に変化し、静水圧を考えると、水位 600mm でダイヤモンド座屈が生じることがわかる。背の高いタンクを想定して、内部圧力をスカラー倍して徐々に増加させると圧力がほぼ 2 倍のとき図 15 に示す象脚座屈が発生した。これより約 2 倍の高さを持つ円筒タンクでは横加重が加わると内圧のため象脚座屈モードが発生することがわかり、薄肉のタンクでも地震時に象脚座屈が発生する一つの原因として内圧の効果が考えられることがわかった。

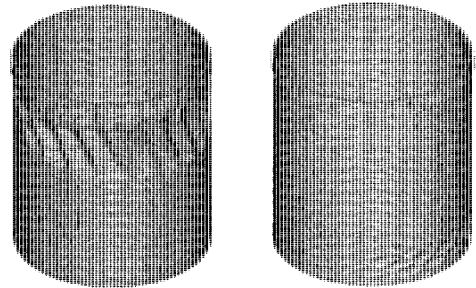


図 14 せん断座屈とダイヤモンド座屈変形
(内部に流体を有する場合の横荷重座屈)

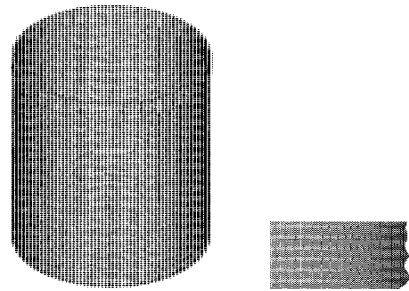


図 15 象脚座屈の変形図
(内部の流体による内圧が大きい場合)

5 まとめ

実測と解析により貯水タンクの側壁や天井に加わる圧力が評価できた。また、解析手法についてもタンク側壁の圧力や水位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、タンク壁面に生じる流体から圧力も評価でき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。

地震時の貯水タンクに見られる象脚座屈についても背が高く内部の水圧により内圧が大きくなると、解析でもせん断座屈の位置の上昇とダイヤモンド座屈のみならず、象脚座屈が発生することがわかった。象脚座屈発生には、容器内部の圧力の作用が大きく関係していることが確認できた。

補修・補強用締結構造の開発および強度評価方法 — 複合負荷法の設計とそれによる実験 —

一之瀬和夫*小林光男*後藤芳樹*小久保邦雄*若林博之**

1. まえがき

既設建造物の緊急補強施工や補修工事の方法は多様であることから、いろいろな手立てを用意する必要がある。補修時の構造締結作業で狭隘な部材の内部へ作業者が侵入することが不可能な場合もある。また、変形した建造物が補修工事の進捗を遅らせる場合、および、補強工事の目途が立たないときは、応急の仮設や仮組対応が必要になる。新設工事とは異なり、締結工具を裏面へ設置できないことが多い。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 FBN 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、比較的軽作業で行う片側施工で使用するフレキシブルブラインドナット (FBN と略記) について、その構造締結の強度評価方法を定めておくこと作業性が向上する。このようなことから、BN の締結管理方法の複合負荷、およびバルブの強化実験を行った。

a) NSD-6M による変形と施工上の検討課題を明らかにする。 b) NSD-6M を母材 A と B へ締結した強度について複合負荷の軸力 P_z とせん断力 P_s が同時に作用する場合を設定して、複合負荷法 (combined loading) を考案・開発し、それによる強度評価試験を実施する。 c) NSD-640M のバルブ径拡大の実験をおこなう。

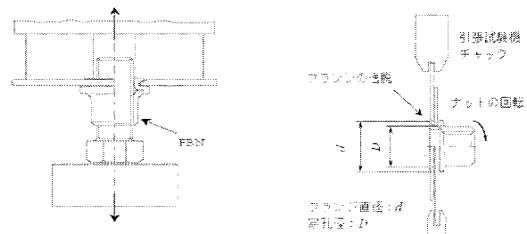
2. 複合負荷による強度評価法

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 Fig.1 で示すようにす BN あるいは FBN 締結¹⁾へ適用する。同図の従来法は単純負荷によるものである。そこで、あらたに Fig.2 で提案する方法を複合負荷法と称する。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。

2.1 素板 SPCCT1.6mm の浅絞り Fig.3 に示した絞りカップを設計し、NSD-6M (強度区 4.6) の一對をホルダへ対向配置する。

2.2 複合負荷ホルダの機能と構造 これらのホルダは Fig.4 に示した機能と構造で設計 (一例) されており、カップの一組を同図の (a) により装着して一對の M16 ボルトで引張試験機 AG-10TA へ連結されている。そして、負荷 $\theta=15^\circ$ 用のホルダを $(\pi/2)$ の向きにかえることで $\theta=75^\circ$



(a) Tensile test (b) Shear test

Fig.1 Ordinal simple fracture test

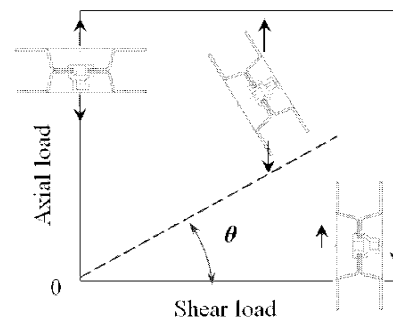
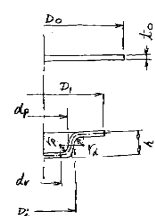
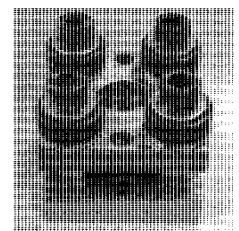


Fig.2 Combined loading



- D_0 Blank original dia.
- t_0 Blank thickness
- D_1 Outer dia. of blank
- d_p Punch dia.
- r_p Punch radius
- r Die radius
- h Depth of Cup
- d_v Valve outer dia.
- D_2 Die inner dia.



(a) Cup design

(b) Drawing die set

Fig.3 Cup design and holders



(c) Clinched holders

*:工学院大学工学部機械工学科・機械システム工学科教授, **: 株式会社フセラシ

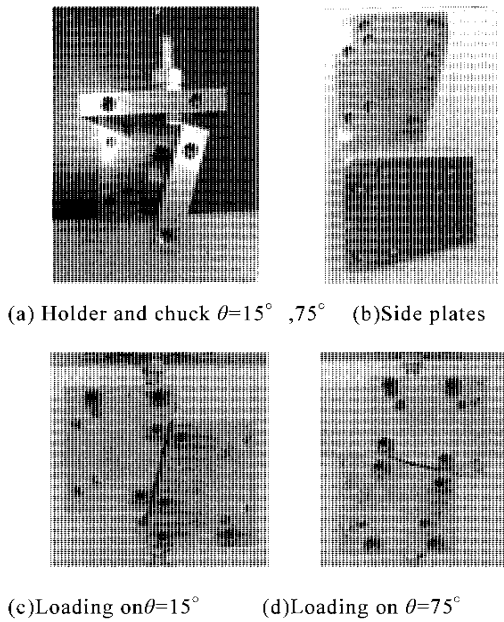
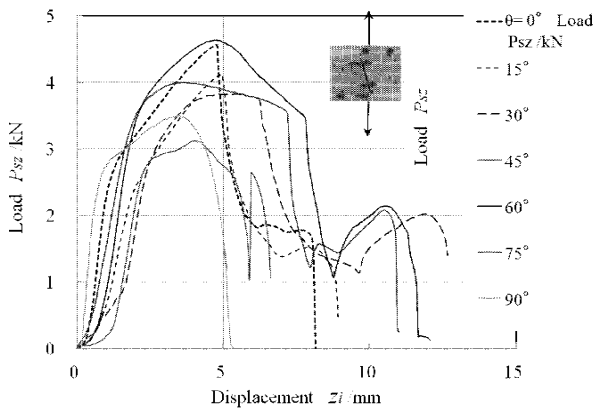
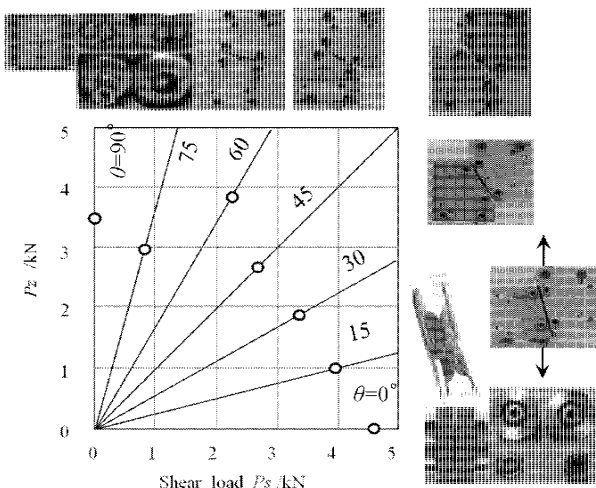


Fig.4 Holder and combined loading($\theta=15^\circ$ and 75°)



(a) Load P_{sz}



(b) Effects of θ on P_{sz}

Fig.5 Effects of θ on P_{sz} , NSD-6M, SPCC plate, A and B, $t=1.6\text{mm}$

に、同様に $\theta=30^\circ$ のものを 60° 方向の負荷に対応できるようにした。軸線(z)方向負荷には $\theta=0^\circ$ で、さらに負荷方向を $\pi/2$ にすることで $\theta=90^\circ$ の負荷が可能である。

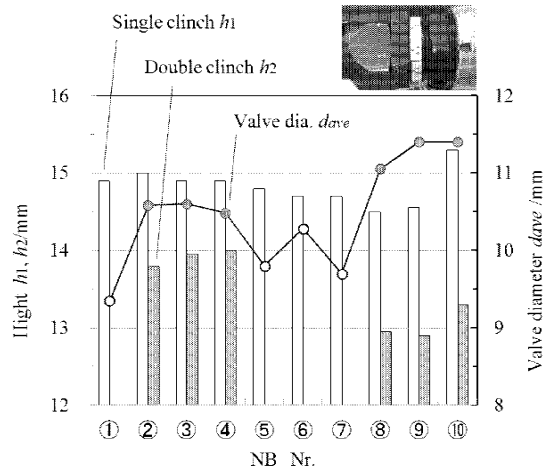


Fig.6 Effects of cylinder depth lengthening and double clinching on valve dia. d_{ave} (NSD-640M)

2.3 NSD-6M による締結体の複合負荷方法と実験

NSD-6M と A,B との締結では作業標準により加締した。 $\theta=60^\circ$ では作業標準で加締したあと、さらに同一作業標準で2回目の打撃をおこなった。締結のあと、島津製試験機 AG10TA により、Fig.4 のホルダ上で複合負荷して、変位 z_i と引張力 P_{sz} の推移をもとめた。

3. 複合負荷による実験結果と考察

3.1 カップ型ホルダによる複合負荷の結果および考察

Fig.5 に P_{sz} の結果を示した。同図の(a)で $\theta=0^\circ$ 、すなわち単純せん断で行われた P_{sz} は初期の最大せん断力 (P_{sz})_{max} を経た直後に、NSD-6M の連続性が絶たれて分離する。この分離はフランジ部とバルブの間に位置する円筒材料部上におこる。これに対して、 $\theta=90^\circ$ の負荷による変形は、バルブ側に位置していた母材 B の内縁がバルブによって拡大されて、この拡大部をバルブが抜けることで締結がとかれる(解結)ので試験力の値は低い。同図の(b)において、試験力 P_{sz} の値は(0,0)位置から傾き θ の直線上で丸印(O)までの長さの値であらわされる。

3.2 NSD-640M の素管部長がバルブ径増大に及ぼす影響

Fig.6 に NSD-640M のバルブ径の増加方法を示した。素管部長を納入状態のままとした nr.①~④ ($\Delta L=0\text{mm}$) と、中ぐりによって2mm長くした nr.⑤~⑩ ($\Delta L=2\text{mm}$) の BN をそれぞれ SPCC の単一鋼板へ締結したことでバルブ径 d_{ave} を大きくできるので、Fig.5 で示した P_{sz} の向上に貢献する。

4. まとめ

複合負荷法を提案して、これを設計・製作した。さらに実験をおこなって、新しい強度評価法を提案した。

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.

塩化物イオンのコンクリートへの浸透・拡散に関する乾燥・湿潤条件の影響

コンクリート 塩化物イオン 促進試験 浸透・拡散 拡散係数 金子 樹* 彦根 俊海**
 小熊 悠暉** 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つとされる「塩害」は、海岸地域を中心に広く問題視され、構造物の耐久性能、構造性能を低下させる。

建築における塩害の多くは、海からの潮風とともに運ばれる飛来塩分（塩化物イオン）が建物表面に付着し、コンクリート内へ浸透・拡散するもので、鉄筋位置まで侵入すると鉄筋の不動態被膜を破壊して腐食しやすい状態となる。

このような外来型の塩害では、コンクリート内に浸透・拡散する塩化物イオンを抑制することが重要となるが、塩化物イオンの浸透・拡散性状には不明な点が多い。

そこで、昨年度はコンクリートへの浸透・拡散性状を評価するための促進試験方法について実験研究を行い、塩化物イオンの浸透・拡散には乾湿繰返し試験における乾燥・湿潤日数の割合が影響することを明らかにした。¹⁾

本研究では昨年に引き続き、外来型の塩害を想定し、侵入した塩化物イオンがコンクリート内を浸透・拡散する乾燥・湿潤条件の影響について実験を行った。

2. 実験概要

本実験では、あらかじめ予備促進を行ってコンクリート表面より塩化物イオンを浸透・拡散させた供試体について表1に示す10条件における塩化物イ

オンの浸透・拡散性状を検討した。

塩化物イオン量の測定は、予備促進終了後にこれらの環境条件で5、10および20サイクルで行う。この内、本論文では5サイクルまでの結果について報告する。

それぞれの環境条件は、乾燥状態では20℃、60% R.H.、湿潤状態では20℃、NaCl 3%水溶液への浸漬を基本とした。また、乾湿繰返しの日数は昨年度の実験結果より乾燥3日、湿潤4日を1サイクルとした。¹⁾

環境条件は、乾湿シリーズ、乾燥シリーズ、湿潤シリーズ、中性化シリーズに大別できる。

乾湿および湿潤シリーズでは浸漬水として塩水と塩分をほとんど含まない水道水を使用し、乾燥シリーズでは浸透面を開放またはエポキシ樹脂による封緘処理とした。また、中性化シリーズは20A、20B、20Cの乾燥状態を20℃、60% R.H.、CO₂ 5.0%の促進中性化装置内で行った。

なお、予備促進は50℃における乾湿繰返し(50A)で10サイクルとした。

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/cm³、比表面積：3316cm²/g、塩化物イオン量：0.021%）を、骨材は大井川産陸砂（絶乾密度：2.52g/cm³、吸水率：2.04%、F.M.：2.82）と青梅産硬質砂岩碎石2005（絶乾密度2.64g/cm³、吸水率：0.64%、

表1 環境条件一覧

条件 記号	乾湿シリーズ		乾燥シリーズ		湿潤シリーズ		中性化シリーズ			乾湿
	20A	20B	20C	20D	20E	20F	20G	20H	20I	50A
温度	20℃									50℃
乾湿日数*1 (/サイクル)	乾燥	3日	7日	0日	0日	7日	3日	7日	3日	3日
	湿潤	4日	0日	7日	4日	0日	4日	0日	4日	4日
湿潤時浸漬水	塩水	水道水	—	塩水	水道水	塩水	水道水	塩水	水道水	塩水
CO ₂ 濃度	大気		大気		—		5.0%			大気
浸透面*2	開放		開放	封緘	開放		開放			開放

*1 1サイクルは7日間とする。

*2 浸透面の”封緘”は初期浸透終了の10C時にエポキシ樹脂にて浸透面にシール処理を施す。

* (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4年

*** :工学院大学建築学部 教授 工博

表2 コンクリートの調合と試験結果

コンクリートの計画調合					
W/C	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)			
		W	C	S	G
0.55	48.2	173	315	846	937

フレッシュコンクリート		コンクリート密度 (kg/m ³)		圧縮強度 (N/mm ²)	
スランブ (cm)	空気量 (%)	4w 水中	1w 水中 +3w 気中	4w 水中	1w 水中 +3w 気中
20.5	4.0	2306	2251	35.6	36.0

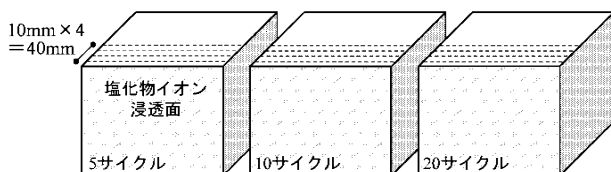


図1 供試体の取扱い方法

実積率：62%) 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/L²) 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0.55で目標スランブ18cm、目標空気量4.5%とし、粗骨材かさ容積は0.57m³/m³、AE減水剤使用量はセメント質量×0.25%とした。

4. 供試体の作製および試験方法

塩化物イオン浸透試験用の供試体は、寸法10×10×40cmとし、鋼製型枠を用いて成型し、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1週で水揚げ、4週まで上記室内にて20℃気中養生を行った後、予備促進10サイクルを行った。

図1に供試体の取扱い方法を示す。供試体は材齢4週までの気中養生中に長手方向に3分割し、塩化物イオン浸透面とする供試体の打設時底面以外の5面についてエポキシ樹脂を用いてシール処理した。

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10mmずつ、深さ40mm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10mmの厚さにスライスした後、エポキシ樹脂付着部分を除去、150μmのふるいを通過するまで微粉砕とした。

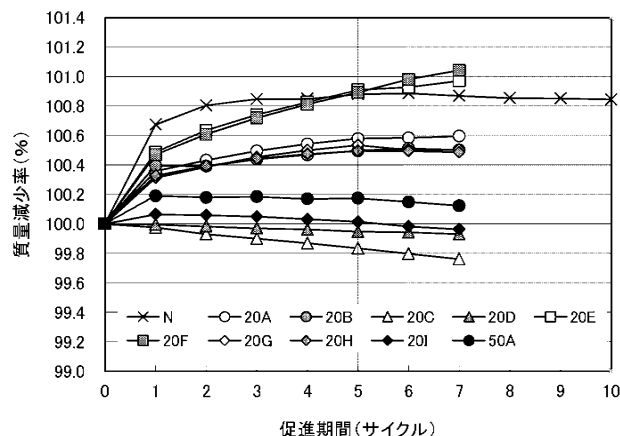


図2 促進期間と質量変化率

5. 実験結果

5.1 質量変化

図2に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各条件開始時の質量で除して百分率で表した。なお、以降において記号Nは予備促進10サイクルを示すものとする。

質量は、期間の経過に伴い湿潤シリーズの20E、20Fは増加、乾燥シリーズの20C、20Dは減少、乾湿シリーズの20A、20Bは増加したが、湿潤シリーズに比べ増加量は少なかった。

中性化シリーズでは、それぞれ乾湿シリーズ、乾燥シリーズの同条件のものと同様の傾向であった。

また、温度の異なる20Aと50Aでは、20Aは期間にともない増加したのに対し、50Aは減少した。

5.2 全塩化物イオン量

5.2.1 測定深さと全塩化物イオン量

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35mmまでとした。

全塩化物イオン量は浸透面からの距離が深くなるほど小さくなる。また、浸透面からの深さ15mm以上では、全ての条件で予備促進Nに比べて塩化物イオンが大きかった。

乾湿シリーズでは、浸漬水に水道水を使用した20Bで表層の全塩化物イオン量は少なかった。浸漬水を塩水とした20Aでは、5mmの塩化物イオン量は多いが、25mm以上では浸漬水が水道水の20Bと比べて少なかった。

乾燥シリーズでは、浸透面を開放した20Cと封緘とした20Dでは、5mmでは差がみられるが15mm

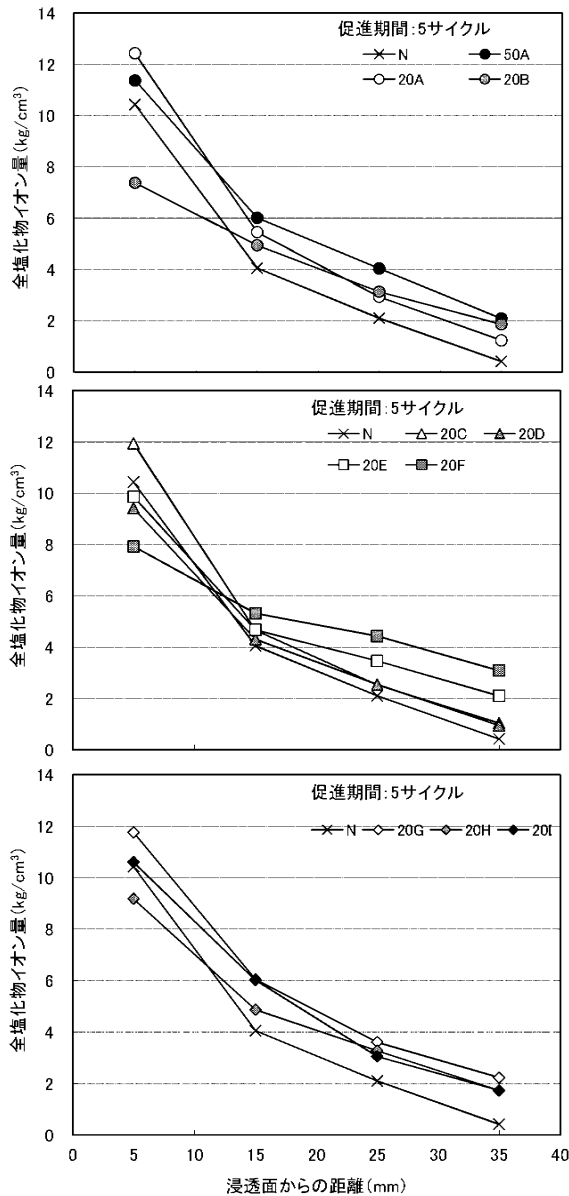


図3 浸透面からの距離と全塩化物イオン量

以上では同程度であった。

湿潤シリーズでは、浸漬水に水道水を使用した20Fは塩水を使用した20Eに比べて5mmでは全塩化物イオン量が少なかった。しかし、15mm以上で大きくなった。

中性化シリーズでは、5サイクルでの中性化深さは0mmであり、それぞれ乾湿シリーズ、乾燥シリーズと同じ傾向であった。

5.2.2 予備促進との全塩化物イオン量の差

図4に浸透面からの距離と予備促進Nとの全塩化物イオン量の差を示す。

乾湿シリーズでは、浸漬水に塩水を用いた20A、50Aは浸透面からのすべての距離でNに比べて全塩化物イオン量が多い。また、15mm以上では、20A、

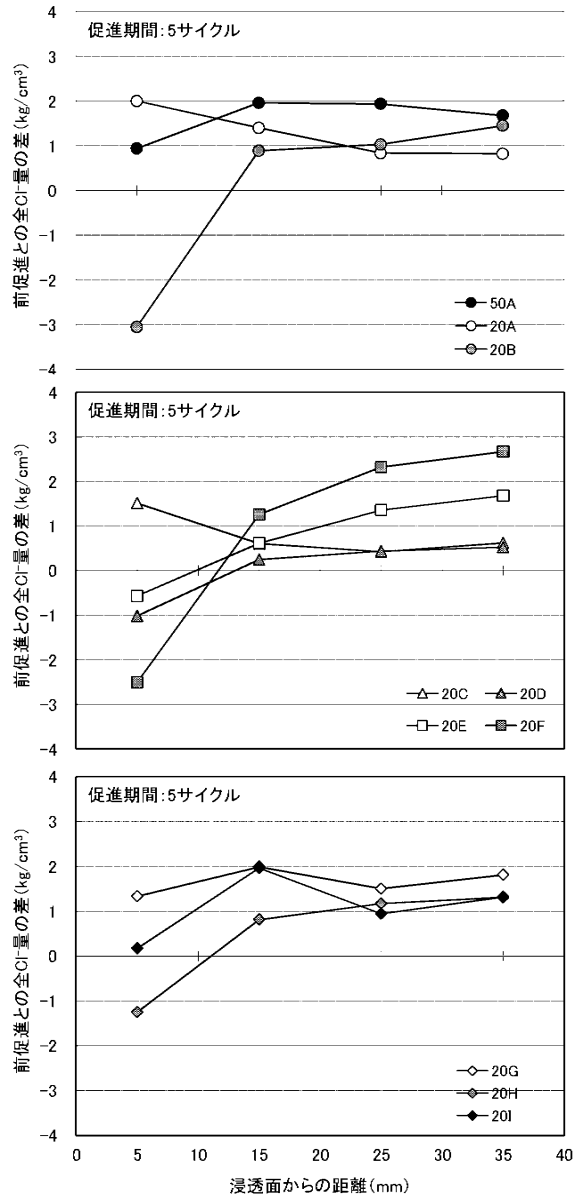


図4 予備促進との全塩化物イオン量の差

50AとともにNとの差が小さくなっているのに対し、20Bでは差が大きくなっている。

乾燥シリーズでは、20C、20Dともに15mm以上で全塩化物イオン量がわずかに多くなった。

湿潤シリーズでは、5mmまではNに比べ全塩化物イオン量は少ないが、それ以上では多く、距離が増すに連れてNとの差も大きくなった。

5.2.3 累積全塩化物イオン量

図5に予備促進10サイクルを基準とした深さ40mmまでの累積全塩化物イオン量を示す。

予備促進後も塩化物イオンの供給を受け続けた50A、20A、20E、20Gの累積全塩化物イオン量は多かった。

浸漬水に水道水を使用した20B、20Hは累積全塩

化物イオン量の差が少なかったが、湿潤シリーズの 20F は多かった。

20E は最も塩化物イオンの供給が多かったが、累積全塩化物イオン量は全体と比べても多くなかった。

5.3 拡散係数と表面塩化物イオン量

拡散係数および表面塩化物イオン量は鉄筋コンクリート造建築物の耐久設計施工指針 (案)・同解説をもとに以下の式から最小二乗法等を用いて算出した。

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

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 (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)、 erf : 誤差関数

なお、材齢は予備促進の期間を含み、今回報告する 5 サイクルでは 15 サイクルとして算出した。

図 6 に拡散係数、図 7 に浸透面の全塩化物イオン量を示す。

拡散係数は、同じ乾湿繰返し環境であるが、温度の異なる 20A、50A では高い温度で促進をしていた 50A の方が大きかった。また、乾湿、湿潤、中性化シリーズにおいて、浸漬水を水道水にした 20B、20F、20H がそれぞれのシリーズ内で最も大きかった。

浸透面の塩化物イオン量は、乾湿、湿潤、中性化シリーズにおいて、浸漬水に塩水を用いた 20A、20E、20C がそれぞれのシリーズ内で最大となった。また、浸漬水に水道水を用いた 20B、20F、20H はそれぞれ最も小さかった。

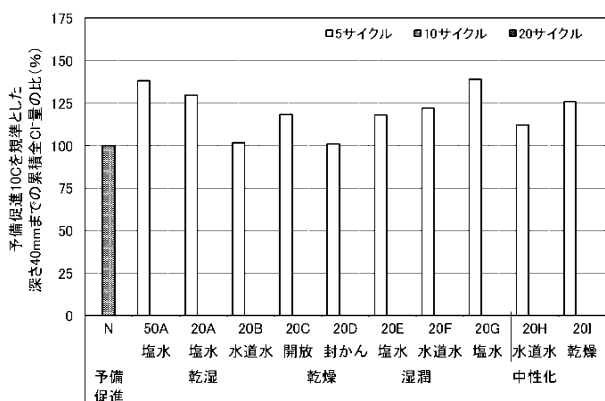


図 5 予備促進を基準とした累積全塩化物イオン量の比

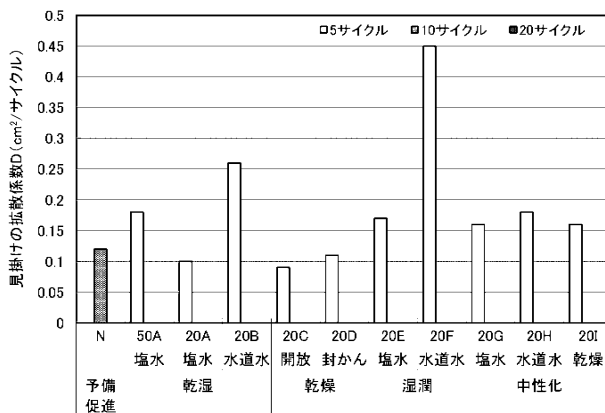


図 6 見かけの拡散係数 D

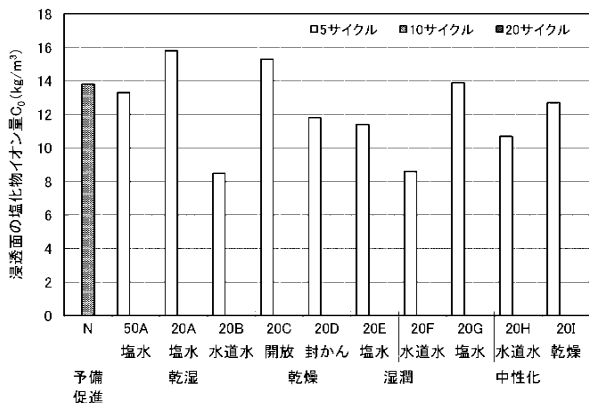


図 7 浸透面の塩化物イオン量

6.まとめ

- ① 質量変化率は期間の経過に伴い、乾湿および湿潤シリーズでは増加、乾燥シリーズでは減少、中性化シリーズでは、乾燥、乾湿シリーズと同じ傾向であった。
- ② 全塩化物イオン量は浸漬水に水道水を用いた場合、表層では他の促進環境に比べ小さくなるが、浸透面からの距離が増すにつれて大きくなった。
- ③ 全塩化物イオン量は表層部では条件により差があるが、深さ 15mm 以上ではすべての条件で予備促進よりも大きくなった。
- ④ 拡散係数は、浸漬水に水道水を用いた場合に大きくなった。また、浸透面の塩化物イオン量は、浸漬水に塩水を用いたものが大きくなり、水道水を用いたものは小さくなった。

参考文献

- 1) 金子樹、阿部道彦：コンクリートへの塩化物イオン浸透促進試験における乾湿繰返し条件の影響に関する実験、日本建築学会学術講演梗概集 (東海) A-1、pp.483-484、2012.9
- 2) 東京都水道局：平成 23 年度 東京都水道局水質資料集、2012

住宅基礎コンクリートの性状に及ぼす締固め方法の影響

住宅基礎 立上がり ベタ基礎 締固め方法 養生方法

花野 克哉* 篠山 彰* 佐藤 顕太**
 宮本 真道** 阿部 道彦***

1. はじめに

近年、環境保全や資源の枯渇により、資源の有効利用が以前にも増して求められている。このため、住宅においても長寿命化が要求されているが、木造住宅や鉄骨住宅では「住宅の品質確保の促進等に関する法律」の住宅の性能表示制度によると、基礎は評価の対象となっていない。しかしながら、基礎も上部構造同等の耐久性を有する必要があることから通常より強度の高いコンクリートを用いる試みが行われているが、その強度特性については十分な検討が行われていないのが現状である。

現在、現場で用いられている基礎のコンクリートの強度を向上させる方法のひとつとして、棒形振動機(以下、バイブレータ)の再振動による締固めがあげられるが、実施データが少なく、その有効性は明確でない。本研究では、締固め方法の違いがコンクリートの品質に及ぼす影響を検討することとした。なお、今回の実験では基礎の立上りおよびべた基礎について検討を行うこととする。

2. 実験概要

2.1 基礎の立上り

基礎の立上りのコンクリートについて再振動による強度への影響を検討することとし、模擬基礎と管理用供試体を作製し、前者からコアを採取する。材齢4週、13週で供試体の密度、超音波伝播速度、動弾性係数(JIS A 1127)、圧縮強度(JIS A 1107)を測定し、強度性状の評価を行う。また、乾燥収縮(JIS A 1129)および促進中性化(JIS A 1153)とコアによる促進中性化の試験を行う。

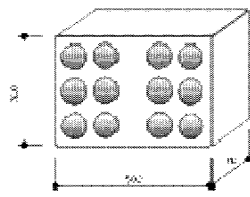


写真1 模擬基礎型枠

図1 模擬基礎

寸法 : 高さ 300 mm×幅 500 mm×厚さ 160 mm(模擬基礎)
 : 100φ×200 mmと 75φ×150 mm(管理用供試体)
 : 75φ×150 mm(コア供試体)

型枠 : 鋼製型枠(模擬基礎)

: プラスチック製軽量型枠(管理用供試体、75φの供試体は鋼製型枠)

仕様 : 表1参照

表1:実験の組合わせ(基礎の立上り)

	再振動	スランブ(cm)	
		12	18
	有	2体(パイプ50φ)	2体(パイプ50φ)
	無	2体(パイプ50φ)	2体(パイプ50φ)
	無	2体(パイプ25φ)	2体(パイプ25φ)

① 強度

- ・設計基準強度 24N/mm²
- ・耐久設計基準強度 24N/mm²(JASS5)
- ・品質基準強度 24N/mm²(JASS5-2009)
- ・呼び強度(一律) 30N/mm²(JASS5 24+6)

② 水セメント比

50%以下

③ スランブ

12cm、18cm(劣化等級3、JASS5では18cm以下)

④ 単位水量

170kg/m³以下(高耐久指針175kg/m³以下)

⑤ 締固め

バイブレータφ50、φ25を用いて施工し、
 バイブレータφ50で再振動

⑥ 脱型

打設日の二日後とする。

立上り部分の脱型は材齢

(積算温度(20+10)×4=120° D・D)

⑦ 打設時期 : 2012年8月8日(水) 気温35℃を想定

: 2013年2月6日(水) 気温5℃を想定

2.2 ベタ基礎

べた基礎のコンクリートについて足踏みと再振動による強度への影響を検討することとし、模擬基礎と管理用供試体を作製し、前者のコアを採取する。材齢4週、13週で供試体の密度、超音波伝播速度、動弾性係数(JIS A 1127)、圧縮強度(JIS A 1107)を測定し、強度性状の評価を行う。また、乾燥収縮(JIS A 1129)および促進中性化(JIS A 1153)とコアによる促進中性化の試験を行う。

寸法 : 高さ 1000 mm×幅 1000 mm×厚さ 160 mm

: 鉄筋 D13@200 タテヨコ

: かぶり厚さ確保スペーサ H=70 mm

: 防湿フィルム 0.1 mm、碎石 100 mm厚

: 100φ×200 mmと 75φ×150 mm(管理用供試体)

: 75φ×150 mm(コア供試体)

* : 東日本ハウス ** : 工学院大学建築学科4年 *** : 工学院大学建築学部 教授 工博

型枠 : 鋼製型枠(床スラブ)
 : プラスチック製軽量型枠(管理用供試体、75φの
 供試体は鋼製型枠)

仕様 : 表2 参照

表2 実験の組み合わせ(べた基礎)

養生方法	冠水養生	シート養生
締固め	パイプ+足踏み+パイプ	パイプ+パイプ(再振動)
	パイプ+パイプ(再振動)	パイプ

・強度、水セメント比、単位水量および脱型は基礎の立上りと同じとする。

① スランプ

12cm(劣化等級3、JASS5では18cm以下)

② 締固め

パイプレータφ50で再振動を行う。

足踏みによる踏固めは成人男性の標準体重(約65kg)で行う。

③ 打設時期 : 9月26日(水)打設 気温20℃を想定

3. 実験結果・考察

3.1 基礎の立上り

基礎の立上り部分の管理用供試体とコア供試体の強度試験結果を表3、表4に示す。

(1) 管理用供試体

100φ×200の供試体では、現場水中が最も高い数値を得る結果となった。また、同じ水中養生でも標準養生の強度の方が2~4(N/mm²)小さくなった。これは温度の高い方がコンクリートの水和反応が起こりやすいためである。また、標準養生と封かんでは大きな差は見ら

れなかった。これは封かんすることにより過剰な水分蒸発を防げたことと、温度が同じであったためである。養生方法では、水中養生が最も強度が高くなると言える。75φ×150の供試体は、すべての供試体のなかで一番強度が強くなった。よって、寸法の大きい供試体より小さい供試体の方が高い圧縮強度を示すことが確認された。

(2) コア

スランプ12cm、18cmともに再振動を行った場合のほうが、行わなかった場合に比べて、密度・超音波伝播速度・動弾性係数ともに値が大きくなっており、圧縮強度が5~8(N/mm²)程度増すことが分かった。このことから、基礎のコンクリートの再振動による締固めは品質を向上させる上で有効であることが確認できたと言える。

スランプによる強度の違いは、材齢4週では単位水量の少なく乾燥収縮率の小さいスランプ12cmのほうが4~5(N/mm²)高い圧縮強度を示した。しかし、材齢13週ではスランプ12cm、18cmでの圧縮強度の差はあまりないと言える。

パイプレータの直径による違いは、材齢4週では僅かながらではあるが直径の小さい25φのパイプレータの方が強度が大きくなっている。材齢13週の場合では、材齢4週と同じく約3(N/mm²)直径の小さい25φのパイプレータの方が強度が大きくなっている。

今回の実験では、スランプ12cm、再振動ありのものが最も高い強度であり、基礎のコンクリートとしての使用に適しているという結果が出た。よって現場での施工の際もパイプレータによる再振動の締固めは有効であることがわかった。

表3 管理用供試体の強度試験結果

供試体寸法 (mm)	材齢	スランプ (cm)	養生方法	密度 (g/cm ³)	超音波伝播速度 (μs)	動弾性係数 (kN/mm ²)	圧縮強度 (N/mm ²)
100φ×200	4週	12	標準養生 (20℃水中)	2.35	4.65	37.4	39.8
		18		2.34	4.60	36.7	38.9
	4週	12	20℃封かん	2.33	4.62	36.3	39.9
		18		2.31	4.53	35.2	36.7
	4週	12	現場水中	2.36	4.69	38.0	43.3
		18		2.35	4.63	37.1	40.9
75φ×150	4週	12	標準養生 (20℃水中)	2.37	4.75	38.0	44.7
		18		2.33	4.63	36.7	42.0

表4 コア供試体の強度試験結果

供試体寸法 (mm)	材齢	スランプ (cm)	成形方法	密度 (g/cm ³)	超音波伝播速度 (μs)	動弾性係数 (kN/mm ²)	圧縮強度 (N/mm ²)
75φ×150	4週	12	バ50φ再	2.41	4.72	40.7	45.5
	13週	12	バ50φ再	2.39	4.70	40.6	47.3
	4週	12	バ50φ	2.36	4.62	37.5	37.4
	13週	12	バ50φ	2.36	4.80	39.4	39.5
	4週	12	バ25φ	2.32	4.55	36.1	38.4
	13週	12	バ25φ	2.30	4.57	36.7	42.3
	4週	18	バ50φ再	2.39	4.70	39.1	40.7
	13週	18	バ50φ再	2.38	4.71	39.7	46.3
	4週	18	バ50φ	2.33	4.49	36.0	35.0
	13週	18	バ50φ	2.34	4.65	37.0	36.8
	4週	18	バ25φ	2.32	4.44	34.9	35.8
	13週	18	バ25φ	2.32	4.75	36.1	39.9

(3)乾燥収縮

乾燥収縮供試体の乾燥収縮率、質量変化の試験結果を表5、図2、図3に示す。

表5 乾燥収縮試験結果

供試体寸法 (mm)	材齢	乾燥収縮率		質量変化	
		スランブ12	スランブ18	スランブ12	スランブ18
100×400×100	0週	0.00	0.00	0.00	0.00
	1週	-2.75	-3.20	-1.41	-1.59
	2週	-4.55	-5.00	-1.72	-1.94
	3週	-5.55	-6.08	-1.89	-2.13
	4週	-6.23	-7.05	-2.01	-2.26
	8週	-7.97	-6.76	-2.17	-2.51
	13週	-9.00	-6.08	-2.29	-2.61
	17週	-8.33	-7.55	-2.45	-2.76
	21週	-7.78	-7.72	-2.46	-2.77

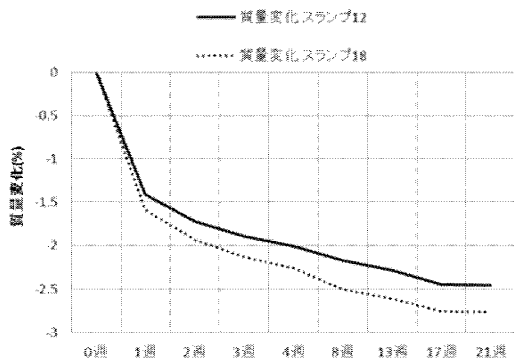


図2 質量変化結果

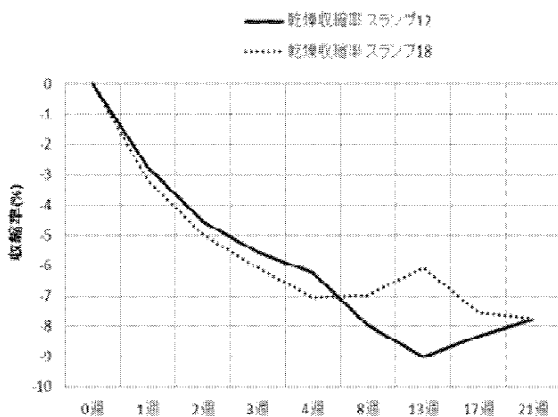


図3 乾燥収縮率結果

スランブ 12cm はスランブ 18cm に比べ乾燥収縮率、質量変化が共に小さいことが分かる。これはスランブ 18の方が単位水量が多いため、乾燥時に多くの水分が抜けたことによるものである。しかし、若干の測定ミスがあるが、初めはスランブ 12の方が乾燥収縮率は小さいが、期間が経過すると、ほとんど同じ値になることが認められた。また、収縮率が大きい方がひび割れの発生が多くなるため、表面を露出するコンクリートなどにはスランブ 12のコンクリートを使用することが推奨される。

(4)促進中性化

促進中性化の角柱供試体とコア供試体の試験結果を表6、表7、図4に示す。

表6 促進中性化(角柱試験体)試験結果

供試体寸法 (mm)	スランブ (cm)	4週	9週
100×400×100	12	7.53	9.36
	18	8.23	9.99

表7 促進中性化(コア供試体)試験結果

供試体寸法 (mm)	材齢	スランブ (cm)	成形方法	中性化 9週	
75φ×150	4週	12	A	バ50φ再	7.62
	4週	12	B	バ50φ	8.55
	4週	12	C	バ25φ	8.37
	4週	18	D	バ50φ再	7.09
	4週	18	E	バ50φ	9.20
	4週	18	F	バ25φ	9.38

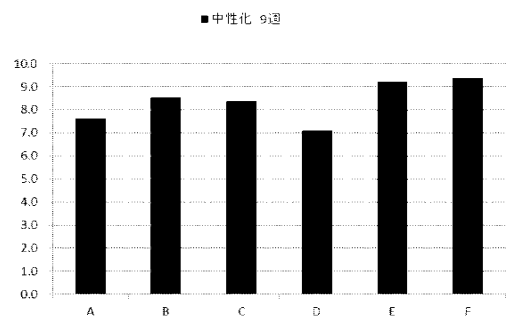


図4 促進中性化(コア供試体)試験結果

コア供試体では、最も小さい値となったのはスランブ 18cm のパイプレータ 50φ再振動有りとなった。しかし、他の供試体ではスランブ 12cmの方が小さい値となっているので、これは実験の誤差の範囲内と言える。よってスランブ 12cmのパイプレータ 50φ再振動有りが最も良い結果となった。これは再振動することにより、密度が大きくなり二酸化炭素の進入が遅れたためと考えられる。

3.2 べた基礎

べた基礎の管理用供試体とコア供試体の強度試験結果を表8、表9に示す。

(1) 管理用供試体

100φ×200の供試体では、現場水中が最も強度が高い結果となったが、これは同じ水中養生でも標準養生の強度とほぼ同じ値となった。また、封かんは他の水中養生と非破壊試験では大きな差は見られなかったが、圧縮強度では3(N/m²)程度の差が出た。75φ×150の供試体は、供試体作製時のミスで形状が大きく損なわれたため、比較ができなかった。

表 8 管理用供試体の強度試験結果

供試体寸法 (mm)	材齢	養生方法	密度 (g/cm ³)	超音波伝播速度 (μs)	動弾性係数 (kN/mm ²)	圧縮強度 (N/mm ²)
100φ×200	4週	標準養生 (20°C水中)	2.38	4.76	40.0	38.2
	4週	20°C封かん	2.36	4.72	38.4	36.3
	4週	現場水中	2.36	4.72	38.7	39.5
75φ×150	4週	標準養生 (20°C水中)	2.36	4.89	41.0	29.8

表 9 コア供試体の強度試験結果

供試体寸法 (mm)	材齢	成形方法	密度 (g/cm ³)	超音波伝播速度 (μs)	動弾性係数 (kN/mm ²)	圧縮強度 (N/mm ²)
75φ×150	4週	パイプ+足踏み+パイプ	2.40	4.66	40.3	38.7
	13週	(冠水あり)	2.41	4.81	40.9	44.3
	4週	パイプ+パイプ	2.40	4.80	40.4	41.3
	13週	(冠水あり)	2.41	4.85	41.8	47.8
	4週	パイプ+パイプ	2.41	4.77	40.2	32.9
	13週	(シート)	2.42	4.73	40.5	36.2
	4週	パイプ	2.37	4.69	37.2	31.6
	13週	(シート)	2.39	4.71	39.2	36.7

(2) コア

今回の実験では、締固め方法として足踏み+再振動と再振動のみの2種類を試みたが、全体を通して再振動のみの供試体の方が足踏みを行ったものに比べて良い結果が得られた。圧縮強度を例にあげると、4週、13週ともに再振動のみの供試体の方が約3.0(N/mm²)程度高くなっている。現在、現場で用いられている主な締固め方法は、足踏みによるものである。しかし、今回の実験では、足踏みによって逆に強度を下げた結果となった。

養生方法では全体を通して、冠水養生の方が良い結果が得られた。非破壊試験では冠水養生がわずかに良いという程度であったが、圧縮強度では冠水養生が平均で約10.0(N/mm²)高く、冠水養生は大きな効果があったと言える。管理用供試体でも水中養生の効果を示す結果が確認されており、水を用いた養生が強度の向上に大きく関わっていることが確認された。

(3) 促進中性化

促進中性化の角柱供試体とコア供試体の試験結果を表10に示す。

コア供試体では、B(再振動有りの冠水養生)が最も中性化しづらいという結果が出た。

4.まとめ

住宅基礎コンクリートの性状に及ぼす締固め方法の影響について検討し、再振動の有効性を確認した。またべた基礎については冠水養生も有効であることが確認された。しかし足踏みは逆に強度を下げる結果となった。

表 10 促進中性化(コア供試体)試験結果

供試体寸法 (mm)	材齢		成形方法	中性化 9週
75φ×150	4週	A	パイプ+足踏み+パイプ (冠水あり)	4.05
	4週	B	パイプ+パイプ (冠水あり)	2.17
	4週	C	パイプ+パイプ (シート)	4.42
	4週	D	パイプ (シート)	4.02

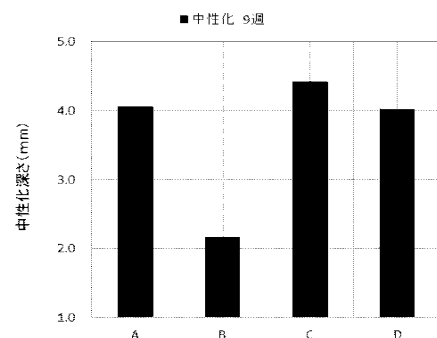


図 5 促進中性化(コア供試体)試験結果

謝辞

本実験は、東日本ハウス、建材試験センターおよび工学院大学の共同研究により実施したもので、実験の実施に当たり関係各位の協力を得た。記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 青木穂高、他1名：高耐久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報告週 CD-ROM、1,028、2012.3

経年コンクリートの品質評価に関する研究

経年コンクリート 非破壊試験 コア 透気係数 中性化

鈴木 健之* 田迎 聡士* 中村 建*
 中村 則清** 阿部 道彦***

1. はじめに

年月を経過したコンクリート構造物におけるコンクリートの品質は、養生条件により内部と表層部で異なってくる場合がある。特に建築物では十分な湿潤養生が行われないうちに両者の差が大きくなることもある。内部のコンクリートの品質は一般にその強度で評価され、コンクリート構造物の場合には、構造体からコアを採取して強度試験が行われている。

一方、表層部のコンクリートの品質はその強度を直接的に測定することが困難なことから、非破壊試験を含めた他の手法による評価が行われることが多い。本研究では、経年コンクリートの品質評価に資するため、25年経過したコンクリート試験体を対象として、各種試験を行い、併せて表層部の品質評価への透気試験の適用性を検討することとした。

2. 文献調査

2.1 調査方法

内部のコンクリートの品質評価に関する文献は16件で調査結果をまとめた。表層部のコンクリートの品質評価に関する文献は64件中、透気試験に関する文献をコンクリート工学年次論文集より16件収集して表1にまとめた。

2.2 調査結果

2.2.1 内部コンクリートの調査結果

採取したコアを水中養生すると強度低下が著しいので、コンクリート構造物の耐久性診断用のコアは水中保存せず、できるだけ早めに試験するのが良い。また、材齢3ヵ月以内の構造物の場合はその部材のコンクリートの含水量とほぼ同じ条件にするか採取後のコアを2日間水中保存し、湿試験の補正として10%の強度増加が考えられる。また、材齢1年の場合では、圧縮強度は湿試験が乾試験に比べて、室内で約20%、屋外で10%低下するので約2倍の差がある。その原因は、室内の方が乾燥しているためである。

2.2.2 表層部コンクリートの調査結果

透気試験の結果(表1)から、コンクリートの透気係数と促進中性化深さ、中性化速度係数は相関する。浸水シートを敷設した型枠を使用することにより、コンクリート表面の透気性が軽減され、含浸材塗布の場合では中性化の進行がある。また、透気係数は敷設していないものと比較して1/10~1/10³程度に軽減する。トレント法が改善され、より正確な結果が得られると、安全性能が低下する品質の構造物であるかを定量的に評価できるため、変状が発生する前に対策を実施することで効率的に維持管理が可能である。

表1 透気試験に関する文献調査

文献番号	構造物試験体	経過年数	水セメント比	中性化	透気試験	透気係数 (×10 ⁻⁶ m ²)
1	高架橋	17-18		○	トレント法	0.631-0.996
2	試験体300×300×100	118日	47.5.73.0	○	トレント法	0.003,2950
3	試験体150×150×530	91日		○	トレント法	
4	試験体200×200×500 400×200×500	28日	55	○	トレント法	0.03-0.6
5	試験体300×400×2350	2年	58.57.5.32	○	トレント法	0.5-1.1
6	構造物3件	18、41、50年		○	トレント法	0.8-800
7	試験体100×100×100 Φ150×50	63日	50	○	水中置換法	
8	試験体100×100×100	56日	55	○×	トレント法	0.05-0.6, 0.01-0.7
9	試験体150×150×600	5年	30-100	○	トレント法	0.094-71
10	試験体100×100×400 150×150×530	91日	50	○	トレント法	0.08-1.0
11	試験体300×100×300	2ヵ月	44.54.63	○	トレント法	60-5000
12	試験体1000×1000×1000	28日	48.5	○	トレント法	0.003-0.843
13	試験体Φ50×33	1ヵ月	40-60	○	加圧法	
14	試験体100×100×400	26週	45.55.65	○	簡易透気	0.1-0.3 (kPa/sec)
15	試験体Φ100×100	91.180日	45.55.65	○	簡易透気	0.03-5.9 (kPa/sec)
16	試験体450×450×1200	2年8ヵ月	45-61	○	簡易透気	0.33-3.009 (kPa/sec)

3. 内部コンクリートの品質評価に関する実験

3.1 実験方法

コアの強度に及ぼす試験時の乾湿の影響を把握するため、コア採取用の管理用供試体と角柱供試体の含水率を確定するためのコンクリート供試体を作製した。これらの管理用供試体(φ75×150)は20℃封かん、管理用供試体(φ100×200)は、標準水中と20℃封かんの2つに分け、13週間養生した。角柱供試体(150×150×530)の方は、13週間封かんし、コア抜きを行いコア供試体(φ75×150)を取り出した。このコア供試体を、採取後2日間水中と採取後2時間水中の2つの条件で養生した。そして、質量、超音波伝播時間、圧縮強度の測定を行った。

セメントの種類は普通ポルトランドセメントで、細骨材は大井川水系陸砂、粗骨材は青梅産硬質砂岩砕石2005である。養生条件は、表2の通りである。水セメント比は表3に示すように30%、40%、55%、75%の4調合である。

表2 供試体の養生条件

コア供試体 75Φ×150		管理用供試体 Φ75×150	管理用供試体 Φ100×200	
採取後 2時間 水中	採取後 2日間 水中	20℃封かん	20℃封かん	水中
13週	13週	13週	13週	13週

* : 工学院大学建築学科4年

** : 建材試験センター

*** : 工学院大学建築学部 教授 工博

表3 計画調査及びフレッシュコンクリートの試験結果

現場調査					フレッシュ時の試験結果						
水セメント比(%)	単位粗骨材かさ容積(m ³ /m ³)	細骨材率(%)	単位水量(kg/m ³)	質量(kg/m ³)			混和剤の使用量(g/m ³)	スランプ(cm)	空気量(%)	練り上がり温度(°C)	単位容積質量(kg/m ³)
				セメント	細骨材	粗骨材					
75.0	0.58	49.8	174	232	903	941	580	16.5	3.5	20.0	19597
55.0	0.58	48.1	172	313	842	941	782	18.3	4.3	20.0	19622
40.0	0.54	48.9	172	430	810	876	2150	20.3	5.9	21.0	19428
30.0	0.50	50.5	176	587	800	811	7040	63.7	2.5	21.0	20237

3.2 実験結果と考察

図1に示すように、コアの圧縮強度は2時間水中浸漬したものは、2時間水中浸漬したものより、約6%大きくなった。また、図2に示すように、最も大きくなったのはΦ75×150の封かんであった。

寸法は小さいほうが、強度が強い傾向にあることがわかった。

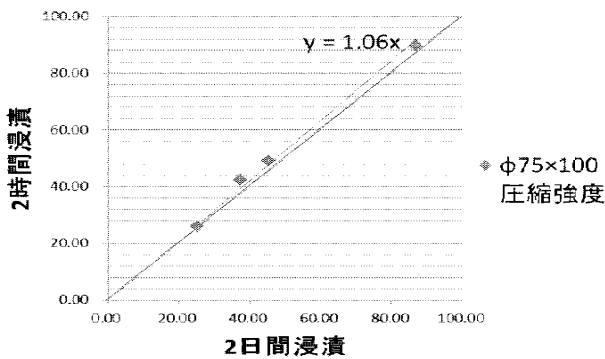


図1 2時間浸漬と2日間浸漬の関係

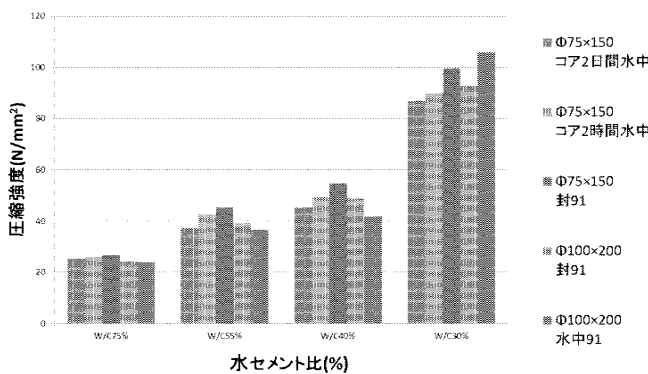


図2 水セメント比と圧縮強度の関係

4. 表層部コンクリートの品質評価に関する実験

4.1 実験方法

今回の実験に使用した試験体のコンクリートの種類は、表4に示す11種類である。粗骨材に一部軽量を用いている。普通

セメント、高炉B種、フライアッシュB種で、実験に使用する25年前に作製され、表5に示す暴露条件に分けた44本の角柱供試体を、つくば市の研究所から八王子キャンパスまで搬送し、表6に示す試験を行った。透気試験は、表面部を研磨して測定した。コアは直径75mmのものを採取した。強度は試験時の供試体の含水状態によって変化するため、コアを抜いてから2日間水中に浸漬してから行った。

シュミットハンマーによる反発度測定は、表面部の状態によって反発度が正確に読み取れないため、数値が定まらない場合がある。今回は、1本の供試体に対して片側12回ずつ両側について測定を行った。

角柱試験体44本から各2本ずつ抜き取った88本のコアにフェノールフタレイン溶液をかけ、S面とN面で各5点ずつ中性化深さを測った。

表4 コンクリートの種類

セメント	骨材		水セメント比(%)		
	粗骨材	細骨材	50	60	70
普通	砕石	砂	○	○	○
高炉B種	砕石	砂	○	○	○
フライアッシュB	砕石	砂	○	○	○
普通	軽量	砂	○	○	-

表5 供試体の暴露条件

番号	放置場所	屋根の有無
1	建物の南側	屋根なし
2		屋根あり
3	建物の北側	屋根なし
4		屋根あり

表6 試験の項目と方法

	項目	方法	測定面
角柱供試体	表面観察	目視、写真撮影	両面
	質量	電子天秤[0.1g]	
	寸法測定	スケール[mm]	
	表面含水率	水分計 C MEX II	両面
	超音波速度	パンジット	
	透気試験	トレント法	片面
コア	反発度試験	シュミットハンマー	両面
	中性化試験	JIS A 1152	両面
	質量(研磨後、水中浸漬と後)	電子天秤[0.1g]	
	寸法測定	スケール[mm]	
	超音波速度	パンジット	
	動弾性係数	JIS A 1127 縦振動	
	ヤング係数	コンプレッソメーター	
	圧縮強度	JIS A 1107	

4.2 実験結果とその考察

4.2.1 表面含水率

含水率5%以下でなければ、透気試験が行えないので測定し

た結果、全ての供試体が試験条件を満たした。図4によると、南側は日光にあたるため含水量が比較的少なく、北側は陰で湿っているため含水量が多くなる傾向がある。また、試験体の南面と北面ではあまり差は認められなかった。

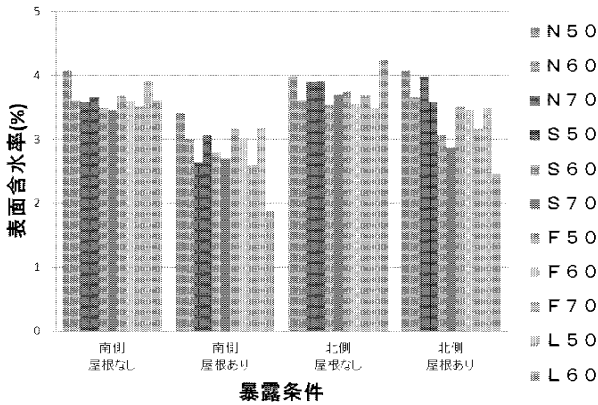


図3 含水率の測定結果

4.2.2 透気係数

図4に透気試験結果を示す。これによると、屋根がない方に暴露されていた供試体よりも屋根がある方に暴露されていた供試体の透気係数が大きくなっていることがわかる。特にそのなかでも水セメント比が高い供試体の透気係数が大きくなっていることも読み取れる。

普通ポルトランドセメントを使用した供試体の暴露条件による比較を図5に示す。この図によると、南側と北側の屋根ありの供試体の透気係数が高くなっているため、強度が弱いことがわかる。一方、屋根なしの方はどちらも、透気係数が低いため、強度が強いことが考えられる。これらの結果から、暴露状態は方角よりも屋根の有無によって左右されることがわかるため、雨に関係していると思われる。

$$Kt = \left(\frac{Vc}{Ac}\right)^2 \cdot \frac{\mu}{2\varepsilon Pa} \cdot \left\{ \frac{\ln \frac{Pa + \Delta P}{Pa - \Delta P}}{\sqrt{t_1} - \sqrt{t_0}} \right\}$$

- Kt:透気係数($\times 10^{-16}m^2$)
- Vc:内部チャンバーの体積(16500mm³)
- Ac:内部チャンバーの断面積(1964mm²)
- μ :空気粘性(Ns/m²)
- ε :空隙率(0.15)
- Pa:大気圧(N/m²)
- ΔP :圧力増分(N/m²)
- T₁:測定時間(S)
- T₀:測定開始時間(60S)

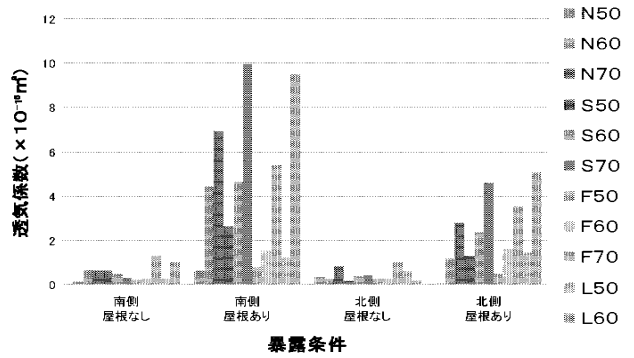


図4 各暴露条件における透気係数の関係

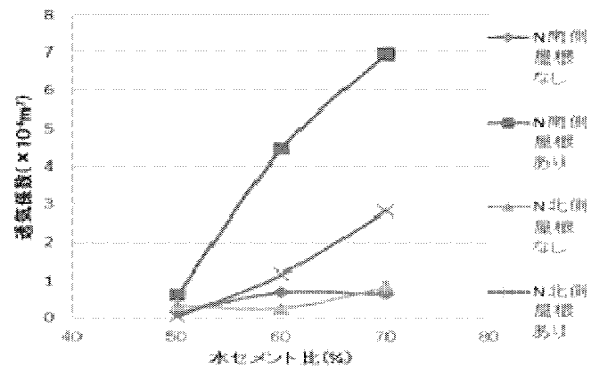


図5 水セメント比と透気係数の関係

4.2.3 反発度

図6に反発度の測定結果を示す。水セメント比(W/C)が高いほど、反発度が小さくなることが確認された。このため、いずれの種類のコングリートにおいても水セメント比が高いほど強度が低いことが推測できる。

セメント水比と反発度の関係を図7に示す。普通ポルトランドセメントは、セメント水比によって差が大きくなった。また、セメント種類による反発度の著しい差はあまり見受けられず、軽量コンクリートはやや小さくなった。

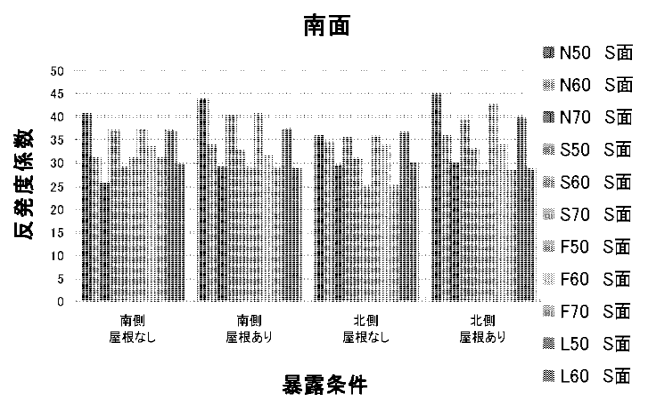


図6 反発度の試験結果(北面も同様)

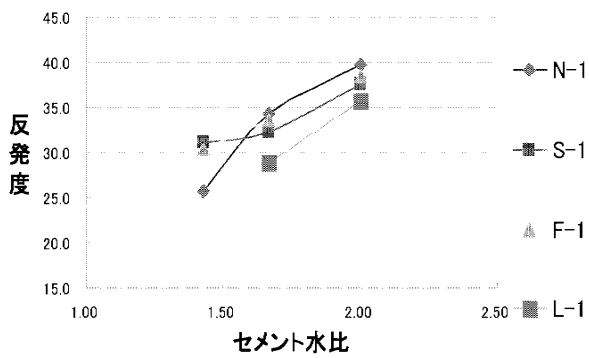


図7 セメント水比と反発度の関係

4.2.4 中性化

コンクリートの中性化は、空気中の二酸化炭素 (CO₂) がコンクリート中へ浸透して、コンクリート中の水酸化カルシウム (Ca(OH)₂) と反応し、炭酸カルシウム (CaCO₃) を生ずることによって起こる。すなわち、空気がコンクリート中へ入りやすいか、入りにくいかと、コンクリート中の水酸化カルシウムのもととなるセメントが多いか少ないかによって決まってくる。一般にセメントの多いコンクリートは緻密となるため、空気は浸透しにくくなる。また、コンクリートが湿っていると空気は浸透しにくく、乾燥していると空気は浸透しやすくなる。このため、図4に示したように、コンクリートの透気係数が大きくなるということは、空気が浸透しやすいということであり、図8に示すように中性化が進行しやすくなるものと推測される。

水セメント比が大きくなると、中性化深さも大きくなっている。また、中性化深さは、コンクリートの種類よりも、暴露条件の影響が大きいと思われる。コンクリートの透気係数と中性化速度係数の関係を図9に示す。透気係数が小さければ、中性化速度係数もほぼ比例して小さくなっていると思われる。そして、南側の雨なしが最も大きい値である。暴露条件の影響は、方角よりも雨の有無に最も関係している。

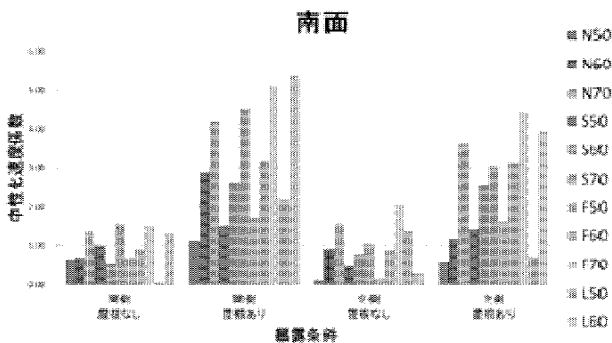


図8 各暴露条件における中性化速度係数の関係 (北面も同様)

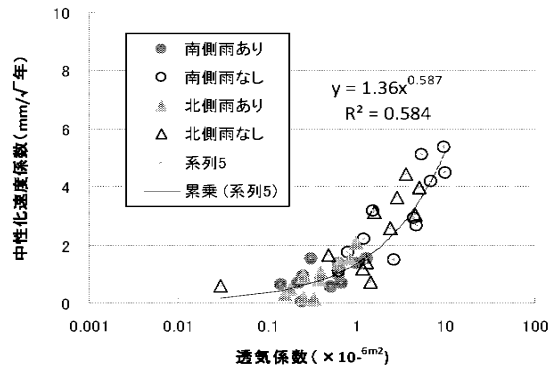


図9 コンクリートの透気係数と中性化速度係数の関係

5. まとめ

(1) 文献調査の結果について

- ① コアの圧縮強度は湿試験の方が乾試験より小さくなる。その程度は、条件により異なる。
- ② コンクリートの透気係数と促進中性化深さ、中性化速度係数は相関する。

(2) 内部コンクリートの品質評価について

- ① コアの圧縮強度で2日間浸漬している供試体よりも2時間浸漬した供試体の方が6%強度が大きかった。
- ② 3ヶ月間の管理用供試体の養生で最も圧縮強度が強かった養生方法は、φ75×150の封かんであった。

(3) 表層部コンクリートの品質評価について

- ① 表面含水率は、屋根ありよりも屋根なしの方が、高い値を示し、方位の影響はあまりみられなかった。
- ② 透気係数は屋根なしより、屋根ありの方が大きくなった。
- ③ 反発度は、水セメント比が小さいほど大きくなる傾向を示し、方位にかかわらず、屋根ありの方がその傾向が顕著であった。
- ④ コンクリートの透気係数と中性化速度係数は相関することが確認された。
- ⑤ 暴露条件による表層部の品質は、方位よりも屋根の有無に最も影響された。

謝辞

実験の実施に当たり、長谷工コーポレーションの金子樹氏、建築研究振興協会の田山隆文氏および本学の齊藤辰弥氏と仲摩諭氏の協力を得ました。記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 下澤和幸, 永山勝, 今本啓一, 山崎順二: 鉄筋コンクリート構造物の耐久性能検証のための透気性試験による指標値と中性化深さの関連について, コンクリート工学年次論文集 vol.31, pp.2005-2010, 2009.6

質量変化によるコンクリートの中性化の評価

コンクリート 中性化 質量変化

岡 雅聡* 齊藤辰弥** 阿部 道彦***

1. はじめに

鉄筋コンクリートは外部からの二酸化炭素 CO_2 の侵入によってコンクリートのアルカリ性が失われると、鉄筋の不動態被膜が失われて耐腐食性が低下する。また、腐食生成物の体積膨張により、コンクリートのひび割れ・剥離を引き起こし、耐荷力など構造物の性能低下を生じる。このため、鉄筋コンクリートの耐久性を考える上でコンクリートの中性化の評価は重要である。凍結融解試験や乾燥収縮試験では補助的に質量変化も測定されているが、中性化試験ではほとんど測定例がない。^{1)~4)}

この研究では、JIS に規定された試験において、 CO_2 の侵入に伴うコンクリートの質量変化を測定することによって中性化深さの試験結果のより妥当な評価の一助とすることを目的としている。また、併せて中性化によって生成した水が外部に逸散しているのか内部にとどまっているのかについても考察した。

2. 実験概要

図1は、供試体の脱型・養生から中性化促進までの流れを示したものである。供試体の質量は、促進中性化期間中の供試体の質量は、 CO_2 の吸収に伴う質量増加と乾燥による質量減少の和として測定されるため、本実験では、促進中性化開始時に供試体を2分割し、それぞれ促進中性化と乾燥継続を行い、両者の質量差から CO_2 吸収量を求めることとした。

表1に試験条件を示す。No.1~No.3は乾燥期間を変えたもの、No.5は養生方法を変えたもので、No.4は自由水を求めるためのものである。

中性化深さと質量のデータから両者の関係を求め、コンクリートの質量測定から中性化深さを推定可能かどうかを検討する。また、測定されたコンクリート試体の CO_2 の吸収量が何を意味しているかをコンクリートの調査表や化学反応式から検討した。

3. 実験方法

3.1 使用材料

セメントは普通ポルトランドセメント（密度 3.16 g/cm^3 ）、細骨材は大井川水系陸砂、粗骨材は青梅産硬質砂岩碎石（2013と1305の等量混合）、混和剤はAE減水剤およびAE助剤、水は水道水を使用した。使用骨材の品質を表2に示す。

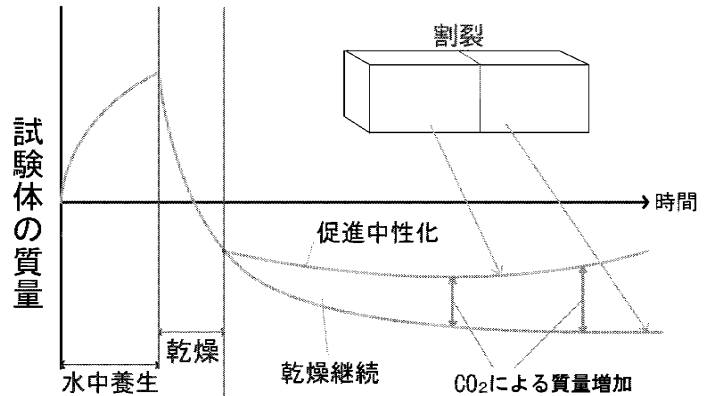


図1 試験体の脱型・養生から中性化促進までの流れ

表1 試験条件

	養生方法	乾燥期間	測定期間(週)
1	4週20°C水中養生	1週	4、9、16、25
2	4週20°C水中養生	4週	4、9、16、25
3	4週20°C水中養生	13週	4、9、16、25
4	4週20°C水中養生	3分割後、1、4、13週	恒量になるまで
5	4週20°C封かん養生	4週	4、9、16、25

表2 使用骨材の品質

種類	絶乾密度 (g/cm^3)	吸水率 (%)	実積率 (%)	粗粒率
粗骨材	2.62	0.95	61.5	6.85
細骨材	2.60	1.69	-	2.78

3.2 コンクリートの調合

表3にコンクリートの調合およびフレッシュコンクリートの試験結果を示す。

調合は水セメント比 50%、60%および70%の3種類で、目標スランプは18cm、目標空気を4.5%とし、AE減水剤の使用量は $C \times 0.25\%$ とした。AE助剤は $C \times 0.003\%$ とした。

コンクリートは、温度20°Cの恒温室において室温に調整した材料（骨材は表乾状態）を用いて50Lの水平パン型ミキサで練り混ぜた。

* : 工学院大学建築学科4年生 * : 工学院大学研究生 *** : 工学院大学建築学部 教授 工博

表3 計画調合およびフレッシュコンクリートの試験結果

目標スランプ (cm)	目標空気量 (%)	水セメント比 (%)	単位粗骨材かさ容積 (m ³ /m ³)	細骨材率 (%)	単位水量 (kg/m ³)	絶対容積 (ℓ/m ³)			質量 (kg/m ³)			AE減水剤の使用量 (g/m ³)	フレッシュコンクリート試験結果			
						セメント	細骨材	粗骨材	セメント	細骨材	粗骨材		スランプ (cm)	空気量 (%)	練上がり温度 (°C)	単位容積質量 (kg/m ³)
18	4.5	50.0	0.58	43.8	176	111	313	355	352	800	941	880	19.3	4.5	20.0	2286
18	4.5	60.0	0.58	48.3	176	93	331	355	293	848	941	733	19.5	4.9	19.0	2258
18	4.5	70.0	0.58	49.3	176	80	344	355	251	882	941	629	18.3	3.5	20.0	2313

3.3 供試体の作製および養生

試験体は 10×10×40 cm の鋼製型枠を用いて、水セメント比ごとに表1に示す試験条件 No.1～5 の試験体を各一本作製し、試験条件 No.1～4 を 20℃水中養生、No.5 を 20℃封かん養生とし、いずれも 4 週養生後、所定の乾燥(20℃、60%RH)を開始した。

3.4 実験方法

試験条件 No.1、No.2、No.3、No.5 の試験体は乾燥後、割裂し、乾燥用、中性化用に分けてそれぞれ恒温恒湿槽 (20℃、60%R.H.)、促進中性化槽 (20℃、60%R.H.・CO₂5%) に入れて所定の期間 (4 週、9 週、16 週、25 週) で、前者については質量の測定を、また、後者については質量およびフェノールフタレイン溶液を用いて中性化深さを測定した。質量測定は電子天秤(目量 0.1 g)を用いて行った。

各供試体の割裂面は質量測定の後、エポキシ樹脂を塗布し、中性化を防ぐものとした。質量測定はエポキシ塗布後も行い、供試体は塗布面を上にして、割裂と同じ日に中性化促進槽に入れた。

No.4 は 4 週間 20℃水中養生した後、No.1～No.3 の乾燥期間に対応させて分割した後、105℃乾燥とした。

4. 実験結果およびその考察

4.1 試験条件 No.1 の結果

試験条件 No.1 について質量と中性化深さの測定結果を図2～図4に示す。

図2によると、促進期間が長くなると中性化深さは大きくなる傾向を示しているが、水セメント比 50%と 70%ではややばらつきが大きくなっている。

図3によると、促進期間 4 週までは CO₂による質量増加は大きくなっているが、9 週になるとやや増加が小さくなり、また、増加の量は水セメント比によらずほぼ一定となっている。また、中性化深さの場合には、中性化促進期間の進行にともなって減少する場合も認められたが、質量の場合はそのようなことは認められなかった。

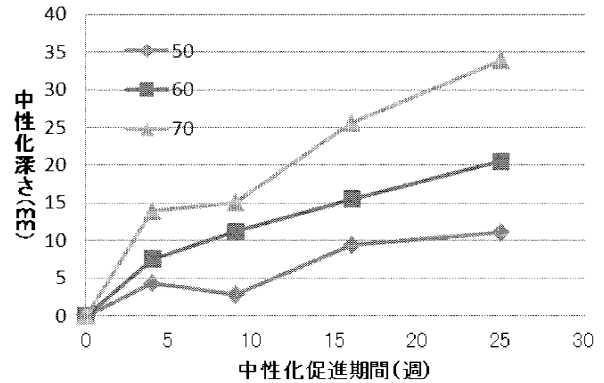


図2 中性化深さの経時変化(No.1)

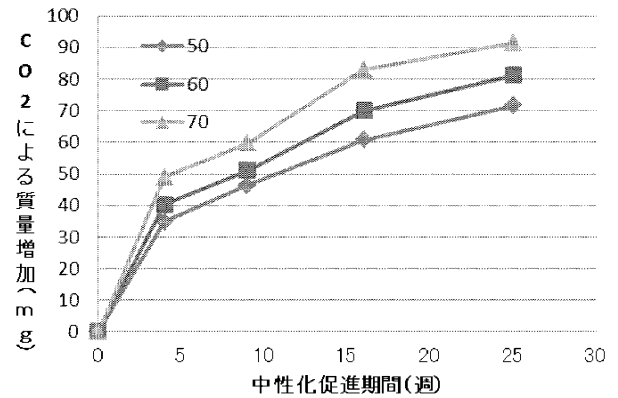


図3 質量増加の経時変化(No.1)

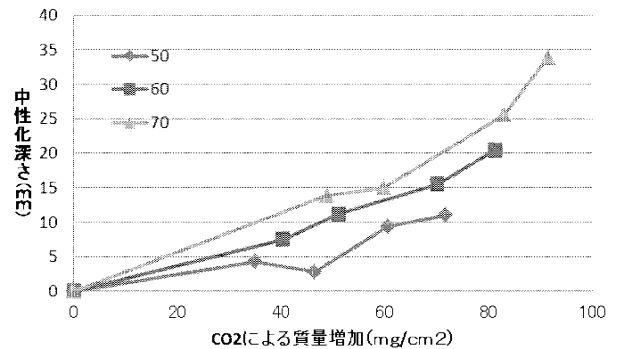


図4 質量増加と中性化深さの関係(No.1)

図4によると、CO₂による質量増加に対応して中性化深さは増加する傾向を示し、また、CO₂による質量増加が同一の場合には水セメント比が大きいほど中性化深さは大きくなる傾向を示した。これは水セメント比が大きいほどセメント量が少なく中性化しやすいためと考えられる。また、両者の関係は直線的ではなく、ややCO₂による質量増加より中性化深さが大きくなる傾向を示した。

4.2 CO₂による質量増加の補正

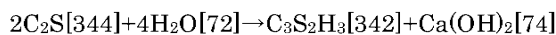
本実験では、割裂面のみエポキシを塗布したため、供試体の隅角部を考慮して次式で求められる係数を乗じてCO₂の吸収量を補正することとした。

$$\frac{\text{中性化深さ} \times \text{供試体の表面積}}{\text{供試体の中性化部分の体積}} \dots (1)$$

図5～図8の横軸は補正したCO₂による質量増加を示したもので、中性化深さとの関係はほぼ直線になった。各試験条件、各水セメント比ごとに、原点を通る回帰式を求め、その係数を表4に示す。これによると、水中養生を行った乾燥期間4週の場合にやや大きくなっているが、水セメント比が同じであれば、試験条件にかかわらず、回帰係数はほぼ同じ値となった。このため、各水セメント比ごとに平均値を求め、この平均値を用いて中性化深さの計算値を求めて実測値との対応を示したものが図9である。これによると、中性化深さの計算値は実測値によく対応しているといえる。

4.3 CO₂による質量増加の内容に関する検討

セメント中のC₃SとC₂Sの水和によって珪酸カルシウム水和物と水酸化カルシウムを生じる。その化学反応を分子量を併記して表示すると、それぞれ、



となる。

普通ポルトランドセメントのC₃SとC₂Sの構成比率をそれぞれ53%と23%、水和率を90%と68%と仮定⁵⁾すると、単位セメント量に対する珪酸カルシウム水和物と水酸化カルシウムの生成量の比は、それぞれ、

$$342/456 \times 0.53 \times 0.90 + 342/344 \times 0.23 \times 0.68 = 0.513,$$

$$222/456 \times 0.53 \times 0.90 + 74/344 \times 0.23 \times 0.68 = 0.266$$

となる。

このため、珪酸カルシウム水和物と水酸化カルシウムの生成量は、単位セメント量×0.51、単位セメント量×0.27となる。

次に珪酸カルシウム水和物または水酸化カルシウムと二酸化炭素の化学反応を分子量を併記して表示すると、

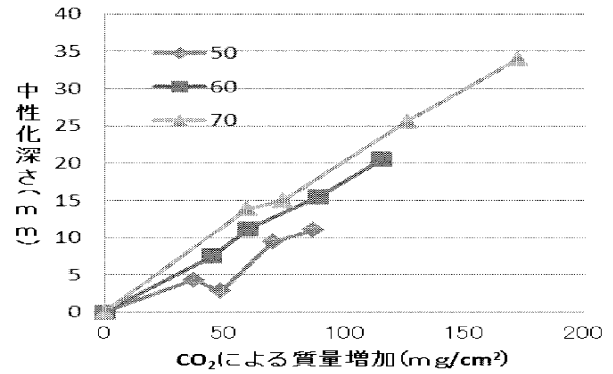
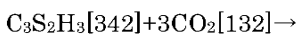


図5 補正した質量増加と中性化深さの関係(No.1)

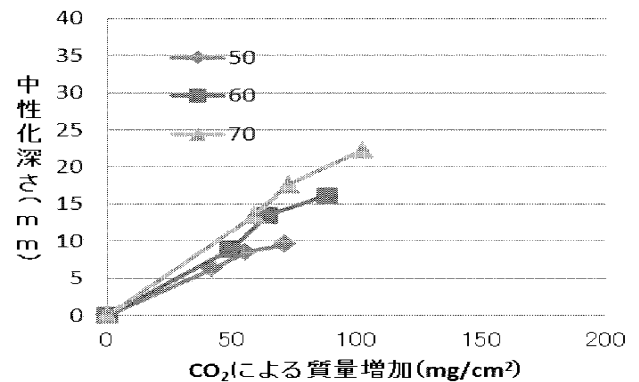


図6 補正した質量増加と中性化深さの関係(No.2)

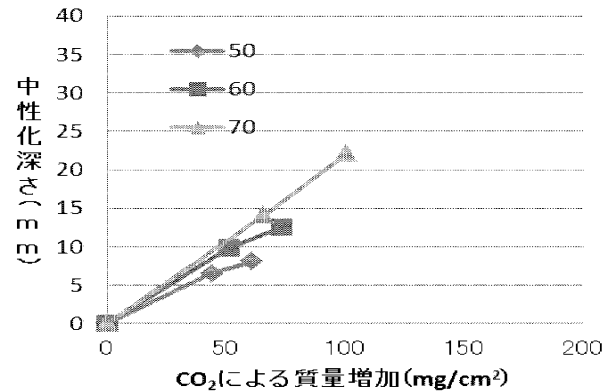


図7 補正した質量増加と中性化深さの関係(No.3)

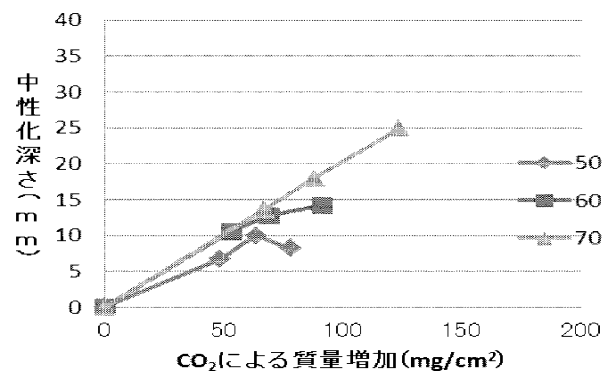
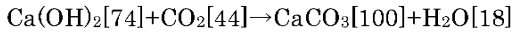


図8 補正した質量増加と中性化深さの関係(No.5)

または、



となる。中性化による質量の増加は、ここで生じる H₂O がコンクリート中に留まると仮定するとそれぞれ、

$$132/342=0.386, 44/74=0.595,$$

外部に逸散すると仮定すると、それぞれ、

$$(132-54)/342=0.228, (44-18)/74=0.351$$

となるため、これらを、上述した珪酸カルシウム水和物、水酸化カルシウムの生成量に乗じることによって算出される。

以上より算出した数値を表5に示す。

この値はコンクリート 1m³ が中性化した場合の質量増加 (kg/m³)を示しているが、単位はこのほか、g/l または mg/cm³ でもよい。

一方、本実験では、表4の回帰係数の逆数を10倍にしたもの、すなわち 10mm 中性化した場合の質量増加は、水セメント比ごとに次のようになる。

水セメント比 50%: 71.4 mg/cm³

水セメント比 60%: 55.8 mg/cm³

水セメント比 70%: 46.8 mg/cm³

この値を表5の値と比較すると、中性化による質量増加については、水酸化カルシウムだけでなく、CSH も炭酸化してそのときに生じた水が逸散している場合にほぼ相当するとみなすことができるが、その他の組み合わせも可能でもあり、今後検討を進めることとする。

5. まとめ

本実験の結果は、次のようにまとめられる。

- 1) 中性化深さは、供試体の質量増加にほぼ比例する。
- 2) 水セメント比が一定ならば、両者の関係は促進中性化開始前の乾燥期間 (1週、4週、13週) および養生方法 (水中養生、封かん養生) に依存しない。
- 3) 同じ中性化深さとなるときの供試体の質量増加は、水セメント比が小さくなるほど大きくなる。
- 4) 水セメント比ごとに求める単位中性化深さ当たりの質量増加を用いて、中性化深さを精度より推定することができる。
- 5) 水酸化カルシウムおよび CSH と CO₂ の反応より生成される炭酸カルシウムと水の量を計算した結果から、上記 (4) の係数を推定できる可能性がある。

[参考文献]

- (1)岸谷孝一：鉄筋コンクリートの耐久性, 鹿島建設技術研究所出版部, pp.13-35, 1963.2
- (2)村上克郎：乾燥と中性化によるモルタルの収縮と重量変化 (1),(2)セメント・コンクリート No.207, pp.2-6, 1964 および No.208, pp.12-20, 1964
- (3)島崎、阿部：質量測定による PCa コンクリートの中性化深さの推定の試み, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.491-

表4 回帰係数の計算結果

水セメント比 (%)	水中養生 4 週			封かん養生 4 週	平均
	乾燥 1 週	乾燥 4 週	乾燥 13 週	乾燥 4 週	
50	0.118	0.143	0.138	0.129	0.14
60	0.177	0.190	0.178	0.173	0.179
70	0.202	0.226	0.218	0.203	0.214

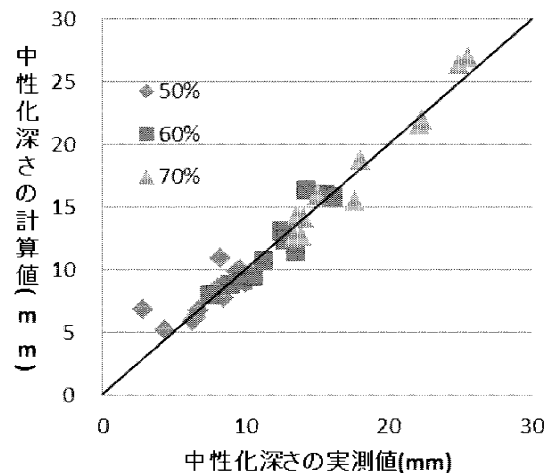


図9 中性化深さの実測値と計算値の関係

表5 CSH および Ca(OH)₂ の CO₂ による質量増加の計算結果

W/C (%)	単位セメント量 (kg/m ³)	CSH の生成量	CSH が炭酸化		Ca(OH) ₂ の生成量	Ca(OH) ₂ が炭酸化	
			H ₂ O が留まる	H ₂ O が逸散		H ₂ O が留まる	H ₂ O が逸散
			0.51	0.386		0.228	0.27
50	352	180	69	41	95	57	33
60	293	149	58	34	79	47	28
70	251	128	49	29	68	40	24

-492,2008.9

(4)阿部、島崎：コンクリートの中性化の進行と質量増加の関係に関する検討, 第9回韓国・日本建築材料施工 Joint Symposium, pp.341-344, 2008.8

(5)森茂二郎：セメント化学からみたコンクリート工学と接点上の諸問題, コンクリート工学, Vol.19, No.11, pp.7-10, 1981.11

震災廃木材を含む未利用木材を有効利用した低圧縮型木片コンクリートの基礎物性評価

未利用木材, セメント, 複合体
 標準強度, 吸水強度, 乾燥強度

荒川京平*1 田村雅紀*2

1. はじめに

現在, 日本では未利用木材の有効利用が求められている。未利用木材は大きく建設発生木材, 製材工場等残材, 間伐木材等の3つに分類することができる。現状において上記2つは90~95%利用されているが, 3つ目の間伐材等はほとんど利用されていない¹⁾。また震災廃棄物を含む木質系チップ全体としての利用方法及び既往の研究²⁾³⁾における木片コンクリートの使用用途として見ても主に内装材料に限られている。そこで, 未利用木材の使用用途を広げることで利用率を高め, CO₂の固定化にも貢献できる建築材料を製造することができれば地球環境の保全及び震災復興に役立つものと考えられる。

この問題を解決できる一つの方法が低圧縮型木片コンクリートブロックの利用である。現在海外で使用されている低圧縮型木片コンクリートブロック(以下海外輸入ブロックとする)は炭素を固定化したまま木チップを利用でき, さらに構造用材料として外装使用できる等, 多くのメリットがある。本研究では研究1で日本での使用についてヒアリング調査を行い, 研究2及び研究3で海外輸入ブロック及び作製した低圧縮型木片コンクリートの基礎物性評価を行い比較した。

2. 海外輸入ブロックを日本で使用するための調査(研究1)

表1に既製のブロックを使用する利点と問題点を示す。ヒアリング調査を行い, 法律上の問題点を明らかにした。調査の結果, 海外輸入ブロックは海外の耐火基準は満たしているが, 日本では法律で定められた圧縮強度を満たしていないため耐火試験も実施できず, 日本で構造用材料としての使用は不可能という結果になった。そこで現在は大臣認定を取得する方向で進んでいる。しかし低圧縮型木片コンクリートには構造用材料として使用する以外にも多くのメリットがある。このことから, 本研究では低圧縮型木片コンクリートを日本の法律で制定されている強度以上の強度向上を図り, 構造材の性能を踏まえた外装材としての性能を評価することを目的とした。また強度向上をすることで, 将来的には国土交通省告示やJISの強度以外の性能を満たすことにより日本で構造用材料としての使用を可能にすることも視野に入れた。(図1)

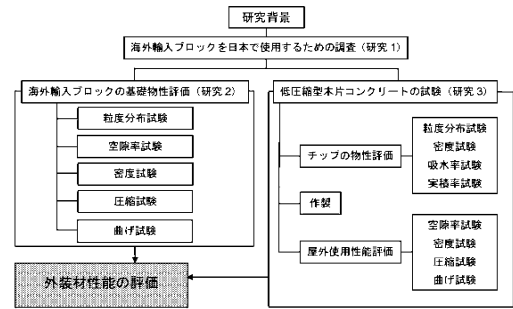


図1 研究の流れ

3. 実験概要

3.1 使用材料及び要因と水準, 実験項目と調査

表1 海外輸入ブロックを使用する利点と問題点(研究1)

ヒアリング	生産者・意匠設計者・構造設計者, 性能評価者, 法律作成者に対するもの。	
利点(海外使用)	説明	
未利用木材の有効利用	木材をチップ化して使用。間伐材等も利用するため林地残材の有効利用が可能。	
施工速さの向上	乾式の組積造のため, 工期短縮可能。ブロックは軽量でノコギリでも切断可能なため加工性に優れる。	
代替型枠化	ブロックが型枠の性能を有している。型枠工事不要	
外装利用可能	破碎木材は現在PB, OSB, など主に屋内使用に限定されているが, 本製品は屋外での使用が可能である。	
問題点(日本使用)	説明	現状
耐火	木材を骨材に木材を使用しているため, 耐火性能に懸念がある。	ISO1182及びBS476に準拠した耐火試験は達成しているがJISに準拠した試験は行われていない。
圧縮強度	国土交通省告示第463号及びJISA5406に規定されている20N/mm ² 未満	海外輸入ブロックの圧縮強度は約2N/mm ²
関連法規	名称	材料性能の規定
建築基準法施工令	第51~62条 組積造	JIS A 5406 建築用コンクリートブロック
	第62条の2~8 補強コンクリートブロック造	
国土交通省告示	第463号 鉄筋コンクリート組積造	告示で規定

表2 使用材料(研究3)

項目	記号	種類	平均最大寸法(mm)
木チップ	RS	リサイクル材(小)	—(微粉末)
	RM	リサイクル材(中)	11.7
	RL	リサイクル材(大)	39.3
	KS	カラ松材(小)	(3mmメッシュを通過)
	AS	赤松材(小)	(3mmメッシュを通過)
セメント	N	普通ポルトランドセメント(密度: 3.16g/cm ³)	
AE減水剤	Ad	リグニンスルホン酸化合物とポリアールの複合体	
増粘剤	M	メタセルロースをエチル化した水溶性MCE系混和剤	
チップサイズの基準	小	パーティクルボード表面材サイズ	
	中	パーティクルボードコア材サイズ	
	大	解体木材を一次破碎工程でできるサイズ	
写真			
小サイズ(微粉末)	中サイズ(≒11.7mm)	大サイズ(≒39.3mm)	

*1 工学院大学工学部建築学科4年

*2 工学院大学建築学部建築学科 准教授 博士(工学)

表2に研究3の使用材料を示す。リサイクルチップはパーティクルボード製造業者が震災廃棄物（工場で定められた放射線量濃度基準値以下のもの）を含む廃木材を加工したものである。比較対象としてセメントの硬化不良を起こすと言われているカラ松材と硬化不良を起こさないと言われている赤松材を選定した⁴⁾。チップの使用状態は含水による強度低下を防止するために表乾状態とはせず、室温約20℃湿度約60%に保たれた部屋で1週間以上養生したものをを使用した。

表3に要因と水準、表4に実験項目と方法、表5に調査を示す。研究2で海外輸入ブロックの基礎物性を調べ、研究3では低圧縮型木片コンクリートを作成し同様に試験した。圧縮試験は屋外での使用を想定し、標準状態、吸水状態、吸水→乾燥状態の3水準で試験を行った。(図2)

3.2 海外輸入ブロックの基礎物性試験（研究2）

3.2.1 海外輸入ブロックのかさ密度及び空隙率試験

図3-aにかさ密度及び空隙率を示す。海外輸入ブロックの上部と下部ではセメントが占める割合が異なることが目視で確認できた。そのため、上部(H)、中部(M)、下部(L)から試験体を切断し試験した。かさ密度は下部に行くにつれ上昇、空隙率はおおむね下降した。このことから下部にセメント成分多いことが分かった。

3.2.2 海外輸入ブロック使用チップの粒度分布試験

海外輸入ブロックを圧縮により崩してからチップに付着しているセメント成分を塩酸水溶液で溶かし、粒度分布試験を行った。粒度は小粒度から大粒度まで満遍なく分布し最密充填であった。

3.2.3 海外輸入ブロックの圧縮試験

図3-bに密度と質量変化率、図3-cに圧縮強度と静弾性係数の変化を示す。吸水乾燥後の密度及び質量は吸水乾燥前とほぼ変化はなかった。圧縮強度は吸水後低下し、乾燥後も回復しなかった。静弾性係数は強度に従い推移した。

3.2.4 海外輸入ブロックの曲げ試験

図3-dに部位の違いによる曲げ強度の変化を示す。密度差より下部から上部にかけての強度低下を推測できたが、結果は、L→H→Mの順に低下した。海外輸入ブロックは部材が不均質で、バラつきも大きいという問題があった。

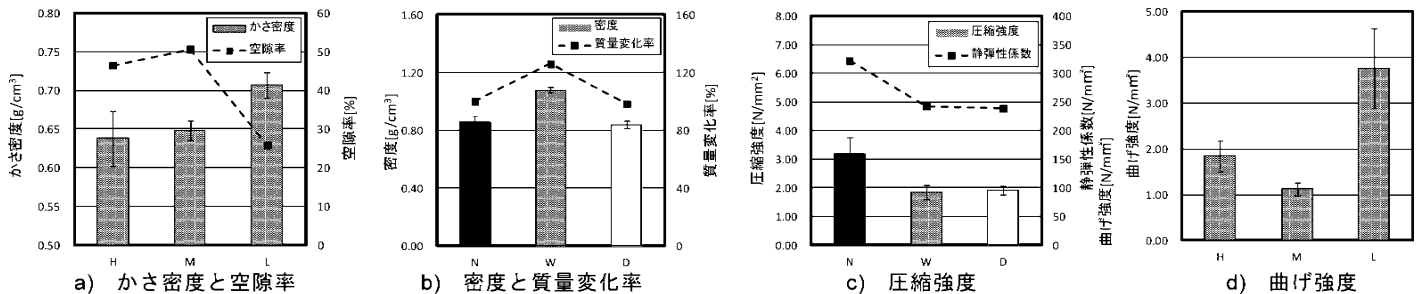


図3 海外輸入の低圧縮型木片コンクリートブロックの基礎物性（研究2）

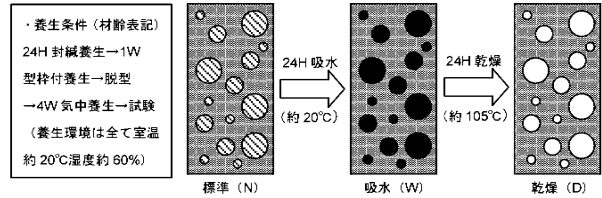


図2 養生条件と圧縮試験体における試験水準（研究3）

表3 要因と水準

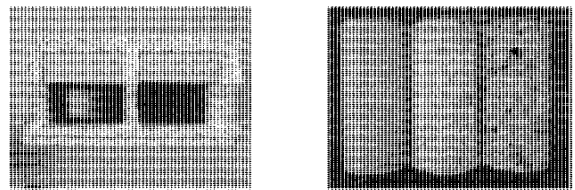
	要因	水準
研究2	圧縮試験条件	標準(N)、吸水(W)、乾燥(D)
	曲げ試験条件	標準：H、M、L
研究3	水・セメント比 W/C (%)	40、50、60
	チップ・セメント比 P/C (%)	10、15、20
	木チップ	RS、RM、RL、KS、AS (表2)
	AE減水剤	セメント比0.25%使用
	増粘剤	水比0.1%使用
	養生条件	図2参照
	圧縮試験条件	標準(N)、吸水(W)、乾燥(D)
	曲げ試験条件	標準、W/C 50%、P/C 15%

表4 実験項目と方法

	状態	実験項目	方法（試験体寸法 mm）
研究2	木チップ	粒度分布試験	ブロックを塩酸水溶液に浸し、付着しているセメント成分を取り除き測定
	試験体	密度試験	ブロックを切断した試験体のかさ密度を測定(40×40×160)。N、W、Dの密度・質量変化率を測定(φ150×300)
		圧縮試験	JIS A 1108、1149 参照 (φ150×300)
		曲げ試験	JIS R 5201 参照。3線式中央1点載荷により、曲げ強さとたわみ量測定(40×40×160)
		空隙率試験	ポーラスコンクリートの空隙率試験方法 ⁵⁾ を参照し測定(40×40×70)
研究3	木チップ	粒度分布試験	使用状態における粒度分布を測定
	試験体	密度試験	JIS A 1109 参照。表乾・絶乾密度測定
		吸水率試験	JIS A 1109 参照。吸水率を測定
		実積率試験	JIS A 1104 参照。実積率を測定
		密度試験	N、W、Dの密度・質量変化率を測定。(φ100×200)
		圧縮試験	JIS A 1108、1149 参照 (φ100×200)
曲げ試験	JIS A 1106 参照。三等分点載荷法により、曲げ強さとたわみ量測定(100×100×400)		
	空隙率試験	研究2と同様に試験(φ50×100)	

表5 調査

項目	記号	W/C (%)	P/C (%)	セメント	水	チップ	Ad	M
単位量 [kg/m ³]	40	40	10	1274	510	127	C × 0.25%	W × 0.1%
	50	50	15	1146	573	172		
	60	60	20	1019	611	204		



a) 海外輸入ブロック（研究2） b) RS 円柱供試体（研究3）

写真1 低圧縮型木片コンクリート

3.3 使用する木チップの基礎物性試験（研究3）

3.3.1 木チップの粒度分布及びかさ密度と含水率

RMの粒度分布は既製の製品と同じく最密充填。RLは中粒度が少なかった。小サイズのチップは微粉末なので計測不能であり平均最大寸法及び粒度分布は省略する。

図4-aに木チップの使用状態のかさ密度及び含水率を示す。かさ密度は小サイズが最大となった。また、カラ松材の密度は赤松材と比べると大きかった。含水率は大サイズが最大となった。

3.3.2 木チップの密度及び吸水率

図4-b~dに木チップの表乾密度及び絶乾密度、吸水率を示す。表乾密度は使用状態のかさ密度と同様に小サイズが最大となった。絶乾密度は大サイズが最大となった。このことは吸水率の違いによるものだと考えられる。またカラ松材の表乾及び絶乾密度は赤松材と比べ小さかった。吸水率は小サイズが最大となった。これはチップの表面積の違いによる変化だと考えられる。また、大サイズには塗料などが付着しているチップも混在しているので、このことも吸水率が低い原因の一つだと考えられた。カラ松材は赤松材と比べ多く吸水した。

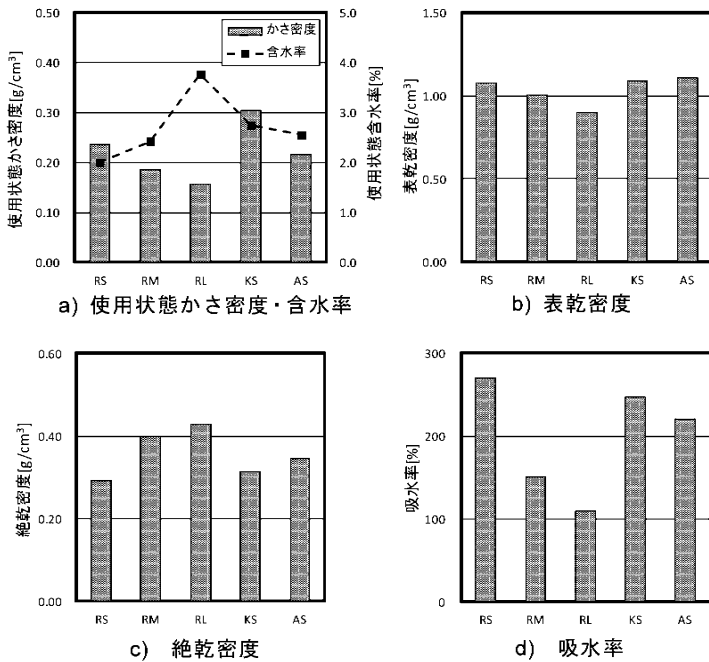


図4 使用する木チップの基礎物性（研究3）

3.4 低圧縮型木片コンクリートの作製及び試験

3.4.1 低圧縮型木片コンクリートの試験体作製

試験体の作製方法はJIS A 1132：コンクリートの強度試験用供試体の作り方を参考にして行った。木片コンクリートは粘性が高いのでセメント成分とチップを均一にするため突く層の数を多くした。またRM, RLについてはチップとセメントペーストの分離防止のため増粘剤を添加した。

3.4.2 低圧縮型木片コンクリートの空隙率試験

図5に空隙率を示す。チップの含有量が少ないほど空隙率は少なかった。図7に空隙率の違いによる圧縮強度・静弾性係数の変化を示す。圧縮強度との関係は普通コンクリートの空隙率が約1%増加すると圧縮強度は約5%減少するという性質におおよそ従い推移した。

3.4.3 低圧縮型木片コンクリートの圧縮試験

図8に試験体の密度と重量変化率、図9に圧縮強度と静弾性係数を示す。縦ひずみをコンプレッソメーターで測定し、静弾性係数を求めた。供試体端面の平滑度向上のために上端面にはアンボンドキャッピング又は石膏キャッピング及びアンボンドキャッピングを施し試験した。

密度変化と重量変化率の変化量はチップが大きくなるほど、またチップの含有量が多くなるにつれ増加した。逆に圧縮強度はチップが大きくなるほど、また含有量が多くなるにつれ減少した。吸水・乾燥させると強度は低下したが、チップが小さいものは乾燥により強度が回復した。

図6に日本建築学会式との比較を示す。図中の密度 γ はALCパネルの密度 0.5g/cm^3 、軽量コンクリート骨材の密度 $1.0\sim 1.5\text{g/cm}^3$ を参考とし比較した。全ての試験体は学会式に従い推移した。

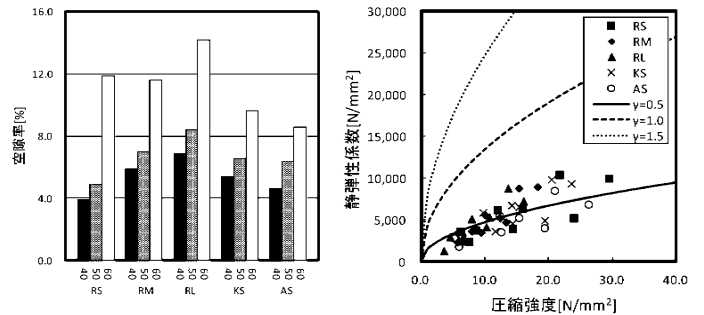


図5 供試体の空隙率（研究3） 図6 学会式との比較（研究3）

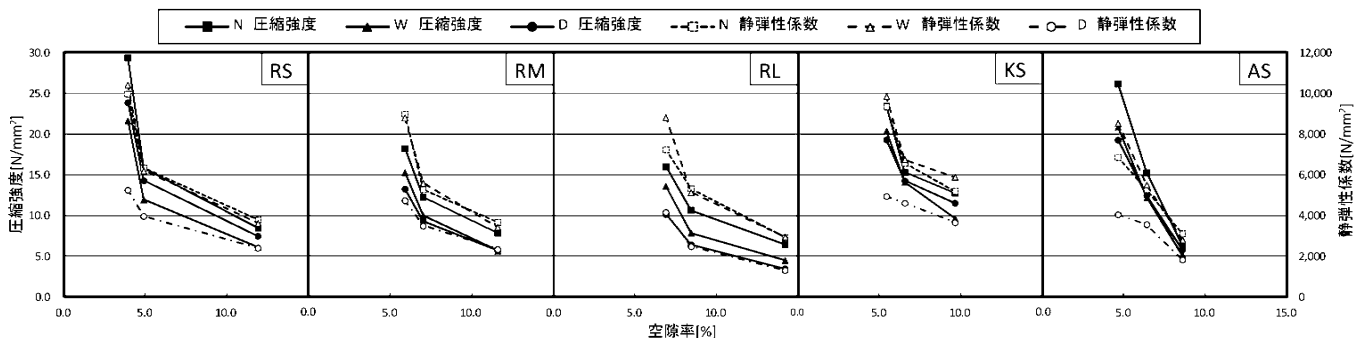


図7 低圧縮型木片コンクリートの空隙率の違いによる圧縮強度と静弾性係数の変化（研究3）

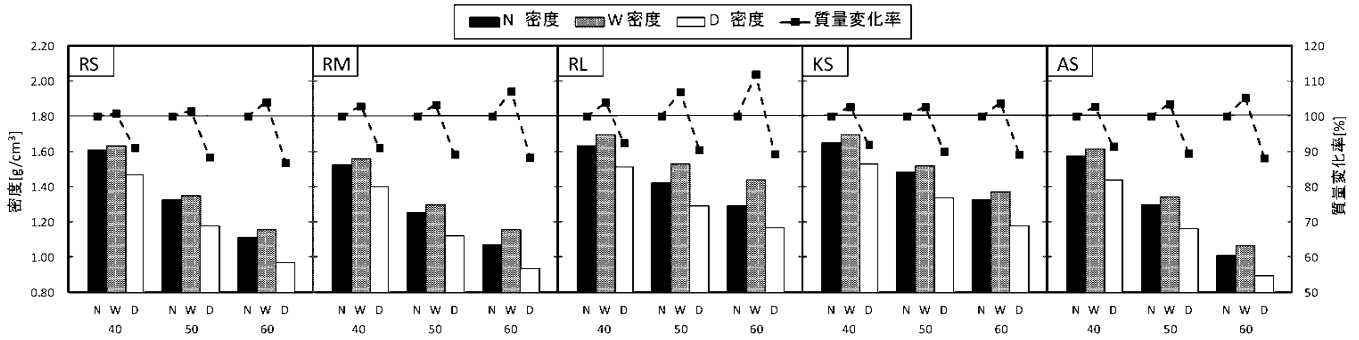


図8 低圧縮型木片コンクリートの吸水・乾燥による密度と質量変化率の推移（研究3）

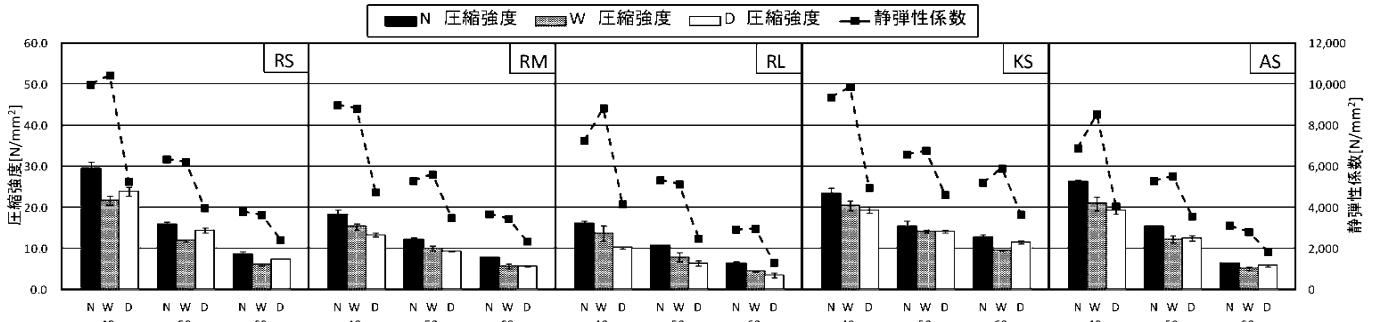


図9 低圧縮型木片コンクリートの吸水・乾燥による圧縮強度と静弾性係数の変化（研究3）

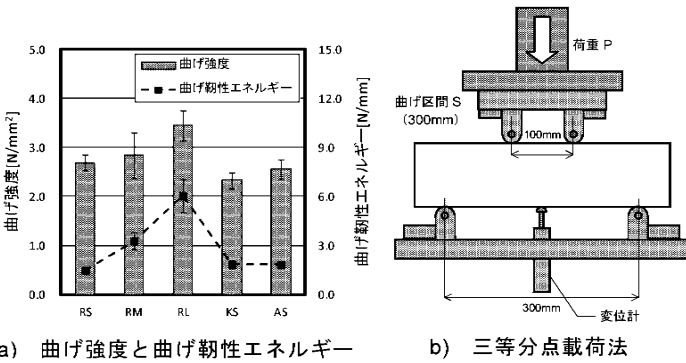


図10 低圧縮型木片コンクリートの曲げ試験（研究3）

3.4.4 低圧縮型木片コンクリートの曲げ試験

図10に曲げ強度と曲げ靱性エネルギーを示す。曲げ強度は大サイズが最大となった。チップが大きくなると木材の曲げ強度>圧縮強度という特徴が顕著に表れた。

曲げ区間に対する1%の変形を限界状態とし、曲げたわみ曲線における3mmまでのたわみに囲まれた面積を曲げ靱性エネルギーとし評価した。曲げ靱性エネルギーは曲げ強度と等しく変化した。

4. 海外輸入ブロックとの比較

海外輸入ブロックと比べ圧縮強度は約2~15倍の強度向上が図れ、目標としていた20N/mm²以上が達成できた。曲げ強度も同等の強度を保つことができた。またバラつきも少なく抑えることができた。しかし、密度は約1.3~2倍程度増加し、空隙率は約45~92%減少してしまった。これではのこぎりで切断できるというメリットが無くなってしまった。今後は強度を落とさず、チップの含有量を増やし、セメント量を減らすことが課題となる。

5. まとめ

- 1) 海外輸入ブロックは強度・耐火性能等の懸念から日本での使用は現状不可能であった。
- 2) 吸水・乾燥による強度低下量はサイズが大きくなるほど大きくなる。また圧縮強度の面から見ても、屋外使用を目的とするチップは小さいほうが有利である。
- 3) カラ松材による硬化不良の影響は特に見られず、セメント使用量の増加に伴い改善したと考えられた。リサイクル材や硬化不良樹種でも十分使用可能である。
- 4) 目標である圧縮強度20N/mm²以上を一部の水準で達成でき、構造材料として使用を可能にする第一歩となった。今後は骨材の不燃化や耐摩耗性能向上等が課題となる。

参考文献

- 1) 農林水産省、バイオマス活用基本計画、2010
- 2) 織袋信明、川村政史、笠井芳夫：木片コンクリートの製造及び強度・密度に関する実験研究（その2）、日本建築学会大会学術講演梗概集（関東）P.P.681~682、2001.9
- 3) 笠井芳夫、川村政史、周建東：解体木材を用いた木片コンクリートの製造及び曲げ・圧縮強度、日本建築学会構造系論文集 第473号 P.P.1~10、1995.7
- 4) 山岸宏一：硬化不良樹種による木質セメント板の製造に関する研究、林産試験場研究報告 74号 P.P.1~48 1985.3
- 5) 社団法人日本コンクリート工学会、ポーラスコンクリートの設計・施工法の確立に関する研究委員会委員会報告書、2003.5

謝辞

本研究の実施にあたり、木チップの提供や加工等で東京ボード工業、双日与志本林業、小出チップ工業、氏家製作所の関係各位に、ヒアリング調査等にデュリソルジャパン、木毛セメント板工業組合、積水ボードの関係各位より多くの助力を賜り感謝致します。なお本研究の一部は、工学院大学UDM・PJ研究、H24年度科研費(若手A:23680681 田村雅紀)による。

災害対応を含む環境配慮型打継ぎ資材の施工システムにおける複合的环境側面の評価

有賀拓矢*1 田村雅紀*2

打継ぎ 環境配慮 環境側面 経済性

1.はじめに

建築分野における環境負荷排出量の割合約 42%のうち、施工段階の割合は約 1.3%と少ないが、施工計画において使用する製品の発注量や単価、搬入経路、公害問題等々、環境負荷の潜在的影響では削減の機会が多い。そのため製品の環境負荷量や環境貢献を定量的に表示し、他製品と比較することによって環境配慮への実効性の程度を示すことが重要であり、経済性のような計画段階に反映することを考慮すると、環境負荷量のみならず環境側面についても明確にすることが重要である¹⁾。

本研究では、災害対応での迅速施工を含む環境負荷量を確認する環境配慮型の施工資材として、空気導入により用いるチューブ型の打継ぎ材(以下チューブ打継ぎ材)を対象とし、従来型の打継ぎ材と比較し、輸送段階を含む施工段階における環境負荷量を算出、作業能率の測定、経済性評価を目的とする。研究1として現場調査を行い、チューブ打継ぎ材の施工性能やリユース性能を調査、研究2として環境配慮型資材を実際に使用することによる環境負荷量や作業能率、経済性を評価する(図1参照)。

2. 研究概要

2.1. 打継ぎ材の使用材料と水準

表1に使用材料を示す。コンクリート打設能力には限界があるため打ち継ぎ部が多くなり、打継ぎ資材の投入量も多くなる。そのため定量的に比較しやすい打継ぎ資材を研究対象とした。環境配慮効果が期待できるチューブ打継ぎ材を対象とし、環境配慮効果を示すために比較対象として従来型打継ぎ材のラス鋼を用いる。

図2に評価対象の水準とシステム領域を示す。本研究では輸送段階を含む施工段階のみ評価を行い、製造段階についてチューブ打継ぎ材は転用して用いるため、製造数量が少なく単価で評価ができないため含まない。また廃棄段階についてチューブ打継ぎ材は転用回数が多く、

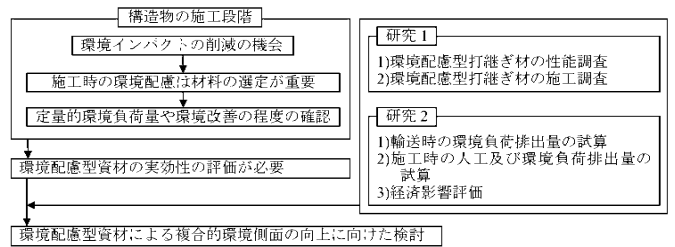
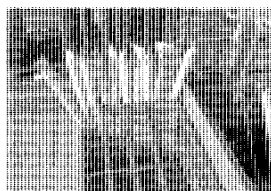

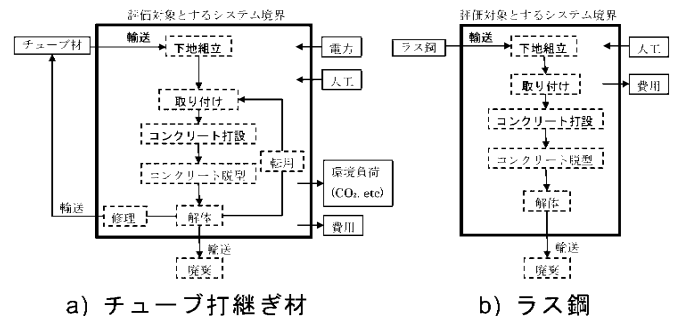


図1 研究の流れ

表1 使用材料

打継ぎ材名称	空気導入型打継ぎ材 (チューブ打継ぎ材)	ラス
材料	ポリプロピレン 塩化ビニール複合材	亜鉛メッキ鋼板
規格	長さ 1.2m, 8m φ80	長さ 1829mm, 幅 914mm
		
	チューブ打継ぎ材	ラス鋼



a) チューブ打継ぎ材

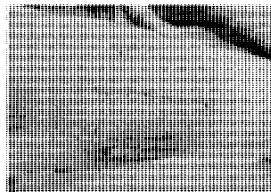

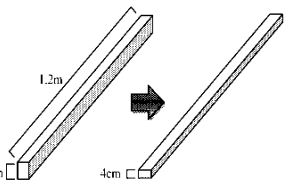
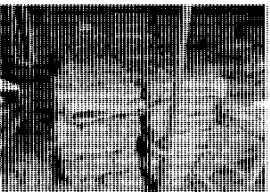
b) ラス鋼

試験要因	水準
対象資材	ラス鋼, チューブ打継ぎ材
対象行為	打継ぎ材組立, 打継ぎ材取付, 工区分割(2工区, 3工区), 打継ぎ材輸送
評価指標	CO ₂ , NO _x , SO _x , PM, 時間, 人工, 仕事量, 円,

備考) 物の：□ 行為：□□ □□□□記：評価単位プロセス

図2 評価対象とする水準とシステム領域

表2 チューブ打継ぎ材の補修、輸送方法調査結果 (研究1)

概要	結果: 軽度の傷は傷口を火で溶かし、接着する。重度の傷は傷口を裁断し、その断面にウレタンを溶かし、接着する。	概要: 運搬方法の調査	結果: チューブ打継ぎ材は空気を抜いた状態で体積が 1/2 に減少するので、折りたたんだ状態での輸送が可能である。
日時: 平成 24 年 7 月 20 日 場所: 東京都江戸川区 材料: チューブ打継ぎ材		日時: 平成 24 年 7 月 20 日 場所: 東京都江戸川区 材料: チューブ打継ぎ材,	
写真  摩擦による傷	 補修後	 チューブ打継ぎ材の輸送時状態	

*1 工学院大学工学部建築学科 4 年 *2 工学院大学建築学部建築学科生産系分野・准教授・博士(工学)

ラス鋼と比較できないため含まない。チューブ打継ぎ材とラス鋼では施工に伴うプロセスが異なるため、評価する要素が変化する。そのため評価を行う際に評価指標を金額換算し、結果を統一する。

2.2 チューブ打継ぎ材の性能調査 (研究 1)

2.2.1 チューブ打継ぎ材の補修・輸送条件調査結果

表 2 にチューブ打継ぎ材の補修と輸送条件調査結果を示す。コンクリートの側圧や組み立てた鉄筋間に押し入れる際に摩擦により、端部に傷をつける。修理は 2 段階に分けて行い、ウレタンを用いた修理方法では裁断するために寸法が短くなるが、施工性能に問題なくそのまま使用できる。また補修数量は使用されるチューブ打継ぎ材のうちの 2% のみで、1 本につき約 100 回繰り返して利用が可能であるため高いリユース力が認められ、施工時において資材投入量を削減できる。輸送について、チューブ打継ぎ材は輸送時には空気を排出した状態で折りたたむことにより体積を 1/2 に縮小でき、積載重量による環境負荷量の低減が可能である。また、建設現場では繰り返し使用するため輸送回数が少なく、輸送車からの排気ガスの削減が可能である。

2.2.2 チューブ打継ぎ材の施工調査概要と結果


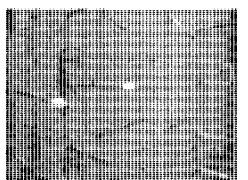
表 3 にチューブ打継ぎ材の施工概要を示す。チューブ打継ぎ材の施工時における性能は、ラスに比べると施工をする手間が少なく、チューブ打継ぎ材への空気の導入時間は 100V の加圧式エアコンプレッサーで 8 秒であり、施工速度が速く、全体工期の短縮が可能である。チューブ打継ぎ材を使用する際には施工前処理が必要となり、補強筋、番線を用いて下地を組み立てる。施工方法に関して、壁、梁等においては主筋と主筋の間に入れ、チューブ打継ぎ材を縦におき、梁底まで押し入れる。耐圧盤、スラブにおいては上端筋と下端筋の間及び下端筋からカブリ部に横置きにして取り付ける²⁾。打設時においてラス鋼の場合であると躯体内に残り、錆びやクラック処理等が必要となるが、チューブ打継ぎ材であると打設後解体するため後処理が容易であり、工期を短縮できる。

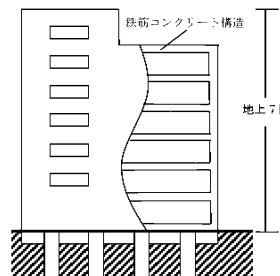
2.3 打継ぎ材の施工システムでの複合的環境側面 (研究 2)

2.3.1 モデル建物概要

図 3 に環境負荷算出の対象になるモデル建物概要、表 4 にモデル建物の図面調査結果を示す。2009 年に竣工された RC 造の特別養護老人ホームに設定した。前提として図面を元に単位ユニット階を想定し、全階層を単位ユニットで構成し、建物の規模が変化した場合に対しても単位ユニット図に比例することとした。またヒアリング調査により打継ぎ箇所を確認し、打継ぎ材投入量の試算を行った。条件としてリユース量や資材投入量を比較するために打継ぎ箇所については工区分を行き、2 工区と 3 工区に分けて考え、3、2 工区共に柱・壁・床・梁は

表 3 チューブ打継ぎ材の施工概要

日時：平成 24 年 8 月 29 日 場所：埼玉県所沢市 概要：チューブ打継ぎ材の施工方法調査		写真
概要 結果：コンクリート打設後解体するためレイタンス処理等、後工程が容易になり、工期を短縮できる		 打設時のラス鋼  解体時の打継ぎ面
チューブ打継ぎ材 鉄筋ユニット製作 ↓ 下地組立 ↓ 配筋 ↓ チューブ打継ぎ材取付 ↓ コンクリート打設 ↓ チューブ打継ぎ材解体 ↓ 完工	ラス鋼 鉄筋組立 ↓ ラス組立 ↓ 配筋 ↓ コンクリート打設 ↓ コンクリート流出部ハツリ ↓ 止水補修工事 ↓ 完工	



モデル建物概要	
場所	大阪府大阪市
構造	鉄筋コンクリート造、杭基礎
工期	2007/4/1 着工～2009/11/16 竣工
用途	特別養護老人ホーム
階層	地上 7 階
建築面積	950m ²
延床面積	5,300m ²

図 3 モデル建物概要

表 4 モデル建物の図面調査

図面調査	
概要	日時：平成 24 年 10 月 3 日 概要：モデル建物の図面調査 結果：図面を元に単位ユニット作成後、打継ぎ箇所の確認を行った。またヒアリング調査によりモデル建物の工区分を行き、2 工区と 3 工区に分け、打継ぎ材投入量を試算した。 工区分：梁について 曲げモーメントの小さい箇所であると剪断力が働いたため、剪断補強筋を入れる必要がありコストが増大するためスパンの中央とする
	単位ユニット図

表 5 環境負荷係数

最大積載量 (kg)	積載率 (%)					
	輸送トンキロ当たり燃料使用量 (t・km)					
	10%	20%	40%	60%	80%	100%
～999	1.67	0.954	.54	0.391	0.309	0.258
CO ₂ 排出量係数						
軽油単位発熱量 (GJ/kL)	排出係数 (t-C/GJ)	44/12 (t-CO ₂ /t-C)		CO ₂ 排出係数 (t-CO ₂ /kL)		
38.2	0.0187	3.666667		2.619247		
環境負荷排出係数						
単位 (*)	SO _x 排出量 (g-SO _x /*)	NO _x 排出量 (g-NO _x /*)		PM 排出量 (g-PM/*)		
km・t	7.68×10 ⁻⁴	7.42×10 ⁻³		6.27×10 ⁻⁴		

同時打ちにし、水平打継ぎ部を設けないこととした。工区区分の結果としてモデル建物の総打継ぎ部は 3 工区では 98 カ所、2 工区では 56 カ所である。

2.3.2 施工システムにおける環境負荷量の試算方法

表 5 に環境負荷量係数を示す。輸送時の試算は改良トンキロ計算によって環境負荷量を算出する³⁾。チューブ打継ぎ材は転用回数を考慮した必要数量、ラス鋼は実際に使用する必要数量を算出し、1 工区当たりの輸送重量を算出する。片道距離は同出発点より現場内への搬入までとし、総輸送距離を搬入までの片道距離と往復数の積とする。ルートはゼンリンによるルート検索情報システムを用いて最短距離を条件とし、一般道路を使用する。輸送重量と総輸送距離を掛け合わせた値をトンキロ値とし、表 5 で示した各々の環境負荷量係数⁴⁾とトンキロ値を掛け合わせ、環境負荷量を算出する。施工時における試算はチューブ打継ぎ材に空気を導入する際にかかるエアコンプレッサーの消費電力量を CO₂ 排出量に換算し、環境負荷量として算出する。ラス鋼は施工時に環境負荷を排出しないため試算を行わない。

2.3.3 輸送時における環境負荷量評価結果

表 6 に輸送時の環境負荷量の算出結果、図 6 に輸送時の環境負荷量の比較を示す。チューブ打継ぎ材のラス鋼との環境負荷量の差は 3 工区では約 8%削減しており、チューブ打継ぎ材は転用することにより輸送回数を抑えることができたが、ラス鋼は 1 工区毎に輸送を行うため総輸送距離が増え、環境負荷量を多く排出した。2 工区ではラス鋼に比べ約 73%増加しており、転用するため工区数によるチューブ打継ぎ材の必要数の変化はないが、ラス鋼の必要数は 2 工区で約 1/2 に減少しており輸送量が削減したため、チューブ打継ぎ材がより多く環境負荷量を排出する結果となった。

2.3.4 施工時における資材組立方法

表 7 に打継ぎ材の組立方法を示す。モデル建物の図面を元に大梁を想定した型枠を作成し、配筋を行った。複数名、複数回によりチューブ打継ぎ材とラス鋼を実際に組み立て、施工速度、人工量共に実測の平均値とした。図 7 に時間測定結果、図 8 に人工量結果を示す。組立時間において施工前処理である鉄筋結束時間はチューブ打継ぎ材、ラス鋼ともに等しく必要な処理として同時間とした。ラス鋼において剛性が弱く、取り付ける際に安定せず扱いづらい。チューブ打継ぎ材においては空気導入時間が 1 本につき約 8 秒かかるため時間を消費し、組立施工では鉄筋間に隙間なく押し入れることは困難であるが、ラス鋼よりも取付は容易である。人工量については組立時間を元に、必要な人工量を算出した。チューブ打継ぎ材はラス鋼に比べ約 38%低減できており、投入作業員を削減することができる。

表 6 輸送時における環境負荷量の算出結果

3 工区		
	チューブ打継ぎ材	ラス鋼
総輸送重量 (t)	0.096	0.105 (0.006982)
総輸送距離 (km)	13.2	198
トンキロ値 (t・km)	1.273	1.382
CO ₂ 排出量 (kg-CO ₂)	5.57	6.047
NOx 排出量 (kg-NOx)	4.23 × 10 ⁻²	4.64 × 10 ⁻²
SOx 排出量 (kg-SOx)	4.28 × 10 ⁻³	4.64 × 10 ⁻³
PM 排出量 (kg-PM)	3.49 × 10 ⁻³	3.79 × 10 ⁻³
2 工区		
総輸送重量 (t)	0.096	0.056 (0.006982)
総輸送距離 (km)	13.2	105.6
トンキロ値 (t・km)	1.273	0.737
CO ₂ 排出量 (kg-CO ₂)	5.57	3.22
NOx 排出量 (kg-NOx)	4.23 × 10 ⁻²	2.48 × 10 ⁻²
SOx 排出量 (kg-SOx)	4.28 × 10 ⁻³	2.48 × 10 ⁻³
PM 排出量 (kg-PM)	3.49 × 10 ⁻³	2.02 × 10 ⁻³
輸送時における試算方法		
1) L × N = 総輸送距離 (km)		↓
L: 片道輸送距離 (km)		2) 総輸送距離 × M = トンキロ値 (t×km)
N: 輸送回数 (回)		↓
M: 総輸送量 (t)		3) トンキロ値 × E = 環境負荷排出量
E: 環境負荷物質排出量係数		

備考) ()内は 1 工区あたりの輸送重量

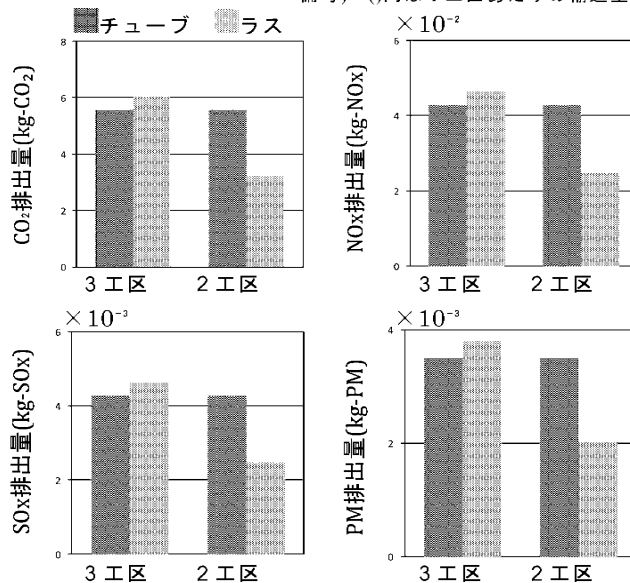
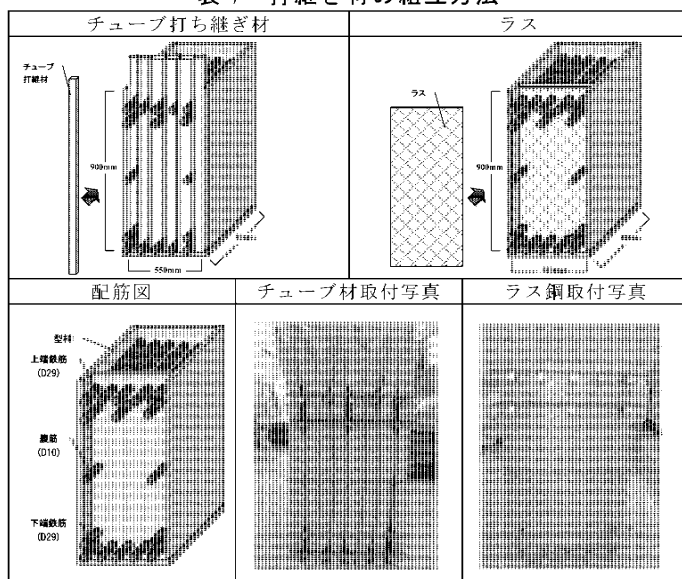


図 6 打継ぎ材の輸送時環境負荷量比較

表 7 打継ぎ材の組立方法



2.3.5 施工時における環境負荷量評価結果

図 9 に施工時における CO₂ 排出量を示す。チューブ打継ぎ材はエアコンプレッサーにより空気を導入する必要があるため、電力の消費による環境負荷量を算出した。チューブ打継ぎ材の使用による環境負荷物量は多くないが、ラス鋼は取付の際に環境負荷量がないので、チューブ打継ぎ材と比較できない。しかし施工時における CO₂ 排出量は多くなく、チューブ打継ぎ材は約 100 回の繰り返し利用が可能なので、生産する個数はラス鋼よりは少ない。そのためチューブ打継ぎ材とラス鋼のライフサイクルで排出される環境負荷量を考えた際に施工時のみならず、全体で考えた際に環境負荷量は低減できる。

2.3.6 打継ぎ材の施工システムにおける経済性評価

表 9 に経済性試算結果を示す⁵⁾。経済性試算において、ディーゼルは石油卸価格を適用し、CO₂ 排出量を金額換算し、電力については kWh 単位で電気料金表を元に金額換算した。人工については現場施工での実数値を用いた。輸送時においてチューブ打継ぎ材は輸送回数が少ないので、輸送に伴う輸送員や燃料にかかる費用を抑えることができる。施工時においてチューブ打継ぎ材はリースコストでの費用となるので、工区が多くなると費用も多くなる。しかし、チューブ打継ぎ材の施工を行う作業員がラスと比べ少ないので、総金額値ではチューブ打継ぎ材が費用を低く抑えることができる。エアコンプレッサーの電力消費に伴う費用は微小であり、施工時におけるデメリットになりえないことが分かる。

3. まとめ

本研究よりチューブ打継ぎ材の結果で以下のことが明らかになった。

- 1) 輸送時では転用回数が多いため輸送回数が減り、環境負荷量の低減に繋がるが、工区が少ない場合輸送重量自体は変化しないため、環境負荷量が低減することはなく、ラス鋼と比べると多くなる。
- 2) 施工時では CO₂ を排出量するが微小であり、ライフサイクルでの CO₂ 排出量を考慮してラス鋼と比較すると環境負荷量は少ないと言える。また施工時間が短いため工期短縮、人工量についても抑制が可能である。
- 3) 経済性において輸送時では輸送回数が少なく、輸送費用を抑える。施工時では施工時間が短いため人工量を減らすことができ、コスト削減の効果がある。

参考文献

- 1) 鉄筋コンクリート造建築物の環境配慮施工指針(案)・同解説, pp35, 2008
- 2) エアテック技術資料:エアフェンス施工例, 公式 HP
- 3) 経産省・国交省:物流分野の CO₂ 排出量に関する算定方法ガイドライン, 2006
- 4) 土木学会:コンクリートの環境負荷評価(その2), コンクリート技術シリーズ 62, pp.32, 2004
- 5) 一般財団法人経済調査会:建築工事の積算, pp141, 2012

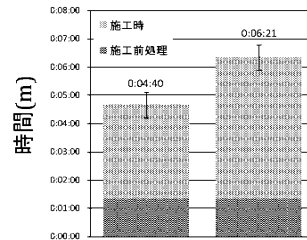


図 7 組立時間比較

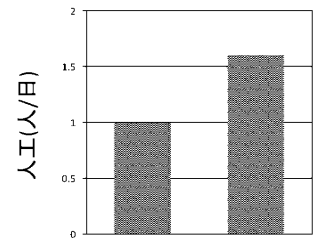


図 8 人工量比較

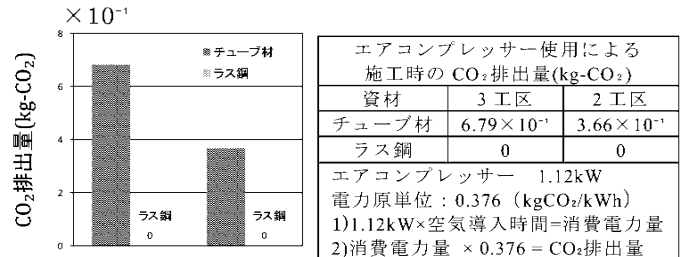


図 9 施工時における CO₂ 排出量

表 9 打継ぎ材使用による経済効果算出結果

輸送時における経済効果						
工区	名称	単位	総数量	単価(円)	金額(円)	
3	チューブ材輸送員	人	1	17,100	17,100	
	輸送時排出 CO ₂	kg	5.56	42.55	236.58	
	燃料(軽油)	ℓ	0.87	110	96	
	計				17,433	
	ラス鋼輸送員	人	15	17,100	256,500	
	輸送時排出 CO ₂	kg	6.06	42.55	257.85	
2	燃料(軽油)	ℓ	13.03	110	1,433	
	計				258,191	
	チューブ材輸送員	人	1	17,100	17,100	
	輸送時排出 CO ₂	kg	5.56	42.55	236.58	
	燃料(軽油)	ℓ	0.87	110	96	
	計				17,433	
3	ラス鋼輸送員	人	8	17,100	136,800	
	輸送時排出 CO ₂	kg	3.22	42.55	137.01	
	燃料(軽油)	ℓ	6.95	110	764	
	計				151,265	
	施工時における経済効果					
	工区	名称	単位	総数量	単価(円)	金額(円)
3	チューブ材(1.2m)	本	54	10,500	567,000	
	チューブ材(8m)	本	3	21,000	63,000	
	コンプレッサー	kWh	2.24	20.64	46.28	
	作業員	人	15	18,700	280,500	
	計					910,546
	ラス鋼(914×1829)	枚	19.52	3,210	62,646	
2	作業員	人	105	18,700	1,963,500	
	計				2,026,146	
	チューブ材(1.2m)	本	54	56,00	302,400	
	チューブ材(8m)	本	3	12,320	36,960	
	コンプレッサー	kWh	1.21	20.64	24.92	
	作業員	人	8	18,700	149,600	
3	計				488,985	
	ラス鋼(914×1829)	枚	10.409	3,210	33,412	
	作業員	人	56	18,700	1,047,200	
	計				1,080,612	

備考) 人工については現場施工での実績値より

謝辞

本研究の実施にあたりエアテック金本康来氏、清水建設名知洋子氏より貴重な助言を受けた。また本研究の一部は工学院大学 UDM・PJ 研究, H24 年度科研費(若手 A:23680681 田村雅紀)による。

外装材利用を目的とした震災廃木材を含む木片セメント板の基礎的物性と硬化促進改質処理効果

木質セメント板 外装材 塩化物
 震災廃棄物 間伐材 補修材

佐山俊介*1 田村雅紀*2

1.はじめに

近年の日本では未利用木材の活用方法について考える必要がある。木材はエネルギー源として優れており、火力発電用のバイオマス燃料としての利用が進められている。しかし地球温暖化等の環境問題を考慮した場合、大気中の二酸化炭素量の増加は好ましいことでない。そこで別の活用法として、木材の建材利用がある。木材が吸収した二酸化炭素量を削減可能であり、環境問題解決のためにこちらの方法を推奨する必要がある。

また、現在の法律上、有機物である木材含む木質セメント系材料は構造や外装材利用に強度や耐火、防火、木材特有の膨張収縮等の理由より制限があり、幅広く使用することができない(図1参照)。これより、優れた性能を有するが十分に発揮されていない。そこで、外装材としての普及を促進するために品質を向上させて要求条件を満たす必要がある。

本研究では、研究1として木質セメント板の木材利用環境の現状調査を行い、研究2として硬化不良及び品質不安定性について、硬化促進方法として塩化物の添加、高温養生を実施することで改善可能か検討し、木材の建材原料利用の向上を目的とする。また木質セメント板特有の高性能である吸放湿性¹⁾に注目し、超低粘度の補修材を含浸させることで、製造時のみでなく補修時に改質処理効果が得られるか実験する。

2.研究概要

2.1.木質セメント板の木材利用環境(研究1)

間伐材は安価で購入可能だが、未成熟のため用途が限られる、工場搬入費用や加工費負担が多いため採算性が低い、また安価かつ加工された状態で入手できる輸入材を利用可能なため、わざわざ利用する必要がないなど、メーカーにとって利用しづらい状況であることがヒアリング調査から判明した(表1参照)。

2011年3月に発生した東日本大震災により岩手県、宮城県、福

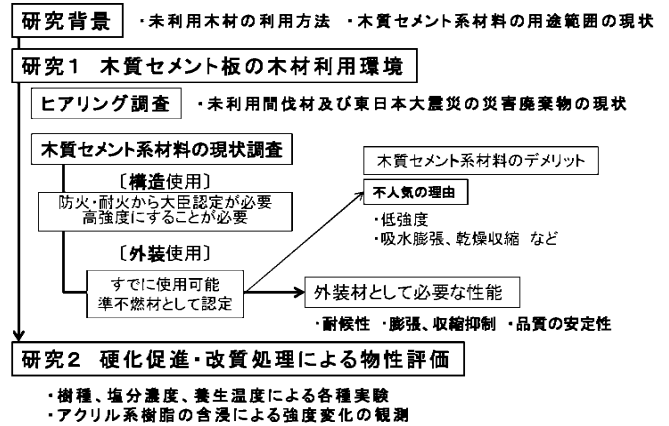


図1 研究の流れ

島県の3県合計で約2250万トンの災害廃棄物が発生した。このうち40%~75%は木質系災害廃棄物である。政府は震災復興や電力安定供給の観点からエネルギー利用推奨している。しかし、沿岸部で海水に浸かった木質系廃棄物は、塩分濃度が最大で8%程度に達すると考えられている²⁾。海水に浸かった木材は燃焼機器の損傷や有害物質の発生を招く恐れがあり、エネルギー利用するには塩分濃度を下げなければならないため、余計な負担が増えてしまう。そこで、木片セメントに塩分を加えて問題がなければ、これらの木材を有効活用できることにあり、意義あることが判明した。

また震災廃棄物を再資源化するにあたり、循環型社会形成基本法や廃掃法などにおける法的定義が関わる。循環資源の定義において、震災廃棄物がリサイクル可能であれば、「廃棄物」ではなく「有用物」として位置づけることができる。また、廃木材を使用したリサイクル材には多様な樹種及びサイズの木質繊維が混じることが調査により判明しており、それらを利用した場合でも一定の強度を保持できている。現状において、利用可能な水準は満たしているため、これからのリサイクルには性能や機能的な価値を高めて再資源化することが重視される。

表1 ヒアリング調査結果

ヒアリング	日時	内容
木質セメントブロックメーカー	2012.3.6	・木片セメントブロックを生産。しかし規格上該当するカテゴリーが存在しないため、幅広く使用されるには大臣認定等が新たに必要。 ・耐火、防火性能を証明するには建築基準法によって定められた時間、火熱に耐えなければならない。
パーティクルボードメーカー	2012.6.7	・燃料利用されているので木くずが集まらない。最近では原発事故の影響で放射線測定器を用いて判別している。 ・再生エネルギー固定買取制度により今まで以上に木材が不足する可能性あり。
木質セメント板工業会	2012.8.3	・木質セメント板は主に下地材として利用されている。窯業系サイディングと組み合わせた製品やコンクリート打ち込み型枠もあり。 ・木質部分を含んでいるため、材齢の経過とともに収縮する。表裏の収縮率が異なると反りが生じる。吸水すると長さが0.003%増減する。 ・国内産の木材は費用がかかるため利用の見通しが立っていない。また、今後は震災で発生した木材も利用しなければならない。
硬質木片セメント板メーカー	2012.10.9	・関東は杉材が多く、間伐材を利用(小径木やこうら材なども利用)、使用しているのは100%バージン材、木皮が混入しないようにしている。 ・木チップによる硬化不良が起きる前に熱圧縮することで短期的に成形する。 ・耐火性能をもつボードを製造。外壁として使用する場合、最低でも耐火性能が必要。JISに沿った製品を製造。新たなものは大臣認定が必要。

*1 工学院大学工学部建築学科4年

*2 工学院大学工学部建築学科 准教授 博士(工学)

2.2.硬化促進による基礎物性の性能評価（研究 2）

2.2.1.使用材料

表 2 に使用材料を示す。木材は硬化不良を起こすカラマツ³⁾、震災廃棄物を含むリサイクルを用いた。またセメントは木質セメント板で一般的に採用されている早強ポルトランドセメントを用いた。

2.2.2.実験要因及び実験方法

表 3 に木片セメント板の製造条件、表 4 に実験要因と水準を示す。本研究では樹種、硬化促進剤である塩分の有無、硬化促進に関係する養生時の温度⁴⁾による物性評価を目的としており、水セメント比及び木セメント比を一定にしている。塩分は、木質系廃棄物より高い 10% に設定。加圧量はヒアリング調査で得た情報を参考に設定した。試験体は製造都合上、木チップ⁵⁾ 1 種類単層のものとする。表 5 に試験体種類と調合表、表 6 に試

験内容を示す。実験は木質セメント板及び建築用ボードの試験を参照している。また試験体は型枠に 2 倍のかさ容積の量を圧縮して 12mm の木片セメント板を製造した。試験体は型枠打ち込み 7 日後脱型し、さらに 7 日間養生を行う。

3.実験結果及び考察

3.1.パネル切削性評価

K のほとんどは脱型時に破損してしまい、試験に使用できなかった。破損の理由は水溶性多糖類による硬化阻害、養生期間不足が考えられる。以上より KN20 と R で、各種試験を実施する。

また、試験体をノコギリで切り出した際、写真 1 及び断面の画像解析（LIA32 使用）⁶⁾ より、S は N に比べ、角縁かけが少なく、70 は 20 よりも角縁かけが増えることが確認できた。

3.2.パネル含水率及び密度試験

表 7 に含水率及び密度を示す。試験結果より、R は K より厚さ膨張が小さく、S は N に比べ、厚さ膨張が小さい。また 20 は厚さ膨張が 70 より小さい。密度はすべての試験体が硬質木片セメントの条件を満たしていた。硬化促進改質処理を施した場合、含水率が低下する傾向が確認できる。

3.3.吸水及び硬化促進改質処理による含浸試験

図 2 に吸水試験の結果を示す。R は K に比べ少々高く、N は S より高く、70 は 20 に比べ吸水率が高い傾向であった。

表 8 に補修材 1 時間含浸率を示す。吸水試験と同様の傾向が確認できる。また含浸させた場合、吸水率の低下が確認できた。

これより補修材による耐候性向上の可能性がある。

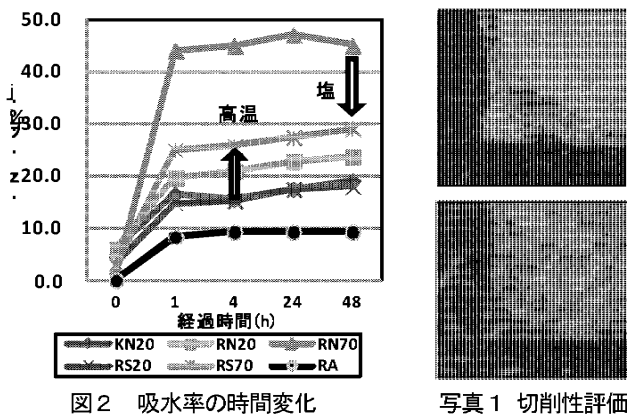


図 2 吸水率の時間変化

写真 1 切削性評価

表 2 使用材料

材料名	種類	内容
セメント	早強 PC	密度 3.14g/cm ³
木チップ	カラマツ	長さ 2~5mm、密度 0.32g/cm ³
	リサイクル	長さ 2~5mm、密度 0.24g/cm ³ 、(震災廃棄物)
補修材	超低粘度アクリル系樹脂	密度 1.1g/cm ³ 毛細管現象による吸収特性

表 3 パネル製造条件

要素	内容
かさ厚さ	24mm
プレス厚さ	12mm
水セメント比	50%
木セメント比	30%
加圧量	56kg/cm ²
材齢	14 日

表 4 実験要因と水準

種類	水準
樹種	K (カラマツ)、R (リサイクル)
塩分濃度	N (0%)、S (10%)
養生温度	20 (20℃)、70 (70℃)
補修材	A (アクリル樹脂)

表 6 試験内容

実験項目	内容	試験体（長さ×幅×厚さ）、枚数
切削性評価	切断面観察	パネル及び切り出し試験体
含水率及び密度試験	JIS A 5404 乾燥 105℃48h	100mm×100mm×H、3 枚
吸水含浸試験	JIS A 1414-3 吸水 48h、含浸 1h	100mm×100mm×H、3 枚
曲げたわみ試験	JIS A 1408	160mm×40mm×H、3 枚
	JIS A 1414-3	
圧縮試験	JIS A 1108	20mm×20mm×H、2 枚

表 7 パネル含水率及び密度

種類	平均厚さ H (mm)	密度 (g/cm ³)	含水率 (%)
KN20	18.0	1.15	5.96
RN20	16.9	1.13	5.86
RN70	18.0	0.93	1.44
RS20	16.0	1.21	3.24
RS70	17.3	1.19	2.80

表 8 補修材 1h 含浸率

種類	含浸率 (%)
KNA20	33.3
RNA20	32.3
RNA70	43.0
RSA20	22.1
RSA70	29.0

表 5 パネル種類と計画調合表 (kg/m³)

樹種	塩分	養生	記号	セメント	水	木チップ	塩分
K	N	20	KN20	584	292	175	—
		70	KN70				
	S	20	KS20	584	292	175	32
		70	KS70				
R	N	20	RN20	667	334	200	—
		70	RN70				
	S	20	RS20	667	334	200	37
		70	RS70				

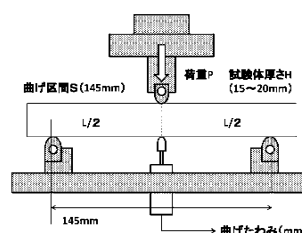


図 3 曲げ試験（3線式 1点載荷）

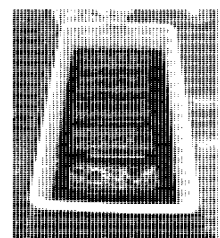


写真 2 含浸材毛細管吸収処理

3.4. 曲げ—たわみ試験

図 3 に曲げ試験方法、図 4～7 に曲げ—たわみ曲線を示す。また、図 8 に最大曲げ強度、図 9 に曲げ靱性エネルギーを示す。RN70 は加圧棒を載せた時点で破壊したため、最大曲げ強度のみ記載する。

図 4、8 から K は R より強い、S は N より強い、20 は 70 より強いことが判明した。これは塩水中の塩化物イオンがセメント系水和反応の刺激剤となり、反応を促進、また塩化物イオンを取り込んだ水和物を形成する側面による影響ではないかと考えられる。結果として最強が RS20、最弱が RN70 となった。

図 4～5 の比較、図 8 より湿潤状態において、RN20 を除いた試験体は 30～45% 程度の強度低下が確認できる。実験要因による強度低下率に大きな変化は見られなかった。

図 4～6 の比較、図 8 から、KN20 以外の試験体は乾燥させた場合、湿潤状態から強度が回復するだけでなく気乾状態の強度を上回った。これは材齢日数が関係していると考えられるが、劣化後強度回復するのであれば、一定強度の保持が期待できる。

図 7 より補修材を含浸させることにより、20～30N/mm² の曲げ強度を保持させることが確認できる。JIS A 5408 に規定された硬質木片セメント板の

曲げ破壊荷重を満たしている試験体はこの補修材含浸状態のみである。また表 8 を考慮した場合、含浸率の最も高い RNA70 が高強度であるが、含浸率の最も低い RSA20 ではなく RSA70 が最低強度という結果になった。RSA20 と RSA70 を比較した場合、含浸率の高い RSA70 の強度が低い。これは塩分とアクリル系樹脂の相性が悪く、より多く含浸するほど十分な性能が発揮されなかったと推察する。RNA20 と RSA20 を比較した場合、RSA20 は含浸率が低い

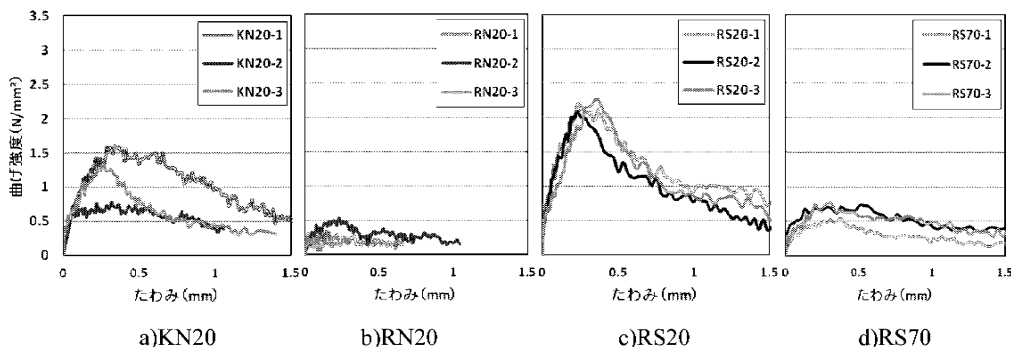


図 4 曲げ—たわみ曲線 (気乾状態)

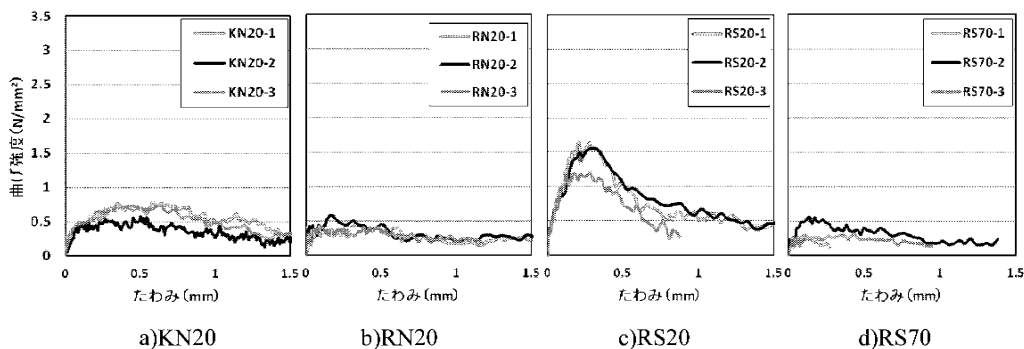


図 5 曲げ—たわみ曲線 (湿潤状態)

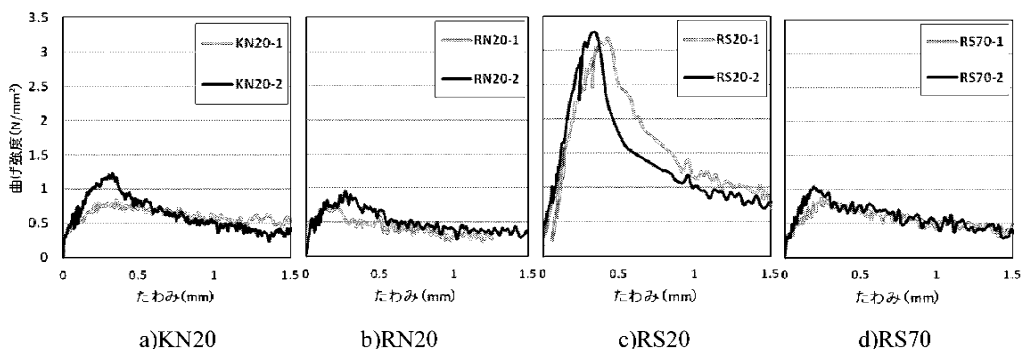


図 6 曲げ—たわみ曲線 (乾燥状態)

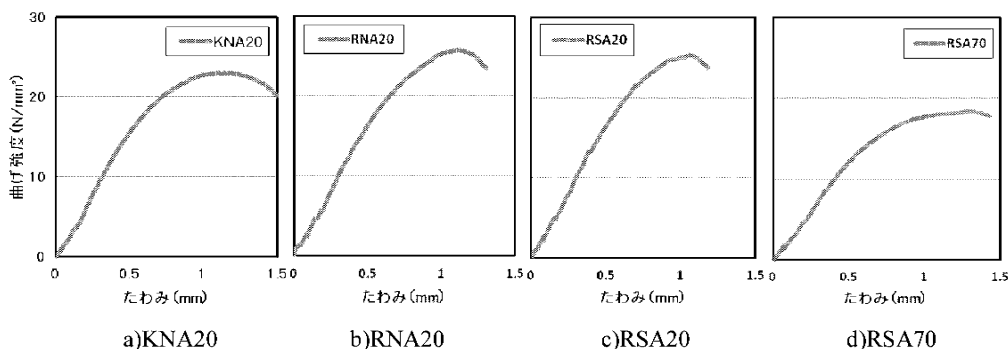


図 7 曲げ—たわみ曲線 (補修材含浸状態)

で、悪影響を受けずにすみ、同程度の強度になったと考えられる。また、R と K を比較した場合、R のほうが若干高強度である。

図 9 より KN20 及び RN20 は状態に関わらず、材齢とともに曲げ靱性エネルギーが上昇した。RS20 及び RS70 は湿潤状態で低下するが、その後気乾状態の数値前後まで回復している。

本研究では 1 サイクルの状態変化で実験したが、数サイクルにおける経年劣化についての研究を今後の課題としたい。

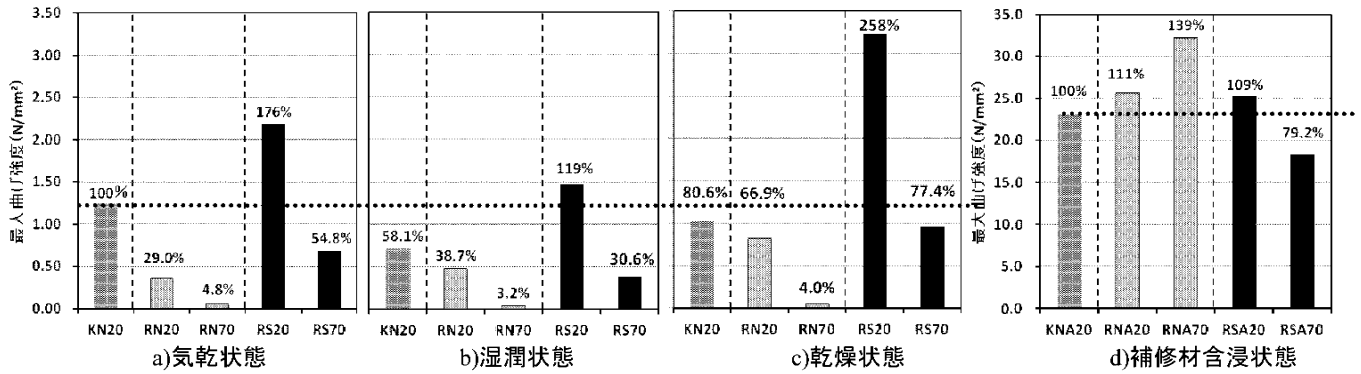


図 8 最大曲げ強度

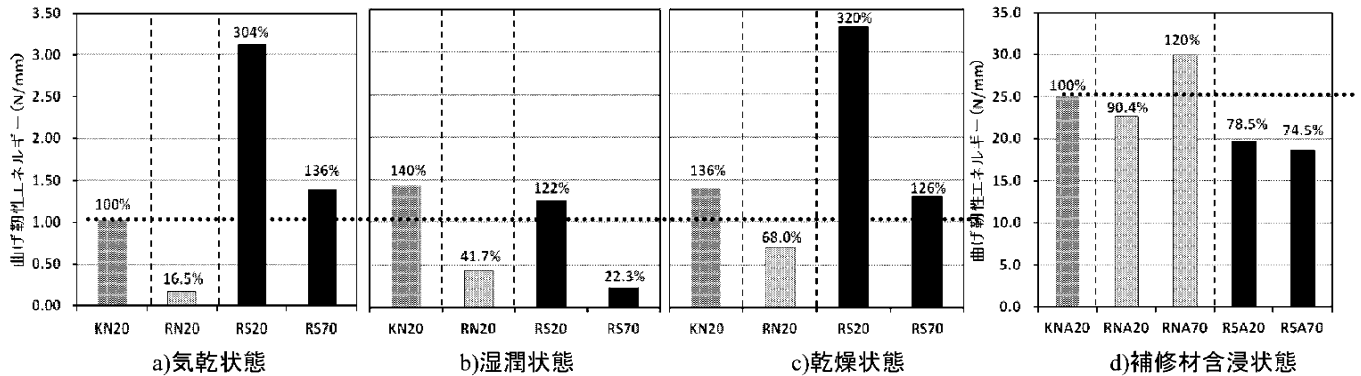


図 9 曲げ靱性エネルギー

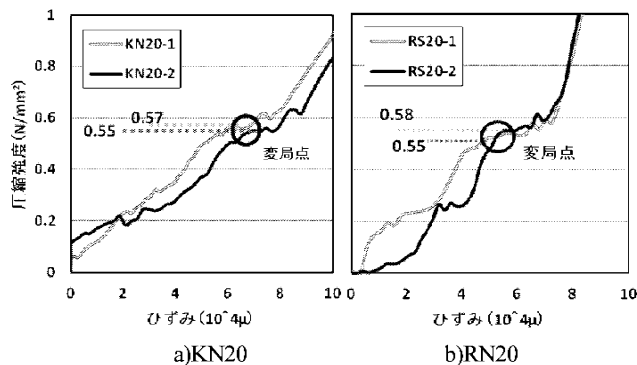


図 10 圧縮強度－ひずみ硬化と変局点

3.5. 圧縮試験

図 10 に圧縮強度試験の結果を示す。圧縮試験は基礎物性を明らかにするために実施した。曲げ－たわみ試験と比べ、樹種、塩分、養生温度による強度変化は特に見られなかった。塩分を加えた場合、ひずみの減少傾向が確認できた。

4. まとめ

- 1) カラマツを使用する場合、脱型時破損しないために養生期間（乾燥時間含む）を長くとり、もしくは高加熱高圧プレス等より急速な硬化促進を行う必要がある。また硬化時間を長期間要するが、曲げ強度はリサイクルより優れている。
- 2) 塩分を加えた場合、厚さ膨張が抑えられ、ノコギリ等の切断による角かけが減少した。また、曲げ強度も上昇している。これらより塩分を含む木質系震災廃棄物を有効活用できる可能性がある。
- 3) セメント硬化時に高温養生を施した場合、角かけが多く観

測され、曲げ強度が低下した。原因は水分の揮発によるセメント硬化反応の不十分さであると推察する。また、高い吸水性が確認できた。

- 4) 3 種類の状態で実施した曲げたわみ試験では、試験体のほとんどが湿潤状態で強度低下した。また一部を除き、乾燥状態では強度回復だけでなく、気乾状態を超えた。木質セメント板の曲げ強度は経過状態ではなく、材齢が関係していると推察する。
- 5) 補修材によりほぼ一定の曲げ強度を保持させることができた。含浸率が高い試験体ほど強度が上昇する傾向がある。ただし、材中に塩分を含有している場合、上昇強度が抑制される可能性がある。複合材として普及させることも十分に可能である。

参考文献

- 1) 全国木質セメント板工業会：木質セメント板ガイドブック,p.60,2011
- 2) 林野庁：平成 24 年度版森林・林業白書, pp.35-39, pp.131-167,2012
- 3) 山岸宏：道南スギ間伐材を原料とする木質セメントボードの製造, <http://www.fpri.asahikawa.hokkaido.jp/rsdayo/22119028001.pdf>,1987
- 4) セメント協会：セメント・コンクリート化学の基礎解説, pp.135-137, pp.157-165,1996
- 5) LIA32 : <http://www.agr.nagoya-u.ac.jp/~shinkan/LIA32/about.html>

謝辞

本研究の実施にあたり、全国木質セメント板工業会、太陽セメント工業、積水ボード、東京ボード工業、デュリソルジャパン、ジャスト関係各位より貴重な助言、ご協力を受けました。ここに記して感謝の意を表します。また本研究の一部は、工学院大学 UDM・PJ 研究、H24 年度科研費(若手 A:23680681 田村雅紀)の一部であり、深謝の意を表する。

震災廃棄物を含む海洋生物殻を混和した多層構造型空隙コンクリート材料の遮熱性能評価に関する基礎的検討

震災廃棄物、海洋生物殻、ブロック、遮熱効果

小川 剛司*1 田村雅紀*2

1. はじめに

2011年3月11日にM9.0の巨大地震が発生し、壊滅的な被害をもたらした。発生した災害廃棄物は、阪神・淡路大震災の時の1.7倍の約2,490万トンに及んだ。よって早急な対応として、発生したのがれきの処理方法や再利用方法などについて対策を考える必要がある。現状では、多くの廃棄物は焼却処理によって処理されているが、廃棄物の中に津波などの被害によって塩化物量が多いことや津波堆積物が混じっているため、焼却後の残渣(灰)率が50~60%と高く、問題になっていることや、がれき等の震災廃棄物の再資源化には、廃棄物特有の問題がある。また、震災廃棄物のひとつである海洋生物殻は海水中の二酸化炭素を吸収しながら成長しているので、炭素固定性を有する材料といえ、地球温暖化問題の改善に効果的な材料として位置付けられ、また近年都市部のヒートアイランド現象が問題となっており、日本の道路の多くでは施工性に優れたアスファルト舗装が採用されているが、ほたて貝殻を混和したコンクリート舗装とすることで路面温度の低減効果が期待されている。本研究では上記を踏まえ、研究概念図を図1に示す。研究1では、震災での災害廃棄物の実態調査を行う。その後、研究2・研究3で海洋性生物殻を用いたインターロッキングブロック(以下IRBと略)の評価を実施し、汚れ度調査・赤外線反射の実験を行い、新たな付加価値向上を目指す。また研究2・研究3での使用材料、実験要因と水準・実験項目と方法を表1,2,3に示す。

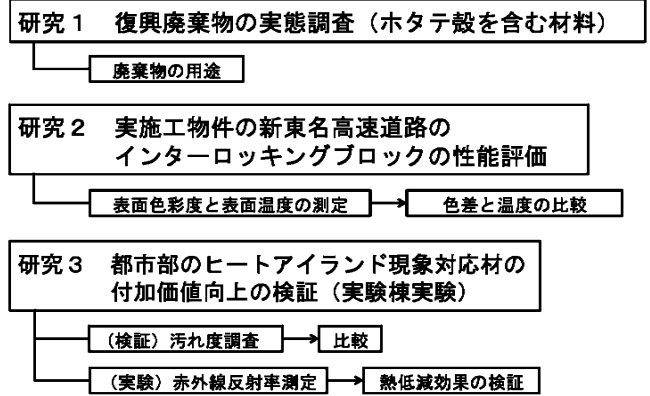


図1 研究概念図

表2 使用材料

記号		内容	
研究2	表層部	A 海洋生物殻(IRB) Ab(青), Ap(桃), Abr(茶), Aw(白)	空隙構造, 玄武岩(Sg), 寒水(Sk), 着色骨材(Sc), (Sk, Sc: 密度 2.62g/cm ³)
		B あらい処理(IRB) Bg1(灰色系), Bg2(灰色系), Bg3(灰色系), Br(赤系), By(黄色系)	
		C みがき処理(IRB) Cw(白), Ck(黒), Cp(桃)	
	基層部	ABC 基盤(IRB)	空隙構造, 密度 15(%)程度, 融解スラグ(Ss: 密度 2.84g/cm ³), 陸砂(Sr: 密度 2.62g/cm ³), 7号碎石(G7: 密度 2.90g/cm ³), 酸化スラグ(Gs: 3.45g/cm ³)
	Con	一般的なプレキャストコンクリート及び強度 18~21(N/mm ²)程度	
	AS	路面舗装用アスファルト(高密度型)	
研究3	微粉末	ほたて, 漆喰, 寒水(150μm以下)	
	パネル	ほたて+漆喰成形パネル(20×20cm厚さ5cm), 割合10%ずつ混合, 10種類, 密度0.57~1.16(g/cm ³)	
	温度測定用IRB	種類 Aw: サイズ30×30cm厚さ50mm	
	温度測定用Con	W/C=60%, 2種類(S60 海洋生物殻砕砂, O60 砂岩砕砂)	

表1 実験要因と水準(研究2・研究3)

要因	水準
汚れ度	L* 0~100 (L値大: 汚れなし, L値小: 汚れあり)
赤外線吸収度	-60<a* <60 (a プラス→赤外反射→温度低) -60<b* <60 (b マイナス→赤外吸収→温度高)
温度	表面温度(°C)
測定材料	コンクリート(Con), アスファルト(As), インターロッキングブロック(IRB)
測定箇所	端部(土隣接10mm), 内部(土隣接100mm)
時期・場所	夏・秋(新東名高速道路SAPA, 八王子)
温度	内部温度(°C), 表面温度(°C)
測定材料	IRB, Con(2種類)
測定箇所	表面(0mm深さ), 内部(20mm深さ)各4箇所

表3 実験項目と方法

実験項目	方法
研究1 震災がれき調査	がれき処理ワークショップ関連情報, 建設関連新聞記事, インターネットによる収集
研究2 温度測定	非接触赤外線温度計(高さ30cmから測定)
研究2 色彩度測定	色彩計を用い, JIS Z 8701 表面色XYZ三刺激値よりL*a*b*表色系に変換し評価
研究3 赤外線反射率	紫外域, 可視光域, 赤外域を250nm~2500nmまで紫外可視近赤外分光光度計UV-3600で測定。測定対象は微粉末試料, パネル試料
研究3 温度	温度用Con・IRB。熱電対式内部温度測定。表面温度, 深さ20mm4点測定

表4 廃棄物を有効利用した製品の事例(研究1)

名称	材料	用途
海水練りコンクリート	大粒径コンクリートがれき	セメント硬化体
アップサイクルブロック	がれき残渣(コンクリート片, 木材, 金属くず, 土石, 瓦など)	道路盛土
盛土基盤ブロック	がれき残渣, 混合廃棄物	盛土材料
ローラーで締め固めたセメント固化体	がれき	路盤材
CSG工法で固めた盛土材	がれき	盛土材
ロータリーキルン	がれき焼却灰	セメント硬化体
ストーカ炉	がれき焼却灰	セメント硬化体

*1 工学院大学大学院建築学科4年 *2 工学院大学大学院建築学部建築学科 准教授博士(工学) *3

2. 研究概要

2.1 災害廃棄物の実態調査 (研究 1)

循環型社会形成基本法や廃掃法などにおける法定義が関わり、循環資源の定義は、「有用物であること」を位置付けられた時点で、廃棄物ではなくなる位置付けをすることができる。がれきも、各種のコンクリートなどの原材料として有用であることが適切な品質管理に基づく製造システムが完備され、その性能が保持できる場合には、その枠組の原材料として位置付けられると考えられる。その結果、アップリサイクル、レベリサイクル、ダウンリサイクルなど、原材料となる前製品の要求性能水準との比較により、品質レベルに応じた区分で様々な製品をつくることができ性能や機能的な価値を高めて再資源化するリサイクルができるかが重視されている。現在行われている廃棄物を利用した製品事例を表 4 に示す。また本研究で対象とするほたて貝殻の主な利用方法として、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、強度など研究されてきた。ホタテ貝殻の特徴として、生体内鈣質形成作用から層状に重なる構造で、ホタテ貝殻を混入したモルタルは通常モルタルに比べ圧縮強度は低下するが、曲げ・引張破壊において、塑性域での変形抵抗性に優れることが示されている。

2.2 都市部ヒートアイランド現象対応材の実測調査 (研究 2)

2.2.1 汚れ度試験の概要と使用材料

研究 1 の可能性を有する各種材料 (海洋生物殻、スラグ、カラー骨材など) を使用した IRB を対象とする。これらは建築外構材をはじめ、将来的には外壁タイルなどにも活用が可能である。そこで研究 2 では、コンクリートやアスファルトとも比較しながら、実務で適用されている現場における付設時の表面温度、色彩特性を評価する。インターロッキングブロックの屋外暴露試験を実施した。試験体の IRB の調査を表 5, 6 に示す。汚れ度試験は、表面色彩度の比較により評価することとする。図 2 に 2012 年 7 月 17 日に測定した結果と 2012 年 10 月 12 日に測定した色差を温度との関係を示し、コンクリート、アスファルトの表面温度と表面色彩度の分布を示す。IRB の特徴として、海洋生物殻を用いた IRB が他の IRB に比べて表面温度が低いことがわかった。期間 3 か月では、汚れ度変化に大きな低下はないが、目視において多少の汚れが確認された。表面色彩度測定には、色彩計を用いて JIS Z 8701 の L*a*b* 表色系に基づき評価する。

2.2.2 多層構造による遮熱性能の評価

空隙構造で透水性を有することで、水分が材料内を移動可能となり、水分とあわせて気流が生じる状態であれば、乾燥作用により水の潜熱が材料表面の熱を奪うことから、温度低減効果の可能性はある。この効果を保持する材料として位置付け検証する。表層使用する海洋生物殻には、貝殻の微細組織は層状の多孔質構造であり内部に熱をため込まないという特徴から、ヒートアイランドの抑制・地球温暖化対策に有効な材料である。よって、IRB と一般的に道路舗装に用いられるアスファルト・コンクリートの保水性・吸水性を比較する実験を実施した。実験方法として、水分を多く含んだ土・芝と IRB の端部 1cm の温度と IRB の際から 10cm 内部の表面温度を測定した。測定状況の概要図を図 3 に示す。また、図 4 に多層構造の遮熱性能による温度変化の試験結果を示す。

コンクリートにおいては端部と内部での表面温度に変化がなく高い温度を示し、保水性・吸水性がないことがわかる。IRB では、端部での保水材からの潜熱移動による温度低下が見られた。内部温度についても潜熱の影響によりコンクリートよりも温度が低下し、空隙構造による低温度の保持、表面温度低減効果がえられ材料による蓄熱も防止できる。

表 5 調合表 (A, B, C 処理)

種類	スラン プ	水セメント 比	細骨 材率 (%)	単位量 (kg/m ³)					
				水	セメント		細骨材		
					普通	割合	Sk	Sc	Sg
表層	0	26.0	—	130	500	—	712	712	285

表 6 調合表 (ABC 基盤)

種類	スラン プ	水セメント 比	細骨 材率	単位量 (kg/m ³)						
				水	普通	エラスト マー	細骨材		粗骨材	
							Ss	Sr	G7	Gs
基層	0	31.4	15.4	110	220	130	270	0	611	1077

備考) 最大骨材寸法 表層 2.5mm, 基層 10mm

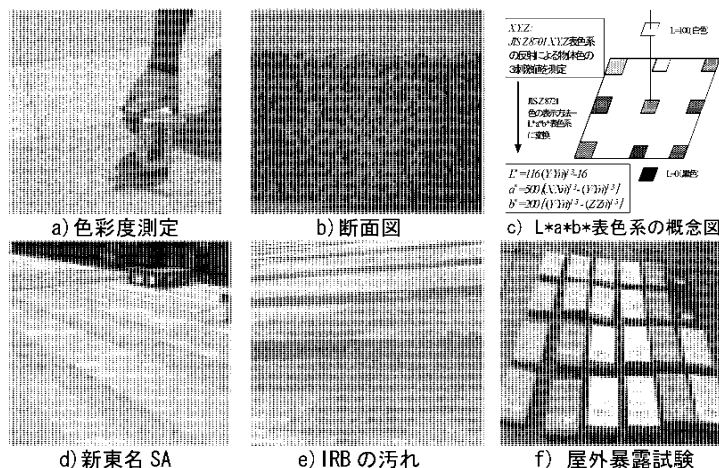


写真 1 インターロッキングブロックの
 屋外調査状況 (新東名、八王子)

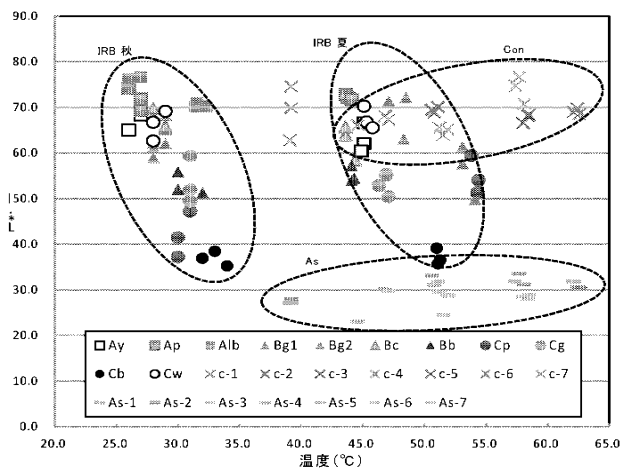


図 2 IRB (夏・秋), Con, As の明度変化による評価

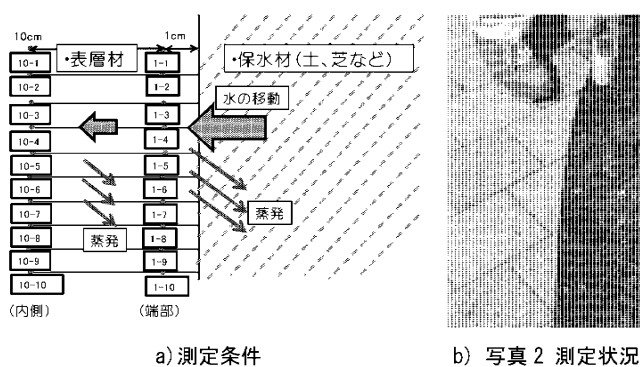


図 3 空隙透水性能による温度測定の概要

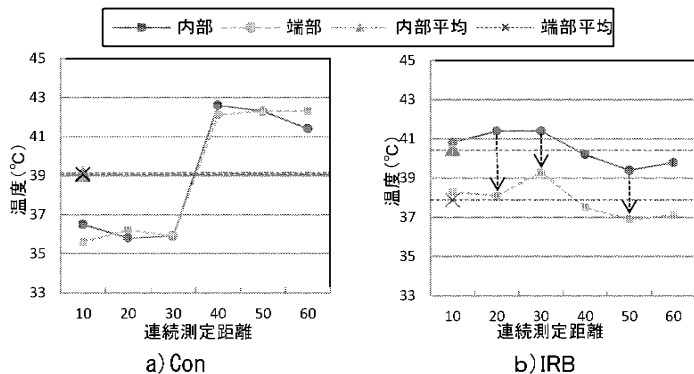


図 4 多層構造による表面温度の違い

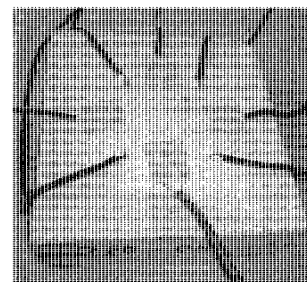
2.3. 実施工物件の新東名高速道路の IRB の性能評価 (研究 3)

2.3.1 IRB の空隙構造による温度変化

IRB に空隙構造により、保水・透水性能が発揮され、夜間の熱放射を抑え路面温度の上昇や蓄熱を低減する効果を検証した。試験体は前項 IRB とホタテコンクリート、通常のコンクリートを用いる。なお、試験体の大きさは 15×15cm とする。試験方法は、太陽光に近い白熱灯を試験体より 30 cm 高い地点から照射し、表面温度と内部温度を 4 点測定する。内部については、表面より深さ 2 cm 程の穴を開けその地点を測定していく。照射時間は 60 分とし、温度上昇が一定になった時に、全国的平均雨量である 3mm/分を流下し、温度上昇傾向を測定する。試験結果を図 5 に示す。



a) 赤外可視光照射実験



備考) K 熱電対、試験体寸法 20cm×20cm 厚さ 5cm、データロガー 60 分測定、2 回注水

b) 測定点

写真 2 空隙透水性能実験

表 7 電磁波反射スペクトルの測定概要

使用機器	紫外可視近赤外分光光度計 UV-3600 積分球付属装置 ISR-3100
測定波長範囲	250~2500nm
スリット幅	32nm
測定モード	反射率 (%)
対照	フッ素系樹脂系標準白色版

表 8 電磁波反射スペクトル試験使用材料

記号	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No.5
配分 (SH 割合=漆喰:ほたて)	S10H0	S9H1	S8H2	S7H3	S6H4
密度(g/cm ³)	0.837	1.161	0.854	0.962	0.987
記号	No. 6	No. 7	No. 8	No. 9	No. 10
配分 (SH 割合=漆喰:ほたて)	S5H5	S4H6	S3H7	S2H8	S1H9
密度(g/cm ³)	0.709	0.887	1.017	0.845	0.577

2.3.2 漆喰・ホタテ遮熱外装パネルの赤外線反射率の測定

建材は、太陽光から地上に降り注ぐ電磁波を浴び、その受ける電磁波のうち地上に届くものとして紫外線・可視光・赤外線などがある。紫外域は 250nm~360nm を示し、可視光として 380nm~780nm、近赤外域は 750nm~2500nm までである。これらを区分し、その反射光を評価することで、建材に吸収及び透過する特性を評価できる。なお、L*a*b*のうち、L*の測定値が大きい場合、a*が正の値であるとき赤色反射するので、可視光の領域では 760nm 前後の近赤外光を反射し、蓄熱しにくい材料になる。b*値は、負の値に近づくほど、材料は青色反射するので、可視光のうち 380nm 前後の紫外域光を反射する。熱影響しない電磁波を反射し、赤外域を反射せず蓄熱しやすい可能性がある。上記を踏まえ、拡散反射スペクトル測定を実施した。表 7 に概要を示す。使用機器は、紫外可視赤外分光光度計を用い、材料別近赤外線反射率測定と遮熱型外装パネルの近赤外線反射率の測定を行う。また、表 8 に使用材料を示す。試験体は、漆喰 (S)・ほたて (H)・水を練り混ぜ製作し、配分は漆喰・ほたての含有率を示している。実験結果を図 6.7 に示す。

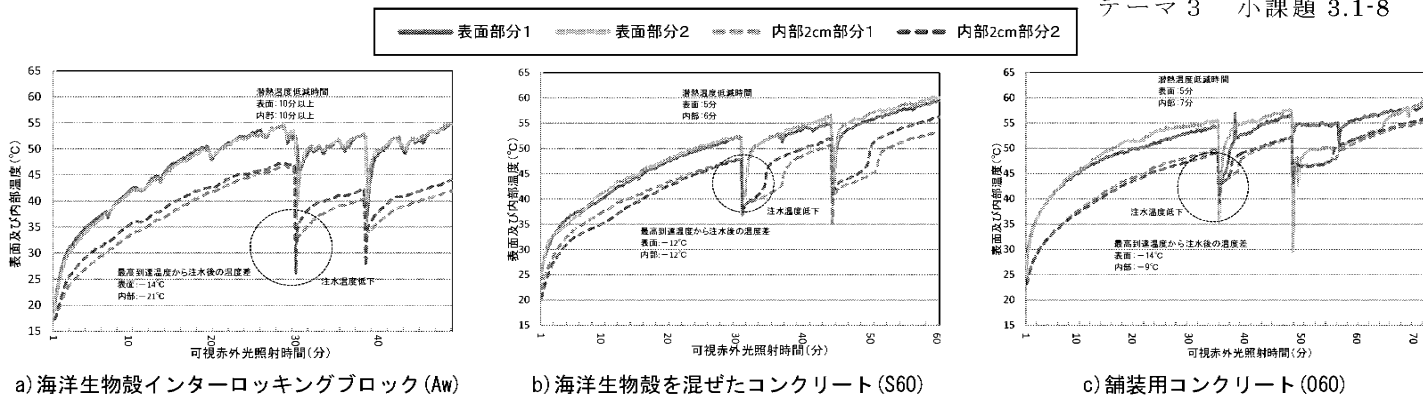
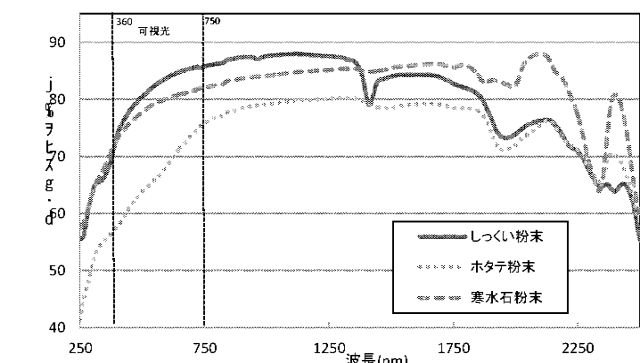
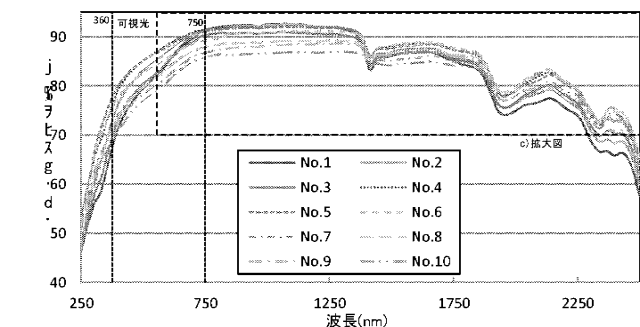


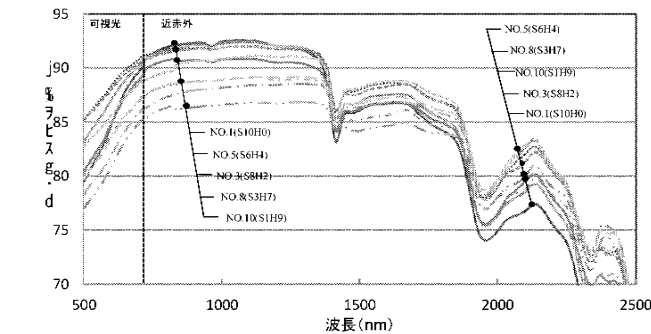
図 5 注水を含めた可視赤外光照射試験による温度上昇



a) 材料別粉末の反射スペクトル

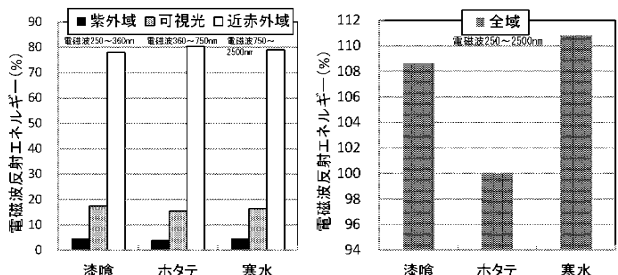


b) 漆喰・ほたて遮熱外装パネルの反射スペクトル



c) b)の拡大図

図 6 電磁波反射スペクトル



a) 電磁波別反射エネルギー b) 電磁波全域反射エネルギー

図 7 反射スペクトルエネルギーの比較

3. まとめ

(1) アップサイクル、レベルサイクル、ダウンサイクルを再資源化レベルとして、原材料となる前製品の要求性能水準との比較により、品質レベルに応じた区分で様々な製品を製造できる状況であることがわかった。海洋生物殻もいずれかの再資源化サイクルにより利用が可能であり、性能や機能的な部分に付加価値向上を目指し製品開発を行うことがリサイクル材料として重要である。

(2) 汚れによるインターロッキングブロックの性能低下は考えられるが、今回の実験では明確な結果は得られなかった。今後は実施工物件のように様々な障害が起こる環境での汚れを想定する必要がある。しかし、海洋生物殻を用いた IRB は様々な色彩を設けることができ、熱吸収が少なくコンクリート材料のような表面の温度上昇が見られず、路面温度の上昇・蓄熱を低減している結果を実証できた。空隙構造による内部に透水・保水性能を保持する結果も示し、熱放出が少なく遮熱低熱機能があるとわかった。

(3) 電磁波反射率について、材料別に近赤外の反射率が異なり、ホタテ粉末には比較的吸収ピークは少ないことが確認でき、海洋生物殻の空隙透水性能がある多層構造とすることで、一定の遮熱効果が期待できることがわかった。遮熱外装パネルにおいても、ほたて貝殻砂量が多い試験体のほうが赤外域での反射率が高くなっており、熱吸収が少なく、路面温度の上昇や蓄熱を低減する効果があることを示した。

謝辞

本研究において、株式会社イワタ古川真弘氏、北海道優雅高柳雅保氏、島津製作所齊藤洋臣氏から貴重な助力を得た。また工学院大学 UDM・PJ 研究、平成 24 年度科研費若手 (A23680681 田村雅紀) による援助を受け、深謝の意を表する。

参考文献

- 篠崎真澄、半井健一郎：再生骨材を用いたポーラスコンクリートの蒸発冷却効果、コンクリート工学年次集, Vol. 34, No. 1, 2012
- 小室清人：生体構造特性を有する海洋生物殻を用いたコンクリートの動的劣化特性と炭素固定性の評価、工学院大学工学研究科建築学専攻修士論文梗概集, 2011
- 震災がれき処理コンソーシアム関連情報

廃棄物系起源材料を含む構造体コンクリートの物理的耐用年数に関する品質保証技術の導入と検証

針原光成*1

田村雅紀*2

物理的耐用年数 コンクリート 再生骨材 長期材齢 品質保証

1. はじめに

コンクリート構造物の維持保全について、老朽化についての認識不足や人材、財源の不足、マニュアルの不備等による点検や耐震調査の不徹底が問題になっている。この問題に対応するためにはコンクリート構造物の品質保証技術や耐用年数を確立する必要があると考える。ここでいう品質保証とは作り手が構造体コンクリートを管理し使い手に性能とその信頼性を高める活動を保証するものであり、安全性や保全性等信頼性への配慮が求められる¹⁾。現在行われている品質管理では、構造物の使用が開始した後の長期的な品質には対応できない。2000年には住宅の品質確保の促進等に関する法律が施行されたが、既存構造物への品質保証を含めるとそれでもまだ不十分であり、建築物の使用開始後からの品質を製造者が保証できるかが重要である。実際に、都市部や幹線交通網における鉄筋コンクリートの老朽化は社会的に大きな問題になっており、老朽化による事故も起きている。東日本大震災に伴う復興においても、建築物の品質を明確にすることは重要である。

本研究では既存構造物の品質を維持管理するためにはまず建築物の使用可能な年数、つまり物理的耐用年数を明確に示すべきである。さらに構造物に要求される性能の水準を下回らず、一定期間の保証を持続できるかという使用者の立場に立脚した考えが重視され、建築物の物理的耐用年数の根拠となるコンクリート部材の長期的な品質保証を実施するため供用前段階から(研究 3)中長期の供用を想定した段階(研究 1,2)において技術的調査を検討した。

2. 建築物の維持保全について

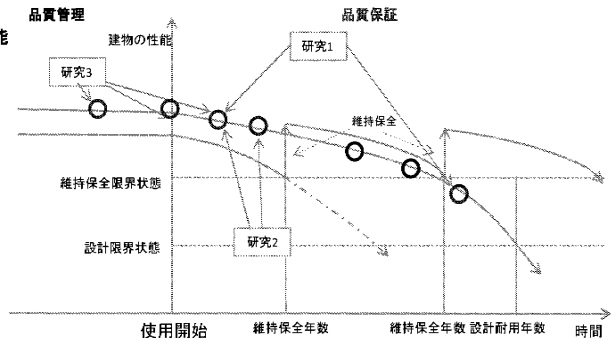
建築物の性能は図 1 のように時間の経過とともに低下する²⁾。維持保全を行わない場合、初期性能を高くすることで建物の耐用年数を長くすることができる。適切な維持保全を行う場合、建築物の初期性能が建物の耐用年数に与える影響は少なく済む。維持保全とは、建物の性能



・製造時:製造段階の性能(材料の品質、施工精度、方法)

・完成時:初期性能

・使用時:使用時性能



研究内容図 1

表 1 使用材料

研究	区分	記号	絶乾密度 (g/cm ³)	表乾密度 (g/cm ³)	吸水率 (%)	実積率 (%)	粗粒率 (%)
1	混合碎石	MG	2.64	2.65	0.57	60.6	6.62
	砂岩碎石 (桧原村)	MG1	2.64	2.65	0.60	60.8	6.66
	砂岩碎石(成木)	MG2	2.64	2.66	0.54	60.5	6.59
	混合砂	MS	2.59	1.58	1.58	---	2.66
	石灰砕砂(横瀬町)	MS1	2.62	2.65	1.12	---	2.90
	陸砂(成田)	MS2	2.53	2.61	3.20	---	1.64
	砂岩砕砂(桧原村)	MS3	2.60	2.64	1.23	---	2.96
2	硬質砂岩碎石(青梅)	G	2.67	2.68	0.47	59.9	6.60
	再生骨材 H	H	2.59	2.62	1.25	61.6	6.60
	再生骨材 M	M	2.58	2.64	2.10	61.7	6.54
	細骨材(混合)	S	2.58	2.61	2.62	---	2.58
	陸砂(君津)	S1	2.57	2.61	1.69	---	2.58
3	山砂(児玉)	S2	2.53	2.59	2.13	---	2.74
	硬質砂岩碎石	N	2.64	2.65	0.64	62	6.41
	再生骨材	RHB	2.59	2.62	1.25	61.4	7.12
	再生骨材	RMA	2.51	2.56	2.12	62.7	-
共通	陸砂(大井川)	RS	2.52	2.57	2.04	38.0	2.62
共通	セメント	C	---	3.16	---	---	---

備考)研究 1:MG=MG1:MG2=1:1 MS=MS1:MS2:MS3=4:2:4 研究 2:再生骨材 H, M(加熱ナリもみ) 一部にフライアッシュ使用(C:F=1:D) S=S1:S2=1:1 研究 3:再生骨材 RHB(加熱ナリもみ)再生骨材 RMA(スクリーン研削) 研究 2,3:AE 剤(AE),空気量調整剤(AE2)を使用 研究 1,2,3:セメント:普通ポルトランドセメント

表 2 実験要因と水準

研究	要因	水準
研究 1	養生方法	屋外、気乾、封かん養生
	材齢	材齢 1, 3, 6, 9 か月、1 年 3 年 5 年以降 5 年おき、100 年まで
研究 2	骨材種類	砕石(G)、再生骨材(H)、再生骨材(M)、再生骨材(H-FA)
	養生方法	乾燥、標準、湿潤
研究 3	材齢	材齢 4, 13, 26, 52, 78, 130 週 現在 52 週まで
	骨材種類	砕石(N)、再生骨材(RHB)、再生骨材(RMA)
	骨材状態	プレウエッジング(w)、ドライ(d)、塩水(s)、プレウエッジング有無
	養生方法	封かん養生
	材齢	7 日、28 日、91 日

備考)W/C=50%一定(研究 1,2,3) 湿潤とはコンクリートが湿気・降雨・浸水等による保水耐力を想定し乾燥養生した試験体を試験 48 時間前に水中養生することをさす

*1 工学院大学工学部建築学科 4 年

*2 工学院大学建築学部建築学科 准教授 博士 (工学)

の低下を補うもので、初期性能を超えることはない。また、建物の性能が維持保全限界状態を超えると維持保全を行うことは材料的にも経済的にも難しい。本研究では、実施工された普通コンクリートに加え、今後の環境配慮型の傾向も踏まえ、再生骨材コンクリートを対象とした品質保証技術の導入と検証を行うこととする。

3. 研究概要

3.1 100 年養生コンクリート材齢 1 年目 (研究 1)

3.1.1 実験概要

工学院大学新総合教育棟構造部に使用されたコンクリートを生コン業者から購入し、簡易型枠(10φ×20H)を使い円柱供試体を216本作成し、封かん、気乾養生、屋外暴露する。圧縮強度とヤング係数を測定する。封かん養生は建物の室内側、気乾養生は建物の外気に触れない壁の内部、屋外暴露は建物の外側を想定する。材齢100年を目標に長期的な強度変化を検証する。

3.1.2 使用材料

細骨材は砕砂(横瀬町産)、陸砂(成田産)、砕砂(桧原産)の3種類の混合砂である。粗骨材は砕石(桧原村産)と砕石(青梅産)を混合して使用した。表1に使用材料を、表4にコンクリートの調合を示す。呼び強度33N/mm²、スランプ18cm、水セメント比50.1%、細骨材率49.2%で調合されている。

3.1.3 試験方法

表3に試験内容を示す。屋外暴露、気乾養生については打設後64日で脱型し、屋外暴露については地上2階建てビルの屋上に暴露し、気乾養生については室内にて養生した。封かん養生するものは脱型せず上部をポリエチレンフィルムで密封した。強度試験は材齢1年までは3カ月おきに、その後は材齢3年、5年で1年おきに実施する。

3.1.4 試験結果

図2a)に密度の変化を示す。b)に圧縮試験結果を示す。c)に引張強度試験結果を示す。気乾養生の圧縮強度は材齢91日以降強度が増進しない。気乾養生の密度は低下している。28日強度は設計基準強度33N/mm²を超えているが、気乾養生により評価値が下がることが確認された。実際のコンクリート構造物では屋上や南側外壁など気乾養生に近い状態になる部分もあることから建物全体で安全評価をする意味ではこの評価への配慮が重要となる。

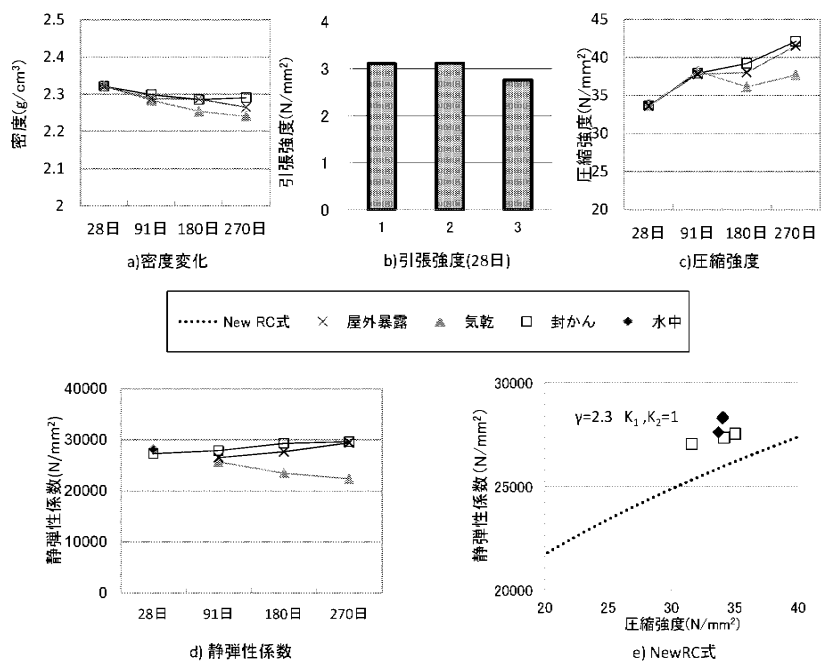
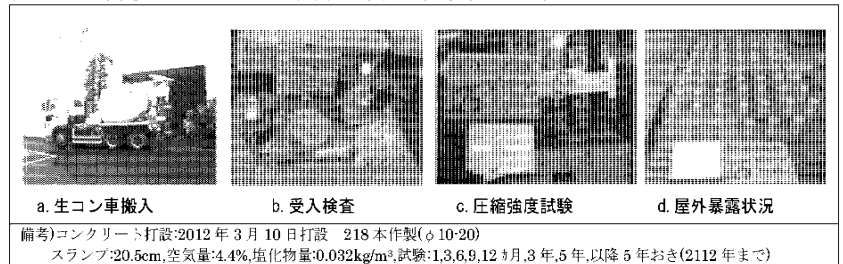
表3 試験内容(研究1, 2, 3)

区分	試験項目	準拠規格	研究1							研究2			研究3	
			28日		91日以降		7日	28日	91日	180日, 365日				
			水中	封かん	屋外	気乾	封かん	水中	水中	乾燥	水中	乾燥		湿潤
力学特性	圧縮強度	JIS A 1108	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	引張強度	JIS A 1113	○	○	-	-	-	-	○	○	○	○	○	○
	静弾性係数	JIS A 1149	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
フレッシュ性状	スランプ	JIS A 1101			○						○			○
	スランプ経時変化(0, 30, 60, 90分)				-					-				○
	空気量	JIS A 1128			○					○				○
	空気量経時変化(0, 30, 60, 90分)				-					-				○
	温度				○					○				○
	凝結	JIS A 1147			-					-				○
耐久性	ブリージング	JIS A 1123			-					-				○
	長さ変化	JIS A 1129			-					-				○

表4 コンクリート調合(研究1, 2, 3)

研究	骨材	単位量(kg/m ³)											
		w/c	s/a	W	C	FA	S1	S2	S3	G1	G2	AE	AE2
1	MG	50	49.2	173	345	-	350	175	349	455	455	3.45	-
	H	50	43.2	170	340	-	385	381	-	1006	-	-	-
	H+FA	50	41.3	170	340	51	356	352	-	1006	-	-	-
2	M	50	42.4	170	340	-	377	373	-	1030	-	-	-
	G	50	43.2	170	340	-	385	381	-	1029	-	-	-
	Nw	50	41.2	184	368	-	694	-	-	1018	-	5520	14
3	Nd	50	41.2	184	368	-	694	-	-	1014	-	5520	14
	RMaw	50	41.2	184	368	-	694	-	-	984	-	5520	14
	RMAd	50	41.2	184	368	-	694	-	-	964	-	5520	14
	RMAc	50	41.2	184	368	-	694	-	-	984	-	5520	14
	RMAb	50	41.2	184	368	-	694	-	-	984	-	5520	14
	RHB	50	41.2	184	368	-	694	-	-	1007	-	5520	-

表5 100 年養生コンクリート材齢 1 年目の実験様子 (研究 1)



3.2 再生骨材を使用したコンクリートの長期材齢特性(研究 2)

3.2.1 実験概要

長期材齢において、再生骨材を使用したコンクリートはどのような特性を持つか、養生の違いが強度にどのような影響を及ぼすかを検証する。表 2 に実験要因と水準を示す。乾燥、湿潤など養生方法の違いは、建築物を取り巻く環境の変化、例えば降雨などを想定しているためである。

3.2.2 使用材料

使用材料を表 1 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。細骨材は君津産の陸砂と児玉産の山砂の混合砂である。粗骨材は再生骨材 H と再生骨材 M、青梅産硬質砂岩砕石を使用した。コンクリート調合を表 3 に示す。W/C50%一定、スランブ 18cm 空気量 4.5% を目標とし調合を実施した³⁾。

3.2.3 試験結果

圧縮強度試験、引張強度試験は 52 週まで実施した。試験結果は図 5 に示す。引張強度は、標準養生では 26 週まで伸びる傾向にあるが、その後低下している。乾燥養生では H 以外は 13 週から強度が低下し、H も 26 週で強度が低下している。湿潤養生は 4 週からほぼ強度は伸びず、52 週では完全に低下している。圧縮強度試験は JIS A 1108 を参照した。試験は 52 週までの結果を示す。再生骨材 H+FA が一番強度が高く、標準養生は強度が伸びる傾向にあるが、気乾養生、湿潤養生では、低下する傾向にある。また、再生骨材 M と青梅砕石のグラフの変化は似た傾向にある。再生骨材 H+FA は、セメントにフライアッシュ混合させたことで、ポゾラン反応により長期的に強度が伸びたと考えられる。

表 4 により、水セメント比は一定の調合であるが、普通骨材よりも再生骨材を使用したコンクリートの強度が大きい傾向にある。再生骨材と普通骨材では、一般に普通骨材の方が高品質であるが再生骨材の原骨材は良質な天然砂利であるため、吸水や密度の影響を受けず再生骨材を使用したコンクリートの強度が普通骨材を使用したコンクリートの強度を上回ったと考える。

再生骨材を使用したコンクリートでも、気乾養生と湿潤養生では湿潤養生の強度が小さくなるのが分かった。

3.3 プレウェッジングが再生骨材を使用したコンクリートに与える影響について(研究 3)

3.3.1 実験概要

JIS A 5012(再生骨材 H)、JIS A 5022(再生骨

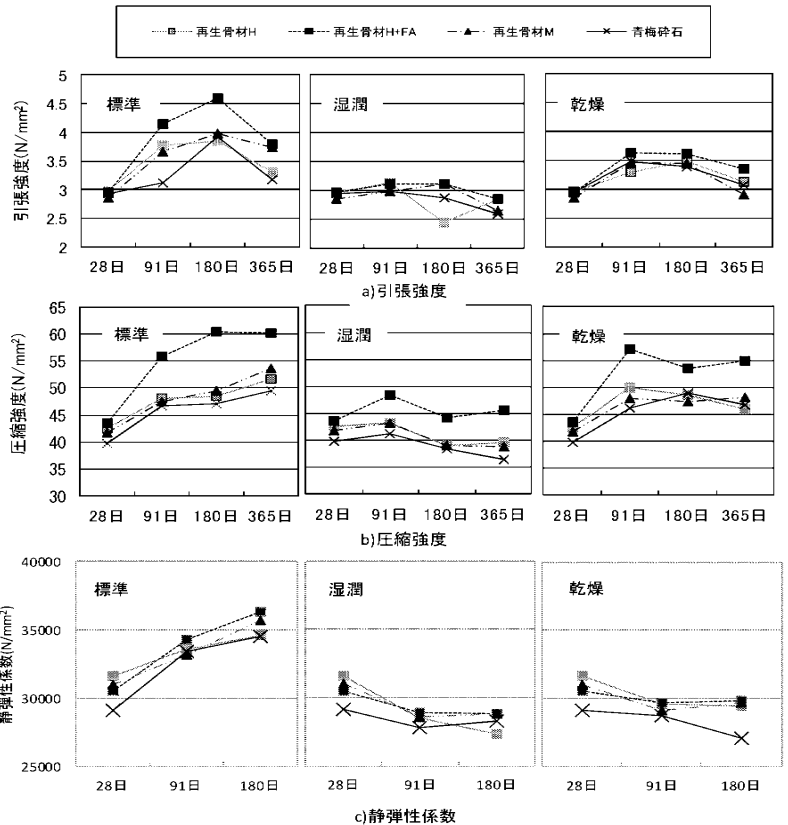


図 3 再生骨材コンクリート長期材齢試験結果(研究 2)

材 M)、JIS A 5023(再生骨材 L)によると、再生骨は使用前日までにプレウェッジングを終え、余剰水は水切りをして、使用時には表面水率が安定した状態にするよう定められている。またリサイクル材料の多様化などにより、コンクリートに様々な副産物が混入する事が予期される。本実験では、プレウェッジングの有無がコンクリートに影響を与えるかについて検証し、プレウェッジングの際に塩水混和がさせた場合塩水がコンクリートの危険因子に成りうるか、フレッシュコンクリートの性質、打設 3 ヶ月までの強度、ヤング係数、長さ変化を報告する⁴⁾。

3.3.2 使用材料

表 1 に使用材料、表 4 に調合を示す。細骨材は砕砂、粗骨材は再生骨材 RHB, RMA を使用し、再生骨材 RHB, RMA はそれぞれ高品質の再生骨材であり 2 つを比べると RHB の品質が高い。

3.3.3 試験内容

試験内容を表 3 に示す。フレッシュ性状と力学特性について JIS に準拠し、試験を行う。長さ変化試験はダイヤルゲージ方法を採用した。

3.3.4 試験結果

(1) スランブ・空気量の経時変化

スランブロスの結果を図 4a に、空気量ロスの結果を図 6b に示す。スランブロスは時間とともに低下する傾向にあることがわかる。再生骨材は実積率が普通骨材より高く、スランブも高くなっている。空気量ロスは、再生骨材において一度空気量が低下した後、増加する結果が出た。

(2) 凝結試験

凝結試験の結果を図 4c に示す。Nw が一番早く反応が始まり、終点までの時間も短かった。再生骨材 RMA では、終点までの時間は RMAw が一番遅

く、RMA s が一番早かった。RMA s は塩水混和がセメントの反応を促進し、凝結が速くなったと考えられる。

(3) ブリージング試験

ブリージング量を図 6d) に示す。ブリージング量は、RHB が多く RMA d が少ない。RMA d, Nd は乾燥した骨材を使用したためコンクリート中の水分量が減少しブリージング量が低下した。

(4) 圧縮強度

圧縮強度試験の結果を図 5a) に、NewRC 式を図 5b) に示す。圧縮強度は Nd が大きい。これは絶乾状態の骨材を使用したため水セメント比が下がったためと考えられる。プレウェッジングの際塩水混和した RMA s については、7 日強度 28 日強度共に低く NewRC 式を見ると圧縮に対してヤング係数が一般的な値より大きくなった。

(5) 長さ変化試験

Nw, RMAw, RMA d, RMA s について、長さ変化試験を行った。図 6 が試験結果である。グラフの点線は長さ変化の予測式である。Nw シリーズの長さ変化率が高いことが分かる。水分逸散量をみると、Nw は水分が失われにくく、RMAw は水分が失われやすいことが分かる。プレウェッジングの有無により骨材から出入りする水の影響でモルタル部分の空隙構造に影響があることが想定され、乾燥収縮に影響しない空隙の分布が相違する事が考えられる。

4. まとめ

本研究の結果、以下の知見が得られた。

- 1) 研究 1 より、物理的耐用年数の検証のため中長期供用を想定した 100 年間養生する供試体を実際に作成し、初期のデータを分析できた。
- 2) 研究 2 より、中長期供用を想定した再生骨材を使用したコンクリートの骨材種類と含水率の違いによる力学特性が検証できた。
- 3) 研究 3 より、供用前の品質管理段階のコンクリートの性能低下要因を踏まえた力学特性、耐久性について検討した。
- 4) コンクリート供用前から後にかけての中長期的なコンクリートの性能評価により、構造体コンクリートの物理的耐用年数に関する品質保証技術の導入に向けた品質保証技術指標(研究 1,2,3)による評価ができた。

謝辞

本研究の実施にあたり、株式会社フローリック 研究所関係各位、工学院大学新総合棟教育施設担当各位、大成建設東京支店・原史彦氏らに多大なご協力と、貴重な助言を受けた。また、本研究の一部は、工学院大学 UDM・PJ 研究、H24 年度科研費(若手 A:23680681)による。本研究の一部は株式会社フローリックとの共同研究である。

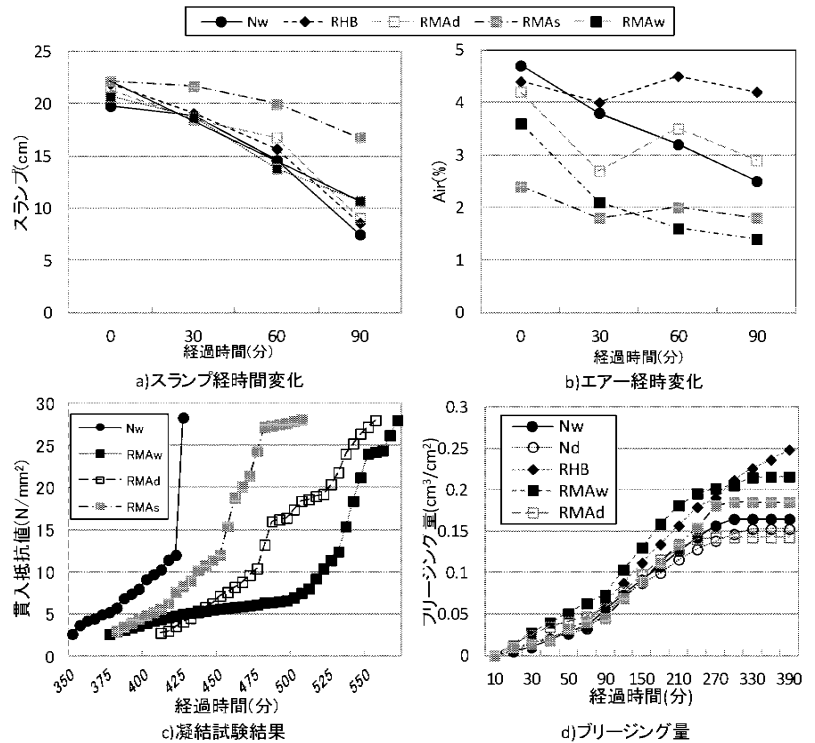


図 4 プレウェッジングの有無がフレッシュ性状に及ぼす影響(研究 3)

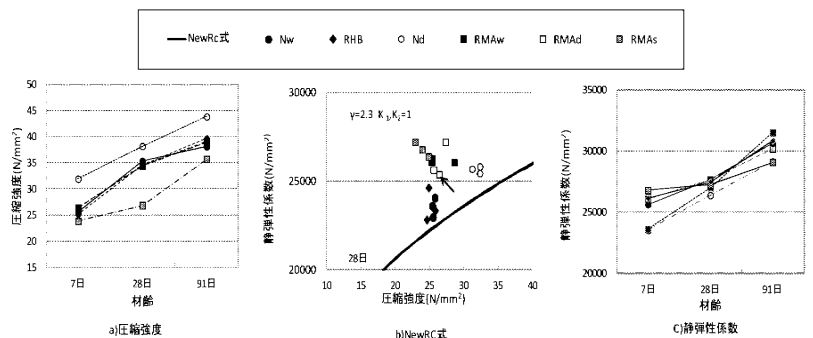


図 5 圧縮強度試験、静弾性係数(研究 3)

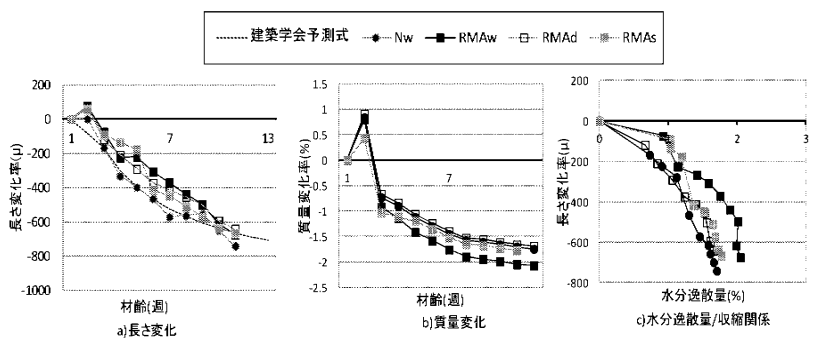


図 6 長さ変化試験結果(研究 3)

参考文献

- 1) 日本コンクリート工学会:微破壊試験を活用したコンクリート構造物の健全性診断手法調査委員会研究会報告書, pp. 11-14, 2012
- 2) 日本建築学会:鉄筋コンクリート構造物の耐久設計施行指針(案)・同解説, 2004
- 3) 須藤剛:工学院大学卒業研究論文梗概集, pp. 601-604, 再生骨材コンクリート M のモルタル量が影響する長期材齢特性, 2011
- 4) 竹田宣典:大林組技術研究所報 No. 75, 海練り・海砂コンクリート(人工岩塩層)の開発, 2011

文化財の技術保全を目的とした屋外暴露-改質こけら葺き材の初期劣化性状の評価

直井優太*1, 田村雅紀*2, 後藤治*2, 山本博一*3

こけら葺き, 改質処理, 劣化性状

1. はじめに

日本の伝統的屋根葺き構法であるこけら葺きはコストや耐久性の問題から年々減少傾向にある。しかしこのような伝統構法は保護していくべきである。京都などに健在する伝統的価値のある町並みをどのように保護すべきか日本でも多くの議論されてきた。これらは文化的価値があり観光資源としての期待もあるため保護保全のニーズは十分にあると言える。現在でも保護の在り方については専門家によって検討されている。こけら葺きに関しても保護の対象として議論し後世に残すべきである。こけら葺きの保護にあたって大きな問題となるのは維持費である。葺き替えのたびにコストが掛かるのは大きな負担である。そこで改質処理を行うことで、耐久性の向上できれば葺き替えサイクルの長期化につながり結果コストの削減になる。つまり改質処理はこけら葺き保護方法の一つとして提示できる。そこで本研究では特にこけら葺きの初期劣化状況を調査し劣化の原因を検証するとともに、改質処理によりどの程度劣化を遅らせることができるのかを検証する。効果的な改質処理を確立し、こけら材の葺き替え周期の長期化を狙う。

2. 研究概要

2.1 使用材料と実験概要

表1に本実験の使用材料、表2に実験要因および試験項目について示す。表1は今回使用する試験体の種類である。試験体は樹齢の異なる人工林の秋田産杉や宮崎産杉、自然林の秋田産栗、長野県産さわら等、計7種類を使用した。こけら葺きは檜、さわら、杉、榎などが使用されるが重要文化財等はほとんどにさわらのこけら葺きが使用されている。表2の実験概要として表面塗装処理条件を示す。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

向上するかを実験する。

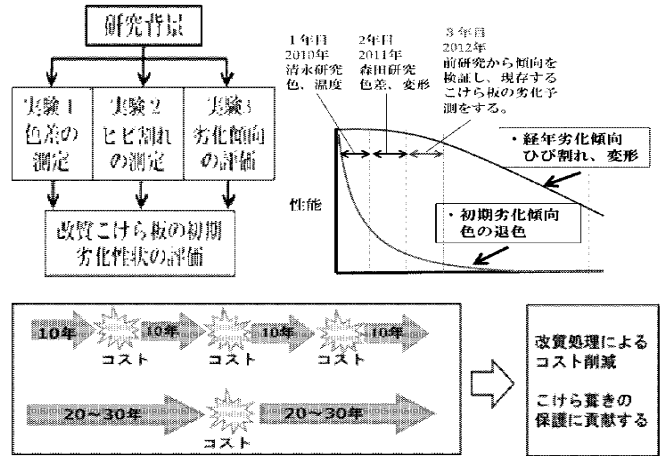
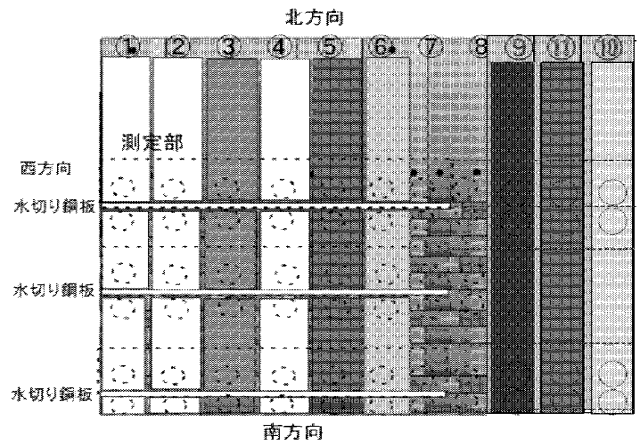


図1 初期劣化性状の評価



備考) 2009年11月山梨演算にて施工。2013年1月時点までの評価
改質処理は表2の処理1~11を左から順に施した。

図2 こけら葺き材改質位置

表1 こけら葺き材種類

記号	種類
Aas45	秋田杉人工 樹齢約46年
Aas90	秋田杉人工 樹齢約88年
Ans 175	秋田杉天然 樹齢約170年
Ank50	秋田栗天然 樹齢約50年
Mas35	宮崎杉人工 樹齢約35年
Mas80	宮崎杉人工 樹齢約80年
Sa	秩父人工さわら

(備考)3.4の塗装回数は7Aの塗装をした後、それぞれ黒、白の塗装を計2回。
*9~11は施工時期3ヶ月遅いため他の塗料と分けて検証した。

表2 こけら材改質処理条件

No	種類/塗布回数	色	回数	効果
1	高撥水シリコン系	クリア	2回	シロキサン結合基を有する無機シリコン溶液の撥水対策
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ネルギー増大による紫外線対策
3	無・有機シリコン系	黒	クリア/黒	防カビ効果と黒化による熱吸収検証
4	無・有機シリコン系	白	クリア/白	防カビ効果と白化による反射対策
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
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
7	なし(銅版水切り)	なし	0回	銅版水切りの蓄熱影響検証
8	なし	なし	0回	基準試験体
9	フッ素樹脂系遮熱塗料	黒	3回 ~4回	赤外線を反射し吸収熱量の減少。汚れの付着による遮熱効果の低下を防ぐ
10	フッ素樹脂系遮熱塗料	茶		
11	フッ素樹脂系遮熱塗料	肌色		

*1 工学院大学建築学科4年 *2 工学院大学建築学部 *3 東京大学大学院新領域創成研究科

2.2 実験内容と方法

表 3 に表面塗装処条件、表 4 に実験項目と方法を示す。各項目について試験体の 9 種類の塗装表面と 2 種類の無塗装表面の計 11 種類の表面状態を評価する。また重要文化財等のこけら葺きには、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。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。実験 1 は色彩計を用いて各種試験体の表面の色彩を計る。実験 2 の実験方法は各試験体のひび割れを目視で測定し計測する。実験 3 の雨水時吸水劣化は雨による色彩変化が最も現れると予想される次期で (施工から 9ヶ月目) 雨水による含水時と乾燥時で明度がどの程度変化するかを比較した。

2.3 こけら板の色彩劣化特性

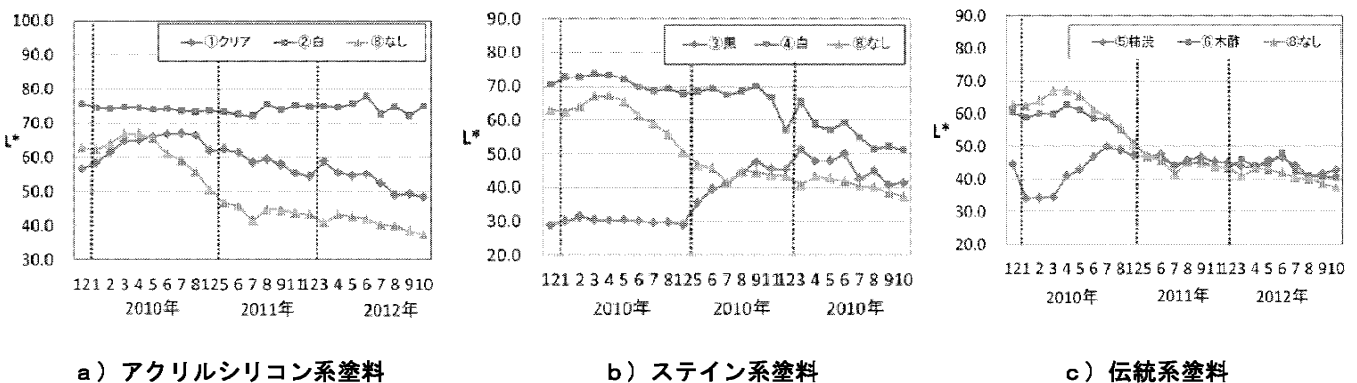
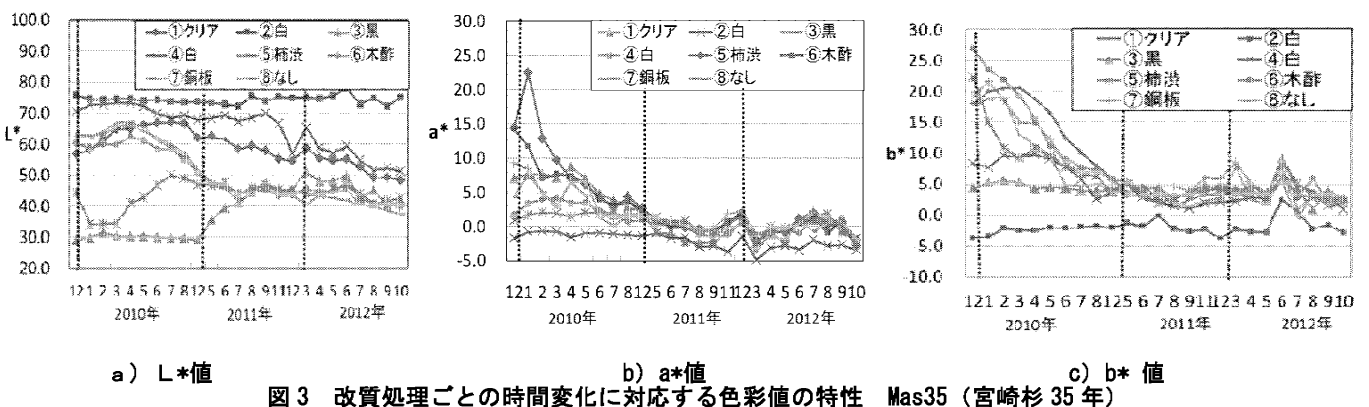
色を測定する方法は色差計を用い $L^*a^*b^*$ で評価する。 L^* は明度を表し、色相・彩度を表す式座標を a^*b^* で表す。色の明度 L^* は 0~100 で表され、色相・彩度を表す式座標 a^*b^* は -60~60 で表される。今回は Mas35 のデータを用い、2009 年 12 月~2012 年 12 月に測定したものを使用している。図 5 は Mas35 の改質処理ごとの時間変化に対応する色彩の特性を示す。図 3 の L^* 値のグラフは材が汚れて暗くなり、明度が下がっていることを表す。白は塗装の剥離が進んでいないため、塗装直後から変化がほぼ見られない。塗装なしの物に関しては一度明度が上昇してから下降してく傾向が確認された。塗装をした物も剥離や汚れが進み塗装なしの物に値が近づく傾向が確認された。

2.4 塗装種類別保護効果

図 4 は塗装種類ごとに分け、それぞれを塗装なしの物と比較し種類ごとにどのような表面保護効果があるかを検証した。塗装はそれぞれアクリルシリコン系、ステイン系、伝統塗料系の 3 種類に分けている。アクリルシリコン系は塗装なしの物と比べて、明度を保持していることがわかる。アクリルシリコン系は色彩保持の面からみて塗装種類別では最も性能が高いと言える。白の塗料に関しては実験開始から三年たった今でも明度はほとんど変化していないという結果になった。三種類の中でも一番性能が良かったと言える。ステイン系はアクリルシリコン系にはやや劣るものの塗装なしに比べて保護効果がみられた。白は 2 年、黒は 8 ヶ月を経過したところで徐々に劣化し、現在は塗装なしと同じ状態に近づいている。伝統塗料系は約 6ヶ月程度保持したもののその後は剥離が進み塗装なしと同じ状態になり表面保護効果は見られない。

表 4 実験項目と実験方法

	検証項目	測定項目
実験 1	色差の測定	色差計を用いjisZ8701 表面色 XYZ 三刺激値より $L^*a^*b^*$ 表色系に変換し評価。(2009~2013 年) 3 年 3 ヶ月における $L^*a^*b^*$ 変化
実験 2	ひび割れの測定	こけら先端部 (紫外線暴露部分) の組織劣化・単分子化溶解によるひび割れ単位長さあたりひび割れ本数 (本/cm)
実験 3	雨水時吸水劣化性状・汚れ度予測劣化メカニズムの検証	初期劣化発生時期 (施工後 9 ヶ月 2010 年 9 月) 降雨時 $L^*a^*b^*$ データ、塗装なしと比較し保護期間を特定する。



2.5 木材に対する紫外線の影響

図 7 は紫外線の透過メカニズムを説明した図である。屋外における木材の劣化要因として太陽光に含まれる紫外線の影響が大きいといわれている。木材は基本的には非常に良く光を吸収する物質である。木は紫外線の波長を吸収すると細胞破壊が起きる。特にリグニンと言う木の色素を持つ細胞が破壊されると色素の溶脱が起きる。本研究でもこけら板の明度が一時的に上昇する現象が確認されているが、その要因は紫外線による細胞破壊に伴う色素の溶脱が原因だと考えられる。つまり明度の上昇を遅らせることが細胞の破壊を遅らせることを意味する。図 8 は改質による紫外線に対する表面保護効果を説明した図である。また試験体の周辺で紫外線強度の実測を行った。測定範囲は UV-B (315~280nm) の波長である。(315~280nm) の波長は木材に含まれる細胞のリグニンにもっともダメージを与える波長域である。この UV-B (315~280nm) 紫外線の強度を $mW/c\ m^2$ で表す。実際の測定結果は紫外線強度のピーク時と考えられる正午で $480\sim 380mW/c\ m^2$ であった。

2.6 遮熱塗料による表面保護効果

図 7 は遮熱塗料を塗装した物と塗装なしの物の表面色差の変化をグラフ化したものである。試験体に黒、茶、肌色の三種類の遮熱塗料をを塗装する。それぞれの色落ちの程度を色差計を用いて計測し、遮熱塗料を装しなかったものと比較する。このグラフから遮熱塗料を塗装したものは3色ともほとんど色の変化がないことがわかる。対して塗装なしは1年程で明度が落ち汚れていることがわかる。この結果は遮熱塗料の表面保護効果

により紫外線の吸収にともなう細胞の破壊を防ぎ表面の劣化を防いだことが考えられる。塗料なしのは紫外線の吸収により細胞が破壊され劣化し汚れが付着したことが考えられる。

2.7 含水時の塗料による影響と明度変化

図 5 はこけら板の乾燥時と含水時の明度の変化のグラフである。こけら板のは雨などにより含水した場合表面の色差にどのような影響があるかを検証した。含水時のデータは雨が降った翌日に計測したデータを使用した。劣化が進み色素が溶脱しているものは雨を給水して黒くなりやすいことが確認された

2.8 こけら板の表面塗装剥離

写真 1 はこけら板の表面劣化の一つであり表面塗装の剥離が確認できた。色のついた塗装表面は剥離により色が落ちてこけら板の表面が露出し外部からの影響を受けやすくなると考えられる。この表面塗装剥離は色のついた塗装に関しては色差測定によりどの程度剥離たかが確認できる。最も表面剥離していた Ank50 (秋田栗 50 年) は変形など他の劣化も多く確認された。

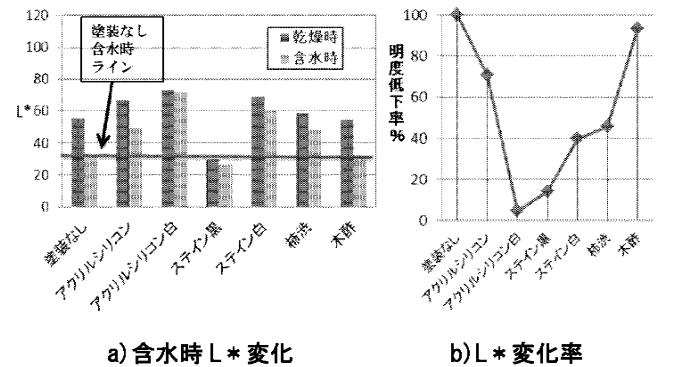


図 5 含水時の塗料による明度変化のグラフ (mas35)

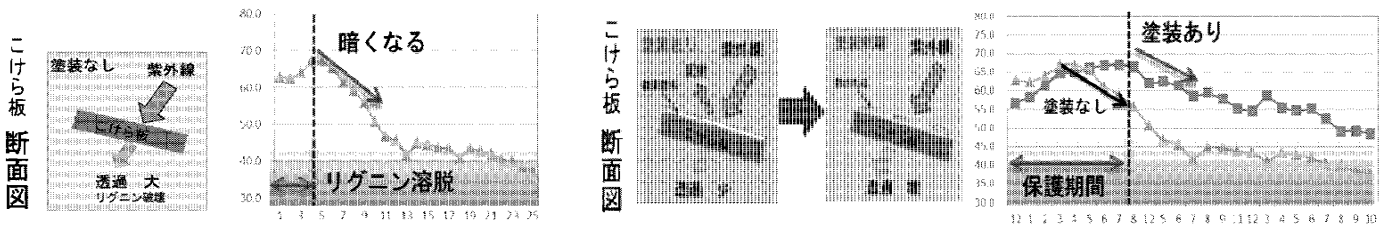


図 6 紫外線透過メカニズムと表面保護効果の比較 (MAS35)

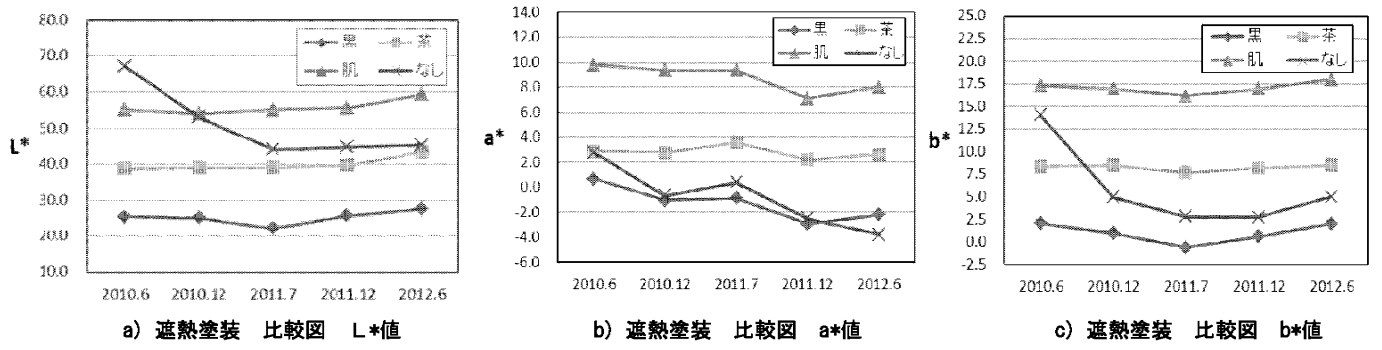


図 7 遮熱塗料による表面保護効果 L*値 a*値 b*値 比較図 (人工さわら Sn)

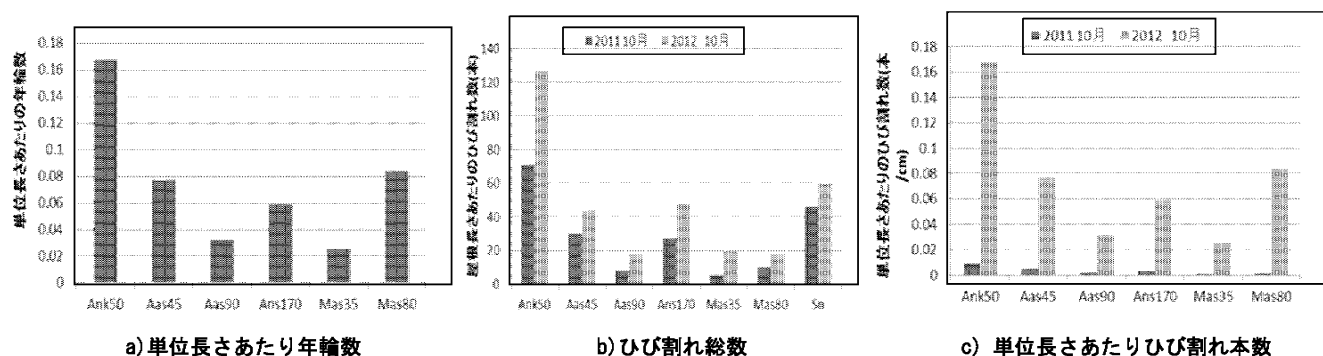


図 8 表面ひび割れ性状

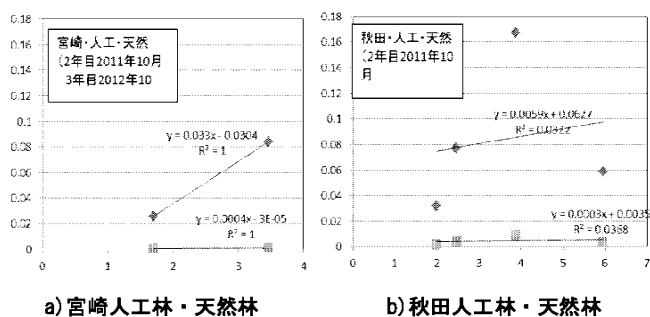


図 9 地域別暴露年数劣化予測

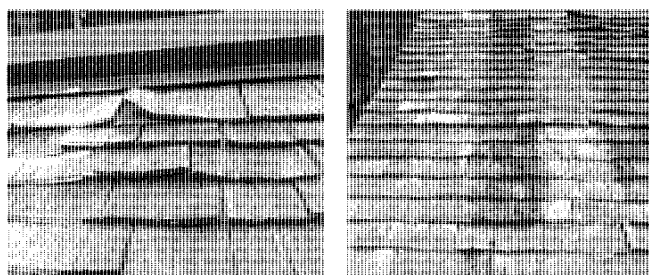


写真 1 表面剥離状況 Ask50（秋田栗 50 年）

2.9 こけら板のひび割れの特性

こけら板の定めた箇所（ひび割れ）を測定し、その数を比較する。図 8 の a は材の単位長さあたりの年輪数である。これまでの研究で年輪の多いものにひび割れが多く発生するのことが分かっている。図 7 の b はひび割れの総数を昨年（2011 年）の結果と比較したものである。秋田栗は去年に引き続き多くひびが発生し変形も大きかった。全体的に塗装がまだ剥離していない部分は剥離した部分に比べてひび割れが少なかった。これは塗料がこけら板の表面を保護し紫外線や雨などから木材の細胞破壊を防ぎひび割れを防いだと考えられる。

2.10 地域別暴露年数劣化予測

図 9 は材の産地別でひび割れの傾向を検証したものである。宮崎杉は気候がよく成長が速い。そのため目が粗く単位当たりの年輪の数が少ないのが特徴である。一方の秋田杉は比較的、目が細かく単位当たりの年輪数が多い。年輪数が多いため秋田杉に多くひび割れが確認されてきたが、調査開始から 3 年が経過した現在は宮崎杉に多くひび割れが起きる傾向がありひび割れ発生までの周期が宮崎杉の方が遅いことが確認された。

3 まとめ

- 1) 実験開始直後から 4 ヶ月目まで L 値は上昇する傾向にある。これは紫外線により、こけら板内に含まれるリグニンが破壊され、その成分が雨などで流され本来の色が流れ出ることにより発生する現象だと考えられる。
- 2) 紫外線によるリグニンの破壊を改質処理により遅らせるこ

とができた。特にアクリルシリコン系塗料、遮熱塗料による表面塗装処理は効果的であった。一方伝統塗料系は効果が見られなかった。

- 3) フッ素樹脂系遮熱塗料は高い表面保護効果があることが確認できた。塗料の色や性能を上げることで実用化できる可能性があるといえる。
- 4) 年輪数が多いとひび割れ数が多くなる。宮崎杉は秋田杉よりひび割れの発生が遅いといえる。

謝辞

本研究に際し、熊谷産業、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) (文化財建造物の保存に必要な木材及び植物性資源の安定確保の基礎的要件に関する研究：代表山本博一)、工学院大学総合研究所研究費(伝統的建造物の維持保全に資する資材改質技法の開発：代表田村雅紀)による。

参考文献

- 1) 田村雅紀, 清永美奈子, 山本博一, 後藤治, 伝統的木造建築に用いられるこけら材の高度維持・保存技法に関する研究, pp.123-126, 日本建築工学会研究発表論文集, 2009
- 2) 森田泰代, 田村雅紀, 山本博一, 後藤治, 屋外暴露した改質こけら葺き屋根の物理的変状, 日本建築学会関東支部 2011
- 3) 木口 実 木材の気象劣化と耐候処理 木材保存 Vol.19-6 1993

災害時を含めたペット共棲住環境の品質評価

程原恵多*1 田村雅紀*2 金巻とも子*3

災害時 平常時 騒音

ペット共棲 仮設住宅 脳機能計測

1. はじめに

現在、日本では犬猫だけでも約 2684 万頭¹⁾がペットとして飼育され、近年ではマンションの増加の影響により、ペットの室内飼育が急激に増加している。しかし、現在の住宅でペットと人が共棲するには困難な点が多くあるのが現状である²⁾。また、ペットとの共棲方法の提案に関する研究は少しずつなされているが、十分に検討されていない。そのような状態であり、今後はペット共棲住環境のさらなる向上が必要となる。2011 年 3 月に東日本大震災が発生し、東北 3 県だけでも 33 万頭(犬)が飼われていたが未だに被害状況の把握されておらず、残されたペットの保護やペット同行避難と仮設住宅でのペット共棲に関する問題が発生し、災害時におけるペット共棲住環境の改善が必要となった。

以上を踏まえ、本研究では、日本建築学会における、「品質保証を品質に対する十分な信頼感を得るために行う行為」³⁾と示す考え方を踏まえ、飼い主とペットのニーズを重視する観点で、必要となる住環境性能に関する仕組みを住環境品質として評価し、東日本大震災の災害時におけるペット共棲仮設住宅の建材・空間特性を踏まえ、ペット共棲の仕方の検討を行うことを目的とする。(図 1, 表 1 参照)

研究 1 では、犬などの群れをなす習性をもつ家庭動物は、飼い主の生活の質の影響で QOL が決まる要素があることから、飼い主の住環境の満足度が犬の満足度を高めるのに、仮設住宅の内装状態調査を踏まえ、その住環境改善に向けて、近赤外光法計測 NIRS を用い、壁紙のテクスチャーが人の心理に影響を与えるか検証する。研究 2 では東日本大震災東京都動物救援センターと被災地のペット共棲仮設住宅の実態調査を踏まえ、ペットと人の 5 感特性への影響因子を整理し、主に騒音に関するペット共棲住環境の改善提案を行う。

2. 研究概要

2.1 近赤外光法計測 NIRS を用いた壁紙の印象評価の実験概要

2.1.1 実験方法

本研究では、ペット共棲住環境では、飼い主とペットの住環境への満足度に相関がある可能性を踏まえ²⁾、飼い主の満足度が高まるような内装壁紙の視覚情報が実際の脳機能に対し与える影響を評価する。表 2 に実験概要と計測概要⁴⁾を表 3 に壁紙のパターン原図の分類を示す。図 2 に近赤外光法計測試験概要を示す。パターン原

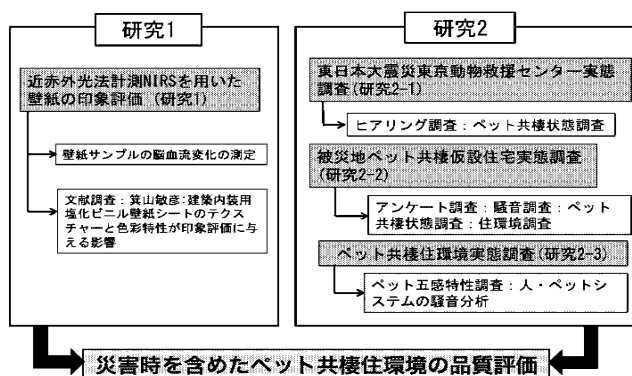


図 1 研究概要

表 2 実験概要と計測概要

脳計測器	近赤外線光イメージング装置(FOIRE-3000)を使用
計測部位	国際 10-20 法に基づいて頭部基準点を計測し、前頭葉 FRAS ホルダを用いて、前頭葉 3×5 にプローブを配置し、計 42 チャンネルの Oxy-Hb の変化量を取得
実験概要	NIRS (Near Infra-Red Spectroscopy) とは、1977 年 NIRS 生体応用をはじめとし、近年普及してきた新しい脳機能計測法の一つである。図に近赤外光による脳機能計測の原理を示す。人間の脳内にはニューロンが約 1000 億個存在し、視覚、聴覚、触覚、嗅覚、味覚などの情報を目、耳などの感覚器から取り込み、それらを電気信号にかえ、脳に伝達する。そして脳内にあるニューロンが相互にそれらの情報を伝達・処理することによって、次の行動を決定する。その時に酸素化ヘモグロビン (oxy-Hb) は毛細血管経由して酸素供給を行い NIRS はその反応を近赤外光により、リアルタイムに計測して脳の機能局在を解析する。

表 1 研究概要

研究内容	内容及び詳細	実験概要	実施日時
研究 1 人を対象にした壁紙の観察による脳の血流量の変化	パターン原図を試験サンプルとし、近赤外光法計測 NIRS を用いた実験	近赤外光法計測を用いパターン原図の観察時の脳内の CO ₂ ・Hb・oxyHb の変化量の確認	2012 年 5 月 24 日
研究 2 ペット共棲住環境実態調査と被災地ペット共棲仮設住宅実態調査	(研究 2-1) 東日本大震災東京都動物救援センター実態調査	東日本大震災東京都動物救援センターにてヒアリング調査・騒音調査・ペット共棲状態調査を実施	2012 年 7 月 21 日
	(研究 2-2) 東日本大震災ペット共棲仮設住宅調査	福島県南相馬市の 3 つのペット共棲仮設住宅の調査を行う。騒音調査(dB)・アンケート調査を実施	2012 年 9 月 19・20 日
	(研究 2-3) 動物専門家とペット共棲研究会を実施:麻布大学	ペット五感特性の分析・共棲環境についての提案・人システムペットシステムの提案・騒音 Hz, dB 分析	2012 年 10-12 月

*1 工学院大学工学部建築学科 4 年 *2 工学院大学工学部建築学科 准教授博士 (工学) *3 かねまき・こくほ空間工房/工学院大学客員研究員

図の5種類を用い計測を行い、計測の環境として横幅1800mm×奥行1800mm×高さ1800mmの暗室を作り、その中にNIRSを設置し被験者の頭にホルダおよびファイバを装着する。被験者は、通常視力の成人男性2名を対象として脳機能計測を行った。NIRS計測では変化量を計測するため、ベースライン計測期間とタスク計測期間を交互に実施する。また、本実験では「好み」および「快適度」の評定の期間を設けた。ベースラインの期間には注視点を10秒間呈示し、タスクの期間には5種の試験サンプルのパターン原図のうち1枚のパターン原図を10秒間呈示した。さらに好みと快適度の評定画面を各5秒呈示し、被験者はキー押しにて応答する。その後ベースライン期間にもどり、これを1施行として各試験サンプル3試行ずつ合計15試行を実施した。タスク期間には5種類の試験サンプルのパターン原図から、ランダムに1つずつ呈示した。

2.1.2 パターン原図評定結果および考察(視覚, 触覚)

図3に壁紙のパターン原図の評定結果を示す。1横, 2縦のパターンが最も好まれ, 快適と感じる結果となった。5斜め四角については, 好み・快適度ともに度数0という結果が得られた。図4に壁紙のパターン原図の評定に要した反応時間について示す。好みに関しては, 反応時間がどのパターンも2秒前後となっており, 快適度に関しても1~2秒となっているため, 各パターンの反応時間に大きな差は見られなかった。図5に住環境における壁紙観察による近赤外光脳機能計測結果を示す。ベースライン期間とタスク期間へヘモグロビン変化量に基づく解析を行った結果, Oxy-Hbの活性が良い赤い領域ほどタスク期間中の有意な脳賦活を示すため, パターン図の横・縦についてはベースライン期間とタスク期間の血流変化が小さく, 斜め・四角・斜め四角についてはベースライン期間とタスク期間の血流変化がみられた。仮設住宅, 避難所においては, 無機質な金属サイディングであり, 壁紙模様の変化で, 人の脳の反応に違いが見られる結果となった。

表3 壁紙のパターン原図の分類

1. 横	2. 縦	3. 斜め	4. 四角	5. 斜め四角
一般的な壁紙テクスチャーパターン模様5種類を用意 1cm×1cmの四角内において、白と黒が占める面積の割合が等しい(白1:黒1)				

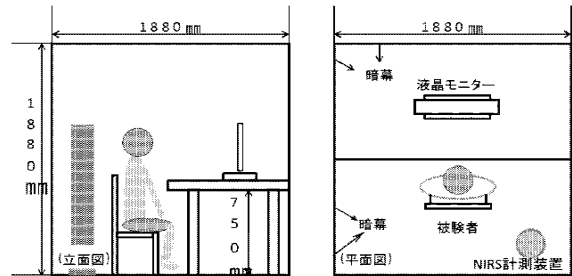


図2 近赤外分光法計測試験概要

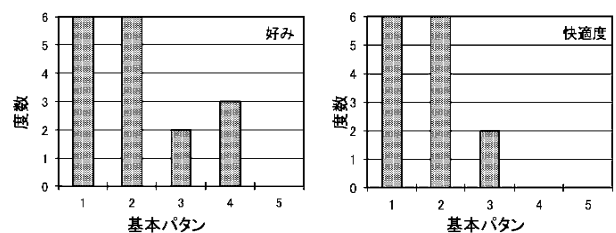


図3 壁紙のパターン原図の評定結果(左, 好み 右, 快適度)

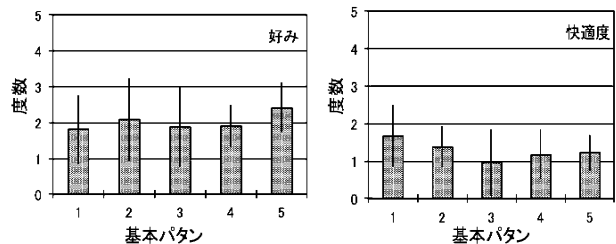


図4 壁紙のパターン原図の評定に要した反応時間(左, 好み右, 快適度)

解析画像	stim1	stim2	Stim3	stim4	stim5
状態	タスクにより鎮静化した状態	タスクにより鎮静化した状態	タスクによりアクティベートした状態	タスクによりアクティベートした状態	タスクによりアクティベートした状態

(備考) Oxy-Hb 赤-活性化 青-沈静化

図5 住環境における壁紙観察による近赤外光脳機能計測結果

表4 東日本大震災東京動物救護センター実態調査

分類	主なヒアリング項目	配置図
ペット非共棲型 (タイプ5)	<p>Q. ペット同士が施設で一緒に生活することで生じる問題はあるか? A. 仮設の中1個室のような形になっておりペット同士のトラブルはないようにしている。また施設内の廊下では一方通行を原則としているため他のペット達とすれ違わないような工夫がされている。</p>	<p>開設期間: 平成 23 年 10 月 11 日から平成 24 年末 施設規模: 敷地面積 約 2,260m² 犬猫 30 頭収容 構成団体: (社)東京都動物愛護協会、(公社)東京都獣医師会、(公財)日本動物愛護協会、(公社)日本動物福祉協会、(公社)日本愛玩動物協会</p>
ペット共棲状態 施設内限定 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	<p>Q. 天井は音を吸収するような材料が使われているか? またペットが尿に排泄をしてしまっても臭いや臭いが残っていないか? A. 建材に関しては一般的な仮設と変わらない。(金属サイディングの上無地の壁紙が貼られている) また清掃により清潔さを保っている。</p>	
	<p>Q. 排泄物などの臭いの影響はあるか? 他のペットのマーキング、縄張りでのトラブルはあるか? A. 施設の方々の清掃により、清潔に保たれているためトラブルはない。またペット同士を対面させることがないのでそういった問題もない。</p>	
	<p>Q. 飼い主を離れ暮らすことでペット達の様子に変化がみられるか? A. ペット達は不安な様子もあり施設で生活するのに慣れるまで時間のかかるペット達も多々いる。</p>	
同行避難	同行避難: 荒川区, 板橋区, 杉並区, 世田谷区, 練馬区, 目黒区 検討中: 港区, 文京区, 北区, 品川区 (日本同伴犬協会HPより 2003. 1)	

ため、住環境における飼い主の QOL に影響することが考えられた。結果として人とペットの QOL 改善に繋がる。

2.2 被災地ペット共棲仮設住宅実態調査

2.2.1 東日本大震災東京動物救済センター調査(触覚, 聴覚)

表 4 に東日本大震災東京動物救済センター⁵⁾ (以下救援センター)実態調査を示す。救援センターでは、震災により動物を飼育管理することが一時的に困難になった飼い主に対する動物の保護及び適正な飼育に関する情報提供を行う施設で、動物救済活動を円滑に行うための広報活動も行っている。施設では犬舎・猫舎は原則一方通行で、これはペット同士の接触をさげトラブルが起きない配慮である。猫舎においてはストレスを緩和させるためのプレイルームなどが作られ、精神的な面でも配慮されている。この施設で騒音レベル(A 特性)の調査を行ったところ、平常時では 47dB、犬が吠えた場合 80dB と数値があがった。建材は、ウレタン入り金属サイディング 30mm であり、適切な内装下地の配置により、ペットに特有の周波数域における音圧レベルを低減できる余地がある。

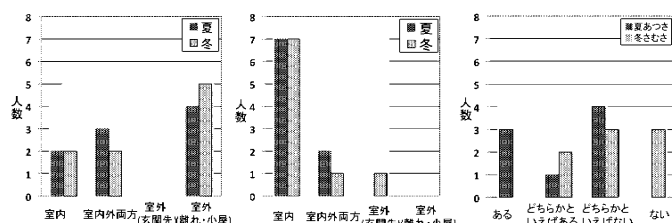
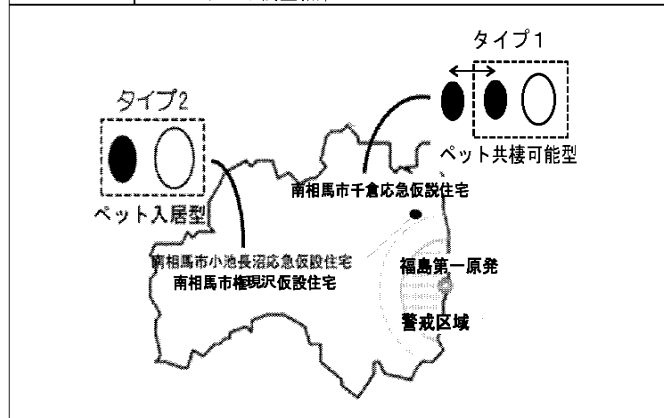
災害時においては人々が避難場所へ避難し、ペット同行避難が問題である。内閣府では「避難所における動物の適正な飼養」、動物愛護では「動物の適正な飼養および保管」と定めており、さらに細かくみると、自治体の地域防災計画に定められている。東京都の場合⁶⁾、荒川区では同行避難、世田谷区では同行避難を「原則」、品川区は「検討中」、大田区では「飼主の責任」と地域により対応にばらつきがあった。

2.2.2 被災地ペット共棲仮設住宅実態調査(聴覚, 視覚, 触覚)

表 5 にペット共棲仮設住宅(福島県)の実態調査を示す。東日本大震災の応急仮設住宅におけるペットとの共棲が可能な仮設住宅の分類の確認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 カ所の仮設住宅の調査を行った。

表 5 ペット共棲仮設住宅の実態調査

箇所	南相馬市千倉応急仮設住宅(タイプ 1)、南相馬市権現沢仮設住宅(タイプ 2)、南相馬市小池長沼応急仮設住宅(タイプ 2)、南相馬市小池長沼応急仮設住宅(タイプ 2)
調査	気温・湿度・騒音(dB)・放射線・住宅劣化度・アンケート
アンケート調査項目	1)仮設住宅居住期間 2)仮設住宅広さ 3)仮設住宅での落ち着き度 4)仮設住宅での安心度 5)仮設住宅快適度 6)仮設住宅の夏と冬の暑さ寒さ 7)仮設住宅における音・におい・明るさに関して 8)飼育しているペットの種類 9)避難前ペット飼育場所* 10)仮設住宅ペット避難場所* 11)仮設住宅でのペットの様子* 12)仮設住宅でペットのために工夫したこと *図 6 ペット共棲仮設住宅でのアンケート調査結果



a) 飼育場所(避難前) b) 飼育場所(仮設住宅) c) ペットの様子(仮設住宅)
 図 6 ペット共棲仮設住宅におけるアンケート調査結果

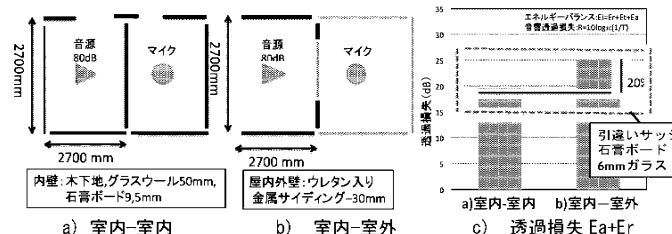


図 7 ペット共棲仮設住宅における騒音実験と結果

表 6 ペット共棲住環境における人システムの影響分析

ペット共棲住環境影響因子	影響因子の例	影響領域	IN ペットが影響を受ける (五感: 内容)	OUT ペットが反応する (運動神経)
人システムによるもの				
屋外の自然音	雷, 大雨, 強風	自然環境	○ (耳: おびえ, 不安感)	○ (暴れる, 隠れる, 吠える, 等)
屋外の突発音 (工事, 花火等) *	騒音・振動	周辺環境	○ (耳: おびえ, 不安感)	○ (吠える, マーキング, 隠れる)
屋外の常態音 (エレベータ等)	騒音・振動	周辺環境	△	△
家族の移動*	音・振動	室内環境	△	△
来客の訪問*	音・振動・匂い	室内環境	○ (目, 耳, 鼻: 好奇心, 不安感, 警戒, 興奮)	○ (吠え, マーキング, 走り等)
空調設備からの発音音*	音・振動	室内環境	○ (目, 耳, 鼻: 好奇心, 不安感)	○ (吠える, 走り等)
家電からの突発音	音・振動	室内環境	○ (目, 耳, 鼻: 好奇心, 不安感)	○ (吠える, 走り等)
集合住宅での隣の部屋からの騒音	音・振動	周辺環境	△	△

*図 8 音圧レベル分析対象

表 7 ペット共棲住環境におけるペットシステムの影響分析

ペット共棲住環境影響因子	影響因子の例	影響領域	IN 人が影響を受ける	OUT 人が反応する	第三者
ペットシステムによるもの					
排泄マットの放置	悪臭, 菌繁殖	室内環境	○ (鼻: アンモニア臭)	○ (清掃の実施)	× (放置)
床・壁へのマーキング行為	悪臭, 菌繁殖	室内環境	○ (鼻: アンモニア臭)	○ (清掃の実施)	× (放置)
吠え声の発生*	騒音	室内環境	○ (耳: 驚き, 騒音意識)	○ (おちつかせる対応)	△ (無視, いらだち)
抜け毛の床・壁への付着	物質汚染	室内環境	○ (目, 触: 清潔さ)	○ (清掃の実施)	× (放置)
抜け毛の室内浮遊	空気汚染	室内環境	○ (触: 不快感, 呼吸影響)	○ (空気清浄機の運転)	× (放置)
床への爪の掻きあと	物質破損	室内環境	△ (目, 触: 清潔さ)	○ (定期的な手入れ)	× (放置)
家具の破壊	生活に支障	室内環境	○ (目, 触: 不快感, 不便)	○ (家具の保護)	× (放置)
抜け毛の屋外浮遊	空気汚染	周辺環境	○ (目, 鼻, 身体: 清潔さ)	△ (被毛手入れの実施)	△ (無視, かゆみ)

*図 8 音圧レベル分析対象

2.2.3 ペット共棲仮設住宅アンケート調査(触覚)

図6にペット共棲仮設住宅におけるアンケート調査結果を示す。アンケートは南相馬市より許可を得て、千倉応急仮設住宅で入居者9名に協力してもらい、震災から1年半がたった復興段階における飼い主とペットの5感特性からみたペット共棲住環境の状態分析と改善策を検討した。状況とペット共棲仮設住宅の状態の把握を目的に行った。アンケートの結果より避難前と仮設住宅では、飼育場所が室外から室内へ移動していた。またペットに対しての配慮されておらず、飼い主の工夫により住環境を改善していた。温熱環境として人・ペットの満足度が低くなる傾向がある。

2.2.4 仮設住宅騒音調査(聴覚)

図7にペット共棲仮設住宅における騒音実験と結果を示す。騒音調査として、仮設住宅の一室を利用し実験を行った。仮設住宅調査では、室内間、室内外の空気伝播音の騒音レベルを評価するが、基本平面(4.5畳×4部屋)が狭小であるため、JIS A 1416に準じ、固定音測定5箇所の測定値が同等であることを確認した上で、壁面距離0.5mを保持し騒音レベルを測定した。a)室内-室内では、室内から壁をはさみ隣の部屋に音を発生させ隣の部屋で透過した音を計測した。b)室内-室外も同様に室内から室外に音を発生させ計測した。a)は室内から室内に回折して伝わり、b)室内-室外の方が透過した音が少なく、内装下地材、壁材配置および開口箇所の配置等の改善の余地があると判断された。

2.2.5 人・ペットシステムの影響分析(視覚, 触覚, 聴覚)

表6にペット共棲住環境における人システムの影響分析を、表7にペット共棲住環境におけるペットシステムの影響分析を示す。ペット共棲住環境の改善のため、表6の人システムの影響分析で人がペットに及ぼす影響の原因を抽出し、影響因子と影響領域をあげ、ペットが影響を受けることを「in」とし、それによりペットが反応し行動を起こすことを「out」に分け分析を行った。⁷⁾表7のペットシステムの影響分析では、ペットが周囲に及ぼす影響の原因を抽出し、影響因子と影響領域をあげ、人が影響を受けることを「in」、それに対し人が行動を起こすことを「out」として、またoutを飼い主が起こす行動と、それを外部から見ている第三者の行動の2つに分け、これにより分析できる。

図8に人・ペットシステムの騒音分析結果を示す。人システムでは表6の項目からいくつか抽出し、その中の騒音を分析した。測定した騒音は、掃除機・換気扇・足音・インターホン・電車通過音・自動車通過音である。測定は発生音の騒音レベルを正しく評価するためZ特性で行い、実際の音がどのような周波数で発生しているのかを確認した。人システムでは、暗騒音にばらつきがあるため生音だけを抽出し、ペットシステムにおいては、すべて同じ実験環境で測定したため、暗騒音が関係するものとし、暗騒音を考慮した測定を行った。結果として人システムのピークノイズも機器に固有のものがあることが確認でき20Hzから2kHzと広く分布しているのに対し、ペットシステムにおいては、体調30cmから70cmの数匹の犬の吠え声を計測したところ、300Hzから1kHzに集中しピー

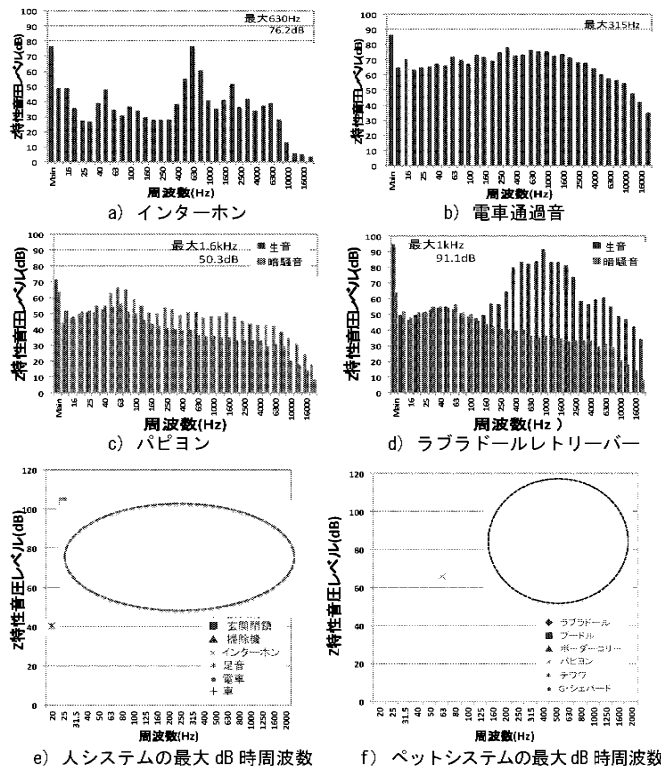


図8 人・ペットシステムの騒音分析結果

クを持つ。以上より、ペットの犬種、体格の基礎情報を踏まえたペットに特有の周波数域における音圧レベルを低減するような内装下地設計を実現するための基礎情報が確認できた。

3. まとめ

- 1) NIRS, 官能検査を踏まえ、壁紙のテクスチャーが人の心理に影響を与えることが確認でき、壁紙に配慮することで飼い主のQOLの向上になり、それに伴いペットのQOL改善に繋がる。
- 2) 仮設住宅を想定した音圧レベル測定により、ペットの犬種、体格の基礎情報を踏まえたペットに特有の周波数域における、音圧レベルを低減するような内装下地設計を実現するための基礎情報が確認できた。
- 3) ペット共棲住環境に関して、人とペットに対しての影響を5感特性を踏まえ、inとoutに区別し整理することで、復興段階におけるペット共棲タイプごとに、ペット共棲住環境の品質評価ができた。

参考文献

- 1) ペットフード協会 第16回犬猫飼育率 全国調査, 2009
- 2) ペットと人が共棲できるユニバーサルデザイン建材と居住空間のあり方 日本建築学会 2012.9
- 3) 日本建築学会 コンクリート品質管理指針・同解説 1991
- 4) 島津製作所, NIRSによる脳機能測定技術資料 2012
- 5) 東日本大震災東京都動物救援本部, 財団法人日本動物愛護協会 技術資料 2012
- 6) ペット同伴協会公式HP, 調査資料 2003
- 7) 暮らしのなかの非破壊検査-人・ペットの住みよい共棲環境の形成に向けて, 日本非破壊検査協会 2012

謝辞

本研究の一部は客員研究員金巻とも子様、麻布大学谷口萌様、Animal Life Solutions 鹿野正顕様、長谷川成志様と島津製作所山口由衣様、斉藤洋臣様の共同研究であり、東京都動物救援センター 谷塚岡良佳様、あおぞら動物病院 寺島美穂様、千倉応急仮設住宅会長 泉勝明様、動物愛護社会推進協会 西澤亮治様から貴重な助言を受けた。また工学院大学 UDM・PJ 研究、H24年度科研費(若手A:23680681 田村雅紀)による援助を受けた。

カビ劣化が顕著なこけら葺き材の無機改質処理と色彩劣化度調査

木質材料、カビ劣化、こけら葺き屋根 無機改質処理、色彩劣化

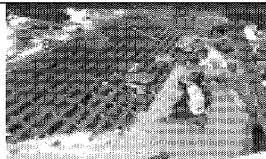
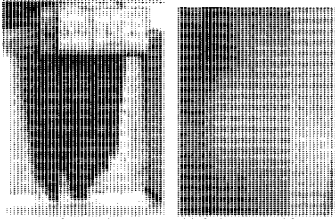
大城 宜毅*1 田村雅紀*2

1. はじめに

日本は昔から伝統建築として様々な自然材料を使用してきたこけら葺き材もそのひとつであり、金閣寺や銀閣寺など国宝級の建築物に使用されてきた。こけら葺きは、さわらや天然杉、栗の木などを柱目に割り、敷き詰めた屋根のことである。しかし今日において、地球温暖化を始めとする環境の劇的な変化や、それに伴うこけら葺きの材料である天然木の減少、そして昔から受け継がれてきた施工方法の担い手の減少も相まり、こけら葺き屋根は衰退しつつある。近年では、こけら葺き屋根の急速劣化が目立つようになってきており、そのライフサイクルは約 25 年～30 年であるが、およそ 10 年で葺き替えないとなくなる程劣化が進んだ住宅の事例もでてきている。その直接的な原因や背景が、地球環境の変化や使用する材料の天然林、人工林の違いからくるものだと断定はできないが、少なからず影響を及ぼしているはずである。そこで、本研究では急速劣化の進んだ屋根の現場調査を調査し、サンプルの評価からこけら葺き材の長期利用を目指した無機改質化による可能性を探っていくことを目的とする。

量の多い通りに面して立地しており、排気ガス等の煤塵や、それに伴う酸性雨によるものとも考えられる。周囲は大変排気ガス臭く、近年は偏西風に乗って中国からやってくる排気ガスを含む（NO_x、SO_x など）粒子により酸性化が進んでいるといわれている。昔は約 25～30 年も寿命があった物がその半分近くで寿命を迎えるのは、使用するこけら材の成長過程や使用方法

表 1 こけら葺き屋根葺き替え現場調査

項目	調査概要	写真
研究 1 こけら 葺き屋根 調査	調査実施： 平成 24 年 1 月（第 1 回） 平成 24 年 5 月（第 2 回）	
	場所： 京都府京都市上京区 今出川烏丸東入	写真 1 平成 24 年 5 月葺き替え状況
	目的： 劣化したこけら葺き屋根 の原因調査（葺き替え 12 年）	
	使用材料： こけら材 （長野南木曾産さわら材）	
	調査箇所： 劣化したこけら葺き屋根全体 葺き替え工事状況	

2. 冷泉家こけら葺き屋根調査

2.1 京都府冷泉家調査概要

国の重要文化財に指定されている京都府上京区の冷泉家は、江戸後期の 1790 年に再建された現存する最古の公家住宅である。この冷泉家の屋根には長野県南木曾町地域で採取した木曾の檜がこけら材として使用されていたが、張り替えて約 5 年で傷みが目立ち始め、こけら材にカビが大量に繁殖するなど、約 12 年と寿命のおよそ半分で葺き替えることになってしまった。このこけら葺き屋根の急速劣化の原因はわからず、その原因を探るため調査を行った。（表 1）

2.2 冷泉家こけら葺き屋根劣化原因考察

こけら葺き屋根の急速劣化の原因のひとつとして考えられるのは、昔と今の「環境」の違いである。冷泉家は比較的交通

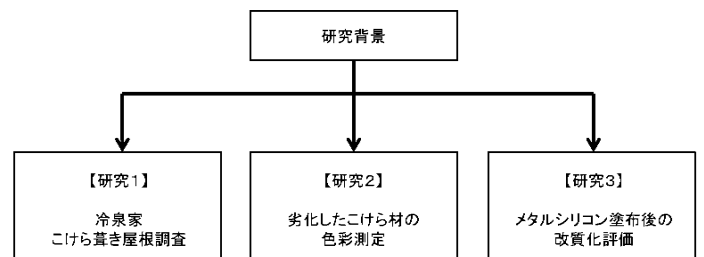


図 1 研究概要図

に多少の違いがあるかもしれないが、昔と大きく変わったのはやはり立地する周囲の「環境」である。産業の発達に伴い、社会的・経済的活動を活発に行い、その積み重ねによって、近年「典型 7 公害」と呼ばれる公害問題を引き起こしている。その中でも大気汚染、そしてその大気汚染が引き起こす酸性雨、また、温室効果ガスの増加による気温の上昇や紫外線が強まったことなどがこけら葺き屋根の急速劣化に大きく影響を与えている可能性が考えられる。

*1 工学院大学工学部建築学科 4 年 *2 工学院大学建築学部建築学科生産系分野・准教授・博士(工学)

2.3 冷泉家こけら葺き屋根調査結果

冷泉家住宅を調査した結果、屋根のほとんどはすでに新しいこけら材に葺き替えられていたが、前回葺き替えた時とは釘の種類を変えていた。前は鉄釘を用いていたのに対し、今回は竹釘を混用して使用し、これは鉄釘から発生する錆が雨などによりこけら材に流れ落ちないように対策したものである。また、これは昔ながらの施工方法に準じたものであり、冷泉氏の意に沿ったものでもある。ヒアリングの結果、冷泉氏はこけら材を改質化することで対策を講じるのではなく、昔の施工方法に乗取った形での劣化対策を重視しており、温故知新の価値を重視し、最新の施工方法を取ることがこけら葺き屋根の別の劣化現象に繋がる要因も踏まえる必要があると指摘した。また、採取した葺き替え前のサンプルを観察してみると、全体的に炭化したような黒色化がかなり進んでおり、ゴミや埃、カビが目立ち、抉り取られたような箇所や溶けてなくなってしまったような箇所が多く見られ、元のこけら材よりも厚みがなくなっていた。さらに、水切りのために間に挟まれていた銅板にもかなり錆が目立っており、黒色化の一因になっていた。また、今回は平らなこけら材を用いて葺き替えを行っていたが、前は湾曲している材も使用しており、むくり屋根の形状に合わせて無理に平たくなるよう釘で固定していたため、その反り戻しに抵抗する強い力が働いたと思われる箇所には割けと浮きが見られた。

また、昔と現在のライフスタイルの変化も考えられた。室内は冷暖房設備を導入しているが、窓ガラス等は重要文化財のため好き勝手に改修可能な状態ではなく、ほとんど昔のままである。そのため、このような古い部分もあることから断熱性が充分とは言えず、結露等の湿気が天井裏で溜まり屋根を腐食させていることも考えられたが、こけら葺き屋根の工法は昔のまま、通気が確保されている結果、熱せられた暖気に含まれる湿気がこけらの積層された空間を介して外に放出されている影響は少なからずあるが、野地板等は健全であり劣化の積極的な影響にはなりにくいと考えられる。

この一回の調査で、原因は断定できないが、釘による割け、腐食劣化により破損している箇所や、浮いてできた隙間からゴミや埃、雨水などが入り込み、カビの大量発生から急速に劣化が始まったと考えられる。また、この冷泉家住宅は他のこけら葺き屋根を用いた伝統的木造建築物よりも立地環境がかなり悪く、交通量が非常に多い道路に隣接しているため、車の排気

ガスに含まれる NOx、SOx などの窒素酸化物を含んだ煤塵の付着は否めないと考えられる。この煤塵が雨やその他の物質と反応し合い、複合的な要因で急速にこけら材を傷めていると考える。

3. こけら材の色彩劣化度調査

3.1 こけら材色彩劣化度調査の目的

伝統的木造建築に用いられるこけら葺き屋根が、葺き替え後いかにして劣化していくのか、また、どの箇所から劣化が進み、色が変わっていくのかを、色差計を用いて劣化の進んだ葺き替え前のこけら材を評価する。

3.2 劣化したこけら材の概要

冷泉家住宅調査の際、採取した劣化こけら材（写真 3）を使用し、色彩測定を行う。その際、釘で固定されているこけら材は丁寧に分解し、また、柁目方向に 30mm ずつ目盛りを入れ、それと垂直になる方向に 10mm ずつ目盛りを薄く入れる。

3.3 こけら材の色彩劣化度調査の概要

冷泉家住宅より採取した劣化こけら材を、色差計を用いて色の評価を行う。測定方法は図 2 に示す。こけら材の棟側から軒先側に 30mm ずつ向かって I0、I1、I2、I3…と記号化する。

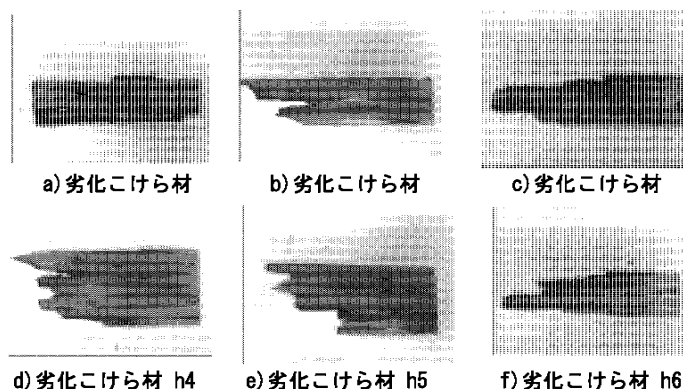


写真 3 冷泉家劣化こけら材

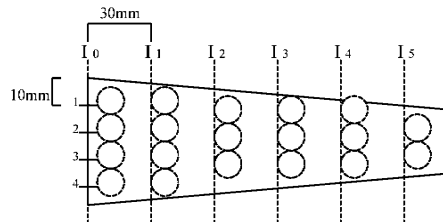


図 2 劣化こけら材色彩測定方法

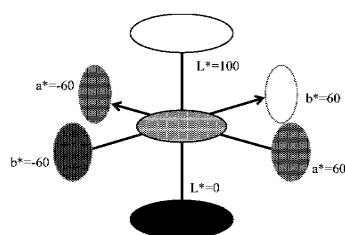


図 3 L*a*b*表色計の概念図

また、図 4.4 に $L^*a^*b^*$ 表色計の概念図を示す。 L^* は明度を表し、色相・彩度を表す色座標を a^*b^* で表す。色の明度 L^* は 0-100 で表され、値が 0 に近いほど黒を表し、100 に近いほど白を表す。また、 a^* は -60-60 で表され、負の値を示す -60-0 は緑、正の値である 0-60 は赤を表している。 b^* も同様に、負の値を示す -60-0 は青、正の値である 0-60 は黄色を表している。

3.4 こけら材色彩劣化度調査の結果

今回、6枚の劣化こけら材サンプルの色彩劣化度調査を通して、わかった結果を図 4.5、4.6、4.7 に示す。 L^* 値の平均明度を示した図 4.5 の h1-h6 の結果より、平均明度の傾きが全体的に緩やかに右肩下がりになっていることから、こけら材の重なり合っている内側から外側にかけて段々と黒くなっていることがわかる。また、h1-h6 の L^* 値のそれぞれの傾きをまとめた図 4.8 より、ばらつきはあるが、奥行き頭頂部の明度勾配が h1 より外側の箇所はいずれも低くなっているため、先端に行くほど黒くなっていることが読み取れる。また、h1-h6 の夫々の平均明度を平均化した図 4.9 からは、h2-h5 の数値が h1、h6 より低くなっていることから、複数枚重ねたこけら材は内側も外側もカビ等により黒色化していることがわかった。

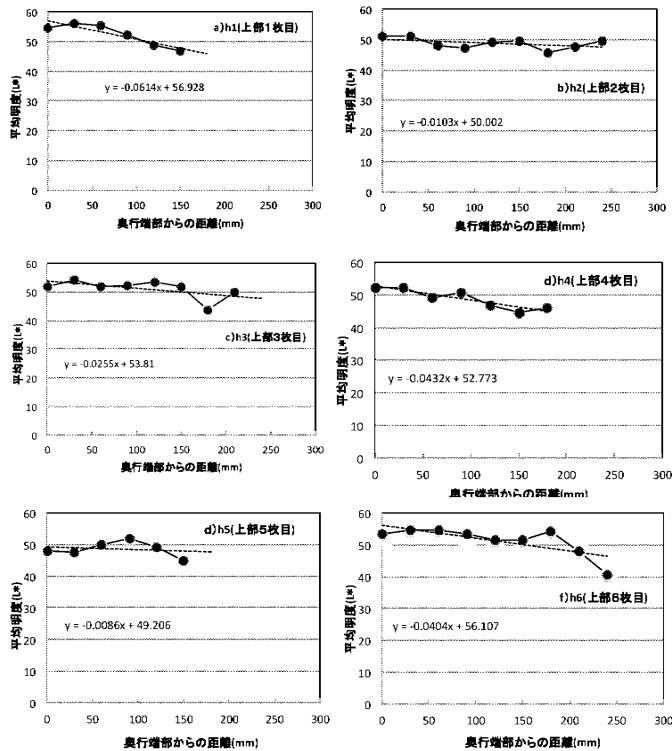


図 4.1 h1-h6 の L^* 値の平均明度

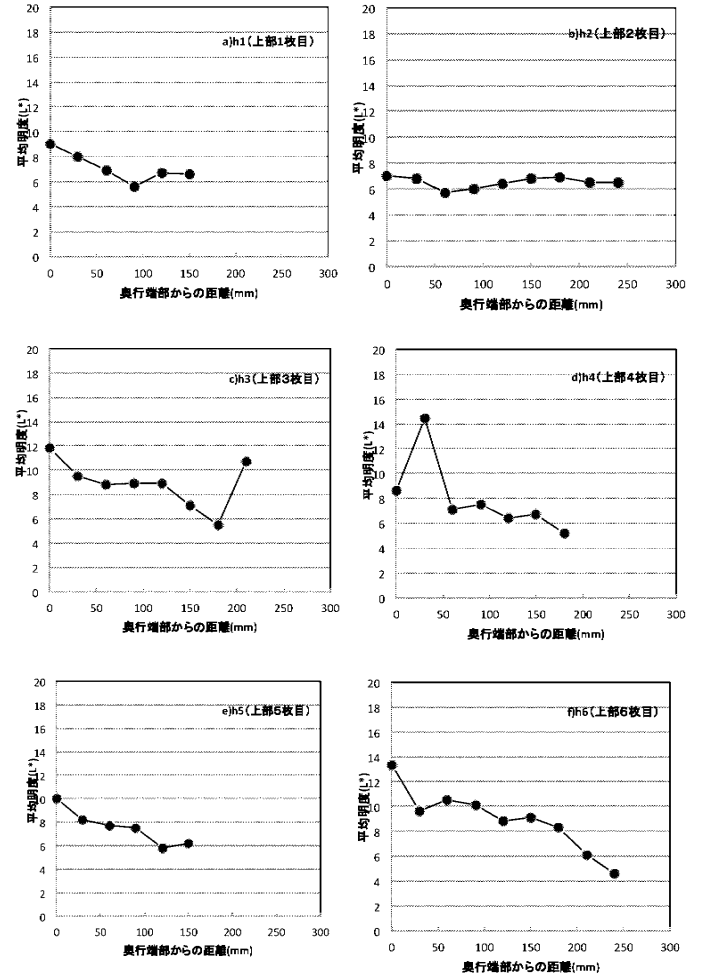


図 4.2 h1-h6 の a^* 値の平均明度

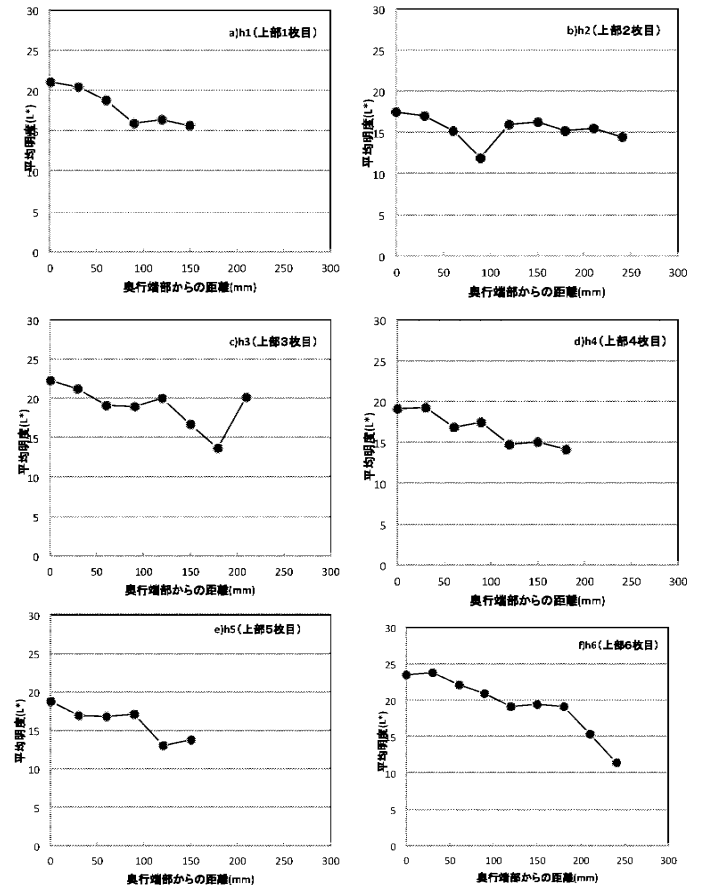


図 4.3 h1-h6 の b^* 値の平均明度

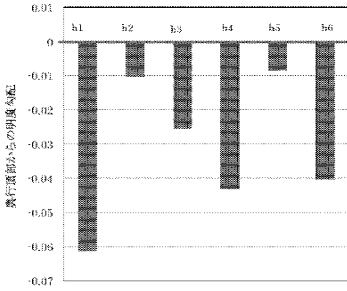


図 4.4 奥行き頭頂部からの明度勾配

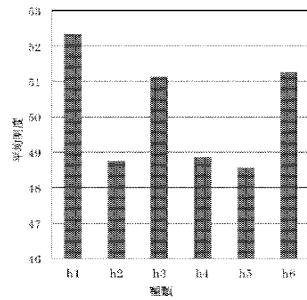


図 4.5 h1～h6の平均明度の平均

まり、木材を構成するリグニンの分解の要因である紫外線を多く取り込んでしまうため、比較的早く木材の劣化が進んでしまうのである。しかしその反面、赤外線は反射しているため、木材に熱を溜めにくいということもわかる。傷んだ木材は普通の木材よりも傷んだ箇所が紫外線から可視光の反射を減少させるため、さらに早くリグニンの分解が促進される。また、この傷んだ木材も同様に赤外線は比較的反射されるため、遮熱性が保持されると考えられる。これらは Swrh1、2、3、6 のグラフから読み取ることができる。また、材の種類によって電磁波から受ける影響の程度が違うことが読み取れる。

よってこれらから、木材への水の浸透を防ぎつつ、煤塵等の汚れの付着を抑えることで、木材の基本的性能を保持することができると考えられる。

表 2 冷泉家住宅の葺き替えに用いたこけら材

項目	内容									
番号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
質量 (g)	39.2	30.9	31.3	23.1	22.6	29.1	21.3	28.7	44.3	43.2
長さ (mm)	305	303	304	304	303	302	302	301	303	300
幅 (mm)	135	115	125	82	82	105	80	94	137	130
厚さ (mm)	3	2	3	2	2	3	3	3	3	3
密度 (g/cm ³)	0.32	0.44	0.27	0.46	0.46	0.31	0.29	0.34	0.36	0.37
半輪数 (個)	96	87	86	165	33	178	192	112	105	100

4. こけら材無機改質化の評価

4.1 試験使用に関するこけら材の概要

冷泉家住宅調査の際に頂いた今回の葺き替えに用いたこけら材の新材 10 枚を用いて、赤外線反射率測定及びメタルシリコン溶液塗布による改質化の評価を行う。製造方法はメタルシリコン鉱石+水酸化カリウム・炭酸ナトリウム・水を反応させ反応液 80 度までシリコン溶出し、約 12 時間放置反応終了した強アルカリ水である。赤外線反射率測定からは目に見えない紫外線によるこけら材への影響を評価することができ、強アルカリ性を有するメタルシリコン溶液のこけら材への塗布からは、難燃性と紫外線対策を期待することができる。

4.2 試験に使用するこけら材の寸法と密度測定

表 2 に冷泉家住宅の葺き替えに用いたこけら材を示す。

4.3 こけら材の赤外線反射率測定の概要

太陽光からの波長が 200～400nm の範囲を紫外線、400～800nm の範囲を可視光線、800nm～1mm 付近を赤外線と呼ぶ。これら様々な波長が屋外で使用されるこけら材にどのような影響を及ぼすのかを、紫外可視近赤外分光度計を用いて拡散反射スペクトル測定を行い、調べる。使用する木材は、さわら、栗、杉で以下となっている。①については、h1、2、3、6 の中で、傷んだ箇所と比較的傷んでない箇所を夫々 1 枚ずつ選んでいる。なお、これら全ては約 40mm×40mm に切断し測定を行う。

- ① : Swrh1,2,3,6…r : 冷泉家の古いさわら材/h : 場所 1～6
- ② : Swr…r : 冷泉家の葺き替えに用いられている新しいさわら
- ③ : Swy…y : 山梨の実験で使用しているさわら
- ④ : K88…栗 88 年
- ⑤ : S46…杉 46 年
- ⑥ : S169…杉 169 年

4.4 こけら材の赤外線反射率測定の結果

以下の測定結果を重ね合わせたグラフ図 5. 3 から、紫外線、可視光、赤外線のうち紫外線から可視光の間での反射が小さいことから、木材はその分の光を吸収していることがわかる。つ

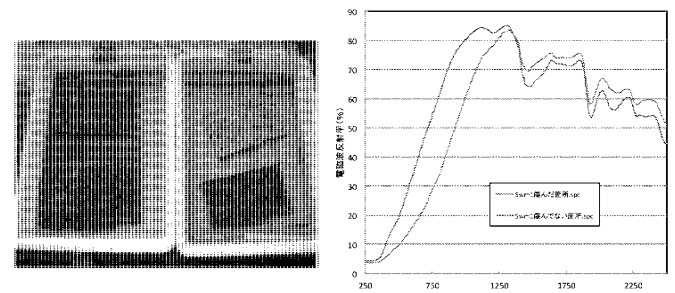


写真 3 メタルシリコン改質処理 (左) / 吸水処理 (右)

図 6 電磁波吸収状態劣化前/劣化後

5. まとめ

- 1) 冷泉家こけらの急速劣化は酸性雨等の外部からの影響だけでは考えにくく、材料の問題もあると考えられる。
- 2) 屋根内部からの結露等による野地板などの劣化は見受けられず、特段株の生えやすい状況ではなかったため、こけら材そのものの産地や生育 状態の影響が考えられる。
- 3) 色彩の低下が内部の 1～6 枚分のこけら材まで影響しており、特に釘が刺さっている部分からの漏水による影響もみられ、むくり屋根でそりが生じる形で釘を打ったことも要因と考えられた。
- 4) 紫外線の影響で、リグニン等の光分解と雨水溶出による複合劣化が考えられた。紫外一可視一近赤外線反射率を評価したところ、奥 6 枚目までも紫外線反射率が下がっており、このことから組織の劣化が進んでいることが確かめられ、材の傷みがでていることがわかった。

減災情報通信システム実現に向けた運用方式の検討

キーワード 長距離無線 LAN FWA 独立型電源
伝送品質 マルチホップ

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、昨年度設置した減災情報システムを用いて、持続的な通信を可能とする運用方式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概要と課題

2.1 減災情報通信システムの概要

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。

(1) 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、4.9GHz 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。

(2) 長距離無線 LAN システム

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 4.9GHz 帯の無線 LAN 回線を用いて結ぶシステムである。

(3) 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、5.6GHz 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。

2.2 減災情報通信システムの課題

このような通信システムは、災害発生後 72 時間安定して稼働させることが目標となる。そのために

以下の課題を解決する必要がある。

(課題 1) 安定した電源供給

災害発生時には商用電源が確保できないことが想定されるため、蓄電池や太陽光発電など独立型電源システムを用いる。その際、減災情報通信システムの動作への影響を確認する必要がある。

(課題 2) 安定した伝送品質の確保

アドホックネットワークや長距離無線 LAN を使用するため、単一の伝送路では常に一定した伝送品質であるとは考えにくい。そこで、複数の伝送路を用いて安定した品質を確保する必要がある。

(課題 3) 運用手順の確立

災害発生時から通信が開始できるまでの時間を短くし、また運用中のトラブルに確実に対処できる必要がある。

本年度はこれらの課題について検討した。以下の章にて(課題 1)～(課題 3)のそれぞれについて結果を述べる。

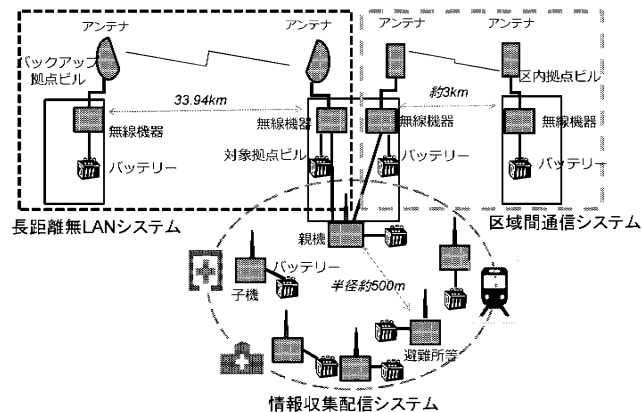


図1 減災情報ネットワークの設備構成図

3. 減災情報通信システムへの安定した電源供給

3.1 情報収集配信システムの電源

子局 AP を屋外に複数設置することを考えると、これらの電源供給は小型バッテリーで行うことになる。市販のバッテリー(Energizer 社 XP8000)を用いて AP を駆動すると 7 時間程度駆動できることは実験で確かめられている。そのため、72 時間稼働を目指す

と、定期的にバッテリーを交換する必要がある。システムの持続的運用のためには、バッテリーの放電状況を監視し、放電完了前に交換しなければならないが、定電圧回路により残容量によらず出力電圧は一定であるため、出力電圧の観測だけでは残容量は把握できない。放電状況は、電圧、電流と通電時間を積算すれば把握できるが、子局側で積算した結果を親局側に伝達するためには、子局-親局間の伝送状況が担保されている必要がある。そこで、親局側で子局の放電状況を把握するために、再送パケット数と子局の消費電流の関係に着目した。図2に占め示すように、子局との再送パケットが250パケット/秒を境に消費電流が700mAから800mAに変化する。これは、再送数に応じて子局の無線機が送信電力を制御するためである。そこで、親局で再送パケットを計測し、子局の消費電流を推定することで、バッテリーの放電状況を計測する方式を実現した。

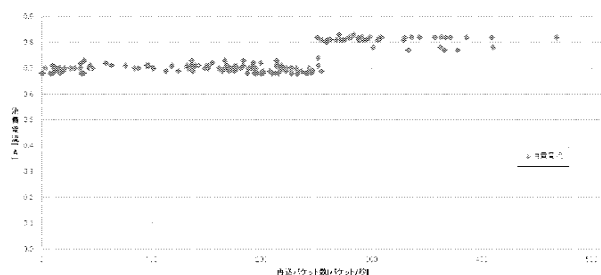


図2 再送パケットと消費電流

3.2 長距離無線 LAN システムの電源

長距離無線 LAN システムの電源は、テーマ 4.2 で検討している独立型太陽光発電システムおよび蓄電池を用いる。システム構成を図3に示す。蓄電池の容量は 8.96kWh であり、無線機器やサーバ類の消費電力 89W を勘案すると、約 100 時間動作するが、蓄電池の容量を 100% 使い切ることではないため、蓄電池だけで 72 時間動作するか確認する実験

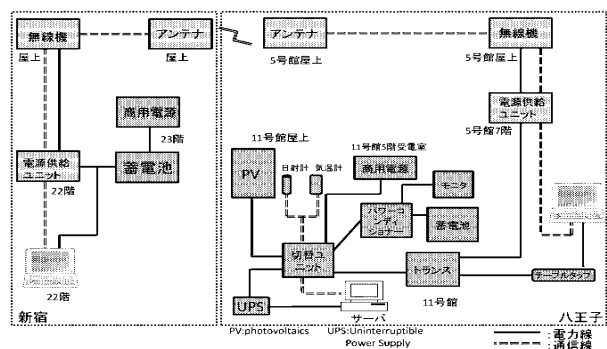


図3 独立型太陽光発電システム構成図

を実施した。その結果、72時間の連続運転が支障な

くできることを確認した。

また、停電発生時、および停電から復旧時にシステムがどのような挙動を取るかを実験により確認した。実験は、太陽電池発電の可・否の状況を考え、日中/夜間のそれぞれで通常時/停電時を想定し、停電発生・復旧が長距離 LAN システムの伝送にどのように影響するか測定した。測定データの一例を図4に示す。停電発生時にスループットが0になっている点が表れている。これは、停電発生時に直流で供給する独立型太陽光発電システムの電力を、AC100V に変換するためのパワーコンディショナーの起動時間および無線 LAN のリンク再設定にかかる時間の影響であると考えられる。同様の現象は停電から復旧時にも観測された。したがって停電発生時、復旧時には数分間通信が途絶することを織り込んでアプリケーションを選定し、運用手順を策定する必要があることが明らかになった。

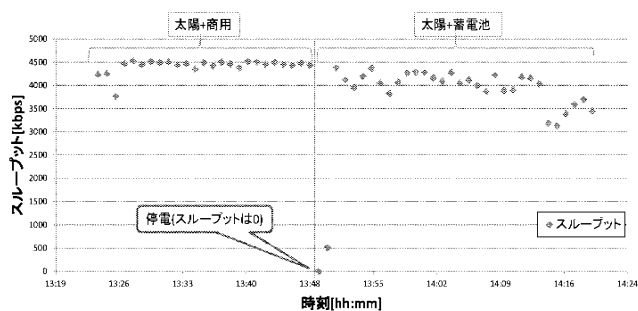


図4 停電発生時のスループット

4. 情報収集配信システムの安定した伝送品質の確保

4.1 情報収集配信システムの伝送品質の安定化

情報収集配信システムは街区に設置するため、往來する人や自動車などが伝送品質に影響すると考えられる。図5は工学院大学新宿校舎～新宿警察署前(約300m)で直接通信(シングルホップ通信)した場合の4.9GHz帯の受信信号を測定した結果であり、スループットが不規則に変動していることが観測された。より安定した品質を得るためには、中継

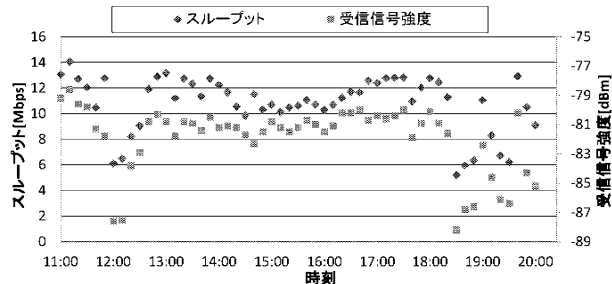


図5 日中の信号強度、スループットの推移

局を経由したマルチホップ通信を行うことが有効であるが、ホップ数が多くなるとパケット損失や遅延が生じることが懸念される。そこで、伝送品質に応じて、シングルホップ通信とマルチホップ通信を切り替えて通信する方式を検討し、シミュレーションによりその効果を確認した。図6は提案方式と他の方式と比較したシミュレーションの結果である。X軸は通信経路上の遮蔽減衰であり、Y軸はスループットを示している。

この結果、遮蔽減衰が15~16[dB]でシングルホップ通信とマルチホップ通信が切替わり、それぞれの方式で優位なスループットが得られることが確認できた。

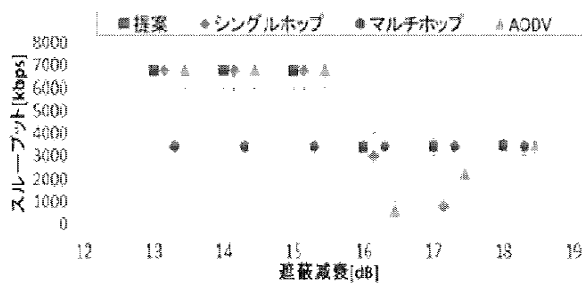


図6 提案方式によるスループット確保

4.2 長距離無線 LAN システムの伝送品質の安定化

減災情報の流通に用いるアプリケーションとして、WEBカメラの映像・音声、データファイル共有、テーマ5.2で検討されている、リアルタイム広域情報共有システムなどがある。これらのうちWebカメラやリアルタイム広域情報共有システムは2Mbpsのスループットを確保する必要がある。しかしながら、長距離無線LANシステムは不定期にスループットが下がることが観測されており、現状では72時間通信品質を維持することが難しい。

そこで、新宿~八王子間に設置されている4.9GHz長距離無線LANを2系統用いて、よりスループットの高い回線を選択する方法を検討した。

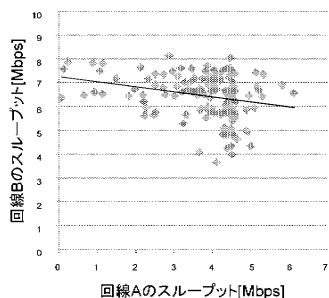


図7 同一時刻に観測されるスループット

図7は同時刻で測定した2回線のスループットの

相関を示している。2回線には正相関性はなく、どちらかの回線は2Mbps以上のスループットが得られている。そのため、回線を切り替えて使うことで2Mbpsのスループットは確保できると考えられる。アプリケーションがどちらの回線を使用しているかを意識しなくするために、NAT(Network Address Translation)を応用し、ルータの経路表を書き換える方式を実現した。方式の概要を図8に、回線切替えの様子を図9に示す。

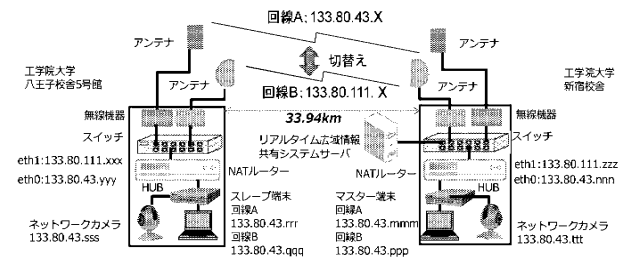


図8 提案方式の概要

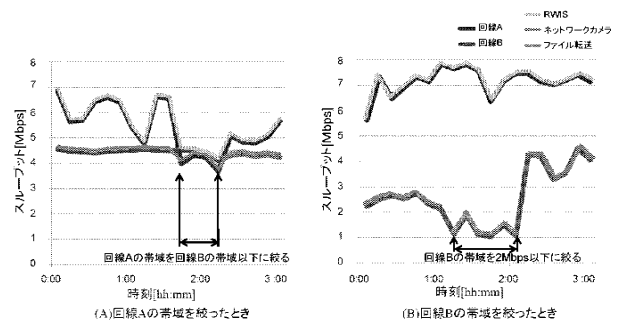


図9 回線切替えの様子

5. 減災情報通信システムの運用手順の確立

5.1 防災訓練での運用実験の概要

減災情報通信システムの運用手順を確認するために、2012年11月14日(水)に工学院大学で行われた防災訓練に本システムの適用実験を行った。この訓練は、訓練当日の14時10分に首都圏で震度6弱以上の地震が発生すると想定している。訓練では震災が発生した後の初動対応と応急対応等を実施する。震災後、新宿キャンパスと、八王子キャンパスにそれぞれ災害対策本部が設置され、被災状況の確認と対応策の指示をやり取りする。

この訓練では、長距離無線LANシステムを用いて、両災害対策本部間の映像をWebカメラで撮影し共有する。またリアルタイム広域情報共有システムの情報も中継する。

街区の情報を取得することは想定されていないが、新宿キャンパスの隣地であるエステック広場に情報

収集配信システムの AP を設置し、屋外の映像を Web カメラで撮影する。

さらに、訓練の途中で停電が発生することを想定し、商用電源から独立型太陽光発電システムおよび蓄電池に電源を切替えて運用を行う。

この実験では以下の3点を検証した。

(i)システムの立ち上げにかかる時間と稼働

各システムの立ち上げ人数やネットワーク設置、リアルタイム広域情報共有システムとネットワークカメラの起動確認、導通確認を行った。

(ii)各システムの品質の測定

情報収集配信ネットワークと長距離無線 LAN システムのスループットの測定を行う。

(iii)必要な機能や課題点の抽出

学校地区自衛消防隊にアンケートを行った。項目として、無線 LAN を用いた新宿校舎と八王子校舎の情報共有はスムーズに行えたか。また、防災訓練全体を通しての感想と課題点である。このアンケート結果から課題点を抽出する。

なお、準備として、あらかじめ、減災情報ネットワークの立ち上げるためのマニュアルを作成した。マニュアルには以下の項目が含まれる。実験はマニュアルで手順を確認しながら実施した。

- ・各 PC の設定および各機材の起動方法
- ・各システムの設定および測定方法
- ・各校舎の災害対策本部でのシステム設置方法
- ・導通確認方法
- ・各障害発生時の対処方法

5.2 防災訓練での運用実験の結果

(i)システムの立ち上げにかかる時間と稼働

表1に各立ち上げ時間の結果を示す。ネットワーク設置時間から確認までの総合時間が最も長いのは新宿校舎のエステック広場だった。理由として、外に無線機材を設置するため、運搬やアンテナ調節等に時間がかかってしまったと考えられる。そのため、立ち上げ人数を増やして対応すべきだと考えられる。

表1 システム立ち上げ時間

場所	開始時刻 [hh:mm:ss]	立ち上げ人数 [人]	ネットワーク設置 [mm:ss]	RMS起動(動作確認) [mm:ss]	ネットワークカメラ [mm:ss]	導通確認終了 [mm:ss]	
新宿校舎	13:00:00	22番アンテナ	1	6:15		12:00	
		2階災害対策本部	2	2:09	03:40 (00:01:31)	6:00	7:00
		エステック広場	2	12:44	17:45 (00:03:01)	20:00	22:00
八王子校舎19号館災害対策本部		2	1:00	01:42 (00:00:42)	10:20	16:31	

(ii)各システムの品質の測定

各アプリケーションは問題なく動作した。長距離無線 LAN の実測スループットの平均値は約 200Kbps であった。これはこれまで測定されてきた値(安定しているときで 4Mbps)よりも著しく低い値だが、運用実験で使用した Web カメラやリアルタイム広域情報共有システムのトラヒックが帯域を使用した結果下がっているためであり、運用上問題はないと考えられる。ただし、他のアプリケーションも同時に使用する場合は、使用する帯域を考慮する必要がある。

(iii)アンケート結果

主に災害対策本部で訓練に参加した人にヒヤリングを行い、感想と課題点を調査した。主な内容を以下に示す。

- ・停電の際に情報を収集する技術が必要である。また、停電によって通信機材が使用できない場合の対策が必要である。
- ・新宿校舎や八王子校舎の各フロアに人が分散しているため、情報発信源のタイムリーな情報共有が重要である。
- ・通信ケーブルの破損や無線端末の故障等を考慮した対策が必要である。
- ・天候によって機材が破損しないように工夫が必要である。

アンケート結果から停電や回線のトラブル等の対応をどう行うかが明らかになった。対策として、停電時に非常用電源を使用することや、回線トラブルを回避するため使用回線を複数用意することが挙げられる。また、雨天や降雪等の環境変化に対応することが必要であることも明らかになった。

6. おわりに

昨年度設置した減災情報通信システムを活用して、災害発生時のシステムの継続的な運用を実現するための検討を実施した。今後は、新たに得られた課題に対し検討をすすめる。

謝辞

本システムの検討に際し、ご協力をいただいている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、防災訓練での調査でご協力いただいた、本学職員各位に感謝いたします。

準孤立拠点での情報通信システムの運用と通信確保

キーワード

準孤立, 省電力, インフラ切断, DTN

小林 亜樹*

1. はじめに

広域災害時の情報通信システムは、稼働の前提となる電力インフラ、通信インフラの途絶、準途絶（断続的供給）といった状況に耐えられる必要がある。このような状況下で、安否情報の集約と共有などをはじめとする、情報通信システムは、地域的に離れた拠点で分散運用されることとなる。各拠点が、広域インフラから切り離され、または、十分な供給を受けることができないことを準孤立と呼ぶことにすると、準孤立拠点または、それら複数が外部とは切り離されて運用される状態を想定することになる。

このような準孤立状況下では、情報流通、機器駆動、拠点間通信のそれぞれの要素で対応しなければならない。本研究では、これら幅広い要素要求に対応してそれぞれに対する研究を進めている。

2011年度までの2年間では、主に、情報流通面から分散検索技術の省電力化と、実際の機器の消費電力調査とについて進め、知見を蓄えてきた。本年度は、主に拠点間通信において一般的な通信路が利用できないインフラ途絶状況下で、通信システムとして運用するための手段と、そのためのシステムを試作したため、これらについて報告する。

2. 2010/2011年度の成果概要

情報流通面における準孤立系情報通信システムに対する要件は、切り離されたどの部分においても、その範囲内においてできる限りの機能を提供することである。この観点から、2010年度にあつては、情報システムで特に重要である検索系について、分散検索アルゴリズムとして広く知られているKademliaについて取り上げ、準孤立系での運用制約のうち、最も致命的な電力問題へ対処するために、省電力化を見据えて通信トラフィックの低減手法について提案した。

本提案手法は、特定の中央ノードを持たない環境下で検索機能を維持し、従来よりも通信トラフィッ

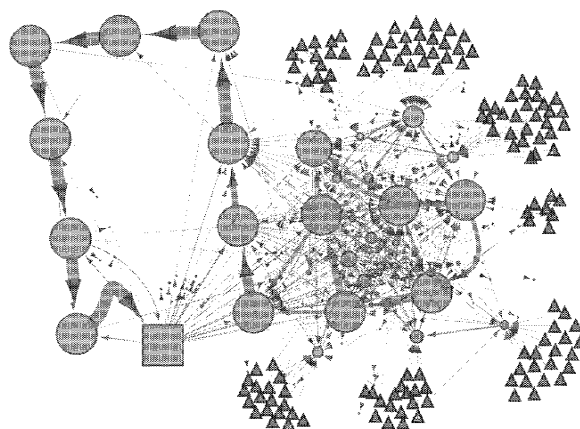


図1. 探索経路ネットワーク例

クを低減できるもので、シミュレーションにより効果を確認した（図1）。

2011年度は、実際の機器における通信負荷が及ぼす電力消費への影響について、L2およびL3の各ネットワーク機器を選び、測定することで特性の基礎的な状況を調査した。

この結果、消費電力はL2スイッチでは、通電ポート数に依存し、かつ、ポート毎に異なる値を示すことがわかった。一部のポートのみを利用する場合の消費電力を簡易に計算できる計算式について提案し、実測値をよく再現できることを確かめた。また、L3ルータについては、機器が通電しているか否かが最も消費電力に寄与しており、通信負荷への依存性は非常に小さいことを確認した。これらから、情報システムの縮退運用までを視野に入れ、必要な機器を必要な時間だけ稼働させるような運用をしなければ、消費電力の低減にはあまり効果がないことが確かめられた。

3. 準孤立拠点との通信確保プロトコル

本年度は、これまでの知見を鑑みて、不安定な外部ネットワーク環境下や、そもそも外部ネットワークへの接続が途絶えている拠点において、限られた電力消費の下に必要な通信を確保する方法について研

* : 工学院大学工学部情報通信工学科

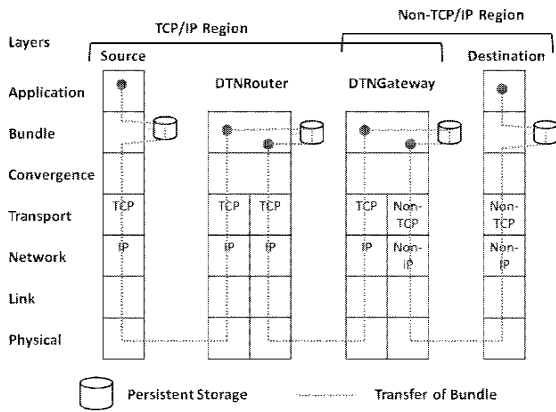


図 2. DTN の通信アーキテクチャ

究を進めた。

準孤立拠点での通信状況は、完全な通信途絶状態でもなくとも、間欠的な通信状態、高いビット誤り率、あるいは、きわめて狭い帯域での通信、これらの混合としての不安定な通信状態にあるといえる。

このような過酷な条件下での通信を取り扱う枠組みとして、Delay Tolerant Networking (DTN)¹²⁾が知られている。DTNは、不安定な無線リンクによって構成されたネットワークや、惑星間通信のようなそもそも伝搬遅延のきわめて大きな環境下でも通信を確立することが目的である。その基本的なアーキテクチャは、マルチホップの中継通信において、パケットよりも大きなバンドルと呼ばれる情報単位を、ノード間の蓄積転送によって送信するものである（図2）。

隣接ノード間におけるバンドル転送を担う通信レイヤについて特段の制約はなく、一般的なTCP/IPのようにコネクションを確立しての転送方法なども用いられる。この通信は必ずしも電磁気的現象によって直接に行われなければならないわけではなく、可搬型データ蓄積ストレージによってデータを持ち運ぶことで通信を成立させる枠組みまで含まれる。

DTNの概念を利用した地域内災害時情報システムなどの応用事例に関する研究⁹⁾も存在するが、通信リンクの物理的運搬による方法は見られない。

このDTNの枠組みは試作実装がオープンソースとして進められており、DTN2³⁴⁾の名で知られる。DTN2は、DTNの概念を実現すべきバンドルプロトコルのRFC5050³⁾による定義の実装として提供されるもので、論理的な情報単位であるバンドルと、その蓄積転送の仕組み、また、バンドルを実際の通信を担うレイヤである、TCPやUDPのコネクションやパケットに変換するConvergenceレイヤなどから構成されている。DTN2は実際に動作可能な試作実

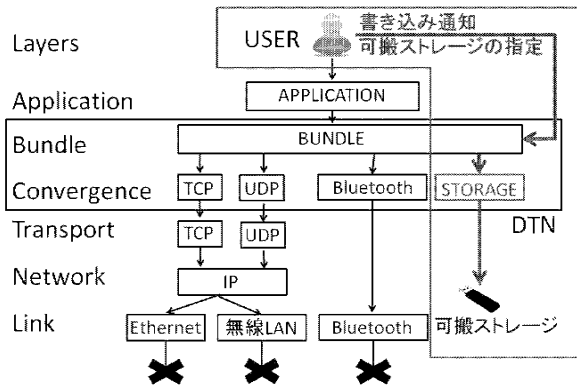


図 3. 提案手法のシステムアーキテクチャ

装を提供するものの、オープンソースとして公開されているConvergenceレイヤに、本稿で目的とする可搬型ストレージを用いるものは存在しない。

そこで、本年度は、DTNの枠組みにおいて、可搬型ストレージによるデータ伝送を具体的に定義し、必要ならばモデルの拡張や要件定義を行うと共に、試作実装であるDTN2に実装を追加して、その実現を図ることを目的とした。

4. 可搬型ストレージ利用のプロトコル

DTNでは、データ伝送の情報単位をバンドルと呼ぶ。バンドルは、パケットなどよりも大きな情報単位であると言え、アプリケーションが情報の送信を行う一連のデータ全て、という理解が近い。このバンドルをそのまま既存の通信規格で送出することはできないため、DTNアーキテクチャでは、それらを論理的物理的通信レイヤへとデータ構造を変換するconvergenceレイヤを設けている。Convergenceレイヤにバンドルが引き渡されると、下位で利用する通信路、例えば、TCPやUDP、Bluetoothなどの論理的通信レイヤ上の一連のパケットやプロトコルへと変換される。

一般的なend-to-endの通信とこれらのレイヤを用いたときの大きな違いは、DTNでのこれらのレイヤは、DTNレイヤにおける隣接ノードまでの通信を担うのみであり、受信側の隣接ノードで一旦バンドルとして通信はいわば終端され、次のホップを担う通信リンクが利用可能となるまでそのノード内の永続ストレージ内に蓄積された状態となることである。

この下位レイヤとしてUSBメモリやポータブルHDDのような可搬型ストレージを充てるのが本研究のアプローチ（図3）である。DTNでは、ストレージ運搬型通信リンクをアイディアレベルでは想定している。しかし、その試作実装であるDTN2上で

の実装はないため、細かな要件定義などは手つかずであるといえる。

そこで、ストレージ運搬型の transport layer を想定して検討した結果は、次の2点である。ただし、本年度の研究では 1hop 通信のみを取り扱い、隣接 DTN ノード間でのデータの送信、受信のみを取り扱うものとする。

- 送信側と受信側で通信リンクの状態は非同期
 - 通信時には利用者の介在が必須
- 双方がバンドルの送信、受信の局面においてどのように作用するか、順に説明する。

4. 1 バンドル送信

地球上における一般的な通信路では、送受信側で通信リンクの状態は一意に定まっていると言って良い。これは、誤りなどによる細かな議論を除けば、おおむね時間的に利用可能であるか否かといった状態は、同期して変化することを意味する。これに対し、ストレージ利用リンクでは、送信可能状態はストレージへの書き込み可能状態であり、このとき、受信側では通信の発生を知る由はない。受信可能状態についても同様である。

また、送信可能状態であることをシステムが知るためには、利用者の介在が必要である。なぜなら、当該機器にストレージが利用可能な状態で接続されていたとしても、それが DTN 通信のためのバンドルデータを書き込んで良いものか否かは一般には知る術がないからである。したがって、より明らかなバンドルデータ書き込み完了の通知とストレージの切り離し、運搬開始時のユーザ介入以外に、書き込み可能ストレージの存在とその場所の指示でユーザの介入が必須であると言える。

両者は通信リンク状態の決定において相互に影響を及ぼす。データ送信時においてはすなわち、ストレージの存在をノードが認知していない「利用不可 (UNAVAILABLE)」状態、利用者による書き込み先ストレージ指定を受けて、実デバイスの書き込み確認後に訪れる「利用可能 (AVAILABLE)」状態、送信バンドルがあるならば、実際に書き込みを行う「書き込み中 (OPEN)」状態を遷移することになるからである。利用者による通知が誤り (接続先の誤認、ストレージ残容量欠如など) などだった場合には、「利用可能」状態から「利用不可」状態へと遷移するから、書き込みまでの準備段階での状態遷移図は、図4の

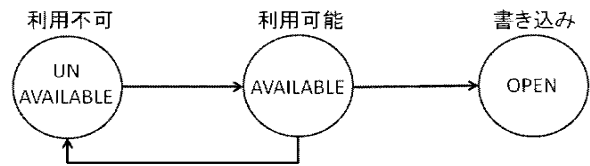


図4. バンドル送信時の状態遷移図

とおりのとなる。

また、送信時処理の流れは、

- Step 0. ストレージの物理的接続。
- Step 1. ユーザからの書き込み準備通知。
- Step 2. 書き込み先ストレージ path 通知。
- Step 3. 書き込み許容確認。

書き込めれば Step 4 へ。

書き込めなければ処理を中止。

- Step 4. バンドルをストレージに書き込み。
 - Step 5. 書き込み完了をユーザに通知。
 - Step 6. ストレージの物理的切り離し。
- となる。

4. 2 バンドル受信

受信時のプロトコルは送信時のそれに比べて単純である。このとき、バンドルデータを格納したファイルを OS の機能と連携して、接続されたストレージから検索し、自身あてであるなら受信処理を行えば良い。ここでは、実際のストレージの物理的接続以外に利用者が介入する必要はない。他の DTN ノードあてバンドルについては、単に破棄すれば十分であり問題にはならない。なお、ルーティングを伴うマルチホップ環境については、単なるバンドル受信ではないため、今後の課題とする。

受信時の手順は次の通り、

- Step 0. ストレージの物理的接続。
- Step 1. OS によるストレージ認識による通知。
- Step 2. 自ノードあてバンドルファイル検索。
自ノードあてバンドルがあれば Step 3 へ。
なければ、処理を中止。
- Step 3. バンドルデータファイルを読み込み。
- Step 4. 読み込み完了をユーザに通知。
- Step 5. ストレージの物理的切り離し。 (optional)

5. 試作システム

5. 1 概要

試作システムは、IRTF(Internet Research Task Force)の中の研究グループ DTNRG(The Delay

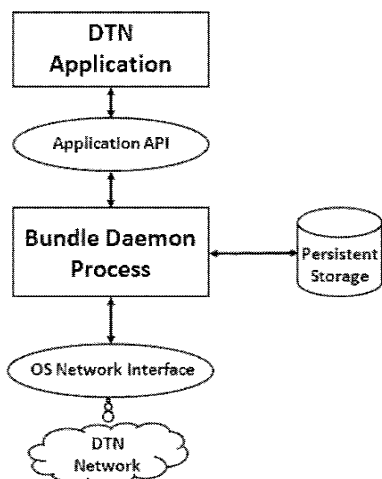


図 5. Bundle daemon の外部インタフェース

Tolerant Networking Research Group)によって開発された DTN プロトコルの実験プラットフォームである DTN2 を DTN の通信単位であるバンドルを可搬ストレージへ読み書きできるように拡張したものと実装した。

DTN2 は、RFC5050 でのバンドル層および吸収層 (Convergence Layer)を daemon process で処理する形で実装している。DTN2 は、大まかにバンドル層および吸収層を実装するバンドルデーモンプロセス、エンドポイントでのデータの送受信を行うためのアプリケーションの 2 点で構成されている(図 5)。

5. 1 構成

DTN アプリケーションは、エンドポイントでデータを送受信を行うためのコンポーネントとして振る舞う。DTN2 では、DTN ノードの識別にエンドポイント識別子 (Endpoint Identifier 以下、EID)を用いており、送受信先の指定やバンドル層でのルーティングは、この EID を基に行われる。

バンドルの転送、制御を行うバンドルデーモンプロセスの吸収層に新たに可搬ストレージとのインタフェース (Storage Convergence Layer)を設ける(図 3)。Storage Convergence Layer により可搬ストレージへのバンドルの読み書きを行う。

StorageConvergeceLayer により可搬ストレージへ書き込みを行う場合、隣接 DTN ノードとの通信リンクの状態ではなく、可搬ストレージへ書き込みが行えるかによって実行する処理が決定する。また、DTN2 は OPENING と CLOSED の 2 つの状態を経由する設計であるため、可搬ストレージを用いた場合の OPENING は、書き込みが行えるかを確認する時

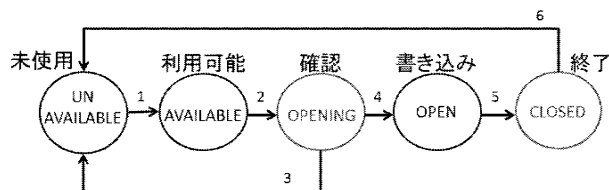


図 6. 試作システム書き込み時状態遷移図

ク状態を UNAVAILABLE に戻すために遷移する状態とした。これらのリンク状態の状態遷移図を図 6 に示す。

試作システムの動作試験では、1MB 程度のデータ量となったバンドル 20 個の読み書きに要した時間は、それぞれ数秒程度であり、通常のファイルアクセスと同様であり、特に問題は見られなかった。

6. おわりに

本稿では、はじめに 2010 年度 2011 年度の研究成果について簡単にまとめ、その後 2012 年度の研究成果である、準孤立拠点間の通信を DTN アーキテクチャに則りストレージの運搬で実現するプロトコルおよび試作システムについて述べた。

広域災害時の準孤立状況の拠点での減災情報システムの運用、またそのような拠点間での通信確保、さらには情報共有自体に要求される要件⁷⁾など、にはまだ幅広い課題が残っていると考えられる。引き続きこの問題に取り組んでいきたい。

参考文献

- 1) Fall, Kevin, et al.: "A delay-tolerant network architecture for challenged internets," *Proc. of the 2003 conf. on Applications*, pp.27-34, 2003.
- 2) Cerf, V. and Burleigh, S. et al.: "Delay-Tolerant Networking Architecture," *RFC4838*, 2007.
- 3) Delay-Tolerant Networking Research Group: DTN2, <http://www.dtnrg.org/wiki/Code>, 2012
- 4) Michael, Demmer, et al.: "Implementing Delay Tolerant Networking," *Tech.Rep. IRB-TR-04-020, Intel Reserch Berkeley*, Dec. 2004.
- 5) Scott, K. and Burleigh, S.: "Bundle Protocol Specification," *RFC5050*, 2007.
- 6) 塚田晃司, 野崎浩平: "災害時孤立集落での利用を想定した地域内情報共有システム", *情処学論*, Vol. 51, No.1, pp.14-24, 2010.
- 7) 嵯峨田 良江, 朝井 大介, 大野 健彦, 浅野 陽子: "大規模災害時にはどのような情報が必要か—被災者インタビューに基づく情報伝達の解明—", *情処研報*, Vol.2012-HCI-147, No.13, pp. 1-8, 2012.

耐災害性の高い通信システムにおけるサーバ計算機の消費電力の削減

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拠点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。

災害対策拠点を分散化するには、分散型非常用電源供給システムの構築と、それを用いた分散型減災情報システムの構築が必要であり、分散型減災情報システムの実現には少ない電力供給でも動作可能な通信システムやサーバシステムの構築が必要となる。本研究では分散型減災情報システムにおけるサーバシステムに着目し、その省電力化手法と省電力環境における性能向上手法について考察を行う。本稿では特に省電力サーバシステムのストレージに着目し、その省電力化と停止時間の拡大手法について考察する。

2. 先行研究

本研究ではこれまでに、複数の物理計算機で稼働するサーバ群を仮想化技術を用いて単一の物理計算機に集約する環境を想定し、同環境において特に消費電力の大きいグラフィック装置 (GPU) における消費電力の削減^{1) 2) 3) 4)}や仮想化技術による性能劣化の抑制手法^{5) 6) 7) 8) 9)}について考察してきた。

前者のグラフィック装置の消費電力の削減に関する研究では、クランプメータやライザーカードを用いての計算機の特定の装置のみの消費電力の測定方法の確立^{2) 4)}、GPUのスレッド数とグリッド数の最適化による省電力化と性能劣化抑制の両立^{2) 3)}、アプリケーションのフィードバック情報を用いる要求性能

の提供を保証しての省電力の実現⁴⁾を行った。

後者の仮想化環境における性能劣化の抑制では、ストレージ装置のディスクヘッドの物理的移動量の削減によるストレージ消費電力の削減と性能劣化の抑制^{6) 7) 9)}、プロセス間のメモリ割り当て量の最適化によるストレージ稼働量の削減と性能劣化の抑制⁸⁾を実現してきた。

これらの成果によりストレージ装置などによる消費電力の削減が達成されたが、これらの手法を用いても装置は稼働を続けており、消費電力の劇的な低下は実現されない。劇的な消費電力の削減を実現するには、ストレージ装置などの停止の実現や、停止時間の拡大が必要になると考えられる。

3. ストレージ稼働時間の低減

ストレージデータをアクセス間隔により分類し、ストレージの稼働時間を低減する手法が文献10)にて提案されている。具体的には、データブロックをストレージ停止による省電力が可能となる十分に長いアクセス間隔を含まないブロックと、含むブロックに分け、ストレージ停止を阻害するブロック(長い時間間隔を含まないブロック)群を少数のストレージに集約し、それ以外のストレージへのアクセスの間隔を拡大してストレージ停止を実現する。

4. ストレージ稼働時間の基本調査

ストレージ稼働時間の低減手法の分散型減災情報システムへの適用可能性について考察するために、仮想化環境にてストレージアクセス間隔と平均応答時間を測定する基本測定を行った。測定に用いたハードウェア、ホスト計算機および仮想計算機の仕様は表1、表2、表3に示す通りである。

実験では、Xenを用いて1台の物理計算機上に6台のVMを起動させた。ストレージへのアクセスの間隔および応答時間は、他サーバからHTTPアクセスを発行し測定した。HDDは3台使用し、それらは

* : 工学院大学工学部情報通信工学科

LVM を用いて結合されている。各 HDD 上には 2 台の VM のイメージファイルを配置した。各 VM 上では WEB サーバを稼働させ、他サーバから各 VM 内のファイルに HTTP 要求を発行し、その応答時間を測定した。他サーバからの HTTP アクセス要求間隔は HDD1 では大きくし、HDD3 では小さく、HDD2 はその中間になるようにした。具体的には HDD1 上にある vm01 と vm02 への HTTP アクセス間隔は平均 256 秒と 128 秒の指数分布、HDD 2 上にある vm03 と vm04 への HTTP アクセス間隔は平均 64 秒と 32 秒の指数分布、HDD3 上にある vm05 と vm06 への HTTP アクセス間隔は平均 16 秒と 8 秒の指数分布とした。

表 1 ハードウェア仕様

CPU	Intel(R) Celeron(R) CPU G1101 2.27GHz
HDD	160GB × 1 500GB × 3
Memory	2048MB × 2

表 2 ホスト計算機仕様

Host OS	CentOS6.3 x86_64
Host Kernel	Linux 2,6,32,57
Xen Version	Version 4.1.2
HDD	160GB
File System	ext2

表 3 仮想計算機仕様

Guest OS	CentOS6.3 x86_64
Guest Kernel	Linux 2,6,32,57
Virtual CPU Core	1
Virtual Memory	512MB
Virtual HDD	200GB
File System	ext4

ストレージに来るアクセス要求を監視し、各 VM における HDD アクセス間隔を求めた。測定時間は 4 時間である。測定結果を図 1 に示す。図より、アクセス要求数の少ない HDD1 ほど平均 HDD アクセス間隔が長くなり、逆にアクセス要求数の多い HDD3 は平均 HDD アクセス間隔が短くなっていることがわかる。

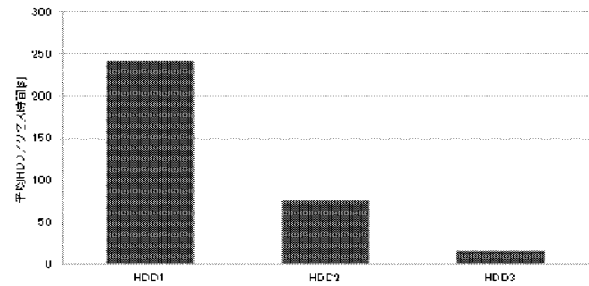


図 1 HDD アクセス間隔の測定結果

同様に、応答が返ってくるまでの時間を測定した。測定結果は図 2 の通りである。各 VM の応答時間を比較すると、要求数の少ない VM ほど平均的な応答時間が短いことがわかり、逆に要求数の多い VM ほど平均的な応答時間が長くなっていることがわかる。

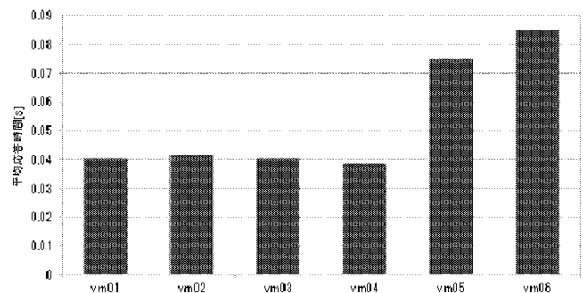


図 2 平均応答時間の測定結果

5. ストレージ停止時間の拡大

5.1 ブロック移動による停止時間の拡大

本章において、仮想化環境にてアクセス間隔が短いブロックを少数のストレージに集約し、ストレージ停止時間の拡大を実現する手法を提案する。

ブロックの移動は複数 HDD の LVM 上に構築したファイルシステムの inode 内のブロック情報を書き換えることにより実現する。移動対象ブロックは、アクセスの少ない HDD において複数回要求されたブロックとその前後のブロックである。

本手法(ブロック移動)の性能評価結果を図 3, 図 4 に示す。図より、ブロック移動により HDD の平均アクセス間隔の拡大が可能であり、HDD の停止と消費電力の削減が可能であることがわかる。

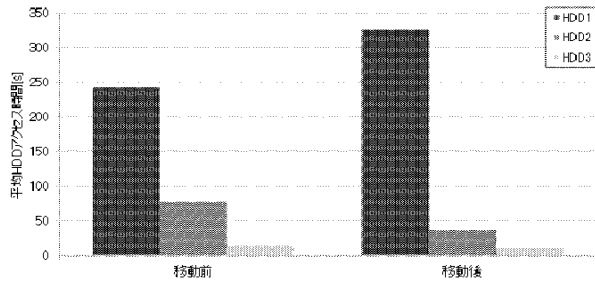


図 3 HDD アクセス間隔(ブロック移動)

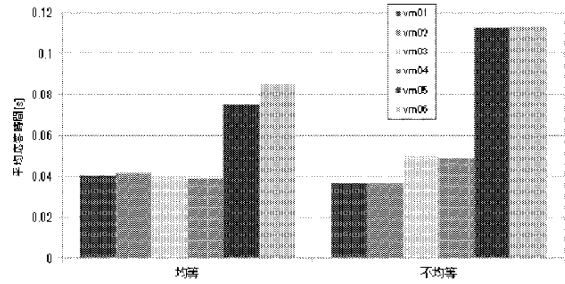


図 6 平均応答時間(メモリ不均等割り)

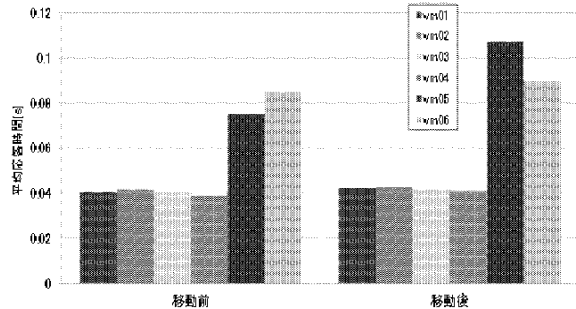


図 4 平均応答時間(ブロック移動)

5. 3 ブロック移動とメモリ不均等割り

ブロック移動とメモリ不均等割り当ての両方を適用した場合の性能評価結果を図 7, 図 8 に示す。

5. 2 メモリ不均等割りによる停止時間の拡大

要求の少ない HDD に多くのメモリを割り当てることにより、アクセスの少ない VM に来る HDD アクセス数のさらなる減少が可能であると考えられる。

メモリ不均等割り当て手法の性能評価結果を図 5, 図 6 に示す。図より、メモリ不均等割り当てによりストレージ停止時間の拡大が可能であることがわかる。

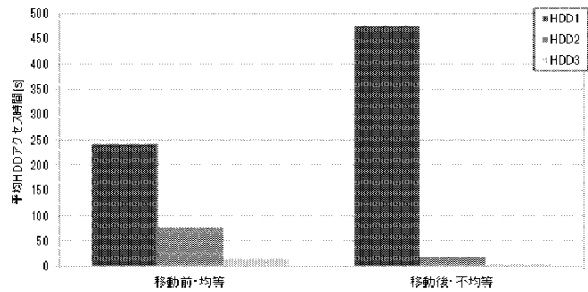


図 7 平均応答時間(ブロック移動, メモリ不均等割り)

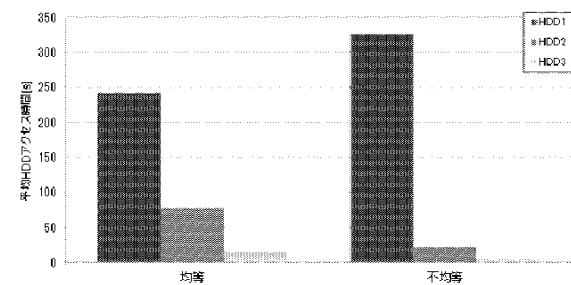


図 5 HDD アクセス間隔(メモリ不均等割り)

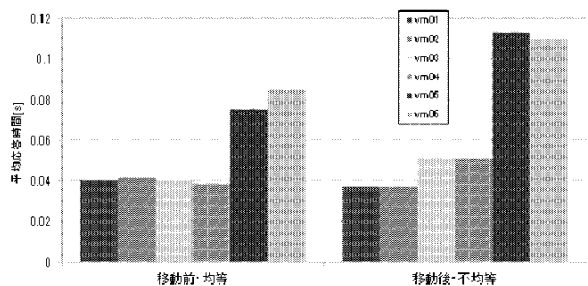


図 8 平均応答時間(ブロック移動, メモリ不均等割り)

両図より、両手法を同時に適用することにより片方の手法のみを適用するよりさらに程度の大きいストレージ停止時間の拡大と省電力化が実現できることがわかる。

6. ストレージの消費電力

一般にストレージでは、図 9 のモデルに示すようにに停止することにより消費電力が減少し(図内の A 部)するが、再開時に一時的に消費電力が大幅に増加する(図内の B 部)。よって、ストレージ停止により

得られる省電力量(図内の A の面積)が再開により失われる電力量(図内の B の面積)が大きい時のみ、省電力の効果を得られる。

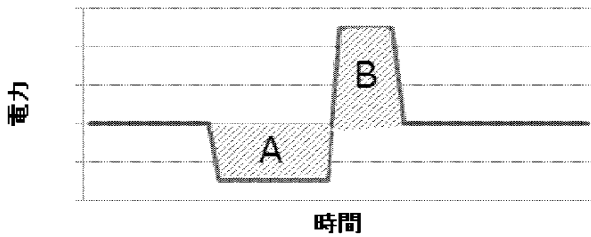


図 9 ストレージ消費電力モデル

クランプメータと実際の HDD 装置を用いて通常時、停止時、再開時の消費電力を求め、得失が拮抗する停止時間を調査した。ストレージ消費電力の調査結果を図 10 に示す。

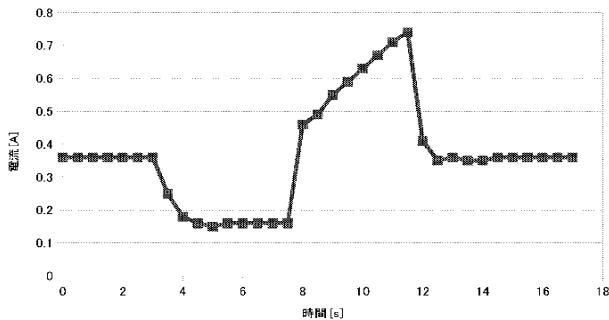


図 10 ストレージ消費電力測定結果

実験に用いた HDD 装置では、停止による省電力効果と、再開により失われる電力量が拮抗するのは約 9.5 秒であり、これ以上の停止時間が確保できる場合はストレージ停止による省電力が可能であることがわかる。

6. おわりに

本稿では災害対策拠点の分散化を支援する耐災害性の高い電源・通信システムにおけるサーバシステムの省電力化について着目し、これまでの研究成果の紹介と、ブロック移動とメモリ不均等割り当てによる省電力手法の提案、評価実験による効果の検証を行った。検証の結果、提案手法によりストレージ装置の停止時間の拡大とさらなる省電力化が可能であることが確認された。

今後は、アプリケーションの動作情報を用いた省電力手法について考察していく予定である。

参考文献

- 1) 山口 実靖, 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, 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) 酒井 貴多, 山口 実靖, GPU における消費電力と性能の関係に関する一考察, 第 18 回ハイパフォーマンスコンピューティングとアーキテクチャの評価に関する北海道ワークショップ, 2010
- 3) 酒井 貴多, 山口 実靖, 複数 GPU 環境における消費電力と性能に関する考察, 129 回 ハイパフォーマンスコンピューティング研究発表会, 2011
- 4) Nagata Kyosuke, Saneyasu Yamaguchi, Hisato Ogawa, A Power Saving Method with Consideration of Performance in Android Terminals, The 9th IEEE International Conference on Autonomic and Trusted Computing (IEEE ATC 2012), ATC7-3, 2012
- 5) 山口 実靖, 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, 総合研究所・都市減災研究センター (UDM) 研究報告書 (平成 23 年度), 2012
- 6) 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, Web DB Forum 2011, 2G-2-4, 2011
- 7) 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再配置, Web DB Forum 2011, 2G-2-1, 2011
- 8) Masaya Yamada, Yuki Watanabe, Saneyasu Yamaguchi, An Integrated I/O Analyzing System for Virtualized Environment, 8th ICCM: 2012 International Conference on Computing Technology and Information Management, 2012
- 9) Masaya Yamada, Saneyasu Yamaguchi, Filesystem Layout Reorganization in Virtualized Environment, The 9th IEEE International Conference on Autonomic and Trusted Computing (IEEE ATC 2012), ATC4-2, 2012
- 10) Norifumi Nishikawa, Miyuki Nakano and Masaru Kitsuregawa, "Energy Efficient Storage Management Cooperated with Large Data Intensive Applications," 28th IEEE International Conference on Data Engineering (IEEE ICDE 2012), 2012

柔軟シートフラッタ発電と循環制御翼に関する研究

佐藤 光太郎*, 横田 和彦**

Key Words: Flutter, Wind-power generation, Flexible sheet, Jet, Circulation Control Wing, Coanda Effect, Fluid Force

1. 結 論

フラッタを利用した発電^{[1],[2]}としては、Mckinneyらの研究が知られている。これは剛体翼にリンク構造を用いて、フラッタを生じるように並進振動、回転振動の位相差を拘束した構造によって翼フラッタを生じさせると共に、その機構を利用して、翼フラッタを軸の回転振動に変え、それにより発電するものである。

一方、従来の風車の作動範囲を広げるため循環制御翼 (Circulation Control Wing : CCW) の研究が進められている^{[3]-[6]}。CCWは翼の負圧面に吹出スロットを設け、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、揚力を制御するものである。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並びに失速抑制が可能となり、風車の作動範囲拡大につながると考えられる。

本研究では、剛体を用いた従来のフラッタ発電より構造が単純で、持ち運びも容易である柔軟体フラッタを用いる風力発電の特性調査を第一のテーマとした。発電装置の簡易さによって、ビル風の利用、災害時、アウトドア等に新規の風力発電装置として期待できる。ここでは矩形柔軟シート材を用いて、フラッタの変位、電力から、発電の特性を調べた。次に第二のテーマとして、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付の平板翼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を求めることでCCWの空力特性と運動量係数および迎え角との関係について調べた。

本研究で用いた吹出型風洞の測定部の全長は3100mmで、600mm×600mm正方形断面を持つ。風洞内測定部下流1400mmには、フラッタ発電装置を回転軸が鉛直方向になるように設置した。実験では送風機の回転速度をインバータにより制御することで風速を調節し、測定部下流100mmに設置したピトー管とマンオメータ (理科精機工業社製) を用いて風速を求めた。また、フォルトン式の大気圧計 (東京鈴木製作所製) により測定室の大気圧を測定し、アスマン式乾湿球温度計 (佐藤計量機製作所製) により測定室の乾湿球温度を測定した。フラッタ発電装置はシート材を回転軸に固定し、回転軸に接続された発電機によって発電するシステムである。本研究では発電機としてモータを使用し、直径6mmの回転軸の上に厚さ0.2mmのポリプロピレンのシートを接着させ、シート材を回転軸側面から10mmまでポリプロピレンのシートではさみ、マジックテープとセロハンテープでシート材を固定した。実験ではシート材の downstream 20mmの所で CCD レーザ式のレーザ変位計 (株式会社キーエンス製 LK-G150) でシートの沿直方向の変位を測定した。また、回転軸に固定されたモータ (株式会社タミヤ製 PRO15375) に導線を繋ぎデジタルマルチメータ (DMM, 株式会社エーディーシー ADCMT-7461A) により電圧と電流を測定した。

レーザ変位計からの信号、デジタルマルチメータの電圧・電流計測及びハイスピードカメラ (IDT ジャパン製 N4S3) 撮影を自作トリガによって同時に行った。レーザ変位計とデジタルマルチメータの電圧・電流はサンプリング周波数10kHzで記録した。ハイスピードカメラの画像は1000fpsで撮影した。実験に用いたシート材を表1に示す。シート長さは100mm, 150mm, 200mm, 250mm, 300mmの5種類において実験を行った。実験装置概略図を図1に示す。

2. 実験装置及び方法

Table.1 Flexible sheet

* : 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

Material	polypropylene
density [kg/m ³]	904
sheet width [mm]	100
sheet thickness [mm]	0.2
sheet length [mm]	100, 150, 200, 250, 300
elastic ratio [GPa]	1.61

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線を鮮明にとらえるために $Re \approx 1.9 \times 10^4$ ($U_\infty \approx 2.9\text{m/s}$) 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.

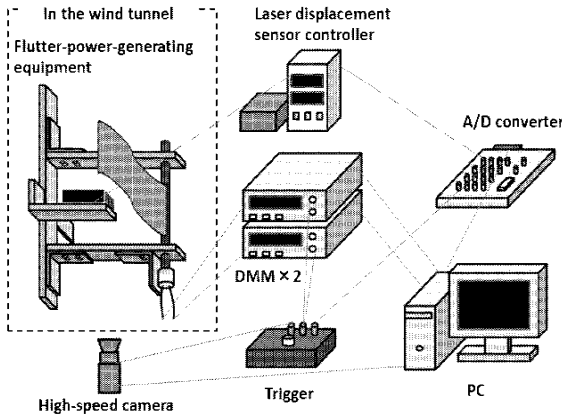


Fig.1 Experimental devices

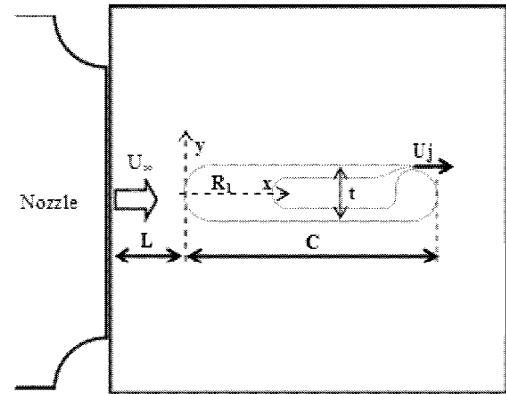


Fig.2 Schematic of test section and coordinates

図2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. CCW の実験には 400mm×200mm の吹き出し口を有する開放型低速風洞を使用した. 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_∞ , 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_∞ と試験片コード長 C に基づくレイノルズ数 $Re \approx 5.3 \times 10^4$ ($U_\infty \approx 8.3\text{m/s}$) の条件下で得られた結果(計算

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3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.

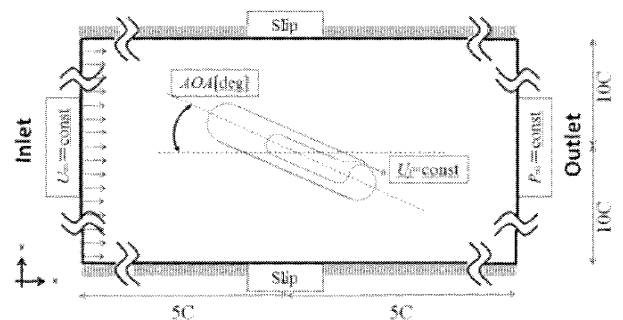


Fig.3 Numerical simulation domain and boundary condition

4. 結果および考察

4.1 フラッタの挙動

フラッタは自励振動であるため、まず風速を上げていきフラッタさせた後、風速を下げフラッタする最少の風速をフラッタ限界速度とした。フラッタ限界速度から風速を 1m/s ごとに上昇させ、デジタルマルチメータの電圧・電流、ハイスピードカメラの画像、シート材下流方向 20mm でのレーザ変位計からの信号を測定した。測定されたデータから変位の振幅、変位の振動数、電力実効値を計算した。そのうち、シート長さ 100mm の変位の振幅 (A)、変位の振動数 (f) の結果を図 4 に示す。図 4 より、風速の上昇に伴って変位の振幅が上昇するが、風速 15m/s 以降では減少する。また、振動数は風速が 19m/s から 20m/s に変化するところで急激に増加している事がわかる。

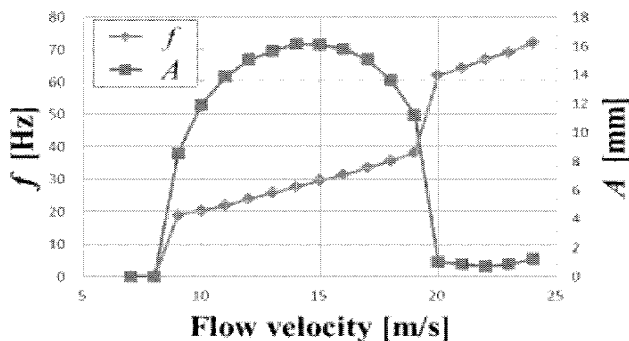


Fig. 4 Flow velocity versus flutter frequency and flutter amplitude for sheet length of 100mm

次に、シート長さ 100mm の電力を図 5 に示す。風速 17m/s で電力が最大値になり、その後、風速 19m/s から 20m/s に変わるところで大きく減少することがわかる。その原因を調べるために、ハイスピードカメラで撮影した画像を用いて、風速 19m/s と 20m/s におけるシートの挙動を調べた。シート挙動のモード解析の結果を図 6 に示す。振動の 1 周期分の画像を抽出し、風速 19m/s では 1/12 周期、風速 20m/s では 1/15 周期毎に描写した。

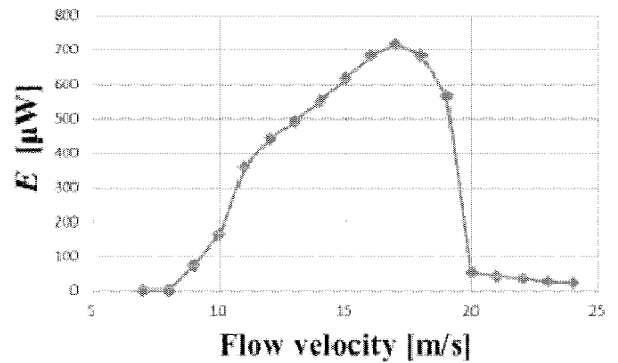


Fig.5 Flow velocity versus generated electric power for sheet length of 100mm

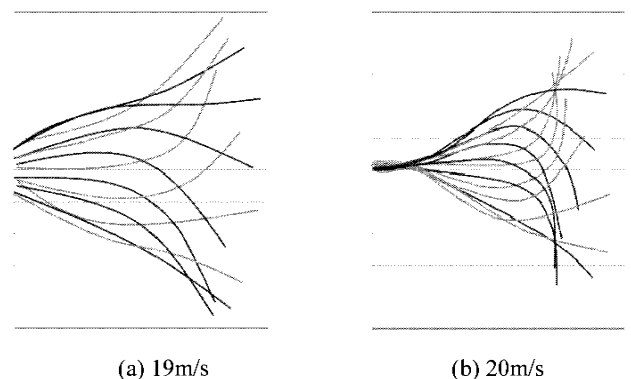


Fig.6 Temporal image by high-speed camera

図 6 より、シートの振動モードは風速 19m/s では 1 次モードになっているが、風速 20m/s では 2 次モードに変わっている。画像左端の回転軸回りの様子を見ると、風速 20m/s ではシートによる回転角の変動は風速 19m/s に比べ著しく小さくなっている。それが風速 20m/s で電力が大きく減少した原因であると考えられる。

4.2 電力と運動エネルギーの関係

発電のエネルギー変換率を調べるため、式 (1) を用いて求めた電力 E と運動エネルギー P との関係を図 7 に示す。

$$|VI| = \alpha \left| I_{\theta} \frac{A}{R} \omega^3 \right| \Leftrightarrow E = \alpha P \quad (1)$$

α は運動エネルギーと電力の比例係数、 V は電圧、 I は電流、 R は変位測定位置、 A は変位の振幅、 ω は角振動数、 I_{θ} は慣性モーメントを表している。 I_{θ} は回転軸中心から変位測定位置までのシートが剛体であると仮定したときのものである。 A/R は回転角振幅を表している。図 7 より、1 次モードではほぼ、運動エネルギーが増加するに従って電力も増加してい

る。2次モードでは運動エネルギーが増加しても電力はほぼ一定であることがわかる。これは図5の風速と電力の関係に類似している。運動エネルギーと電力の比例係数 α は1次モードでは0.0015であり、エネルギー変換率は0.15%であるが、2次モードではエネルギー変換率がほぼ0%である。2次モードの場合、図4に示したように回転軸の回転角の変動が小さかったため、エネルギー変換率が0%に近い値が得られたと考えられる。この結果から、1次モードの方が2次モードよりもエネルギー変換率が高いと言える。

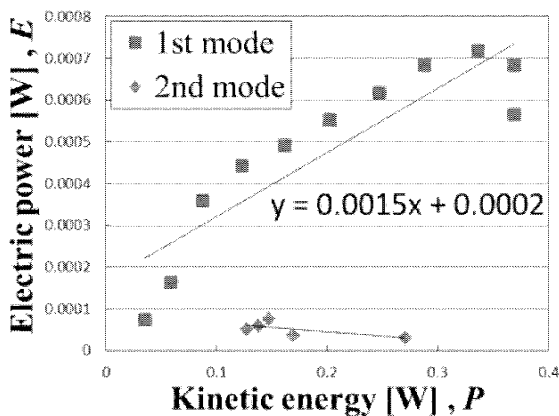


Fig.7 Kinetic energy and electric power

4.3 循環制御翼の空力特性

本研究では $h/C=0.22$ の結果について述べる。図8, 9に $C\mu=0.6$ の実験結果及び数値計算結果を示す。

図8はCCW周りのフローパターン及び圧力分布である。(a)は $AOA=0[\text{deg}]$, (b)は $AOA=5[\text{deg}]$ の結果である。(i)はスモークワイヤ法による可視化写真, (ii)は時間平均ベクトル図である。図3(a)(i)及び(b)(i)の可視化実験では主流がCCWにより大きく曲げられ、特に前縁で剥離した流れが後縁付近で噴流により強制再付着させられるというCCWの特徴も観察できる。いずれの場合も翼の上流・下流で運動量が激的に変化していることが伺え、大きな揚力を作り出しているものと思われる。ただし、 $AOA=0[\text{deg}]$ の場合と比較して $AOA=5[\text{deg}]$ の方が剥離領域は大きくなっている。 $AOA=0[\text{deg}]$ で噴流速度 $U_j=0$, すなわち $C\mu=0$ の場合には揚力は発生せず、本研究で用いた厚翼では翼の上下でほぼ対称に剥離が生じると考えられるが、 $C\mu=0.6$ で後縁近くのスロ

ットから噴流を与えることで、スロット上流の剥離領域も非対称となり、上側(負圧面側)の剥離領域が拡大、下側(圧力面側)の剥離領域が縮小したものと推察される。すなわち後縁近くのスロットから噴出される流れが上流の流れに大きな影響を及ぼしていることがわかる。(a)(ii)及び(b)(ii)の数値計算で得られたベクトル図も実験結果と同様の傾向を示しており、本実験結果と本計算結果とは定性的に一致していることが確認できる。ただし、定量的には $AOA=0[\text{deg}]$, $AOA=5[\text{deg}]$ のいずれも剥離流れの再付着点に計算結果と実験結果に差異が見られ、計算による再付着点は実験で観察される再付着点よりも前方に位置している。この違いは計算が二次元流れを仮定しているのに対して、実験では翼端に側壁が存在するため厳密には三次元流れになっていることが、主な原因と考えられる。すなわち、実験では側壁近傍の剥離領域が小さく、翼中央での剥離領域は大きく現れるものと思われる。また、スロットから流出する噴流の剥離点にも実験と計算に定量的な違いが認められるが、定性的には両者は一致している。ところで、 $AOA=0[\text{deg}]$ の場合でも、翼の上下で噴流に起因する明確な流れ場の違いが確認できる。 $AOA=5[\text{deg}]$ で $C\mu=0$ の場合でも翼の上下に圧力差が発生するが、ここでは上側(負圧面側)の剥離流れが再付着するため、閉じた剥離領域となり、低圧部が形成される。

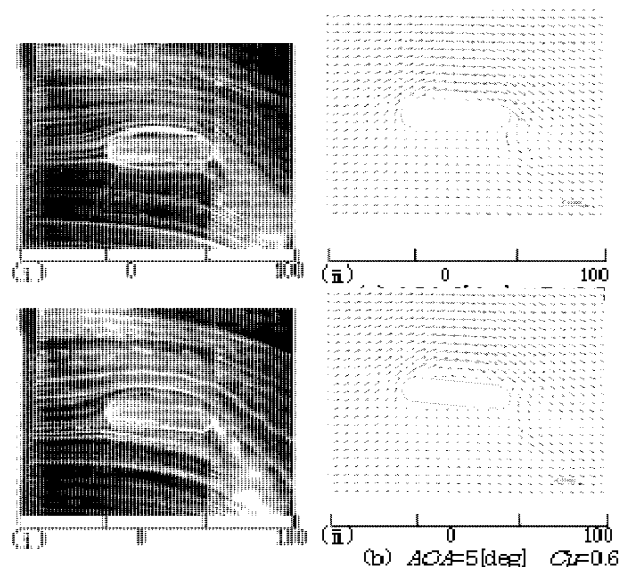


Fig.8 Flow patterns around a Circulation Control Wing
 (i): Flow visualization by Smoke wire method

図9に翼表面の圧力分布から求めた揚力係数 C_L と運動量係数 C_μ の関係を示す。中空プロット点・破線が実験結果，中実プロット点・実線が数値計算結果である。また，丸が $AOA=0[\text{deg}]$ ，四角が $AOA=5[\text{deg}]$ の結果である。実験，数値計算の両者で C_μ の増加とともに C_L が大きくなっている。実験結果，数値計算結果それぞれ同一 C_μ において $AOA=5[\text{deg}]$ の値が $AOA=0[\text{deg}]$ の値を上回っている ($C_\mu=0.2$ の場合の数値計算結果を除く)。なお，数値計算結果において， $AOA=0[\text{deg}]$ では $C_\mu=0.3\sim 0.4$ ， $AOA=5[\text{deg}]$ では $C_\mu=0.2\sim 0.3$ の間で，実験結果では $AOA=5[\text{deg}]$ の $C_\mu=0.1\sim 0.2$ の間で揚力の急激な増加が認められる。これは上記の C_μ 付近で噴流の剥離点が後退するためであり，剥離点の移動は C_μ が小さい時に厚翼後縁近傍に形成される死水領域が噴流の流速増加で縮小することに起因すると思われる。なお，本図の条件範囲では揚力係数は迎角よりも運動量係数に大きく依存することが明らかである。

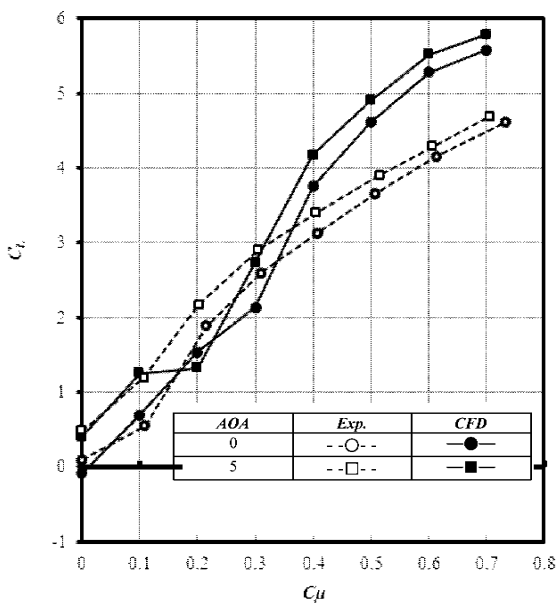


Fig.9 Relation between lift coefficient C_L and C_μ for various AOA at CFD and $Exp.$

5. 結 論

本研究ではフラッタを利用した発電並びに循環制御翼の空力特性に関する基礎的研究を行った。フラッタ発電に関する主な結論を1~4に，循環制御翼に関する主な結論を5~8に示す。

1. 変位の振動数の急激な増加はシートのモード変化によるものである。
2. 変位の振幅および，電力の急激な減少はシートのモード変化によるものである。
3. シート長さ 100mm において，シートの振動モードが2次モードに比べて1次モードの方が発電効率が高い。
4. 発電には回転角振幅が最も重要である。
5. 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。
6. 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。
7. 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。
8. $AOA=5[\text{deg}]$ 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] 吉村ら，日本建築学会大会学術講演梗概集，2006，797-798.
- [2] 黒川ら，日本建築学会大会学術講演梗概集，2007，917-918
- [3] 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.

- [4] Cerchie, D., Halfon, E., Hammerich, A., Han, G, Taubert, L., Trouve, L., Varghese, P. and Wagnanski, I., Some Circulation and Separation Control Experiments, *Applications of Circulation Control Technology*, pp113-166.
- [5] Munro, S.E., Ahuja, K.K. and Englar, R.J., Noise Reduction Through Circulation Control, *Applications of Circulation Control Technology*, pp167-190.
- [6] 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)

独立型太陽光発電システムの特性評価

太陽光発電, 独立電源, 蓄電池, 無線通信, 都市機能継続

荒井純一*, 市川紀充*, 小林幹**

1. はじめに

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事業の研究設備として独立型太陽光発電システムを設置し動作確認をしたのでその概要を報告する。

本システムの目的は、震災時に電力会社からの商用電源が停電することを想定し、その停電時にパソコンおよび無線通信機へ電力を供給することである。その電力の充電には自然エネルギーである太陽光発電を用いて、環境への配慮をしつつエネルギーを確保する構成としている。そして停電時に独立して電力を供給することにより遠方との通信を確保し、遠方との情報交換により減災さらには都市機能継続に役立つ装置である。

2. 2011年度までの成果と2012年度の成果

2010年度は装置の基本仕様を検討した。そして2011年度に実際にその装置を導入した⁽¹⁾。2012年度はその装置の特性を測定し、当初の目的である商用電源が停電時に通信装置へ電力を供給し続ける動作を確認した。以下に2012年度の成果を述べる。

3. 装置の構成

独立型電源による無線通信への電源供給の構成を図1に示す。八王子キャンパスの独立型電源は、11号館屋上の太陽光(PV)パネル、その362室のパワーコンディショナ、蓄電池およびモニタからなる。パワーコンディショナの出力電圧は200Vゆえにトランスで100Vへ降圧している。そこから無線機とアンテナ、さらには通信用ソフトを動かすパソコンへ電力を供給する。

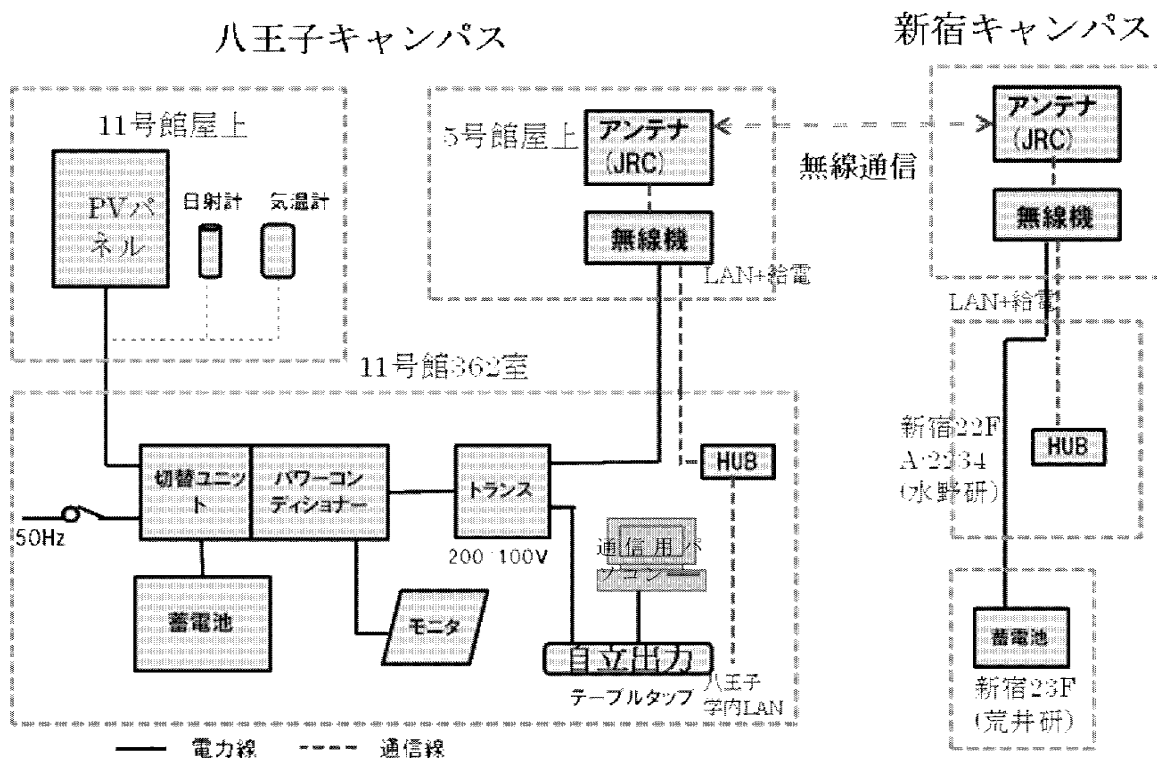


図1 独立電源と無線通信装置の構成図

* 工学院大学工学部電気システム工学科, ** 工学院大学

この PV パネルを図 2 に、パワーコンディショナを図 3、蓄電池を図 4 に、モニタを図 5 に示す。また仕様を表 1 に示す。

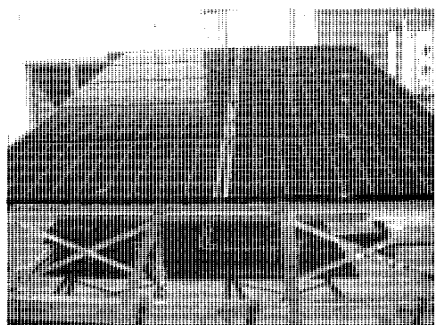


図 2 PV パネル

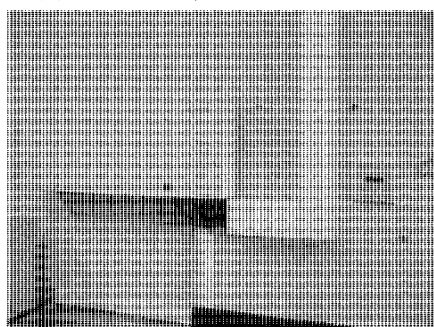


図 3 パワーコンディショナ

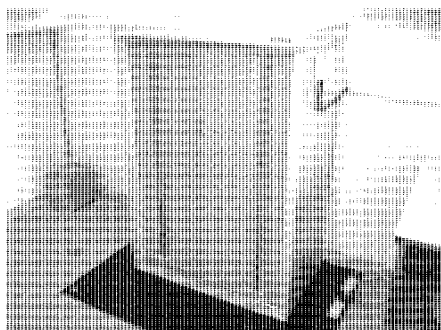


図 4 蓄電池



図 5 モニタ

表 1 独立型太陽光発電システム仕様概要

太陽電池 (PV)	190W×9 直列=1.71kW
パワーコンディショナ	商用交流系統電圧が停電時は自立運転へ移行する 自立運転時出力 単相 100V, 1.0kW
蓄電池	鉛蓄電池, 電池個数 32 個, 容量 8.96kWh

本システムは商用電源が来ている場合は、負荷への電力供給は PV パネルと商用電源から行う。また夜間に蓄電池の充電が行われる。商用電源が停電になると負荷へは PV パネルと蓄電池から電力が供給されるように動作する。

新宿キャンパス側には PV パネルは無く、蓄電池を用いた無停電電源装置を設置している。それを図 6 に示し、その定格を表 2 に示す。

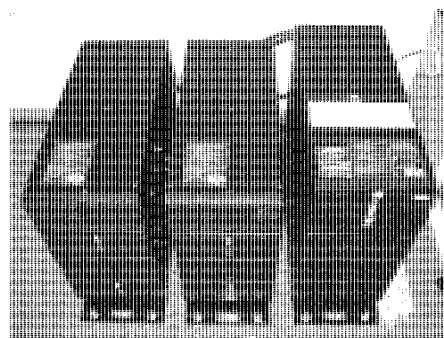


図 6 無停電電源装置

表 2 無停電電源仕様概要

出力	単相 100V
蓄電池	鉛蓄電池, 容量 4.25kWh

4. 太陽光発電の発電量

八王子キャンパスの PV パネルの発電諸量はモニタに記録されている。それは運転状態、故障状態、PV 電圧、PV 電流、PV 電力、蓄電池電圧、交流電圧、交流電流、交流電力、日射強度、気温などであり、1 分ごとに記録されている。2012 年 5 月 14 日の交流発電電力を図 7 に示す。

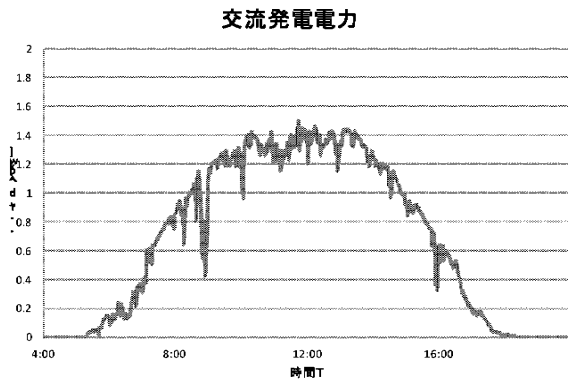


図7 2012年5月14日の交流発電電力

モニタに記録されるデータは整数型であり、しかも計測器毎のレンジであるため、直読できるデータではない。そこで記録データを読み込み換算係数を掛けて図7のように一般的な値としてグラフ化している。その処理はExcelのVisual BASICを用いてプログラムを作成して実行している。

5. 無線通信時の消費電力

本年度の研究の目的は本装置の電力供給能力を把握することである。そこで実際に無線で通信した状態での電力を測定した。

測定方法は、装置に模擬停電を起こし装置が自立運転に切り替わった後に、八王子キャンパスから新宿キャンパスに無線LAN回線による遠距離通信を行い、その際における電力消費量を測定する。従って通信電力が大きくなる条件を選んだ。具体的には文字、音声ではなく動画等を通信させた。1回の測定時間は1時間とし、送信データの容量は可能な限り大きなものを使用して送り続ける。その際の消費電力を図8に示す。ここでは88.8Wh/hの電力消費であった。またこの時のパワーコンディショナの出力である電圧波形と電流波形を図9(a)(b)に示す。サンプリング間隔が大きい電圧は正弦波であることがわかる。電流波形はかなり歪んでおり、負荷であるパソコンと通信機が整流型電源回路であることが推定される。

同様な測定を3回試行し、その中での最大電力消費量が上記であった。また2012年11月14日に実施した防災訓練時に、同様な無線通信を行い八王子-新宿間で映像の伝送を行い消費電力の測定を行った。

しかしその際は通信用パソコン電源を別回路から取ったため本電源からの消費電力は少なかった。

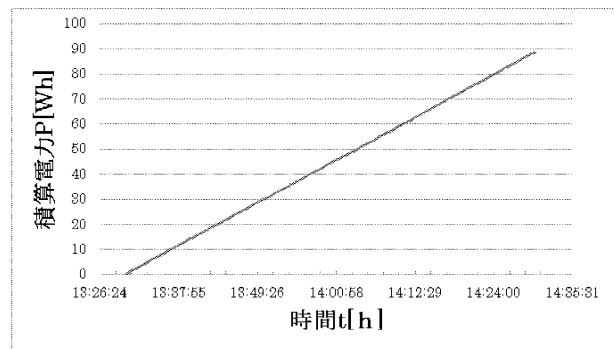


図8 八王子の消費電力

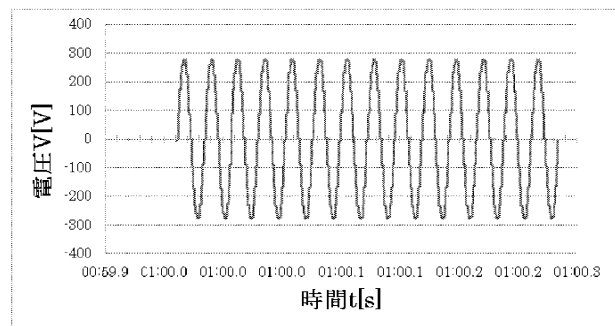


図9(a) 電圧波形

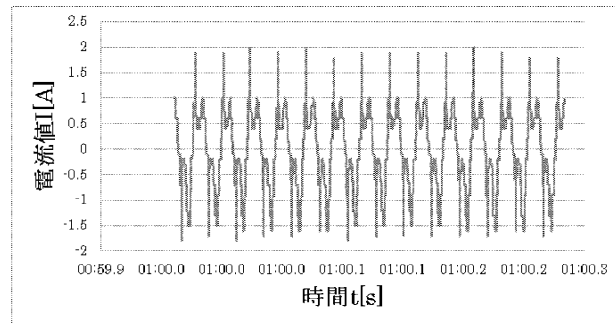


図9(b) 電流波形

新宿キャンパスにおける消費電力の測定も同様に行い19.2Wh/hを得た。新宿側は無線機のみを負荷ゆえ消費電力は少ない。

6. 独立型電源の供給能力

本電源装置は被災時などに商用電力が停電することを想定して、その際の電力供給を目的に構築したものである。連続電力供給可能時間を明らかにする必要がある。

八王子キャンパスの電源では

$$\begin{aligned} & \frac{8960[Wh]}{= 88.8[Wh]} \\ & = 100.9[h] \approx 4.2 \text{ 日} \end{aligned}$$

である。さらに昼間の PV パネルからの発電があればその分電力供給量が増える。逆に電源装置には測定した回路の他にモニタが常時接続されているので、このモニタ電力消費を考慮する必要がある。これらなることを考慮した結果、八王子キャンパスの独立型電源の電力供給能力は、当初目的としていた2日間を満たしていると考えられる。

また新宿キャンパス側では

$$\begin{aligned} & \frac{4250[Wh]}{= 19.2[Wh]} \\ & = 221.3[h] \approx 9.2 \text{ 日} \end{aligned}$$

である。新宿キャンパス側では PV は無いので蓄電池容量が全てである。実際に停電した場合には通信用のパソコンへも電力供給する必要がある、その分を考慮して、やはり新宿キャンパス側電源も当初の目的である2日間を満たすと考えられる。

5. おわりに

本年度は、昨年度設置した独立型太陽光発電システムの特性を測定して独立型電源としての評価を行った。

本システムは被災時に商用電源が停電することを前提に、停電が復旧するまでの時間を2日間と想定し、その間に八王子ー新宿キャンパス間の無線通信を確保するための独立型電源である。

その独立電源装置としては、目標である2日間は電力供給できると評価した。

そして防災訓練の際に模擬停電状態で八王子ー新宿キャンパス間の無線通信を行い、支障なく通信ができることを確認した。

参考文献

- 1) 荒井純一，市川紀充，小林幹，独立型太陽光発電システム，総合研究所・都市減災研究センター（UDM）研究報告書（平成23年度）

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飽和および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 CO₂ 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【CO₂ 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、地震振動時であっても、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。特に、今年度は、実機のコンバインサイクル方式都市型コジェネレーション（熱併給発電）システムと同様な条件、すなわち蒸気発生部である廃熱ボイラー内同様な飽和流動沸騰に対する健全性、すなわち、熱的安全性を実験的に検討した。

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、液サブクール度は飽和沸騰に近い 5K、液流速は 0.25, 0.5, 0.83, および 1.33 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 35 μm)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 UDM プロジェクト仕様。水平方向最大振動加速度 5m/s² : 500 Gal) に載せることで実現させた。振動条件の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=4.15m/s² (415 Gal : 震度 6 相当)、f=2, 4 Hz である。振動方向は、Fig. 1 に示すように加熱面を水平

* : 工学院大学工学部機械工学科教授

に配置した流動方向と振動方向が平行な振動 (以下水平振動と呼ぶ) の実験条件とした。

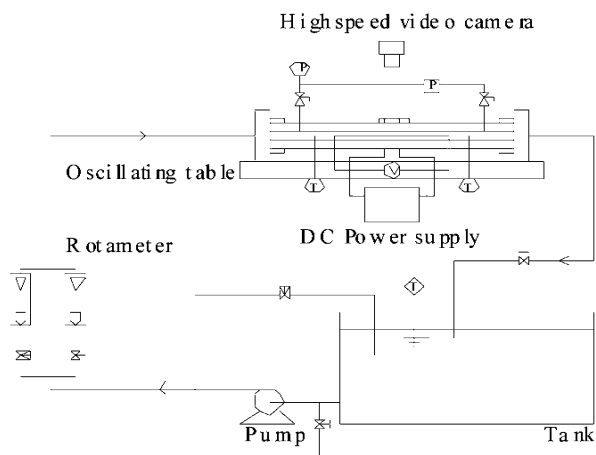


Fig. 1 Experimental Apparatus

3. 実験結果および考察

Fig.2 に、液サブクール度 5K、液流速 0.25 m/s 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。Fig. 2 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。Fig. 2 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。この結果は、過去に我々のグループで行った、サブクール流動沸騰下の限界熱流束の実験事実、すなわち、加熱面の振動の付加により冷却限界は上昇する⁽¹⁾、との実験的傾向が同一である。また、Lee ら⁽²⁾の垂直加熱管の振動付加の実験結果とも同一である。すなわち、飽和流動沸騰条件でも、地震振動下の熱的安全性が確認されたと言える。

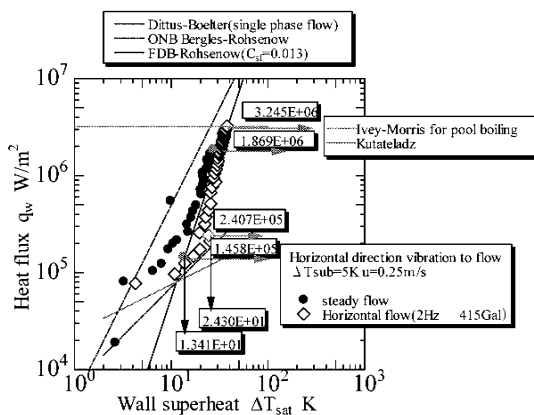


Fig.2 Boiling Curves

一方、Fig.3 に、液サブクール度 5K、液流速 0.83 m/s 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。加熱面の振動の付加により、限界熱流束、冷却限界がやや下降することがわかる。この事実は、液流速が上昇するとともに、限界熱流束である冷却限界が、加熱面の振動の影響を受けていないことを示唆する。

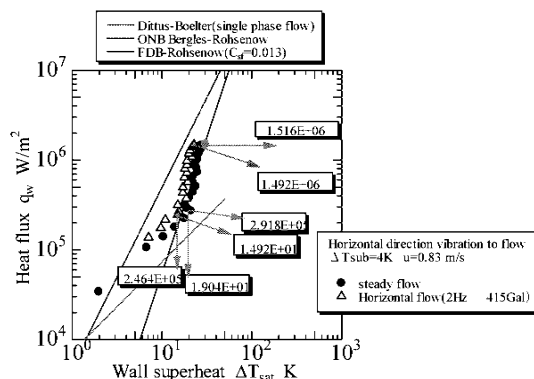


Fig. 3 Boiling Curves

さらに、Fig.4 に、液サブクール度 3.1 および 4.1K、液流速 0.83 m/s 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。Fig. 3 同様、加熱面の振動の付加により、限界熱流束、すなわち冷却限界が下降することがわかる。特に、Fig.4 より、熱伝達特性の傾きは、沸騰モードより強制対流モードのそれに近いことがわかる。加えて、CHF と ONB が同時に起こっているようで、限界熱流束の値が特に低い。

この事実は、後述するように、液温をより飽和に近づけることで、沸騰モードが変化したものと考えられる。

以降、加熱面上の沸騰気泡の挙動に注目する。

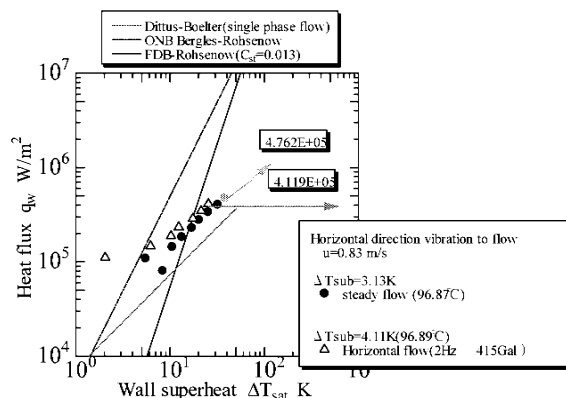


Fig. 4 Boiling Curves



Fig.5 Bubble behavior Image of Saturated flow for $\Delta T_{sub} = 5K$ $u = 0.25m/s$



Fig.6 Bubble behavior Image of Saturated flow for $\Delta T_{sub} = 5K$ $u = 0.25m/s$



Fig.7 Bubble behavior Image of Saturated flow for $\Delta T_{sub} = 5K$ $u = 0.83m/s$



Fig.8 Bubble behavior Image of Saturated flow for $\Delta T_{sub} = 5K$ $u = 0.83m/s$



Fig.9 Bubble behavior Image of Saturated flow for $\Delta T_{sub} = 4.1K$ $u = 0.83m/s$



Fig.10 Bubble behavior Image of Saturated flow for $\Delta T_{sub} = 3.1K$ $u = 0.83m/s$

Fig.5に液サブクール度 5K、液流速 $u = 0.25m/s$ に対する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観察結果を示す。Fig.3に示すように、液サブクール度 5K、すなわち飽和に近い条件下では流路中心に蒸気流れが見られ環状流が認められる。つまり、液サブクール度 5K ではドライアウト型の限界熱流束⁽³⁾であることが確認できた。Fig.6に液サブクール度 5K、液流速 $u = 0.25m/s$ に対する水平定常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観察結果を示す。Fig.6に示すように、Fig.4と同様にドライアウト型の限界熱流束であることが確認できた。また振動付加の違いとして、振動条件下においては振動に合わせるように気泡の成長のリズムが確認できたが、定常条件下においては一定のリズムで気泡が成長するような挙動が見えた。

Fig.7に液サブクール度 5K、液流速 $u = 0.83m/s$ に対する水平振動条件下における限界熱流束直前の加熱

面上の合体気泡の観察結果を示す。Fig.8に液サブクール度 5K、液流速 $u = 0.83m/s$ に対する水平定常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観察結果を示す。

Fig.7に示すように、Fig.5と同様にドライアウト型の限界熱流束であることが確認できた。また液流速の違いとして、低流速における気泡（Figs.5, 6）は成長が著しく行われ、大きな気泡となることが確認できる。一方、高流速における気泡（Figs.7, 8）は低流速に比べ成長が遅く、結果、小さな気泡となることが確認できる。

Figs.9, 10に、より飽和に近い液温、それぞれ液サブクール度、4.1, 3.1K、 $u = 0.83m/s$ の水平振動条件下並びに水平定常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観察結果を示す。液温度がより飽和に近づくと、気泡が十分に成長せず、また加熱面からはがれにくくなることが分かった。すなわち、環状流となることが確認でき、この条件では、限界熱流束がドライアウト型になり、限界熱流束に及ぼす加熱面の振動の影響が小さかったと考えられる。

以上、まとめると、サブクール流動沸騰の限界熱流束では合体気泡挙動が関連するプール沸騰同様なバーンアウト型になるのに対して、飽和流動沸騰の限界熱流束では環状流下の液膜の蒸発が関連するドライアウト型となるためと考えられ、液流速が低い場合にはプール沸騰に近いバーンアウト型、液流速が高い場合にはドライアウト型になったためと考えられる。特に、ドライアウト型の場合には、流動様式が環状流となるため、流路中心に存在する蒸気塊が加熱面振動の影響を受けづらく、限界熱流束に大きな変化がなかったものと考えられる。

なお、加熱面振動が及ぼすドライアウト型限界熱流束への影響、すなわちメカニズムの解明は今後の検討課題である。

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、特に飽和流動沸騰条件の冷却限界に及ぼす振動の影響を実験的に検討し、

(1) 振動台を利用し、地震発生時に伴う加熱面の揺れが沸騰熱伝達、特に飽和流動沸騰下の限界熱流束に及ぼす影響を検討し、限界熱流束、すなわち、冷却限界が冷却流速の上昇によって影響を受け

くくなることを確認した。

(2) 過去の研究により、液サブクール度 20K はバーンアウト型限界熱流束、本年度の研究により、液サブクール度 5K はドライアウト型限界熱流束であることを確認した。

(3) この冷却限界に及ぼす液温の依存性の差異は、サブクール流動沸騰の限界熱流束では合体気泡挙動が関連するプール沸騰同様なバーンアウト型になるのに対して、飽和流動沸騰の限界熱流束では環状流下の液膜の蒸発が関連するドライアウト型となるためと考えられ、液流速が低い場合にはプール沸騰に近いバーンアウト型、液流速が高い場合にはドライアウト型になったためと考えられる。特に、ドライアウト型の場合には、流動様式が環状流となるため、流路中心に存在する蒸気塊が加熱面振動の影響を受けづらく、限界熱流束に大きな変化がなかったものと考えられる。

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

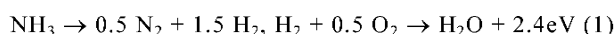
キーワード (水素生成, アンモニア燃料, ウレアーゼ)

雑賀 高*

野原徹雄**

1. はじめに

筆者らは、次式に示すような化石燃料に頼らないアンモニア(NH₃)を水素(H₂)キャリアとする燃料電池発電システムを開発してきた¹⁾。



しかし、アンモニアが化石燃料由来であること、生産に大きなエネルギーを使うこと、安全性等が問題である。それらを解消するために、様々な物質から回収でき、安全性および使用実績が豊富な再生エネルギーである“尿素”を原料とするNH₃燃料・H₂エネルギーシステムについて新たに研究を進めている²⁾。

本研究では、より小さいエネルギーで尿素をNH₃へ分解可能な酵素触媒であるウレアーゼを使用した尿素加水分解実験により、NH₃生成速度について検証した。Lineweaver-Burkプロット等により、尿素濃度に対する最大反応速度やミカエリス定数を算出し、阻害剤ありなしによるNH₃発生量計算を可能にした。また燃料電池による緊急用発電システムへの適用可能性も示した。

2. 2010/2011年度の成果概要

現在、代替燃料として考えられるH₂およびNH₃の可能性について、内燃機関等で使用されているガソリンやバイオ燃料の代表であるメタノールとの比較³⁾をTable1^{1,2)}に示す。H₂は質量あたりでのエネルギー密度は高いが、体積あたりのエネルギー密度では不利であり、液化するために-253℃まで冷却する必要がある。それに対し、NH₃はわずか-33℃で冷却するか、LPG自動車の燃料タンクと同等の約8気圧まで圧縮すれば液化が可能になる。また、メタノールとの比較では質量および体積あたりのエネルギー密度はほぼ同じである。実際に1940年代にはガソリンの不足により、NH₃を燃料とするバスが北欧の交通機関として運行されていたこともある。

しかし、NH₃の有毒性、製造時の大きいエネルギー消費および化石燃料由来の炭化水素系原料の使用

等について懸念が残る。そのため、NH₃分子を含有し、様々な物質より回収可能、安全性および一般への使用実績が豊富な“尿素(Urea, (NH₂)₂CO)”を次式のようにNH₃のキャリア燃料として検討している²⁾。



Table1に示すように質量あたりのエネルギー密度はNH₃より劣るが、常温では固体のため、体積あたりのエネルギー密度はNH₃と同等である。さらに、尿素水生成時の潜熱も冷却エネルギーとして利用可能で、安全安価に長期間の在庫も可能なため、より小さいエネルギーによるNH₃への変換が可能な場合、有望な代替エネルギーとしての可能性がある。

仮にNH₃からH₂→燃料電池→発電の検討結果³⁾の上流に、回収尿素を酵素触媒のウレアーゼによってNH₃へ加水分解をした場合のWell to Wheelの計算結果をFig. 1に示す。この結果より、理論上では燃料電池による高いエネルギー効率が得られる。

Table 1 Properties of current and alternative fuels^{1,2)}

Properties	Liquid				Solid
	Gasoline	Methanol	H ₂	NH ₃	Urea
H ₂ concentration (wt%)	15	12.6	100	17.8	6.7
Boiling Point (°C)	-	64.4	-253	-33.3	132.7
Density (g/L) at 20°C	728	795	70.9	680	1335
Energy Density (kJ/g)	43.44	19.96	118.59	18.63	9.07
Energy Density (kJ/L)	31624	15868	8408	12668	12106
Melting heat (kJ/mol) at 25°C and 1atm	-	-	-	34.18	-15.4

3. 酵素触媒を使用したNH₃発生量および発生速度

Fig. 2に示した実験装置による、ウレアーゼ触媒での尿素加水分解によるNH₃生成最適条件は、これまでの実験結果より尿素水濃度10wt%，尿素水温度40℃以下、尿素水pH6.4~7.4(使用ウレアーゼ最適pH)である²⁾。しかし、酵素触媒は様々な物質により反応速度が低下し、NH₃がウレアーゼの阻害剤になる報告⁴⁾もある。それらの確認のため、尿素のモ

* : 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

** : 工学院大学非常勤講師

ル濃度を変化(5~20wt%)させた尿素水溶液 100g を S(基質)とし, ウレアーゼ触媒 20,000Unit (理論上 0.02mol/min の NH₃ 発生可能) にて NH₃ 発生反応速度を検証した.

Fig. 3 に NH₃ への各尿素水濃度での最大反応速度の実測結果を示す. 5wt%までは反応速度に大きな差が認められるが, 10wt%以上の尿素濃度では差がほぼなく, 最大反応速度 $V_{max}=1.44 \times 10^{-6}$ mol/sec になることが確認された. しかし, 理論上のウレアーゼ触媒の最大反応速度は 3.33×10^{-4} mol/sec であり, 実際には理論上の約 0.5%の反応速度に留まっていることが判明した.

次に, ミカエリス定数 K_m を算出するために, Lineweaver-Burk プロットを作成し, 理論上のウレアーゼ触媒反応速度 (阻害剤なし) との比較も行った結果を Fig. 4 に示す. プロットの形状比較およびウレアーゼの活性中心に重金属の Ni を含んでいることを考慮すると, 非拮抗阻害のタイプと推測される. そのため, E(酵素) + I(阻害剤) → EI の平衡定数を K_i とした場合, 阻害剤の NH₃ 存在下の反応速度 v_i は, 次式となる. これより, NH₃ 生成速度や量の推測が可能になり, 緊急時に長期保管してある尿素と水を加水分解し, 発生した NH₃ にてアルカリ型燃料電池(AFC)を駆動させる非常用電力システムの可能性も考えられる. また, 非拮抗阻害のタイプでは E, ES(酵素-基質複合体)に結合して阻害するため, 結合後の解離(E との解放)が起きるような処理をすることにより, NH₃ 反応速度効率のさらなる向上が考えられる.

4. おわりに

- (1) Lineweaver-Burk プロットにて, ウレアーゼ触媒による実験結果より, 最大反応速度およびミカエリス定数を算出し, 生成物である NH₃ によるウレアーゼへの非拮抗阻害の可能性を示した.
- (2) NH₃ 生成速度の推測より, AFC による緊急用発電システムの適用可能性を示した.

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) 野原 徹雄, 雑賀 高, 日エネ誌, 90, 895-904, (2011)
- (3) R.Halseid, Dissertation No.2004:25-Mar., NTNU, (2004)
- (4) 丸尾 文治, 酵素ハンドブック, 朝倉書店, p.583, (1982)

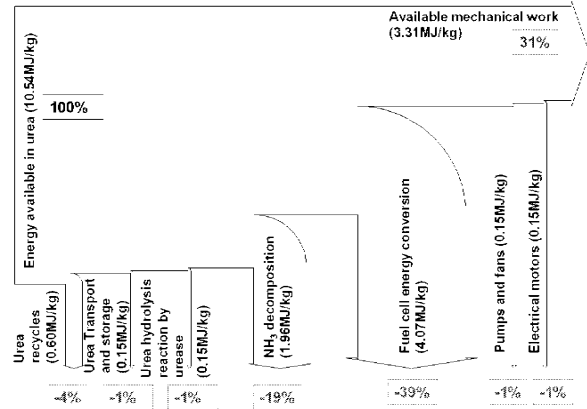


Fig. 1 From well to wheel of urea/NH₃ fuel (HHV base)

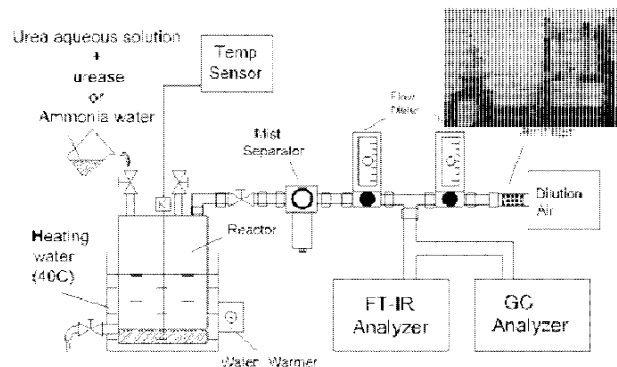


Fig. 2 Experimental apparatus and pictures

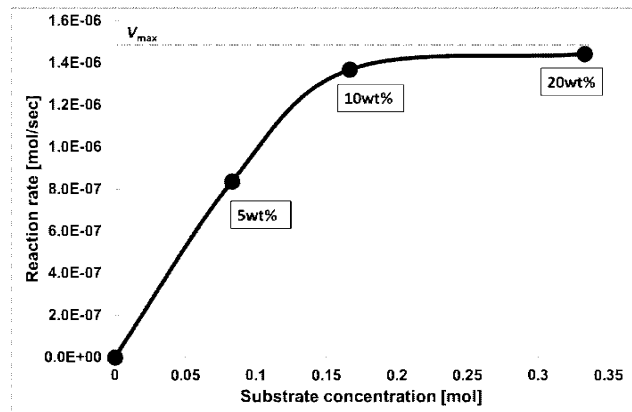


Fig. 3 Reaction rates of each urea hydrolysis by urease

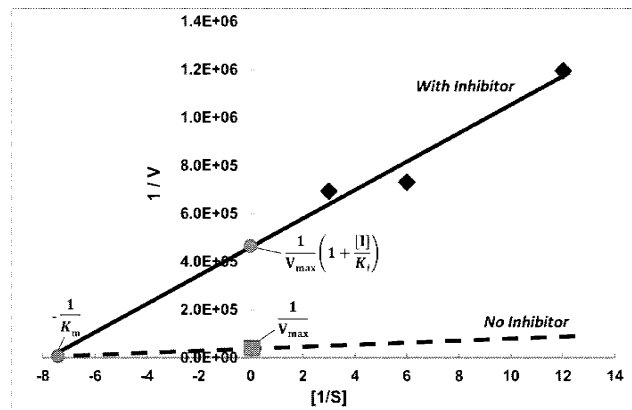


Fig. 4 K_m calculation result by Lineweaver-Burk plot

EDLC を用いた独立型太陽光発電システムにおける蓄電手法の一検討

キーワード (独立型太陽光発電, 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, 地球温暖化などの環境問題が社会的に意識されている。それに伴い, 化石燃料などを使わずに発電できる自然エネルギーを利用した発電設備が増加¹⁾している。なかでも太陽光発電 (Photo-Voltaic : PV) システムが注目されている。PV システムには大きく分けて系統連系型と独立型の2タイプがある。系統連系型は, 一般的に太陽光からの日射を受けている時間帯に発電を行い, 余剰電力 (消費電力よりも上回る発電量) があれば電力会社に売ることができる。独立型は, 太陽光パネルから発電した電力を二次電池に蓄電することで夜間などの日射の当たらない時間帯でも電力の供給を行うことができる。したがって, 独立型は災害時などの系統が寸断された場合でも非常用電源として有効に使える。

しかし, PV システムにも様々な改善すべき課題がある。太陽光発電は, 太陽からの日射量によって発電量が増えるため, 雲などの天候による影響が大きく, 条件によっては電力回収が全くできない場合がある。電力変換装置 (インバータ) を使用する場合は, インバータの変換可能電圧に到達しなければ電力を扱えない。一方, 電力変換装置を使用せず二次電池に充電する際, 太陽光パネルの発電電圧が二次電池の充電電圧に達していなければ充電が不可能である。また, 二次電池への蓄電ではバッテリーの充放電回数増加がすることで性能が著しく低下してしまう。したがって, 天候によって太陽光パネルの出力電力が不安定になる PV システムへ二次電池を直接利用することに問題点を指摘できる。現在, これらの課題に対する解決方法が求められている。

本研究の目的は, 独立型 PV システムの課題である二次電池の充放電回数が増加することによる性能低下を低減し, システムを長期にわたって安定運用することである。さらに鉛蓄電池で今まで回収できなかった電力を回収し, 積算発電量を向上させる。そこで, 二次電池と等価交換できるものとして注目されている電気二重層コンデンサ (Electric Double

Layer Capacitor : EDLC) に着目した。筆者らは, EDLC を用いて二次電池の負担を軽減できる充電システムを構築することが最終目的である。

本報告では, 先に提案した EDLC と鉛蓄電池を組み合わせた蓄電部改善案²⁾を実際に構成し, 晴れの日と雨の日の場合で検証実験を行う。そして, 蓄電部の違いが充放電特性に与える影響を確認し, EDLC の有効性を明らかにした。

2. EDLC による蓄電部の改善

表1に蓄電部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 の特徴比較を示す。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, エネルギー密度の点で見ると EDLC は鉛蓄電池と比べ約 1/10 倍と低いため大電力には不向きである。すなわち EDLC を単体で使わず併用することで大電力でも扱えると考えられる。

表1 EDLC と鉛蓄電池の比較³⁾

	EDLC	鉛蓄電池
電極材料	活性炭	PbO ₂ , Pb
電解液	有機溶媒	水溶液
蓄電方法	化学反応なし	化学反応あり
充放電回数	10 万回以上	約 300 回

3. システムの概要

EDLC を用いた蓄電部の改善として文献4などが報告されており, 補助蓄電部に EDLC が使用されている。本研究では, EDLC を主蓄電部として使用しており, 蓄電状態で EDLC に鉛蓄電池を接続することが特徴である。図1に本研究で構築した独立型 PV システムの概要を示す。屋上には実験用の PV モジ

* : 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

ジュールと全天日射計を設置した。PV モジュールは、YMT 社製 “MSP15W12V” (出力 15W)、全天日射計は英弘電機社製 “MS-602” を使用した。屋内の制御盤にある充電コントローラ (MPPT) は Well See 社製 “SS-MPPT-15L”, 電流センサは U_RD 社製 “HCS-20-10-AP” を使用した。蓄電部は、神戸電機社製の鉛蓄電池 (12V-11Ah) を 1 個, EDLC はニチコン社製 “EverCAP” (2.5V-1000F) を 24 個 (6 直列 4 並列接続) 使用する。負荷は、巻線抵抗 4Ω とし、放電電流は 3A とした。MPPT と負荷の間についているタイマを用いて、夜間 (19:30~3:00) の発電しない時間帯に放電をするように設定する。また、HIOKI 社製 “MEMORY HiLOGGER 8430” を使用して電圧、電流、日射量をロギングする。

本報告では、先に提案した EDLC と鉛蓄電池を図 2 に示す自作の切り替え回路によって接続する方式²⁾ (以下、提案法と称す) と鉛蓄電池単体 (以下、従来法と称す) の充放電特性の比較し、EDLC と併用することで有効性を検討する。

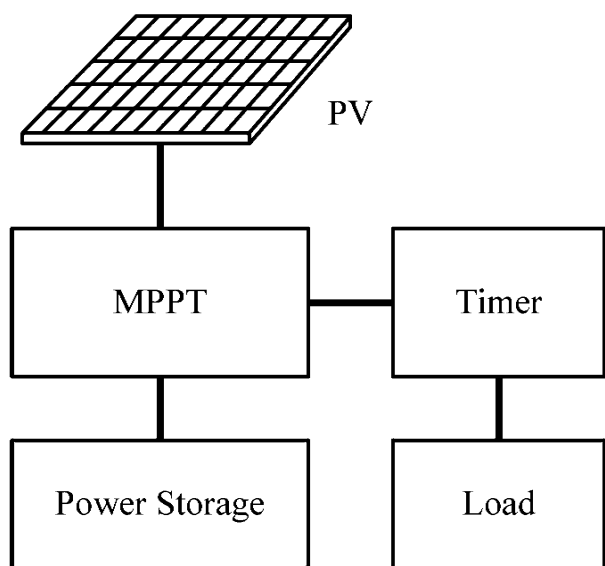


図 1 システム概要

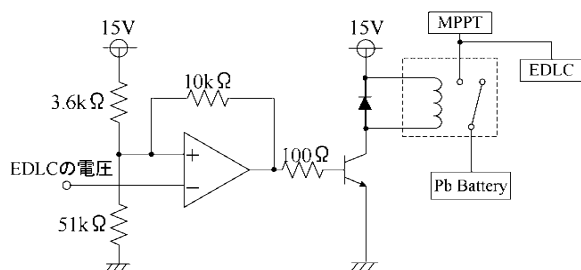
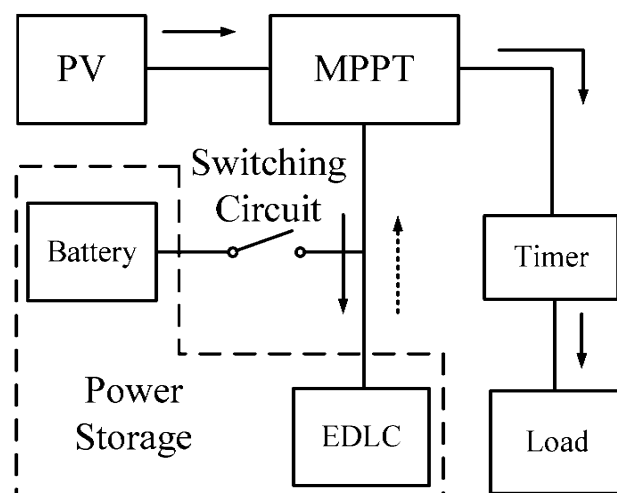


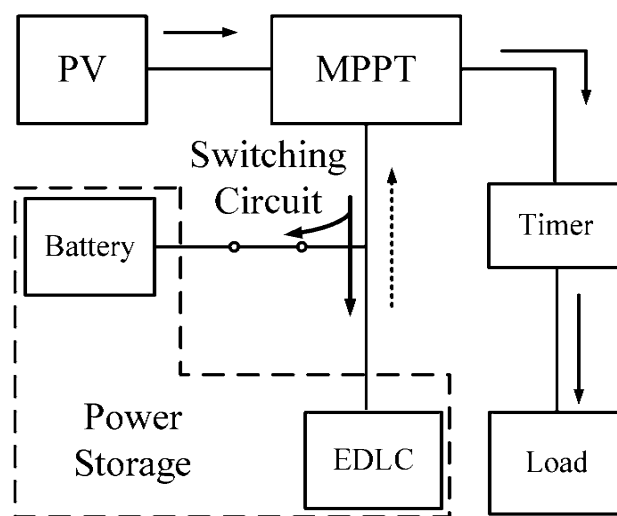
図 2 切り替え回路

4. 蓄電部の改善案

図 3 に示すように提案法は EDLC と鉛蓄電池を条件によって接続を切り替えることで鉛蓄電池の性能低下を低減することを目的とした方式である。図 3(a) の場合は EDLC を主要蓄電部とし、鉛蓄電池は接続していない状態とする。EDLC が満充電になったときに図 3(b) のように鉛蓄電池と EDLC を接続して EDLC から鉛蓄電池へ電力を供給する。



(a) EDLC が満充電でないとき



(b) EDLC が満充電のとき

図 3 システム改善案

4.1 システム切り替え条件

図 4 にシステムの切り替えフローを示す。提案する蓄電部の改善案は、図 2 の自作した切り替え回路により EDLC と鉛蓄電池を切り替えてエネルギー回収するシステムである。切り替え条件は、以下のとおりである。

- ① EDLC を基本蓄電部として充電。このとき、鉛蓄電池は EDLC と接続しない
- ② の状態で EDLC の電圧を測定し、満充電のときに鉛蓄電池を並列接続して充電
- ③ の状態で負荷に接続した EDLC の電圧が 11V 未満のときに鉛蓄電池と EDLC を切り離して①の状態に戻る。

以上のように鉛蓄電池の使用頻度を下げることで性能低下の改善を期待する。

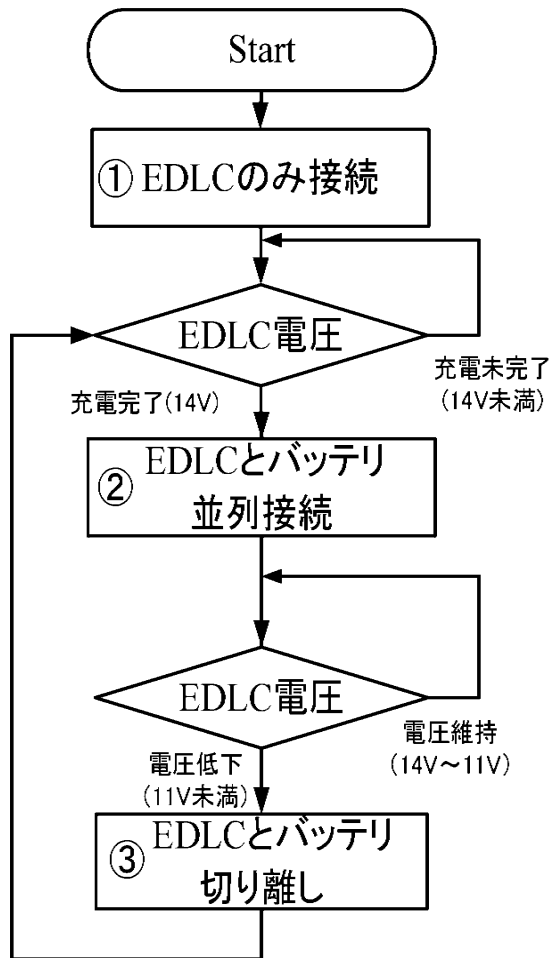


図4 EDLC と鉛蓄電池の切り替えフロー

4.2 実験方法

図1の蓄電部を従来法と提案法にして両者を同時に測定することで蓄電部の違いが充放電特性に与える影響を確認する。

4.3 実験結果

図5に従来法と提案法の充放電特性を示す。図5(a)は晴れの日の充放電特性である。6:00~7:30は、「PV モジュールから EDLC のみの充電」(提案

法), 「PV モジュールから鉛蓄電池へ充電」(従来法)の状態である。7:30ごろでは, 提案法において EDLC と鉛蓄電池が並列接続され, PV モジュールと EDLC から鉛蓄電池に充電されている。19:30~21:30の放電期間をみると, 放電時間は従来法よりも提案法の方が長いことがわかる。

図5(b)に雨の日の充放電特性を示す。6:00~13:00に着目すると提案法の EDLC のみが充電されており, 従来法の鉛蓄電池単体では充電できていないことがわかる。これは日射量が低く PV モジュールの発電電力が小さいことに加え, 鉛蓄電池と EDLC の内部抵抗の違いで充電の可否が生じたと考えられる。13:30頃に EDLC の放電電力と鉛蓄電池の充電電力が等しいことから EDLC に蓄えられた電力で鉛蓄電池を充電していることがわかる。これは EDLC が満充電となり, 鉛蓄電池が EDLC と並列に接続されたことを意味する。また, 17:30頃に従来法は放電できていないのに対して, 提案法は放電できていることがわかる。したがって, 提案法は低日射時でもエネルギー回収できていることを明らかにした。すなわち, EDLC を組み合わせることは蓄電部改善に有効であることが期待できる。

なお, 放電終了時に図5(b)において EDLC に充電していることが確認できる。これは, 鉛蓄電池から EDLC に充電していることを意味している。内部抵抗が低い EDLC は鉛蓄電池よりも先に放電するので鉛蓄電池より電圧が若干低くなる。したがって, EDLC と鉛蓄電池が並列接続状態では図5(b)の現象が生じる。しかし, 図5(a)は同様の現象が確認できない。図5(a)は MPPT 内部の放電回路が放電停止と同時に自作切り替え回路によって EDLC と鉛蓄電池を切り離している。したがって, EDLC の方が鉛蓄電池より電圧が低くても EDLC に充電されることがない。本来, 図5(a)の状態が理想状態である。しかし, MPPT 内部の放電回路が自作切り替え回路のしきい値電圧よりも高い状態で放電を停止すると図5(b)の状態のように EDLC と鉛蓄電池が並列状態を維持することとなる。どのような状況下でも図5(a)の状態となるように切り替え回路の改善が必要と考えられる。

5. まとめ

本報告では, 先に提案したシステム²⁾の検証実験を行い, 従来法よりエネルギー回収が多いことを明

らかにした。その結果、従来法では充電できない日射量でも提案法は充電が可能であることがわかった。

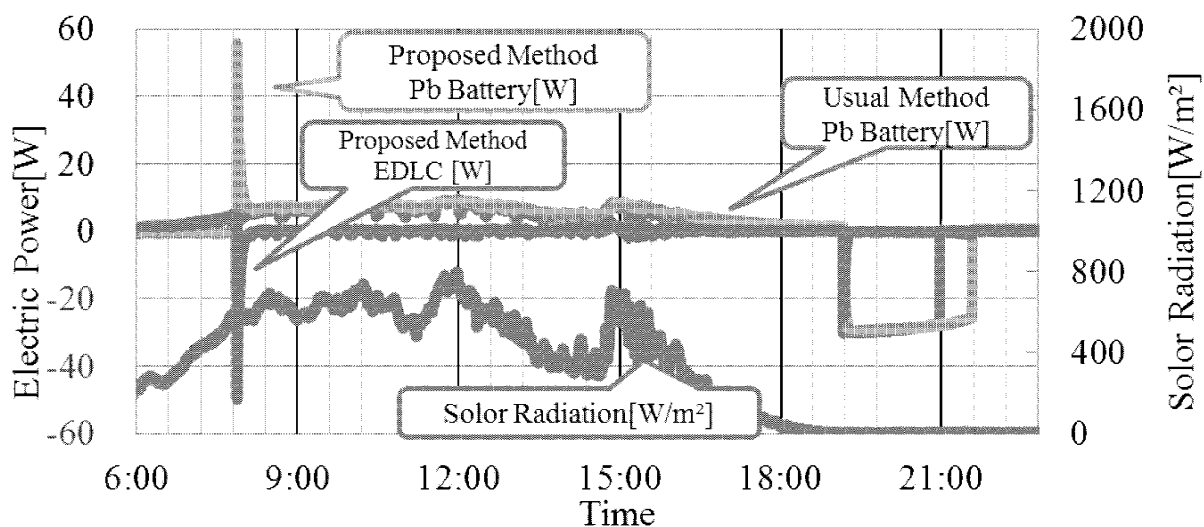
今後は、提案法が長期的に有効であるかを検討する。また、従来法と提案法において鉛蓄電池の劣化状態を測定し、鉛蓄電池に与える影響を検討する予定である。

謝辞

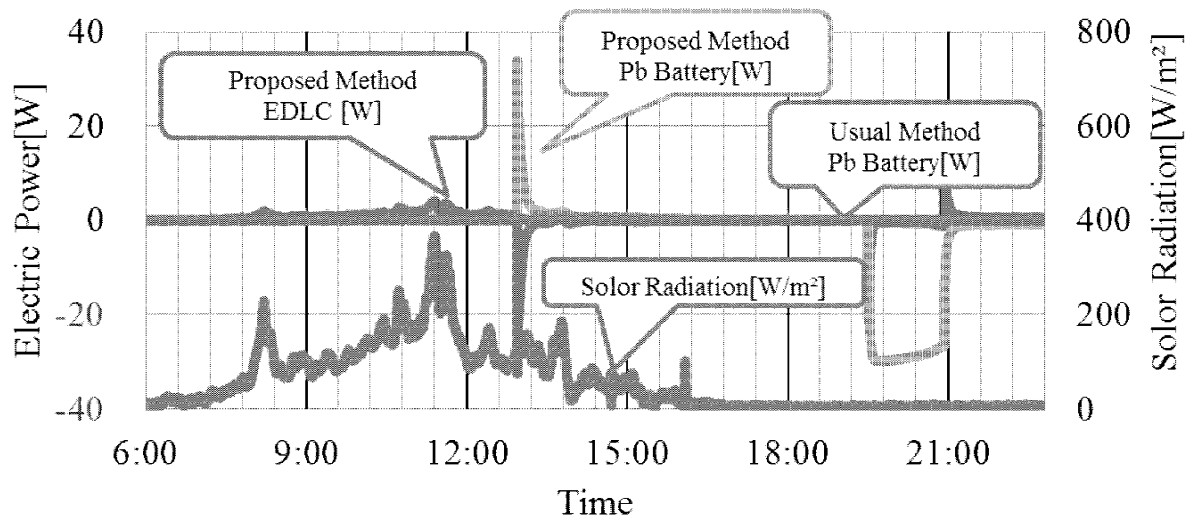
本研究は、文部科学省私立大学戦略的研究基盤形成支援事業により実施している。関係各位に感謝致します。また、独立型太陽光発電の実験に協力いただいているサレジオ工業高等専門学校専攻科 佐藤雅史君に感謝いたします。

参考文献

- 1) エリック・マーティノー 他, 「自然エネルギー白書 2011 要約版 Renewables 2011 Global Status Report」, (2011)
- 2) 米盛弘信, 佐藤雅史, 野口拓哉, 小林 幹, 「独立型太陽光発電システムにおける PV モジュール表面の防汚と蓄電部の改善に関する検討」, サレジオ工業高等専門学校研究紀要, 第 39 号, pp.31-36, (2012)
- 3) 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, pp.28, (2007)
- 4) 川口博嗣, 黒川浩助, 野崎洋介 「電気二重層キャパシタを組み込んだ独立型太陽光発電システム」, 電気学会電力・エネルギー部門大会, (2000)



(a) 晴れの日



(b) 雨の日

図 5 提案法と従来法の充放電特性

医療救護所に求められる機能

キーワード

首都直下型地震, 非定住被災者, 受療行動予測,
医療救護所, 最前線救急医療拠点

長澤 泰一^{1*}

山下哲郎^{2**}

寛 淳夫^{2***}

村上正浩^{3****}

与志平知子^{4*****}

1. はじめに

1-1. 研究の背景と目的

東京都は¹⁾²⁾「首都直下地震等による東京の被害想定」の中で、【首都直下地震】として「東京湾北部地震（M7.3）」と「多摩直下地震（M7.3）」の2種の想定を行っているが、前者の方が、人的/物的被害が大きく予想されており、新宿区における震度予想は前者が震度6強、後者においては震度6弱が示されている。本研究では、2010/2011年度の報告に引き続き「東京湾北部地震（M7.3）」を想定した震災時（以下：震災時）の新宿駅周辺における医療救護活動のあり方について検討をすすめる。

2010/2011年度の報告にて指摘がある様に、震災時の新宿駅周辺は、非定住被災者^{註1)}の割合が高く見込まれており、それらの受療行動予測と周辺の医療施設分布状況から、受診者が溢れる、または医療施設まで自力でたどり着けない、といった受療困難な状況が想定される。

この受療困難な状況を緩和する提案として、2010/2011年度報告においてはオフィスビル等のホール等を利用した「最前線救急医療拠点」の可能性を検討してきており、2-3.で後述する様に、11か所の配置案を提示するに至っている。

ホール等のスペースは、震災時の多数傷病者に対して医療救護活動を行うにあたり、収容力の面で便宜性を備えているが、災害時医療救護活動の基本であるCSCATTT^{註1)}全般の実行しやすさを考慮した場合、広さ以外にも必要な機能が抽出されるはずである。また、「最前線救急医療拠点」が、地域防災計画の医療救護活動においてどのように位置づけられ、地域の他の医療施設とどのように連携していくかにより、役割（担うべき医療内容）が変わることは自明である。

そこで、本研究では、最前線救急医療拠点に比較的近い役割と機能を担っていると思われる医療救護

所を分類し、諸機能の抽出、整理を行うことを目的としている。

1-3. 研究の方法

本研究では医療救護所の分類及び諸機能の分析整理を行うために文献調査を実施した。具体的には、過去の震災における医療救護活動の報告・提言等（参考文献11～29）、行政の防災計画等（参考文献30～55）から、医療救護所に求められる機能や装備について、人的・物的条件を抽出し、整理を行った。

2. 2010/2011年度の成果概要

2-1. 2010年度の成果概要

筆者等は³⁾は2010年度の総合研究所・都市減災研究センター（UDM）研究報告書（以下：報告書）において、「新宿駅周辺における震災時の非定住被災者の受療行動を予測」に基づいた「最前線救急医療拠点」の配置方法や拠点数、拠点規模等の計画を目指すことを研究目的とし、予測に必要な基礎資料である、「新宿駅周辺の屋外人口（地上/地下）分布」について交通量調査を行い、結果を報告した。その結果である屋外人口分布は「非定住被災者の受療行動を予測する」ために必要な①被害想定、②救護所や避難所の位置、③被災人口分布、といった情報のうち、③を明らかにするための基礎資料となった。

具体的には以下の2点が明らかになった。1点目は、新宿駅周辺はオフィス街の西口と繁華街の東口という地域特性の違いを背景にした、時刻や曜日による人口分布の傾向の違いであり、2点目は、人口分布の多いエリアに総合病院がなく、非定住被災者の多くが、自力で総合病院にたどり着くことのできない状況である。

2-2. 2011年度の成果概要

2011年度の報告書⁴⁾においては、上記「非定住被災者の受療行動を予測する」ための3つの前提条件として①新宿区地域防災計画に基づき東京湾北部地

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 准教授・博士（工学）
4**** : 工学院大学 客員研究員

震 (M7.3 風速 15m) を想定、②新宿駅周辺の救護所の不足、③被災人口分布、を取り上げ、それらを算定する基礎資料として、新宿駅周辺における「屋内死傷者分布」を算出した。また、2種類の街頭アンケート調査を新宿区役所と工学院大学前で来訪者や職員に対して行い、首都直下地震想定時の負傷時の受療行動を予測した。アンケート調査結果から新宿駅周辺の病院/避難所/救護所に対する認知度の低さ、重傷者の全員および軽等症者の2割が医療施設や救護所に向かうという受療行動予測が示された。この予測に基づき、非定住被災者の多くは、自力で病院や救護所にたどり着ける可能性が低いと再度指摘した上で、駅周辺に溢れると予想される受診者に円滑な医療提供を行うためのオフィスビル等のホール等を利用した「最前線医療拠点」の可能性を提示した。また同拠点について、負傷者分布図や既存病院立地状況に基づき11か所の配置案を提示した。

2-3. 2012年度(本年度)の成果概要

2010/2011年度の研究を受け2012年度は、医療救護所の諸機能について抽出、整理を行うという目的の下、以下に示す成果をとりまとめた。

参考文献3~4より医療救護所の定義について明らかにし、参考文献11~55の医療救護所に関する多様な記述から「医療救護所」を分類するために、大きく5つの軸を設定し、軸毎に内容を整理した。

3. 医療救護所の分類と機能

3-1. 医療救護所の定義

法的な位置づけとしては、「災害対策基本法(第34条)」に基づき、「防災基本計画」^{注2)}が作成され、この基本計画に基づき各自治体で作成される「地域防災計画」内に「医療救護所」の言葉は登場する³²⁾。

また、自治体の地域防災計画において、救護活動の行動マニュアル、救護班メンバー、携行品等について記されている場合でも、「医療救護所」そのものについて定義されている事例は少ない^{注6)}。

3-2. 医療救護所の分類

甲斐⁴⁾が指摘するように、「医療救護所」は「現場救護所」や「応急救護所」といった言葉と同様に、医療救護活動全体(つまり、CSCATTT全般)を行う場を示す場合もあれば、トリアージポストや、各救護エリアを限定的に「救護所」と呼ぶ場合もある。活動時期や主体によって微妙に使い分けられている場合もあるが、用語が統一されていない状況である。

以下は、[時系列]、[活動形態/場所]、[活動内容/目的]、[活動主体/関係者][救護対象]という観点で類似用語(論文における提案事例も含めた)の分類・整理を試みた。

時系列	時系列の種類		救護所の種類
	災害 超急性期		現場救護所、応急救護所、緊急医療救護所
	災害 急性期		
	災害 亜急性期		救護所
災害 慢性期			
形態/場所	活動形態	活動場所	救護所の種類
	巡回	災害現場、避難所、在宅	巡回救護所
	拠点/定点	公的施設内など	拠点/定点救護所
内容/目的	活動内容	活動目的	救護所の種類
	救命、搬送	出向く医療で災害関連死を抑制	現場救護所、SCU
	T T T	限られた医療資源で多数傷病者を最大限救う。	応急救護所、緊急医療救護所
	慢性期疾患	療養支援、生活支援	救護所
主体/関係者	主体	関係者	救護所の種類
	DMAT、JMAT、日赤、自衛隊、消防隊、薬剤師、保健師等。	自主防災組織(自治会等)、災害ボランティア、業者(情報通信、医療資機材供給、物流)、政府関係者、マスコミ、被災者(*)	全種類の救護所。 * 避難、薬、透析、酸素療法、安否情報確認、帰宅困難により一時滞在などを目的に
救護対象/役割	救護・受入対象	役割	救護所等の種類
	地域住民	アクセス容易(利便性高く)、病院が重症患者等に注力できる様、軽傷者を中心に受入れる。	避難所併設の救護所
	非定住者		応急救護所、緊急医療救護所
	災害時要援護者	要援護者や帰宅困難者が病院の医療提供を逼迫させないようにする。	福祉避難所(併設の救護所)
	帰宅困難者		一時滞在施設(救護所ではない)。
	避難患者	搬送経由拠点(仮称)	一時避難施設(状態安定処置)

表1. 医療救護所の分類

[時系列による分類]

災害医療は、時系列³⁴⁾によりそのニーズが変化する。一般に災害超急性期~急性期においては、災害内容にもよるが救急救命医療のニーズが中心であり、災害亜急性期~慢性期にかけては、慢性疾患対応等の医療ニーズが増える。

災害超急性期~急性期における医療救護活動の場としては、単なる「救護所³⁵⁾」の他に「現場救護所³⁶⁾」や「応急救護所³⁶⁾」「緊急医療救護所」などが登場するが、活動場所や活動主体の違いはあっても、CSCATTTを行う、という共通の活動方針は見いだすことができる。また、拠点として救護所を構え“待つ(受け入れる)医療”と同時に、“出向く医療”としてのDMAT^{注5)}や日赤救護班による救護活動が活発な時期である。この時期においては、両者のように初動の早い活動主体が消防や自衛隊と連携しながら災害現場へ出向き、医療救護活動を行う先々が「現場救護所」になると考えることができる。

災害亜急性期~慢性期における医療救護活動の場で「応急~」「緊急~」「現場~」が使われる事は少

なく、災害が長期化した際に避難所等へ併設される「救護所」など、TTTとは主旨の異なる救護活動（慢性疾患対応等）の場として登場する例が多い。

【活動形態／場所による分類】

テントやプレハブを持参し拠点を設定する「拠点救護所」¹¹⁾や、建物の一部を間借りする形で活動する「定点救護所」¹¹⁾は、病院敷地内や避難所となった公的施設、民間事業所の敷地内など様々な場所に展開される。また、DMATによるSCU（広域搬送拠点）においても「救護所」²¹⁾が併設され、搬送に耐えるための状態安定化処置が施される。

【活動内容／目的】

ここでは「CSCATTT=医療救護活動の基本形」であると捉え、分類を進める。これを基本形に据える根拠は、災害における死傷者数をもっとも左右するのが災害急性期（救出・救助期）であって、この時期活躍するDMATの養成課程において基本原則とされているのがCSCATTTだからである。

巡回救護方式であれ拠点救護方式であれ、災害急性期においてはCSCATTTを行い、亜急性期～慢性期にかけては、慢性期疾患対応等、感染症対策、食事指導、介護、ADL低下抑制、こころのケア、その他生活支援全般といったような活動が展開される流れが多く報告されている。

【活動主体／関係者】

表1に示した様なメンバーらが、震災時の医療救護所に集まる可能性がある。医療救護を提供する主体は様々であり、またそれに関連する関係者も多様である。まずはこれら活動主体や関係者の活動内容を十分に理解し、空間として設定する必要が求められる。

【救護対象／役割】

5つめの軸として、救護対象と役割の観点から、医療救護所（類似した例を含む）をとらえる。この中には、「災害時要援護者」「帰宅困難者」「避難患者」のように、発災にて傷病を患わない限り、医療救護よりも、介護や生活支援の需要の方も含まれる。各々、本来行くべき場所へ誘導することが必要であるが、過去の震災においては、受入先の被災や交通網の断絶等により一時受入をせざるを得ない状況もあり、苦肉の策として黄色エリアの端部に通称“黄緑エリア”と呼ばれる一角を設けてプライバシー上の配慮を行ったとの報告¹⁸⁾もある。

最前線医療拠点として提案されている、ホール等

を有する学校やオフィス等は、東京都の帰宅困難者対策条例⁵⁰⁾にもとづき、震災時は一時滞在施設として帰宅困難者を受け入れる努力義務が発生するであろうし、館内のスタッフらには一斉帰宅抑制がかけられ、彼ら自身が帰宅困難者になる。ただし、スタッフらは、日頃の訓練次第では、ボランティアスタッフとしての貴重なマンパワーにもなりうる。

3-3. 医療救護所に求められる機能

ここでは医療救護所に求められる機能について、「立地、地盤、インフラ」、「建物」、「設備」、「しつらい・備品」に分けて、外的要素と内部計画の両面から検討を行った。

立地、地盤、インフラ	
機能	具体例
認知しやすい	視認性が高い(大通りや広場に面している)
アクセスしやすい。(徒歩でも車でも)	大通りに面して歩いて歩道も広い。
搬送しやすい。	大通りに面して車が出やすい。
医療資機材が入手しやすい	薬局や供給業者の物流センター等が近い。
周辺に木造建物密集地域はない。	火事による道路網寸断が起りにくい。
液状化の危険性が低い地盤	
インフラや地盤が安定	電源2重ルート化+非常用電源、給水所近い
情報収集/伝達しやすい	複数の情報伝達手段、防災無線も支障なく
公的支援を受けやすい	役所、大学、病院など人手と物資が入手
交通基盤が損壊しにくい	
立地も交通網もスタッフが参集しやすい	
建物	
機能	具体例
車が寄り付きやすい	大庇(下はトリアージポスト?)+中庇+広場
歩車分離の動線が設けやすい	スペースがあり、誘導計画もわかりやすい
トリアージ～搬送まで一方向動線が可	ホールが前面道路に面して直接搬出可
天候や季節の影響を受けにくい	屋内のホール(医ガスや手洗いあればベター)
耐震性能確保済み	
大人数収容スペース	トリアージに必要な面積:10㎡/人 6m×6m程度/とじ 一時滞在所施設基準:1.75㎡/人 人が生活を送るために最低必要3.5㎡/人
設備	
機能	具体例
給水・排水	井水利用や排水貯留槽も検討
電気	非常用発電機
便所	マンホールトイレなど
耐震化済み	機器自体と、配管(吊部、建物導入部)
温度湿度	17～28度、湿度40～70%
しつらい・備品	
機能	具体例
備蓄	3日+α
生活資材 (トイレ、飲食物、毛布)	
医療資機材	

表2. 医療救護所に求められる機能

まず、医療救護所で行われる活動は、CSCATTTの7原則に則るものとする。CSCAについては、トリアージポストと各救護エリア、搬送スペース、死亡群エリアの他に、内外機関と調整する事務局、情報記録部隊や物資調達部隊のための人員配置と空間・家具・物品配置が必要である。

次にTTTの部分、つまりトリアージ→処置→搬送についてであるが、これを効率的に行うためのレイ

アウトやスタッフのフォーメーションを研究した例もあるが、定形としての提案はない。ただし、一方通行のレイアウトが（流れを滞らせにくいという点から）望ましいという説明は複数みられる。

最近の訓練では、医療従事者ではなく、市民がトリアージを行う例もみられるが、医師ですら実際にトリアージを経験する機会は少ないとされ、訓練を行った際の所感にも、複数回経験し慣れる必要を説いたものがあつたことをふまえると、やはり一般市民によるトリアージは、確度と効率の悪さが想像でき、医療スタッフが参集できない時の臨時措置として運用するのが現実的だと思われる。

トリアージ関連エリアの選定（計画）理由について、江川⁴³⁾は複数の病院にアンケート調査を行っており、その選定理由は、医療従事者の視点におけるトリアージ関連空間の評価軸として参考になる。

そして、各救護エリアについては、前ページで紹介した“黄緑エリア”の様に災害時要援護者に配慮したスペースを用意しておいた方が、双方にとって円滑に対応が進むと思われる。ただし、災害時要援護者には要介護者、妊産婦、乳幼児、重度障害者、精神障害者、病弱者など様々であり、その特性に応じて配慮する必要がある。

3-4. 小結

医療救護所の定義を確認し、5つの軸に基づき分類を行った。その結果、研究対象としてきた「最前線救急医療拠点」を5つの軸を頼りに次のようにとらえ直すことができた。すなわち、災害超急性期～急性期において、公的施設内などに展開される、拠点/定点式の、限られた医療資源の中で多数傷病者を最大限救うために TTT（トリアージ・処置・搬送）を行う医療救護所であり、非定住被災者も受入対象としながら、表1に掲げた活動主体や関係者とともに医療救護活動を展開する場である。

また、医療救護所の機能について4つのカテゴリから整理しており、今後の研究において、同拠点の条件設定を行っていくための基礎資料とした。

4. おわりに

小結に述べたように、最前線救急医療拠点をとらえ直した場合、2011年度報告書にて提案した配置（立地）に関しては表2に記載したような項目について追加の検証が可能である。また、建物/設備/

しつらい・備品等に関してはさらなる細かい項目設定が必要であり、同拠点の運用基準に基づいた仕様項目の追加も求められる。

注

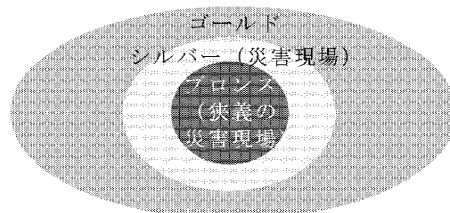
- 1) 非定住被災者とは、被災した非定住者（観光客や買い物客、飲食店利用者、営業や出張による訪問者）のことを指す。参考文献5)における注2)の説明に基づく。
- 2) 「基本防災計画」は中央防災会議（事務局：内閣府）で作成される。
- 3) 災害における時系列分類は様々*であり、本論では大阪府医師会による下記の分類を用いた。
 *「：」以降は、別名を記した。
 ①超急性期（発災後、1～2時間）：切迫期、0（ゼロ）期
 ②急性期（発災後72時間以内）：救急医療期、救助救出期（局所型災害の場合は、発災後数時間～1日程度）
 ③亜急性期（72時間～1ヶ月）：感染症対策期、保健医療期
 ④慢性期（1ヶ月～1年）：精神的援助期
 *上記は、神赤十字病院²³⁾や小原ほか⁴¹⁾らの分類もほぼ網羅されている。
- 4) 災害時に体系的な医療活動を行うための基本は、下表 C S C A T T T の7項目に集約される。
 これは医療指揮者だけでなく、医療に関わる全ての要員にとって有用であり、理解しておく必要がある。これは災害の種類、組織の違い（救急隊員、警察管、行政、ボランティアを含む）に関わらず有効である。

表 災害時に体系的な対応を行うための原則

1. Command & Control	指揮と統制
2. Safety	安全
3. Communication	情報伝達
4. Assesment	評価
5. Triage	トリアージ
6. Treatment	治療
7. Transport	搬送

1. Command & Control(指揮と統制)

医療が1つの組織として機能するために、指揮命令系統の確立が不可欠であり、「指揮」は「縦の連携」を意味し、「統制」は各関係機関の「横の連携」を意味する。指揮はゴールド/シルバー/ブロンズの3層構造により成り立ち、シルバーとブロンズの各々に指揮官が存在する。



2. Safety(安全)

安全の優先順位は自分>現場>生存被災者である。すなわち、個人の安全が最も重要であり、各々の医療従事者が適切な防護装備を着用することにより確実なものとなる。

3. Communication(情報伝達)

これまで災害現場における情報伝達は重視されておらず、そのために対応が制約される弱点となる場合が多かった。医療責任者と警察、消防等の責任者間での情報伝達とともに、医療組織内での情報伝達が不可欠である。

4. Assessment(評価)

現場の評価としては、まず負傷者の数と傷病の種類、受症度を把握する。この情報に基づいて現場での医療の初動対応が決定される。評価を継続的に実施することにより、現場における危機や需給バランスについての情報を得ることができ、それに応じて医療責任者は必要な対応を決定する。

5. 3Ts(Triage, Treatment, Transportation)

Triage（トリアージ）：緊急度と重症度から治療優先度の高い負傷者を選別する作業である。災害医療の目標は、「最大多数の負傷者に対し最良の結

果を生み出す (The best for the greatest number of victims)」ことである。そのために重要なことは、助ける負傷者に対して適切な医療を提供し救命することであり、救命の可能性が乏しい負傷者に対して人的、物的医療資源や時間を無駄に費やさないことである。この災害医療の目標を達成するための最初で、かつ重要なプロセスがトリアージである。

Treatment (治療) :

災害現場における治療の目標は、最大多数の負傷者が、医療機関まで安全に到達できるようにすることである。(根本的な治療を目指すものではない)呼吸や循環などの生理学的な異常に対して、限られた医療資源の中で最大限の効果を発揮することに努める。

Transportation (搬送)

災害医療においては、適切な負傷者を適切な医療機関へ、円滑に迅速に搬送することが重要である。患者および救急車両の動線を考慮して、トリアージポスト、応急救護所、救急車両収容所 (患者搬送地区)、救急車両待機場所を設営する。患者や救急車両の動線は、混乱を避けるために一方通行とし、移動距離が長すぎたり、あるいは混雑して搬送を妨げたりしないように適度な距離を置いて配置する。

- 5) 災害派遣医療チーム DMAT (Disaster Medical Assistance Team) とは、災害急性期に活動できる、機動性を持った、専門的な訓練を受けた、災害派遣医療チームである。DMAT チームは医師、看護師、調整員 (事務職、薬剤師、放射線技師等) により構成され、[日本 DMAT] は構成労働省が、[都道府県 DMAT] は各都道府県がその隊員を認定する。[日本 DMAT] の養成研修は2005年より始まり、基本的機能や任務は①被災地内での医療情報収集と伝達 ②被災地域内でのトリアージ、応急救護、搬送 ③被災地域内の医療機関、特に災害拠点病院の支援強化 ④広域搬送拠点医療施設 (SCU: Starting Care Unit) における医療支援 ⑤広域航空搬送におけるヘリコプターや固定翼機への医療チームとしての搭乗 ⑥災害現場でのメディカルコントロール ⑦瓦礫の下での医療 (CSM: Confined Space Medicine) を行うこと⁹⁾。
- 6) 2例挙げると、まず高知県災害医療対策本部はマニュアルの用語解説において「大規模地震発生後、医療救護対象者の治療の優先順位を判定し救護病院等への搬送を効率的に実施するため、市町村長が指定する医療救護施設。必要に応じて軽傷患者に対する軽易な処置も行います」とあり、後述される医療救護所開設作業において、屋内型 (診療所、公民館等)、屋外型 (運動場、駐車場等)、避難所併設型のそれぞれの医療救護所について開設手順が示されている。そして、葛飾区のホームページには「大地震等の災害が発生した場合に、多数の傷病者が発生したとき、または医療機関が一時的に混乱し、その機能が停止したときに医療救護所を開設し、被災者の迅速な救護を行います。なお、災害時医療救護所が開設されたときは、一般の病院・診療所は診療活動を行いません。」と説明がされており、避難所併設型の医療救護所が学校等に指定されている。

参考文献

- [首都直下地震、救護所定義]
- 1) 東京都防災ホームページ、首都直下地震等による東京の被害想定 (平成24年4月18日公表)
<http://www.bousai.metro.tokyo.jp/japanese/tmg/assumption.html>, 2012
 - 2) 東京都・東京消防庁、首都直下地震対策セミナーテキスト、p6-8、2013
 - 3) 東北地方太平洋沖地震を教訓とした地震・津波対策に関する専門調査会 (第1回)、資料4-1、防災基本計画について、p1、2011
 - 4) 甲斐達朗、災害医療救援の標準化と普及に関する提言-国際緊急援助隊 (医療班) を例として-、治療、p29、1999

- 5) 長澤泰、山下哲郎、笈淳夫、佐藤豪、路上空間における歩行者人口について-震災時における医療施設の機能維持-、総合研究所・都市減災研究センター (UDM) 研究報告書、テーマ5 小課題番号5.1、2010
- 6) 長澤泰、山下哲郎、笈淳夫、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、総合研究所・都市減災研究センター (UDM) 研究報告書、テーマ5 小課題番号5.1、2011
- 7) 佐藤豪、長澤泰、笈淳夫、村上正浩、久保智弘、山下哲郎、首都直下地震を想定した新宿駅周辺の被災人口推計と医療拠点配置の検討、日本建築学会計画系論文集、77 (682)、p2749-2755、2012
- 8) 村上正浩、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、総合研究所・都市減災研究センター (UDM) 研究報告書、テーマ5 小課題番号5.3、2010
- 9) 村上正浩、久保智弘、小宮山甫、藤村竜馬、新都心の地域減災セミナーテキスト、2011
- 10) 鱒沢曜、超高層ビル街区に応急救護所を立上げ、多数傷病者対応訓練を実施、リスク対策.com、p80-83、2010

[東日本大震災]

- 11) 石井正、石巻災害医療の全記録 「最大被災地」を医療崩壊から救った医師の7ヶ月、講談社、2012
- 12) 石巻赤十字病院・由井りょう子、石巻赤十字病院の100日間、小学館、2011
- 13) 海堂尊 (監)、救命 東日本大震災、医師たちの奮闘、2011
- 14) 山崎達枝、3.11 東日本大震災 看護管理者の判断と行動、日経研出版、2011
- 15) 日本看護協会出版会編集部、ルポ・そのとき看護は ナース発東日本大震災レポート、2012
- 16) 横田 正明 (編) 東日本大震災 自衛隊・アメリカ軍全記録、ホビージャパン、2011
- 17) 久志本 成樹 (監)、石巻赤十字病院、気仙沼市立病院、東北大学病院が救った命、2012
- 18) 梅原初枝、尾谷智加、東日本大震災の組織における救護活動を通しての学び、日本災害看護学会誌、第13回年次大会講演集、p.115
- 19) 東日本大震災救護活動に初登場!! ユニットハウス型赤十字救護所が大活躍
<http://www.tokyo.jrc.or.jp/pdf/jisin20110502.pdf>
- 20) 本間正人、小井戸雄一、近藤久禎、市原正行、DMATの活動と体制 第6回「救護所活動におけるDMATと消防の連携」、月刊消防、33 (10)、p37-41、2011
- 21) 西塔依久美、7. 救護所での実践、看護技術、vol. 57、No. 12、メヂカルフレンド社 [編]、p79-85、2011

[阪神・淡路大震災]

- 22) 平成9年度 JIHa 課題研究、病院の地震対策の具体策に関する提言の研究 報告書、社団法人日本医療福祉建築協会 1998
- 23) 神戸赤十字病院、震災から5年 災害医療の現場から、p26、2000
- 24) 近畿ブロック身体障害者施設長・信愛障害者更生相談所長協議会、阪神・淡路大震災 記録・提言集、日本赤十字社の災害救護活動、1995
- 25) 近畿ブロック身体障害者施設長・信愛障害者更生相談所長協議会、阪神・淡路大震災 記録・提言集、被災者緊急一時受入施設における看護活動、1995
- 26) 日本赤十字社、日本赤十字社の災害救護活動
<http://www.bousai.go.jp/oshirase/h15/0902nagoya/nisseki.pdf>
- 27) 南裕子 (編)、阪神・淡路大震災 そのとき看護は、日本看護協会出版会 1995
- 28) 薬業時報社大阪支局編集部 災害医療 阪神・淡路大震災の記録-被災地の命はどう守られたか-、薬業時報社、1995
- 29) 辻野博之、東灘班の活動について、阪神・淡路大震災救援活動報告書、社会福祉法人恩賜財団済生会、p28-30、1995

[先行研究]

[行政、医師会]

- 30) 新宿区、新宿区の防災対策 (概要)、2008
- 31) 新宿区、新宿区避難所地図、2012
- 32) 新宿区防災会議、新宿区地域防災計画【本冊】、p101【別冊】、2011
- 33) 葛飾区 HP: Q. 医療救護所とは何ですか
<http://www.city.katsushika.lg.jp/faq/784/788/004839.html>
- 34) 葛飾区 HP: 災害時医療救護所について
<http://www.city.katsushika.lg.jp/34/7776/000929.html>
- 35) 大阪府医師会、災害時における医療施設の行動基準 (第2版)、p10-11、13-14、p16、p24-25、2007
- 36) 大阪府医師会、災害時における医療施設の行動基準 (第2版)、p12、p31-32、2007
- 37) 高知県災害医療対策本部、高知県災害救急医療活動マニュアル、p00、2005
- 38) 広島県、災害時医療救護活動マニュアル、p7、2012
- 39) 佐賀県、災害時医療救護マニュアル、2003

[災害医療・看護]

- 40) MIMMS 日本委員会、ホスピタル MIMMS 大規模災害への医療対応 - 病院における実践的アプローチ、p15-21、2009
- 41) 小原真理子・坂井明子 (監)、災害看護 心得ておきたい基本的な知識 [改定2版]、南山堂、p30、2012
- 42) 取り組みは、災害医療・看護の基礎を身につけることから始まる Vol. 11、2006
http://www.rokushukai.or.jp/media/vivo/vivo11_01.html
- 43) 江川香奈、依田育士、内田聡、長澤泰、川原千香子、太田祥一、行岡哲男、多数傷病者受入時におけるトリージ時の所要床面積に関する研究、日本集団災害医学会誌 vol16、p88-92、2011
- 44) 大星直樹、黒田圭、鎌江伊三夫、高橋隆、災害救急時におけるトリージスタッフの最適配置分析の試み、第17回医療情報学連合大会論文集、p700-701、1997
- 45) 大江毅、北野慎一郎、星野智昭、三尾仁、伊藤正彦、鎌田裕十郎、安藤進、地元医師会を中心とした効率的な医療救護所運営のための医療救護訓練の工夫、および関係各機関、地元医師会との連携について、日本集団災害医学会、14 (2)、p211-217、2009
- 46) 金井悟史、大棒秀一、災害時の救護所等におけるエックス線撮影装置の安全な使用について、Isotope News、日本アイソトープ協会、2009
- 47) 東京都災害医療協議会、災害医療体制のあり方について (東京都災害医療協議会報告)、2012
- 48) 城川雅光、中野智継、落合紀宏、小山茂、菊池睦、中島康、東日本大震災における東京都内での緊急医療避難 (medical evacuation) とその問題点-一時医療避難シエルトアの提案-日本集団災害医学会誌、17 (1)、p234-239、2012

[整備基準 (参考)]

- 49) 国連難民高等弁務官事務所、緊急対応ハンドブック、2000
- 50) 東京都、帰宅困難者対策ハンドブック、2013
- 51) 首都直下地震帰宅困難者等対策協議会、首都直下地震帰宅困難者等対策協議会 一時滞在施設の確保及び運営のガイドライン、2012
- 52) 東京都福祉保健局、避難所管理運営の指針 (区市町村向け) (平成19年度改訂版)、2010
- 53) 国土交通省大臣官房官庁営繕部設備・環境課、業務継続のための官庁施設の機能確保に関する指針、2010
- 54) 守茂昭、震災時の医療機関被災イメージと医療 DCP 拠点施設、病院設備、vol.52、No.5 (296号)、2010
- 55) 東京都DCPモデル検討委員会、DCP (District Continuity Plan) の時代~移動市民のための防災論~、2008

超高層建築の防災計画・業務継続計画

私立工科系大学における首都直下地震による財務影響分析に関する研究

キーワード：首都圏直下地震，私立大学，財務影響，東日本大震災

久保 智弘*

1. はじめに

2011年3月11日に発生した東日本大震災では、東北地方から関東地方まで非常に広範囲で大きな揺れを観測し、さらに津波被害によって太平洋沿岸地域は深刻な被害となった^{例えば1,2)}

特に震源近傍の宮城県では、津波被害や地震動による被害も大きく、教育施設やその後の教育活動などにも影響を受けた。例えば東北大学では、主要な研究棟や研究設備が地震動による被害を受け、研究活動の停止を余儀なくされた³⁾。教育活動については、宮城県内の大学の多くでは、2011年度の開始時期を通常の4月から1か月遅らせ5月から実施することとなった。一方、大学生の生活にも大きな影響を与え、自宅が被災した学生や親族を震災で失った学生などもおり、大学生活を維持することが困難になった。そのため、そういった学生に対して、日本育英会や大学などでは、奨学金の貸与や学費免除といった対応を行い、学生が大学生活を維持できるよう支援を行った。しかし、私立大学においては学生からの授業料が収入源となっており、その収入が学費免除によって減ってしまい、さらに建物も被害を受けた場合、修繕も必要となるため、財務負担が大きくなり、大学の事業継続に影響を与える可能性がある。

そこで本研究では、宮城県内の私立大学を対象に東日本大震災による財務影響を大学の事業報告書と財務諸表を基に調査し、どのような影響があったか把握する。次に、私立工科系大学として工学院大学を対象として、今後発生すると危惧される首都直下地震が発生した場合、大学財務にどのような影響を与えるか推計を行う。

2. 東日本大震災による財務影響について

本研究では、震災による私立大学の財務影響について、どのような影響があるか把握するため、東日本大震災での被害について、宮城県内の私立大学を中心にインターネットに公開されている大学の事業報告書を基に財務影響を調査した。私立大学の情報はナレッジステーション⁴⁾にあるデータを参考にした。ここで、宮城県内の私立大学としたのは、東日

本大震災で被害の大きかった東北地方において、宮城県が主要地方都市であり、私立大学が多くあること、地震動による被害を受けた私立大学が多くあることから対象とした。

対象とした宮城県内の私立大学とその地域の震度を表1に挙げる。図1には、大学の所在地と震源位置、観測記録(K-net)を使った推定震度分布を示す⁵⁾。

表1：対象とした宮城県内の私立大学

大学名	市区町村	備考
石巻専修大学	石巻市	専修大学に含まれる
仙台白百合女子大学	仙台市泉区	大学、高校、中学、小学校、幼稚園
東北福祉大学	仙台市青葉区	大学、看護学校
東北文化学園大学	仙台市青葉区	大学、幼稚園、専門学校
東北学院大学	仙台市青葉区	大学、高校、中学、幼稚園
仙台大学	柴田郡柴田町	大学、高校
東北薬科大学	仙台市青葉区	大学のみ
尚絅学院大学	名取市	大学、高校、中学、幼稚園
東北工業大学	仙台市太白区	大学、高校
東北生活文化大学	仙台市泉区	大学、短大、高校、幼稚園
宮城学院女子大学	仙台市青葉区	大学、高校、中学、幼稚園

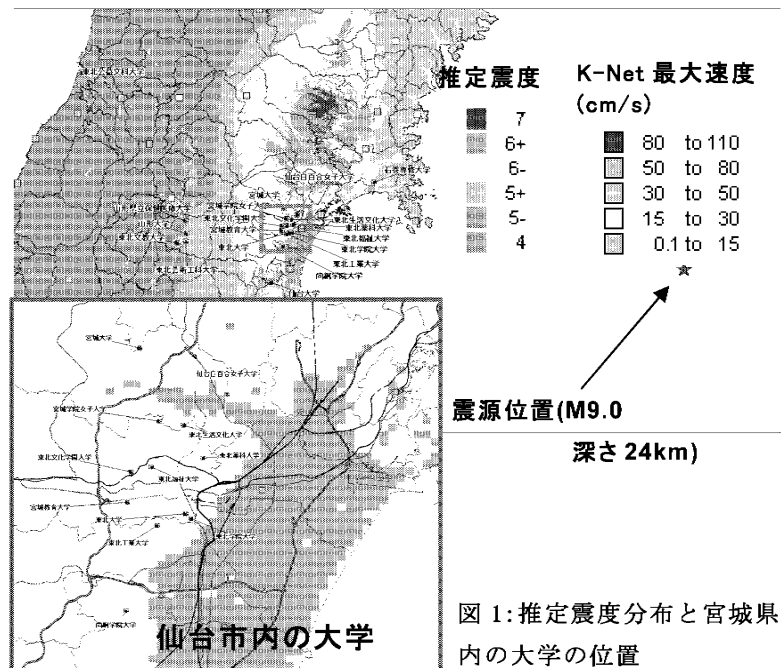


図1: 推定震度分布と宮城県内の大学の位置

表1に示した私立大学の事業報告書もしくは財務諸表を基に分析するにあたり、備考に示したように大学のみの財務報告の場合と付属高校や中学、幼稚園などの金額が含まれる場合がある。また、石巻専修大学のように学校法人が専修大学となっており、専修大学と石巻専修大学、専修大学北海道短期大学が一体となっている場合は、石巻専修大学だけの財

務への影響を把握できない場合もある。同様に仙台白百合女子大学についても学校法人白百合学園として、東京都調布市や仙台市、盛岡市、函館市などにある白百合学園全体の財務諸表となっている。そのため、本研究では、財務諸表に掲載されている金額をそのまま使い、東日本大震災による影響が含まれていると仮定して、震災前の2010年度と震災後の2011年度の財務諸表を比較し、事業報告書を参考にして震災による財務への影響を検討する。

表1に挙げた宮城県内の私立大学の学校法人について、インターネットに公開されている2010年度と2011年度の財務諸表及び事業報告を確認したところ、震災による影響として、支出に研究教育設備・施設の被害による修繕費用と被災した学生への奨学金が2010年度と比べて大きくなっていった。また、事業報告書からもこれら支出は震災によるもので、2010年度よりも大きくなったことを確認した。一方、収入については、被災した大学への公的な支援として、国庫補助金や地方公共団体補助金が2010年度と比較し大きく増えたことを確認した。また、収入の寄付金については、震災により大学卒業者や大学関係者から震災支援としての寄付金とした大学と震災による経済的な影響を考慮し、通常の寄付金を受け付けなかった大学もあった。表2に調査した大学の資金収支報告書から読み取った支出に関する金額を2010年度と2011年度の比として求めた結果を示す。

表2: 宮城県内の私立大学における研究教育経費の2010年度と2011年度の比較

大学名	研究教育経費		
	研究教育経費	うち奨学金	うち支払修繕料
石巻専修大学	1.13	2.41	1.09
仙台白百合女子大学	1.46	---	---
東北福祉大学	1.20	3.56	1.92
東北文化学園大学	1.46	---	---
東北学院大学	1.46	6.11	4.89
仙台大学	1.60	3.09	0.89
東北薬科大学	1.35	---	---
尚絅学院大学	1.35	2.78	2.47
東北工業大学	1.36	6.83	2.96
東北生活文化大学	2.01	---	---
宮城学院女子大学	1.71	20.71	3.12

表2からほぼすべての大学で、研究教育費経費が2010年度に比べ2011年度では、大きくなっており、このうち学生への奨学金の増加が2倍以上となっていることが分かる。特に宮城学院女子大学では20倍近くになっているがこれは大学の事業計画として奨学金事業の拡大を図っていたため、震災による奨学金の影響に加えて、大きくなったと考えられる。支払修繕料については、震災による研究設備・施設に被害を受けたため、ほとんどの大学で増加した。

仙台大学は減少となっているが、これは、震災により被害を受けたプールなどまだ未補修の物があるためまだ最終的な支払修繕料となっていないため計上していないことから前年度と比べて減った結果となった。次に表3には、調査した大学の資金収支報告書から読み取った収入に関する金額を2010年度と2011年度の比として求めた結果を示す。

表3: 宮城県内の私立大学における寄付金、補助金収入の2010年度と2011年度の比較

大学名	寄付金	国庫補助金	地方公共団体補助金
石巻専修大学	12.87	1.27	0.53
仙台白百合女子大学	2.67	1.26	1.06
東北福祉大学	13.44	1.21	3.70
東北文化学園大学	6.27	4.86	1.06
東北学院大学	1.67	1.97	1.39
仙台大学	0.29	4.36	1.40
東北薬科大学	1.49	1.28	1.05
尚絅学院大学	1.80	1.20	1.24
東北工業大学	1.61	2.29	1.36
東北生活文化大学	3.64	3.25	1.08
宮城学院女子大学	1.90	2.14	1.19

表3から、ほとんどの大学で寄付金が大きく増加していることが分かる。これは震災によって被災を受けた学生へ支援したいと考える大学関係者や卒業者による支援が現れた形となっている。次に補助金収入についてはほぼすべての大学で増加となっており、これら補助金が増加したことによって、震災により被害を受けた研究教育設備・施設の修繕や被災した学生への支援として充てたと考えられる。

表2,3からほぼすべての私立大学で震災により研究教育設備・施設が被害を受けたが、被災した学生への支援を奨学金という形で学生が継続的に大学に通い続けられるように措置をとった。そしてこれら修繕に掛かった費用や学生への支援については、補助金や寄付金によって補う形で大学財務の安定を図り、震災による財務影響を最小限にとどめることができたと考えられる。

ここでは2010年度と2011年度の比較によって、どのように私立大学の財務状況が変化したかについて調査を行った。その結果、震災により財務として影響が表れたのは支出としては、研究教育施設・施設に関する項目と学生への支援としての奨学金、収入としては寄付金と補助金に関するものであることが分かった。しかし、ここでは2年間での表面的な財務の変化を把握したに過ぎず、震災によって地域経済に大きな影響を与えており、大学への志願者数の変化や少子化などの社会環境の変化によって大学の財務状況に影響が表れる可能性もある。

3. 工学院大学における財務影響分析について

次に、中央防災会議や東京都の被害想定で検討さ

れている首都直下地震による私立大学の財務影響について検討をする。ここでは、首都直下地震については、現在中央防災会議や東京都において見直しを行っているためここで用いる首都直下地震は、平成17年から18年に検討された東京湾北部地震⁶⁾とし、工学院大学を対象に検討をする。対象とする震災による影響は、前章で検討した東日本大震災によって宮城県内の私立大学で影響の見られた研究教育設備・施設に関する被害と奨学金に関する項目とする。収入に関する寄付金や補助金については、将来的な物であり予測は難しいためここでは検討に含めない。

3.1 研究教育施設への被害について

まず教育研究設備・施設に関する被害については、工学院大学新宿キャンパスの構造的な被害による損害と八王子キャンパスにおける構造的な被害による損害について検討する。

工学院大学新宿キャンパスにおける東京湾北部地震による予想損失額は、長澤・久田⁷⁾によって検討されており、それによると構造部材や非構造部材、設備機器などを含め約18億円と推計している。しかし、この金額は損害額で修繕費用ではないため、この金額をそのまま使うことはできないため、ここでは、林他⁸⁾を基に、長澤・久田⁷⁾から各階の損失率が10~20%程度であることから被害レベルを中破と想定し、延べ床面積を用いて、事務所として計算すると約28億円かかり、S造とした場合は、約37億円かかる。しかし、林他⁸⁾は阪神淡路大震災を基に必ずしも高層ビルに適用できるものではないがここではこの値を修繕費用として検討する。参考までに東日本大震災の時には、新宿キャンパスで天井落下やエレベータで被害が発生したが、構造的な被害が発生しなかった¹⁰⁾。これら発生した被害の修繕費は内装の修繕で270万円、エレベータで約200万円となった。

次に八王子キャンパスについては、東京湾北部地震による被害想定がされていないため、ここでは簡便な方法として、内閣府により提供されている計測震度分布図を基に、想定される地表面速度を翠川他⁹⁾から求め、から被害レベルを求め、新宿キャンパスと同様に林他⁸⁾から補修費用を求めた。八王子キャンパスの想定計測震度は5.3で地表面速度を計算すると32.8cm/sと程度なる。表4に各建物の構造種別、登記簿上の床面積、階数、竣工年を示し、入力地震動を32.8cm/sとして、宮腰他¹¹⁾により中破以

上の被害率を求め、さらに林他¹²⁾より小破の被害率を求めた。ここでは、SRC造の被害率はRC造と仮定している。この表から、ほぼすべての建物で、中破以上の被害率が小さいことから、ほぼすべての建物で、小破以下となると想定される。次に、4、5号館では小破の被害率がそれぞれ3.5%、5.5%と小さい値になっており、おそらくあまり被害が発生しないと考えられるが、ここでは小破が発生し、補修を行うとする。それ以外の建物についても1%以下となっており、ここではほぼ被害がないと仮定する。そのため、林他⁸⁾から構造種別をRCとSRCとして4、5号館の補修費を求めると約2億円となる。

表4: 八王子キャンパスにおける建物被害推定

建物名	延べ床面積(㎡)	構造種別	竣工年	階数	中破以上	小破
3号館	3,726.59	SRC	1985	3	0.00%	0.14%
4号館	1,977.70	RC	1988	3	0.29%	3.50%
5号館	5,793.50	SRC	1986	9	0.01%	5.53%
6号館	416.10	RC	1986	1	0.00%	0.14%
7号館	239.83	RC	1986	1	0.00%	0.14%
8号館	1,925.65	RC	1986	3	0.00%	0.14%
9号館	220.57	RC	1986	2	0.00%	0.14%
10号館	322.93	RC	1986	2	0.00%	0.14%
11号館	1,318.95	RC	1986	2	0.00%	0.14%
11号館増築	1,329.69	S	2002	5	0.10%	---
12号館	1,669.96	RC	1986	3	0.00%	0.14%
13号館	1,947.25	RC	1998	4	0.00%	0.14%
14号館	289.08	RC	1999	2	0.00%	0.14%
15号館	3,878.06	RC	2000	2	0.00%	0.14%
16号館	3,493.25	RC	2000	5	0.00%	0.14%
17号館	4,059.99	RC	2006	4	0.00%	0.14%
18号館	4,614.96	RC	2007	4	0.00%	0.14%
総合教育棟	11,746.34	免震プレキャスト	2013	4	0.00%	0.14%

以上のことから、新宿キャンパスと八王子キャンパスを合わせて修繕費に約30~40億円かかると推定される。工学院大学の平成22年度の資金収支計算書の修繕費が約1億円でこれと比較すると30~40倍になることになる。なお、ここでは、簡易的な方法で建物被害とその修繕費を求めたため、地震動を用いた動的解析などにより詳細な被害推定を行い、修繕費も建物の実情にあった値を使って検討する必要がある。

3.2 奨学金の対応について

次に、東日本大震災で宮城県内の私立大学の対応として増加の見られた奨学金に関する推計をする。ここでは、内閣府により提供されている計測震度分布図を基に工学院大学の2008年の学部生、院生の保証人の住所データをGIS上にプロットして地震動を求める(図2)。次に岡田、高井¹³⁾から木造建物の耐震性能を $I_s=0.4, 0.5, 0.6$ の3つの場合に仮定し、被害率を求めた。さらにその被害率から全壊を被害率60%、半壊を被害率40%、一部損壊を被害率10%と仮定する。ここで、保証人の住所から、マンション・アパート名があるものは木造家屋ではないと仮定し、被害率を一段階軽いものに仮定する。さらに、液状

化危険度が高いところでは、内閣府の想定手法⁶⁾を参考に木造建物と仮定したものうち、9.6%が全壊と仮定する。次に奨学金として、全壊は1年間学費免除(学部 1,350千円、大学院 860千円)、半壊は半年間免除と仮定して、奨学金として支払う金額の推定を行い、その結果を表5に示す。これらの表から奨学金として、約1億7千万から約9億円を奨学金として支払うことになる可能性がある¹⁾と推計される。

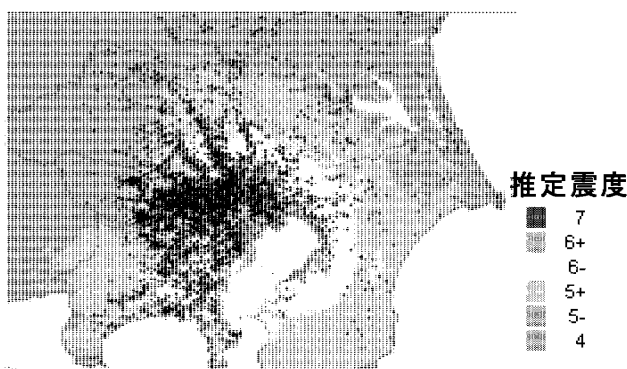


図2：東京湾北部地震の推定震度分布と学生居住地

表5：奨学金の推計結果

	奨学金の推計(千円)		
	IS=0.6	IS=0.5	IS=0.4
学部	160,650	338,850	882,900
大学院	11,180	27,520	61,060

工学院大学の平成22年度の資金収支計算書から奨学金について比較すると平成22年度は、107百万円であったため、最大で約8倍まで大きくなる可能性がある。

さらに関東地方の私立大学をGISにプロットし、図2のように内閣府の震度分布図と重ね合わせると関東地方の221の私立大学のうち、195校が震度5強以上となる可能性がある。このため、これら195校の大学が同様の地震被害を受け、補助金からの収入を求めようとした場合、東日本大震災のように国が補助金として被害を受けたすべての大学に支払うことは、首都が被災した経済状況を考えると非常に難しいと考えられる。このため、各大学で何らかの形で震災対応に必要な費用を確保しておく必要がある。

4. まとめ

本研究では、東日本大震災において、宮城県内の私立大学について、大学財務にどのような変化があったか私立大学が公開している事業報告や財務諸表を基に調査した。その結果支出については、ほぼすべての大学で建物被害の修繕費と被災した学生への

奨学金について、前年度と比べて大きくなっていることを確認した。また、収入については、寄付金と補助金が前年と比べて大きくなり、これによって財務のバランスがとられていた。次に首都直下地震が発生した場合、工学院大学を対象に大学財務にどのような影響があるかについて、推計を行った。推計を行う際に東日本大震災で宮城県内の私立大学で変化の見られた建物の修繕費と学生への奨学金を対象とした。その結果、建物の修繕費と学生への奨学金が工学院大学の場合でも大きくなることを確認した。一方、収入については、寄付金は震災による経済的な影響が大きな要因となることからここでは推計はできなかった。補助金については、同様に地震によって被害を受ける私立大学が関東地方には多く存在することから、東日本大震災以上の対応が必要となるが、首都が被害を受けている状況を考えると国による補助金が十分に支給されると想定できない。そのため、各大学で地震保険やCATBOND¹⁴⁾などの震災に備えたリスクマネジメント策を検討する必要がある。

謝辞

本研究を行うにあたり、工学院大学施設課から震災による修繕費、延べ床面積に関するデータなど提供していただきました。地震記録として、防災科学技術研究所 強震観測網を使用させていただきました。

参考文献

- 1) 東京消防庁、平成23年東北地方太平洋沖地震調査報告書、平成24年1月
- 2) 日本建築学会、2011年東北地方太平洋沖地震災害調査速報、2011年7月
- 3) 東北大学災害科学国際研究所、東北大学による東日本大震災緊急報告書、<http://irides.tohoku.ac.jp/event/houkokukai/index.html>
- 4) ナレッジステーション、日本の大学、<http://www.gakkou.net/dairaku/>
- 5) 久保智弘、久田嘉章、柴山明寛、大井昌弘、石田瑞穂、藤原広行、中山圭子、全国地形分類図による表層地盤特性のデータベース化、及び、面的な早期地震動推定への適用、日本地震学会、地震 第56巻、pp.21-37、2003
- 6) 内閣府、防災情報のページ、<http://www.bousai.go.jp/>
- 7) 長澤徳明、久田嘉章、首都圏に建つ超高層キャンパスと地域連携による地震防災に関する研究(その5) 都心高層キャンパスの地震リスクマネジメントに関する研究、日本建築学会大会学術講演梗概集(中国)、2008.9、構造II、pp.821-822
- 8) 林康裕、鈴木祥之、宮腰淳一、渡辺基史、耐震診断結果を利用した既存RC造建築物の地震リスク表示、地域安全学会論文集、No.2、pp.1-8、2000
- 9) 翠川三郎、藤本一雄、村松郁栄、計測震度と旧気象庁震度および地震動強さの指標との関係、地域安全学会論文集、No.1、pp.51-56、1999
- 10) 久保智弘、久田嘉章、相澤幸治、大宮憲司、小泉寿斗、東日本大震災における首都圏超高層建築における被害調査と震度アンケート調査、日本地震工学会、日本地震工学会論文集、第12巻 pp.1-20、2012
- 11) 宮腰淳一、神原浩、福和伸夫、山口司、構造的な被災判定基準に基づく被害率曲線、日本建築学会大会学術講演梗概集(東海)、pp.25-26、2003
- 12) 林康裕、宮腰淳一、田才晃、大野義照、1995年兵庫県南部地震におけるRC造建物群の耐震性能、日本建築学会構造系論文集、第528巻、pp.135-142、2000
- 13) 岡田成幸・高井伸雄、木造建築物の損傷度関数の提案と地震防災への適用、日本建築学会構造系論文集、2004
- 14) エリック・パンクス著、小野雅博 監訳、企業リスク・マネジメント入門、シグマベイスキャピタル、2007

1*：工学院大学建築学部 特任助教・博士（工学）

翌日以降は、安否確認を行う部署が多かった。教務課、学生課を中心に、在学生、各学科事務は、教員、入試課は、本学入学予定者の安否確認業務を行った。発災後一週間で以降では、施設部が本格的に被災施設の復旧業務を行った。

3 今後、震災時に行おうと想定している震災対応業務調査

3. 1 調査概要

本調査の目的は、各部署が想定している震災対応業務の把握である。被害程度として「3.11 以上」「3.11 程度」の2つを想定し各部署の業務を、被災当日などに行う業務と復旧業務の2つの欄に書き分け。また、部署を構成する人員数も記入していただいた。記入は、各部署の部長クラスの方をお願いした。

「3.11 以上」の想定は、新宿校舎はライフライン(電気、水道など)が全く使用できず(1週間程度)、内装や設備の一部に大きな被害が発生、交通機関のマヒが発生(1週間の公共交通機関使用不可)とした。

「3.11 程度」の想定は、新宿校舎は一部損傷がある(3.11 程度)、新宿校舎のライフライン(電気、ガス、水道)は使用可能、交通機関のマヒが発生。(3.11 程度 発生～1日は公共交通機関使用不可)とした。

震災対応の種類を以下に示す12項目に整理し、各部署の調査回答の震災対応業務の特性を捉えた。

- 1.安否確認(学生、教職員の安否確認作業など)
- 2.学生対応(避難誘導、物資配布など)
- 3.教職員対応(安全確保、避難誘導など)

- 4.帰宅困難者対応(物資配布など)
- 5.外部情報・状況の把握(交通状況、他大学状況など)
- 6.内部情報・状況の把握(被災状況確認、避難階の見回りなど)
- 7.外部への情報発信(工学院大学の状況報告など)
- 8.内部への情報発信(職員への指示、帰宅困難者への情報提供)
- 9.お金に関すること(給与システムなど)
- 10.情報・システムに関すること
- 11.設備・施設に関すること(校舎の目視点検など)
- 12.災害対策本部に関すること(対策本部設営、対策本部からの指示など)

3. 2 特性分析結果

被災対応業務と業務特性を対応させ、特性分析一覧(表2)にまとめた。

被災対応業務の中で、安否確認業務に携わると回答している部署は、28部署中20部署であった。学務部学務課は「学内滞在学生・教職員等の安否確認の指示出し、取りまとめ」となっており、安否確認の中核を担う部署であることがわかる。

研究室に滞在している学生と教員の安否確認業務は、各科事務室が担っているが、情報学部事務室、電気系学科事務室、建築系学科事務室に関しては、教員を中心に安否確認を行うとしている。

また、12階職員全体の安否確認は、学生支援部学生支援課や学務部学務課が担い、13階の職員全体の安否確認は、総務部総務課が担う。教育支援機構図書館は、図書館利用者、情報システム部は、情報処

表2 特性分析結果一覧

業務特性	法人部署										大学部署																	
	総務課	人事課	システム部	企画課	広報課	管財課	経理課	施設課	購買課	理科教育	学長企画	図書館	学習支援	学務課	基礎・教養	化学事務	機械事務	建築事務	情報事務	電気事務	学習支援	教務課	学生支援	就職支援	入学課	入学広報	研究推進	国際交流
安否確認														◎														
学生(外部)																					◎							◎
研究室配属学生															◎	◎	◎	◎	◎									
学生学内滞在者	○																				○							○
教員															○	◎	◎	◎	◎	◎								
職員	◎	○		○			○	○			○												◎					
各施設利用者			○					◎			○																	
学生対応		○											◎								○		◎	○				
教職員対応		○						○					◎				○						○	○	○	○		
帰宅困難者対応	○	○	○				○	○		○						○						○	○					
情報把握	○	○			○		◎	◎			○		○				○	○		○			◎			○	○	○
情報発信	○		○	○	◎		○	○			○		○			○	○	○	○	○		○	○					○
お金		○					○	○	◎																			
情報・システム			◎																									
設備・施設	○	○	◎				○			○					○	○	○	○			○						○	○
災害対策本部	◎	○			○	○	○				○		◎		○	○	○	○	○	○		○				○		

◎業務の中心を担うもしくは、業務に特徴がある部署

○業務をおこなう部署

理演習センター利用者、施設部施設課は、エレベータの閉じ込め対応と、各部署が管理をしている施設利用者の安否確認を行うとしている。

学習支援部学習支援課は、インターンシップ等で学外に出ている学生、国際交流センターは、留学生、寮に住んでいる学生、1階アトリウム在留学生、総務部総務課と学習支援部教務課は、学内在留学生の安否確認を行うとしている。その他の部署は、自部署の課員の安否確認を行うにとどまっている。

学生対応業務は、避難誘導や学生休憩所の見張り、物資配布が主なものである。また、特徴的な業務をあげているのは、学生支援部学生支援課と学務部学務課で、それぞれメンタルヘルスの対応とメール・キューポート・ホームページを使った情報提供を担っている。

帰宅困難者対応業務は、救援物資配布や帰宅困難者の受け入れ対応が主なものであり、救援物資配布業務は、総務部、財務部、理科教育センターが主に行うことになっている。また、3.11以上の被災では、情報システム、化学系学科事務室、学生支援部学生支援課は、帰宅困難者への対応が困難としている。

情報把握業務は多岐にわたることが窺えた。特に、学生支援課就職、財務部経理課、施設部購買課では、自部署に特化した業務内容になっていた。財務部経理課は、金融機関との連絡ラインを確保し、ファームバンキングシステムの被害状況などを確認、把握し、金銭出納に関する対応を行うとしている。

施設部購買課は、取引業者の被災状況や納品状況によっては、代替となる発注を行うとしている。

情報発信業務に特徴的がある部署は、総合企画部広報課である。報道関係の取材、問い合わせ、会見等を行うとしており、外部と工学院大学を結ぶ重要な業務を担う部署である。

震災後いち早く行うお金に関する業務は、施設部購買課の緊急を要する災害対応備品の購入手続きであった。

情報システム関連業務は、情報システム部に業務が集中している。情報システム部の人員17名のうち正職員は5名で、震災対応の際の正職員の負担が大きいことが予想される。また、東日本大震災時の、災害対策本部の立ち上げの遅れ原因の一つは、情報システム部の本部立ち上げ担当職員が不在だったことであった。

施設・設備に関する業務を担っているのは、施設

部施設課と情報システム部である。施設・設備に関する業務は、専門性が高く限られた職員が震災対応業務を行うことになる。また、外部への施設の貸し出し管理は、総務部総務課が行っている。震災直後早急に施設貸出を予定している機関・業者への使用中止の連絡業務は、東日本大震災時も行われていた。その他の部署の施設・設備に関する業務としては、被災状況確認が大方を占める。

災害策本部業務は、28部署中17部署が関わると記入している。大方の部署は、本部からの指示や方針にしたがって行動するというスタンスである。2012年度から危機管理室が統合された総務部総務課が、災害対策本部の業務を担っている。また、本部の立ち上げ支援と具体的に記入していたのは、学務部学務課であった。

4 通常大学業務優先度調査

4.1 調査概要

本調査の目的は、各部署が考えている、被災時に優先すべき業務の把握である。2011年の調査では、被災時における業務の優先度とし、各部署に通常時務の優先度について高い順に◎、○、無印で回答してもらった。

2012年調査も、2011年調査、同様に業務の優先度を記入していただいた。しかし、2011年調査では、各部署の優先度のレベル設定がバラバラになってしまった反省を生かし、優先度のレベルを明確にした。以下に各記号のレベルを示す。

◎：被災時も継続が最優先される業務

○：部署の主要業務

●：時期によっては継続が優先される業務

△：その他業務

その他に、「該当業務の対応時期」「業務に必要なもの」「該当業務の八王子校舎での代替可否」の項目を設け記入していただいた。また、ほとんどの部署から通常業務分担表を提供していただきより詳しい業務内容を把握できた。

被災時にも遂行すべき通常大学業務の特徴を以下に示す7項目に整理し、各部署の調査回答の被災時通常業務の特性を捉えた。

- 1.学生に関すること（教育活動・奨学金など）
- 2.教職員に関すること（会議・研究費など）
- 3.お金に関すること（教職員の給与・奨学金・学校運営費など）

- 4.情報収集・発信に関すること(キューポート, 広報など)
- 5.施設・システムなど物に関すること(データベース運用管理・設備点検など)
- 6.催し物に関すること(入試・卒業式・入学式など)
- 7.対外的なこと(共同研究・地域貢献・入学予定者など)

4. 2 通常業務の特性分析の傾向

特徴を捉えた結果、各部署の被災時優先通常業務の大枠を把握できた。法人部署は物品の発注, 支払, 給与, 予算管理などお金に関する業務や学園のデータベース管理業務や開発・保守業務、また、国, 市役所, 近隣住民などの外部とのやり取りを行う業務など、学校運営を担っている業務が◎業務としてあげられている。さらに、創立記念日式典やホームカミングデーの検討など式典やイベントなどの催し物の検討業務が◎とされている。

大学部署は、学生窓口業務, 学籍管理, 論文関係など学生に直接かかわる業務や各種入試の試験業務など教育活動を行うための業務と、法人部署同様、入学式やガイダンスなどの式典やイベントを◎業務としてあげている。

「業務に必要なもの」の回答は、多くの部署がパソコンと学内システムをあげており、電力供給の停止やシステム環境が停止した場合、ほとんどの業務が行えないことがわかった。

また、「該当業務の八王子校舎での代替可否」の回答で、業務の代行不可の割合は少なかった。代替不可としている理由は、八王子に関連部署がないことや、業務を行う環境がないためであると推測されるが、やりようによっては、可能であると思われる業務もある。今後、各部署へのヒヤリングなど詳しい調査が必要である。

5 BCPの枠組み構築

5. 1 枠組み構築の概要

大学は、一般に、教育活動, 研究活動, 社会貢献の三つを大学の使命として業務を行っている¹⁾。そして、大学業務は、お金, 人・組織, 情報システム, 設備・施設, 公共インフラなどのリソースによって支えられている。こうしたことを踏まえ、大学BCP構築のための大学の事業枠組みとして想定した、通常時の大学運営モデルを、図2に示す。

図2を基に、被災時の様子を図3に示す。震災発生直後は、大学運営を支えるソースが制限される。加えて、震災時は、被災対応業務を行わなければならないが、限られたリソースで通常大学業務を行うには、業務を絞り込まなければならないことが分かる。

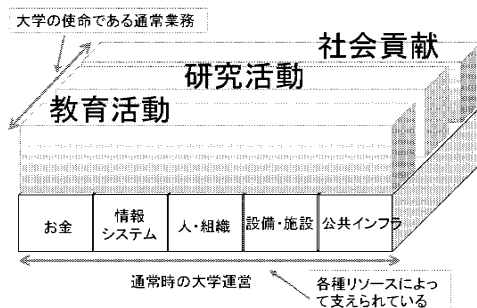


図2 大学運営モデル

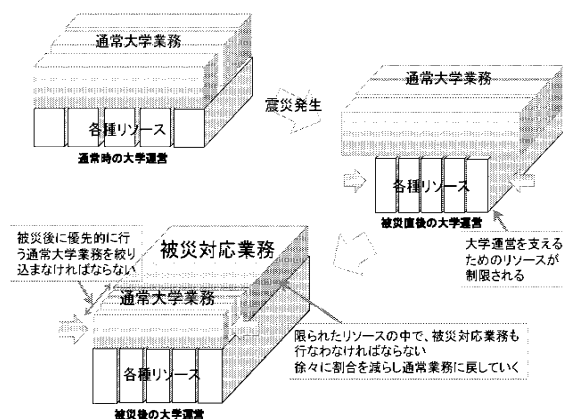


図3 被災時の大学運営モデル

本研究では、想定した大学の事業枠組み、本研究での調査分析を踏まえ、被災時業務の選定および被災対応業務フローを1)～3)の手順で作成した。

- 1) 被災時も遂行すべき業務の選定基準になる基本方針と条件の設定を行う。
- 2) 1)で設定した選定基準と、被災時に考慮すべき「生命の安全確保, 二次災害の防止, 地域貢献・地域との共生」の3点も含め、調査回答から業務の選定を行う。
- 3) 時系列で業務区分を設定し、選定した各部署の業務と対応させ、被災対応業務フローを作成する。

業務を選定し、設定した業務区分に対応させ、被災対応業務フローを作成することにより、各部署が震災時に迷わずに業務に取り掛かることができる。

5. 2 大学としてのBCP基本方針の提案

BCP基本方針は、企業や団体の理念に基づき提案

されることが理想とされている²⁾。そのため工学院大学の理念である「無限の可能性が開花する学園」と大学の社会的立場を考慮し提案を試みた。基本方針は①～③に示すものとした。①，②は大学の理念に基づく提案，③は大学の役割に基づく提案である。

① 「無限の可能性の開花

「無限の可能性」は、学生の能力の無限の広がりと同様化する社会・産業と学問の組み合わせを表している。「開花」は、学生の多様な可能性を開花させ、自己実現を達成させ、さまざまなかたちで社会に貢献することを表している。これらを考慮し、学生の可能性を妨げないような運営を継続する。

② 学園としての継続

「学園」は、研究を主に行う機関ではなく“教育”のための機関であることを強調し表している。これを考慮し、教育活動の継続に注力する。

③ 社会的信頼性の確保

大学は、企業と異なり、利益追求のための組織ではなく、非営利かつ公益的な組織である。³⁾ そのため、社会に対する信頼、信用は非常に大切であり、企業や外部団体に迅速に対応できるよう運営する。

本研究では、これら3つを基本方針に設定し業務の選定を行うこととした。

また、被災時に事業継続と共に求められるものとして、内閣府が発行している事業継続ガイドライン第二版⁴⁾では、生命の安全確保、二次災害の防止、地域貢献・地域との共生の3つをあげている。これら3つも考慮し被災時に遂行すべき業務を選定した。

5. 3 選定条件の設定

BCPでは、主に最悪の状況やさまざまな状況を想定し、条件の設定を行う。しかし、本研究では、最低限のライフラインは確保されており、建物被災状況は、3.11程度であることを想定して、業務の選定を行った。

2012年度調査の「各部署業務に必要なもの」の調査回答では、ライフラインが確保されない以上、教育機関としての継続が困難であることを把握できた。

5. 4 業務区分の設定

三つの業務区分を設け、被災対応業務と被災時も行わべき大学通常業務を対応させた。業務区分は、業務を行うタイミングの明確化を目的として、実践事業継続マネジメント（第2版）⁵⁾を参考に設定し

た。業務区分の概要を図4に示す。

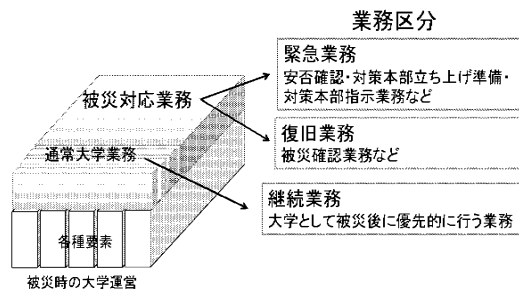


図4 業務区分概要

被災対応業務は、緊急業務と復旧業務に分けた。緊急業務は、震災発生直後に行う業務とした。基本的に災害対策本部が立ち上がる前に行う業務であり、安否確認や災害対策本部立ち上げ準備などが該当する。復旧業務は、被災確認業務など緊急業務が終わり次第遂行する業務が該当する。継続業務は、大学として被災後に優先的に行う業務が該当する。

5. 5 被災時に遂行していく業務の選定

提案した基本方針、条件設定、事業継続と共に求められるものを基準にし、被災対応業務と、大学として被災後に優先的に行う業務を選定した。選定した業務を業務区分と対応させ、各部署の被災対応業務フローを作成し、業務を選定することにより、東日本大震災時のように災害対策本部の立ち上げが遅れた場合でも、迷うことなく業務に取り掛かれるようになるはずである。被災対応業務フローを図5に示す。

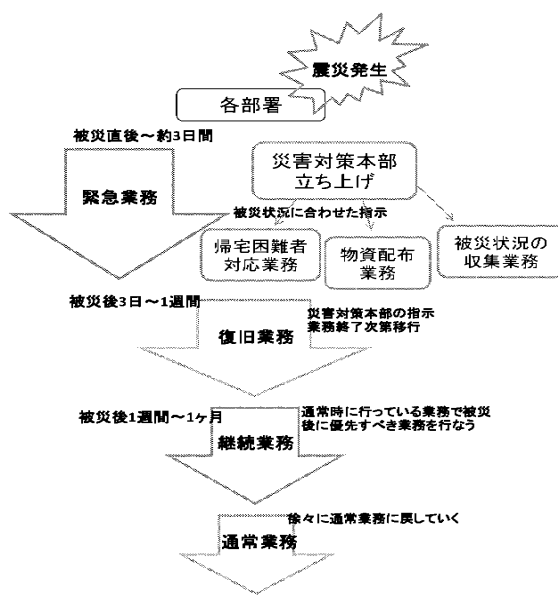


図5 被災対応業務フロー

震災発生後直後は、各部署が緊急業務を行うこととなる。災害対策本部の立ち上げ後は、その指示のもとに各部署が業務にあたり、指示業務が終了した者から随時、復旧業務に移行し業務を行い、その後、継続業務に移行し、徐々に大学業務を支える各種リソースが整い次第、通常大学業務に戻していくこととなる。

緊急業務と復旧業務は、2012年度「震災を想定した各部署震災対応業務調査」の回答にあった業務から抽出した。継続業務は、2011年度、2012年度「通常大学業務優先度調査」の回答にあった業務から抽出した。選定した各部署業務を表3に示す。継続業務に関しては、各部署が通常時に行っている業務の特徴が反映されていた。

6 むすび

本研究では、東日本大震災時の被災対応業務、想定被災対応業務が把握できた。また、調査回答の分析結果を基に、大学BCPの枠組みの構築を試みた。しかしながら、本格的な大学BCP策定には、大学としての基本方針・業務の目標復旧時間・リスクなどの設定や、業務で必要なもののさらに詳細な把握、重要業務の代替案の検討など、多くの課題があるが、本研究の成果が、こうした大学BCP策定の重要性を示し、具体的な策定に資することができれば幸いである。

表3 選定した各部署業務

部署名	人員			緊急業務		復旧業務	継続業務
	総人員	正職員(嘱託)	パートなど	安否確認など	対策本部指示		
総務部総務課	5	3	2	13階安否確認 災害対策本部設置	災害対策本部在住 外部機関へ施設貸出中止連絡	13階被災状況確認	学外機関および他大学法人への連絡
情報システム部	17	5	12	利用者の安全確保 14階・15階安否確認 研究室配属学生の安否確認 システムの動作確認	本部指示に従う	サーバー室などの被災確認 要員確保の現実的判断 情報システムの状況確認	学園情報データベースの維持管理
財務部経理課	5	4	1	課員の安否確認 防犯管理	帰宅困難者支援 救援物資配布	大学内の資産・物品状況把握 金融機関との連絡 本部指示に従う	収納・出納・支払業務
学務部学務課	8	6	2	12階安否確認 災害対策本部設置支援 安否確認全体の取りまとめ	WEBを使った情報提供		教職員人事業務 大学予算業務
教務課	15	11(3)	4	課員の安否確認 保証人等の問い合わせ対応	帰宅困難者対応	事務フロアの被災確認	授業・履修/成績/学籍 試験/修論・博論/学費
建築系学科事務	4	2	2	24階・25階・26階安否確認 研究室配属学生の安否確認 学科教員の安否確認	本部指示に従う	24階・25階・26階被災確認	学生窓口 ゼミ卒論配属・卒業判定 入学式・進学ガイダンス・学位授与式

大地震発生直後における建物健全性の応急的使用性に関する研究 — 罫書き装置を用いた層間変位の簡便な測定法 —

キーワード 損傷度評価、層間変位、罫書き装置、振動試験、退避行動

宮村 正光*

1. はじめに

東京都は首都直下地震など首都圏周辺での大地震発生時に懸念される帰宅困難者への対応として、『東京都帰宅困難者対策条例』を制定し、混乱をできるだけ避けるため、建物、施設の安全が確保されれば、できるだけ帰宅せず、72 時間を目途に、建物内にとどまるよう企業に要請している。この場合、前提となるのは建物の健全性の判断であるが、専門的な知識をもたない建物管理者にとって、保有する建物、施設の健全性、特に構造躯体の健全性を即座に評価することは困難で、専門家も即座に駆けつけることは難しい現状にある。さらに3日間滞在するためには、単に構造躯体の健全性だけでなく、電気、水道、トイレや空調設備、室内居住空間の確保など、業務継続に必要な機能確保も求められる。

即ち、地震発生直後には、即時に退避行動を起こすべきか否かの判断基準と3日間の滞在に必要な機能性や使用性についての判断も必要となる。本報告では、最も基本となる即時行動の判断の拠り所となる、建物構造躯体の健全性を評価する際、客観的な指標を提供する簡便な罫書き装置の概要と、予備振動試験の結果を示す。図1は地震発生直後に求められる判断内容の概略の流れを示したもので、罫書き装置は構造ヘルスマニタリングの一部として位置づけされる。

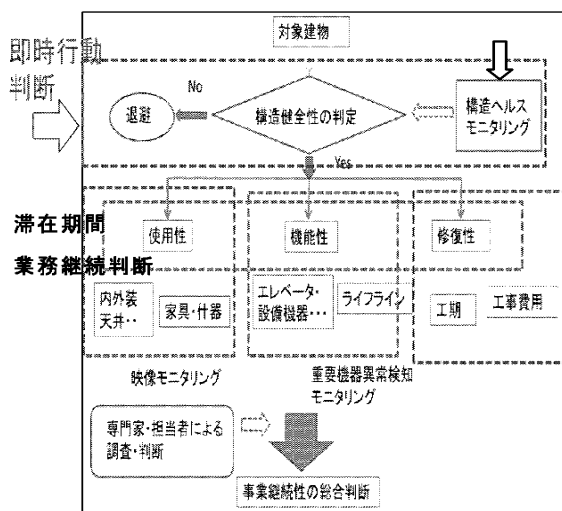


図1 即時行動と業務継続性の判断フロー

2. 層間変形角を利用した簡易評価法

2.1 罫書き装置の振動試験

通常建物の構造躯体は、RC造の打ち放しの等の場合を除き、内外装材や耐火被覆などで覆われていることが多く、地震後のコンクリートのひび割れや鉄骨造のクラックなどを直接見るができないため、即座に被災の程度を判断できない。そこで本報告ではごく簡便に、建物の層間変形角を利用して、躯体の損傷度を評価する方法を検討する。現在超高層建物等重要な建物の一部には、地震計や各種のセンサー類を設置して、自動的に被災程度を判定する各種のモニタリングシステムが採用されているが、本報告では特にセンサーなどを用いない、安価で簡便な方法として、罫書き針を用いて層間変形を測定する方法を検討する。

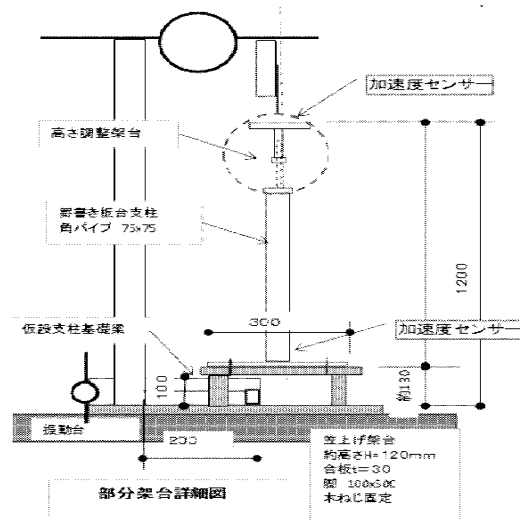
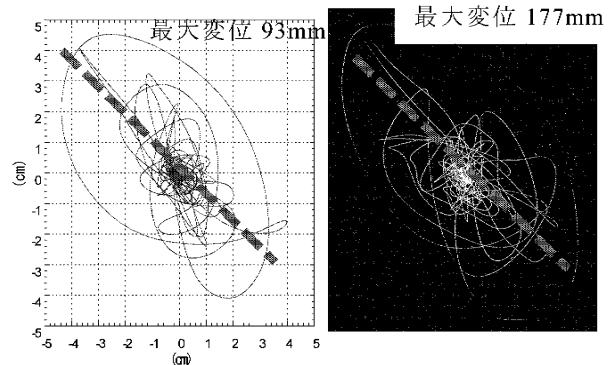


図2 罫書き針を用いた試験装置



(a) 変位記録より求めた軌跡 (b) 罫書き針の軌跡
 図3 変位記録と罫書き針の平面的な軌跡の対応

* : 工学院大学建築学部まちづくり学科

図2は振動試験の概要を示したもので、3次元小型振動台上の鉄骨架台に罫書き装置を設置し、上階と下階を模擬している。試験に先立ち、固定された木製の梁上に罫書き板を設置し、振動台上の鉄骨の架台からの相対変位を罫書き針の軌跡で測定する予備実験を行い、取り付け鋼材の増幅特性を把握した。罫書き板は特殊な表面加工したもので、スプリングで支持された罫書き針により軌跡を描くもので、地震時の上下動を吸収して、水平面内の軌跡を適切に描けるよう工夫されている。予備実験では入力する地震波の振幅レベルを30%から100%に変化させて、取り付け方法や、使用する鋼材の剛性などによって、増幅の度合いを検証した。図3は、兵庫県南部地震の際、神戸海洋気象台で観測された地震波形100%の例で、振動台で測定された加速度記録を積分して得られた変位軌跡と、罫書きによる軌跡と比較し、取り付け鋼材の増幅を検討した。取り付け鋼材の増幅は、入力により若干相違はあるが、最大1.8倍から2倍程度の増幅が見られた。

2. 2 建物への適用

建物への適用事例として、28階建ての工学院大学を対象とし、地震応答計算により得られた層間変位の分布から、変位が大きい24階の機械室に装置を設置した。装置は図4に示すように、罫書き装置の取り付けに必要な鋼材を25階の大梁からつりさげ、24階の床に固定した支柱との間に罫書き版と罫書き棒を設置した。設置後2012年12月7日に東京都内で震度5弱が観測された地震では、層間変位として5mm程度が観測され、階高が3.8mで、層間変形角として、1/750程度で計測された。

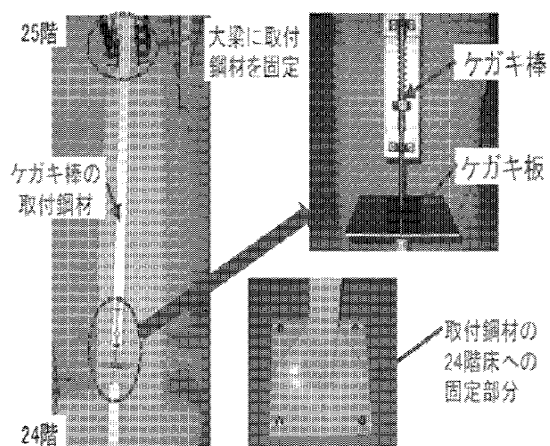


図4 工学院大学24階機械室への設置

3. 建物健全性の簡易判定

罫書き装置を用いた建物健全性の簡易判定の概略の流れは図5に示す通りである。罫書き装置の設置

場所は、対象とする建物の形状、高さ、構造種別などにより異なるが、原則として上層階や、揺れやすい場所数カ所に設置する。地震前に予め建物内の点検箇所を特定し、簡易チェックシートを準備する。地震発生後には、天井や間仕切り壁など内外装材の被災程度を目視により判断し、記入する。同時に罫書きの軌跡が罫書き板に描かれた同心円状のどこにあるかを確認して、例えば変形角が1/100など設定レベルを超えた場合は即座に退避するが、注意、安全領域の場合は、チェックシートの結果を参考にする。目視によるチェックシートの評価結果と罫書きによる評価を総合して、即座に避難すべきか否かを判断する。この場合、火災、ガス漏れなどの安全確認も併用して行われる。図5に概略の流れを示す。

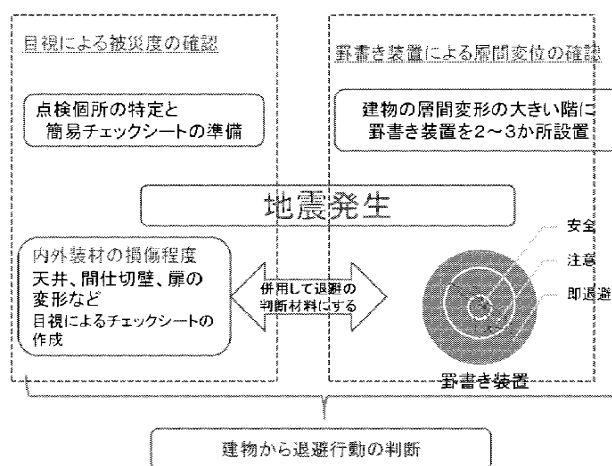


図5 罫書き装置を用いた健全性評価の概略フロー

4. まとめと課題

専門的な知識をもたない建物管理者が、客観的に退避行動の判断を行なうための簡便な方法として、罫書き装置により層間変位を計測し、層間変形角により躯体の健全性を推定する方法を提案した。罫書き装置は建物への設置方法や設置場所、条件によって影響を受ける為、引き続き基本的な特性を把握する検証試験や検討が必要であるが、簡便な客観的な判断指標の一つとして有用と思われる。使用性に関しては罫書き装置だけでなく、より専門的な要素を取り入れたチェックシートの検討と実践的な訓練を積み重ね、精度を向上させることが必要である。

参考文献

- 1) 大林組技術研究所 諏訪仁「地震後の拠点建物復旧開始ガイドライン、BCAO自然災害研究会資料2012年
- 2) 日本建築防災協会 震災建築物等の被災度判定および復旧技術指針(鉄筋コンクリート造、鉄骨造編)

超高層建築の防災計画・業務継続計画

リアルタイム震度を用いたオフィス家具の転倒時間に関する研究

キーワード：首都圏直下地震、超高層建築、海溝型巨大地震 久保 智弘* 山下 哲郎** 坂本 有奈利***
オフィス家具、リアルタイム震度 大宮 憲司*** 小泉 秀斗***

1. はじめに

2011年3月11日に発生した東日本大震災では、首都圏でも大きな揺れを観測し、超高層建築内でも家具転倒や天井落下といった被害が見られたが、負傷者は発生しなかった¹⁾。

一方、東京消防庁の報告書²⁾によると震源近傍の仙台市内の高層建築内でも室内被害が発生したが、負傷者はあまり発生しなかった。このように室内被害による負傷者が少なかったのは、在館者が揺れを感じてから危険回避行動をとる時間があつたためと考えられている。

首都圏において観測された地震動を基に既往の研究を参考にした高層建物の室内負傷者の推定を行うと首都圏の超高層建物内などで負傷者が発生することになるが、上述のように首都圏の超高層では負傷者が発生していない¹⁾。このため、東海地震などの海溝型巨大地震が発生した場合、震源から離れている首都圏において強震動による被害が想定されるが、東日本大震災のように在館者が揺れを感じて危険回避行動をとることで、負傷者を減らせる可能性がある。

そこで本研究では、東日本大震災では在館者が地震の揺れを感じてから危険回避行動をとることができたため、負傷者が少なかったと考え、リアルタイム震度³⁾を用いて家具が転倒するまでの時間について、大変形加力装置を使った振動台による実験を行い、検討した。

2. 大変形加力装置を使った家具転倒実験について

本研究では、写真1に示す大変形加力装置⁴⁾を使って家具の転倒実験を行う。入力地震動として、過去に発生した地震動を用いて高層建物内での揺れを想定するため、高層建物の質点モデルを作成し、入力地震動により地震応答解析を行い、応答加速度波形を用いた。高層建物の質点モデルについては、市村ほか⁵⁾を基に作成し、30階建て、1次固有周期3秒、2次固有周期1秒の建物を想定した。

入力地震動は、直下地震として、1995年阪神淡路大震災 JMA 神戸、2004年中越地震 JMA 川口を用い、

海溝型巨大地震動として、東日本大震災 K-net 仙台、K-net 東雲を用いた。さらに想定地震動として、首都直下地震⁶⁾と東海・東南海地震連動型⁷⁾における工学院大学新宿キャンパスの想定地震動を用いた。

家具の転倒実験に使用した家具は、オフィス家具を想定することから、工学院大学でこれまで使用していた使用済みの家具を使用した。この家具は高さ210 cm、幅90 cm、奥行き45 cm、正面に扉がついており、上下別となっているが、専用のねじにより上下一体となるように接合した(写真2)。オフィス家具内の書籍は、写真3に示すように棚に1列に並べ本の重量が約280 kgとなった。

実験では、大変形加力装置が一方向の入力しかできないため、得られた応答加速度の大きい成分を使い、1つの応答加速度につき、2回実験を行った。写真4に家具転倒実験の様子を示す。

実験を行うに当たり、今回検討する地震動を用いる場合、大変形加力装置の制御能力の超えるものがあるため、制御能力を超える地震動については、低減率をかけて、制御範囲に収まるように地震動の調整を行った。

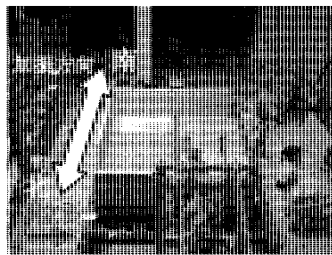


写真1: 大変形加力装置

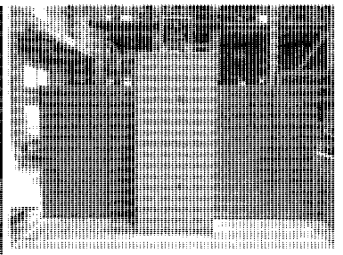


写真2: オフィス家具

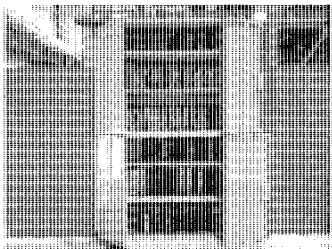


写真3: オフィス家具と本のレイアウト



写真4: 家具転倒実験の様子

3. リアルタイム震度と家具の転倒時間の関係について

本研究では、揺れを感じてから、移動できなくなるまでの時間についても、危険回避行動が行えるかについて重要な指標と考え、図1に示すように気象庁の「震度と揺れ等の状況 (概要)」を基に、震度3を地震の揺れを感じる震度とし、震度5強では、動けない状態と仮定した。

表1に実験に使用した地震動におけるリアルタイム震度と家具転倒までの時間について示す。

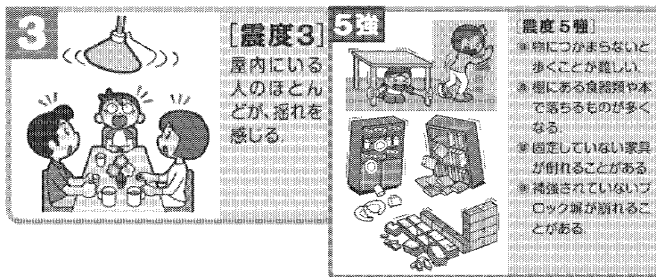


図1: 震度と揺れ等の状況 (概要・抜粋)

図2には、2004年中越地震でのJMA川口NS方向の観測記録を基に30階の揺れを想定した結果を示す。図2の上段は、振動台の加速度(赤線)を示し、中段は振動台の加速度1成分から求めたリアルタイム震度を示し、下段は、加速度波形と速度波形を求め、金子(2003)により時刻歴でオフィス家具の転倒確率を求めたものを示す。上段の青線は、振動台の上下動を示し、家具が転倒することによる衝撃が記録されており、転倒した時間が分かる。

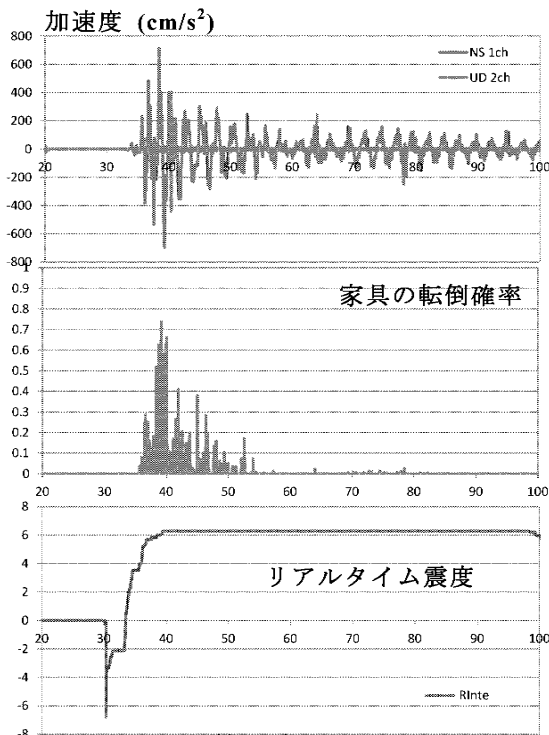


図2 中越地震 JMA川口 (30階での揺れを想定)

図1から、直下地震では、揺れ始めてから最大加速度になるまでの時間が短く、最大加速度に到達後、家具が転倒していることが分かる。また、家具の転倒確率と比較すると、最大加速度となった時に転倒確率も最も高くなり、その後すぐに家具が転倒することから、既存の家具の転倒確率と一致していることが分かる。次にリアルタイム震度については、揺れを感じる震度3から建物内部の人が動けなくなる震度5強に到達する時間は約2秒となっており、リアルタイム震度の勾配が急になっていることから揺れを感じたと同時に動けなくなると考えられる。

次に図3には、東日本大震災におけるK-Net 東雲(TKY016)における観測記録を基に30階建の揺れを想定した結果を示す。図3の上段と中段、下段は、図2と同様に振動台の加速度記録と家具の転倒確率、リアルタイム震度を示す。

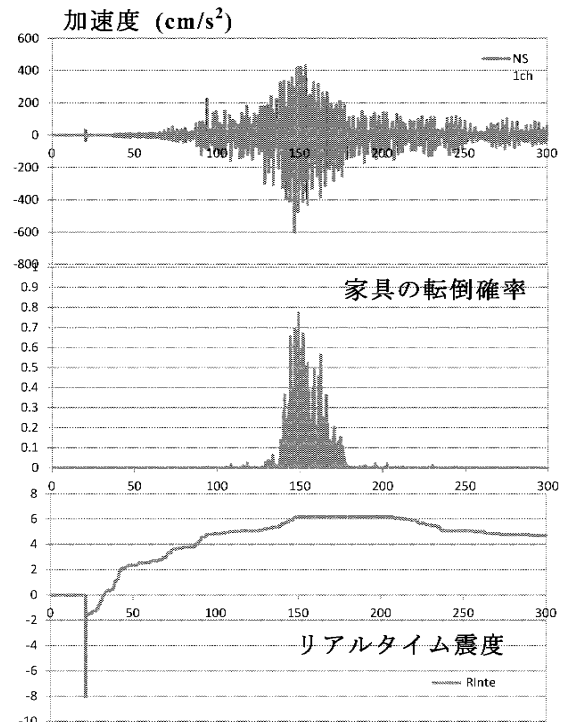


図3 東日本大震災 K-Net 東雲 (30階での揺れを想定)

図3から、海溝型巨大地震では、揺れ始めてから最大加速度になるまでの時間が長く、家具が最大加速度に到達後に転倒していることが分かる。また、家具の転倒確率と比較すると、図2と同様に最大加速度となった時に転倒確率も最も高くなり、その後すぐに家具が転倒することから、既存の家具の転倒確率と一致していることが分かる。次にリアルタイム震度については、揺れを感じる震度3から建物内

部の人が動けなくなる震度5強に到達する時間は約55秒あり、リアルタイム震度の勾配が緩やかになっていることから揺れを感じてから、動けなくなるまでに時間の余裕があると考えられる。K-Net 東雲は、震源からの距離が大きいので、比較的震源からの距離に近いK-Net 仙台でも同様の傾向が見られ、揺れを感じる震度3から建物内部の人が動けなくなる震度5強に到達する時間は約10秒あった。

表1に今回検討したすべての実験結果を示す。直下で発生した阪神淡路大震災や中越地震では、震度3から震度5強まで2秒ほどであり、揺れを感じてからほとんど動くことができず、家具が転倒することが分かる。一方、東日本大震災のように震源距離が大きい海溝型巨大地震では、震度5強までに10秒以上時間の余裕があり、家具転倒までの時間は20秒以上かかったことが分かる。また、家具転倒までにかかる時間は、震度5強になる時間よりも時間がかかっていることが分かり、家具が転倒した時のリアルタイム震度を()で示すと、リアルタイム震度が6.1程度(震度6弱、6強程度)で家具が転倒したことが分かる。このため、家具が倒れるときには揺れが大きく、人も動くことができなくなっている可能性が高いため、動ける前に危険回避行動をとることが重要となる。

4. 危険回避行動の猶予時間に関する検討

前章では、大変形加力装置を使って、震度3から震度5強までになる時間と家具が転倒する時間について、検討を行った。その結果、直下地震では、揺れを感じてから、動けなくなるまで5秒もない。しかし、震源距離が大きい海溝型巨大地震では、動けなくなるまで10秒以上時間があった。前述したように、東京消防庁の報告書²⁾によると震源近傍の仙台

市内の高層建築内でも室内被害が発生したが、負傷者はあまり発生しなかった。東日本大震災発生時の仙台市内の様子を撮影したDVD^{9,10)}を見ると、揺れを感じて、オフィス内から避難する人やショッピングセンター内では、店舗から通路側へ避難するといった人が多く見られ、揺れを感じてから危険回避行動をとる人が多く見られた。このDVDの様子とK-Net 仙台の記録を基に危険回避行動までの時間を推定すると約10秒あることで危険回避行動がとれたと考えられる。一方、この約10秒の仮説が正しいか検証するため、振動台を使った実験で検証する必要があるが、被験者の安全を考えると実験を行うのが難しいと考えられる。そこで、著者がちょうど2011年4月7日23時32分の最大余震(Mjma7.2, 深さ66km)の時に震源地に近い大崎市にいたため、その時の行動を基に検討をする。

著者は2011年4月7日23時に大崎市の実家(木造2階建て、築32年)の居間で夕食を済ませ、こたつにいた。その後、23時32分に最大余震が発生し、揺れを感じて、こたつから出て居間を出て、玄関近くで大きな揺れになり動くことができなくなった。この時、居間から出ようとした瞬間に停電となり、同時に携帯電話の緊急地震速報が鳴った。室内の家具は備え付けのものが多いので、家具の転倒はなかったが、家具内のガラスコップが落下して、暗闇の中散乱した。著者宅と震源位置、近くの観測点(JMA 涌谷)の関係を図4に示す。著者宅の震源距離とJMA 涌谷の震源距離がほぼ同じことから、JMA 涌谷の観測記録からリアルタイム震度を求め、震度3から震度5強になるまでの時間を求めると約10秒となった(表1)。このことから、著者の体験からも約10秒あることで危険回避行動がとれると仮定できる。

表1 リアルタイム震度と家具転倒時間の関係について

地震動	観測地点	想定階数	震度3から		プログラム S-P時間	低減率	備考
			震度5強まで	転倒するまで (リアルタイム震度)			
阪神淡路大震災	JMA神戸	30F	2.21	---	2.83	50%	
阪神淡路大震災	JMA神戸	30F	2.33	---		50%	
中越地震	JMA川口	30F	1.93	6.05 (6.28)	1.65	主要動部分を45%	
中越地震	JMA川口	30F	1.94	6.56 (6.27)		主要動部分を45%	
東日本大震災	K-net東雲	30F	55.33	96.11 (6.18)	40.50	100%	
東日本大震災	K-net東雲	30F	55.89	96.82 (6.20)		100%	
東日本大震災	K-net仙台	30F	10.74	19.66 (6.20)	18.88	はじめの主要動を60%	
東日本大震災	K-net仙台	30F	10.73	19.8 (6.17)		はじめの主要動を60%	
東海・東南海連動	工学院大学	30F	22.63	---	46.98	100%	短周期成分なし
東海・東南海連動	工学院大学	30F	22.59	---		100%	短周期成分なし
東京湾北部	工学院大学	30F	5.27	10.92 (6.05)	4.72	70%	
東京湾北部	工学院大学	30F	5.26	12.72 (6.21)		70%	
2011年4月7日	JMA涌谷		10.26				参考

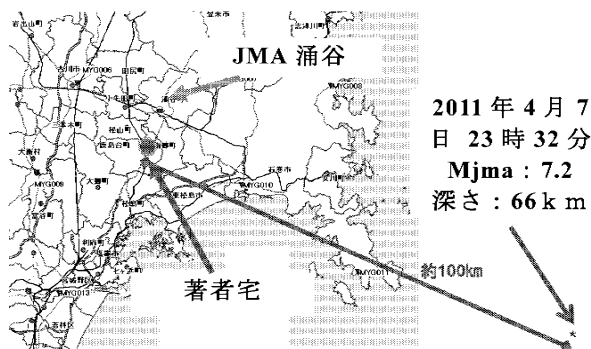


図4 最大余震と著者宅、近傍の地震計の位置関係

以上のことから、震度3から震度5強までの時間が約10秒あると、在館者は揺れを感じて危険回避行動をとることができるため、負傷者の数が減る可能性があると考えられる。

5. まとめ

本研究では、東日本大震災において、超高層建築内の負傷者が少なかったことに着目し、リアルタイム震度を用いて、超高層建物内の家具転倒について、大変形加力装置を用いて実験を行い、転倒時間について、検討を行った。その結果、人が地震の揺れと感じる値を震度3程度とした場合、震源近傍では震度3から家具が転倒するまでほとんど時間がないため、危険回避行動をとることが難しいが、東日本大震災では、震度3から家具転倒までの時間が10秒以上あることが分かり、このため、在館者が地震の揺れを感じて、危険を感じたことで、危険回避行動をとることができたのではと考えることができる。これにより、震度3から家具の転倒までに10秒ほどあれば、在館者は危険回避行動をとることができる。

そのため、揺れを感じてからその揺れが大きくなることを震源と対象地点との間にある地震計の情報を利用することで、対象地点の建物へ危険を知らせることで、少しでも大きな揺れが来る前の猶予時間を少しでも確保でき、危険回避へつなげることができると考えられる。

最後に、本研究では、家具転倒までの時間の猶予について検討したが、直下で発生する地震ではほとんど猶予時間はない。また、地震がどこで起こる

分からないことや本研究で行った実験のようにいずれにしても家具は転倒してしまうことから、事前対策として家具転倒防止を行うことは重要である。

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。地震記録として、防災科学技術研究所 強震観測網と気象庁の強震観測データを使用させていただきました。本実験に使用したオフィス家具は、工学院大学施設課に提供していただきました。

参考文献

- 1) 久保智弘、久田嘉章、相澤幸治、大宮憲司、小泉秀斗、東日本大震災における首都圏超高層建築における被害調査と震度アンケート調査、日本地震工学会論文集、第12巻、第5号、pp.1-20、2012
- 2) 東京消防庁、平成23年度 長周期地震動等に対する高層階の室内安全対策専門委員会報告書、平成24年2月
- 3) 功刀卓、青井真、中村洋光、藤原広行、森川信之、震度のリアルタイム演算法、地震第2輯 第60巻、pp.243-252、2008
- 4) 坂本有奈利、山下哲郎、久保智弘、久田嘉章、クランクによる振幅増幅を利用した大振幅振動台の開発、日本建築学会大会学術講演梗概集(東海)、pp.1247-1248、2012
- 5) 市村将太、福島東陽、寺本隆幸、超高層鋼構造建物の弾性設計用パラメータに関する研究(その1) 各パラメータの定式化、日本建築学会大会学術講演梗概集(東北)、pp.867-868、2000
- 6) 田中良一、久田嘉章:首都圏に建つ超高層キャンパスと地域連携による地震防災に関する研究(その2) 首都直下地震の強震動予測、日本建築学会大会学術講演梗概集(中国)、2008.9、構造II、pp.815-816
- 7) 吉村智昭、山本優、七井慎一:関東・濃尾・大阪平野を考慮した南海トラフ沿い巨大地震の長周期地震動シミュレーション(その2) 想定東海・東南海連動地震のシミュレーション、日本建築学会大会学術講演梗概集(東北)、2009.8、構造II、pp.93-94
- 8) 気象庁:震度について、<http://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/shindo/shindokai.html>
- 9) TBC 東北放送、地元放送局が伝える 3.11 大震災、2011
- 10) KHB 東日本放送、3.11 東日本大震災 激震と大津波の記録、2011

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*** : 工学院大学大学院建築学専攻

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 都市再生安全確保計画、地域連携、地域防災拠点、ひとづくり、避難所運営

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、平常時にはひとづくりやしきみづくり、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、ひとづくり・しきみづくりの拠点として、新宿駅周辺事業者を対象に「新宿駅周辺防災対策協議会セミナー」および地域連携による地震防災訓練を実施した。また、防災街区の形成を目指し、都市再生安全確保計画策定のための基礎調査を進め、計画策定の方向性を検討した。さらに、新宿区との「防災・減災対策の相互連携に関する基本協定」および「帰宅困難者一時滞在施設の提供に関する協定」の締結 (2012年12月27日)、八王子市中野町甲和会との「防災・減災対策の相互連携に関する基本協定」の締結 (2013年2月19日) など、周辺地域との連携の強化も図った。一方、四谷第6小学校避難所運営管理協議会をモデルとして、ワークショップと訓練を通じて、女性に配慮した避難所運営のあり方を検討した。

2. 新宿駅周辺防災対策協議会セミナーの開催

2009年から2010年にかけて、新宿駅周辺地域の事業者等を対象に「新都心の地域減災セミナー」や各種講習会・シンポジウム等を開催してきた。本年度は、図1に示すように、①地域防災の取り組みへの関心を高め、裾野を広げる、②地域の事業者の関心が高い防災に関する基礎知識の周知・徹底を図る、③新宿駅周辺地域の防災面での特徴への理解を深める、ことを目的として、新宿駅周辺防災対策協議会員および地域事業者の防災担当者を対象に「新宿駅周辺防災対策協議会セミナー」を開催した。

本年度の新宿駅周辺防災対策協議会セミナーでは、座学と実践による防災知識の習得を目的とした「基礎セミナー」と、応急救護知識の習得を目的とした「講習会」を行った (表1・2、写真1・2)。そして、2013年1月17日に実施した地震防災訓練において、基礎セミナーや講習会の成果を検証した。訓練後の意見交換会やアンケートから、受講者の防災リテラシーの向上がみられたことから、次年度は実施内容や実施方法についてブラッシュアップを図っていく。

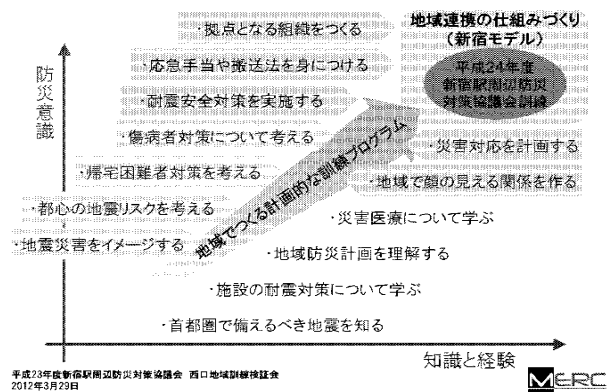


図1 新宿駅周辺防災対策協議会セミナーの概念図

表1 基礎セミナーの概要

実施日	セミナーの概要
第1回 8/7	●災害対応における企業の法的リスクと事業者等の連携による地域防災 災害対応における法的リスクを理解し、事業者に求められる対策について学ぶ。(受講者: 87名)
第2回 8/22	●首都直下地震等による東京の被害想定 東京都の被害想定の内容について理解し、地域における対策課題を考える。(受講者: 44名)
第3回 10/4	●地震時にオフィス・ビル内では何が起きる? 地震時のビルの揺れや被害の特徴、什器類等の耐震点検方法について学ぶ。(受講者: 37名)
第4回 10/10	●オフィス・ビル内の耐震対策方法は? オフィス家具・什器類の具体的な固定方法等について学ぶ。(受講者: 29名)
第5回 11/22	●オフィス・ビル内の防災点検マップを作成する 事業所内の防災上の特性をまとめた「防災点検マップ」の考え方を習得する。(受講者数: 32名)
第6回 11/29	●オフィス・ビル内で起きる地震被害を想定する 地震時に、自社内等において発生し得る「被害」をイメージする能力を養う。(受講者数: 27名)
第7回 12/20	●ビルの地震直後の継続使用性を判断する 高層ビルの被災モニタリング事例の見学、建物継続使用判定の演習を行う。(受講者数: 26名)

* : 工学院大学建築学部まちづくり学科

表2 講習会の概要

実施日	講習会の概要
第1回 11/1	●トリアージ研修会 対象：新宿駅周辺地域を含む新宿区内に勤務または在住されている医師会の医師、看護師および病院スタッフ（受講者39名） ねらい：①一次トリアージ（START式）をマスターする、②二次トリアージを体験する。 共催：新宿区医師会 協力：東京医科大学、東京女子医科大学
第2回 12/6	●災害時応急救護リーダー養成講習会 対象：新宿駅周辺地域の事業所に勤務し、災害時に対応すべき役割を担う人（受講者14名） ねらい：自社における応急救護などの災害対応をリードし傷病者を適切に医療者に引き継ぐために必要な知識と技能を習得する。 協力：新宿消防署、日赤東京都支部
第3回 1/10 (2013)	●応急救護講習会 対象：新宿駅周辺地域に勤務する一般の方および在住・在学している方（受講者50名） ねらい：傷病者に接し、応急手当、観察および搬送を行うために必要な基礎知識と技能を習得する。 協力：新宿消防署、日赤東京都支部

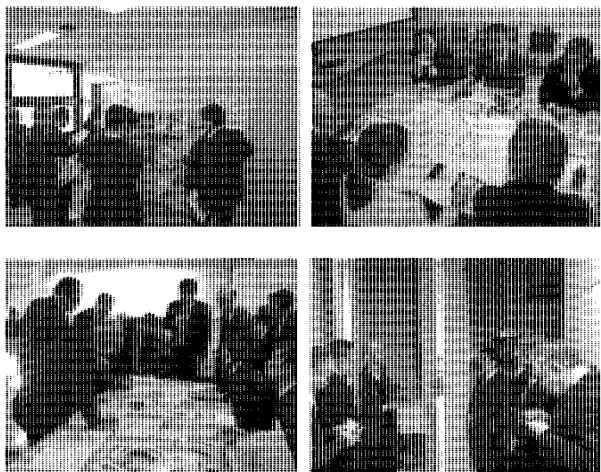


写真1 基礎セミナーの様子(上段:第5回、下段:第7回)



写真2 講習会の様子(上段:第1回、下段:第3回)

3. 新宿駅周辺防災対策協議会地震防災訓練の実施 (1)地震防災訓練の概要

2013年1月17日(木)13時30分から17時にかけて、新宿校舎を訓練会場として、新宿駅周辺防災対策協議会セミナー受講者を含む128名の参加による地震防災訓練を実施した。本年度の訓練(図2)は、中心業務地区における発災直後の自助とその後の共助の実践を目的として、表3に示す4つの訓練を行った。なお、訓練には東京医科大学病院、東京女子医科大学病院、新宿区医師会、新宿消防署、日本赤十字社東京都支部、工学院大学、東京建築士会、東京都、新宿警察署、新宿区の協力を頂いた。以下、紙面の都合から、情報共有訓練のうち、新宿校舎を西口現地本部とした訓練について詳述する。

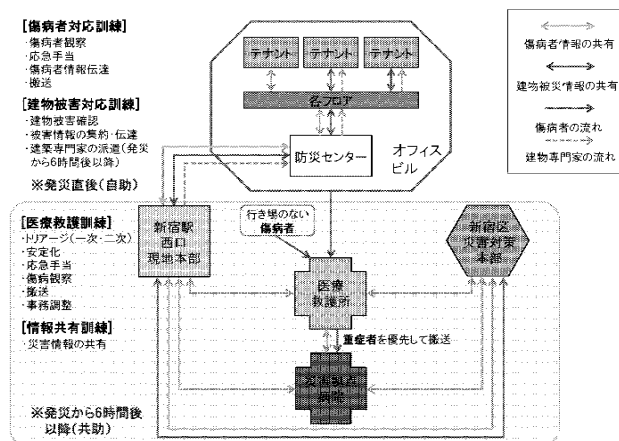


図2 地震防災訓練の全体概要図

表3 地震防災訓練の概要

訓練名	訓練概要
傷病者対応訓練 (自助)	発災直後に事業所における傷病者の発生を想定し、応急手当、傷病者観察、搬送等の傷病者への対応とビル内での情報共有を行う訓練 (参加者26名)
建物被害対応訓練 (自助、共助)	発災直後に事業所で建物被害を確認し、ビル内での情報共有と建物管理者による被害確認を行う訓練、および建物被害情報を地域で共有し専門家による調査へと繋げる訓練 (参加者21名)
医療救護訓練 (共助)	発災から6時間経過後、災害拠点病院の近隣への医療救護所の設置を想定し、関係機関との情報共有を行いながら医療従事者による傷病者のトリアージ、ボランティアによる傷病者の応急手当、搬送等を行う訓練 (参加者64名)
情報共有訓練 (共助)	ビルの防災センターを想定したビル内および西口現地本部での情報共有訓練および新宿区役所・新宿区防災センター・千代田区間等とのFWA無線による通信訓練 (参加者17名)

(2)西口現地本部を拠点とした情報共有訓練

本訓練(表4)では、情報通信環境および各種情報ツール(図3)を利用することで、西口現地本部を中心に都内外の他の駅周辺協議会との連携とより広域な被災状況等の共有を実現し、新宿駅周辺地域の混乱防止と駅周辺事業者の災害対応に役立てることを目標とした。訓練には、新宿駅周辺防災対策協議会として、西口現地本部(新宿校舎内)、新宿区災害対策本部(新宿区役所本庁舎内)、新宿区災害対策本部代替拠点(新宿区防災センター内)、高層ビル防災センター(新宿校舎内)、医療救護所(仮)(新宿校舎内)が参加し、都内外駅周辺帰宅困難者対策等協議会として、東京駅周辺防災隣組、神田駅西口商店街振興組合、四谷駅周辺地区帰宅困難者対策地域協力会、千代田区災害対策本部、名古屋駅地区街づくり協議会などの協力も得た。

表4 訓練の想定と訓練の概要

●訓練の想定	
<ul style="list-style-type: none"> 当日の13:00に東京湾北部地震(M7.3)が発生。 地震発生後、各高層ビルでは自衛消防組織による自助対応を開始。 新宿区は災害対策本部の設置を本庁舎にて進めるが、本庁舎が被災したことから、新宿区防災センター(市ヶ谷)へ本部機能を移転。 交通機関の麻痺により新宿駅周辺には大量の滞留が発生。また、新宿駅周辺ではビル火災の発生も確認でき、ビル内では多数の傷病者も発生。 地震発生後、新宿駅周辺防災対策協議会は駅周辺の混乱防止と災害対応に動き始め、新宿駅西口は14時頃に西口現地本部をたちあげる。 地震発生から数時間が経過し、新宿駅の周辺部の密集市街地では大規模な市街地火災が発生。火災延焼地区から避難する人々が青梅街道沿いに新宿駅方面へ大移動を開始。 都内の駅周辺でも協議会組織が混乱防止などのために活動を開始。また、名古屋駅地区街づくり協議会は、首都圏の状況把握と連絡支援を開始。 	
●訓練の概要	
13:00~14:00	全体ミーティング、ブリーフィング
14:00~16:00	西口現地本部訓練開始
(1)駅周辺協議会間および新宿区・千代田区災对本部との連携	
①	各拠点の活動状況の把握(20分)
②	各駅周辺の被災状況の共有(30分)
③	青梅街道から新宿駅に向かう避難者流入情報の共有、千代田区方面への誘導経路・誘導場所等の情報共有(30分)
④	新宿区・千代田区内の災害拠点病院の受入状況の確認、千代田区方面へ誘導する避難者の傷病者等に対する支援体制の確認(30分)
⑤	名古屋の協議会からの後方支援
(2)高層ビル防災センター・医療救護所・新宿区災对本部と連携	
①	高層ビルの被災状況の共有(20分)
②	高層ビルの構造安全確認のための建築専門家のコーディネート、優先的に確認が必要な高層ビルへの専門家派遣(20分)
③	医療救護所の支援、高層ビルの安全情報の共有(60分)

訓練の結果、5GHz帯FWA通信網によるイントラネット環境および衛星通信によるインターネット環境(東京・名古屋間)を介して、各種情報ツールやリアルタイム広域情報共有システム(図4、5)を活用することによって、音声・映像や地図上での様々な災害情報等を広域な協議会・自治体間で効率良く共有でき、駅周辺事業者の災害対応にも活用できることがわかった。しかしながら、リアルタイム広域情報共有システムについては、サーバーとクライアント間での情報取得時の通信負荷が大きいことが確認でき、システムのさらなる改善が必要である。訓練の様子を写真3、4に示す。

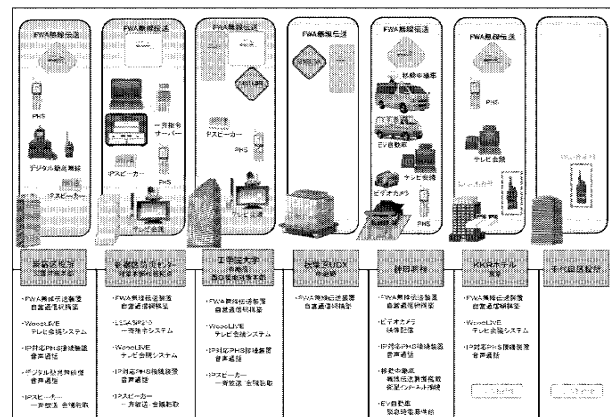
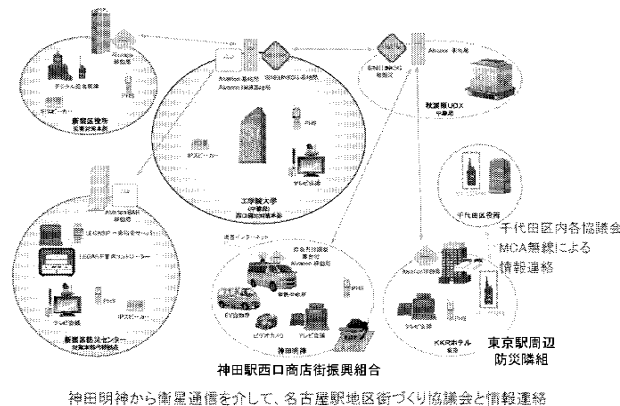


図3 訓練の情報通信環境と各種情報ツール

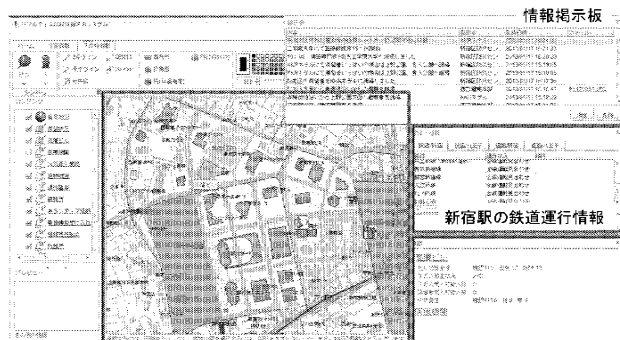
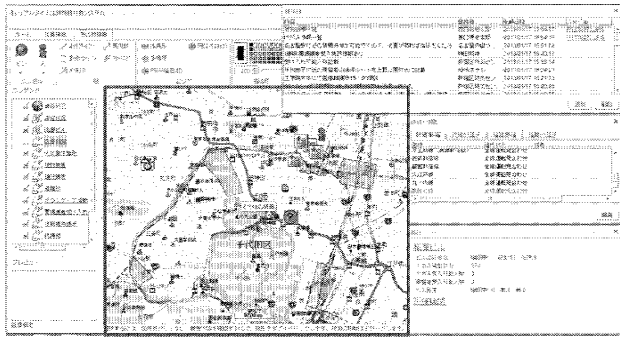


図4 訓練時のリアルタイム広域情報共有システムの画面例(1)



東京駅防災隣組から提供された、
 千代田区内の医療機関情報、被害情報等

図5 訓練時のリアルタイム広域情報共有システムの画面例(2)

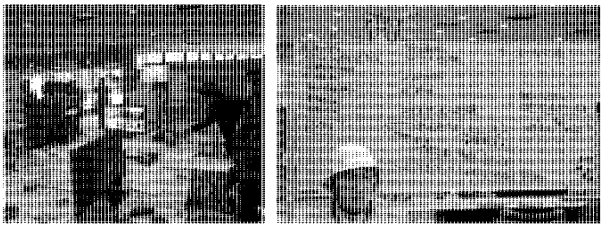


写真3 西口現地本部の様子



写真4 神田駅西口商店街振興組合(神田明神)の様子

4. 都市再生安全確保計画策定のための基礎調査

都市再生特別措置法の一部を改正する法律の施行（2012年7月1日）に伴い、都市再生安全確保計画制度が創設され、全国の都市再生緊急整備地区（全国63地域、うち11地域は特定都市再生緊急整備地区）において都市再生安全確保計画を策定していくこととなった。なお、本計画策定のガイドラインには、これまでの新宿駅周辺地域でのさまざまな取り組みの成果が反映されている¹⁾。

新宿駅周辺地域は特定都市再生緊急整備地区に該当するが、全国のモデル事業の1つとして、「新宿モデル」（図6）を軸とした都市再生安全確保計画策定に着手した。本年度は新宿駅西口地域（渋谷区の一部を含む）（図7）を対象として基礎調査を行った。調査項目は以下の通りである。次年度は、都市再生安全確保計画作成部会の立ち上げ、新宿駅東口地域へ調査範囲の拡大、都市再生安全確保計画に基づいた新宿駅周辺地域一帯の都市再生緊急整備地域のエ

リア防災マスタープランの策定とエリア防災事業の具体化を進め、新宿校舎を地域防災拠点とした防災街区の形成を目指す。

【都市再生安全確保計画策定基礎調査の調査概要】

- ① 新宿駅西口地域に関する基礎的データの収集・分析：建物の立地状況・耐震性能、ライフライン・情報通信インフラ、医療機関、避難施設、など
- ② 被害想定作成：被害想定、退避行動シミュレーション、被害想定に対する必要な対応の検討、など
- ③ 都市再生安全確保計画作成部会構成員及び構成団体等の検討：構成員及び構成団体等の調査及び抽出、構成員及び構成団体等の調整
- ④ 新宿モデル実現に向けての課題の整理：情報収集伝達、退避・避難誘導支援、医療救護活動、建物安全確認
- ⑤ 新宿モデル構築に向けた課題に関する事業者等との調整事項
- ⑥ 計画策定に向けた方向性・計画方針図の検討

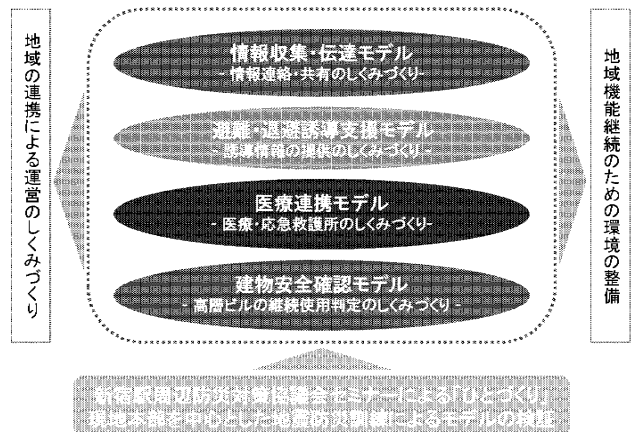
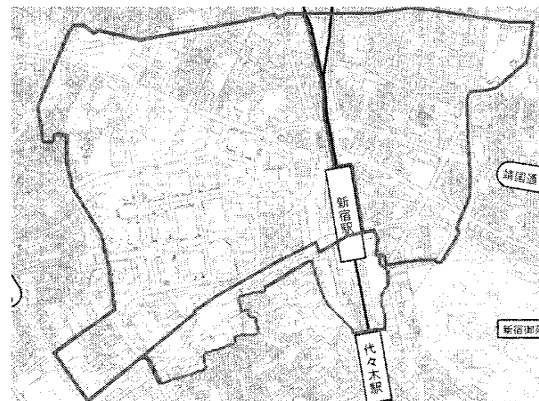


図6 新宿モデルの概念図



青枠：2012年度の調査対象範囲
 赤枠：新宿駅周辺都市再生緊急整備地域

図7 調査対象エリア

5. 女性に配慮した避難所運営のあり方の検討

2010年度から新宿区内の四谷第6小学校避難所運営管理協議会をモデルとした地域防災体制の構築を進めている¹⁾ (図8)。本年度は、近年の地震災害の経験を経まえ、女性に配慮した避難所運営のあり方を検討する必要性が高まったこともあり、女性の視点を取り入れた避難所運営マニュアルの見直しとそれに基づいた避難所運営訓練を実施し、マニュアルの有用性を検証した。

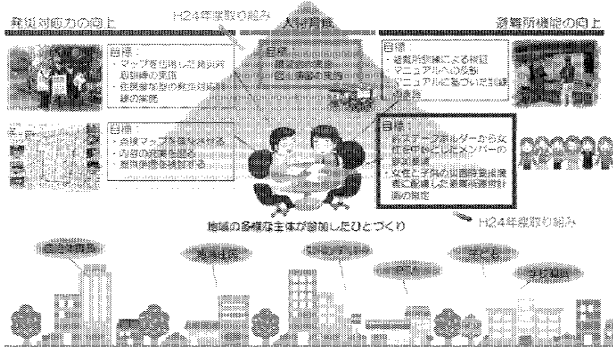


図8 四谷第6小学校避難所運営管理協議会における取り組みのイメージ図

(1) よつろく女子会の開催

女性に配慮した避難所運営のあり方を検討するにあたり、四谷第6小学校避難所運営管理協議会内の地域住民・学校教職員・PTA・スクールコーディネーターおよび自治体職員の女性約20名による防災カフェ(通称、よつろく女子会)を開催した(表5、写真5)。女子会を通じて、表6のように女性に配慮した避難所運営のあり方について様々な意見がだされ、これらを避難所運営訓練で検証するとともに、避難所運営マニュアルに反映させることにした。

表5 よつろく女子会の概要

日程	内容
第1回 7/17	過去の地震災害において発生した女性や子供に関する事件などについて事例を紹介し、避難所等における女性・子どもへの問題について意見交換を行った。
第2回 8/24	避難所運営マニュアルの内容を確認した上で、実際に仮設トイレの設置場所等を見学し、女性や子どもにとって安心して使うことができるかなどを確認した。さらに避難所利用計画を参考にして見直しすべき点について議論した。
第3回 10/22	第1回、第2回で得られた課題に基づいて、解決策を検討し、訓練時に検証すべき項目について話し合いを行った。
第4回 1/30 (2013)	避難所運営訓練を通じて、女性の視点を避難所運営や運営マニュアルにどのように組み入れていけばよいのか、などについて意見交換を行った。

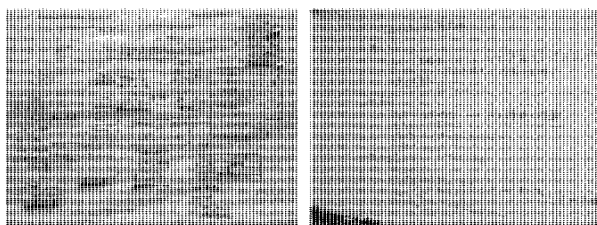
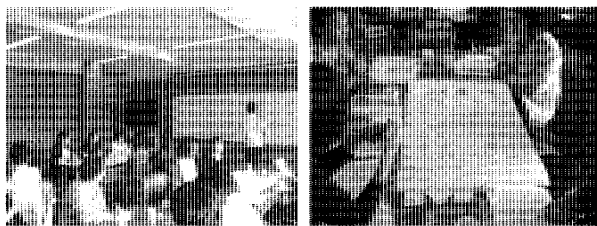


写真5 よつろく女子会の様子

表6 よつろく女子会での検討結果の例(第3回)

項目	課題	解決方法(案)
トイレ	外の仮設トイレの見直し	設置場所を玄関付近に変更する、など
	高齢者のトイレへのアクセス	洋式便器の設置、など
施設	屋上のスペースの有効活用	女性専用の洗濯やシャワーなどのスペースにする、など
	高齢者(足の不自由な人)の対応場所について	体育館などに椅子を並べて対応する、など
女性専用スペース	体育館の利用方法を考えたい	ステージにカーテンを引き、その中に着替えスペースや授乳スペースを作る、など
	学校内の一部に女性専用スペースを作りたい	一部のスペースを女性専用にする、各フロアに一つずつ女性専用スペースを作る、など
その他	女性スタッフエリアの設置	スタッフ専用スペースの設置を検討する、など

(2) 避難所運営訓練

2012年11月23日(金)に避難所運営管理協議会による避難所運営訓練を実施した。訓練では、トランシーバーを使った各町会・避難所間での情報連絡訓練、備蓄倉庫・受水槽見学、地震体験(地震ザブトン)、仮設トイレ設営、応急救護体験、子ども防災教室などを行うとともに(写真6)、よつろく女子会での検討結果を踏まえ、女子会参加者を中心に女性サポーター(仮・女性支援部)を結成し、女性の視点からの避難所運営訓練も並行して実施した。主な検証内容としては、体育館のステージを活用した女性スペースの確保、体育館に間仕切りやテントの設営、プライベート空間の確保、仮設トイレの設置場所の検討、遊戯室(災害時要援護者用の避難スペース)の活用方法である(写真7)。また、早稲田大学の村

田教授 (新宿区男女共同参画推進会議の座長) を交えて、女性に配慮した避難所運営のあり方に関するワークショップを開催し、避難所での女性の過ごし方や運営体制などについて活発な意見交換を行った。

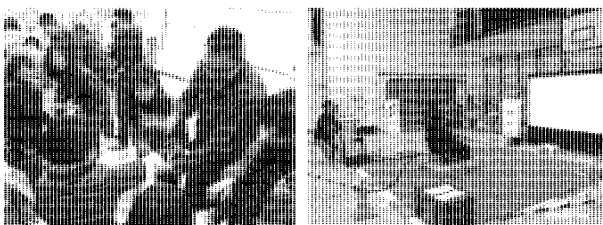
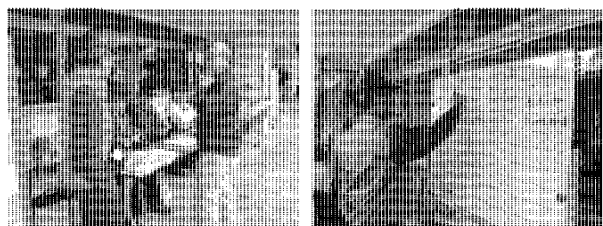
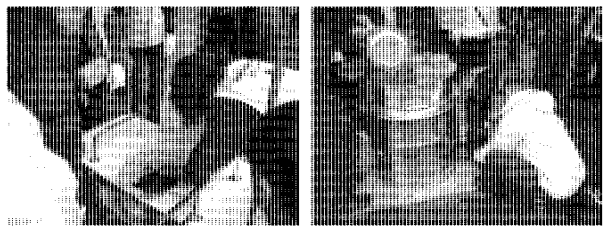


写真 6 避難所運営訓練の様子 (上段左: 仮設トイレの設置訓練、上段右: 炊き出し訓練、中段: トランシーバーを使った各町会・避難所間での情報連絡訓練、下段左: 応急救護訓練、下段右: 地震ザブトンによる地震体験)



写真 7 女性の視点を取り入れた避難所運営訓練の様子 (上段左: 体育館のステージを活用した女性スペースの確保について検証、上段右: テントを活用したプライベートスペースの確保について検証、下段: 村田教授を交えたワークショップ)

2013年1月30日 (水) にはよつろく女子会で訓練反省会を開催し、避難所運営マニュアルの改善案に関する意見交換や次年度に向けた発展的な取り組みについて話し合いを行った (写真 8)。

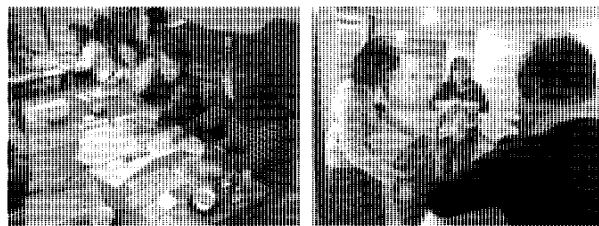


写真 8 女子会での訓練反省会の様子 (左: 避難所運営マニュアルの改善案について意見交換、右: 校舎内のトイレを usable するようにビニール袋と新聞紙で簡易トイレを作成)

6. おわりに

本年度は、新宿駅周辺防災対策協議会セミナーおよび地域連携による地震防災訓練を実施し、ひとり・しくみづくりの拠点として地域事業者の防災リテラシーの向上に取り組んだ。また、都市再生安全確保計画策定のための基礎調査を行い、防災街区の形成に向けて新宿モデルを軸とした計画策定の方向性を見出した。さらに、地域防災拠点として周辺地域との連携強化をより進展させるために、新宿区や八王子市中野町甲和会との防災・減災対策の相互連携に関する基本協定等を締結した。一方、四谷第6小学校避難所運営管理協議会をモデルとして、よつろく女子会を開催し、実働訓練を通じて女性に配慮した避難所運営のあり方も検討した。

次年度は、上記成果を踏まえつつ、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の構築を目指す。

参考文献

- 1) 村上正浩、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23年度研究成果報告書、pp. 171-176、2012

大規模・高層建築物における防災管理に係る東日本大震災の実態調査

消防計画、防災管理、消防用設備、自衛消防組織、初動対応

氏名 三好勝則*¹

1. はじめに

大規模な地震が発生した場合には、被害が同時多発的に発生するとともに、揺れなどによる被害と火災による被害が同時に起きる可能性もある。平成21年6月1日から施行された消防法の一部改正では、多数の者が利用する大規模・高層の防火対象物について、従来からの火災対応に加えて防災対応のための消防計画を作成し、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。

この消防計画で自衛消防組織の設置が必要となり、火災発生時の初期消火、情報連絡、避難誘導などを自ら実施することが想定されている。

消防計画の作成に当たっては、被害の態様と必要な対応行動を一律に限定するのではなく、防火対象物を管理する事業者において自主的な取り組みをすることとしている。

そのため、事業者が大規模地震をどのように想定し、どのように消防計画を作成すれば良いかについて、調査検討を進めることとしている。

2. 2010年度、2011年度の成果概要

大規模地震発生時に火災と火災以外の災害対応を的確に行うためには、被害の発生見込み(被害想定)を把握し、様々な被害に対応できる方策を予め検討しておく必要がある。平成22年度の本研究では、防火対象物となる高層建築物が東京都内では急速に増加しているにもかかわらず、高層建築物における地震被害を管理する事業者に、被害の算定に必要な情報が十分ではないことを指摘した。

また、平成23年度の研究では、東日本大震災の被害と対応状況を調査し、大規模地震発生に備える消防計画に係る被害想定で留意すべき事柄を検討した。そして、個別の防火対象物において消防計画に盛り込むだけでなく、都道府県や市区町村が定める地域防災計画と連携させる検討が必要であることを指摘した。

3. 調査対象と進め方

消防計画の策定方法を対象とすることから、被害の予測と、被害が発生した場合の対応措置を予め消防計画に盛り込むことを検討する。

本年度からは、大規模地震による被害の発生が一律でなく、一つの被害が他の障害とならないように対処することを念頭に調査研究を進める。このため、地震への備えと、地震発生時の人の動きに着目する。さらに、機能維持に関する項目を加えることとした。

具体的には、消防設備等について、まず、昨年度行った調査データを更に詳細に分析し、被害の相互関係を明らかにすることを試みる。また、昨年度に建物の被害を調査した岩手県、宮城県、福島県を対象に、建物特性と消防用設備等の設置状況、機能が維持できたか否かを追加で調査し、機能維持に支障を生じた原因として消防設備本体の損傷等による場合と、建物及び建物に付随する損傷等による不具合や不都合とに区分する。さらに、消防設備等が本来の機能を停止している間、補完体制として講じた措置、機能復旧期間、復旧方法及び復旧の障害になったことについて、可能な限り調査する。

追加の調査は、消防庁及び財団法人消防科学総合センターが昨年度アンケート調査を行った岩手県、宮城県、福島県に所在する建築物等327件のうち、何らかの被害の発生が報告された約半数の建築物にアンケート調査を行う。また、アンケート調査の対象となる建築物等の中から、発生時の対応状況が見られるものを対象に、事業者からヒアリングを行うこととしている。

3. 地震発生時の防災管理に関する備えと運用

まず、上記3県でアンケートに回答のあった205の建築物等で、緊急地震速報の受信装置を設置しているのは48(23.4%)で、建物の建築年が1980年以前の古いものが約半数を占めている。なお、回答数205のうち、建築時期が1980年以前の建物は49(23.9%)であった。

*1 :工学院大学建築学部まちづくり学科

東日本大震災発災時に、緊急地震速報がほぼ正しい震度を速報したのが26件、誤った震度を速報したのが7件、作動しなかったのが9件であった。

次に、自衛消防組織を構成する人数と、その内訳として自社職員と委託会社等の人員との割合を見ると、表1の通り自社職員の割合が80%以上のものが138(67.3%)を占めている。

構成人数 職員割合	10人以内	11～50人	51～100人	101人以上	全職員	無回答	総計
100%	13	34	24	31	2		104
90%以上		2	6	12			20
80%		2	4	8			14
70%	2	1	1				4
60%	1	3	1	3			8
50%	3	1	2	1			7
40%			1				1
30%	1	2	1	2			6
20%		2	2				4
10%	1	1		1			3
9%以下				1			1
0%（受託側が100%）	1	1	1				3
無回答						30	30
総計	22	49	43	59	2	30	205

表1 自衛消防組織の構成人員と自社職員割合

また、防災センターの構成人数と、その内訳として自社職員と委託会社等の人員との割合を見ると、表2の通り人数が10人以内のところが多く、自社職員の割合が80%以上のものは46(22.4%)にとどまり、自社職員が4割未満のものが84(41.0%)と多くなっている。

東日本大震災発災後に自衛消防組織が消防計画等に基づいて活動したのは回答数205のうちほとんどとなる191(93.1%)の事業所であった。具体的内容を複数回答で多い順に見ると、「建物内の被害の確認」と「館内におけるけが人の確認」が各170件、「電気ガス上下水道通信等ライフライン機能不全への対応」163件、「職員間の連絡」137件と続いており、このほかに「火災対応（結果的に非火災による火災報知設備の鳴動などを含む）」が62件、スプリンクラー設備等の破損に伴う水損防止措置（制御弁の閉

構成人数 職員割合	10人以内	11～30人	31～50人	51人以上	全職員	無回答	総計
100%	32	9	1	1	1		44
90%							
80%	1	1					2
70%	1						1
60%	1	1					2
50%	4	1					5
40%							
30%	3	2					5
20%	4						4
10%	2	2					4
9%以下		1					1
0%（受託側が100%）	61	9					70
無回答						67	67
総計	109	26	1	1	1	67	205

表2 防災センターの構成人員と自社職員割合

鎖等)」52件、エレベータ閉じ込め救出やけが人に対する応急救護」26件などの活動が行われた。

震災時の初動対応は、系統立った行動が必要不可欠となる。大規模・高層建築物では自衛消防組織や防災センター要員が中心となって活動することにより、目の届いた素早い対応が可能となる。震災により消防用設備等が破損する等の被害が発生した場合にも、それらが果たすべき機能を補完するために、自衛消防組織や防災センター要員が必要となることもある。現在引き続き、前述した追加のアンケート調査を行っており、ヒアリングも実施することとしている。

4. おわりに

平成24年に消防法を改正し、テナントごとの防災管理者に加えて高層の防火対象物等では統括防災管理者の選任が義務付けられ、建物全体としての消防計画を作成し、テナントの防災管理者への指示権が付与されることとなった(平成26年4月1日施行)。設備と人的対応が相まって防災管理をより強固にするため、消防計画の充実を図る必要が高まっている。

謝辞

使用するデータは、財団法人消防科学総合センター及び日本消防検定協会の協力を得ている。

査読付き論文

1. 久田嘉章, 久保智弘, 松澤 佳, 松本俊明, 田邊朗仁, 森川 淳, 2011 年福島県浜通り地震の地表地震断層の近傍における建物被害調査、日本地震工学会論文集、Vol. 12, No. 4, pp. 104-126, 2012 年 9 月
2. 山下哲郎、久田嘉章、坂本有奈利、久保智弘、新宿区超高層街区に建つ鉄骨造超高層建築の東北地方太平洋沖地震前後の振動特性、日本地震工学会論文集、Vol. 12, No. 4, pp. 3-16、2012 年 9 月
3. 新藤 淳、平本達也、村上正浩、久田嘉章、東日本大震災時における事業者の行動等について—新宿駅西口地域を対象としたアンケート調査より—、日本地震工学会論文集、Vol. 12, No. 4, pp. 288-307、2012 年 9 月
4. 久保智弘、久田嘉章、相澤幸治、大宮憲司、小泉秀斗、東日本大震災における首都圏超高層建築における被害調査と震度アンケート調査、日本地震工学会論文集、Vol. 12, No. 5, pp. 1-20、2012 年 11 月
5. 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：統計的グリーン関数法の場合 (その 3)、日本建築学会技術報告集、41 巻, pp. 37-42、2013 年 2 月
6. 吉村智昭、永野正行、久田嘉章、青井 真、岩城麻子、早川 崇、Citak Seckin Ozgur、松島信一、川辺秀憲、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 3)、日本建築学会技術報告集、41 巻, pp. 65-70、2013 年 2 月
7. 松本俊明、久田嘉章、永野正行、野津 厚、浅野公之、宮腰 研、田邊朗仁、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 3)、日本建築学会技術報告集、41 巻, pp. 71-76、2013 年 2 月

国際学会論文 (査読付も含む)

1. Hisada, Y., T. Yamashita, M. Murakami, T. Kubo, T. Arata, J. Shindo, and K. Aizawa, Seismic Response and Damage of High-Rise Buildings in Tokyo, Japan, during the 2011 Tohoku Earthquake, ISRERM' 2012, CD-ROM、2012 年 8 月 6 日
2. Hisada, Y., T. Yamashita, M. Murakami, T. Kubo, T. Arata, J. Shindo, and K. Aizawa, Seismic Response and Damage of High-Rise Buildings in Tokyo, Japan, during the 2011 Tohoku Earthquake, Proc. 15th World Conf. of Earthq. Engineering, LISBOA 2012, CD-ROM、2012 年 9 月
3. Hisada, Y., M. Nagano, A. Nozu, K. Miyakoshi, K. Asano, T. Matsumoto, T. Nakagawa, Benchmark Tests for Strong Ground Motion Prediction Methods using Theoretical Methods, Proc. 15th World Conf. of Earthq. Engineering, LISBOA 2012, Proc. 15th World Conf. of Earthq. Engineering, LISBOA 2012, CD-ROM、2012 年 9 月
4. YOSHIMURA, C., M. NAGANO, Y. HISADA, S. AOI, A. IWAKI, T. HAYAKAWA, S. O. CITAK, S. MATSUSHIMA, H. KAWABE, H. UEBAYASHI, Y. ONISHI, Benchmark Tests for Strong Ground Motion Prediction Methods using Numerical Methods, Proc. 15th World Conf. of Earthq. Engineering, LISBOA 2012, CD-ROM、2012 年 9 月
5. Kato, K., A. Morikawa, Y. Hisada, S. Ohno, A. Nobata, Y. Yamamoto, A. Nozu, H. Kawabe, Benchmark Tests for Strong Ground Motion Prediction Methods using Stochastic Green's Function Methods, Proc. 15th World Conf. of Earthq. Engineering, LISBOA 2012, CD-ROM、2012 年 9 月

6. Arata, T., Y. Hisada, T. Yamashita, T. Kubo, 3-D Seismic Response Analysis of a High-Rise Building in Tokyo, Japan, for the 2011 Tohoku Earthquake, Proc. 15th World Conf. of Earthq. Engineering, LISBOA 2012, CD-ROM, 2012年9月
7. Nakamura, H., T. Ninomiya & T. Sakaguchi, Y. Nakano, K. Konagai, M. Takayama, Y. Hisada, M. Seki, T. Ota, Y. Yamazaki, S. Mochizuki, T. Yanagi, T. Ohishi and A. Takahashi, Seismic Isolation Retrofit of Susono City Hall Situated above Lava Tubes, Seismic Isolation Retrofit of Susono City Hall Situated above Lava Tubes, Proc. 15th World Conf. of Earthq. Engineering, LISBOA 2012, CD-ROM, 2012年9月
8. Yamashita, T., Y. Hisada, Research Center for Urban Disaster Mitigation (UDM), and Seismic Response and Damage of High-Rise Buildings in Tokyo, Japan, during the 2011 Tohoku Earthquake, The 11th International Symposium on Advanced Technology (ISAT-Special)、2012年10月30日
9. Yamashita, T., Y. Hisada, T. Kubo, T. Nishikawa, E. Shizu, Development of Large Stroke Shaking Table and Dynamic Test of Ceiling System at High Building, The 11th International Symposium on Advanced Technology (ISAT-Special)、2012年10月30日
10. Kubo, T., Y. Hisada, M. Murakami, Developing the Database of Injury Estimation in High-Rise Office Buildings during a Major Earthquake in Japan, The 11th International Symposium on Advanced Technology (ISAT-Special)、2012年10月30日
11. Arakawa, Y., Y. Hisada, T. Yamashita, T. Kubo, Seismic Response Analysis of a High-Rise Building in Tokyo, for the 2011 Tohoku Earthquake, The 11th International Symposium on Advanced Technology (ISAT-Special)、2012年10月30日

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、久保智弘、街区・地域震災対策としての新たな利活用の提案：新宿駅周辺地域における取組の例、建築・住宅分野における「高度利用者向け緊急地震速報」の利活用事例及び新たな利活用方策に関する調査研究報告書、建築研究開発コンソーシアム、4章、pp.9-16, 2012年4月
2. 久田嘉章、東京・新宿駅周辺地域における地域連携による地震防災対策の取り組み、住宅 特集/東日本大震災による住まいへの影響と課題、61, pp.32-37, 2012年5月
3. 久田嘉章、鱈沢曜、超高層建築物の防災と事業継続対策、超高層建築物の防災・減災分野、ビルと環境、138, pp.4-15, 2012年9月

招待講演

1. 久田嘉章、首都圏で想定される地震と2011年東日本大震災での新宿駅西口地域、平成24年第三回住宅防火・防災研究会、2012年5月25日
2. 久田嘉章、新宿駅周辺地域における震災対策の取組みと緊急地震速報の利活用、緊急地震速報利用者協議会、2012年7月5日
3. 久田嘉章、建築系における緊急地震速報利用促進に向けた取り組み、第3回緊急地震速報利用者懇談会、2012年7月12日
4. 久田嘉章、“生きた”構造系教育、日本建築学会大会特別シンポジウム「今のままでいいのか、日本の建築教育」、2012年9月12日
5. 久田嘉章、モニタリングを活用した高層建物・都市の災害対応、日本建築学会大会（名古屋）・振動運営委員会PD、2012年9月14日
6. 久田嘉章、防災に配慮した都市部の家づくり、街づくり、東急電鉄セミナー、2012年9月

月 14 日

7. 久田嘉章、首都直下地震研究と被害想定の最新知見について、第 2 回日本生活協同組合連合会中央地連大規模災害対策協議会、2012 年 11 月 9 日
8. 久田嘉章、2011 年東北地方太平洋沖地震から何を学び、どう活かすか？ ―巨大地震に備えるための地盤震動研究（その 2）、趣旨説明、第 39 回地盤震動シンポジウム、日本建築学会、2012 年 11 月
9. 久田嘉章、想定される地震とその対策、第六方面危険物安全会・防火管理研究会合同研修会、東京消防庁、2013 年 2 月 15 日
10. 久田嘉章、村上正浩、鱒沢 曜、新藤 淳、中心市街地における効率的な災害対応能力向上手法に関する研究、文部科学省委託研究・都市減災サブプロジェクト、第 1 回成果発表会、2013 年 2 月 22 日
11. 久田嘉章、暮らしの観点からみた社会安全技術の課題、第 2 回土木学会震災シンポジウム社会安全セッション企画、セッション 1：工学連携による巨大災害と社会安全への取り組み、東日本大震災から 2 年～被災地の本格復興と日本再生への処方箋～、土木学会、2013 年 3 月 6 日

口頭発表

1. 久田嘉章、入力地震動小委員会「免震建築物のための設計用入力地震動作成ガイドライン」の改定について、JSSI 第 6 回技術報告会、2012 年 5 月 16 日
2. 久田嘉章、山下哲郎、村上正浩、久保智弘、新田龍宏、2011 年東北地方太平洋沖地震による新宿・超高層建築の揺れと被害、2012 年地球惑星科学連合大会、2012 年 5 月 21 日
3. 久保智弘、久田嘉章、松本俊明、森川 淳、引間 和人、福島県浜通り地震における断層近傍の建物被害調査と強震動予測について、2012 年地球惑星科学連合大会、2012 年 5 月 21 日
4. 松本俊明、久田嘉章、永野正行、野津 厚、浅野公之、宮腰 研、田邊朗仁、強震動予測手法に関するベンチマークテストその 8 理論的手法（ステップ 5・6）―日本建築学会 2012 年度大会、2012 年 9 月、
5. 吉村智昭、永野正行、久田嘉章、青井 真、岩城麻子、早川 崇、Seckin Ozgur Citak、川辺秀憲、強震動予測手法に関するベンチマークテストその 9：数値解析手法（ステップ 5・6）―、日本建築学会 2012 年度大会、2012 年 9 月
6. 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 10：統計的グリーン関数法（ステップ 5・6）―、日本建築学会 2012 年度大会、2012 年 9 月
7. 戸田和徳、境 有紀、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 11：統計的グリーン関数法におけるばらつきの検証（ステップ 1～4）―、日本建築学会 2012 年度大会、2012 年 9 月
8. 田邊朗仁、引間和人、久田嘉章、森川 淳、久保智弘、松本俊明、2011 福島県浜通り地震の地表断層近傍における建物被害調査及び強震動計算、日本建築学会 2012 年度大会、2012 年 9 月
9. 鳥田晴彦、壇 一男、入江紀嘉、川里 健、生玉真也、久田嘉章、震源スペクトルのオメガ二乗モデルと中村・宮武のすべり速度時間関数との関係（その 1）波形インバージョンによるすべり速度時間関数から算定される震源スペクトル、日本建築学会 2012 年度大会、2012 年 9 月
10. 荒川洋輔、久田嘉章、山下哲郎、久保智弘、新田龍宏、坂本有奈利、超高層建築における振動特性の評価と地震応答解析― その 1：強震観測記録での振動特性評価 ―、日本建築学会 2012 年度大会、2012 年 9 月
11. 新田龍宏、久田嘉章、山下哲郎、荒川洋輔、鱒沢 曜、吉村智昭、超高層建築における振動特性の評価と地震応答解析―その 2：弾塑性地震応答解析―、日本建築学会 2012 年度大会、2012 年 9 月

12. 大宮憲司、久田嘉章、久保智弘、超高層建築の高さ方向の震度増幅に関する研究、日本建築学会 2012 年度大会、2012 年 9 月
13. 坂本有奈利、山下哲郎、久保智弘、久田嘉章、クランクによる振幅増幅を利用した大振幅震動台の開発、日本建築学会 2012 年度大会、2012 年 9 月
14. 小泉秀斗、大宮憲司、久保智弘、久田嘉章、2011 年東北地方太平洋沖地震による超高層建物の揺れとアンケート震度について、日本建築学会 2012 年度大会、2012 年 9 月
12. 鱒沢 曜、久田嘉章、新宿・新都心における災害医療の地域連携、日本建築学会 2012 年度大会、2012 年 9 月
13. 飯塚章仁、鱒沢 曜、年縄 巧、鹿嶋俊英、小山 信、久田嘉章、免震レトロフィットを施した山梨県庁舎本館における地震観測記録、日本建築学会 2012 年度大会、2012 年 9 月
14. 村上正浩、久田嘉章、平本達也、新宿駅周辺地域の混乱防止と都市機能の継続に向けて、日本建築学会 2012 年度大会、2012 年 9 月
15. 久田嘉章、大規模震災時の大都市における避難に関する課題— 何からいつ・どこに避難すべきか、あるいは、留まるべきか —、日本地震工学会大会、2012 年 11 月 9 日
16. 村上 正浩、久田 嘉章、安心して働き・学び・遊び・集うことのできる新都心・新宿を目指して、社会貢献学会第 3 回大会、2012 年 11 月

外部資金の獲得

1. 文部科学省・科学研究費 B、研究課題：大都市圏で想定される広帯域強震動と超高層建築の減災対策（代表）、4,000 千円（平成 25 年度）
2. 文部科学省・都市の脆弱性が引き起こす激甚災害の軽減化プロジェクト、研究課題：中心市街地における効果的な災害対応能力向上手法の開発（分担）、4,000 千円（平成 25 年度）
3. 7 社共同研究・地震動ワーキンググループ、500 千円（平成 25 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. NHK 総合「クローズアップ現代/首都直下 震度 7 の衝撃 ～どう命を守るか～」に出演、2012 年 4 月 19 日放送
2. 産経新聞「首都地震被害想定に関する記事」に掲載、2012 年 4 月 19 日付
3. 河北新報、3 月 22 日新宿キャンパスで開催された「長周期地震動に対する室内安全セミナー」が紹介、2012 年 4 月 21 日付
4. アエラ、深夜なら死者 30 万人の根拠、にコメント掲載、2012 年 4 月 21 日付
5. 読売新聞「高層ビル備えの工夫」にコメント掲載、2012 年 6 月 11 日
6. 日刊建設工業新聞、2012 年度の日本建築学会大会で開催された特別シンポジウムで、本学が取り組む防災・減災活動などについて掲載、2012 年 9 月 21 日付
7. NHK 総合「おはよう日本」に出演、12 月 22 日放送
8. NHK 総合「首都圏ネットワーク」に出演、2012 年 12 月 27 日放送

その他（報告会・シンポジウムの主催・共催など）

1. 新宿駅周辺防災対策協議会主催 地震防災訓練、2013 年 1 月
2. 第 3 回社会貢献学会大会、2012 年 11 月
3. 工学院大学地震防災訓練（新宿校舎、八王子校舎）、2012 年 11 月
4. 平成 24 年度新宿駅周辺防災対策協議会シンポジウム、2012 年 7 月
5. 新宿駅周辺防災対策協議会セミナー、2012 年 8 月～2013 年 1 月

修士 1 名

学士 5 名

著書

1. 榊田佳寛、阿部道彦、小野里憲一、他 32 名：建築工事標準仕様書・同解説 JASS5N 原子力発電所施設における鉄筋コンクリート工事、日本建築学会、10 節、14 節、2013. 2. 15
2. 廣澤雅也、勅使河原正臣、小野里憲一、他 22 名：「埼玉県公共施設のための耐震診断・耐震改修マニュアル」2012 年度改訂版、埼玉建築設計監理協会、上巻 pp. 42-43、下巻 pp. 213-344、付録 7、2012. 9. 25
3. 廣澤雅也、勅使河原正臣、小野里憲一、他 22 名：既存建築物の耐震診断・耐震補強設計マニュアル 2012 改定版、建築研究振興協会、上巻 pp. 42-43、下巻 pp. 213-344、付録 7、2012. 9. 1
4. 高橋茂、真野孝次、小野里憲一、他 19 名：平成 24 年度 コンクリート技士研修テキスト、日本コンクリート工学協会 pp. 92-101、2012. 6. 15

招待講演

1. 小野里憲一：鉄筋コンクリート造の配筋の要点、株式会社建築構造センター創立 5 周年記念講演会、2012. 6. 9

口頭発表

1. 近藤龍哉、山本泰稔、加藤三晴、伴幸雄、鉄骨枠付き湿式パネルのせん断耐力と抵抗機構に関する実験的研究、日本建築学会学術講演梗概集 (2012 年度大会)、813 ページ～818 ページ、2012 年 9 月
2. 高橋良徳、兼平雄吉、常田裕是、小野里憲一、阿部周平：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 4. 付帯部材の最大せん断強度誘導方法の修正、日本建築学会大会、2012. 9. 12
3. 常田裕是、兼平雄吉、高橋良徳、小野里憲一、阿部周平：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 5. 耐震壁の変形性能と破壊形式の比較、日本建築学会大会、2012. 9. 12

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
5. 近藤龍哉、指定寄付、株式会社ピタコラム、1,000 千円、2012 年度

修士 3 名

学士 6 名

その他（本技術を利用した実施建物：近藤龍哉）

実績表（平成24年7月現在）						
No	建物名称	棟数（階数）（補強面積など）	住所	竣工（予定）年月	設計事務所	評定機関
1	大通4丁目ビル BD棟（西面）	1棟（2階から7階）（388m ² ）	北海道札幌市	平成24年6月	㈱NTT ファシリティーズ	㈱建築構造センター
2	川口市北町耐火住宅	2棟（1階）（10箇所）	埼玉県川口市	平成24年3月	㈱森田建築事務所	（社）埼玉建築設計監理協会
3	大通4丁目ビル BD棟（南面）	1棟（1階から7階）（312m ² ）	北海道札幌市	平成25年3月	㈱NTT ファシリティーズ	㈱建築構造センター
4	野川西住宅1棟、2棟、3棟、4棟、5棟、8棟	6棟（258m ² ）	神奈川県川崎市	平成25年2月	㈱小川建築設計事務所	川崎市耐震改修構造判定委員会
5	有馬第一住宅11号棟ほか2棟	3棟（187m ² ）	神奈川県川崎市	平成25年3月	㈱水谷建築設計事務所	川崎市耐震改修構造判定委員会
6	有馬第一住宅15号棟ほか4棟	5棟（186m ² ）	神奈川県川崎市	平成25年3月	㈱水谷建築設計事務所	川崎市耐震改修構造判定委員会
7	明石穂住宅6号棟ほか1棟	2棟（7箇所）	神奈川県川崎市	平成25年3月	㈱川崎設計	川崎市耐震改修構造判定委員会
8	安城市営新田住宅	4棟	愛知県安城市	評定資料作成中	浦野設計	アスコット
9	岐阜市営三田洞団地	1棟	愛知県岐阜市	評定資料作成中	山田建築設計事務所	アスコット
10	岐阜市営大洞団地	5棟	愛知県岐阜市	評定資料作成中	山田建築設計事務所	アスコット
11	川崎市南平耐火住宅	8棟	神奈川県川崎市	評定資料作成中		川崎市耐震改修構造判定委員会
12	川崎市初山住宅	3棟	神奈川県川崎市	評定資料作成中		川崎市耐震改修構造判定委員会
13	川崎市宮内住宅	3棟	神奈川県川崎市	評定資料作成中		川崎市耐震改修構造判定委員会
14	入間市霞川団地	1棟	埼玉県入間市	評定完了	K構造建築設計事務所	建築研究振興協会
	合計14件	合計46棟	6市町村		8設計事務所	5機関

著書

1. 山下哲郎、耐震構造の設計—学びやすい構造設計—、6章 鋼構造、pp. 367-452、日本建築学会関東支部、2012

国際学会論文 (査読付も含む)

1. Yamashita, T., Seismic Performance of X-Brace of Steel Equal-leg Angles, Proc. 15th World Conf. Earthq. Engng., CD-ROM、2012

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. 山下哲郎、耐震診断と改修の現状、大空間施設の総合的耐震性能を考える—東日本大震災を経験して—、2012年度日本建築学会、構造部門 (シェル・空間構造) パネルディスカッション資料、pp. 26-39 2012

口頭発表

1. 米田良祐、山下哲郎、学校体育館ブレース方向弾塑性応答変形の限界耐力計算による推定、日本建築学会大会、2012年
2. 長島由香里、山下哲郎、米田良祐、観測地震動に対する学校体育館ブレース方向の弾塑性応答に関するエネルギー的考察、日本建築学会大会、2012年

その他 (報告会・シンポジウムの主催・共催など)

1. 山下哲郎、2012年建築学会大会における構造部門 (シェル・空間構造) パネルディスカッション「大空間施設の総合的耐震性能を考える—東日本大震災を経験して—」を直接の責任者として企画・開催

外部資金の獲得

1. 山下哲郎、文部科学省・科研費・基盤A一般 (研究分担) /平成24~26年度/3,000千円、吊り天井ならびに天井懐に設置された設備機器の耐震設計法に関する研究
2. 山下哲郎、文部科学省・科研費・基盤B一般 (研究分担) /平成24~26年度/1,500千円、大都市圏で想定される広帯域強震動と超高層建築の減災対策

修士3名

学士8名

著書

1. Naohito Kawai, Preliminary Reconnaissance Report of the 2011 Tohoku-Chiho Taiheiyo-Oki Earthquake, Chapter 3 Damage to Timber Buildings, pp.115-148 (分担), Architectural Institute of Japan, 2012.09
2. 後藤 治・足立裕司・上野勝久・大橋竜太・樫原健一・古賀一八・花里利一・村田信夫・山崎鯛介, 被災歴史的建造物の調査・復旧方法の対応マニュアル, 全 102 頁, 熊本県建築士会, 2013 年 1 月
3. 河合直人, 限界耐力計算による伝統的木造建築物の構造計算指針・同解説, 1 章 適用範囲 pp.13-17 (分担)、3 章 材料・接合部・部材の特性値 pp.39-78、5 章 水平荷重に対する計算 pp.87-109 (分担)、付録 1 伝統的木造建築物簡易設計法 (案) pp.121-134、付録 3 2 層及び通し柱を考慮する 2 次元モデルの平面配置モデル pp.139-143 (分担)、日本建築学会、2013 年 2 月

査読付き論文

1. 佐藤樹里・山本博一・後藤 治, 文化財建造物を構成する大径長大材に適用できるヒノキ天然林の森林資源評価 愛媛県大洲城天守の事例, 日本建築学会計画系論文集 77-682, pp.2911-2916, 2012 年 12 月 30 日
2. 山口和弘、稲山正弘、志村智、畠山太志、河合直人、スパン、層高、鉛直荷重の有無などを变化させた木質ラーメン架構の実験的研究、日本建築学会構造系論文集、Vol.78、No.683、pp.119-128, 2013 年 1 月
3. 岡田玲・奥田泰雄・河井宏允・喜々津仁密・木村吉郎・後藤 治・田村幸雄・野田稔・林泰一・前田潤滋・松井正宏・森山英樹・吉田昭仁, 2012 年 5 月 6 日に北関東地方で発生した竜巻による建築物等への被害, 日本風工学会誌 38-1, pp.17-30, 2013 年 1 月

国際学会論文 (査読付も含む)

1. Takafumi Nakagawa, Mikio Koshihara, Naohito Kawai, Yukio Saito, Yoshiyuki Suzuki, Development of Numerical Analysis Method for Japanese Traditional Wood Houses Construction Considering the Sliding Behavior of Column Ends, World Conference on Timber Engineering, CD-ROM, Poster Papers pp.270-273, 2012.07
2. Taishi Hatakeyama, Kento Suzuki, Kenji Miyazawa, Naohito Kawai, Seismic Behavior and Seismic Performance Improvement on the Complicatedly Plane Shape of Wooden House, World Conference on Timber Engineering, CD-ROM, Poster Papers pp.274-277, 2012.07
3. Naohito Kawai, Analytical Study On Seismic Behavior of Traditional Wood Houses Considering Sliding at Column Bottom, World Conference on Timber Engineering, CD-ROM, Final Paper Journal Tuesday pp.327-334, 2012.07
4. Hiroshi Isoda, Naohito Kawai, Takahiro Tsuchimoto, Mikio Koshihara, Damage to Wood Buildings during the Great Tohoku Earthquake Part1- Ground Motion and Analytical Study, World Conference on Timber Engineering, CD-ROM, Final Paper Journal Tuesday pp. 545-552, 2012.07
5. Naohito Kawai, Hiroshi Isoda, Takahiro Tsuchimoto, Mikio Koshihara, Damage to Wood Buildings during the Great Tohoku Earthquake Part 2- Damage, World Conference on Timber Engineering, CD-ROM, Final Paper Journal Tuesday pp. 553-560, 2012.07

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. 河合直人、特集：耐震補強による既存木造住宅の耐力 UP 術 IV耐震補強の全体計画 評点の考え方と注意点、建築技術 2012 年 8 月号、pp.110-111、2012 年 8 月
2. 後藤 治, 文化財保存の現在, 2012 年度日本建築学会大会 (東海) 建築計画部門研究協議会資料: 利用の時代の歴史保全 保存・再生・活用の立脚点を考える, pp. 25-28, 2012 年 9 月 13 日
3. 後藤治, 東日本大震災から見た登録制度の意義と課題, 2012 年度日本建築学会大

- 会(東海)建築歴史・意匠部門研究協議会資料「登録文化財の保存と活用」, pp. 32-33, 2012年9月13日
4. 後藤 治, 歴史的建造物・町並み保存をめぐる制度的課題, 都市問題 103-9, pp. 55-62, 2012年9月1日
 5. 後藤 治, 多様化する文化財 規制・復原から活用・マネジメントへ, 季刊まちづくり 35-1207, pp. 17-23, 2012年7月15日
 6. 後藤 治, 伝統的な町並み地区における災害対策, 日事連 50-583, pp. 4-9, 2012年5月10日
 7. 後藤 治, 大規模災害に備え職人の育成と相互協力体制を, 建築仕上技術, 37-442, p15, 2012年5月1日
 8. 後藤 治, 歴史的建築物に用いられている材料・構法とその評価, 建材試験情報 48, pp. 2-7, 2012年4月1日

招待講演

1. 後藤 治, 文化財の防災・耐震, 群馬県建築士会, 2013年2月23日
2. 後藤 治, 文化財と防災, 熊本県建築士会, 2013年1月26日
3. 後藤 治, 歴史的建築物の保存活用におけるヘリテージマネージャーの役割, 三重県建築士会, 2013年1月19日
4. 後藤 治, 真壁町から考える「災害と歴史的建築物」, 東京建築士会・銀座建築デザイン大学, 2012年9月23日

口頭発表

1. 松本憲幸、河合直人、伝統的木造住宅の地震時挙動に関する解析的研究、日本建築学会大会学術講演梗概集 構造Ⅲ pp. 429-430、2012年9月
2. 落合智・三浦卓也・後藤 治, 秋田県横手市増田町旧佐藤三十郎商店について, 2012年度日本建築学会大会(東海)学術講演梗概集 F-2 分冊, p. 739, 2012年9月12日
3. 水野真歩・三浦卓也・後藤 治, 秋田県横手市増田町の蔵について, 2012年度日本建築学会大会(東海)学術講演梗概集 F-2 分冊, p. 741, 2012年9月12日
4. 後藤 治, 文化財保存の現在, 2012年度日本建築学会大会(東海)・建築計画部門研究協議会, 2012年9月13日
5. 後藤 治, 海外の文化財防災計画, 日本火災学会講習会「近代歴史的建築物の保存活用における防災計画」, 2013年3月8日

修士3名

学士2名

著書

1. 西川豊宏、知っておきたい住宅設備設計の基本：第4章 4-3 自然による災害と住宅の安全，1～3 (分担)、pp.112-118、オーム社、2012
2. 大橋一正、知っておきたい住宅設備設計の基本：第4章 4-1 災害による被害と減災に関わる設備設計のポイント，4-4 火災による被害と住宅の防犯対策，1 (分担)、pp.105,122-123、オーム社、2012

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. 山下哲郎、耐震診断と改修の現状、大空間施設の総合的耐震性能を考える—東日本大震災を経験して—、2012年度日本建築学会、構造部門 (シェル・空間構造) パネルディスカッション資料、pp.26-39、2012.9

招待講演

1. 大橋一正 大地震におけるライフラインの安全と機能維持について、第4回日本建築設備診断機構シンポジウム、「これからの建築・設備の保守保全—新たな危機に直面して(大地震・電力不足)—」，2013.2
2. 西川豊宏 超高層建物の建築設備と地震リスク，第4回日本建築設備診断機構シンポジウム、「これからの建築・設備の保守保全—新たな危機に直面して(大地震・電力不足)—」，2013.2

口頭発表

1. 志津えりか、西川豊宏、大橋一正、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 超高層建築物におけるスプリングラ巻出し配管の耐震性と追従性について、2012年度日本建築学会、関東支部研究報告集、PP.73-76、2013年3月
2. 志津えりか、西川豊宏、大橋一正、矢澤俊一、渡邊裕貴、事業継続計画策定における建築設備の地震リスクに関する研究(第1報)、東北地方太平洋沖地震における水使用とその設備被害の評価、空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集、PP.2333-2336、2012.9
3. 志津えりか、西川豊宏、大橋一正、矢澤俊一、渡邊裕貴、事業継続計画策定を支援する建築の非構造部材・建築設備の地震リスクに関する研究(その1)既存建物におけるスプリングラ配管の静的加力実験、日本建築学会大会学術講演梗概集、D-2、PP.585-587、2012.9
4. 坂本有奈利、山下哲郎、久田嘉章、久保智弘、クランクによる振幅増幅を利用した大振幅振動台の開発、日本建築学会大会学術講演梗概集、2012年、B-2分冊、p.1247-1248、2012.9

外部資金の獲得

1. 西川豊宏、文部科学省・科研費・基盤A一般(研究分担) /平成24～26年度 /1,560千円、吊り天井ならびに天井懐に設置された設備機器の耐震設計法に関する研究
2. 山下哲郎、文部科学省・科研費・基盤A一般(研究分担) /平成24～26年度 /3,000千円、吊り天井ならびに天井懐に設置された設備機器の耐震設計法に関する研究
3. 山下哲郎、文部科学省・科研費・基盤B一般(研究分担) /平成24～26年度 /1,500千円、大都市圏で想定される広帯域強震動と超高層建築の減災対策

修士2名

学士5名

査読付き論文

1. 河野和哉、丹羽直毅、小林光男、一之瀬和夫、湯本敦史、密閉型鍛造を用いた強河口による純チタンの結晶粒超微細化、材料試験技術、Vol. 57、No. 2、pp. 121-125, 2012
2. 芝崎達朗、大石久己、小林光男、後藤芳樹、一之瀬和夫、圧力円筒ねじ端の荷重分布に及ぼす栓材料の影響、材料試験技術、Vol. 58、No. 1、pp. 49-55, 2013

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、田中道彦、田中 稔、高圧プラント設備におけるねじ構造の設計指針の拡大、工学院大学総合研究所年報、第19号、pp. 15-20, 2012.
2. 緒方亮介、井上拓也、丹羽直毅、小林光男、大石久己、小久保邦雄、硬式用金属バットとボールの変形挙動の有限要素法による解析、工学院大学研究報告、No. 113、pp. 5-8, 2012.

招待講演、依頼講演

1. 小林光男、小ねじの締付けに関する技術解説、東京都第67回締結問題講演会・特別講演、2012.3
2. 小林光男、ねじ継ぎ手に関する具体的問題点とその解決策及び成果、2012 スズキ財団特別講演、2012.10.

口頭発表

1. 田村安正、立野昌義、小林光男、後藤芳樹、金属細線の引張試験方法の検討、日本機械学会北陸支部第49期総会講演会、2012年3月
2. 小林光男、福田勝己、桜庭高志、白木尚人、後藤芳樹、ねじ締結体の強度に及ぼす撃荷重の追加軸力(非調質ボルトの場合)、第56回日本学術会議材料工学連合講演会、PP. 225-226, 2012
3. 芝崎達朗、小林光男、大石久己、後藤芳樹、菅原光平、圧力容器ねじ端の設計における強度解析と安全性評価、日本機械学会安全安心を支える機械システム、pp. 7-8, 2012
4. 羽生恭介、小林光男、後藤芳樹、小ねじの締付けと強度的使用効率、日本材料試験技術協会、第253回材料試験技術シンポジウム
5. 小林光男、渡邊健太郎、後藤芳樹、山本春生、市川 貢、衝撃荷重を受ける各種材料の摩擦係数(続報)、精密工学会島根地方学術講演会、2012年10月
6. 吉本拓郎、丸山美紀子、小林光男、後藤芳樹、鈴木健司、根本俊雄、ねじ締結体の高温設計に関する研究、日本設計工学会、2012年9月
7. 芝崎達朗、萩谷佳太、小林光男、大石久己、後藤芳樹、福田勝己、高圧設備における圧力円筒ねじ端の荷重分布、日本設計工学会、2012年9月
8. 生野雅也、小林光男、後藤芳樹、一之瀬和夫、小久保邦雄、地震に対するスプリング配管構造の強度解析、日本設計工学会、2012年9月
9. 萩谷佳太、芝崎達朗、小林光男、何 建梅、後藤芳樹、福田勝己、圧力円筒テーパねじ端の荷重分布、日本設計工学会、2012年9月
10. 斎藤 久、小林光男、後藤芳樹、久保田善弘、福田勝己、鈴木健司、ねじ締結体におけるナットの荷重分布の測定、日本設計工学会、2012年9月
11. 小林光男、渡邊健太郎、後藤芳樹、山本春生、市川 貢、衝撃荷重を受ける各種材料の摩擦係数、日本材料学会第61期通常総会学術講演会、No. 518.

その他(報告会・シンポジウムの主催・共催など)

1. 小林光男、ユースセミナー「機械要素メーカーにおける材料試験」、材料試験技術、Vol. 58、No. 1、2013

修士14名、学士25名

阿部道彦・田村雅紀（建築学部・建築学科）、後藤 治（建築学部・建築デザイン学科）
石川嘉崇（電源開発）、

著書

1. 田村雅紀 他, 無機系材料の処理技術, リサイクル・廃棄物事典, 産業調査会・リサイクル廃棄物事典編集委員会, pp. 145-157, 2012. 2
2. 田村雅紀 他, 社会貢献学入門 第6章, TKK 3 大学連携プロジェクト共同テキスト開発委員会, 2012. 2
3. 阿部道彦: 型枠の設計・施工指針、コンクリート技士研修テキスト (分担), 日本コンクリート工学会, pp. 85-91, 2012. 6
4. 田村雅紀, 蟹澤宏剛, 木本健二, 堤洋樹, 建築生産 ものづくりから見た建築の仕組み, ものづくり研究会編者, 彰国社, 2012. 11
5. 榊田佳寛、阿部道彦 他: 建築工事標準仕様書・同解説 JASS 5N 原子力施設における鉄筋コンクリート工事 (分担)、日本建築学会, 2013. 2
6. 阿部道彦、他: 高炉スラグ細骨材を使用するコンクリートの調合設計・施工指針・同解説 (分担), 日本建築学会, 2013. 2

査読付き論文

1. 石川嘉崇, 古川雄太, 阿部道彦: 各種スラグ細骨材との性状比較による IGCC 石炭溶融スラグのコンクリート用細骨材としての有用性の検討, 日本建築学会構造系論文集 No. 676, pp. 799-805, 2012. 6
2. 石川嘉崇、嵩英雄: 中庸熟ポルトランドセメントとフライアッシュを用いたコンクリートのコンクリート打重ね部に関する曲げ強度と中性化特性, 日本建築学会技術報告集, Vol. 18, No. 39, pp. 413-416, 2012. 6
3. 上本洋、阿部道彦、鹿毛忠継、浅野研一: 高炉スラグと天然砂を混合した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. 34, pp. 100-105, 2012. 7
4. 石川嘉崇、有薊大樹、佐藤道生、安田幸弘: フライアッシュを微粒分量として補填した石炭溶融スラグ細骨材を用いたコンクリートの基礎性状、コンクリート工学年次論文集、Vol. 34, pp. 142-147, 2012. 7
5. 渡邊裕輝、石川雅美、石川嘉崇: 混合セメントを用いたコンクリートの乾燥収縮ひずみ予測式のセメントの係数について, コンクリート工学年次論文集、Vol. 34, pp. 124-129, 2012. 7
6. 高橋大祐、阿部道彦、花野克哉、篠山彰: 住宅基礎コンクリート圧縮強度への小径コアリング適用性の検討 (コアサイズの観点から), シンポジウム コンクリート構造物の非破壊検査論文集, Vol. 4, pp. 367-374, 2012. 8
6. 石川嘉崇: コンクリート用フライアッシュの JIS における活性度指数に関する一考察、日本建築学会技術報告集, Vol. 18, No. 40, pp. 819-822, 2012. 10
7. 小山明男, 兼松学, 今本啓一, 田村雅紀, 大学における建築材料教育の実態に関するアンケート調査, 日本建築学会建築教育研究論文報告集, No. 12, pp. 23-28, 2012. 12
8. 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, 日本建築学会技術報告集, 第 40 号, pp. 853-858, 2012, 10
9. 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, 第 40 号, pp. 841-846, 2012, 10

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. 田村雅紀 他, 社会情勢とコンクリート産業構造の関連性検討委員会報告書, 日本コンクリート工学協会, 2012. 3
2. 田村雅紀 ほか, 微破壊試験を活用したコンクリート構造物の健全性診断手法調査研究委員会報告書, 日本コンクリート工学会, 2012. 6
3. 田村雅紀、阿部道彦、中村孝也、斉藤順一、石川嘉崇、依田和久：解体を迎える半世紀供用した鉄筋コンクリート造建築物の後期健全度評価と解体排出物のゼロエミッション型再資源化モデルの構築, 工学院大学総合研究所報, No. 19, pp. 143-151, 2012. 6
4. 田村雅紀ほか, 暮らしのなかの非破壊検査一人・ペットの住み良い共棲環境の形成に向けてー, 第4回コンクリート構造物の非破壊検査シンポジウムPD資料, 2012. 8
5. 田村雅紀ほか, ペットと人が共棲できるユニバーサルデザイン建材と居住空間のあり方, 2012 年度日本建築学会大会学術講演会パネルディスカッション資料, 2012. 8
6. 阿部道彦：試験の適正な実施に向けて、巻頭言, 建材試験情報, Vol. 48, p. 1, 2012. 7
7. 阿部道彦：今後の50年に向けて、建材試験情報, Vol. 48, pp. 34-35, 2012. 12
8. 阿部道彦、材料の使用に関する継承、改変と今後、骨材、コンクリート工学, Vol. 51, No. 1, pp. 31-34, 2013. 1
9. 阿部道彦：性能表示を超えて、プレバ[®]建築協会50年史, p. 30, 2013. 1
10. 石東昇、梶田佳寛、阿部道彦、鹿毛忠継：高炉スラグ細骨材を使用した高強度コンクリートの調合と力学特性, テクニカル・レポート, コンクリート工学, Vol. 51, No. 2, pp. 165-172, 2013. 2
11. 阿部道彦：JCI と関わって思うこと, 巻頭言, コンクリート工学, Vol. 51, No. 3, p. 1, 2013. 3

口頭発表

1. 石川嘉崇：フライアッシュの活性度指数についての基礎検討、セメント技術大会講演要旨, Vol. 66th, No. 3308, 2012. 4
2. 仲摩諭、阿部道彦：コンクリートのブリーディングに関する文献調査 (Literature Survey on Bleeding of Concrete)、第11回韓国・日本建築材料・施工 Joint Symposium, pp. 156-159, 2012. 8
3. 阿部道彦、齊藤辰弥：高炉スラグ細骨材の破砕値に関する実験的検討 (An experimental study on crushing value of blast-furnace slag fine aggregate), 第11回韓国・日本建築材料・施工 Joint Symposium, pp. 70-73, 2012. 8
4. Shino Suzuki and Masaki Tamura, 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と技術的展望, 第11回韓国日本建築材料 Joint Symposium 論文集, Korea, 2012. 8
5. Shinichi Kimishima, Masaki Tamura, Chikako Ohara, 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, 第11回韓国日本建築材料 Joint Symposium 論文集, Korea, 2012. 8
6. 田村雅紀, 田中良拓, 首都圏で実施工された建築構造用コンクリートの色彩値と原材料物性因子との相関分析, コンクリート構造物の非破壊検査論文集, pp. 197-202, 2012. 8
7. 田村雅紀, 岡 晴貴, 旧基準鉄筋コンクリート造建築物の表層部における錆汁溶出特性と色彩値による劣化度評価, コンクリート構造物の非破壊検査論文集, pp. 203-208, 2012. 8
8. 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抵抗性に関する実験 (その3 高炉スラグ細骨材の混合率の影響), 日本建築学会大会学術講演梗概集 A-1, pp. 259-260, 2012. 9
9. 阿部道彦、鹿毛忠継、真野孝次、浅野研一、梶田佳寛：高炉スラグ細骨材を使用し

- たコンクリートの調合に関する実験, 日本建築学会大会学術講演梗概集 A-1, pp. 261-262, 2012. 9
10. 齊藤辰哉、阿部道彦：高炉スラグ細骨材の破碎値に関する実験的検討, 日本建築学会大会学術講演梗概集 A-1, pp. 263-264, 2012. 9
 11. 鹿毛忠継、真野孝次、阿部道彦、浅野研一、梶田佳寛：高炉スラグ細骨材を使用したコンクリートの長期性状に関する実験, 日本建築学会大会学術講演梗概集 A-1, pp. 265-266, 2012. 9
 12. 真野孝次、浅野研一、阿部道彦、鹿毛忠継、梶田佳寛：高炉スラグ細骨材を使用したコンクリートの乾燥収縮に関する実験, 日本建築学会大会学術講演梗概集 A-1, pp. 267-268, 2012. 9
 13. 古川雄太、石川嘉崇、熊谷茂、阿部道彦：石炭起源の熔融スラグ細骨材を使用したモルタルの諸性状に関する研究（その1 AE 剤の違いが空気量に及ぼす影響）, 日本建築学会大会学術講演梗概集 A-1, pp. 277-278, 2012. 9
 14. 熊谷茂、古川雄太、石川嘉崇、阿部道彦：石炭起源の熔融スラグ細骨材を使用したモルタルの諸性状に関する研究（その2 養生方が強度発現に及ぼす影響）, 日本建築学会大会学術講演梗概集 A-1, pp. 279-280, 2012. 9
 15. 金子樹、阿部道彦：硬化コンクリートへの塩化物イオン浸透促進試験における乾湿繰返し条件の影響に関する実験, 日本建築学会大会学術講演梗概集 A-1, pp. 483-484, 2012. 9
 16. 中村則清、阿部道彦：混合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. 497-498, 2012. 9
 17. 小野克也、梶田佳寛、杉山央、李榮蘭、阿部道彦：コンクリートの中性化速度係数に関する理論的解析, 日本建築学会大会学術講演梗概集 A-1, pp. 507-508, 2012. 9
 18. 山崎舞、千歩修、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耐凍害性におよぼすブリーディングの影響, 日本建築学会大会学術講演梗概集 A-1, pp. 529-530, 2012. 9
 19. 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3 圧縮強度）, 日本建築学会大会学術講演梗概集 A-1, pp. 879-880, 2012. 9
 20. 花野克哉、篠山彰、外山明日香、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4 中性化）, 日本建築学会大会学術講演梗概集 A-1, pp. 881-882, 2012. 9
 21. 高橋大祐、篠山彰、花野克哉、阿部道彦：住宅基礎の高耐久化に関する実験（その5 構造体コンクリート強度推定手法の検討）, 日本建築学会大会学術講演梗概集 A-1, pp. 883-884, 2012. 9
 22. 彦坂信之、嵩 英雄、田山隆文、丸 章夫、守屋健一、西 祐宣、田村雅紀、金子 樹、高温にさらされたコンクリートの強度性状に及ぼすセメント種類と養生および暴露条件の影響に関する実験的研究,（その1）既往の研究および実験の概要 日本建築学会大会学術講演梗概集・建築デザイン発表梗概集(CD-ROM) 巻, 2012. 9
 23. 守屋健一、西 祐宣、嵩 英雄、彦坂信之、田山隆文、丸 章夫、田村雅紀、金子 樹、高温にさらされたコンクリートの強度性状に及ぼすセメント種類と養生および暴露条件の影響に関する実験的研究,（その2）コンクリートの材料・調合, 供試体の養生および高温暴露, 日本建築学会大会学術講演梗概集・建築デザイン発表梗概集(CD-ROM) 巻, 2012. 9
 24. 田山 隆、嵩 英雄、彦坂信之、丸 章夫、守屋健一、西 祐宣、田村雅紀、金子 樹、湿にさらされたコンクリートの強度性状に及ぼすセメント種類と養生および暴露条件の影響に関する実験的研究,（その3）高温暴露後のコンクリートの質量減少と強度性状, 日本建築学会大会学術講演梗概集・建築デザイン発表梗概集(CD-ROM) 巻, 2012. 9
 25. 西 祐宣、守屋健一、嵩 英雄、彦坂信之、田山隆文、丸 章夫、田村雅紀、金子 樹、高温にさらされたコンクリートの劣化におよぼすセメント・骨材と暴露条件の影響,（その4）高温加熱後の X 線回折および水和生成物の変化, 日本建築学会大会学術講演梗概

- 集・建築デザイン発表梗概集(CD-ROM) 巻, 2012.9
26. 田村雅紀、嵩 英雄、彦坂信之、田山 隆文、丸 章夫、西 祐宣、守屋健一、金子 樹、高温にさらされたコンクリートの劣化におよぼすセメント・骨材と暴露条件の影響、(その5) 高温暴露後の細孔量および細孔径分布の変化、日本建築学会大会学術講演梗概集・建築デザイン発表梗概集(CD-ROM) 巻, 2012.9
 27. 嵩 英雄、彦坂信之、田山隆文、丸 章夫、守屋健一、西 祐宣、田村雅紀、金子 樹、高温にさらされたコンクリートの強度性状に及ぼすセメント種類と養生および暴露条件の影響に関する実験的研究、(その6)、一面加熱を受けるマッシブな壁体内部のコンクリートの強度分布の推定および総合的考察、日本建築学会大会学術講演梗概集・建築デザイン発表梗概集(CD-ROM) 巻, 2012.9
 28. 原孝志、木下茂、石川嘉崇：蒸気養生下でのフライアッシュを用いたコンクリートの基礎性状、日本建築学会大会学術講演梗概集 A-1, pp. 533-534, 2012.9
 29. 石川嘉崇、木下茂、小山智幸、伊藤是清：フライアッシュ起源高強度人工骨材コンクリートの長期性状に関する研究 その1 研究の概要、日本建築学会大会学術講演梗概集 A-1, pp. 575-576, 2012.9
 30. 伊藤是清、小山智幸、石川嘉崇：フライアッシュ起源高強度人工骨材コンクリートの長期性状に関する研究 その2 長期暴露性状、日本建築学会大会学術講演梗概集 A-1, pp. 577-578, 2012.9
 31. 伊藤是清、小山智幸、石川嘉崇：フライアッシュを混和したコンクリートの自己修復機能に関する研究 (その1 試験概要、予備試験検討、強度試験結果)、日本建築学会大会学術講演梗概集 A-1, pp. 585-586, 2012.9
 32. 石川嘉崇、矢島典明、木下茂：蒸気養生したフライアッシュを用いたコンクリートの性状、土木学会年次学術講演会講演梗概集, Vol. 67th, No. V-533, 2012.9
 33. Satoru Nakama, Michihiko Abe : Literature Survey on Bleeding of Concrete , The 11th International Symposium on Advanced Technology, UDM1-4 , 2012.10
 34. Shino Suzuki, Masaki Tamura , Protective effectiveness for structural concrete by traditional finishing plasterers and technical prospect in Reinforced Concrete Buildings, The 11th International Symposium on Advanced Technology, UDM1-4, 2012.10
 35. 田村雅紀, 五十嵐怜, 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, pp. 59~62, 2012 年日本建築仕上学会研究発表論文集, 2012.10
 36. 君島新一, 田村雅紀, 大原千佳子, 視覚距離により多像化する壁紙のパターン知覚が印象評価に与える影響, その1 パターン・イメージ原図を対象とした官能検査, pp. 131~134, 2012 年日本建築仕上学会研究発表論文集, 2012.10
 37. 君島新一, 田村雅紀, 山口由衣, 程原恵多, 大原千佳子, 視覚距離により多像化する壁紙のパターン知覚が印象評価に与える影響, その2 パターン・イメージ原図を対象とした近赤外光法計測, pp. 135~138, 2012 年日本建築仕上学会研究発表論文集, 2012.10
 38. 小室清人, 田村雅紀, 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仕上げ部の動的劣化特性, pp. 187~190, 2012 年日本建築仕上学会研究発表論文集, 2012.10
 39. 田村雅紀, 熊谷早織, 後藤 治, 山本博一, ホウ酸-ケイ酸ナトリウム処理による茅葺仕上屋根材の難燃性評価, pp. 231~234, 2012 年日本建築仕上学会研究発表論文集, 2012.10
 40. 野村奈緒, 田村雅紀, 後藤 治, 山本博一, 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, pp. 235~238, 2012 年日本建築仕上学会研究発表論文集, 2012.10
 41. 鈴木志野, 田村雅紀, 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と技術的展望, pp. 215~218, 2012 年日本建築仕上学会研究発表論文集, 2012.10
 42. 金巻とも子, 田村雅紀, 田島三嘉, 災害時における家庭動物共棲住環境の 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, pp. 275~278, 2012 年日本建築工
 上学会研究発表論文集, 2012. 10
43. 田村雅紀, 今本啓一, 兼松学, 小山明男, 材料・施工教育基本構想ワーキング, pp62-63, 2012. 11
 44. 程原恵多, 田村雅紀, 金巻とも子, 災害時を含めたペット共棲住環境の品質評価, 社会貢献学会, 第 3 回, pp. 55~659, 2012 年 11 月
 45. 君島新一, 田村雅紀, 大原千佳子, 住空間における多像化壁紙のパターン知覚が印象評価に与える影響 パターン・イメージ原図を対象とした官能検査, 社会貢献学会, 第 3 回, pp. 61~64, 2012 年 11 月
 46. 佐藤顕太、宮本真道、花野克哉、阿部道彦：住宅基礎コンクリートの性状に及ぼす締固め方法の影響, 日本建築学会関東支部研究発表会, 1064, 2013. 3
 47. 彦根俊海、小熊悠暉、金子樹、阿部道彦：コンクリート内への塩化物イオンの浸透・拡散に関する実験的研究, 日本建築学会関東支部研究発表会, 1067, 2013. 3
 48. 岡雅聡、阿部道彦、齊藤辰弥：質量変化によるコンクリートの中性化の評価, 日本建築学会関東支部研究発表会, 1069, 2013. 3
 49. 程原恵多, 田村雅紀, 金巻とも子災害時を含めたペット共棲住環境の品質評価, 2012 年度日本建築学会関東支部研究報告集 1, pp. 57-60, 2013. 3
 50. 針原光成, 田村雅紀, 構造体コンクリートの物理的耐用年数に関する品質保証技術の導入と検証, 2012 年度日本建築学会関東支部研究報告集 1, pp. 33-36, 2013. 3
 51. 有賀拓矢, 田村雅紀, 環境配慮型打継ぎ資材の施工システムにおける複合的環境側面の評価, 2012 年度日本建築学会関東支部研究報告集 1, pp. 49-52, 2013. 3
 52. 田村雅紀, 鈴木誠二, 北垣亮馬, 野口貴文, 合板型枠とリブ付き樹脂型枠のカーボンフットプリント比較に向けた基礎情報の整理, 2012 年度日本建築学会関東支部研究報告集 1, pp. 69-72, 2013. 3
 53. 荒川京平, 田村雅紀, 未利用木材を有効利用した低圧縮型木片コンクリートの基礎物性評価, 2012 年度日本建築学会関東支部研究報告集 1, pp. 105-108, 2013. 3
 54. 佐山俊介, 田村雅紀, 外装材利用を目的とした木片セメント板の基礎的物性と硬化促進改質処理効果, 2012 年度日本建築学会関東支部研究報告集 1, pp. 177-180, 2013. 3
 55. 小川剛司, 田村雅紀, 海洋生物殻を混和した多層構造型空隙コンクリート材料の遮熱性能評価に関する基礎的検討, 2012 年度日本建築学会関東支部研究報告集 1, pp. 193-196, 2013. 3
 56. 直井優太, 田村雅紀, 後藤 治, 山本博一, 屋外暴露した改質こけら葺き材の初期劣化性状の評価, 2012 年度日本建築学会関東支部研究報告集 1, pp. 207-220, 2013. 3

各種メディア（新聞・テレビ・ラジオなど）・展示会で公表

1. 田村雅紀, 仮設住宅でペットとの共棲探る, 建設通信新聞, 2012. 1. 31
2. 阿部道彦：建築学会 高炉スラグ細骨材で高強度コン、セメント新聞、2013 年 2 月 25 日
3. 阿部道彦：高強度コンでの使用明記、アグリゲイト、2013 年 2 月 25 日
4. 阿部道彦：スラグ骨材 高強度コンでの使用明記、セメント新聞、2013 年 2 月 11 日
5. 阿部道彦：高炉スラグ細骨材を使用したコンクリートの調合設計・施工指針講習会、コンクリート工業新聞、2013 年 2 月 7 日

その他（報告会・シンポジウムの主催・共催など）

1. 久田嘉章、阿部道彦、田村雅紀、他：都市減災研究センター（UDM）平成 23 年度研究成果報告会, 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, 2012 年 5 月 28 日
2. 田村雅紀ほか, 微破壊試験を活用したコンクリート構造物の健全性診断手法調査研究委員会報告書, 日本コンクリート工学会, 東京工業大学, 2012. 6 月 1 日

3. 田村雅紀ほか，暮らしのなかの非破壊検査－人・ペットの住み良い共棲環境の形成に向けて－，第4回コンクリート構造物の非破壊検査シンポジウム，日本大学，2012年8月10日
4. 田村雅紀ほか，ペットと人が共棲できるユニバーサルデザイン建材と居住空間のあり方，2012年度日本建築学会大会学術講演会パネルディスカッション，名古屋大学，2012年9月12日
5. 榊田佳寛、阿部道彦、他：建築工事標準仕様書・同解説 JASS 5N 原子力施設における鉄筋コンクリート工事 2013 改定講習会、日本建築学会、場所：日本建築学会会議室，2013年2月8日
6. 阿部道彦、他：高炉スラグ細骨材を使用するコンクリートの調合設計・施工指針・同解説講習会，日本建築学会，場所：建築会館ホール、2013年2月15日、場所：大阪科学技術センター、2013年2月20日
7. 近藤龍哉、小野里憲一、阿部道彦、田村雅紀：都市減災研究センター（UDM）2012年度鉄筋コンクリート関連報告会，研究テーマ1.2 鉄筋コンクリート造建築物の効果的な耐震補強・改修法の開発と推進および研究テーマ3 震災廃棄物の再資源化と高機能化，工学院大学，2013年2月21日

学士 8名

修士1名，学士8名

査読付き論文

1. 三木香央理, 平井弘実, 山口実靖, 小口 正人, Android 端末の無線 LAN アクセス時の周辺状況に基づく TCP 制御手法の提案と通信制御ミドルウェアの導入, 先進的計算基盤システムシンポジウム (SACSIS2012), pp.176-184
2. 竹内洸祐 山口実靖, 複数サーバ接続ネットワークストレージ環境での参照の局所性の解析, 第24回 コンピュータシステム・シンポジウム (ComSys 2012)

国際学会論文 (査読付も含む)

1. Aki Kobayashi, Toshiaki Shinmori, Masayuki Inogami, Takao Koyama, A Study on Temperature Prediction at Every House Using Regional Grid Network, Proc. of ISAT-special 2012, P-C11-I, 2012.
2. Takao Koyama, Naoki Matsumoto, Masaru Iguchi, Toshifumi Satake, Aki Kobayashi, Tsukasa Tsukidate, Development of a Heat Pump Heating Control System for Cold Regions, Proc. of ISAT-special 2012, P-C12-I, 2012.
3. Takao Koyama, Masaru Iguchi, Toshifumi Satake, Aki Kobayashi, Tsukasa Tsukidate, Development of Heating Management System in Cold Regions, Proc. of Applied Computing 2012, P168, 2012.
4. Akito Takashi, Syou Yamamoto, Koichi Asatani, Osamu Mizuno, Design of the Mitigation Information network in urban area, Asia-Pacific Network Operations and Management Symposium (APNOMS 2012), S1-6, Seoul, Korea, Sept., 2012
5. Syou Yamamoto, Akito Takashi, Koichi Asatani, Osamu Mizuno, Proposal for Mitigation Information Network Applications to Provide Communication Services, The 11th International Symposium on Advanced Technology (ISAT-spetial), UDM2-2, Hachiuji, Japan, Oct., 2012
6. Kyosuke Nagata, Saneyasu Yamaguchi, An Android Application Launch Analyzing System, 8th ICCM: 2012 International Conference on Computing Technology and Information Management, 2012
7. Masaya Yamada, Yuki Watanabe, Saneyasu Yamaguchi, An Integrated I/O Analyzing System for Virtualized Environment, 8th ICCM: 2012 International Conference on Computing Technology and Information Management, 2012
8. Hiromi Hirai, Kaori Miki, Saneyasu Yamaguchi, and Masato Oguchi, A Study on Transmission-Control Middleware on an Android Terminal in a WLAN Environment, In Proc. The Fourth International Conference on Wireless, Mobile Networks & Applications (WiMoA-2012), pp.469-479, Delhi, India, 2012
9. Masaya Yamada, Saneyasu Yamaguchi, Filesystem Layout Reorganization in Virtualized Environment, The 9th IEEE International Conference on Autonomic and Trusted Computing (IEEE ATC 2012), ATC4-2, 2012
10. Nagata Kyosuke, Saneyasu Yamaguchi, Hisato Ogawa, A Power Saving Method with Consideration of Performance in Android Terminals, The 9th IEEE International Conference on Autonomic and Trusted Computing (IEEE ATC 2012), ATC7-3, 2012
11. Masaya Yamada, Saneyasu Yamaguchi, Filesystem Layout Optimization in Virtualized Environment, The 11th International Symposium on Advanced Technology (ISAT-Special), 2012
12. Kosuke Takeuchi, Saneyasu Yamaguchi, Locality of Reference in Host OS Cache in Virtualized Environment, The 11th International Symposium on Advanced Technology (ISAT-Special), 2012
13. Takuya Hattori, Saneyasu Yamaguchi, An Android I/O Process Tracing System, The 11th International Symposium on Advanced Technology (ISAT-Special), 2012
14. Kohki Horiuchi, Saneyasu Yamaguchi, Performance Elasticity of Key Value Store, The 11th International Symposium on Advanced Technology (ISAT-Special), 2012
15. Yuta Nakamura, Saneyasu Yamaguchi, DBMS Performance Analyses in Smartphone,

- The 11th International Symposium on Advanced Technology (ISAT-Special) , 2012
16. Shun Nomura, Saneyasu Yamaguchi, Managing Process Memory Size in Smartphone, The 11th International Symposium on Advanced Technology (ISAT-Special) , 2012
 17. Yuki Hongu, Saneyasu Yamaguchi, Evaluation of I/O Performance on Virtual Machines in Live-Migration Process, The 11th International Symposium on Advanced Technology (ISAT-Special) , 2012
 18. Takumi Wakairo, Saneyasu Yamaguchi, Cache Hit Ratio Analyses in Virtualized Environment, The 11th International Symposium on Advanced Technology (ISAT-Special) , 2012

口頭発表

1. 服部拓也, 山口実靖 , Android 端末におけるデータベースアクセス性能の解析と考察, マルチメディア、分散、協調とモバイル DICOM2012 シンポジウム, pp. 91 - 96, 2012
2. 竹内洗祐, 長廻雄介, 山口実靖, 複数サーバ接続単一ネットワークストレージ環境での下位キャッシュへの参照の局所性の解析, マルチメディア、分散、協調とモバイル DICOM2012 シンポジウム, pp. 418 - 424, 2012
3. 平井弘実, 山口実靖, 小口正人 , Android 端末を用いた周辺端末からの情報に基づく協調的制御手法の提案, マルチメディア、分散、協調とモバイル DICOM2012 シンポジウム, pp. 68 - 75, 2012
4. 熊谷 菜津美, 平井 弘実, 三木 香央理, 山口 実靖, 小口 正人 , 無線 LAN 通信時のアプリケーションに依存する Android 通信特性に関する考察, マルチメディア、分散、協調とモバイル DICOM2012 シンポジウム, pp. 76 - 82, 2012
5. 竹内洗祐・山口実靖, 仮想化環境下におけるホスト OS キャッシュの参照の時間的局所性の解析, FIT2012 第 11 回情報科学技術フォーラム, B-010, 2012
6. 堀内浩基・山口実靖, データの read/write を考慮した KVS の性能伸縮性に関する一考察, FIT2012 第 11 回情報科学技術フォーラム, M-001, 2012
7. 堀内浩基, 山口実靖, KVS の動的性能伸縮に関する一考察, 第 123 回 OS・第 27 回 EMB 合同研究発表会, 2012
8. 竹内洗祐, 日名川幸矢, 山口実靖, 仮想化環境下における下位キャッシュの参照の時間的局所性の解析, 第 156 回データベースシステム研究発表会, 2012
9. 中村優太, 服部拓也, 永田恭輔, 野村 駿, 山口実靖, フラッシュメモリ搭載スマートフォンにおける I/O スケジューリング, 第 86 回グループウェアとネットワークサービス・第 6 回コンシューマ・デバイス&システム合同研究発表会, 2012
10. 早川 愛, 平井弘実, 山口実靖, 小口正人, Android 端末における遅延時間を考慮したミドルウェアの高機能化, 第 5 回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム, F1-3, 2012
11. 平井弘実, 山口実靖, 小口正人, モバイルネットワークにおける周辺端末からの情報に基づく協調制御ミドルウェアの提案と実装, 第 5 回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム, E6-4, 2012
12. 日名川幸矢, 竹内洗祐, 山口実靖, 仮想化環境におけるキャッシュヒット率を考慮した VM メモリ割り当て, 情報処理学会 第 75 回全国大会 1L-1, 2012
13. 山田将也, 山口実靖, 仮想化環境におけるデータ再配置手法の性能評価, 情報処理学会 第 75 回全国大会 1L-2, 2012
14. 竹内洗祐, 日名川幸矢, 山口実靖, 仮想化環境における VM メモリサイズとキャッシュヒット率に関する考察, 情報処理学会 第 75 回全国大会 1L-3, 2012
15. 若色 匠, 山口実靖, 仮想化環境におけるストレージ稼働時間の低減に関する一考察, 情報処理学会 第 75 回全国大会 1L-9, 2012
16. 本宮佑樹, 山口実靖, ライブマイグレーション時の VM 内プロセスの I/O 性能劣化に関する考察, 情報処理学会 第 75 回全国大会 1L-10, 2012
17. 中村優太, 服部拓也, 永田恭輔, 野村 駿, 山口実靖, フラッシュメモリ搭載スマートフォンにおける I/O スケジューリング, 情報処理学会 第 75 回全国大会 2L-4, 2012

18. 堀内浩基, 山口実靖, KVS における動的性能拡張性の向上, 情報処理学会 第 75 回全国大会 2N-2, 2012
19. 早川 愛, 平井弘実, 山口実靖, 小口正人, Android 端末における通信性能向上のためのミドルウェア実装に関する一検討, 情報処理学会 第 75 回全国大会 3W-1, 2012
20. 小山貴夫, 小林亜樹, 宮前祐矢, 舟木聡, 月舘司, 寒冷地のためのヒートポンプ暖房制御システムの開発, 2013 信総大論文集 B-20-6, 2013.
21. 小林亜樹, 新守敏明, 猪上雅之, 小山貴夫, 天気予報情報とセンサ履歴による戸別気温予測に関する一検討, 2013 信総大論文集 D-9-47, 2013.
22. 菅沼正孝, 小林亜樹, 天気予報の信頼度を考慮した観光ルート作成のための選好度算出法, DEIM2013 講演論文集, P3-2, 2013.
23. 栗原翔一, 小林亜樹, あいまいな動機づけにおける観光地風景推薦システム, DEIM2013 講演論文集, P3-3, 2013.
24. 村上雄亮, 小林亜樹, 目に留まるツイート投稿タイミング推薦手法, DEIM2013 講演論文集, P1-4, 2013.
25. 竹下尚克, 小林亜樹, 通信途絶時にも運用できる情報通信システムのためのデータ可搬化手法, 情報処理学会第 75 回全国大会講演論文集 3X-5, 2013.
26. 田村政人, 小林亜樹, Twitter における会話しやすいユーザの推薦手法, 情報処理学会第 75 回全国大会講演論文集 5N-1, 2013.
27. 秋山洋平, 小林亜樹, 通信途絶拠点との情報転送プロトコル実装の提案, 情報処理学会第 75 回全国大会講演論文集 5W-6, 2013.
28. 隆 晃人, 山本 翔, 水野 修, 都市災害を想定した減災情報ネットワークの運用方法の検証, 電子情報通信学会技術報告, IN2012-141, Vol. 112, No. 393, pp. 15-20, 2013 年 1 月
29. 隆 晃人, 山本 翔, 水野 修, 減災情報ネットワークにおける持続的サービス提供方式, 2013 電子情報通信学会総合大会, B-6-67, 2013 年 3 月
30. 飯川翔太郎, 山本 翔, 荒井純一, 水野 修, 都市減災用長距離無線 LAN システムへの独立型電源の適用評価, 2013 電子情報通信学会総合大会, B-6-134, 2013 年 3 月
31. 澁沢 祥, 隆 晃人, 山本 翔, 水野 修, 都市災害発生時に適用する情報収集配信ネットワークのバッテリー管理システム, 2013 電子情報通信学会総合大会, B-6-135, 2013 年 3 月
32. 遠藤一輝, 隆 晃人, 山本 翔, 水野 修, 無線 LAN を用いた情報収集配信ネットワークにおける伝送制御方式, 2013 電子情報通信学会総合大会, B-7-51, 2013 年 3 月
33. 隆 晃人, 山本 翔, 水野 修, 都市災害における減災情報ネットワークに適するアプリケーションの検討, 2013 電子情報通信学会総合大会, B-18-10, 2013 年 3 月

外部資金の獲得

1. 山口実靖、文部科学省・科研費・若手 B 一般／平成 22～24 年度／3,900 千円、クラウド仮想計算機に適した省エネルギー I/O ソフトウェアの開発 (研究代表者)
2. 中野美由紀, 小口正人, 山口実靖、文部科学省・科研費・基盤 B 一般／平成 24～26 年度／6,630 千円、高伸縮性情報基盤における応用処理と連携した実行時省電力データベースの研究開発 (研究分担者)

修士 3 名
学士 11 名

著書

1. 市川紀充、スマートシティの電磁環境対策、第2章エネルギーマネジメントシステムから俯瞰した電磁環境対策、第2節 BEMS の構成機器と電磁波対策の概要、pp.106-118、サイエンス&テクノロジー出版、2012年12月

査読付き論文

1. 武沢英樹, 中島幸雄, 雑賀 高, 中山良一, プロジェクトベース産学連携型ECP, 工学教育, 60巻5号, pp.45-49, 2012.
2. 小野貴之, 荒井純一, 電力系統に大量の風力発電が導入された場合の電力貯蔵装置の不感帯型周波数制御, Vol.132, No.8, pp709-717, 2012

国際学会論文 (査読付も含む)

1. Junichi Arai, Tsuyoshi Takada, Kaoru Koyanagi, Ryuichi Yokoyama, Power Smoothing by Controlling Stored Energy in Capacitor of Photovoltaic Power System, APPEEC 2012, March 27-29, 上海, 2012
2. Fujiyama, Y. and Ohtake, H., Study on Saturated Flow Boiling Heat Transfer under Vibration Conditions, Proc. the 20th International Conference on Nuclear Engineering, DVD ICONE20POWER2012-55060, 2012.
3. Tetsuya Kawamoto, Masahiro Watanabe, Junichi Arai, Norimitsu Ichikawa, Research on monitoring technology using induced voltage generated by charged human body, 2012 Electrostatics Joint Conference, Cambridge, USB memory, pp.1-5, 2012.6
4. Shota Yuyama, Norimitsu Ichikawa, Tetsuo Sakamoto, Preventive measures of the tracking fire generated between a home electric socket and a plug, 2012 Electrostatics Joint Conference, Cambridge, USB memory, pp.1-6, 2012.6
5. NAGAHIRA Tomoki, ARAI Junichi, SHINJI Takao, OGATA Takao, YAMASHITA Akira, "A Study of Islanded Operation of Ac System Consisted of BESS and Distributed Energy", International Conference on Electrical Engineering 2012, p496-500, 8-12 July, 2012
6. MORII Tooru, ARAI Junichi, TSUMENAGA Masahiro, Development of Stability Analysis of Inverter Control for Renewable Energy, International Conference on Electrical Engineering 2012, p608-613, , 8-12 July, 2012
7. Norimitsu Ichikawa, Study on an insulating safeguard based upon DC breakdown voltages of insulating materials, 8th Conference of the French Society of Electrostatics, Cherbourg, pp.283-286, 2012.7
8. Junichi ARAI, Study on isolated power system consisted of diesel generator and photovoltaic generation, Mongolian - Japanese traditional international seminar, Ulaanbaatar, Mongolia, August 19-23, 2012
9. Taku Nagasawa, Kenta Suzuki, Takashi Saika, Research and Development of an Ammonia Fueled Fuel Cell Vehicle, 5th Pacific Asia Conference on Mechanical Engineering, 2012年8月
10. Tomoki Nagahira, Junichi Arai, Takao Shinji, Takao Ogata, Akira Yamashita, Stability Analysis of Inverter for Renewable Energy, 12th WSEAS International Conference on Electric Power Systems, High Voltages, Electric Machines (POWER 12), 68503-025, Prague, Czech, September 24-26, 2012
11. Tooru Morii, Junichi Arai, Tsumenaga Masahiro, Stability Analysis of Inverter for Renewable Energy, 12th WSEAS International Conference on Electric Power Systems, High Voltages, Electric Machines (POWER 12), 68503-022, Prague, Czech, September 24-26, 2012
12. Atsushi Ohsawa, Norimitsu Ichikawa, ESD detection by transient earth voltage,

- 7th International Conference on Applied Electrostatics, Dalian, 2012.9*
13. Taku Nagasawa, Takafumi Kurosawa, Takuro Ogata, Takafumi Kido, Takashi Saika, Research and Development of an Ammonia Fueled Fuel Cell Vehicle, The 11th International Symposium on Advanced Technology, 2012年10月.
 14. Takafumi Kurosawa, Taku Nagasawa, Haruka Huruse, Kenta Kanbayashi, Takashi Saika, DME Fuel-Cell Hybrid System Combined with Diesel Engine for Commercial Vehicles, The 11th International Symposium on Advanced Technology, 2012年10月
 15. AlSalem Mohammed, Junichi Arai, Influence of Large Photovoltaic Generation on Voltage Stability of AC Transmission System, 11th ISAT-Special, pp.551-552, Oct. 30, 2012
 16. Norimitsu Ichikawa, Junichi Arai, Hironobu Yonemori, Miki Kobayashi, Emergency photovoltaic power generation system, *11th International Symposium on Advanced Technology*, Tokyo, pp.165-166, 2012.10
 17. Tetsuya Kawamoto, Junichi Arai, Norimitsu Ichikawa, Analysis on movement of charged human body with a non-contact measuring device, *11th International Symposium on Advanced Technology*, Tokyo, pp.426-427, 2012.10
 18. Tatsuya Ueno, Norimitsu Ichikawa, Tetsuo Sakamoto, Operational study of residential emergency power source using photovoltaic power generation and battery, *11th International Symposium on Advanced Technology*, Tokyo, pp.430-431, 2012.10
 19. Shota Yuyama, Norimitsu Ichikawa, Tetsuo Sakamoto, Investigation of safety on tracking resistance plug used in a home, *11th International Symposium on Advanced Technology*, Tokyo, pp.428-429, 2012.10
 20. Tooru Morii, Junichi Arai, Stability Analysis of Inverter for Renewable Power Source, 11th ISAT-Special, pp545-546, Oct. 30, 2012
 21. T. Nagahira, J. Arai, A Study of Isolated Operation of Power System Consisting of BESS and Distributed Power Source, 11th ISAT-Special, pp549-550, Oct. 30, 2012
 22. AlSalem Mohammed, Junichi Arai, Influence of Large Photovoltaic Generation on Voltage Stability of AC Transmission System, 11th ISAT-Special, pp551-552, Oct. 30, 2012
 23. Shujiro Kubo, Junichi Arai, Performance Analysis of High-Frequency Link DC/DC Converter, 11th ISAT-Special, pp553-554, Oct. 30, 2012
 24. Donghyuk Kang, Daichi Oka, Naoto Kawamura, Kazuhiko Yokotal and Kotaro Sato, A NEW PUMP/ THRUST WITH AN ASYMMETRIC FLOW CHANNEL EXCITED BY A RECOPROCATING PISTON, 5th International Symposium on Fluid Machinery and Fluids Engineering (ISFMFE 2012) , 2012
 25. Donghyuk Kang, Yutaka Taguchi, Shigeo Takaki, Kazuhiko Yokotal and Kotaro Sato, THE FLAGMILL-A NEW POWER GENERATOR UTILIZING FLEXIBLE SHEET FLUTTER, 5th International Symposium on Fluid Machinery and Fluids Engineering (ISFMFE 2012) , 2012
 26. Masanori Kudo, Koichi Nishibe, Masayuki Takahashi and Kotaro Sato, Investigation on Flow Instabilities Downstream of Annular Inlet Guide Vanes, The 11th International Symposium on Advanced Technology, 2012.11
 27. Koichi Nishibe, Masanori Kudo, Yuki Tanaka and Kotaro Sato, Study on Fundamental Flow Characteristics of Synthetic Jets, The 11th International Symposium on Advanced Technology, 2012.11
 28. Norimitsu Ichikawa, Protective devices for preventing electric fatalities, and the fatalities by month in Japan, *2013 IEEE IAS Electrical Safety Workshop*, Dallas, 2013. 3
 29. Masanori KUDO, Koichi NISHIBE, Masayuki TAKAHASHI, Kotaro SATO and Yoshinobu TSUJIMOTO, Study on Flow Characteristics Downstream of Annular Inlet Guide Vanes, ASME 2013 Fluids Engineering Division Summer Meeting, July 7-11, 2013, Incline Village, NEVADA (発表予定)
 30. Yuhei ITO, Akira HIWATA and Kotaro SATO, Fundamental study on oil mist separation in swirl flow, ASME 2013 Fluids Engineering Division Summer Meeting,

July 7-11, 2013, Incline Village, NEVADA (発表予定)

31. Koichi Nishibe, Kotaro Sato, Donghyuk Kang and Kazuhiko Yokota, Investigation on a synthetic jet actuator using bubble produced by electric discharge, Int. Conf. on Jets, Wakes and Separated Flows September, 2013, Nagoya (発表予定)
32. Masanori Kudo, Masayuki Takahashi, Kotaro Sato, Donghyuk Kang, Kazuhiko Yokota, Control of Flow Instabilities Induced between Two Parallel discs, Int. Conf. on Jets, Wakes and Separated Flows September, 2013, Nagoya (発表予定)

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. 市川紀充、電気設備技術者を育てる初年次体験型学習教育」, 電気設備学会誌, Vol. 32, No. 5, pp. 319~323, 2012年5月
2. 森井亨, 荒井純一, 新エネルギー用インバータの安定性に関する研究, 工学院大学研究報告第113号, pp. 23-28, 2012年10月
3. 永平智樹, 荒井純一, 電力貯蔵装置と分散型電源によって構成される電力系統の自立運転に関する研究, 工学院大学研究報告第113号, pp. 29-34, 2012年10月
4. 亀山正俊, 雑賀高, 鈴木真二, 関昭義, 田口俊夫, 水谷惟恭, 桂晃洋, これからの技術者像とは, その教育はどうあるべきか, 工学教育, 60巻3号, pp. 26-33, 2012.
5. 雑賀高, 川口裕, 畑秀二, 白石修士, 深見淳一, 自動車技術会における技術者育成事業, 60巻3号, pp. 138-141, 2012.
6. 雑賀高, 自動車技術者教育への取り組みと今後の展望, 自動車技術, 66巻6号, pp. 103-106, 2012.
7. 市川紀充、災害防止のための安全作業2, 感電の怖さと対策, 電気と工事, 第54巻, 第2号, pp. 64~67, 2013年2月
8. 市川紀充、災害防止のための安全作業3, 感電発生のしくみと接地の大切さ, 電気と工事, 第54巻, 第3号, pp. 76~79, 2013年3月

招待講演

1. 大竹浩靖、沸騰熱伝達の機構とその促進法の圧力依存性に関する研究、日本混相流学会、第16回オーガナイズド混相流フォーラム(OMF2012)『化学反応場としての混相流』、道後温泉/松山市/愛媛県、2012年12月8日(土)

口頭発表

1. 津野裕太郎, 渡邊匠, 姜東赫, 横田和彦, 佐藤光太郎, 孔開回転円筒の圧力損失特性, 日本機械学会関東支部第18期総会講演会論文集(習志野), 2012. 3. 10
2. 福島大海, 佐藤光太郎, 横田和彦, 円板型粘性マイクロポンプに関する研究, 日本機械学会東海支部第61期総会講演会論文集(名古屋), 2012. 3. 15
3. 田中雄貴, 根本篤, 西部光一, 佐藤光太郎, 武沢英樹, 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構造について, 日本機械学会東海支部第61期総会講演会論文集(名古屋), 2012. 3. 16
4. 廣瀬夏穂, 紙谷祐樹, 佐藤光太郎, 横田和彦, 循環制御翼周りの流れに関する研究, 日本機械学会東海支部第61期総会講演会論文集(名古屋), 2012. 3. 16
5. 佐藤雅史, 米盛弘信、独立型太陽光発電システムの蓄電部改善に関する基礎検討ー実環境下におけるEDLCと二次電池の特性比較ー”, M2M研究会専門部会セミナー第4回教育専門部会ー特別講演とM2M活用学生実験・応用研究の実践ー, pp. 12-13, 東海大学高輪キャンパス, 2012-04
6. 大澤泰樹, 畔柳和好, 米盛弘信、誘導加熱式間接加熱装置における発熱体の積層数と温度分布の関係, 第24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. 223-224, 富山国際会議場、2012-05
7. 藤原章裕, 米盛弘信、IH対応土鍋における発熱体の大きさが加熱効率と磁束密度分布に与える影響, 第24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. 225-226, 富山国際会議場、2012-05
8. 米盛弘信, 藤原章裕、加熱コイルと鍋の距離がIHクッキングヒータの高周波騒音に与える影響, 第24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. 227-228, 富山国際会議場、2012-05
9. 工藤正規, 西部光一, 高橋政行, 佐藤光太郎, 辻本良信, 環状翼列により生成される旋回流に関する研究, 日本混相流学会年会講演会2012(千葉), 2012. 8. 9

10. 伊藤裕平, 鷗田晃, 森本敬, 佐藤光太郎, 旋回流中でのオイルミスト分離に関する基礎的研究, 日本混相流学会年会講演会 2012 (千葉), 2012. 8. 9
11. 東美佳, 西部光一, 横田和彦, 佐藤光太郎, 壁面近傍におけるシンセティックジェットの流動特性に関する一考察, 日本混相流学会年会講演会 2012(千葉), 2012. 8. 10
12. 上野達也, 市川紀充, 坂本哲夫: 「太陽光発電と蓄電池を用いた住宅用防災電源システムの運転方法の検討」, 電気設備学会全国大会, pp. 509~510, 2012年8月.
13. 市川紀充, 人身に関する安全・安心環境, 電気学会産業応用部門大会シンポジウム, S4 (ビル・工場電気設備の安全・安心環境構築), pp. V-1~V-2, 2012年8月.
14. 中渡瀬圭吾, 市川紀充, 大澤敦, 静電気放電の過渡接地電圧測定, 平成 24 年電気学会産業応用部門大会, pp. V-155~V-156, 2012年8月.
15. 長澤 拓, 鈴木健太, 雑賀 高, アンモニア燃料電池車両の開発設計, 第 21 回 日本エネルギー学会大会, 2012/08/07
16. 野原徹雄, 浜野友紀, 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—酵素触媒および尿素濃度によるアンモニア生成速度の検証—, 第 21 回 日本エネルギー学会大会, 2012年8月.
17. 長澤 拓, 浜野友紀, 鈴木健太, 清水佑太, 村上将太, 雑賀 高, 全日本学生フォーミュラ大会に参加して—学生自らが車両を構想・設計・製作するプロジェクト—, 日本工学教育協会第 60 回年次大会, 2012年8月
18. 佐藤雅史, 米盛弘信, 小林 幹, 独立型 PV システムにおける蓄電方法の改善に関する検討, 2012年(第 30 回) 電気設備学会全国大会講演論文集, pp. 345-346, 2012-08
19. 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鋳物の間接加熱に関する基礎検討 —磁性金属の表面温度とコイル電流の関係—, 2012年(第 30 回) 電気設備学会全国大会講演論文集, pp. 343-344, 2012-08
20. 丸山 諒, 藤原章裕, 米盛弘信, 異なる材質の鍋を誘導加熱したときに発生する高周波騒音の分析, 2012年(第 30 回) 電気設備学会全国大会講演論文集, pp. 341-342, 2012-08
21. 天田知志, 野口拓哉, 米盛弘信, 小林 幹, 防汚剤による PV モジュール表面の防汚に関する検討, 2012年(第 30 回) 電気設備学会全国大会講演論文集, pp. 339-340, 2012-08
22. 大澤泰樹, 畔柳和好, 米盛弘信, 誘導加熱式間接加熱装置における発熱体の積層数と磁束分布の関係, 2012年(第 30 回) 電気設備学会全国大会講演論文集, pp. 337-338, 2012-08
23. 藤原章裕, 米盛弘信, 空隙のある IH クッキングヒータの加熱コイルにおける発熱体の大きさが加熱効率と漏れ磁束に与える影響, 2012年(第 30 回) 電気設備学会全国大会講演論文集, pp. 335-336, 発表奨励賞受賞, 2012-08
24. 米盛弘信, 藤原章裕, 小林 幹, IH クッキングヒータの加熱コイルと鍋の距離が高周波騒音に与える影響, 2012年(第 30 回) 電気設備学会全国大会講演論文集, pp. 333-334, 2012-08
25. 片倉嘉之, 土屋樹生, 根岸拓矢, 伊藤拓海, 山本亮汰, 米盛弘信, 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活動—大型電光掲示板の製作を通じたチームワークの涵養—, 第 60 回年次大会(平成 24 年度) 工学教育研究講演会講演論文集, pp. 420-421, 芝浦工業大学, 2012-08
26. 土屋樹生, 細見温聖, 依田文徳, 米盛弘信, 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活動—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製作—, 第 60 回年次大会(平成 24 年度) 工学教育研究講演会講演論文集, pp. 418-419, 芝浦工業大学, 2012-08
27. 冨田雅史, 森 幸男, 吉田将司, 米盛弘信, 価値の向上に着目した創造教育カリキュラム「創造演習」の再構成—カリキュラム編成と実践の報告—, 第 60 回年次大会(平成 24 年度) 工学教育研究講演会講演論文集, pp. 320-321, 芝浦工業大学, 2012-08
28. 大澤泰樹, 米盛弘信, 産学連携における学生の研究活動—研究成果による特許出願—, 第 60 回年次大会(平成 24 年度) 工学教育研究講演会講演論文集, pp. 188-189, 芝浦工業大学, 2012-08
29. 藤原章裕, 佐藤雅史, 安達匡一, 丸山 諒, 米盛弘信, 学生企画事業補助金による

- 出張遊園地の実施－手作り電動バイクを用いた地域活性化－，第 60 回年次大会（平成 24 年度）工学教育研究講演会講演論文集，pp.186-187，芝浦工業大学、2012-08
30. 安達匡一，山口 圭，野田直資，石黒友博，米盛弘信、先輩から教わったモノづくり技術による仲間の拡大ークラスメイトで製作したイルミネーション，第 60 回年次大会（平成 24 年度）工学教育研究講演会講演論文集，pp.184-185，芝浦工業大学、2012-08
 31. 丸山 諒，佐藤雅史，安達匡一，佐伯遥馬，藤原章裕，米盛弘信、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活動－3 輪ソーラーバイクの製作と大会報告－，第 60 回年次大会（平成 24 年度）工学教育研究講演会講演論文集，pp.182-183，芝浦工業大学、2012-08
 32. 吉野純一，米盛弘信，山下幸三，亀田多江，市村 洋、学生主体の応用研究に起因した産学連携事例”，第 60 回年次大会（平成 24 年度）工学教育研究講演会講演論文集，pp.94-95，芝浦工業大学、2012-08
 33. 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活動－資格取得講座の教育効果と安全衛生への啓蒙活動－，第 60 回年次大会（平成 24 年度）工学教育研究講演会講演論文集，pp.86-87，芝浦工業大学、2012-08
 34. 藤山善太郎、大竹浩靖、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、日本原子力学会「2012 年秋の大会」、広島、2012 年 9 月
 35. 大富浩一，雑賀 高，中山良一，1DCAE コンセプトに基づく大学教育プログラムの実践，日本機械学会 2012 年度年次大会，2012 年 9 月
 36. 田中雄貴，西部光一，佐藤光太郎，横田和彦，シンセティックジェット推進に関する基礎研究，日本機械学会流体工学部門講演会講演論文集（京都），2012.11.18
 37. 工藤正規，西部光一，高橋政行，佐藤光太郎，辻本良信，環状入口案内翼列下流の流動特性に関する研究，日本機械学会流体工学部門講演会講演論文集（京都），2012.11.18
 38. 田口寛，姜東赫，横田和彦，佐藤光太郎，フラッグミル－柔軟シートフラッタによる新風力発電－，日本機械学会流体工学部門講演会講演論文集（京都），2012.11.18
 39. 岡大地，佐藤光太郎，姜東赫，横田和彦，側壁に設けたピストンの往復運動により生じる非対称流路内流れの実験，計算，解析，日本機械学会流体工学部門講演会講演論文集（京都），2012.11.18
 40. 黒沢高史，長澤 拓，矢川一輝，雑賀 高，商用車用 DME ハイブリッドシステムの研究，熱工学コンファレンス 2012，2012 年 11 月。
 41. 長澤 拓，鈴木健太，黒沢高史，雑賀 高，アンモニア燃料電池車両の研究開発，熱工学コンファレンス 2012，2012 年 11 月
 42. 大澤泰樹，畔柳和好，米盛弘信、誘導加熱式間接加熱装置に関する基礎検討－形状の異なる被加熱対象物における表面温度分布－，第 4 回大学コンソーシアム八王子学生発表会要旨集，pp.44-45、2012-12
 43. 吉野弘敏，米盛弘信、電力関係技術者の育成を目的とした超小型発電ユニットの提案”，第 4 回大学コンソーシアム八王子学生発表会要旨集，pp.46-47、優秀賞受賞、2012-12
 44. 林 淳哉，畔柳和好，米盛弘信、誘導加熱式間接加熱装置を用いた異形状アルミニウム合金鋳物の加熱温度向上に関する検討、第 4 回大学コンソーシアム八王子学生発表会要旨集，pp.48-49、2012-12
 45. 藤原章裕，米盛弘信、IH 対応土鍋における発熱体の穴形状が加熱効率と漏れ磁束に与える影響，第 4 回大学コンソーシアム八王子学生発表会要旨集，pp.52-53、2012-12
 46. 中川寛淑，米盛弘信、PV モジュール表面のセルフクリーニングに関する基礎検討，第 4 回大学コンソーシアム八王子学生発表会要旨集，pp.54-55、2012-12
 47. 渡邊督章，米盛弘信、IH 対応アルミニウム容器における漏れ磁束の解明，第 4 回大学コンソーシアム八王子学生発表会要旨集，pp.56-57、2012-12
 48. 海老沢 幹，畔柳和好，米盛弘信、サンドウィッチ型誘導加熱方式による異形状アルミニウム合金鋳物の間接加熱に関する基礎検討，第 4 回大学コンソーシアム八

- 王子学生発表会要旨集, pp. 58-59、2012-12
49. 天田知志, 米盛弘信、屋外曝露された太陽電池モジュール表面の防汚に関する検討”, 第4回大学コンソーシアム八王子学生発表会要旨集, pp. 60-61、2012-12
 50. 安達匡一, 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—異なる発熱体と被加熱対象物の表面温度に与える影響—, 第4回大学コンソーシアム八王子学生発表会要旨集, pp. 208-209、準優秀賞受賞、2012-12
 51. 佐藤雅史, 米盛弘信、EDLCを用いた独立型PVシステムの蓄電方法に関する基礎検討, 第4回大学コンソーシアム八王子学生発表会要旨集, pp. 210-211、2012-12
 52. 丸山 諒, 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解明—100V 卓上型 IH と 200V オールメタル対応 IH の高周波騒音の比較—, 第4回大学コンソーシアム八王子学生発表会要旨集, pp. 212-213、優秀賞受賞、2012-12
 53. 山本亮汰, 丸山 諒, 伊藤拓海, 片倉嘉之, 土屋樹生, 根岸拓也, 岩下真輝, 藤原章裕, 安達匡一, 米盛弘信、Solar Bike Race 2012 in HAMAMATSU—3 輪ソーラーバイクの製作と大会報告—, 第4回大学コンソーシアム八王子学生発表会要旨集, pp. 220-221、2012-12
 54. 廣瀬夏穂, 姜東赫, 佐藤光太郎, 横田和彦, 単純形状の循環制御翼に生じる揚力特性, 日本機械学会中国四国支部第51期総会講演会文集(高知), 2013. 3. 8
 55. 伊藤裕平, 鷗田晃, 姜東赫, 横田和彦, 佐藤光太郎, 旋回流を利用したオイルミスト分離に関する基礎的研究, 日本機械学会中国四国支部第51期総会講演会文集(高知), 2013. 3. 8
 56. 藤原万理恵, 姜東赫, 島村泰輔, 横田和彦, 佐藤光太郎, 離散渦法によるシンセティックジェット流れのシミュレーション, 日本機械学会関東支部第19期総会講演会論文集(東京), 2013. 3. 15
 57. 小瀬村達也, 姜東赫, 岡大地, 横田和彦, 佐藤光太郎, 側壁に設けたピストンの往復運動により生じる非対称流路内流れのPIV計測, 日本機械学会関東支部第19期総会講演会論文集(東京), 2013. 3. 15
 58. 杉田徹, 姜東赫, 渡邊匠, 横田和彦, 佐藤光太郎, 円形ダクト内回転円柱周りに生じる非定常流れの研究, 日本機械学会関東支部第19期総会講演会論文集(東京), 2013. 3. 15
 59. 市原祐飛, 田口寛, 姜東赫, 佐藤光太郎, 横田和彦, 剛体・柔軟シートフラッタによる風力発電特性に関する実験的研究, 日本機械学会関東支部第19期総会講演会論文集(東京), 2013. 3. 15
 60. 黒崎嘉斗, 内田匡哉, 横田和彦, 姜東赫, 佐藤光太郎, 二円板間の回転円柱周りに生じる非定常流れの計測, 日本機械学会関東支部第19期総会講演会論文集(東京), 2013. 3. 15
 61. 久保守二郎, 荒井純一, 大容量キャパシタを用いた太陽光発電出力平準化方式の検討, 電気学会全国大会, 2013年3月22日

外部資金の獲得

1. 大竹浩靖、科学研究費補助金・基盤研究(C)、平成24年度～26年度、MEMS技術を利用した単気泡下の限界熱流束(CHF)の発生機構の解明、研究代表者、平成24年度：2,900千円、平成25年度：700千円、平成26年度：500千円
1. 雑賀 高、文部科学省・科研費・基盤C一般／平成20～24年度／3,900千円、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)

修士10名

学士27名

外部資金の獲得

1. 科学研究費補助金事業 (学術研究助成基金助成金)・基盤研究 (C)、平成24年度～平成26年度、医療分野における事業継続計画 (BCP) の現状と外的ネットワークに関する研究、研究代表者、3,800,000円

査読付き論文

1. 鈴木光、吉田倬郎、三原斉、明治期の左官業界が取り組んだ職能と仕様の研究、日本建築学会計画系論文集、査読有、675号、pp 1163-1168、2012年5月
2. 山下哲郎、久田嘉章、坂本有奈利、久保智弘：新宿区超高層街区に建つ鉄骨造超高層建築の東北地方太平洋沖地震前後の振動特性、日本地震工学会、日本地震工学会論文集、第12巻、第4(特集号)、pp. 14-26、2012年9月
3. 久田嘉章、久保智弘、松澤 佳、松本 俊明、田邊 朗仁、森川 淳：2011年福島県浜通り地震の地表地震断層の近傍における建物被害調査、日本地震工学会、日本地震工学会論文集、第12巻、第4(特集号)、pp. 104-126、2012年9月
4. 太田宏、安達俊夫、宮村正光、新山龍：生活密着型施設の事業継続性に与える地形・地盤条件の影響に関する研究-2004年新潟県中越地震および2007年新潟県中越沖地震の事例-、日本建築学会技術報告集、第18巻、第40号、pp.1125-1130、2012.10
5. 太田宏、安達俊夫、宮村正光、新山龍：公共施設の復旧期間に与える地形・地盤条件の影響に関する研究-2004年新潟県中越地震における新潟県長岡市の事例-、日本建築学会技術報告集、第18巻、第40号、pp.1135-1140、2012.10
6. 久保智弘、久田嘉章、相澤幸治、大宮憲司、小泉秀斗：東日本大震災における首都圏超高層建築における被害調査と震度アンケート調査、日本地震工学会、日本地震工学会論文集、第12巻、第5号(特集号)、pp.1-20、2012年11月

国際学会論文 (査読付も含む)

1. Hitoshi MIHARA Takuro YOSHIDA, Ko Suzuki Tetsuro Hojo, A Study on New Construction Techniques and Skills Training with Focus on the Plastering Subcontractor in Japan, Proceedings of The 28th Annual Conference and Annual General Meeting (ARCOM2012)、2012年9月
2. Hiroshi Ohta, Toshio Adachi, Masamitsu Miyamura, Ryu Niyama : Survey study on the business recovery process of the daily stores located on different soil conditions at Tohoku region by the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake on March 11., 15th World conference on earthquake engineering, 2012.9
3. Hitoshi MIHARA Takuro YOSHIDA, Masato URAE, A Study on a New Method for Training Building Work Process Supervisors through Internship in Japan, Proceedings of The 17th International Symposium on Advancement of Construction Management and Real Estate, 2012年11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. 吉田倬郎、資産としての建物を如何に評価するか 社会的資産としての病院建築(2)、文化連情報、査読無、419号、pp28-31、2103年2月
2. 稲垣大輔、櫻井翼、吉田倬郎、村上正浩、宮村正光、久保智弘、工学院大学の事業継続計画策定のための基礎的研究-震災時に行った業務の優先度調査-、工学院大学研究報告、113号、pp.127-134、2012年10月
3. 櫻井翼、稲垣大輔、吉田倬郎、村上正浩、宮村正光、久保智弘、工学院大学の事業継続計画策定のための基礎的研究-東日本大震災時に行った各部署震災対応業務調査-、工学院大学研究報告、113号、pp 119-126、2012年10月
4. 吉田倬郎、村上正浩、宮村正光、久保智弘、事業継続計画における建築の位置づけと役割に関する考察、工学院大学研究報告、査読無、113号、pp 113-118、2012年10月
5. 吉田倬郎、事業継続から見た建築、建築技術、査読無、752号、p171、2012年9月
6. 吉田倬郎、事業継続計画と建築コスト、建築コスト研究、査読無、78号、pp2-4、2012年7月

招待講演

1. 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7月13日見直そう 災害対策、日刊工業新聞・朝刊、pp14、2012年10月23日
2. 宮村正光、帰宅困難者受入れ施設の安全点検に関する都市地震工学、平成24年度都市地震工学シンポジウム、東京工業大学、2013年1月28日

口頭発表

1. 久保智弘、久田嘉章、松本俊明、森川淳、引間和人、福島県浜通り地震における断層近傍の建物被害調査と強震動予測について、地球惑星学会合同大会、SSS37-P12、2012年5月
2. 太田宏、安達俊夫、宮村正光、新山龍：公共施設の復旧期間に与える地形・地盤条件の影響に関する研究-その1. 2004年新潟県中越地震における長岡市の事例調査-、第47回地盤工学研究発表会、pp.103-104、2012.7
3. 新山龍、安達俊夫、宮村正光、太田宏：公共施設の復旧期間に与える地形・地盤条件の影響に関する研究-その2. 復旧期間に関する検討-、第47回地盤工学研究発表会、pp.105-106、2012.7
4. 田邊朗仁、引間和人、久田嘉章、森川淳、久保智弘、松本俊明、2011年福島県浜通り地震の地表断層近傍における建物被害調査及び強震動計算、日本建築学会大会学術講演梗概集(東海)、pp.31-32、2012年9月
5. 小泉 秀斗、大宮 憲司、久田嘉章、久保智弘、2011年東北地方太平洋沖地震による超高層建物の揺れとアンケート震度について、日本建築学会大会学術講演梗概集(東海)、pp.39-40、2012年9月
6. 荒川洋輔、久田嘉章、山下 哲郎、久保智弘、新田龍宏、坂本 有奈利、超高層建築における振動特性の評価と地震応答解析 その1:強震観測記録での振動特性評価、日本建築学会大会学術講演梗概集(東海)、pp.689-690、2012年9月
7. 大宮 憲司、久田嘉章、久保智弘、超高層建築の高さ方向の震度増幅に関する研究、日本建築学会大会学術講演梗概集(東海)、pp.1227-1228、2012年9月
8. 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、大変形加力装置による複合機の挙動実験について、日本建築学会大会学術講演梗概集(東海)、pp.1245-1246、2012年9月
9. 坂本 有奈利、山下 哲郎、久保智弘、久田嘉章、クランクによる振幅増幅を利用した大振幅振動台の開発 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(東海)、pp.1247-1248、2012年9月
10. 山下光博、吉田倬郎、工科系大学の施設管理費に関する事例研究 資本的支出と経費と備品費の特徴、日本建築学会2012年度大会(東海)、名古屋大学、2012年9月
11. 稲垣大輔、櫻井翼、吉田倬郎、村上正浩、宮村正光、久保智弘、工科系大学の事業継続計画における基礎的研究(その2)被災時における業務の優先度調査、日本建築学会2012年度大会(東海)、名古屋大学、2012年9月
12. 櫻井翼、稲垣大輔、吉田倬郎、村上正浩、宮村正光、久保智弘、工科系大学の事業継続計画における基礎的研究(その1)東日本大震災時に行った各部署震災対応業務調査、日本建築学会2012年度大会(東海)、名古屋大学、2012年9月
13. 飯田恭一、吉田倬郎、建物の取壊しへの法定耐用年数の影響の研究、日本建築学会2012年度大会(東海)、名古屋大学、2012年9月
14. 佐藤洋子、安達俊夫、宮村正光、太田宏、新山龍：東日本大震災における浦安市内の公共施設の業務継続性に関する調査研究-その1. 公共施設の被害状況-、日本建築学会大会学術講演梗概集、B-2、pp.1215-1216、2012.9
15. 新山龍、安達俊夫、宮村正光、太田宏、佐藤洋子：東日本大震災における浦安市内の公共施設の業務継続性に関する調査研究-その2. 公共施設の業務継続性に与える影響因子の整理-、日本建築学会大会学術講演梗概集、B-2、pp.1217-1218、2012.9
16. 太田宏、安達俊夫、宮村正光、新山龍、佐藤洋子：東日本大震災における浦安市内の公共施設の業務継続性に関する調査研究-その3. 上下水道の被害と業務中断日数の関係-、日本建築学会大会学術講演梗概集、B-2、pp.1219-1220、2012.9
17. 佐藤洋子、安達俊夫、宮村正光、太田宏、新山龍：東日本大震災における浦安市内

- の教育施設の被害金額に関する調査研究 その1. 教育施設の被害状況, 平成24年度日本大学理工学部学術講演会論文集, pp.195-196, 2012.11
18. 太田宏, 安達俊夫, 宮村正光, 新山龍, 佐藤洋子: 東日本大震災における浦安市内の教育施設の被害金額に関する調査研究 その2. 被害金額に関する調査結果, 平成24年度日本大学理工学部学術講演会論文集, pp.197-198, 2012.11
 19. 新山龍, 安達俊夫, 宮村正光, 太田宏, 佐藤洋子: 東日本大震災における浦安市内の教育施設の被害金額に関する調査研究 その3. 外構の被害金額と液状化被害の関係, 平成24年度日本大学理工学部学術講演会論文集, pp.199-200, 2012.11

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)

各種メディア(新聞・テレビ・ラジオなど)・展示会等で公表

1. 吉田倬郎, 見直そう 災害対策, 日刊工業新聞・朝刊, pp14, 2012年10月23日

その他(報告会・シンポジウムの主催・共催など)

1. 宮村正光, 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24年9月~平成25年3月
2. 宮村正光, 建築基準整備促進事業風圧力、耐風設計等の基準の合理化に資する検討委員会、委員、風工学研究所、平成24年7月~平成25年3月
3. 宮村正光, 新松戸地域学校跡地有効活用事業者選定審査委員会委員, 松戸市総務企画本部制作調整課学校跡地担当室、平成24年8月~平成25年3月

修士1名

学士22名

著書

1. 三好勝則、地域創造研究所研究叢書第19号、第3部 東日本大震災から学ぶ巨大震災への備え、I 減災のための地域づくり、pp131-143、愛知東邦大学 2013 (予定)

査読付き論文

1. 新藤 淳、平本達也、村上正浩、久田嘉章、東日本大震災時における事業者の行動等について—新宿駅西口地域を対象としたアンケート調査より—、日本地震工学会論文集、12巻、4号、pp.288-307、2012年8月
2. 佐藤 豪、村上正浩、久保智弘、長澤 泰、箕 淳夫、山下哲郎、首都直下地震を想定した新宿駅周辺の被災人口推計と医療拠点配置の検討、日本建築学会計画系論文集、77巻、682号、pp.2749-2755、2012年12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. 村上正浩、地域防災拠点としての大学を目指して、月刊建築仕上技術、38巻、452号、p.15、2013年3月
2. 村上正浩、モバイル空間統計がこれからの防災対策を変える、NTT DOCOMO テクニカルジャーナル、20巻、3号、p.4、2012年10月
3. 増田寛也、村上正浩、昼間人口や業務機能が集中する都心部の減災対策を考える、月刊ニューメディア、355号、p.12-14、2012年10月 (査読なし)
4. 村上正浩、新宿駅周辺地域の防災まちづくりに向けて、防災システム、35巻、2号、pp.1-6、2012年10月
5. 村上正浩、被災者も支援者になれる仕組みづくりを、設備と管理、pp.50-55、2012年9月
6. 村上正浩、特集「防災対策の実行急げ」:被災者から支援者へ 実践的な防災・減災教育の普及急げ、建築ジャーナル、1200号、pp.12-15、2012年6月

招待講演

1. 村上正浩、第3回住宅防火・防災研究会、2012年5月
2. 村上正浩、駅周辺帰宅困難者安全管理担い手連合 第1回非常時通信媒体技術情報交換会、2012年5月
3. 村上正浩、IMC Tokyo 分科会セミナー「災害・防災と放送通信の役割 情報空白化地帯解消のための「エリア」への対応」、2012年6月
4. 村上正浩、日高市高麗川公民館 ライブリーカレッジ講座、2012年8月
5. 村上正浩、新宿区立柏木小学校セーフティ教室、2012年9月
6. 村上正浩、第8回福岡県防災講演会、2012年9月
7. 村上正浩、新宿区立四谷第六小学校防災デー、2012年9月
8. 村上正浩、BCP(事業継続計画)セミナー～講義と図上訓練を通じた避難所運営の理解とBCP見直し～(講義編)、2012年10月
9. 村上正浩、平成24年度(第5回)能美防災防火講座、2012年10月
10. 村上正浩、BCP(事業継続計画)セミナー～講義と図上訓練を通じた避難所運営の理解とBCP見直し～(実践編)、2012年10月
11. 村上正浩、工学院大学後援会 奥羽支部講演会、2012年11月
12. 村上正浩、第21回行政研修(課長補佐級特別課程)実地研究「新宿・新都心における地震防災の現状と課題」、2012年11月
13. 村上正浩、東京駅周辺防災隣組 第61回総会「拠点ターミナル駅帰宅困難者問題連携対応プロジェクトにおけるFWA通信と今後の可能性について」、2013年1月
14. 村上正浩、2012年度第3回工学院大学プレス懇談会 くらしと安全を守る! -首都直下地震に備えて-、2013年1月
15. 村上正浩、平成24年度九州大学大学院人間環境学府他分野連携プログラム「建築災害と生理・心理」、2013年2月

口頭発表

1. 牧野夏葉、村上正浩、地域連携による避難所運営管理体制のあり方、日本建築学会 2012 年度大会、2012 年 9 月
2. 山本貴之、大貝彰、山元隆稔、日高圭一郎、村上正浩、防災まちづくりの継続的活動を支援するデータベースの試験的開発、日本建築学会 2012 年度大会、2012 年 9 月
3. 平本達也、浅野菜邦、村上正浩、都心業務地域のエリア防災計画に関する研究、日本建築学会 2012 年度大会、2012 年 9 月
4. 浅野菜邦、村上正浩、平本達也、稲垣大輔、新宿・新都心の防災資源に関する調査研究、日本建築学会 2012 年度大会、2012 年 9 月
5. 村上正浩、久田嘉章、平本達也、新宿駅周辺地域の混乱防止と都市機能の継続に向けて、日本建築学会 2012 年度大会、2012 年 9 月
6. 櫻井翼、稲垣大輔、吉田倬郎、村上正浩、宮村正光、久保智弘、工科系大学の事業継続計画における基礎的研究（その 1） 東日本大震災時に行った各部署震災対応業務調査、日本建築学会 2012 年度大会、2012 年 9 月
7. 稲垣大輔、櫻井翼、吉田倬郎、村上正浩、宮村正光、久保智弘、工科系大学の事業継続計画における基礎的研究（その 2） 被災時における業務の優先度調査、日本建築学会 2012 年度大会、2012 年 9 月
8. 平本達也、村上正浩、和久里洋、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-写真修復ボランティア「あなたの思い出まもり隊プロジェクト」-、社会貢献学会第 3 回大会、2012 年 11 月
9. 村上正浩、久田嘉章、安心して働き・学び・遊び・集うことのできる新都心・新宿を目指して、社会貢献学会第 3 回大会、2012 年 11 月
10. 稲垣大輔、櫻井翼、吉田倬郎、村上正浩、宮村正光、久保智弘、工科系大学の事業継続計画策定のための基礎的研究-被災時における業務の優先度調査-、社会貢献学会第 3 回大会、2012 年 11 月
11. 櫻井翼、稲垣大輔、吉田倬郎、村上正浩、宮村正光、久保智弘、工科系大学の事業継続計画策定のための基礎的研究-東日本大震災時に行った各部署震災対応業務調査-、社会貢献学会第 3 回大会、2012 年 11 月
12. 浅野菜邦、村上正浩、平本達也、稲垣大輔、新宿・新都心の防災資源に関する調査研究、社会貢献学会第 3 回大会、2012 年 11 月
13. 牧野夏葉、村上正浩、平本達也、新宿駅周辺地域のエリア防災に関する研究、社会貢献学会第 3 回大会、2012 年 11 月
14. 和久里洋、村上正浩、平本達也、写真修復ボランティア「あなたの思い出まもり隊プロジェクト」-活動マニュアルの作成について-、社会貢献学会第 3 回大会、2012 年 11 月

外部資金の獲得

1. 村上正浩、受託事業、新宿駅西口地域都市再生安全確保計画策定基礎調査業務委託、新宿区、11,967 千円、2012 年度
2. 村上正浩、受託事業、避難所運営訓練等企画運營業務委託（四谷第六小学校避難所運営管理協議会）、新宿区区長室危機管理課、3,000 千円、2012 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、2012 年度
4. 村上正浩、共同調査研究、「モバイル空間統計」の防災計画分野における有用性検証の研究、NTT ドコモ、3,000 千円、2012 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、西新宿に DCP 構築 震災に備え地域力向上、建設通信新聞、2013 年 1 月 25 日
2. 村上正浩、首都直下地震に備えて 工学院大学報道陣向けセミナー、電気新聞、2013 年 1 月 28 日
3. 村上正浩、防災・減災活動さらに推進 大学 FM・地域 BCP 確立へ、日刊建設工業新聞、2013 年 1 月 29 日

4. 村上正浩、150周年へ、第一歩踏み出す 工学院大学がプレス懇談会、全東京新聞、2013年1月31日
5. 村上正浩、震災対策の取組を報告 工学院大学がプレス懇談会、新宿区新聞、2013年2月5日
6. 村上正浩、理工系大学の強みを生かして、工学院大学を地域防災拠点へ、建築ジャーナル、2012年4月1日
7. 村上正浩、写真洗浄・修整 学生が活躍、河北新報、2012年4月8日
8. 村上正浩、クローズアップ現代「首都直下 震度7の衝撃 ～どう命を守るか～」、NHK、2012年4月19日 N
9. 村上正浩、長周期地震動に対する室内安全セミナー、河北新報、2012年4月21日
10. 村上正浩、高層ビル街のエリア防災、朝日新聞、2012年4月25日
11. 村上正浩、大学による復興支援取り組み、朝日新聞、2012年5月11日
12. 村上正浩、高層ビル 避難者受入れに課題、NHK「ニュース7」、2012年6月11日
13. 村上正浩、NHK ラジオ第1「NHK ジャーナル」、2012年6月11日（東日本大震災時の仙台の高層ビルでの帰宅困難者受け入れに関する課題に関する特集において、「エリア防災」対策の必要性）
14. 村上正浩、超高層ロビー階を「避難民」受入れに！、新宿区新聞、2012年6月25日
15. 村上正浩、震災から1年半 学生ボランティア「あなたの思い出まもり隊」修復された写真が被災者の元へ、News1st.jp、2012年8月3日
16. 村上正浩、あなたの思い出まもり隊、Jpubb、2012年8月8日
17. 村上正浩、震災津波で傷んだ写真 修復し被災者へ届ける、科学新聞、2012年8月31日
18. 村上正浩、超高層ビル街である西新宿エリアの再活性化をPPP（官民連携）の枠組で取組が始まり、本学他民間十数社と区が連携を開始、日刊建設工業新聞、2012年9月19日
19. 村上正浩、思い出の復興 地道に 工学院大生ら震災後1年半 被災写真4000枚超を修復、東京新聞：TOKYO Web、2012年9月19日
20. 村上正浩、特集「東日本大震災とメディア」第17弾/特別対談 昼間人口や業務機能が集中する都心部の減災対策を考える、NEW_MEDIA、2012年10月1日
21. 村上正浩、受入れビルは事前公表へ 帰宅困難者対策 工学院とは12月協定締結、新宿区新聞、2012年12月5日
22. 村上正浩、地域ぐるみで 工学院大学の震災対策、新宿区新聞、2012年12月5日
23. 村上正浩、新宿区は工学院大と帰宅困難者受け入れで、東京新聞、2012年12月27日
24. 村上正浩、新宿区は工学院大と帰宅困難者受け入れで、東京新聞 TOKYO Web、2012年12月27日
25. 村上正浩、大規模災害時の帰宅困難者の一時受入について協定を結ぶと共に「防災・減災対策」も併せて締結、NHK「首都圏ネットワーク」、2012年12月27日
26. 村上正浩、「帰宅困難者」受け入れで協定 工学院大学「可能な限り受け入れる」、新宿区新聞、2013年1月11日
27. 村上正浩、「帰宅困難者一時滞在施設の提供に関する協定」及び「防災・減災対策の相互連携に関する基本協定」の締結、新宿区新聞、2013年1月15日
28. 村上正浩、「帰宅困難者一時滞在施設の提供に関する協定」及び「防災・減災対策の相互連携に関する基本協定」、NHK「首都圏ネットワーク」、2013年1月17日
29. 村上正浩、防災・減災協定：工学院大と地域の町会が締結一八王子、毎日.jp、2013年2月20日
30. 村上正浩、大学と地域との連携がつくる「災害に強いまち」、News1st.jp、2013年2月25日
31. 村上正浩、八王子市の自治体と連携 工学院大 災害対策を強化、日刊工業新聞、2013年3月1日

その他（報告会・シンポジウムの主催・共催など）

1. 村上正浩、パワーアップ！えのき 防災ワークショップ報告会、2013年3月
2. 村上正浩、体験でしっかり身につく！「地震教室」地震！その時、なにをする？！一家具類の転倒・落下・移動防止対策キャンペーン（東京消防庁）、2013年3月
3. 村上正浩、天神の防災力アップ（WeLove 天神協議会）、2013年3月

4. 村上正浩、町田市自主防災組織リーダー講習会、2013年1月
5. 村上正浩、危機管理士2級試験 自然災害編 「危機管理演習」、2013年1月
6. 村上正浩、新宿駅周辺防災対策協議会主催 地震防災訓練、2013年1月
7. 村上正浩、第3回社会貢献学会大会、2012年11月
8. 村上正浩、四谷第6小学校避難所運営管理協議会地震防災訓練、2012年11月
9. 村上正浩、工学院大学地震防災訓練（新宿校舎、八王子校舎）、2012年11月
10. 村上正浩、東日本大震災・支援プログラム 石巻市雄勝町ボランティア活動、2012年11月17～18日
11. 村上正浩、建築ふれあいフェア 2012 パネルディスカッション「都心の防災対策を考える」、2012年10月
12. 村上正浩、創立125周年記念講演会「東日本大震災から何を学ぶべきか」、2012年10月
13. 村上正浩、建築ふれあいフェア 2012 シンポジウム「災害に強いまちづくり」、2012年9月
14. 村上正浩、パワーアップ！えのき 防災ワークショップ「私たちの防災対策：成果と問題点 これが良いのか？その防災対策！」、2012年9月
15. 村上正浩、町田市自主防災組織リーダー講習会、2012年9月
16. 村上正浩、丸の内キッズジャンボリー2012「家具のてんとう防止の工作体験！ 子ども防災教室」、2012年8月
17. 村上正浩、平成24年度新宿駅周辺防災対策協議会シンポジウム、2012年7月
18. 村上正浩、新宿駅周辺防災対策協議会セミナー、2012年8月～2013年1月
19. 村上正浩、四谷第6小学校避難所運営管理協議会、2012年6月～2013年2月
20. 村上正浩、四谷第6小学校避難所運営管理協議会防災カフェ（よつろく女子会）、2012年7月～2013年1月
21. 村上正浩、危機管理に関する勉強会、2012年4月～2013年2月
22. 村上正浩、「あなたの思い出まもり隊」プロジェクト、2012年4月～2013年3月
23. 三好勝則、東日本大震災復旧復興支援特別委員会、日本計画行政学会
24. 三好勝則、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

修士1名
学士8名

都市減災研究センター（UDM）2012年度テーマ別報告会

「鉄筋コンクリート関連」

日時：2013年2月21日（木）13:30～15:30

場所：工学院大学新宿校舎 B-0563 教室

プログラム

- | | | |
|-------------|---|-------------------|
| 1330～13:35 | 主旨説明 | 司会 小野里憲一 |
| 13:35～13:55 | 開口付きそで壁柱の増し厚補強工法開発 | 近藤龍哉（建築学部建築学科准教授） |
| 13:55～14:15 | シングル配筋ラーメン構造開発のための予備実験 | 小野里憲一（建築学部建築学科教授） |
| 14:15～14:35 | 住宅基礎の高耐久化に及ぼす締固め方法の影響 | 阿部道彦（建築学部建築学科教授） |
| 14:35～14:55 | 廃棄物起源材料（廃木材，廃コン，海洋生物殻等）
を用いた建設資材の基礎物性と環境影響 | 田村雅紀（建築学部建築学科准教授） |
| 14:55 | ディスカッション「鉄筋コンクリート関連テーマの連携について」 | |

参加テーマ

- | | | |
|---------|----------------------------------|------------|
| テーマ 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 |
| テーマ 3 | 「震災廃棄物の再資源化と高機能化」 | 阿部道彦、田村雅紀 |

都市減災研究センター (UDM) 2012 年度テーマ別報告会

「建築非構造材・ライフラインの安全性と機能維持」

日時：2013年2月21日(木) 16:00～18:00

場所：工学院大学新宿校舎 B-0563 教室

プログラム

司会 久保 智弘

16:00～16:05 主旨説明

16:05～16:20 首都圏で想定すべき地震・地震動と超高層建築の応答解析(小課題 1.1)

○久田嘉章、山下哲朗ほか

16:20～16:35 吊り天井の耐震性能とその補強法の実験評価「(小課題 2.1)

○坂本 有奈利、山下哲郎、西川豊宏、志津えりか

16:35～16:50 天吊り設備機器・配管の耐震性能に関する実験的研究(小課題 2.1)

○西川豊宏、山下哲郎、志津えりか、坂本有奈利

16:50～17:05 地震に対するスプリンクラ設備の配管構造の強度解析(小課題 2.2)

○生野雅也、小林光男、後藤芳樹、一之瀬和夫、小久保邦雄

17:05～17:20 スロッシングとタンク強度(小課題 2.2)

○小久保邦雄、後藤芳樹、小林光男、一之瀬和夫

17:20～17:35 リアルタイム震度を用いたオフィス家具の転倒時間に関する研究(小課題 5.2)

○久保智弘、山下 哲郎、坂本 有奈利、大宮 憲司、小泉 秀斗

17:35～18:00 質疑、意見交換

都市減災研究センター（UDM）2012年度テーマ別報告会

「テーマ4, 5 合同報告会」

—震災時の都市機能維持に向けた耐災害性の強い通信・電源システムの活用—

日時：2013年3月15日（金）13:00～16:00

場所：工学院大学新宿校舎 B-0526 教室

進行：佐藤光太郎

プログラム

・報告

13:05 テーマ5. 3 「新宿駅周辺地域のエリア防災の取り組み」（村上）

13:20 テーマ4. 2 「独立型太陽光発電システムの特性評価」（荒井）

13:35 テーマ4. 2 「分散型電源開発のための基礎的研究」（佐藤）

13:50 テーマ4. 1 「減災情報通信システムの構築と運用」（水野）

14:05 テーマ4. 1 「省電力サーバシステム」（山口）

14:20 テーマ5. 1 「医療救護所に求められる機能」（寛）

14:35 テーマ5. 2 「大学のBCP」（吉田）

14:50 テーマ5. 2

「私立工科系大学における首都直下地震による財務影響分析に関する研究」（久保）

・15:05 討論 50分

・15:55 閉会のあいさつ（水野 修）

