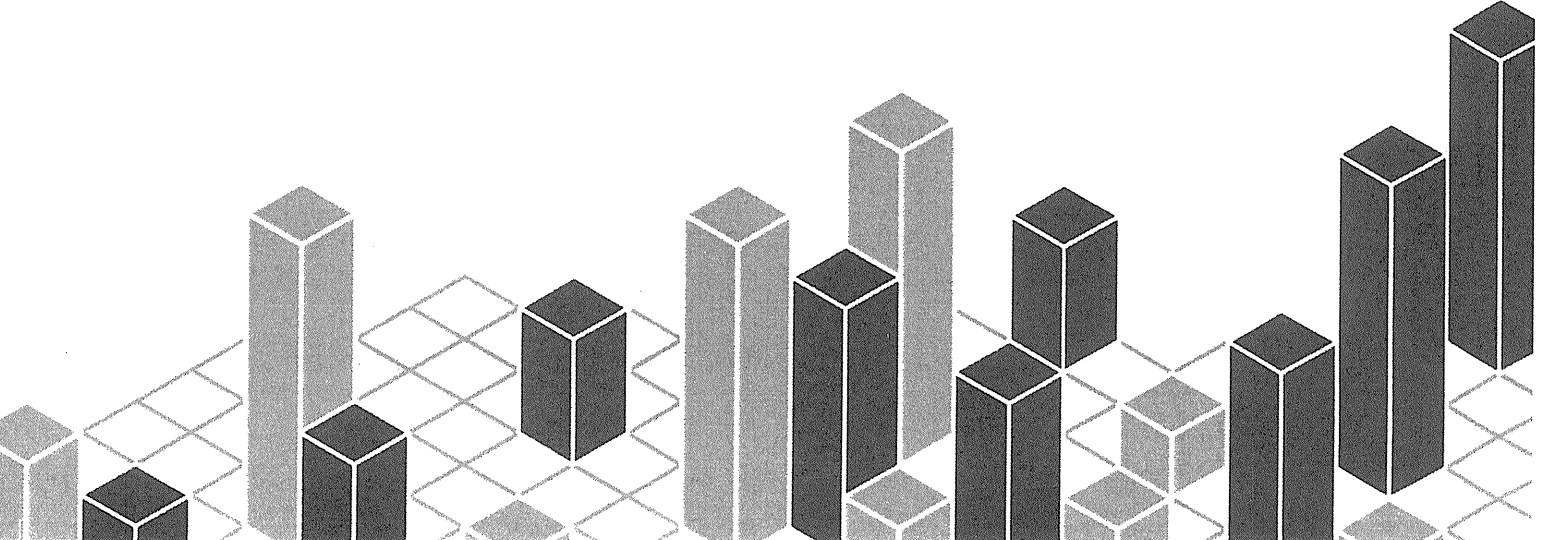


文部科学省私立大学研究  
ブランディング事業  
「巨大都市・複合災害に対する建築・  
情報学融合によるエリア防災活動支援  
技術の開発と社会実装」

平成30年度成果報告書

平成31年3月

工学院大学 総合研究所  
都市減災研究センター (UDM)





## 目 次

### 本事業の概要、および、平成30年度成果報告について

佐藤光史（工学院大学学長）、久田嘉章（総合研究所・都市減災研究センター長） i - iv

### 研究成果報告

#### テーマ1 「大都市中心エリアを対象としたオールハザード対応キットの開発」

- 1-1 大都市中心エリアを対象としたオールハザード対応キットの開発  
村上正浩 1
- 1-2 認知行動実験、動画像解析による都市災害対応モデルの検討  
および VR 自衛消防訓練ツールの開発  
福田一帆 雨車和憲 5
- 1-3 大都市ターミナル駅周辺の建築ストックの防災まちづくりへの転用可能性  
藤賀雅人 7

#### テーマ2 「機能継続・早期復旧を可能とする大地震対策建築モデルの開発」

- 2-1 リスク評価手法を用いた制振補強による費用対効果に関する研究  
中西真子 久田嘉章 山下哲郎 9
- 2-2 既存超高層建築の地震時損傷評価  
中西真子 井口桂織 久田嘉章 山下哲郎 15
- 2-3 天井実験用振動台を用いたシステムライン天井の動的実験  
山下哲郎 岩澤瞭 萱沼賢太郎 茂呂浩太郎 21
- 2-4 せん断が支配的な置屋根体育館支承部の復元力特性に関する研究  
伊藤賢治 山下哲郎 関根 諒 27
- 2-5 下部構造と支承部の非線形復元力特性を考慮した鉄骨置屋根構造の地震応答解析  
渡辺俊也 山下哲郎 33
- 2-6 本体建物の振動特性を考慮した大スパン片持屋根構造の地震応答評価  
荒井雄大 山下哲郎 39
- 2-7 各種都市建築物の非構造部材における性能評価と機能継続に関する研究  
ー都市高層ビルにおけるドローン外壁劣化度調査と評価システムー  
川村順平 田村雅紀 村上正浩 金山直司 新藤敦 45
- 2-8 各種都市建築物の非構造部材における性能評価と機能継続に関する研究  
ー都市非住宅用・外断熱タイル張り工法の安全・劣化性状ー  
鈴木秋人 田村雅紀 相山朋大 岡田幸三 堀幸作 高本修一 49
- 2-9 各種都市建築物の非構造部材における性能評価と機能継続に関する研究  
ー外装用・窯業系サイディング廃材を用いた再生仕上げ建材の開発ー  
栗原良輔 田村雅紀 53

2-10	各種都市建築物の非構造部材における性能評価と機能継続に関する研究 －木質外装材へのアクリルシリコン系透明保護塗材を用いた退色防止性－ 下地 啓太 田村雅紀 奈良利男 内藤真弘 島袋省三	57
2-11	各種都市建築物の非構造部材における性能評価と機能継続に関する研究 －木質・植物系屋根に対する高粘度液体による延焼抑止効果－ 小清水基貴 田村雅紀 後藤治 小林直	61
2-12	機能継続・早期復旧を可能とする大地震対策建築モデルの開発 ～設備施設の耐震性能向上～ 西川 豊宏	65
2-13	地表地震断層ごく近傍の強震動特性，および，断層ズレによる建物被害 久田 嘉章	69
<b>テーマ3 「エリア防災拠点をつなぐ自立移動式災害対応支援ユニットの開発」</b>		
3-1	D-ZEV を利用した環境防災情報伝達システムの構築 中島裕輔 水野修 野呂康宏 横山計三 富樫英介 柳 宇	77
3-2	自立移動式災害対策支援ユニットにおける情報提供方式の開発 水野修	81
3-3	自立移動式ゼロエネルギーユニット (D-ZEV) の電力供給システム 野呂康宏	85
3-4	簡易救護ユニット空調システムの研究 横山計三 富樫英介 中島裕輔 柳 宇	89
3-5	簡易救護ユニットにおける室内浮遊粒子の制御に関する実証 柳 宇 富樫英介 横山計三 中島裕輔	95
<b>広報・普及事業</b>		
	佐野勇一郎	97
<b>資料1：平成30年度・業績一覧</b>		
	テーマ1	99
	テーマ2	104
	テーマ3	112
<b>資料2：平成30年度関連イベント資料</b>		
	防災 WEEK 2018 (新宿駅周辺防災対策協議会、2018. 11. 13～11. 21)	116
	文部科学省 私立大学研究ブランディング事業 成果報告会 (工学院大学、2019. 3. 13)	118
	応急危険度判定士セミナー (東京建築士会新宿支部・東京都建築士事務所協会新宿支部 ・JIA 新宿地域会・工学院大学、2019. 3. 18)	119

文部科学省 私立大学研究ブランディング事業  
事業名「巨大都市・複合災害に対する建築・情報学融合  
によるエリア防災活動支援技術の開発と社会実装」

本事業の概要、および、平成 30 年度成果報告書について



本報告書は、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) により、平成 28 年度 11 月より 5 年計画で開始した文部科学省私立大学研究ブランディング事業「巨大都市・複合災害に対する建築・情報学融合によるエリア防災活動支援技術の開発と社会実装」における平成 30 年度の成果報告書です。

まず本事業の背景ですが、膨大な人口が集中する超高層建築や広大な地下街等を有する新宿に代表される巨大都市の中心市街地とその周辺の住宅地（以下、大都市中心エリア）では、首都直下地震などの震災だけでなく、近年の異常気象に起因した集中豪雨による水害、大群集による混乱などによる都市型複合災害（オールハザード）への対策が焦眉の課題となっています。大都市中心エリアは、膨大な人口に対応する災害時のスペースが絶対的に不足しており、建物や室内の被災の可能性をできるだけ低減し、仮に被災しても速やかに復旧可能な「逃げる必要のない建築・まち」の実現が強く望まれています。

工学院大学は、これまで巨大都市の災害低減のための研究・教育・社会貢献活動を主要なブランディング事業と位置づけ、地元自治体である新宿区や八王子市、多くの市民・事業者などと連携した様々な取り組みを行っています。特に世界最大の乗降客数を誇る新宿駅周辺地域やその周辺の住宅地では、地元行政（新宿区）と住民・事業者との密接な連携により、講習会や地域防災訓練などの多様な防災・減災活動を行ってきました。その成果は地元企業の BCP や施設の消防・防災計画等に反映されるだけでなく、新宿区の地区防災計画など震災対策の推進や、都市再生安全確保計画制度の創設と新宿駅周辺地域での実施事例（首相官邸、2014）、「南海トラフ沿いの巨大地震による長周期地震動に関する報告（内閣府、2015）」など、広く自治体・国の施策にも反映されています。これらの業績により、本学および連携している新宿駅周辺防災対策協議会は、「ジャパンレジリエンスアワード（強靱化大賞）2015」にて最優秀レジリエンス賞を受賞するなど高い評価を頂いています。

本事業の目的は、図 1 に示すように主として建築学分野で得られた震災対策の成果と、情報学部  
の保有する最先端の ICT 技術との融合により、震災・水害等による都市型複合災害に強く、速やかな機能回復による「逃げる必要のない建築・まち」の実現を支援するエリア防災活動支援技術の研究開発事業と、その成果をもとにした地域連携による社会実装事業を行うことです。具体的な研究開発事業は、マルチハザード認識・エリア防災計画策定・オールハザード対応訓練のツール群で構成する「①オールハザード対応キット」、都市型拠点建築を対象に機能継続・早期復旧を可能とする「②大地震対策建築モデル」、およびエリア拠点施設において災害対応支援を行う「③自立移動式ゼロエネルギーユニット」による 3 つの研究開発で構成します。さらに、並行して実施する社会実装化事業では、地元の自治体（新宿区等）と住民・事業者との連携により、3 つの開発技術を様々なイベント（講習会・防災訓練・防災イベントなど）で実際に適用し、その有効性を検証したうえで、全ての成果を広報するキャンペーン（チラシ・サイネージ・メディア広報など）等によるブランディング事業を実施しています。



図1 本事業の全体概念図

図2に本事業の2018年度の実施体制を示します。本事業は研究開発事業と社会実装事業で構成し、事業の統括は佐藤光史・学長と鷹野一朗・副学長をリーダーとする総合研究所運営委員会が行い、基本方針は理事会・教授総会・代議員会による承認を経て実施されています。研究開発事業は総合研究所・都市減災研究センター（Research Center for Urban Disaster Mitigation; UDM）が取りまとめ、参加する16名の学内教員と多数の学外の研究協力者・研究機関との連携により3つの研究テーマで実施しています。一方、社会実装事業は、総合企画部・広報課とUDMセンター長・研究テーマリーダー、および外部コンサルタントとの連携により、得られた成果の広報・普及キャンペーン等を推進します。外部連携機関として新宿区と地元事業者・住民による自主防災組織（新

宿駅周辺防災対策協議会など）と密接に連携し、毎年、成果報告書の発行と成果報告会を実施し、自己点検・評価委員会と外部評価委員会の審査を経て、事業の点検と修正を行っています。

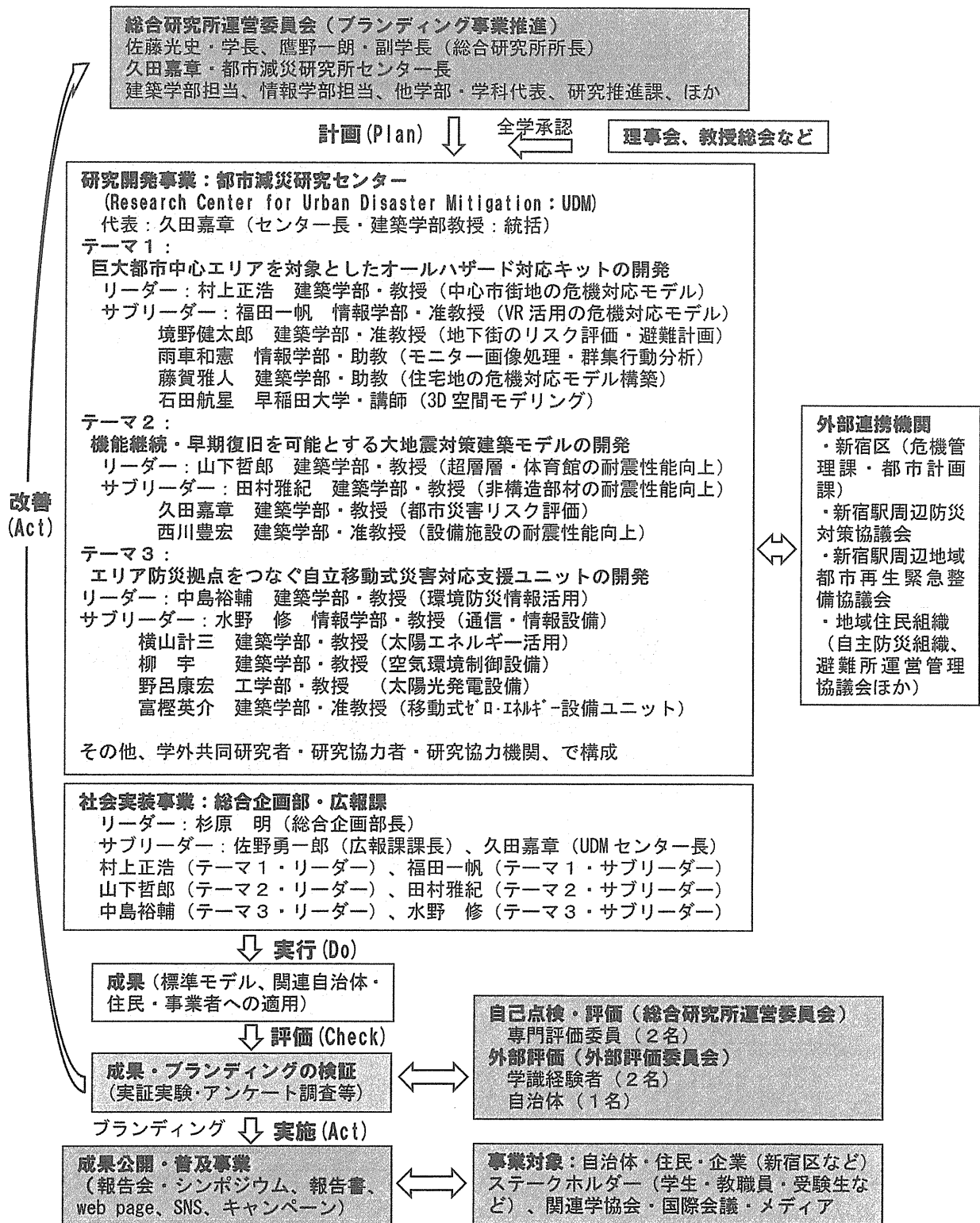


図2 本事業の実施体制（2018年度）

本事業は2016年11月に開始して以来、学内外の多くの研究者・実務者等と密接に連携して様々な成果をあげていると自負しています。本報告書や報告会等を通じて、多くの方々より貴重な意見を頂き、また、本学と地元自治体・住民・事業者の方々との密接な連携により、今後も防災・減災対策の推進とブランディング強化に寄与してゆきたいと考えています。

2019年3月

工学院大学学長

都市減災研究センター所長

佐藤光史

久田嘉章



## 大都市中心エリアを対象としたオールハザード対応キットの開発

オールハザード、エリア防災計画、拠点運営支援キット、訓練支援ツール

村上 正浩\*

### 1. はじめに

本研究課題では、新宿駅周辺地域とその郊外部をモデルに、大都市中心エリアにおける首都直下地震等による震災や集中豪雨等による水害などマルチハザードに対して、効果的かつ柔軟な災害対応が可能なオールハザード対応キットを開発する。具体的には、①当該エリアで想定されるハザードに対して、ドローンや ICT など各種技術を活用し、エリア全体での各主体の連携によるエリア防災計画を策定する。その計画に基づいた効果的な災害対応を可能とするため、②現地対策本部や一時滞在施設、避難所などエリアの災害活動拠点の設営・運営を支援するキット、さらに③災害対応力向上のための震災対応型の各種訓練を支援するキットを開発する。

本研究課題は表 1 の教員 5 名が担当する。初年度は開発環境を整備し、2 年度から 3 年度にかけてオールハザード対応キットのプロトタイプを試作とアンケート調査等による有用性の検証を行う。4 年度には訓練等への適用を通じてプロトタイプのブラッシュアップを図り、最終年度はキットを完成させ成果を公開する。筆者が担当した本年度成果は以下の通りである。

表 1 研究実施体制

担当者	主な役割
村上正浩 (リーダー、建築学部・教授)	中心市街地の危機対応モデルの検討
福田一帆 (サブリーダー、情報学部・准教授)	VR 活用の危機対応モデルの検討
境野健太郎 (建築学部・准教授)	地下街のリスク評価・避難計画の検討
藤賀雅人 (建築学部・助教)	住宅地の危機対応モデルの検討
雨車和憲 ※2018 年より (情報学部・助教)	動画像処理・分析

### 2. 本年度の研究成果

#### 2.1 ドローンや ICT など各種技術を活用したエリア防災計画の検討

##### (1) オールハザード・アプローチによるエリア防災計画の災害対応項目等の整理

新宿駅周辺エリアには新宿区や事業者等が参加する新宿駅周辺防災対策協議会があり、震災時の混乱抑止を図るため自助・共助・公助の行動ルールに基づくエリアの行動計画として「新宿ルール実践のための行動指針」を策定し運用している。図 1 はこの計画に基づ

づく震災対応を概念的に示したものである。すなわち、震災直後は事業者がビル内で自衛消防隊を中心とした自助対応を行い、行き場のない滞留者は避難場所へ誘導する。事業者と新宿区が現地本部を設置した後、現地本部を中心に各活動拠点が連携し、それぞれの役割に応じた災害対応活動を行う。

一方、当エリアでは首都直下地震等による震災や集中豪雨等による水害などマルチハザードに対する災害対応も不可欠である。図 1 の各主体が連携して効果的な災害対応を可能とするには、従来の震災・水害・事故といった災害の種類ではなく、米国の National Response Framework の Emergency Support Functions のように災害対応の仕組みによって対応を分類する必要がある。さらに、それら対応の主担当部局、応援部局、活用資源等を計画に定めておく。

本年度は、新宿区地域防災計画の震災対策計画・風水害対策計画・大規模事故等対策計画をオールハザード・アプローチの観点から検証し、共通の災害対応項目・活動フェーズごとに、それぞれの活動項目を整理した。その結果、①災害対策本部の組織・運営、②通信の確保・情報の収集、③情報の伝達、④応援の受入、⑤広報・広聴活動、⑥消火・救助・救急活動、⑦保健衛生、⑧避難所等、被災者の生活対策、⑨特別な配慮が必要な人への対策、⑩物資等の輸送、供給対策、⑪ボランティアとの協働活動、⑫公共インフラ被害の応急処置等、⑬生活再建支援、⑭廃棄物処理、⑮交通・輸送・警備、⑯駅周辺の混乱対策の 16 の共通する災害対応項目と震災（震災直後）・初動（震災当日中）・応急（震災当日～1 週間後）・復旧（1 週間～1 ヶ月後）の

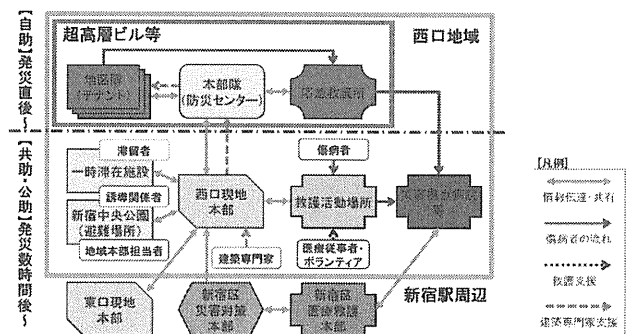


図 1 新宿駅周辺エリアにおける震災対応の概念図

\* : 工学院大学建築学部まちづくり学科

4 つの共通する活動フェーズに分類でき、対応項目・活動フェーズ別に、各主体の活動内容を整理した。今後は活動内容ごとに担当部署・組織や活用資源等を整理し、訓練等に適用し実効性を検証する必要がある。

(2) エリア防災計画におけるドローン・ICT など各種技術の活用

エリア内の各主体が連携し効果的かつ最適な災害対応を行うには、各主体間での速やかな災害情報等の収集・伝達・共有が不可欠である。

本研究では内閣府・戦略的イノベーション創造プログラム（2015～2019）との連携により「エリア災害対応支援システム」を開発し、新宿駅周辺防災対策協議会による西口現地本部運営訓練（2018. 11. 15）での活用を通じてシステムの改良・標準化と当エリアへの実装を進めた<sup>1)</sup>。開発したシステムは、クラウド環境で稼働し、外部から配信される災害情報をトリガーとして、現地本部を中心に、各主体に行動指針に基づいた適切な対応行動を促すためのエリア情報（鉄道運行情報、医療機関情報、避難場所情報、気象情報、地域被害情報地、地図情報）を伝達・共有することが可能である（表 2、図 2）。システムは iOS・Android・Windows を搭載した PC・スマートフォン・タブレットで Web ブラウザを介して利用できる。西口現地本部運営訓練（2018. 11. 15）への適用と訓練参加者によるアンケート及びワークショップ形式によるヒアリング（2018. 12. 14）から、システムを活用することで、事業者や防災従事者の災害時行動指針に基づいた適切な対応行動の誘導につながる事が確認できた。

また、西口現地本部を中心とする災害時の情報収集および滞留者誘導、新宿区災害対策本部との情報共有に、ドローンや自衛通信網・各種 ICT 活用の実効性についても昨年度に引き続いて検証した。本年度は、西口現地本部の運営訓練と連携して行い、より実態に即した状況で実効性を検証した。実験では、図 3 に示す複数の地点でドローンを飛行させ、さらに高所からの定点カメラも利用し、避難場所（新宿中央公園）・西口現地本部（工学院大学）・新宿区災害対策本部（新宿区役所）間に常設した 4. 9GHz 帯無線 LAN 網および LTE 網により、西口現地本部と新宿区災害対策本部へ新宿駅周辺の複数の地点の状況を動画で同時配信した（図 4、5）。実験の結果、西口現地本部・新宿区災害対策本部では遅延なく鮮明な動画を共有でき、エリア内の俯瞰的な状況把握に有効に活用できることを確認した。さらに、西口現地本部から避難場所（新宿中央公園）上

空のドローンに搭載したスピーカーを通じて、滞留者へ 4 カ国語（日本語、英語、中国語、韓国語）での音声情報を提供する実験も実施した（表 3）。4 カ国語での音声提供にはエジソンハードウェア株式会社の

表 2 システムで収集・伝達・共有可能な情報一覧

情報の種別	一般市民	防災従事者	情報の内容	
災害情報	地震情報	●	●	・地図上で震度分布を表示。居住地に近い観測地点の最大計測震度と新宿区の最大計測震度も表示。
	推定情報	—	●	・気象情報：警報、注意報、解析雨量、降水予報、土砂災害警戒情報等。 ・地震情報：震源、震度、強震動分布推定、建物被害推定等。
	簡易応答評価	—	●	・地震情報とユーザーが登録した建物情報をもとに、高層ビルの長周期地震動階級（相当）を高層階・中層階・低層階の3つに分けて表示。
地域情報	鉄道運行情報	●	●	・新宿駅に乗り入れる13路線の運行状態を表示。 ・ユーザーの登録情報をもとに使用路線を上部に別枠で表示。
	避難場所情報	●	●	・避難場所、一時滞在施設の受入状況を表示。 ・一時滞在施設は、電気・水道・通信・トイレの使用可否も表示。 ・防災従事者は各自の施設の情報更新が可能。
	医療機関情報	●	●	・災害拠点病院の受入状況を表示。 ・各施設のマップも表示。
	気象情報	●	●	・降雨強度・雨量を250mメッシュ単位で表示、メッシュ単位で確認可能。
	新宿マップ	●	●	・新宿駅周辺地域の地図を表示。
	被害情報	—	●	・上記の情報をもとに、鉄道の運行状況、医療機関の受入状況、一時滞在施設の受入状況・設備の使用可否などの自動集計と、各拠点の開設状況、連絡先等を表示。
行動指針	●	●	・新宿ルール実践のための行動指針に基づき、各主体の適切な対応行動を促すためのメッセージを表示。	

●：一般市民（就業者・就学者・来街者）、防災従事者（ビル施設管理者・防災担当者、現地本部や避難場所、一時滞在施設等災害対応拠点の運営者等）のそれぞれが入手可能な情報を示す。

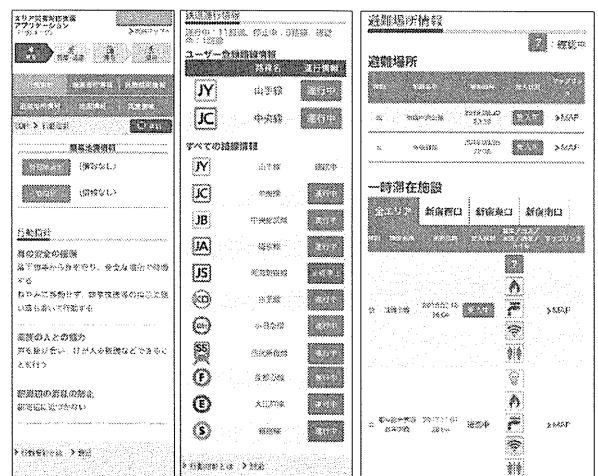


図 2 システムのスマートフォンでの表示画面例（左から、行動指針、鉄道運行情報、避難場所情報）

MegaSpeak LoudSpeaker を用いた。実験では、中国語を母国語とする中国人2名には中国語のアナウンス、英国への留学経験がある日本人1名には英語のアナウンス、日本人7名には日本語のアナウンスについて聞き取りやすさ／理解しやすさをアンケート調査により把握した。今回は韓国語については検証できなかったが、高度の違いによる聞き取りやすさ／理解しやすさに違いはなく、アナウンスを聞いた場所周囲の騒音の大きさによる聞き取りやすさに違いが見られた。また、2名の中国人から、中国語でのアナウンスがゆっくりすぎるため内容が理解できないという意見があった。音声での情報提供にあたっては、言語により読み上げの早さに配慮が必要である。

## 2.2 災害活動拠点の運営を支援するキットの開発

エリア防災計画に基づいて、エリア内の災害活動拠点が連携した災害対応が行えるよう、昨年度は西口現地本部・一時滞在施設・避難場所を対象に運営等に関わるマニュアルを整備した。マニュアルの作成にあたっては、各災害活動拠点を設営・運営する場合に、最低限必要となる活動内容を定義するとともに、その活動内容と「行動指針」との関係性を明確にすることで、地域連携による活動が円滑に行えるよう留意した。マニュアルの構成は、活動拠点の運営要員が、他拠点等の行動や連携すべき事項を確認する「行動指針に基づく実施行動」、運営要員が各行動の指揮を執るための手順を示した「各行動の手順等」及び、手順に沿って掲示等するための「帳票類」の3つで構成した<sup>2)</sup>。

本年度は、マニュアルをもとに、西口現地本部と一時滞在施設の設営・運営を支援するキットを開発した。開発にあたっては、地域住民が円滑に避難所を開設することを目的とした「避難所開設キット」の開発ノウハウを応用した。避難所開設キットは、既に多くの自治体に導入されており、大きな効果を上げている。

一時滞在施設開設キット（図6）は、マニュアルにある施設運営に必要な作業（施設の安全確認、運営要員の参集、帰宅困難者の受入準備、施設の開設・受入、帰宅困難者対応、施設の運営状況等の現地本部との共有、交通機関の再開状況の共有、閉鎖準備・閉鎖）と備品・帳票類等を基本にパッケージ化した。一方、現地本部立ち上げキット（図7）は、昨年度の西口現地本部運営訓練の参加者からの意見を反映して本部設営に重点をおいた仕様になっているが、現地本部運営に必要な作業と備品・帳票類をパッケージ化した点は同様である。開発した2つのキットは、西口現地本部

運営訓練（2018.11.15実施、11名参加）、一時滞在施設開設訓練（2019.1.31実施、運営要員19名・滞留者68名参加）に適用し（図8、9）、それぞれの訓練参加者のアンケートからキットの有効性について高い評価を得ることができた。また、参加者からは、こうしたキットの開発ノウハウは企業の災害対策本部等にも応用が可能であり汎用性が高いとの意見もあった。一方、注意を促す掲示物のサイズや帳票類、備品の見直しなどの改善点も確認でき、今後も訓練等への適用によりブラッシュアップを図る。

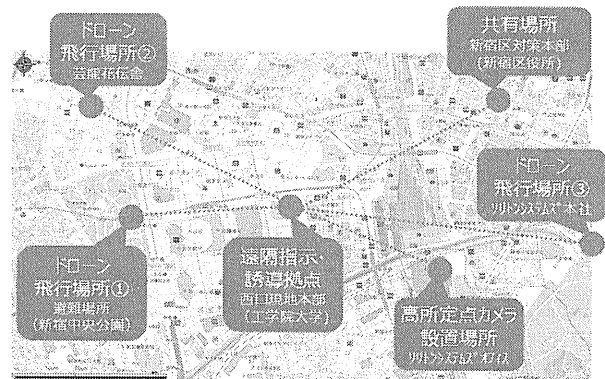


図3 実験実施場所

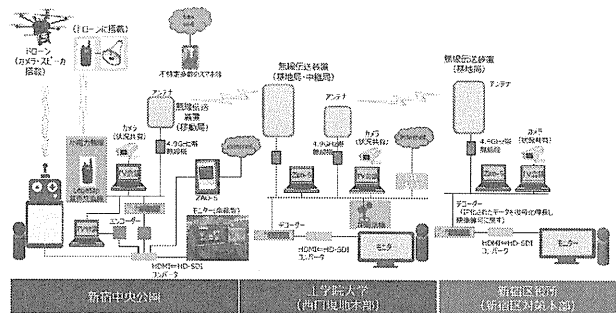


図4 各拠点における機器類の接続構成と実験環境（新宿中央公園、工学院大学、新宿区役所）



図5 各拠点の状況（西口現地本部内で）

表3 実験に用いたアナウンスの例（日本語）

- ・地震です。地震です。大きな揺れに備えてください。
- ・今後余震の可能性がります。危険ですから建物から離れてください。
- ・この地震による津波の心配はありません。
- ・火事です。火事です。至急安全な場所へ避難してください。
- ・現在停電しています。復旧までしばらくお待ちください。
- ・只今、通信障害が発生しています。復旧までしばらくお待ちください。
- ・食べ物はこちらです。2列にお並びください。

### 2. 3 発災対応型防災訓練キットの開発

発災対応型訓練の企画・実施・評価といった一連のプロセスをパッケージ化した訓練支援(主担当:村上)および VR 環境での訓練実施(主担当:福田)など、効果的に災害対応力を高めるため訓練キットを開発する。高層ビルでの震災対応の自衛消防訓練や多数傷病者対応訓練、避難所開設訓練などを対象に、新宿駅周辺防災対策協議会や避難所運営協議会での訓練ノウハウを形式知化する。訓練キットは、表 4 に示すように、訓練の企画・実施・評価の一連のプロセスにお

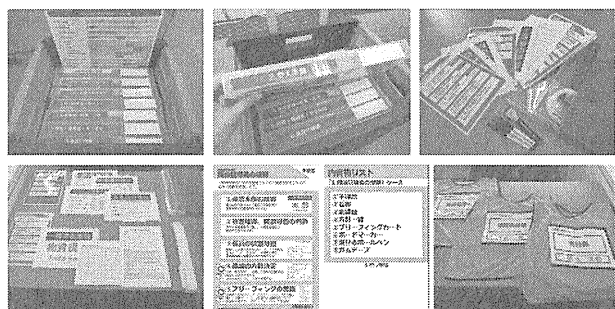


図 6 一時滞在施設開設キットの外観・内容物の例



図 7 現地本部立ち上げキットの外観・内容物の例

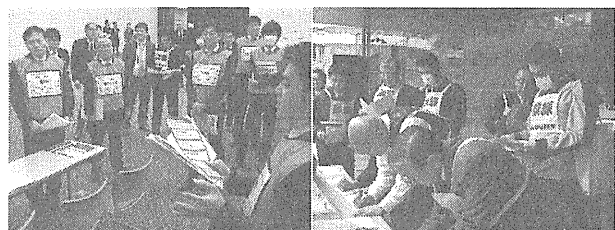


図 8 一時滞在施設開設訓練でのキットを用いたブリーフィング(左)と受付(右)の様子



図 9 キットを用いた現地本部の立ち上げの様子

いて、訓練企画者および訓練参加者が使用する 9 つのツール群で構成される。次年度は訓練キットを充実させ、想定する利用者や専門家へのヒアリングと実際の訓練への活用を通じて実効性を検証し、改善を図る。

### 3. おわりに

次年度は、オールハザード対応キットのプロトタイプを完成させ、訓練等への適用を通じてブラッシュアップを図る。

### 謝辞

本研究では、内閣府戦略的イノベーション創造プログラム(研究代表:久田嘉章)、新宿区の委託研究及び JSPS 科研費 17K01340(研究代表:村上正浩)の成果の一部を活用しています。本研究の推進には、修士課程 2 年の柳田悠太郎君、まちづくり学科 4 年の藤井和裕君の協力を頂きました。また、ドローンの検証実験では、チーム・新宿をはじめ多くの企業の協力を頂きました。記して深く感謝の意を表します。

### 参考文献

- 1) 村上正浩、久田嘉章、柳田悠太郎、大規模ターミナル駅周辺地域における複合災害への対応支援システムの開発、第 15 回 日本地震工学シンポジウム論文集、pp. 2228-2236、2018
- 2) 新藤淳、村上正浩、廣井悠、市居嗣之、宮田桜子、黒目剛、虎谷洗、新宿駅周辺地域における帰宅困難者一時滞在施設開設支援手法の開発、第 15 回 日本地震工学シンポジウム論文集、pp. 3065-3071、2018

表 4 多数傷病者対応訓練キットの構成例

多数傷病者対応訓練	訓練企画者	訓練参加者
訓練キット	■ツールⅠ:訓練キットに関する資料 資料①取扱い説明書	—
事前準備段階	■ツールⅡ:訓練企画者・訓練参加者の両者に提示する資料 資料②訓練概要 ■ツールⅢ:参加者に事前提示しない資料 資料③訓練事務局準備ガイド ■ツールⅤ:訓練企画者が進行に用いる資料 資料⑦訓練進行書	■ツールⅣ:訓練参加者が、訓練前に事前学習しかつ訓練中に用いる資料 資料④負傷者カード 資料⑤応急救護班行動フロー 資料⑥情報連絡班行動フロー
訓練実施中	■ツールⅥ:訓練参加者の訓練中の行動の評価に用いる資料 資料⑧応急救護班リーダー評価シート 資料⑨応急救護班班員評価シート 資料⑩情報連絡班リーダー評価シート 資料⑪情報連絡班班員評価シート 資料⑫検証結果表	—
振り返り段階	■ツールⅦ:デブリーフィングの進行に用いる資料 資料⑬デブリーフィングガイド	■ツールⅧ:気づきや参加者自身による評価に用いる資料 ※ツールⅣ兼ねる
その他	■ツールⅨ:その他Ⅰ～Ⅷに分類できないもの 物品・設営、掲示物	

## 認知行動実験，動画像解析による都市災害対応モデルの検討 および VR 自衛消防訓練ツールの開発

キーワード：VR，災害，訓練，動画像解析，行動，心理

福田一帆\*

雨車和憲\*\*

### 1. はじめに

都市災害においては、人の行動や情報の迅速な把握が被害状況に大きく影響をおよぼすことが想定される。災害への有効な危機対応モデルを構築するためには、人々の行動や心理を理解した上で危機対応モデルを作成すること、被災状況や災害時の人々の行動を速やかに把握することが重要である。

本稿では、情報技術を利用した都市災害の対応モデル・訓練ツールの検討・開発として、VR 災害体験における認知行動特性および生体反応の検討（福田）、VR を利用した自衛消防訓練ツールの開発（村上、福田）、ドローンによって撮影されたビル壁面映像からのビル壁面マッピング手法の開発（雨車）について報告する。

### 2. VR 空間における災害体験に対する認知行動特性および生体反応の検討

災害発生時またその直後の避難行動特性に関する調査研究は様々な手法により数多く行われている<sup>[1]</sup>。特に近年は VR 技術を用いた研究も多い<sup>[2]</sup>。一方で、実際の災害発生時には不安や焦り、緊張といった精神負荷ストレスが避難行動に影響を及ぼすことが述べられている<sup>[3]</sup>。VR 環境に地下火災を再現し、避難経路選択時に向光性や追従性などの複数要因が対立するときの行動特性、および災害 VR 体験による精神負荷ストレスの変化を検証する研究をおこなった。

実験では、移動可能な VR 空間に地下街を作成して火災による黒煙を発生させ（図 1 左）、これをヘッドマウントディスプレイに呈示した。被験者課題は平常時のターゲット探索行動、災害時の避難経路探索行動の 2 つであった。避難経路には T 字路が 1 箇所あり、左右の通路に条件差を設けて避難行動特性を調べた（図 1 右）。また、ストレス指標として有効性が報告されている心拍間隔変動の高周波成分と低周波成分の比 LF/HF を平常時のターゲット探索時と災害時の避難経路探索時の間で比較した。

実験の結果として、避難行動特性のうち追従性は向光性よりも優先されることが表れた。また、LF/HF の値について、t 検定により有意水準片側 2.5% で災害前

よりも災害後の方が増加しているという有意差が認められ（図 2）、VR を用いた災害シミュレーションによる精神負荷ストレスの再現が可能であることが示された<sup>[4]</sup>。災害 VR と実際の災害のストレスの程度の違いと行動特性の関係については今後の課題である。



図 1. 災害発生後に煙が充満している様子（左）と向光性と追従性を対立させた通路（右）

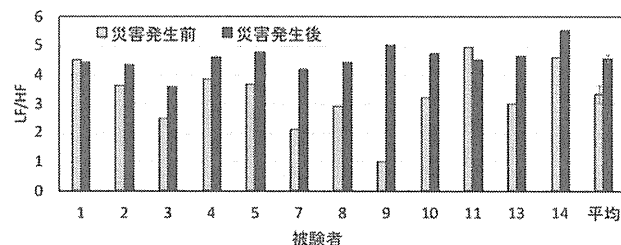


図 2. VR 災害体験による LF/HF の変化。被験者 12 名の結果と、その平均および標準誤差を表す。

次に、建物等の傾きが感覚や生体反応に与える影響についての研究について述べる。地震で傾斜した建物の居住者について眩暈や疲労感等の体の不調が報告されている<sup>[5]</sup>。そこで 3D スキャナによる計測結果から作成した室内 VR を前後または左右に傾斜させて HMD に呈示し、重心の動き、身体の傾きを計測するとともに、主観的な室内および身体の傾きの感覚を調査する研究を実施している（図 3）。



図 3. 室内 3D 計測の様子（左）と作成した VR 空間を傾斜させた様子（右）被験者は右図に写る人物目線の映像を HMD にて観察した（室内傾斜 15 度の条件）

### 3. VRを利用した自衛消防訓練ツールの開発

工学院大学では、以前より自衛消防訓練実施方法の構築、普及などに取り組んでいる<sup>[6]</sup>。しかし一般の人々にとって平時の環境での訓練のみで自衛消防訓練の意義や効果を実感することは難しい。そこで、災害時の自衛消防隊の役割を体験可能なVRコンテンツの制作およびその効果検証をおこなう。本年度は初期消火班の役割を体験するVR訓練ツールの仕様を決定および開発をおこなった（図4）。

作成した訓練ツールは、自衛消防訓練初級者を主なターゲットとしたもので、独立型VRヘッドセットを用いて、仮想のオフィス内を移動および上下左右全方位見回し可能な仕様である。体験者はコントローラーを用いて仮想空間内の適切なオブジェクトを選択することで、ドアの開閉、火災報知器や消火器の使用などのイベントを発生させることができ、火災を発見し適切に行動すると終了となる。今後は訓練への使用によりデータを取得し、機能追加などの改善を目指す。



図4. VR自衛消防訓練ツールの体験中の様子

### 4. ドローンによって撮影されたビル壁面映像からのビル壁面マッピング手法の開発

大都市における災害後、迅速な都市機能復旧のために、各高層ビルの被害の度合いをいち早く確認する必要がある。通常、専門家がビル壁面に生じるヒビ割れを目視で確認し、そのヒビ割れの箇所や状態から被害の度合いの判断を行う。しかし、大都市災害においては多くの高層ビルが同時に被災するために、この作業の効率化が望まれる。そこで本研究では、ドローンによってビルの壁面映像を撮影し、フレームを繋ぎ合わせて一つのビル壁面画像を作成し（これをマッピングと呼ぶ）、専門家による確認の補助ツールを作成することを目指す。

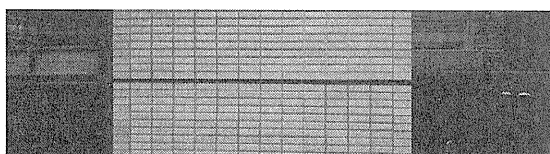


図5. ビル壁面画像の例

本研究で想定しているビル壁面映像では、図5のように同一のテクスチャの連続のため、フレーム間での画像の接合が難しい。さらにドローンの姿勢が僅かにずれるだけでも画像が複雑に歪む。そこで今年度は、ドローンの動きから生じる歪みの生成モデルを与え、その逆変換によって歪み補正を行う手法を提案した。本手法では画像からエッジ抽出と直線検出を行い、歪みの程度を推定し、逆変換することで補正を行う。図6の上部は歪み画像、下部が補正画像である。黒い領域に注目すると、歪みが補正されていることが分かる。

今後は、この歪みの補正技術の精度を上げていくとともに、実際にマッピングを行っていく手法についても検討を行う。また、変換モデルに従って大量の歪み画像を人工的に生成できるので、これを用いて深層学習による歪み補正およびマッピングについても並行して検討を行う予定である。

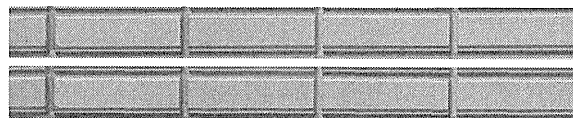


図6. 歪み画像（上）と補正画像（下）

### 5. おわりに

次年度は開発した初期消火班の体験ツールを実際の自衛消防訓練で使用してアンケート調査、体験者の属性と訓練ツールにおける行動の違いの相関などのデータ取得解析をおこなう。また、その他の自衛消防隊各班（通報連絡班・避難誘導班・安全防護班・応急救護班）の体験ツールの作成も検討する。

### 謝辞

本稿に報告する実験は、工学院大学情報学部の保谷航大さん、佐藤真梨子さんが主に実施したものである。ここに記して謝意を表する。

### 参考文献

- 1) 室崎, 建築防災・安全, 鹿島出版会, 1993
- 2) 安福, 没入型避難シミュレータによる避難経路把握の分析, 図学研究, 42(2), pp.71-76, 2010
- 3) 元吉, 災害に関する心理学的研究の展望 -防災行動の規定因を中心として-, 名古屋大学大学院教育発達科学研究科紀要, 51, pp.9-33, 2004
- 4) 保谷, 福田, VRによる火災避難体験時の行動特性と精神負荷ストレスに関する研究, 映像情報メディア学会技術報告, 43(8), pp.17-20, 2019
- 5) 北原, 宇野, 傾斜室における眩暈と平衡一新潟地震による傾斜ビルの調査研究一, 耳鼻咽喉科臨床・耳鼻咽喉科臨床学会 58(3), pp.145-151, 1965
- 6) 新宿駅周辺防災対策協議会:平成29年度新宿駅西口地域地震防災訓練報告書, pp.1-73, 2018

## 大都市ターミナル駅周辺の建築ストックの防災まちづくりへの転用可能性

建築ストック，不燃化推進特定整備地区，附置義務低減  
防災対策，用途変更

藤賀 雅人\*

### 1.はじめに

建築行政が既存ストック活用に移行する中、東京都の防災まちづくりにおいても建て替え助成や空き家・空き店舗・空きビルの活用といった建築ストックレベルでの対応に主眼が置かれつつある。新宿駅周辺地域においても事業所単位での防災対応を基本として、これを連携させた協議会対応が推進されるが、こうした防災対策に向けた対応スペースや備蓄保存場所等の空間確保が課題となるケースが見られている。

他方、大都市ターミナル駅周辺では、都市空間の高度利用を目的に、プロジェクト型の規制緩和による建築行為が進む一方、これまで駐車場・駐輪場設置義務として（附置義務）、活用されない空間確保が義務付けられてきた。近年、こうした余剰空間を低減する試みが検討されはじめており、未使用の空間を防災まちづくりへ転用するための議論も進められている。

本年度は、震災時に特に混乱を招くことが想定される、新宿駅東口を対象に、新宿駅東口地区駐車場地域ルール運営協議会と連携し、附置義務低減に合わせた施設整備の状況把握と、防災まちづくりへの転用の可能性を検討した。

### 2.新宿駅東口・西口地域における附置義務低減審査の概略

都市計画法に基づいて、駐車場・駐輪場の附置義務が設定され、特にターミナル駅周辺では小規模なテナントビル等においても隔地駐車場を設定しなければならないなど、負担の大きな状況がみられていた。駐車場・駐輪場整備を進める考えからこうした法的根拠を持った運用がなされていたが、実態として整備済みの空間においても利用がなされないことから、東京都駐車場条例が制定され、地区特性に応じた駐車場附置義務基準を定めた地域ルールの運用がなされることとなった。

新宿駅では、東口地区、西口地区にそれぞれ地域団体を立ち上げ、個別審査と地域全体でのコントロールを基にした低減審査が進められている。現状、東口では容積率指定により建て替えが進まない雑居

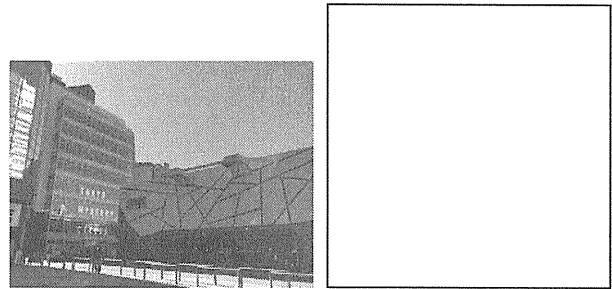


図1. 附置義務低減審査による用途転用空間

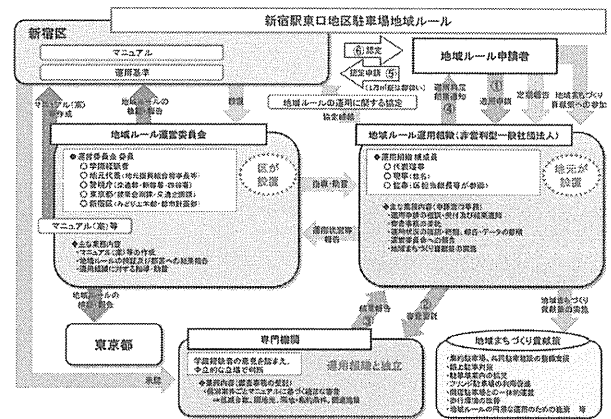


図2. 附置義務低減審査のフロー

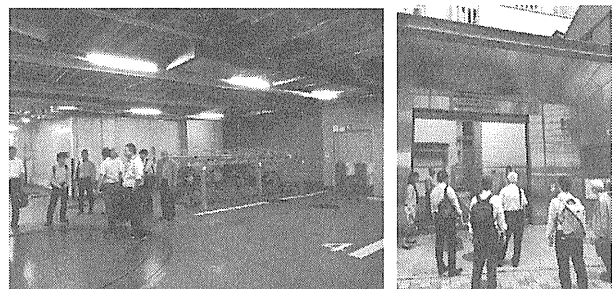


図3. 用途転用に向けた視察調査

ビルに対して、附置義務低減申請により得られる助成金と建築ストックの効率利用が更新意欲の一つとなっており、西口では、今後更新が進むことをみこした地域全体での駐車場コントロールが、各建物の負担軽減として期待されている。こうした中、防災まちづくりとして、東口ではストック更新による潜在的な防災力向上と施設整備が期待され、西口においては適宜審査による空間の用途転用による防災施設整備が想定されている。

本年度の議論から、防災まちづくりへの転用を進めるための課題点として、以下があげられる。

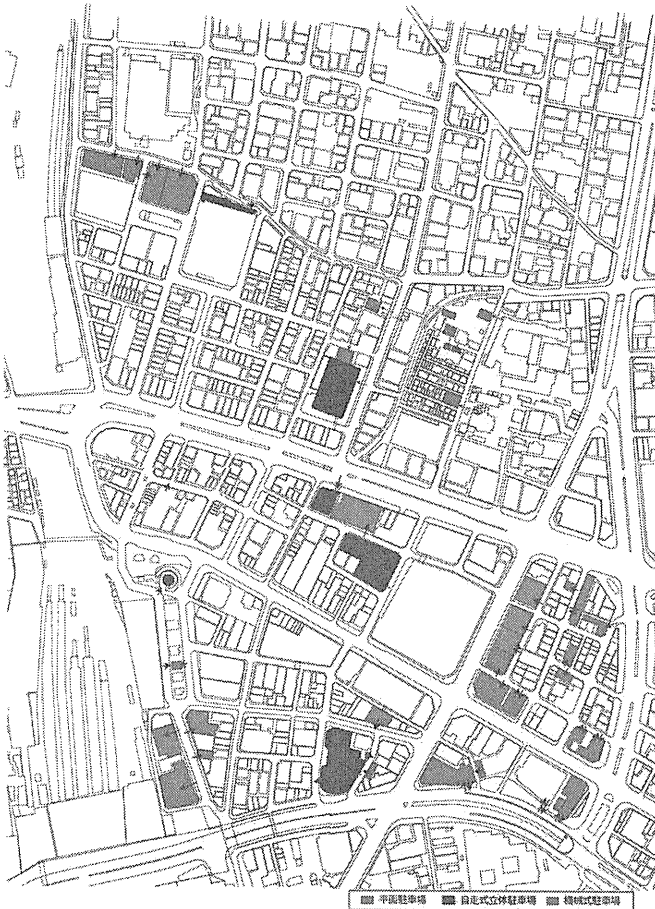


図 4. 新宿駅東口地区の余剰空間の分布特性

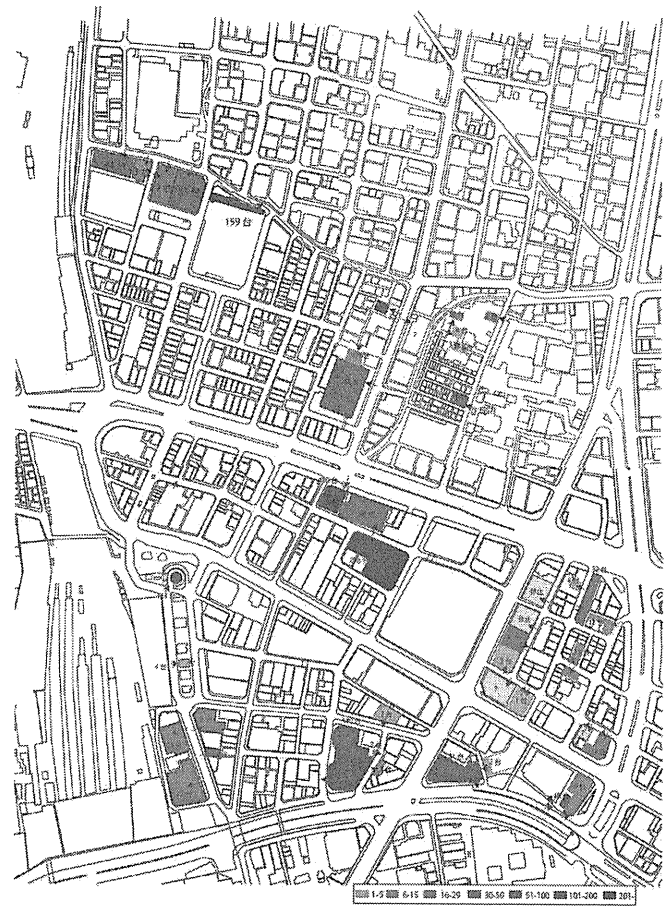


図 5. 新宿駅東口地区の余剰空間の面積特性

- ① 都市計画駐車場など集約施設の明確化
- ② 既存建物の適及審査や隔地先変更等審査基準の設定
- ③ 原単位基準の審査にとどまらず、個別台数審査と用途転換方針の事前審査（地域貢献項目の明確化）
- ④ 地域ルール適用区域内における駐車場総数や分布の把握とエリアマネジメント政策等との連動した地域貢献項目の提示

### 3. ターミナル駅周辺住宅地におけるストック活用

新宿駅東口地区を対象に、空間転用が想定される既存駐車場の分布・面積量の調査を行なったところ図 4, 図 5 のようになった。これに、地下街に広がる都市計画駐車場を合わせた台数から東口地区の駐車スペースをコントロールすることになる。

こうした施設箇所の低減分を、防災対策用設備を配置することとなるが、現時点で、新宿駅東口周辺、新宿三丁目街区、歌舞伎町街区と大きく 3 つのエリアに関係スペースが分布している。これに伊勢丹、大塚家具等の大規模なテナントビルや百貨店に転用

可能性がある。一方で、こうした外観調査から確認されていないテナントビルでは隔地対応が求められる。

### 4. おわりに

以上のように、本年度は新宿駅東口地区駐車場地域ルールの運用を基軸に防災まちづくりへの転用可能な空間の把握と、これら用途変更を進める協議のあり方について調査を行なった。

次年度は、本年度確認された防災まちづくり活用可能空間の整備・活用のあり方を検討し、D-zeb など、他テーマ開発技術の設置等の社会実験や防災施設整備を想定したワークショップ等を進める。

### 参考文献

1. 山越啓一郎: 附置義務駐車施設の設置基準における国と自治体の運用に関する考察, 不動産研究, vol. 58, pp. 24-33, 2016. 7
2. 川崎興太: 大都市都心商業地における駐車場附置義務特例制度に関する研究-東京都中央区銀座地区における「銀座ルール」の制度体系と初動的運用実績-, 都市計画論文集, vol. 41, pp. 25-36, 2006. 4



## テーマ2：機能継続・早期復旧を可能とする大地震対策建築モデルの開発

### 2.1 リスク評価手法を用いた制振補強による費用対効果に関する研究

費用対効果、ライフサイクルコスト  
 既存超高層建築、制振補強

中西真子\* 久田嘉章\*\*  
 山下哲郎\*\*\*

#### 1. はじめに

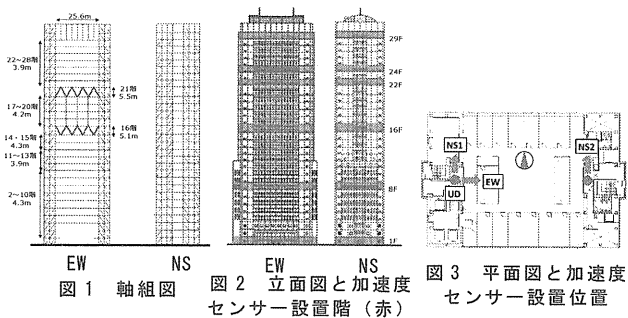
近年、首都圏に代表される都市部の大規模建築では従来の大地震時の安全性能に加えて、事業継続性や帰宅困難者等の対策が急務となっており、L1・L2地震動に対してより高い耐震性能を付加し、更にはL3地震動にも余裕度を検証することが求められている（表1<sup>1)</sup>）ことより、2017年度において、東京・新宿に建つ既存超高層建築である工学院大学新宿校舎（以下、新宿校舎）を対象とし、様々なタイプのL1～L3地震による設計クライテリアを設定し現有の耐震性能とダンパー補強効果の評価を行った。

一方、FEMA等の政府機関と関連学会が連携し、コンセンサスモデルによる確率的なリスク評価手法を用いた性能設計手法とレジリエンスベースデザインの考えを取り入れ、安全性だけでなく経済性・復旧性を見込んだ耐震性能評価法が提案され、優良な建物を積極的に評価・認証する制度が始まっている（例えば2)3)。そこで2018年度においては更に制振による耐震性能向上を経済性によって評価する試みとして、まず2017年度に作成を行った非制振状態の現状モデルと制振補強モデル<sup>4)</sup>を用いて直接費及び間接費による損傷費用の比較を行い、地震リスクの評価を行う<sup>5)6)</sup>。次に地震発生確率を考慮し、供用期間を通じて間接費を含む総支出の少ないようなライフサイクルコストを評価した。

#### 2. 対象建物及び3次元立体フレームモデル概要

##### 2.1 対象建物概要

図1に示す対象建物である新宿校舎は東京・新宿に建つ、1989年に施工された地下6階・地上28階の鉄骨造超高層建築である。図1の軸組図に示すように東西コアはブレースを有し、2つのコアは25.6mの大スパン梁で接続されている。16階と21階は階高が他の階よりも高く5mを超えており、東西方向にブレースによるスーパートラスを配置し、その階では東西方向に高い層剛性を有している。一方、図2、3の立面・平面図に赤で示す位置に強震計（加速度センサー）が設置されており、竣工以来、強震観測を行っている。



##### 2.2 3次元立体フレームモデル概要

既存の立体フレームモデル<sup>8)</sup>及び構造計算書を基に地震応答解析ソフトSNAP Ver.7(構造システム社)を用いて3次元立体フレームモデルを作成した。地

表1 東京都による東京臨海部に建設される超高層建築物等の設計目標の目安<sup>1)7)</sup>

耐震レベル	入力地震動	構造物の特性	想定する地震発生頻度	上部構造			基礎 部材の状態
				部材の状態	最大層間変形角	層の最大塑性率	
中地震(L1)	既往波(25cm/s)	無被害 【機能維持】	数十年に1度発生	短期許容応力度内	1/200以内	—	短期許容応力度内
	告示波(稀)						
大地震(L2)	既往波(50cm/s)	軽微な補修により 事業継続可能 【指定機能維持】	数百年に1度発生	部材の塑性率が4.0以下	1/100以内	2.0以下	脆性的破断を生じない
	告示波(極稀) サイト波						
極大地震(L3)	告示波(極稀)の1.5倍程度	倒壊・崩壊させない 【余裕度の検証】	数千年に1度発生	建物の用途・特性に応じて個々に設定(極大地震動が建物に入力した場合の性状を把握した上で判断)			

\* : 工学院大学大学院建築学専攻大学院生, \*\* : 工学院大学建築学部まちづくり学科教授

\*\*\* : 工学院大学建築学部建築学科教授

下部は SRC/RC 造の非常に高い剛性となっているため、本モデルでは 1 階柱脚を固定端とし、地上部の構造部材のみモデル化する。建物重量は構造図及び構造計算書により算出したが、2011 年東北地方太平洋沖地震（以下、311 地震）の観測記録の固有周期と適合させるため構造計算書による重量を 1 割増した（表 2）。梁は床スラブを考慮した合成梁とし、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合成構造設計指針<sup>9)</sup>の数式より算出した。柱は曲げと軸力による塑性化を考慮している。ブレースは座屈を考慮した柴田・若林の履歴特性<sup>10)</sup>を、柱・梁のパネルゾーンは弾性範囲内のせん断変形をそれぞれ考慮した。また、減衰定数は 311 地震の観測記録から同定した NS1 次 1.9%、3 次 3.0%、EW1 次 1.2%、3 次 3.0% のレーリー型減衰とした<sup>11)</sup>。立体モデルの妥当性は過去最大の応答値を観測した 311 地震の観測記録と応答解析結果の比較により位相・振幅共に一致することを確認した<sup>8)</sup>。

表 2 固有周期と減衰定数

方向	次数	固有周期 (s)		減衰定数
		立体モデル	311 地震観測	
NS	1	3.038	3.080	0.019
	2	0.966	0.950	0.012
	3	0.496	0.470	0.030
EW	1	2.936	2.960	0.012
	2	1.015	0.990	0.012
	3	0.543	0.502	0.030

### 3. 損傷費用算出方法

文献の手法<sup>5)6)</sup>を参考に式(1)から損傷費用期待値  $E[C_D]$  を算出する。ここで式中の  $P[Safe]$ 、 $E[C_D|Safe]$  はそれぞれ、建物が修理可能な場合、 $P[Fail]$ 、 $E[C_D|Fail]$  は修理不可能な場合の確率と損傷費用である。いずれかの層の構造部材の損傷状態が大破に達したら層崩壊として建物全体が修理不可能とし、 $P[Fail]$ 、 $P[Safe]$  は図 4 のように定めるものとする。なおバラツキを考慮し、複数サンプルの  $E[C_D]$  を算出し、それらを平均化して評価する。

$$E[C_D] = P[Safe]E[C_D|Safe] + P[Fail]E[C_D|Fail] \quad \dots(1)$$

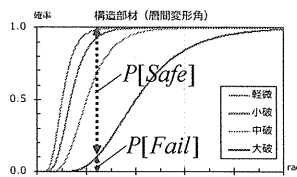


図 4 構造部材の fragility 曲線と修理可能・不可能な確率

### 3.1 修理可能な場合の損傷費用 ( $E[C_D|Safe]$ )

修理可能な損傷費用は直接・間接被害によるものとし、建物の損傷費用 ( $C_{建物}$ ) と収容物の損傷費用 ( $C_{収容物}$ )、建物復旧期間中の収益損失額 ( $C_{収益損失}$ ) の合計で評価するものとする（式 2）。

$$C_D = C_{建物} + C_{収容物} + C_{収益損失} \quad \dots(2)$$

#### 3.1.1 建物の損傷費用 ( $C_{建物}$ )

修理可能な場合の建物の損傷費用は、建物の修理・再調達費用と fragility 曲線、建物の修理・再調達費用、入力地震動（複数サンプル）を設定して応答解析を行う。解析結果の最大応答値を fragility 曲線へ適用させることで得られる各層の「損傷状態確率」と対象建物の「修理・再調達費用」、「損傷状態と修理・再調達費用率<sup>5)</sup>」の 3 つを乗じることで各層の損傷費用が算出される。以上より全層の損傷費用を合計し、損傷費用期待値を得る。損傷状態と修理・再調達費用率との関係は文献 5)12)13)を参考に表 3 の値とした。

表 3 損傷状態と修理・再調達費用率の関係

修理・再調達費用率 <sup>5)</sup>	0%	2%	10%	50%	100%
被害度 <sup>5)12)13)</sup>	無被害	軽微	小破	中破	大破
損傷度 <sup>12)</sup>	—	損傷度 1	損傷度 2	損傷度 3	—

#### 3.1.1.1 対象建物の修理・再調達費用

修理・再調達費用は文献<sup>12)</sup>を参照し、対象建物の新築工事の請負代金書より表 4 のように設定した（地下部分は除外し地上部のみを対象）。「非構造部材（加速度）」は fragility 曲線が最大加速度に依存する部材であり、ここでは天井の代金を各階面積に比例分配する。一方、「非構造部材（変形）」は層間変形角に依存する部材であり、外壁・内壁の代金を各階面積に、「各種設備」は加速度依存として電気設備工事・空調設備工事・給排水衛生工事の代金を各階面積に、「構造部材」は層間変形角依存として地上躯体・鉄骨の代金を各階面積と部材数に応じそれぞれ比例して分布するものとした（表 4）。図 5 に本研究で用いる各費用の構成比と修理・再調達費用を示す。

本研究ではさらに、高層建築に特有な修理・再調達費用の割り増しを考慮する。既存の地震時の修理・再調達費用に関する資料<sup>例えば 5)6)14)15)</sup>で対象とし

ている建物は、住宅や中低層建物で階高は高くても 10 階程度である。タワーマンションなどの超高層建築の大規模修繕工事では、一般に 30 階程度を超えると施工方法が大きく異なり、より高額になる<sup>16)</sup>。例えば、国土交通省が示す修繕積立の見込み金額は 15 階未満のマンションと 20 階以上のマンションとを比較したとき、後者が平均で 16%ほど高額となる<sup>17)</sup>。以上を踏まえ本研究では、得られた修理・再調達費用を 2 割増した金額を用いる。

表 4 修理・再調達費用 代金内訳

	判定の指標	請負代金書項目	各階比例
非構造部材 (加速度)	加速度	天井	面積
非構造部材 (変形)	層間変形角	外壁・内壁	面積
各種設備	加速度	電気・空調・給排衛生設備	面積
構造部材	層間変形角	地上躯体・鉄骨	面積+部材数

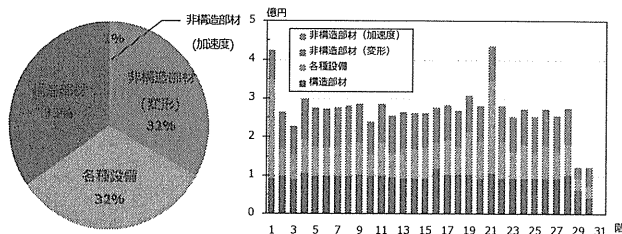


図 5 修理・再調達費用構成比(左)と各階費用(右)

### 3.1.2 収容物の損傷費用 ( $C_{\text{収容物}}$ )

修理可能な場合の収容物の損傷費用 ( $C_{\text{収容物}}$ ) は建物の損傷費用 ( $C_{\text{建物}}$ ) と同様の方法で算出する。修理・再調達費用は建物と収容物とで同額とし、 fragility 曲線は図 6-(c)の各種設備(加速度)を用いる。また、損傷状態と修理・再調達費用率は表 7<sup>6)</sup>とする。

表 7 損傷状態と修理・再調達費用率の関係<sup>6)</sup>

損傷度	無被害	軽微	小破	中破	大破
修理・再調達費用率(%)	0	0.01	0.05	0.25	0.5

### 3.1.3 収益損失額 ( $C_{\text{収益損失}}$ )

修理可能な場合の収益損失額 ( $C_{\text{収益損失}}$ ) は、対象建物がオフィスビルであると仮定し、地震被害で生じる修復期間中の使用不可による賃料の収益損失額を用い、式(3)より算出する。ここで、式中の  $E_0$  は

平常時の一日あたりの収益、 $D_{\text{lost}}$  は建物の損傷による累積喪失日数である。

$$C_{\text{収益損失}} = E_0 \times D_{\text{lost}} \quad \dots(3)$$

収益  $E_0$  は、2019 年 1 月現在の東京・新宿のオフィスビル家賃相場が約 3 万円/坪程度<sup>20)</sup>であり、対象建物の収益面積は約 200 坪/階で 28 階建であることから、平常時の一日あたりの売上高  $E_0 = 0.056$  億円/日とする。一方、累積喪失日数  $D_{\text{lost}}$  は、損傷比率 DF (Damage Factor = 建物の損傷費用 / 建物の再調達費用) から文献 6)21)を参考に作成した図 9 より算出する。なお、図 9 は対象建物の新築施工日数が 2 年であること、解体期間を 2 年<sup>22)</sup>と仮定し DF=100% となる点が 1500 日となるように設定した。

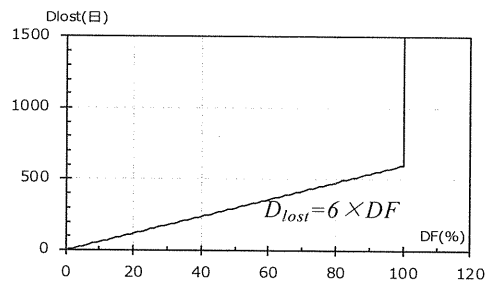


図 9 本研究で用いる損傷費用－累積喪失日数

## 3.2 修理不可能な場合の損傷費用 ( $E[C_D | Fail]$ )

修理不可能な場合、建物と収容物を全て再調達する必要がある。さらに建物修復期間中の収益も損失されるので、損傷費用  $E[C_D | Fail]$  は、建物の再調達費用+収容物の再調達費用+修復期間(1500日)×売上高  $E_0$  (0.056 億円/日) より算出される。

## 4. 応答解析による損傷費用期待値算出

以上の方法により制振ダンパーによる補強無しの場合の現状モデルと、文献 4)で作成した制振補強を行ったモデルを用いて損傷費用期待値の比較を行う。

### 4.1 使用モデル

ダンパー無しモデル(以下、D00)と文献 4)で設定した 44 本・64 本・88 本のダンパーで制振補強を行ったモデル(以下、D44、D64、D88)を用いる。D44 は L2 地震動で層間変形角を 1/100 以内に抑えるモデル、また D64・D88 は余裕度を見込んだモデルであり、それぞれ D44 の 1.5 倍・2 倍のダンパー本数のモデルである。図 10 に軸組図とダンパー設置位置を赤色で示す。

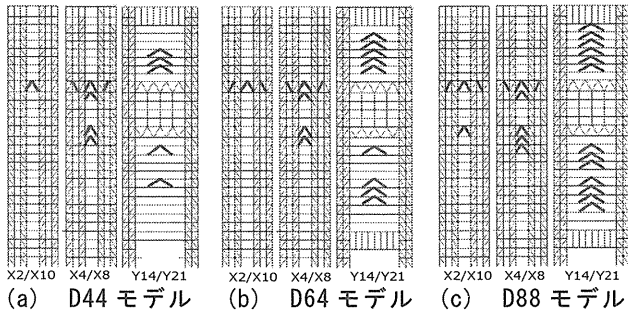


図 10 軸組図 ダンパー設置位置（赤色）

#### 4.2 入力地震動

既往研究<sup>4)</sup>より、本対象建物では告示波と長周期・長時間地震動とでは最大応答値に大きな差は見受けられなかった。従って本研究ではランダム位相を用いて、確率的リスク評価を行うために振幅を変化させた告示スペクトルと、Jennings 型の包絡関数に適合する模擬地震動<sup>23)</sup>を用いた。地震動レベルは従来の L1（希に発生する地震）と L1 の 5 倍の数値とした L2（極めて希に発生する地震）に加え、東京都が示す構造設計指針<sup>17)</sup>を参考に L2 の 1.5 倍である L3 地震動とした。また、ランダム位相と振幅なバラツキを考慮するため、12 種類の乱数を用い、文献<sup>例</sup>え<sup>ば</sup><sup>24)</sup>を参考に対数正規分布（標準偏差  $\sigma = 0.4$ ）で振幅にバラツキを与えた 50 波を用いて検証を行った。図 11 に L2 地震動の加速度応答スペクトル ( $h=0.05$ ) の分布図と、加速度波形の中央値を示す。

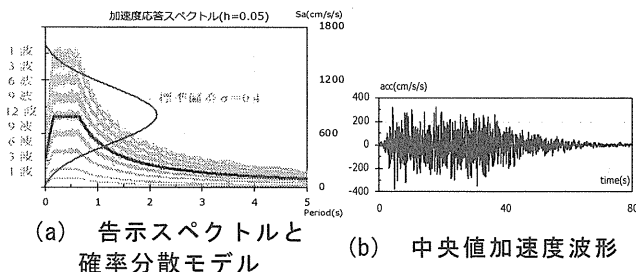


図 11 入力地震動 (L2)

#### 4.3 応答解析結果

以上のモデルと入力地震動を用いて応答解析を行った。結果の一例として、図 12 に L2 地震動の各モデルの最大層間変形角を示す。ダンパー本数増大に伴い、最大応答値が減少しており、特に D00 と D44 の間で最も顕著に表れている。この傾向は L1・L3 地震動も同様であった。また、図 13 に最大層間変形角が最大となる 21 階の 50 波解析結果 (D00・D44) とフラジリティ曲線（構造部材）との対応を示す。

ダンパーを設置することで大破確率が小さくなり、損傷度レベルが小さくなっていることが良く分かる。

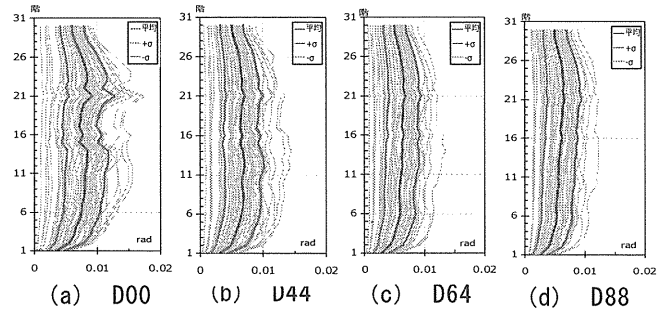


図 12 L2 地震動 最大層間変形角と平均値・ $\pm\sigma$

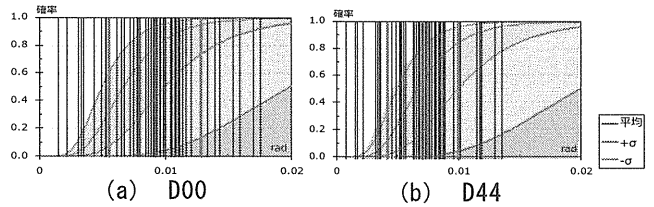


図 13 21 階最大層間変形角とフラジリティ曲線（構造部材）の対応

#### 4.4 損傷費用期待値の算出結果

損傷費用期待値の算出結果を図 14、表 8 に示す。どの地震動レベルにおいても制振補強を行うことで損傷費用期待値が低減している。L1 地震動が最も顕著に表れており、価格は小さいがどのモデルにおいても D00 から 7~8 割減少している。一方、L2 地震動では 4~6 割、L3 地震動では 2~4 割減少しており、地震動レベルが大きくなるにつれて低減率は小さくなっている。これは、地震動レベルが大きくなると修理不可能な確率が大きくなり、修理不可能な損傷費用が増大するためであると思われる。また、制振化費用をダンパー一本あたり 1,000 万円と仮定すると、制振化費用を見込んだ場合でもコスト面で補強のメリットがあることが分かった。D00 から D44 は費用が大きく低減したが、D64・D88 は D44 と比較して大きな低減差は見受けられない。よって、今後ダンパー本数を設定する際には、安全性の余裕度とコストのバランスを考えて検討する必要がある。

図 15 に修理可能な場合の各損傷費用の内訳を示す。L1 地震動では各種設備や収容物の占める割合が大きい。これは L1 地震動では構造部材（変形）が大破にまで至らないが、L2、L3 地震動になると層間変形角が大きくなり、構造部材（変形）の損傷度レベルが大きくなった影響で層間変形角依存の損傷

費用が高くなったと思われる。また、どのモデルにおいても構造部材のみならず、各種設備や収容物の損傷費用も大きな割合を占めていることが分かる。

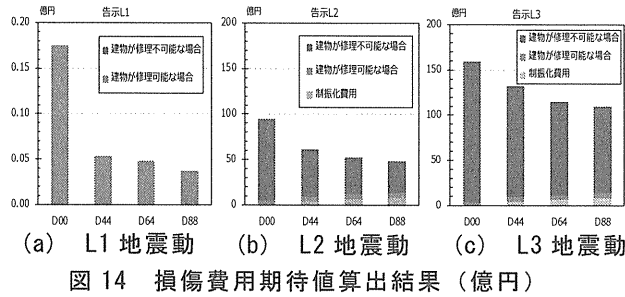


図 14 損傷費用期待値算出結果（億円）

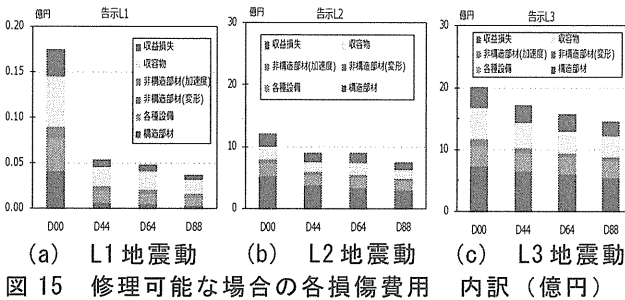


図 15 修理可能な場合の各損傷費用内訳（億円）

### 5. ライフサイクルコスト評価

次に、式(4)<sup>6)</sup>を用い建物の供用期間を通じた損傷費用の累積値を考慮し、ライフサイクルコスト（以下、LCC）の観点から制振補強の費用対効果を検討する。すなわち、既に得られた損傷費用期待値と地震発生確率から建物の供用期間 ( $t_{life}$ ) と期待 LCC ( $E[C_L]$ ) 関係を算出する<sup>6)</sup>。ここで式(4)中の  $E[a]$  は確率変数  $a$  の期待値、 $C_1$  は制振化費用、 $C_D(L_j)$  は地震動レベル  $L_j$  の地震に対する損傷費用、 $v(L_j)$  は地震動レベル  $L_j$  の地震の年超過確率であり、表 9 に示しており、図 16<sup>26)</sup> 等を参考に次のように設定する。L1~L3 地震の発生確率を一般的な数十年、数百年、数千年に一度程度の地震と仮定したポアソンモデルを用いる。表 7 に示す

ように、その超過確率は設計用地震動の世界標準とされる約 475 年に 1 度（50 年超過確率が 10%）を L2 地震動とし<sup>25)</sup>、L1 地震動は約 72.6 年に 1 度（50 年超過確率が 50%）とする<sup>26)</sup>。一方、L3 地震動は、L2 地震動の約 1/5 の確率である約 2475 年に 1 度（50 年超過確率が 2%）とする。この値は、米国の基準地震動（ASCE7）における、最大級地震（MCE、Maximum Considered Earthquake）に相当する。

$$E[C_L] = C_1 + t_{life} \times \sum_{all\ sources} \sum_{j=1}^K v(L_j) \cdot E[C_D(L_j)] \quad \dots(4)$$

表 9 地震動レベル別 年超過確率

地震動レベル	年超過確率
L1	0.0138 (72.6 年)
L2	0.002 (475 年)
L3	0.000404 (2475 年)

表 9 の年超過確率を用い、供用期間－期待 LCC 関係を算出した。図 16 に L1~L3 地震動の結果を全て合わせた総合評価を示す。総合評価では、約 50 年間の間ではダンパー補強によるメリットは見受けられないが、50 年~65 年間、建物を使い続けると 44 本の補強でメリットが見受けられる結果となった。さらに、65 年以上使い続けると 64 本の補強でメリットが見受けられる。また、供用期間 100 年以内で 88 本の補強でのメリットは見受けられなかった。

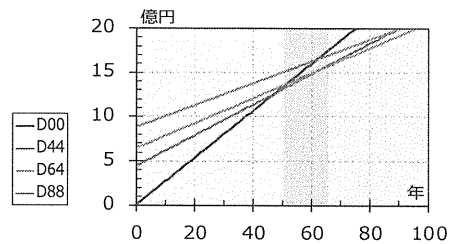


図 16 L1~L3 地震動の総合評価

表 8 損傷費用期待値算出結果

地震動レベル	L1 地震動				L2 地震動				L3 地震動			
	モデル名	D00	D44	D64	D88	D00	D44	D64	D88	D00	D44	D64
制振化費用（億円）	0	4.4	6.4	8.8	0	4.4	6.4	8.8	0	4.4	6.4	8.8
修理可能な確率：P[Safe]	1	1	1	1	0.64	0.79	0.84	0.86	0.37	0.50	0.58	0.63
建物の損傷費用： $C_{建物}$ （億円）	0.090	0.024	0.021	0.016	7.86	5.96	5.44	4.85	11.7	10.2	9.41	8.81
収容物の損傷費用： $C_{収容物}$ （億円）	0.055	0.021	0.019	0.015	2.16	1.61	2.01	1.40	5.11	4.16	3.58	3.34
収益損失額： $C_{収益損失}$ （億円）	0.030	0.009	0.008	0.007	2.07	1.56	1.54	1.29	3.46	2.95	2.68	2.51
損傷費用： $C_D$ （億円）	0.175	0.054	0.048	0.038	12.1	9.13	8.99	7.54	20.2	17.3	15.7	14.7
$P[Safe]E[C_D Safe]$ （億円）	0.175	0.054	0.048	0.038	5.36	5.40	6.25	5.17	3.85	4.81	5.42	5.74
$P[Fail]E[C_D Fail]$ （億円）	0	0	0	0	89.8	52.4	40.2	34.3	155.8	123.1	103.0	95.0
損傷費用期待値： $E[C_D]$ （億円）	0.175	0.054	0.048	0.038	95.1	57.8	46.5	39.5	159.6	127.9	108.2	100.7
D00 からの低減率	—	69%	72%	78%	—	39%	51%	58%	—	20%	32%	37%

## 6. まとめ

東京・新宿に建つ既存超高層建築を対象とし、非制振状態の現状モデルと制振補強モデルを用いて損傷費用期待値を算出し、補強による低減効果の評価した。その結果、最大応答値・損傷費用ともにダンパー本数増大に伴い、低減することを確認した。損傷費用別では構造部材の他、設備類や収容物等も大きな割合を占めており、設備類の固定化や非構造部材の耐震対策も伏せて実施することが効果的であると考えられる。次に、得た損傷費用を用いて地震発生確率を考慮したLCC評価を行った。今後、ダンパー補強を検討する際には、安全性の余裕度とコストのバランスを考えたダンパー本数の設定が必要である。

### 参考文献

- 1) 東京都財政局：東京都臨海部に建設される超高層建築物等の設計目標の目安、構造設計指針、2018.
- 2) Febral Emergency Management Agency：HAZUS99 technical manual、1999.
- 3) U.S.Resiliency Council：Implementation Manual USRC Building Rating System for Earthquake Hazards、2017.
- 4) 中西真子、久田嘉章、山下哲郎、笠井和彦：長周期・長時間地震動や活断層近傍の強震動など極大地震動を考慮した都心に建つ既存超高層建築の制振補強に関する研究、日本地震工学会論文集、第18巻第2号、2018.
- 5) 高橋雄司他：地震危険度の高い地域の建物を対象とした地震リスクマネジメント、日本建築学会構造系論文集第591号 pp.25-33、2005.
- 6) 高橋雄司：簡易シミュレーションによる建築物の地震リスク分析、日本建築学会構造工学論文集 Vol.50B、2004.
- 7) 加藤研一他：東京臨海部を対象とした想定地震に基づく設計用地震動評価例：日本建築学会技術報告集 第23巻第53号 pp.53-58、2017.
- 8) 笠井和彦他：長周期地震動等を考慮した既存超高層建築の耐震性能とダンパー補強効果の評価 その1～その5、2016年度日本建築学会大会（九州）（学術講演梗概集 B-2 pp.85-97）、2016.
- 9) 日本建築学会：各種合成構造設計指針・同解説、2010.
- 10) 柴田道生、中村武、若林實：鉄骨筋違の履歴特性の定式化 その1 定式化関数の誘導、日本建築学会論文集 第316号 pp.18-24、1982.
- 11) 笠井和彦他：首都圏で想定される多様な地震動に対する超高層建物の制振補強の検討 その1～その3 2014年度日本建築学会（近畿）（学術講演梗概集 B-2 pp.887-892）、2014.
- 12) 日本建築学会：長周期地震動と超高層建築の対応策— 専門家として知っておきたいこと—、2003.
- 13) 北村春幸他：性能設計における性能判断基準値に関する研究 時刻歴応答解析に基づくJSCA耐震性能メニューの検証、日本建築学会構造系論文集 第576号、pp.47-57、2004.
- 14) 諏訪仁、神田順：兵庫県南部地震の被害データを用いた建物補修期間の統計的検討、構造工学論文集 Vol.53B、2007.
- 15) 奈良岡浩二他：供用期間を考慮した費用対効果に基づく耐震改修優先度評価、日本建築学会大会学術講演梗概集（近畿）pp.527-528、2005.
- 16) SUUMOジャーナル：タワーマンションの大規模修繕、<http://news.livedoor.com/article/detail/10285733/>
- 17) 国土交通省：マンションの修繕積立金に関するガイドライン 2011.
- 18) 小泉秀斗、久田嘉章、山下哲郎、坂本有奈利：振動台を用いたシングルライン天井の天井版落下実験～その2：天井落下と加速度の関係、日本建築学会大会学術講演梗概集（北海道）構造I、pp.1001-1002、2013.
- 19) 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.
- 20) 仲介手数料無料の賃貸オフィス探し「office」：新宿区の賃料相場、<https://office.jp/price/tokyo/area/shinjuku-ku/>
- 21) Yuji takahashi, Armen Der Kiureghian and Alfredo H-S. Ang: Life-cycle cost analysis based on a renewal model of earthquake occurrences, EARTHQUAKE ENGINEERING AND STRUCTURAL DYNAMICS pp.859-880、2004.
- 22) リフォーム：ビルの解体にはどんな方法があるの？、<https://reform-market.com/house-dismantling/contents/building-demolition>
- 23) 工学院大学 久田研究室：公開プログラムデータ、<http://kouzou.cc.kogakuin.ac.jp>
- 24) 翠川三郎、大竹雄：地震動強さの距離減衰式にみられるバラツキに関する基礎的分析、日本地震工学会、第3巻第1号、2003
- 25) 石山祐二：建築構造を知るための基礎知識 耐震規定と構造動力学、2009.
- 26) SEAOC：Vision 2000—Performance based seismic engineering of buildings、Vision 2000 Committee、Final Report、1995.

## テーマ 2：機能継続・早期復旧を可能とする大地震対策建築モデルの開発

### 2.2 既存超高層建築の地震時損傷評価

既存超高層建築、制振補強  
 地震時損傷評価、H 形鋼大梁、H 形鋼ブレース

中西真子\* 井口佳織\*\*  
 山下哲郎\*\*\* 久田嘉章\*\*\*\*

#### 1. はじめに

2017 年度では、オイルダンパーによる制振補強を行うことが検討されている工学院大学新宿校舎（以下、新宿校舎）を対象として、最新の観測記録も含めた様々な性質と強さの地震動を 3 次元骨組解析モデルに入力し応答を調べ、かつダンパー補強の効果を観察した<sup>1)</sup>。さらにその解析結果を用いて構造体だけでなく部材に着目し、梁端部とブレース部分の有限要素解析を実施し、低サイクル疲労による破断リスクを試算した。

そこで 2018 年度は 2017 年度を踏まえ、新宿校舎を例に、部材の耐震性をより詳細に評価・分析する。具体的には

#### ① 制振ダンパーが接合される大スパン H 形鋼大梁の有限要素解析

ダンパーを設置し強震動を受けた際、H 形鋼大梁がダンパーの軸力に耐えられるかどうか未だ検討されていない。よって、大梁の挙動・変形の確認を行い、解析により検討を行った。

#### ② H 形鋼ブレースの地震時損傷評価

2017 年度に引続き、新宿校舎を対象に H 形鋼ブレースの破断リスクの評価を行う。さらに、地震後のブレース損傷度について分析を行い、損傷度の指標の作成を行った。

## 2. 研究成果概要

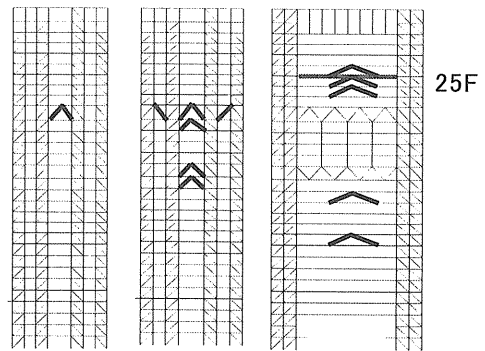
### 2.1 制振ダンパーが接合される大スパン H 形鋼大梁の有限要素解析

#### 2.1.1 概要

有限要素解析ソフト MarcMentat2017<sup>2)</sup>を用いて解析を行い、ダンパーを設置し強震動を受けた際の大梁の挙動・変形の確認を行う。

#### 2.1.3 解析対象及び解析モデル

Y14 通り 25 階の大梁を解析対象とする。大梁位置を図 1 に示す。大梁はシェル要素、小梁・座屈止めは梁要素でモデル化する。表 1 に大梁部材概要を、表 2 に機械的性質を示す。また、図 2 に大梁の詳細を、図 3 に詳細解析モデル・境界条件を示す。降伏後の二次勾配はヤング係数 E の E/100 とする。



X2/X10 通り X4/X8 通り Y14/Y21 通り  
 図 1 対象大梁・ダンパー設置予定位置<sup>1)</sup>

表 1 部材概要

部材	全体		断面(mm)		厚さ(mm)	
	長さ(mm)	幅	せい	ウェブ	フランジ	
大梁(H形鋼)	25100	350	1000	19	25	
小梁(H形鋼)	3112	175	350	7	11	
座屈止め(山形鋼)	1006	75	75	6		

表 2 機械的性質

部材	鋼材種類	ヤング係数 (N/mm <sup>2</sup> )	降伏強度 (N/mm <sup>2</sup> )	ポアソン比
大梁(H形鋼)	SM490A	2.05×10 <sup>5</sup>	330	0.3
小梁(H形鋼)	SS400		235	

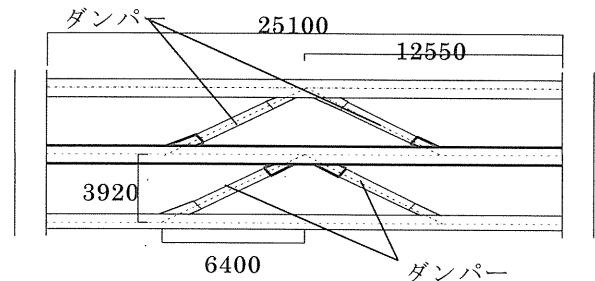


図 2 大梁詳細

\* : 工学院大学大学院建築学専攻大学院生, \*\* : 工学院大学建築学部建築学科学部生  
 \*\*\* : 工学院大学建築学部建築学科教授 \*\*\*\* : 工学院大学建築学部まちづくり学科教授

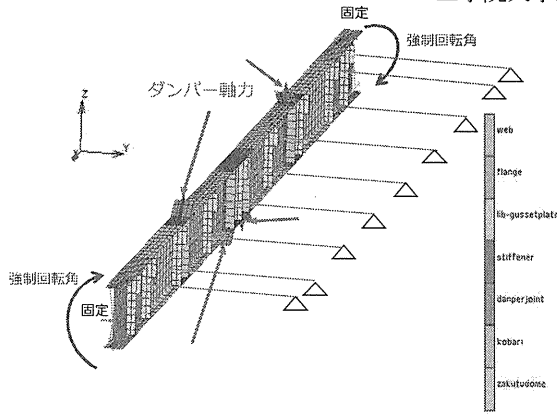


図 3 解析モデルと境界条件

### 2.1.2 ダンパー軸力による影響

大梁がダンパー軸力に耐えることができるかどうか文献 3)より、式(1)、(2)を用いて上フランジに接合するダンパー近傍(ダンパー接合部より 30mm)の左右 L 点・R 点における圧縮力と曲げモーメントに対する許容応力度検定比を算定し確認する。検定比が 1 を超えていれば、塑性化する。検定比を求める際に、式(3)～(6)で許容圧縮応力度、許容引張応力度、許容曲げ応力度を算定する。

$$\frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{c_b^\sigma}{f_b} \leq 1 \quad (1)$$

$$\frac{t_b^\sigma - \sigma_c}{f_t} \leq 1 \quad (2)$$

$$f_t = \frac{F}{1.5} \quad (3)$$

$$f_c = \frac{\left\{ 1 - 0.4 \left( \frac{\lambda}{\lambda} \right)^2 \right\} F}{\nu} \quad (4)$$

$$f_b = \frac{F}{\nu} \quad (5)$$

$$\nu = \frac{3}{2} + \frac{2}{3} \left( \frac{\lambda_b}{e \lambda_b} \right)^2 \quad (6)$$

F: 基準強度  
 $f_c$ : 許容圧縮応力度  
 $\lambda$ : 圧縮材の細長比  
 $\Lambda$ : 限界細長比  
 $f_b$ : 許容曲げ応力度  
 $f_t$ : 許容引張応力度  
 $\sigma_c$ : 平均圧縮応力度  
 $c_b^\sigma$ : 圧縮側曲げ応力度  
 $t_b^\sigma$ : 引張側曲げ応力度  
 $e \lambda_b$ : 弾性限界細長比  
 $\lambda_b$ : 曲げ材の細長比

### 2.1.4 地震動による時刻歴強制回転解析

既往研究 1)のダンパー付き 3次元立体フレームモデル地震応答解析結果である 25 階大梁の両端回転角及びダンパー軸力を解析モデルに強制回転角、集中荷重として入力し解析を行う。また、大梁自重や積載荷重などを分布荷重として 19.65kN/m を H 形鋼上フランジに与える。表 3 に分布荷重詳細、図 4 にダンパー軸力及び大梁回転角入力位置を示す。入力波形として、図 5 に各地震波の回転角を、図 6 にダンパー軸力を示す。

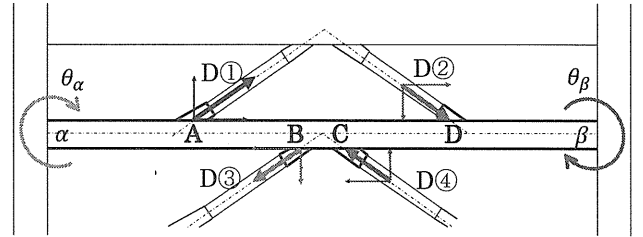


図 4 回転角・ダンパー軸力入力位置

表 3 分布荷重詳細

荷重	D.L-G (梁自重)	LL (常時荷重用 積載荷重)	D.L (床荷重)	FULL (壁荷重)	金属 (壁荷重)	小梁	合計
分布荷重(kN/m)	2.74	2.03	4.4	8.27	1.92	0.29	19.65

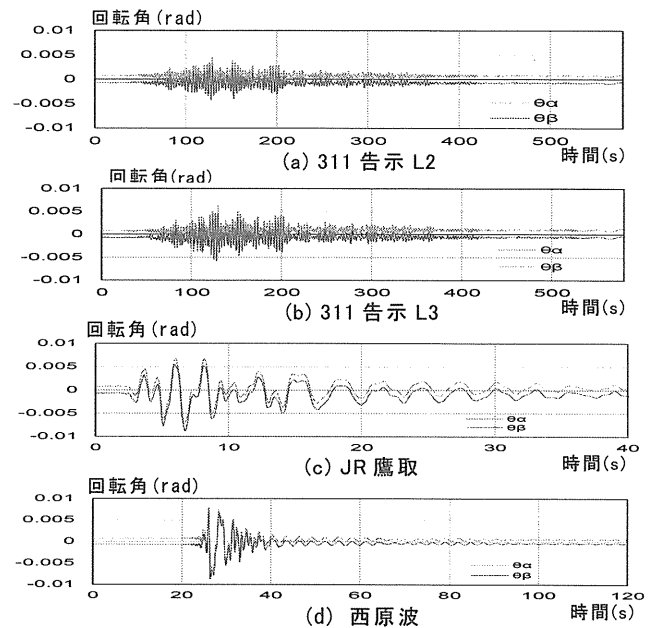


図 5 入力波形 回転角

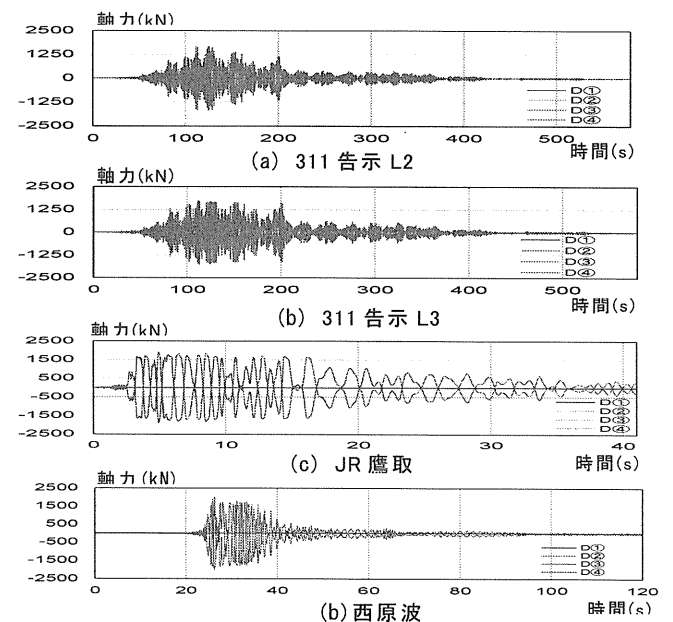


図 6 入力波形 軸力



解析結果として、表 4 に L・R 点の曲げと圧縮力に対する許容応力度検定比を算定したものを、図 7 に JR 鷹取塑性ひずみ変形図を、図 8 に各地震波における両端の支点反力(曲げモーメント)、図 9 に A 点の鉛直方向相対変位を示す。表 4 より、ダンパー接合部近傍の許容応力度検定比を確認し、全地震動で応力度が弾性域にとどまることを確認した。また、全地震動で大梁両端は塑性化するが、横座屈・局部座屈などの致命的損傷は生じないことがわかった。

表 4 各地震波の許容応力度検定比

地震動	西原波		JR鷹取		311告示L2		311告示L3	
	L	R	L	R	L	R	L	R
(1)圧縮側	0.758	0.788	0.768	0.786	0.521	0.534	0.768	0.786
(2)引張側	0.674	0.725	0.704	0.687	0.472	0.48	0.704	0.687

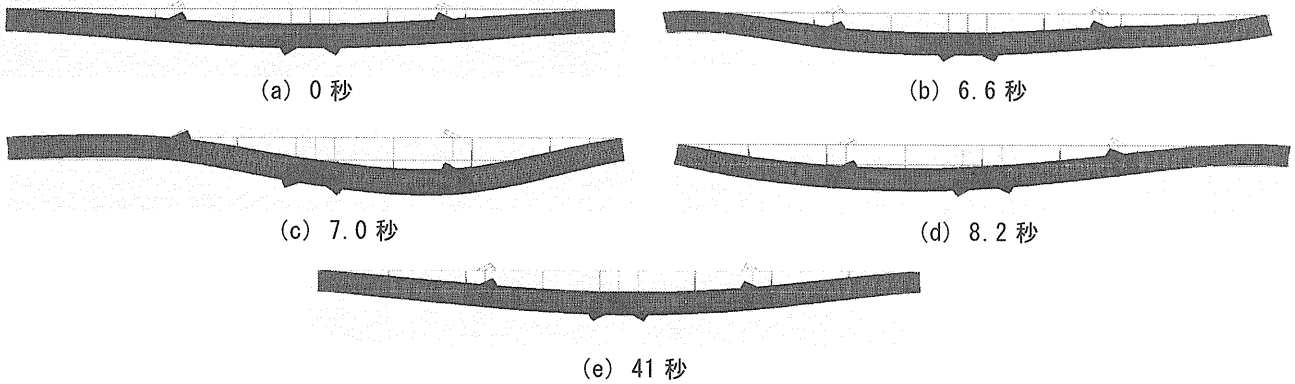
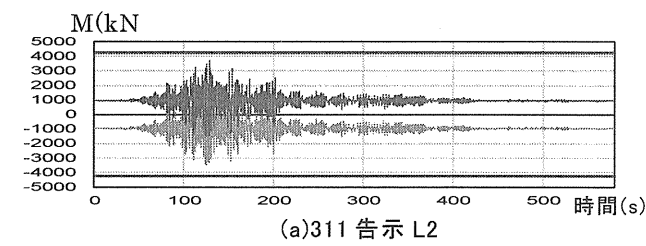
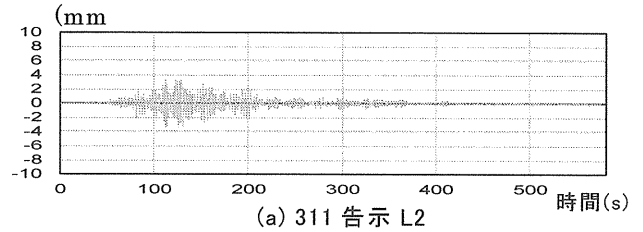


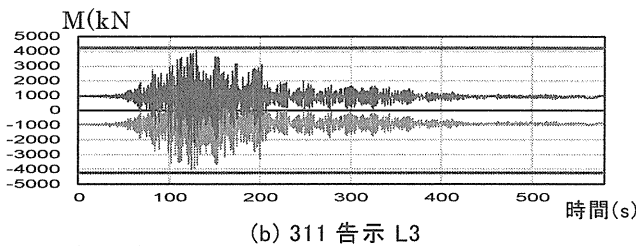
図 7 JR 鷹取 塑性ひずみ変形図



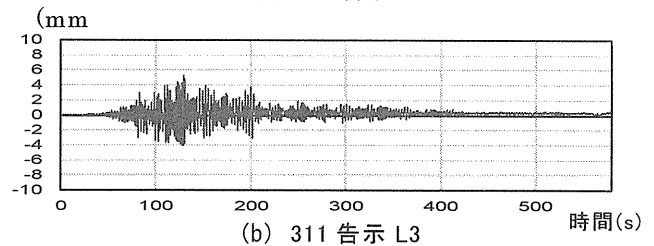
(a)311 告示 L2



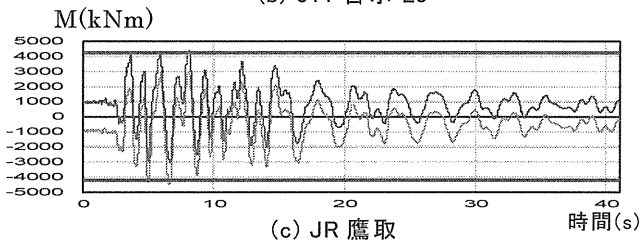
(a) 311 告示 L2



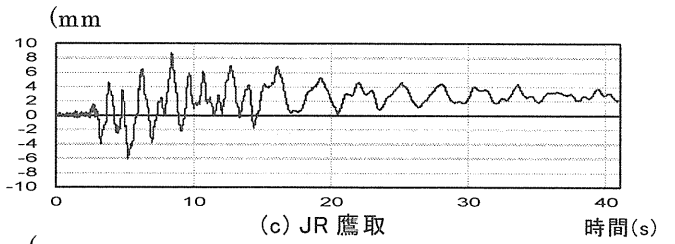
(b) 311 告示 L3



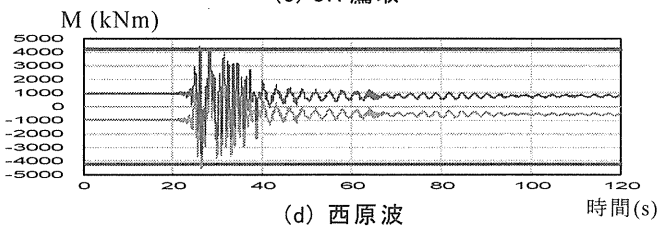
(b) 311 告示 L3



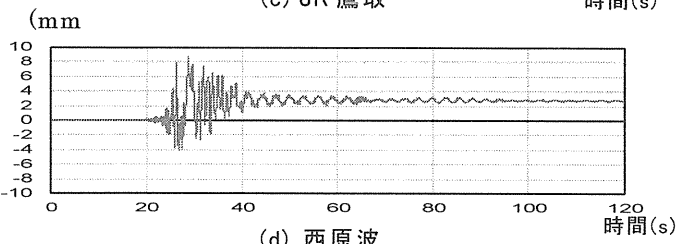
(c) JR 鷹取



(c) JR 鷹取



(d) 西原波



(d) 西原波

図 8 解析結果 両端曲げモーメント

図 9 解析結果 A 点鉛直方向相対変位

## 2.2 H 形鋼ブレースの地震時損傷評価

### 2.2.1 概要

ここでは繰返し変形を受ける新宿校舎の H 形鋼ブレースの座屈挙動を、昨年度に引続き有限要素解析ソフト MarcMentat2017<sup>2)</sup> を用いて解析し、ひずみが集中する局部座屈部の破断に関する評価を行った。更に今年度は、地震後にブレースの継続使用が可能ななどの判断材料として、地震後のブレースの残留変形量を計測することで、剛性低下率を推定する提案を行う。

### 2.2.2 解析対象及び解析モデル

Y14 通り X3-X4 間 12 階（以下、12F）、X2 通り Y14-Y15 間 13 階（以下、13F）、X2 通り Y14-Y15 間 21 階（以下、21F）の 3 つの H 形鋼を解析対象とする（図 10）。

シェル要素でブレースをモデル化する。局部座屈が生じる中央部の要素分割を細かくし（板厚の 2~3 倍かつ正方形に近い形）、全長の 1/1000 の初期不整を与える。補剛材は座屈しないと考え、トラス要素でモデル化する。ボルト接合部は添板と H 形鋼の間に剛体リンクをかけ、ボルト貫通部分を一体化する。H 形鋼ブレースの部材諸元と機械的性質等を表 5、6 に示す。降伏後の二次勾配はヤング係数 E/100 とする。解析モデル・境界条件を図 12 に示す。

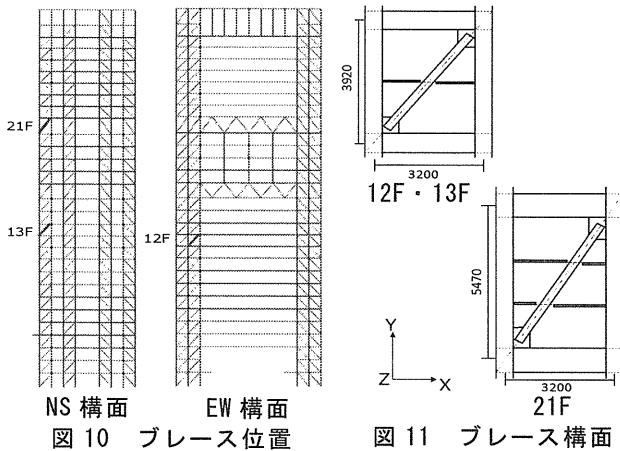


図 10 ブレース位置

図 11 ブレース構面

表 5 ブレース断面

試験体名	全体(mm)		断面(mm)		厚さ(mm)		細長比	
	幅	高さ	幅: B	せい: H	ウェブ: tw	フランジ: tf	強軸	弱軸
12F	2725	3320	250	250	16	19	20.9	26.8
13F	2694	3320	250	250	9	14	19.8	26.8
21F	2706	4870	250	250	9	14	24.9	29.7

表 6 鋼材強度など

試験体名	鋼材種類	ヤング係数 (N/mm <sup>2</sup> )	降伏強度 (N/mm <sup>2</sup> )	ポアソン比	ボルト鋼種	ねじの呼び	2面単張(kN)	ボルト本数		ボルト耐力 (kN)
								ウェブ	フランジ	
12F								6	8	8294
13F	SS400	2.05×10 <sup>5</sup>	235	0.3	F10T	M20	377	4	6	6032
21F								4	6	6032

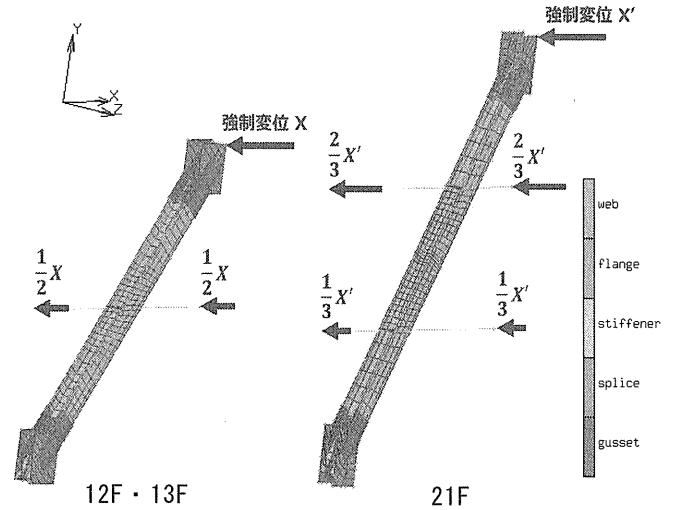


図 12 有限要素モデル

### 2.2.3 地震動によるブレース構面の強制変位解析

3次元モデル (D00) による対象ブレース変位時刻歴を、解析モデル頂部接点に図 13 に示す水平方向強制変位として入力し解析を行う。座屈状況（西原）を図 14 に、ブレースの剛性低下率を図 15 に示す。

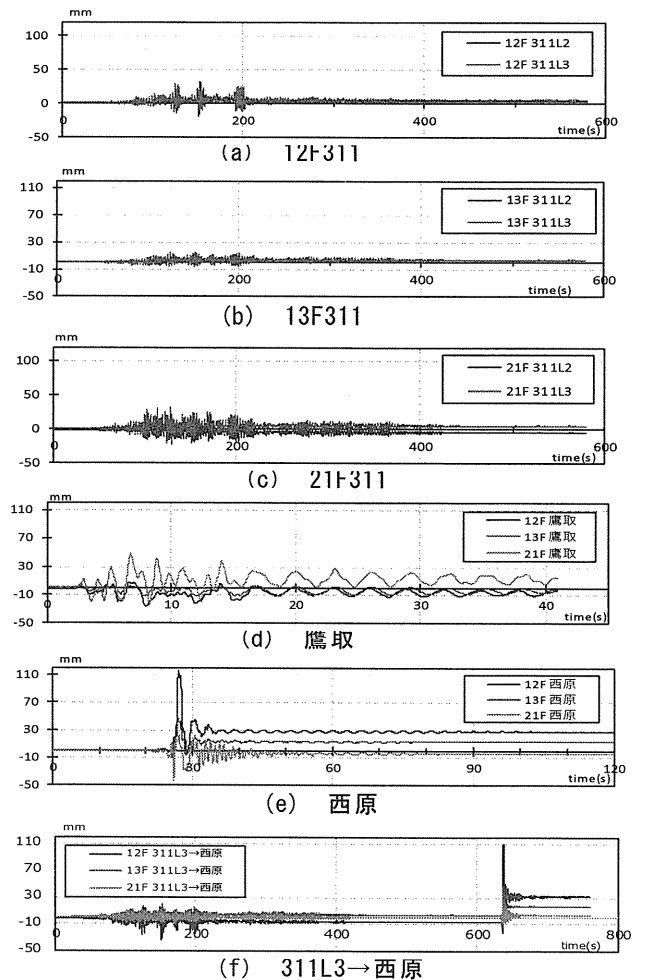


図 13 ブレース変位時刻歴

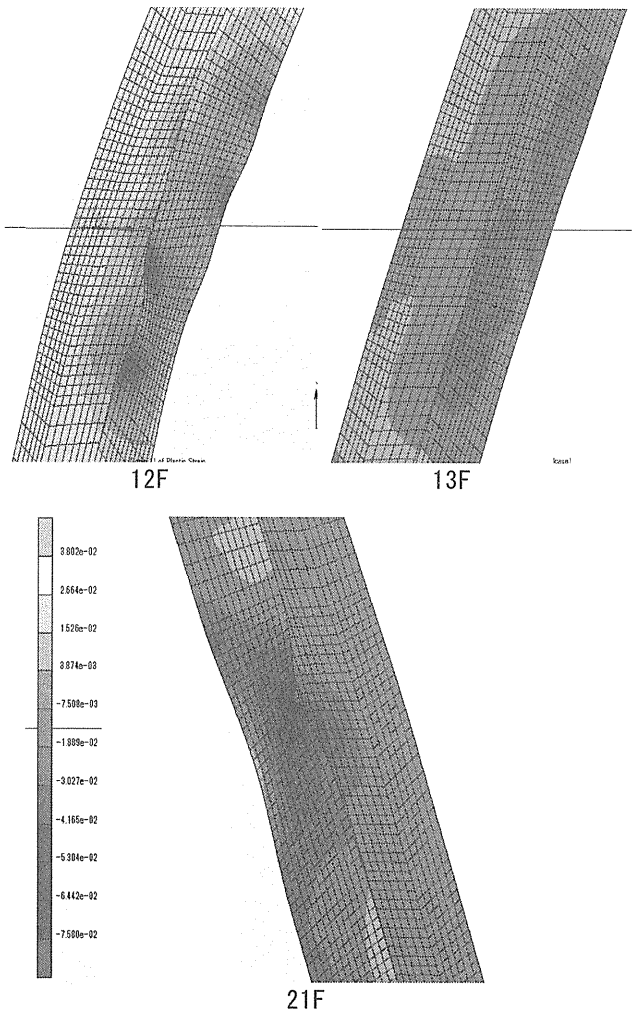


図14 西原 ブレース座屈状況（倍率1倍）

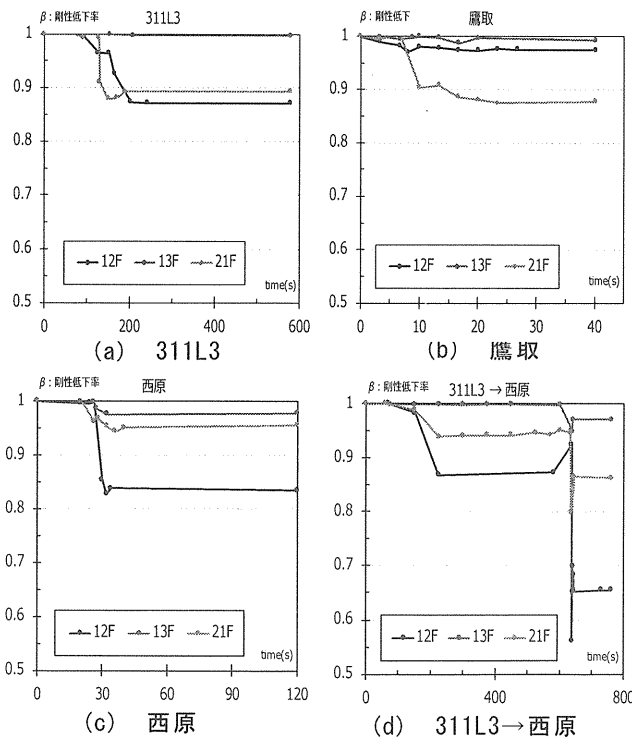


図15 剛性低下率

### 2.2.4 破断リスク評価手法

破断リスクの評価には文献4)5) で用いられている Manson-coffin 式を用いる。有限要素解析により局部座屈部に生じる材軸方向の最大塑性歪を抽出し、累積塑性歪  $\sum \Delta \varepsilon_{hp}$  と平均塑性歪振幅  $\overline{\Delta \varepsilon_{hp}}$  をグラフ上にプロットしたものと式(7)の Manson-coffin 式と比較し、式(7)の直線を超えたら破断が生じると考える。

$$\sum \Delta \varepsilon_{hp} = 3857 \times (\overline{\Delta \varepsilon_{hp}})^{-1.13} \quad (7)$$

ここで、塑性歪振幅  $\sum \Delta \varepsilon_{hp}$  はレインフロー法<sup>6)</sup>を用いて図16のように定め、両振幅を1として平均塑性歪振幅  $\overline{\Delta \varepsilon_{hp}}$  を算出する。破断評価の結果を図17に示す。

最大変位が大きい地震波（西原）の方が継続時間の長い地震波（311L3）よりも破断線に近い結果となり、破断が生じる原因は、ブレースに入力される変位量の方が蓄積される累積損傷よりも影響が大きいことが分かる。また、今回解析を行った地震波においては破断の可能性は低いことが分かった。

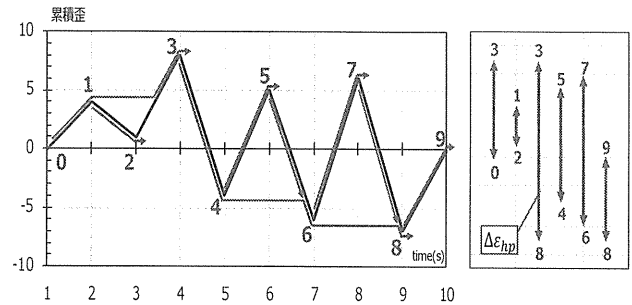


図16 塑性歪振幅の定め方

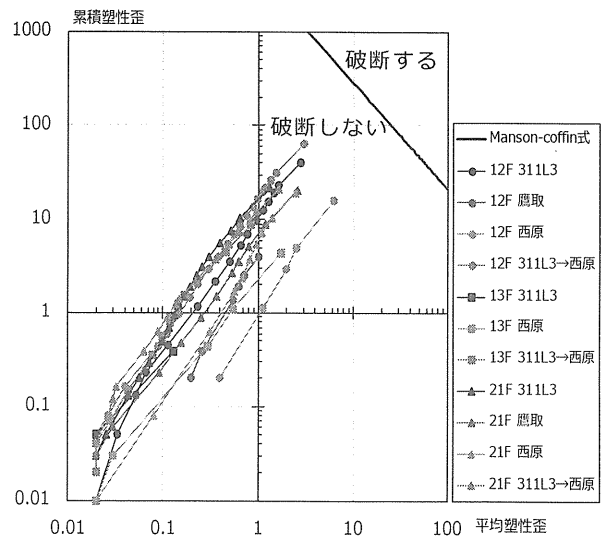


図17 破断評価の結果 (D00)

### 2.2.5 地震後の変形量による剛性低下率推定

ブレース破断の危険性は少ないことが判明したが、地震によってブレースがどれほどの損傷を受けたのか、ブレース断面性能や長さに依存せずに推定することが可能であれば、地震後にブレースの継続使用が可能かどうかなどの判断材料になる。ここでは、式(8)を用いてブレースの長さ  $L$  と断面二次半径  $i$ 、さらに地震後に計測可能であるブレース面外変位量  $(Dis(z))$  より、ブレースの剛性低下率  $(\beta)$  を推定する。ここで、 $L$  はガセットプレート分を含んだブレース長さとし、 $i$  は強軸の断面二次モーメントであり式 (9) より算出する。

$$\alpha = \frac{Dis(z)}{L} \times \frac{Dis(z)}{i} \quad (8)$$

$$i = \sqrt{\frac{I}{A}} \quad (9)$$

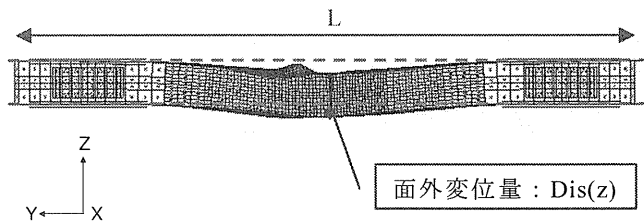


図 18 式 (8) の記号の定義

式(8)から得られる値  $(\alpha)$  と剛性低下率  $(\beta)$  の関係を図 19 に、回帰直線式を式 (10) に示す。良い相関性を示しており、地震後にブレースの面外変位量を計測すれば、式(10)を用いて剛性低下率が推定可能である。

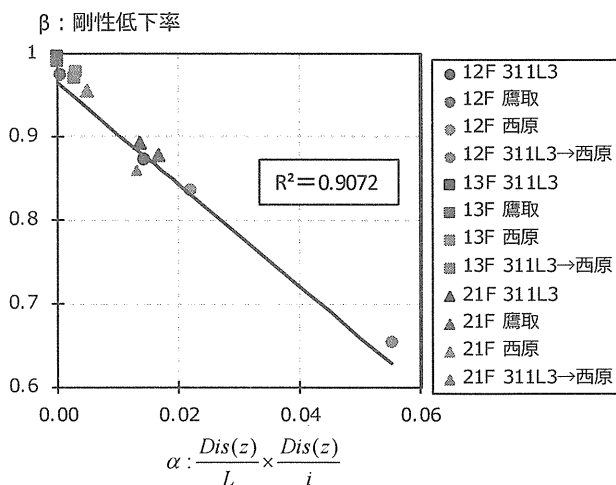


図 19 式 (8) から得る値  $(\alpha)$  と剛性低下率  $(\beta)$  の関係

$$\beta = -6.11\alpha + 0.96 \quad (10)$$

### 3. まとめ

2018 年度においては、梁やブレースといった部材に着目し、有限要素解析を実施した。

#### 1) H 形鋼大梁

今回入力した全波形において、大梁両端は塑性化するが、横座屈・局部座屈などの致命的損傷は生じないことが分かったが、鉛直方向相対変位が最大で 35mm、残留変形が 10mm 程度生じており、カーテンウォール落下等の危険性が考えられる。

2019 年度は境界梁 (NS 構面) の破断の危険性の有無や、RBS 工法 (梁フランジの一部を切り取り、梁母材の曲げ耐力を意図的に小さくすることで梁端溶接部に作用する応力を減らし、塑性化部分を切り取り部に移行するもの) の検討などを行う。

#### 2) H 形鋼ブレース

今回入力した波形において、新宿校舎の H 形鋼ブレースは破断する危険性は低く、また、継続時間の長い地震波に比べ、最大変位が大きい地震波の方が損傷度が大きいことが分かった。

さらに地震後、ブレースの面外変位量を計測することで剛性低下率の推定式を提案した。

2019 年度は剛性が低下したブレースをそのまま使い続けることは可能なのか、また、使い続けた際、次の地震へ与える影響など、詳細な分析を行う。

### 参考文献

- 1) 中西真子、久田嘉章、山下哲郎、笠井和彦：長周期・長時間地震動や活断層近傍の強震動など極大地震動を考慮した都心に建つ既存超高層建築の制振補強に関する研究、日本地震工学会論文集、第 18 巻第 2 号、2018.
- 2) MSC Software: Marc-Mentat 2017.0.0
- 3) 日本建築学会：鋼構造設計規準—許容応力度設計法—、2005.
- 4) 竹内徹、秦康、松井良太：局部座屈を伴う H 形断面ブレースの累積繰返し変形性能、日本建築学会構造系論文集 第 73 巻 第 632 号 pp.1875-1882、2008
- 5) 竹内徹、西牧誠、松井良太、今村晃：種々の繰返し載荷履歴を受けるブレースの累積変形性能、日本建築学会構造系論文集 第 77 巻 第 677 号、pp.1131-1140、2012
- 6) 遠藤達雄ほか：「Rain Flow Method」の提案とその応用、九州工業大学研究報告 (工学) No. 28、1974

## 天井実験用振動台を用いたシステムライン天井の動的実験

ライン天井 天井実験用振動台 照明器具  
ブレース TH クリップ

\*山下哲郎

\*\*石黒翔生 \*\*\*萱沼賢太郎 \*\*\*茂呂浩太郎

### 1. はじめに

テーマ 2「機能継続・早期復旧を可能とする大地震対策建築モデルの開発」では、都心の大空間のオフィスビルとなる高層の鉄骨造建築や、避難所として用いられる体育館について、構造だけでなく天井設備なども含めた総合的な耐震性の向上を目的とする。

2011 年 3 月に発生した東北地方太平洋沖地震により、工学院大学新宿校舎の一部で天井の落下、脱落（写真 1）が発生した。2014 年 4 月に天井脱落対策に関わる告示<sup>1)</sup>が施行され、在来工法の特定天井に関しては力学的な検討及び対策が要求されることになった。しかし、システム天井に関しては各メーカーの設計基準<sup>2)</sup>が示されているものの、天井落下メカニズムも未だ明らかではない。

本校新宿校舎で広く用いられているシステムライン天井（以下ライン天井）は、在来天井やシステムグリッド天井（以下グリッド天井）に比べて研究例<sup>2)</sup>は少ない。システム天井は在来天井と異なり、天井板が一体ではなく、天井面は十分な面内剛性を有していないことから、在来天井とは異なる手法での評価が求められる。

ライン天井は、天井板に作用する慣性力を端部の壁を介して構造躯体に伝達するが、その衝撃に対して、非構造材の壁が十分な剛性や強度を有さない可能性が高い。そのため、近年のメーカーの設計基準<sup>3)</sup>では、壁に期待せず、ブレースに慣性力を負担させる耐震対策が設けられている。しかし、ブレースを配置しても、面内剛性の低さからブレース間で天井面は弓形に面内変形を生じる。その結果、壁際をはじめとして随所に隙間が生じ、支持材からの天井板の脱落が発生すると推定される。

そこで、ブレースで支持されたユニット実験を実施し、天井の落下に影響する要因を調査した。

1. Tバーの面内変形によってHバーが脱落し、同時に天井板が落下することを防ぐため、メーカーの設計基準<sup>3)</sup>で示されている、TバーとHバーを繋ぐTHクリップ（写真 3）の数の影響を調べる。（図 2, 3）。
2. Tバーの面内変形を抑えるため、照明器具とTバーをビスで固定して一種の梁とし、天井面ユニットのブレース間の変形抑制を試みる（図 4）。

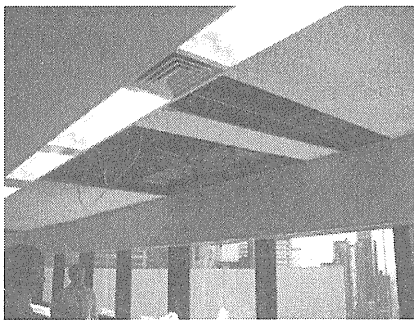


写真 1 天井板の落下被害 28 階会議室

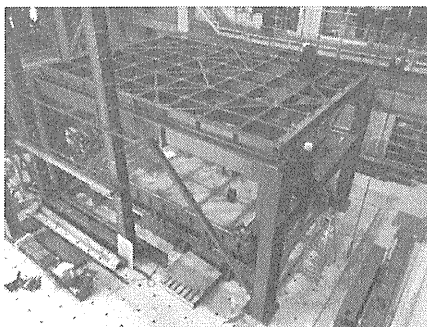


写真 2 天井実験用振動台

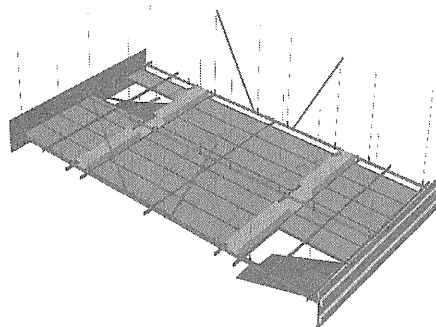


図 1 天井面の面内変形

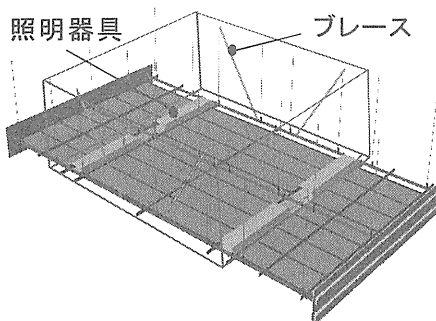


図 4 天井面のユニット

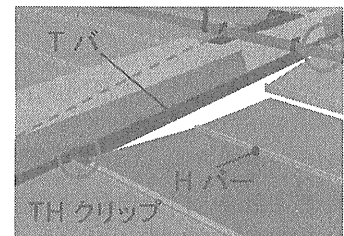


図 2 Hバーの脱落

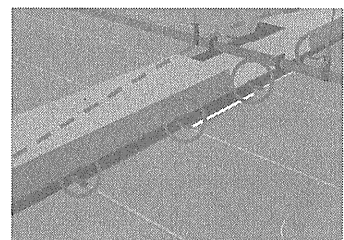


図 3 THクリップ追加

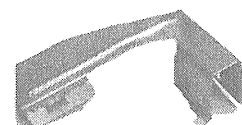


写真 3 THクリップ

\* 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  
\*\*\* 工学院大学建築学部建築学科

## 2. 実験概要

### 2.1 実験装置

加振には 2018 年 3 月に新たに完成した天井実験用振動台(以下、振動装置)を使用する(写真 2)<sup>4)</sup>。天井を吊り下げる振動装置の架台は桁行方向 7.5m、梁間方向 5m、吊り長さ 2.5m、重量 4500kg である。動的アクチュエータの仕様は、最大荷重 100kN、ストローク±50 cm であり、最大加速度 2G による加振が可能である。

本振動装置の構造は、架台とそれを支える支持構造から構成され(図 6)、架台と支持構造の間にスライダを設置することで振動装置を直接加振する。試験体の天井は架台から吊るされる。また、加振時の計測データより算出した上部構造自体の 1 次固有周期は加振方向で 15Hz となった(図 7)。

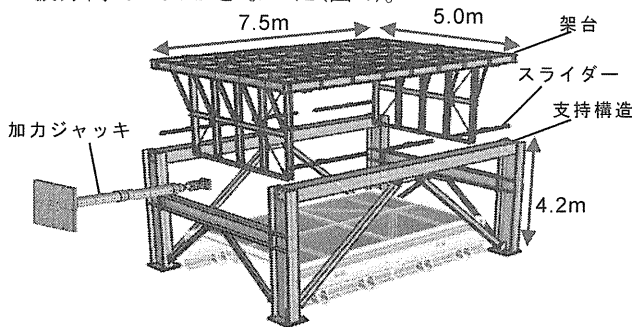


図 6 天井実験用振動台

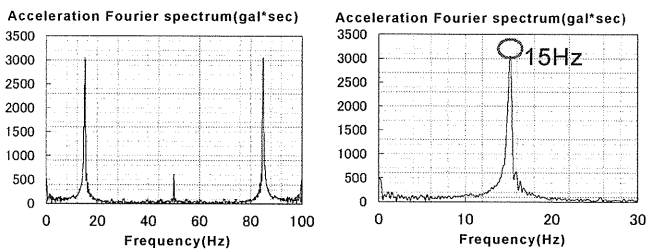


図 a 全体

図 b 詳細

図 7 振動装置 固有周期(100Hz,date8192)

### 2.2 試験体

図 8 にライン天井の構成を示す。野縁受けには「Cチャンネル」を使用し、野縁には「Tバー」を用いる。CチャンネルとTバーは「CTハンガー」によって接続される。天井板はTバー間で支持されるが、壁端部においては「Lバー」を壁にビスで固定し、TバーとLバーが天井板の支持部材となる。天井板は側面の窪みにはめ込む「Hバー」と接合し、Hバーを支持部材のフランジに載せることで支持部材間を架け渡している。Hバーと支持部材の接合について、Tバーは「THクリップ」によって固定される。また、天井板には岩綿吸音板を使用する。

図 9 に作成した試験体寸法とビス位置、図 10 に各試験体の平面図を示す。試験体は全て大きさ 3200mm × 3200mm とし、工学院大学新宿キャンパスのライン天井の照明器具間を 1 ユニットの寸法とした。桁行方向に 2 対のブレースを設置し、ユニットの慣性力を負担するモデルとした。試験体 1-1 は設計基準通りに THクリップを 2 つ飛ばしに設置した。試験体 1-2 は設計基準通りに加えて THクリップを 12 個追加した。試験体 1-3 は THクリップを全箇所を設置した。試験体 2-1 は、設計基準に加えて照明補強を行った。試験体 2-2 は、THクリップ全箇所設置と照明補強を行った。

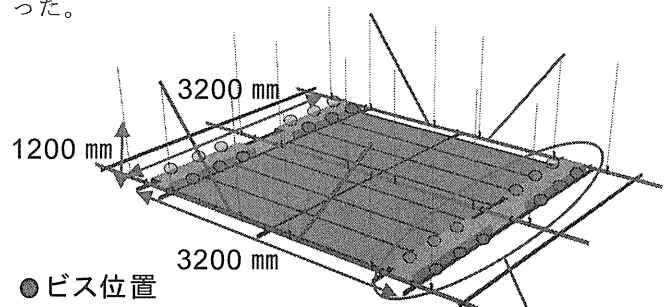


図 9 試験体寸法とビス位置

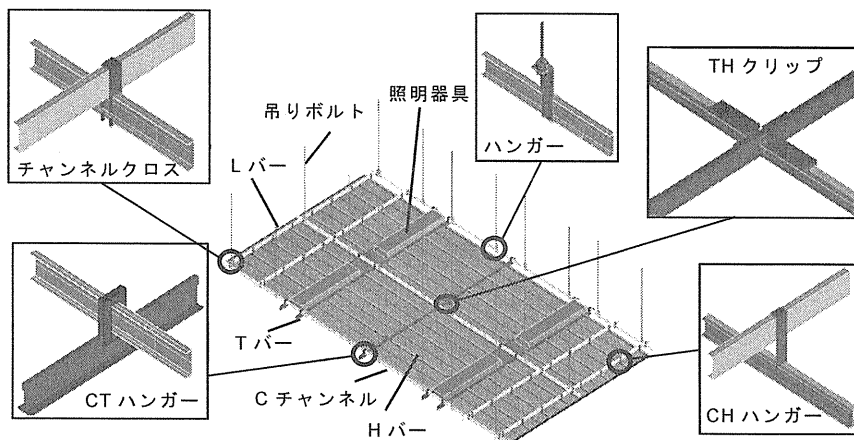


図 8 システムライン天井の構成

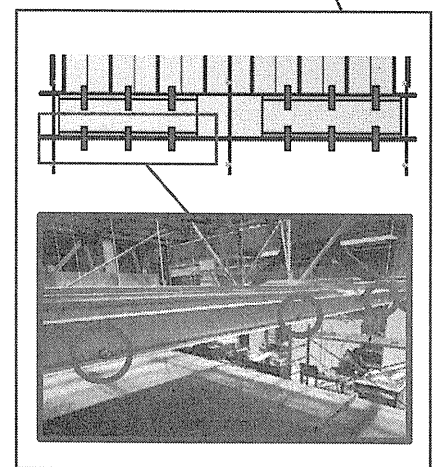


図 10 ビスによる照明補強

表 3 主要部材諸元<sup>3)</sup>

部材名	JISチャンネル	Tバー	Hバー	ブレース材
品番	NS1120W	NS1120W	NS7180BK	
材質	本体:亜鉛めっき1-1.2 化粧材:亜鉛めっき1-0.3	本体:亜鉛めっき1-0.48 化粧材:亜鉛めっき1-0.3	本体:亜鉛めっき1-0.5	本体:亜鉛めっき1-1.6
規格	C38×13×1.2	スチール		C40×70×1.6
詳細図				
部材名	CT40ハンガー	THクリップ	チャンネルハンガー	全ネジ
品番	NS2027	NS22015		
材質	本体:亜鉛めっき1-1.2	本体:亜鉛めっき1-0.6	本体:亜鉛めっき1-2.7	JIS G 5575
備考	JISチャンネルからTバーを 直接吊るハンガー	TバーをTバーを 直接吊るクリップ	Tバー受けチャンネルを 直接吊るハンガー	3/8吊りボルト・3/8ワット
詳細図				

表 4 試験体重量

部位	部材	単位質量(kg/m)	長さ(m)	数量	合計長さ(m)	質量(kg)
仕上り材	岩盤吸音材	2.28	1.5	14	21	47.9
	小計					47.9
	下地材					
下地材	Hバー	0.44	1.5	16	24	10.5
	Tバー	0.50	3.2	3	9.6	5.0
	Cチャンネル	0.29	3.2	2	6.4	1.8
	吊りボルト	0.37	1.2	18	21.6	7.9
	締め部材	0.95	1.5	4	6	5.7
	小計					45.7
	照明器具等	1.28	3.2	4	12.8	16.4
器具等	取付金物	0.17			5.3	0.9
	小計	1.45			17.3	17.3
総合計		6.72			110.8	110.8
					総長さ(m)	10.6
					総質量(kg/m <sup>2</sup> )	10.5

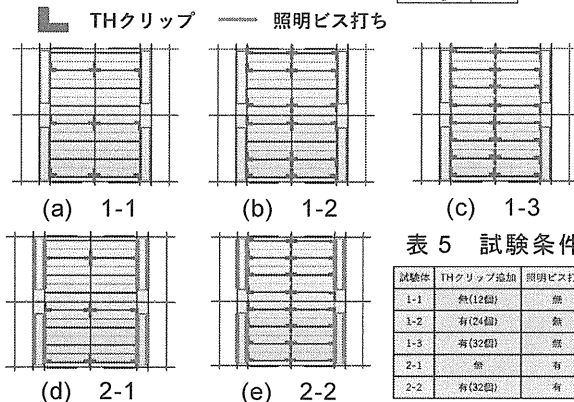


図 11 各試験体

2.3 加振計画

振動装置の入力を「入力波」、架台の振動を「実入力」、試験体の応答を「応答波」とする。本実験で使用する入力波において、正弦波は周期 1 秒の振幅一定の波とした。振幅漸増波は周期 0.5 秒の振幅が段階的に増幅する波とした(図 12)。

最初に正弦波による加振を行い、各加速度によるライン天井の損傷状況を確認する。損傷状況に応じて次に入力するレベルを決定する。正弦波 400gal まで落下が見られなかった場合、振幅漸増波による加振を実施し、天井板が落下し始める加速度の確認を行う。

表 6 入力波概要

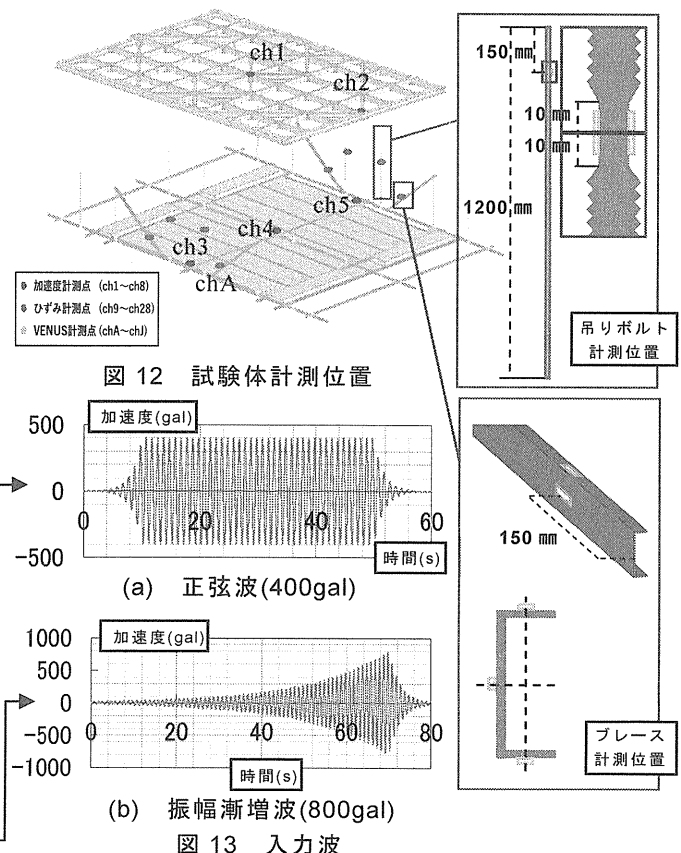
入力波	最大加速度[gal]	最大速度[kine]	最大変位[cm]	試験体1-1	試験体1-2	試験体1-3	試験体2-1	試験体2-2
sin波周期1秒	25.0	4.0	0.6					
sin波周期1秒	50.0	7.9	1.3					
sin波周期1秒	75.0	12	1.9					
sin波周期1秒	100.0	15.9	2.5					
sin波周期1秒	150.0	23.9	3.8					
sin波周期1秒	200.0	31.8	5.1					
sin波周期1秒	300.0	47.8	7.6					
sin波周期1秒	400.0	63.7	10.1					
漸増波周期0.5秒	目標800.0	目標63.7	目標5.0					

2.4 計測計画

図 11 に計測器の配置を示す。加速度計を振動装置の入力を計測するために架台上に 2 カ所、天井面の応答を計測するために試験体の T バー受け C チャンネル上に 3 カ所、T バー上に 3 カ所の計 8 カ所に設置した。ひずみゲージにより、吊りボルト 4 本および溝形ブレース 4 本に加わる軸力を計測した。吊りボルトには 1 本につき向き合うように 2 カ所の全本数で計 8 カ所、ブレースは 1 本につきウェブ 1 カ所とフランジ上下 1 カ所の計 3 カ所、全本数で計 12 カ所に設置した。T バーの変形を計測するために、モーションキャプチャーソフト「VENUS 3DR」を用いて計測した。計測に用いるマーカーを 1 本の T バー上に 5 カ所の計 10 カ所設置した。サンプリング周波数は加速度計、ひずみゲージ、変位計は 1000Hz、VENUS 3DR は 100Hz とした。

計測したデータにおいて、正弦波は 0.3Hz~1.5Hz、振幅漸増波は 0.3Hz~2.5Hz のバンドパスフィルタによるノイズ処理を行った。

また、図 13 と図 14 に、C チャンネル上(ch3)で計測された加速度を 2 回積分して得た変位と、同計測点に設置した VENUS(chA)によって計測された変位を示す。両者の最大変位を比較すると、積分結果は 6.3cm、VENUS は 6.2cm とほぼ一致していることが確認できた。



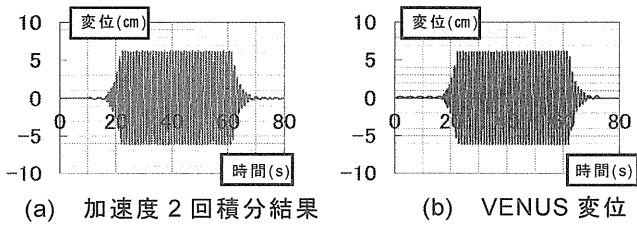


図 14 変位の比較

3. 実験結果

3.1 実入力について

図 15 と図 16 に、入力波と振動台上(ch1)で計測された加速度(実入力)を示す。両者を比較すると、入力波 200gal に対し、実入力は 280gal と 1.4 倍程度動きに違いがある。原因は明らかではなく、また入力する加速度が大きいほど倍率は小さくなる傾向がある。

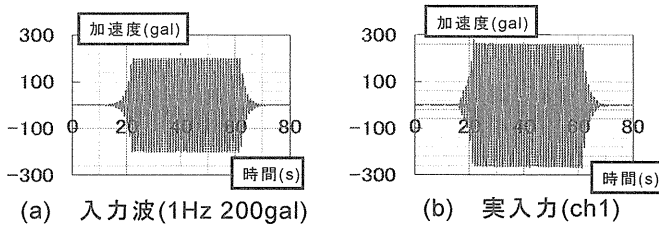


図 15 加速度の比較

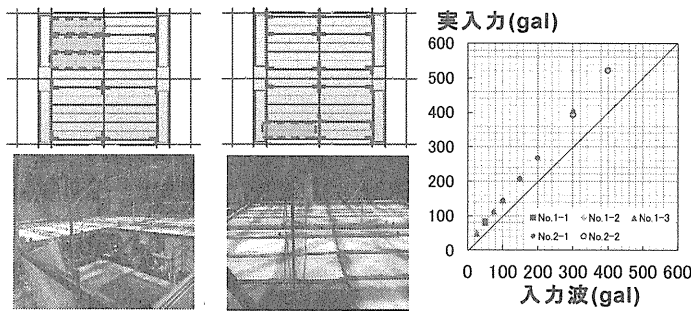


図 16 入力倍率

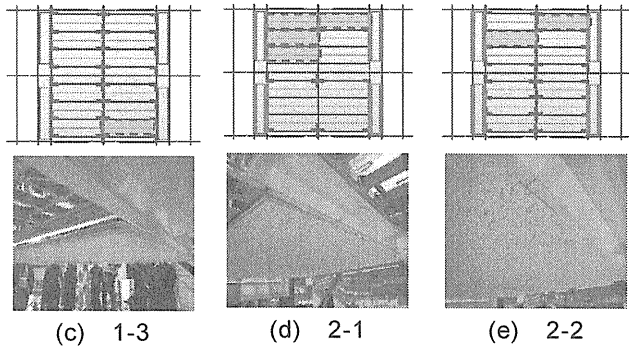


図 17 各試験体損傷状況

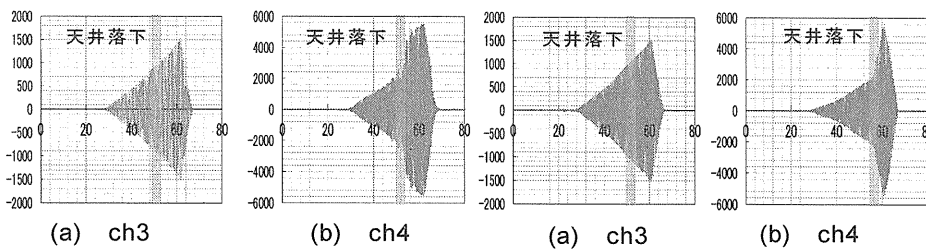


図 18 振幅漸増波(試験体 1-3)

図 19 振幅漸増波(試験体 2-2)

表 7 試験体損傷状況一覧

試験体 加振階 (gal)	1-1			1-2			1-3			2-1			2-2		
	ずれ	脱落	落下	ずれ	脱落	落下	ずれ	脱落	落下	ずれ	脱落	落下	ずれ	脱落	落下
25															
50			○									○			
75															
100												○			
150						○						○			
200												○			
300									○			○			○
400									○			○			○
目標800									○			○			○

3.2 正弦波加振による損傷状況

正弦波加振による実験後の試験体の損傷状況を表 7 に示す。試験体 1-1 において、50gal で加振した際、天井板は H バーが T バーから外れ、天井板と H バーが一体となって落下した。これは TH クリップがない箇所から脱落し、連鎖的に落下したためである。TH クリップは、H バーが T バーから脱落することを防ぐ役割があるが、H バーと天井板が一体となった脱落には強度不足であり、TH クリップの設置数が少ないと連鎖的な落下が発生しやすくなる。試験体 1-2 において、150gal で加振した際、片側にしか天井板がない H バーが加振直交方向に移動し、天井板は H バーと T バーから外れたことで脱落している。しかし、実際は壁が存在し、加振直交方向に H バーが動くことはほぼない。試験体 1-3 において、400gal で天井板の脱落が 2 カ所で見られた。天井面端部に位置する H バーと T バーから天井板が外れことで脱落している。試験体 2-1 において、400gal で加振した際、T バーと照明器具をビスで固定したことで T バーが照明器具側に寄せられるように変形し、H バーが T バーに載る掛かり代が小さくなったことで脱落した。また試験体 1-3 と同じく、端部の天井板は H バーと T バーから外れたことで脱落している。

このように、TH クリップには H バーの脱落による天井板の連鎖的な落下を防ぐ効果があり、TH クリップの個数を増やす重要性を確認することができた。

3.3 天井板の落下開始加速度

振幅漸増波加振による天井落下加速度及び落下順について図 21 に示す。試験体 1-3 において、最初の

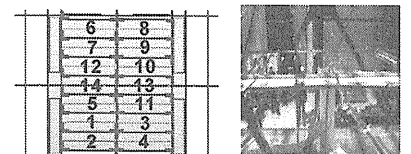


図 20 試験体 1-3 損傷状況

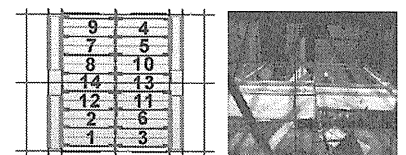


図 21 試験体 2-2 損傷状況



落下は入力 450gal 程度で、実入力 900gal 程度であった。落下位置はブレース構面がある天井面端部であり、天井は天井面両端部から天井の中央部分に向かう順で落下した。天井面の加速度応答はブレース列で 1000gal 程度、ブレースがない列で 2000gal 程度であり、応答加速度が大きいブレースがない列に位置する天井板が後に落下する結果となった。試験体 2-2 において、最初の落下は入力 650gal 程度で、実入力 1300gal 程度であった。落下位置及び順番は試験体 1-3 と同様で、天井面の加速度応答はブレース列で 1300gal 程度、ブレースがない列で 3500gal 程度であった。

試験体 1-3 と試験体 2-2 を比較すると、照明補強により天井面の面内変形を抑えたことで、落下開始加速度は 200gal 程度増加した。照明補強による天井面の面内変形を抑える方法は、各ユニットで変形を抑制する事が可能であり、大空間の天井面でも有効であると考えられる。

#### 4. 実験結果の分析

##### 4.1 ブレース軸力と天井面の慣性力

ブレースに設置したひずみゲージ(図 23-a)から、軸力の算出を行った。計測値は軸ひずみと曲げひずみの合力であるため、各ひずみゲージの計測値を  $\varepsilon_1$ 、 $\varepsilon_2$ 、 $\varepsilon_3$  とすると、以下の式となる。

$$\varepsilon_1 = \varepsilon_n + \varepsilon_{mx1} + \varepsilon_{my1} \quad (1)$$

$$\varepsilon_2 = \varepsilon_n + \varepsilon_{mx2} \quad (2)$$

$$\varepsilon_3 = \varepsilon_n + \varepsilon_{mx1} + \varepsilon_{my2} \quad (3)$$

$\varepsilon_n$ : 中立軸の軸ひずみ、 $\varepsilon_{mx1}$ 、 $\varepsilon_{mx2}$ : 弱軸による曲げひずみ、

$\varepsilon_{my1}$ 、 $\varepsilon_{my2}$ : 強軸による曲げひずみ

式(1)、(3)より、式(4)となる。

$$\varepsilon_{my1} = \frac{\varepsilon_1 - \varepsilon_3}{2} \quad (4)$$

また、弱軸方向の曲げひずみ分布は図 18-b のようになる。 $\varepsilon_{mx1}$ 、 $\varepsilon_{mx2}$  を通る直線の式は式(5)を得る。

$$y = \frac{\varepsilon_{mx1} - \varepsilon_{mx2}}{a} x - \varepsilon_{mx2} \quad (5)$$

式(5)の(x,y)にそれぞれ中立軸の値( $x_1, 0$ )を代入し、整理すると、

$$-a\varepsilon_{mx2} = (\varepsilon_{mx1} - \varepsilon_{mx2})x_1 \quad (6)$$

整理した式(1)、(2)を式(6)に代入すると、

$$\varepsilon_n = -\frac{(\varepsilon_1 - \varepsilon_3)x_1}{a} + \varepsilon_2 \quad (7)$$

式(7)に式(4)を代入して整理すると

$$\varepsilon_n = \frac{(-\varepsilon_1 + 2\varepsilon_2 - \varepsilon_3)x_1}{2a} + \varepsilon_2 \quad (8)$$

よって、軸力 N はブレース断面積 A とスチールのヤング係数 E を用いて、式(9)となる。

$$N = \varepsilon_n EA = \left( \frac{(-\varepsilon_1 + 2\varepsilon_2 - \varepsilon_3)x_1}{2a} + \varepsilon_2 \right) EA \quad (9)$$

図 a ひずみゲージ 図 b 弱軸曲げひずみ分布

図 22 ブレース断面

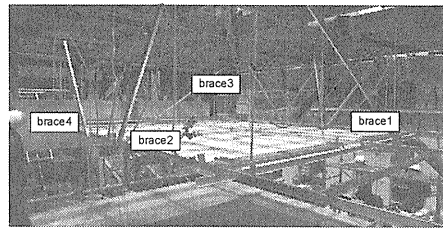


写真 6 ブレース位置

試験体 1-3(TH クリップ全箇所+照明補強有)に振幅漸増波(2Hz, 最大 800gal)を入力した際の軸力を式(9)より算出した結果を図 24 に示す。50 秒程度の位置で計測が乱れているが、これは実入力 900gal 程度で天井板が落下し始め、質量が軽減し、慣性力も減少したため、軸力もその分減少したと考えられる。また、V 字ブレース 1 組の軸力の平均を取り、水平方向に分解し 2 組分合計した値を質量 84.6 kg で除すことで天井面の有効加速度を求めた。表 8 に各実入力に対するブレースが負担した慣性力から、天井面の有効加速度を求めた結果を示す。

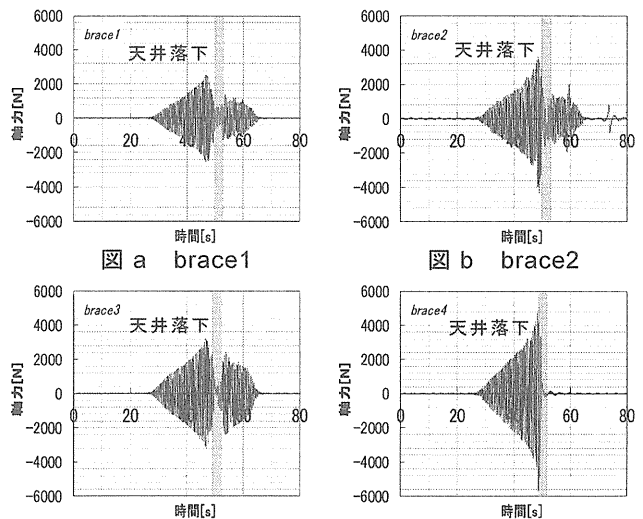


図 a brace1

図 b brace2

図 c brace3

図 d brace4

図 23 振幅漸増波(軸力)

また、振動台上の加速度計 ch1 と C チャンネル上の加速度計 ch3~ch5 で計測した結果を図 25 に示す。

実入力である ch1 に対して、有効加速度は平均で 2.7 倍程度であり、実入力 900gal 程度で天井面に慣性力 2kN 程度作用した時、天井板が落下し始めた(表 8 の②/①)。また、実入力はブレース構面に位置する ch3 と ch5 と近い値となり、天井中央に位置する ch4 は、ブレース構面の加速度計に比べ平均で 2.40 倍程度の値となった(表 8 の④/③)。ブレースがない列(ch4)の加速度は、有効加速度と比較すると 0.94 倍程度とほぼ等しい値となった(表 8 の④/②)。

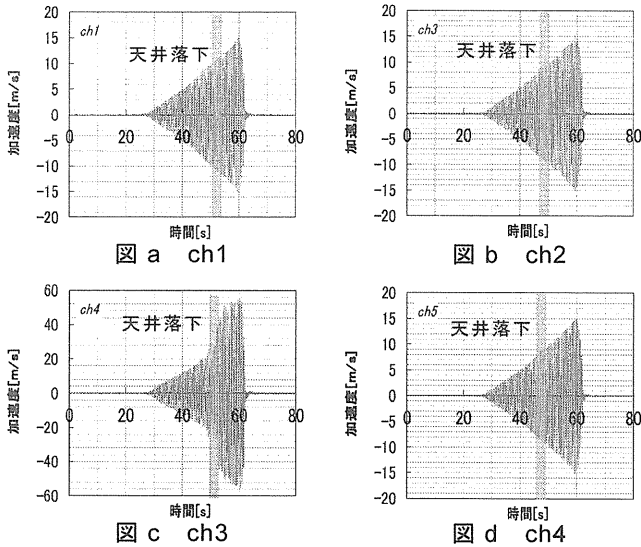


図 24 振幅漸増波(加速度)

表 8 計測結果

①実入力(ch1) [gal]	100	200	300	400	500	600	700	800	900	
②有効加速度(ブレース軸力ch9~28) [gal]	270	584	831	1054	1313	1576	1866	2207	2353	
Cチャンネル上 加速度[gal]	③ブレースあり構面(ch3,5)	116	212	323	413	507	624	732	845	916
	④ブレースなし構面(ch4)	246	538	789	992	1248	1452	1676	1981	2412
③/①	1.16	1.06	1.08	1.03	1.01	1.04	1.05	1.06	1.02	1.06
④/③	2.12	2.54	2.44	2.40	2.46	2.33	2.29	2.34	2.63	2.40
④/②	0.91	0.92	0.95	0.94	0.95	0.92	0.90	0.90	1.03	0.94
②/①	2.70	2.92	2.77	2.64	2.63	2.63	2.67	2.76	2.61	2.70

#### 4.2 Tバーの変形と落下の関係

図 26 に加速度 300gal を入力した試験体 1-2、2-1、2-2 で計測された T バー変形量を示す。天井面端部に位置するブレース構面は変位が著しく小さいが、ブレースのない天井の中央部分は大変位するため、T バーが弓なりに変形する傾向にある。試験体 1-2 と 2-2 を比較すると、ビスによる簡易的な補強ではあるが、照明器具の補強により T バー変形量を抑えていることが確認できた。また、試験体 2-1 と 2-2 を比較すると、TH クリップ追加によって T バー変形量を抑えている。これは、TH クリップには H バー脱落防止だけでなく、H バーによる T バーの変形抑制を補助する効果があることを示している。TH クリップは脆弱であるため、T バーと H バーはピン接合のように固定され

ているが、TH クリップより強度がある金物で剛接合できれば、さらに T バーの変形を抑えられると考える。

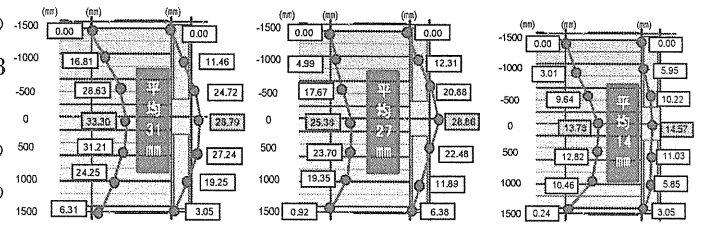


図 25 T バー変形量

図 18 に示すように、天井面端部での脱落、落下が見られた。しかし、端部に損傷が集中した原因として、両端ピンの T バーに天井板が衝突した際、等分布荷重により端部に大きいせん断応力がかかる(図 27)。そのため、T バーは端部にいくにつれ、大きな回転変形を起こしたと推測している(図 28)。

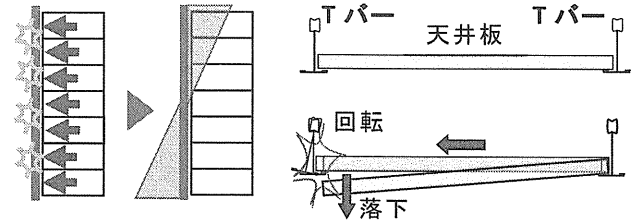


図 26 せん断応力

図 27 T バーの回転

#### 5. まとめ

当研究では、システムライン天井の地震動による天井板落下に影響する要因として、TH クリップと照明器具に着目した実験を行い、以下の知見を得た。

- 1) ブレースが負担する軸力と C チャンネルに設置した加速度計から、天井面に作用する慣性力を算出した。実入力約 1G に対して天井面に慣性力 2kN が作用した時、天井落下が発生した。
- 2) TH クリップは、H バーの脱落だけでなく、T バーの面内変形も抑制する。脆弱な現状の TH クリップを強化することで、落下しにくいライン天井ができると予想される。
- 3) 天井面のユニットのブレース間の面内変形は、照明器具を補強し変形を抑える梁とすれば抑制される。今回、T バーと照明器具をビスで固定するだけの簡易な補強では強度不足であったため、より高い剛性を実現できる現実的な補強方法の考案が必要である。

#### 参考文献

- 1) 国土交通省：建築物における天井脱落対策に係る技術基準の解説, 2013. 10
- 2) 元結正次郎、上條楓、他：動的外乱を受けるグリッドタイプシステム天井の力学特性状に関する研究(その 1, 2), 2018 年度日本建築学会大会(東北)(学術講演梗概集, pp989-992), 2018
- 3) パナソニック株式会社エコソリューションズ社：複合天井システム, 21-27, 2017. 8
- 4) 羽鳥稔也：天井実験用振動台の設計、工学院大学建築系学科卒業論文梗概集山下哲郎研究, 2017

# せん断が支配的な置屋根体育館支承部の復元力特性に関する研究

キーワード（置屋根構造，支承部  
 アンカーボルト，耐力評価）

伊藤賢治\*      山下哲郎\*\*  
 関根 諒\*\*\*

## 1. はじめに

2011年に発生した東北地方太平洋沖地震では、置屋根体育館の支承部（図1）にアンカーボルトの破断や抜け出し、ベースモルタルのひび割れ等の被害が多発した<sup>1)</sup>。置屋根体育館の支承部の形式は一般的な露出柱脚と類似しているが、支承部では鉄骨屋根版自重による軸力は小さく、支配的な応力はアンカーボルトで直接支持されるせん断力である。

既往の露出柱脚のせん断耐力に関する研究では、アンカーボルトそのものと側方破壊耐力を対象とした研究<sup>2)3)</sup>や、ベースプレートとモルタルの摩擦に関する研究<sup>4)</sup>がある。また支承部に関する研究では、システムトラス構造のような、せん断力と曲げモーメントを受ける支承部を想定した研究などがあるが、支承側をピンと想定した場合の破壊挙動の再現や復元力特性に関する研究は少ない。

ここで図2に示すように、支承部にはモルタル上に直接ベースプレートが載ったピン支承と、屋根版自重によるスラストを逃がす等のためにベースプレートとモルタル間に摩擦力を低減させるスライド機構を設け、構面外方向のボルト孔をルーズホールとしたスライド支承がある。

上記の背景を基に本研究では、図3のように屋根

架構側で偏心モーメントを負担でき、支承側がせん断力の支配的な場合を想定した繰返しせん断加力を行った。ピン支承では、アンカーボルトの公称径を変化させ、モルタル厚に対するアンカーボルト径の違いによる破壊挙動の再現と復元力特性の評価を行う。またスライド支承では、スライド機構により摩擦力が低減することを確認する。

## 2. 実験計画

### 2. 1 実験装置

図4に実験装置の全容を示す。左の水平油圧ジャッキでベースプレートに直接繰返しせん断加力を与え、偏心モーメントが極力生じない支承を再現した。

### 2. 2 試験体

表1に試験体の詳細を示し、図5に試験体記号を示す。アンカーボルトを埋め込んだRCボックス上

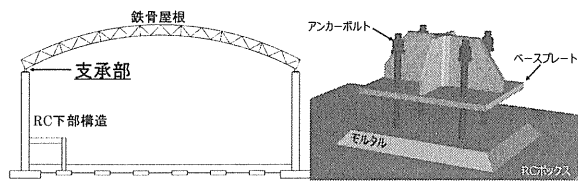
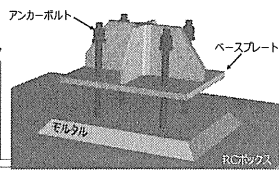


図1 置屋根体育館



(a) ピン支承

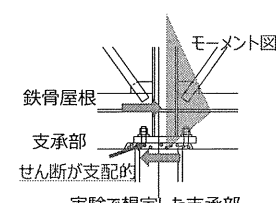
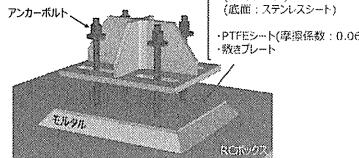


図3 モーメント分布



(b) スライド支承

図2 支承部の形式

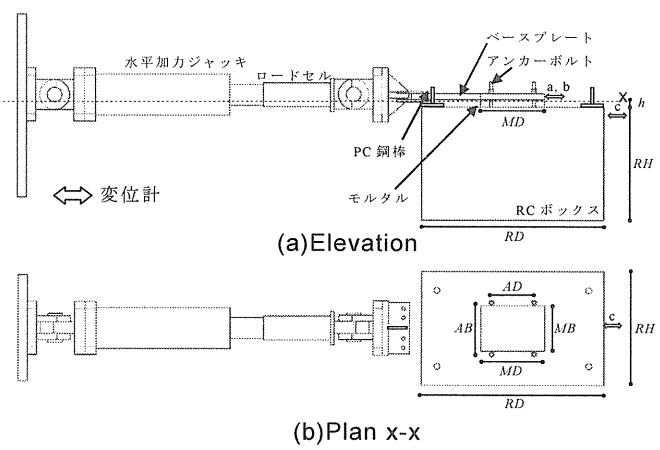


図4 実験装置

表1 試験体概要

試験体	アンカーボルト公称径	AB間距離 AB[mm]	AD間距離 AD[mm]	モルタル厚 H[mm]	モルタル幅 MB[mm]	モルタル奥行 MD[mm]	RC高さ RH[mm]	RC幅 RB[mm]	RC奥行 RD[mm]
PA20-50-0	M20	340	280	240	420	750			
PA27-50-0	M27	500	500	50	290	310	740	750	1200
PA30-50-0	M30				240	420	736		
SPA20-50-0	M20	340	280	240	420	736			

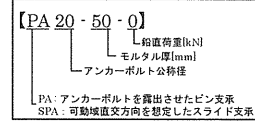


図5 試験体記号

\* : 工学院大学大学院 工学研究科 建築学専攻 (所属: 山下哲郎研究室)  
 \*\* : 工学院大学建築学科教授・博士(工学)  
 \*\*\* : 工学院大学 建築学部 建築学科 (所属: 山下哲郎研究室)

にモルタルを打設し、モルタルの上にベースプレートを設置する。アンカーボルトは ABR400 規格の転造ねじを使用し、アンカーボルトの有効埋め込み深さは公称径  $d$  の 20 倍<sup>6)</sup>とした。PA20-50-0、SPA20-50-0 では図 4 のようにアンカーボルトを 4 本使用するが、PA27-50-0、PA30-50-0 では試験体 1 体あたりアンカーボルト 2 本を加力芯上に配置した。また PA20-50-0 では加力前に、トルク回転法<sup>7)</sup>に従い、下ナットにトルクレンチを用いて 70Nm を導入してから 30 度ナットを回転させて締め付けて上ナットを指締めする。その他の実験では下ナット、上ナットの順で指締めする。さらに SPA20-50-0 ではベースプレート下ナット間にはほぼ摩擦力が生じないように PTFE シートを挟む。

モルタル層の厚さは、標準的な 50mm<sup>5)</sup>とする。図 6 に示すように、アンカーボルトのひずみゲージの損傷を避けるため、モルタルでアンカーボルトを被覆しない。また SPA20-50-0 ではモルタルの上に PTFE シートを貼った敷きプレートを置き、底面にステンレスシートを溶接したベースプレートを設置する。この時、敷きプレートはモルタルと同様に幅を縮小させモルタルの上に設置する。RC ボックス内には十分なせん断補強筋を配して側方破壊を防止する。

ベースプレートの厚さは PA27-50-0、PA30-50-0 では 60mm とし、PA20-50-0、SPA20-50-0 では 40mm とするが、座屈防止のために T 形鋼をベースプレート上面に取り付ける。アンカーボルト孔径はアンカーボルト呼び径+5mm とする。表 2 に引張試験で得たアンカーボルトの下降伏点・引張強さと、圧縮試験で得たコンクリートとモルタルの材料強度を示す。

## 2. 3 計測と荷重

荷重はロードセル、変位はピストン変位計で計測する。ベースプレートの水平変位とアンカーボルトの見かけのせん断変形角を式(1)(2)で定める。

$$\delta_{BP} = \frac{A+B}{2} - C$$

$$\bar{\gamma} = \frac{\delta_{BP} - \delta_{cl}}{h}$$

表 2 機械的性質・材料強度

試験体	降伏強度 [N/mm <sup>2</sup> ]	引張強さ [N/mm <sup>2</sup> ]	モルタル圧縮強度 (材齢(日)) [N/mm <sup>2</sup> ]	コンクリート圧縮 強度(材齢(日)) [N/mm <sup>2</sup> ]
PA20-50-0	344	442	32.4(14)	35.9(28)
PA27-50-0	303	444		
PA30-50-0	291	429		
SPA20-50-0	317	442		

ここで例えば図 4 の変位計 A の計測位置を A と表記した。 $h$  はモルタル厚、 $\delta_{cl}$  はボルト孔のクリアランスの 1/2(2.5mm)である。

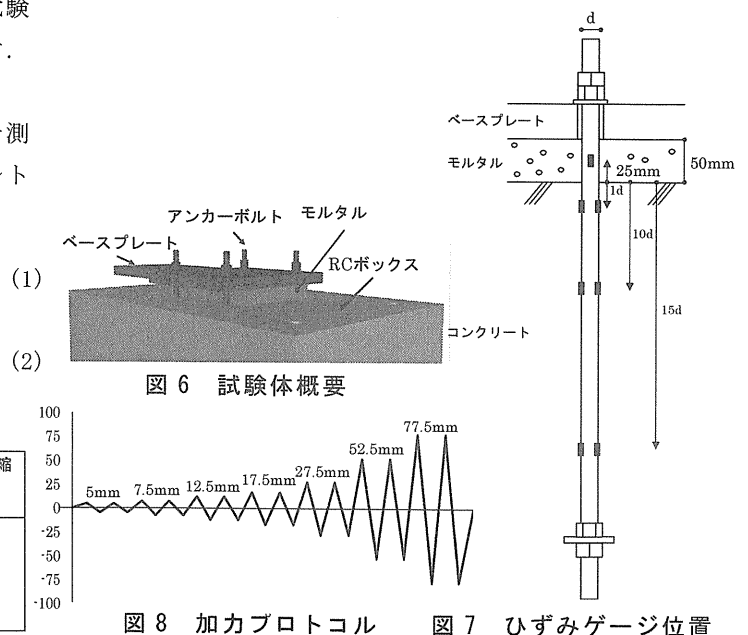
さらに図 7 に示した位置に貼ったひずみゲージによりモルタル層や RC ボックス内のアンカーボルトの軸ひずみの計測も行う。

図 8 に加力プロトコルを示す。加力プロトコルは式(2)の  $\bar{\gamma}$  を用いて定める。水平加力は正負交番漸増繰り返し変位となるように  $\bar{\gamma}$  の値をモニターしながら手動で制御する。

## 3. 実験結果

図 9 に荷重変位曲線を示し、写真 1 に図中の(a)での損傷を示し、(b)は実験終了後のアンカーボルトの様子を示す。正側が処女載荷であるが、特に大変形域で負側は正側よりも耐力が低い。これは正側加力によるアンカーボルトの塑性伸びや抜け出しなどが影響していると考えられる。

PA20-50-0 ではアンカーボルトに初期張力を導入しており、水平変位が増加した時、水平荷重が摩擦力に到達したとするときのベースプレート底面-モルタル表面間の摩擦係数は 0.46 であり、鋼構造接合部設計<sup>9)</sup>と概ね一致した。図 10 にモルタル層に貼り付けたひずみゲージから算定した軸力を示す。 $\delta_{BP}=30\text{mm}$  付近までは軸力は小さいが、30mm 付近になると軸力が急激に増加し降伏軸力に到達した。また PA20-50-0 では除荷する度にアンカーボルトの伸びや抜け出しによって張力が抜けていき  $\delta_{BP}=12.5\text{mm}$  付近で軸力が一旦 0 になった後、同様



に軸力が増加し降伏軸力に到達した。

またボルト孔のクリアランス  $\delta_{cl}$  を超え、ベースプレートがアンカーボルトに接触するとアンカーボルトが傾いた。その後水平荷重  $P_H$  は上昇し変位  $\delta_{BP} = \pm 10\text{mm}$  付近で荷重変形曲線が一旦平坦になった。振幅の増加に伴い、アンカーボルトがコンクリート内で折れ曲がり、アンカーボルト周辺のコンクリート表面が剥離した(写真(a))。実験終了後、アンカーボルト周辺を掘ると、コンクリート表面から約  $1d$  深い位置でアンカーボルトがくびれていることがわかった(写真 1(b))。

#### 4. 耐力評価

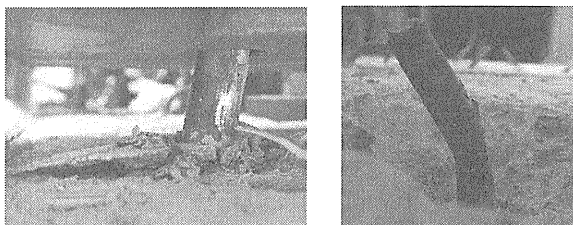
##### 4. 1 せん断耐力との比較

支承部のせん断力をアンカーボルトで負担する場合、鋼構造接合部設計<sup>6)</sup>をそのまま適用すれば、摩擦力とアンカーボルト耐力の加算はないが、既往の研究において、支承耐力は摩擦力とアンカーボルト耐力の重ね合わせであると示したため式(3)とする。

$$P_{sy}^* = nq_{by}^* + \mu P_v \quad (3)$$

ここに  $P_{by}^*$  は支承部の降伏耐力、 $n$  はアンカーボルト本数である。また PA20-50-0 は初期張力を与えたことによってモルタル表面—ベースプレート底面間に摩擦力が生じたが、式(3)に到達する前に初期張力が抜けたため、初期張力による摩擦力は考慮しない。

図 11 にて、式(3)で示すアンカーボルトのせん断降伏を仮定して算定する降伏耐力を PA20-50-0、PA30-50-0 と比較し、写真 2 に図中の(c)(d)に示す降伏耐力に降伏耐力に到達する前一つ前のサイクルの試験体の損傷を示す。全ての実験でせん断降伏を仮定した降伏耐力に到達したが、その時点でアンカーボルトの変形は明らかに弾性限界を超えており、モルタルの損傷も著しい。以上より降伏耐力が弾性限界であると考え、せん断降伏を仮定した耐力評価は過大であると考えられる。



(a) コンクリート表面の剥離(+17.5mm) (b) アンカーボルトのヒンジ位置(+17.5mm)

写真 1 破壊挙動

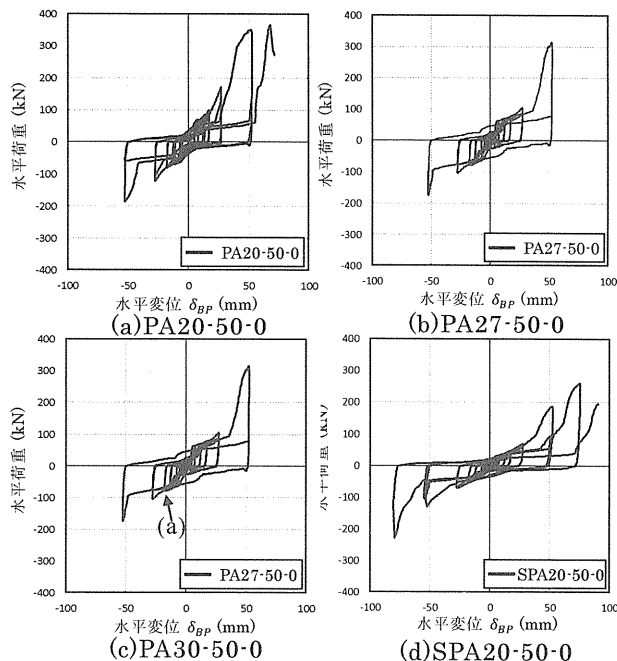


図 9 荷重変位曲線

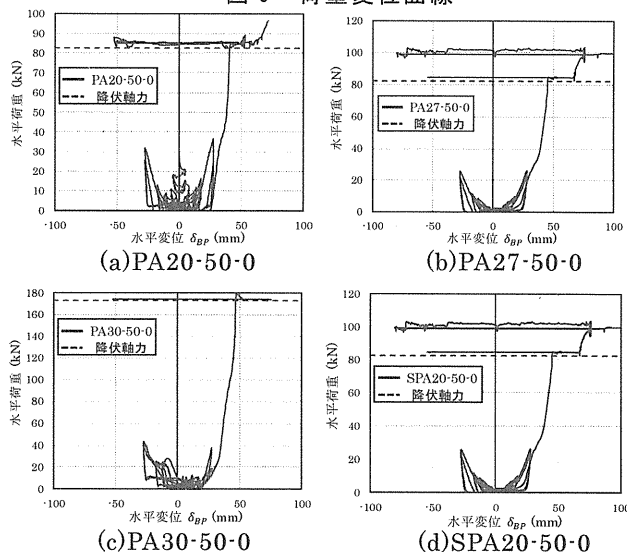


図 10 アンカーボルト軸力

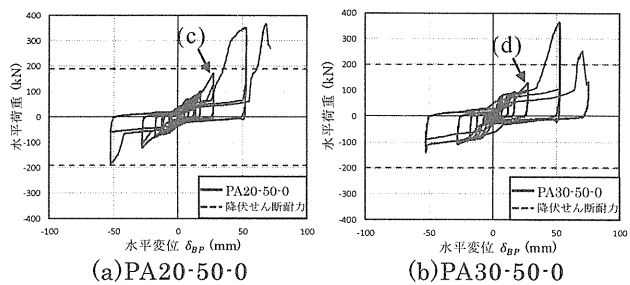
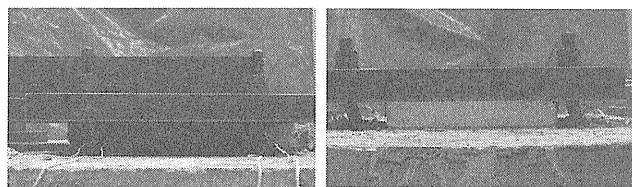


図 11 せん断耐力



(c) PA20-50-0(+27.5mm) (d) PA30-50-0(+27.5mm)

写真 2 アンカーボルトの塑性変形

#### 4. 2 小変形域における耐力評価

ラチスシェル屋根構造設計指針<sup>8)</sup>ではモルタル厚がアンカーボルト径 3 倍を超える細長いアンカーボルトは曲げ降伏し、コンクリート表面とベースプレート下端にヒンジが生じるとして耐力を算定するよう推奨している(図 12). アンカーボルトの引張力が小さいときのアンカーボルト 1 本あたりの曲げ降伏耐力は式(4)で表される.

$$P_{bmy}^* = \frac{2M_p}{h} \quad (4)$$

$M_p$  はアンカーボルトの全塑性モーメントである. PA 試験体の初期の荷重変位曲線を拡大し図 13 に示す. ボルト孔のクリアランス内では, 水平荷重は摩擦力とほぼ等しい. しかし  $\delta_{BP} = \pm 10\text{mm}$  付近で水平荷重が一旦平坦となっており, この平坦部が曲げ降伏によるものと仮定する. 式(4)で曲げ降伏耐力を試算すると, 図 13 に示すように曲げ降伏耐力は平坦部荷重と概ね一致した. なお, PA20-50-0 では初期張力を導入しており, 平坦となった付近の軸力が一本当たり約 13kN であったため, 摩擦力 4 本  $\times 13\text{kN} \times 0.5 = 26\text{kN}$  を式(4)に加算し比較した.

一方, 文献<sup>9)</sup>ではせん断力を受けるアンカーボルトがコンクリート表面より深い位置で曲げ降伏することが示されているが, 本研究においても公称径の約 1 倍程度深い位置でヒンジが形成されていた. そこで, 文献に基づいて弾性床上梁理論の微分方程式を解き, 曲げモーメントが最大となるコンクリート表面からのヒンジ深さ  $l_m$  を考慮して式(6)より曲げ降伏耐力を求める(図 14).

$$l_m = \frac{l}{\beta} \tan^{-1} \left( \frac{l}{1+2h\beta} \right) \quad (5)$$

$$P_{by}^* = n \frac{2M_p}{h+l_m} + \mu P_v \quad (6)$$

$\beta$  は基礎の特性値で, 文献<sup>9)</sup>で示されているコンクリート反力係数  $k'$  とアンカーボルト直径  $d$ , アンカーボルト曲げ剛性  $EI$  を含んでいる. 図 13 に示すように, ヒンジ深さ  $l_m$  を考慮した曲げ降伏耐力は実

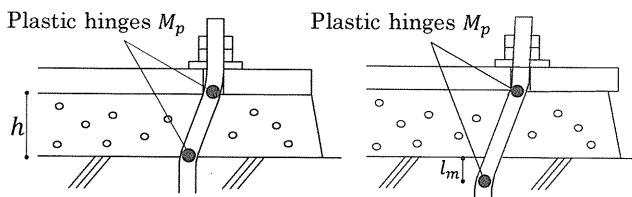


図 12 曲げ降伏耐力

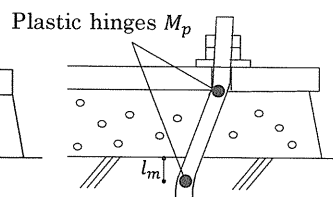


図 14 ヒンジ深さを考慮した曲げ降伏耐力

験値を下回るが本論文では, すべての実験で平坦部荷重を安全側に推定でき, アンカーボルトの変形も小さかった.

また白井ら<sup>9)</sup>によると, 可動域を超えて曲げ降伏耐力に到達するまでの水平変位は, 弾性床上梁理論に基づくコンクリート表面での変位と, 弾性論に基づく曲げ変形及び回転による変位の加算であるとされており, 弾性域の水平荷重は式(7)で表される.

$$P_H = n \frac{3EI\beta^3}{(1+\beta h)^3 + 0.5} \delta_{BP} \quad (7)$$

PA 試験体の曲げ降伏耐力に到達するまでの荷重変位曲線と式(7)を比較して図 15 に示す. 概して比較的的良好に近似した.

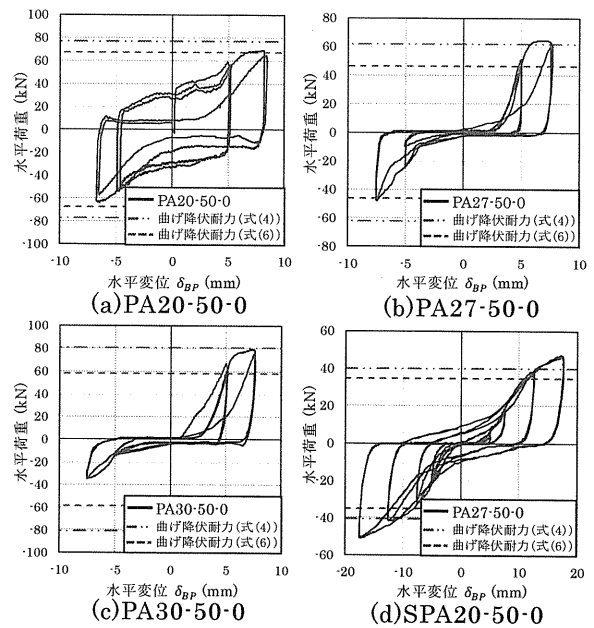


図 13 曲げ降伏耐力の比較

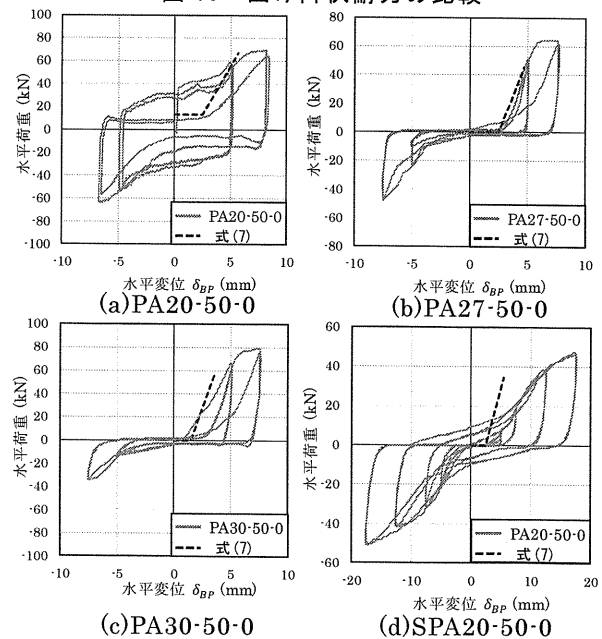


図 15 小変形域の荷重変位関係

#### 4. 3 大変形域における耐力評価

曲げ降伏耐力到達後の大変形域ではアンカーボルトの変形角が大きく、アンカーボルト軸力による耐力式(8)が仮定できる(図16)。

$$P_H = nN\sin\gamma + \frac{2M}{h+l_m} + \mu(nN\cos\gamma + P_v) \quad (8)$$

$$\gamma = \tan^{-1} \frac{\delta_{BP} - \delta_{cl}}{h+l_m} \quad (9)$$

$N$  はモルタル層のアンカーボルト軸力、 $M$  は塑性ヒンジ1か所あたりの曲げモーメント、 $\gamma$  はヒンジ深さ $l_m$ を考慮したアンカーボルト変形角である。

ここで、実験の水平荷重と鉛直荷重を式(8)に代入してアンカーボルト軸力を逆算し、モルタル層のアンカーボルトに貼り付けたひずみゲージから算定した軸力と比較する。この時大変形域においてNM相関を考慮する。まず歪硬化を無視して降伏関数を式(10)で仮定する。

$$\phi = \left( \frac{N}{N_p} \right)^2 + \frac{M}{M_p} - 1 = 0 \quad (10)$$

ここに $N_p$ は降伏軸力である。降伏関数 $\phi$ を $M$ について解き、式(8)に代入して軸力 $N$ を求める。なお実験では特にモルタル層上部の塑性ヒンジで断面に比較的大きな変形が見られたが円形断面を保つものとする。摩擦係数は $0.5^6$ とする。図17にPA20-50-0とPA30-50-0のモルタル層のひずみゲージから算定した軸力と式(8)より求めた軸力を示す。モルタル層のアンカーボルト軸力は小変形域において、前述のようにアンカーボルトの2点に曲げヒンジが形成されるためNM相関を考慮すると軸力は小さいが、変形が大きくなると軸力も増加した。以上より式(8)で大変形域の耐力は概ね近似できると考えられる。

#### 4. 4 一般化塑性ヒンジ理論による骨格曲線の算定

以下では、文献<sup>10)</sup>に示されている一般化塑性ヒンジ理論を基に大変形域におけるアンカーボルト軸力と塑性ヒンジ部の曲げモーメントを算定し、骨格曲線の算定を試みる。図18に示すようにアンカーボルト変形角の増大や歪硬化に伴う応力増分は、2点に塑性ヒンジが生じた際の水平変位 $\delta_{by}$ 以降の状態について算定する。この時、塑性ヒンジのせん断変形及びせん断力は無視する。

図19に示すように、アンカーボルトが式(7)に示した曲げ降伏耐力に到達し水平変位が $v$ 増加した後、 $dv$ だけ微小水平変位が増加した際のアンカーボ

ルトの変形増分 $\{d\Delta\}$ を考える。この時、2つの塑性ヒンジはほぼ同時に生じたと仮定し両端の変形角 $\gamma$ は等しいものとする。 $v$ だけ水平変位が増加した際のヒンジ間のアンカーボルト長さは $L_{trg}$ 、変形角 $\gamma_{trg}$ であり、さらに $dv$ だけ水平変位が増加するとアンカーボルトは軸方向に $du$ 伸び、変形角は $d\gamma_{trg}$ 増加する。このアンカーボルトの変形増分と微小水平変位の関係は式(11)で表すことができる。なお、軸方向伸びは両端の塑性ヒンジによる軸方向伸びの合計である。

$$\{d\Delta\} = \begin{Bmatrix} du \\ d\gamma_{trg} \\ d\gamma_{trg} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} dv \sin \gamma_{trg} \\ dv \cos \gamma_{trg} / L_{trg} \\ dv \cos \gamma_{trg} / L_{trg} \end{Bmatrix} \quad (11)$$

ここで、NM相関にPragerの移動硬化則を適用した一般化硬化塑性ヒンジ理論<sup>10)</sup>によって求めた塑性剛性行列 $[K^p]$ を用いて、式(12)にアンカーボルトの変形増分 $\{d\Delta\}$ と応力増分 $\{dP\}$ の関係を得る。なお、アンカーボルトのヤング係数は $E=205000\text{N/mm}^2$ と

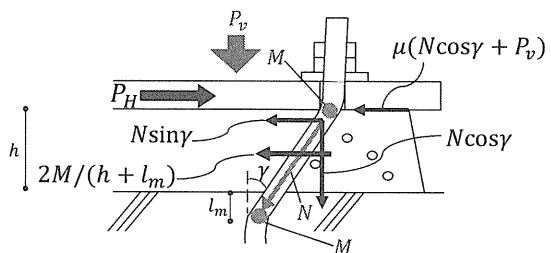


図16 水平力とアンカーボルト軸力の釣り合い

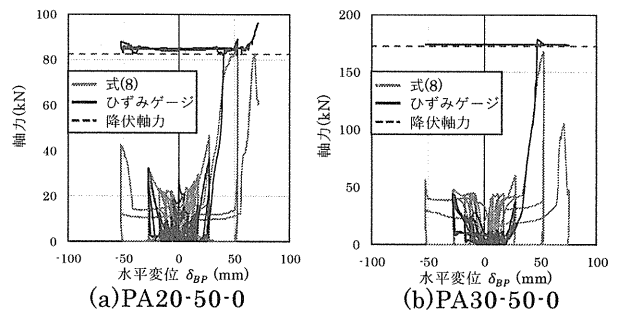


図17 アンカーボルト軸力の比較

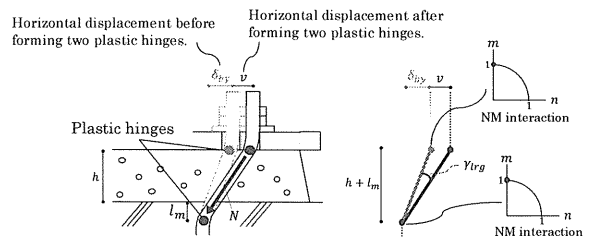


図18 NM相関を考慮したヒンジモデル

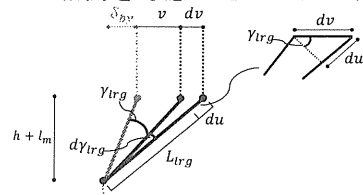


図19 アンカーボルトの変形増分

し、歪硬化係数  $e_1$  はアンカーボルト引張試験で得られた応力ひずみ線図の下降伏点  $\sigma_y$  における歪と一様伸び  $\varepsilon_u$  までを直線で近似し 2 次勾配がヤング係数  $E$  の歪硬化係数  $e_1$  倍となるようにし求める。

$$\{AP\} = [K^P]\{Ad\} \quad (12)$$

以上より、アンカーボルトの応力増分を軸力と曲げモーメントに加算式(8)に代入して降伏後の耐力を評価する。

小変形域及び大変形域の荷重変位関係を式(7)(8)から求め、実験で得られた繰返し履歴から骨格曲線を抽出し図 20 に示す。全ての実験で耐力式が実験を高めに評価した。これは式(5)で求めたヒンジ深さが計測したヒンジ深さの約 0.6 倍であったためと考えられる。また、PA27-50-0, PA30-50-0 の場合、変位 5mm から 20mm 付近まで水平荷重が平坦となっていた。これは図 17(b)のひずみゲージから算定した軸力に示すように小変形域においてアンカーボルトの抜け出しにより軸力が増加していないためと考えられる。しかし、式(8)では抜け出しを考慮できないため、図 20 のような平坦部荷重は推定できない。

しかし、概して大変形域の骨格曲線に関しては比較的良好的に近似できており、せん断降伏モデルより幾何学的非線形性を考慮した曲げと軸力による 2 ヒンジの NM 相関モデルがより適切であるといえる。

## 5. 実験結果

当研究では、置屋根体育館に用いられるせん断力が支配的である支承の繰返しせん断加力実験を行い、

- 1) 破壊挙動を再現し、モルタルやアンカーボルトの破壊メカニズムを説明した。
- 2) せん断降伏を仮定した耐力にアンカーボルト耐力が達する時点は明らかに弾性限界を超過していることを実験で明らかにした。また曲げ降伏を仮定することでアンカーボルトの降伏耐力が良好に近似できることを示した。
- 3) 曲げ降伏後の大変形域では、アンカーボルトの幾何学的非線形性を考慮した耐力式を提案し、Prager の移動硬化則を用いた一般化硬化塑性ヒンジ理論を適用することで、支承耐力の骨格曲線を概ね推定できることを示した。

### 参考文献

- 1) 建築研究振興協会：東日本大震災における鉄骨置屋根構造の被害調査報告，2012.3
- 2) 河野久夫他：埋込みアンカーボルトの変形挙動に関する実験的

研究 その 1：せん断力を受けるアンカーボルトの変形挙動，日本建築学会中国・九州支部研究報告，第 5 号，pp.333-336，1981.3

- 3) 大橋芳郎他：引張力・せん断力・組み合わせ応力を受けるアンカーボルト露出部の力学的性状に関する実験的研究，平成 8 年度日本建築学会近畿支部研究報告集，pp.285-288，1996
- 4) 池永昌容，長江拓也，ジェイソン マコーミック，勝尾美香，中島正愛：鋼構造露出柱脚と基礎モルタル間の摩擦性状に関する振動台実験，日本建築学会構造系論文集，第 73 巻，第 629 号，pp.1185-1191，2008.7
- 5) 日本建築学会：建築工事標準仕様書 6 鉄骨工事，2015.3
- 6) 日本建築学会：鋼構造接合部設計指針，2012.7
- 7) 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
- 8) 日本建築学会：ラチスシェル屋根構造設計指針，2016.11
- 9) 白井佑樹他：一方せん断力を受ける頭付きアンカーボルトと接着系アンカーボルトへの弾性床・上梁理論の適応とその整合性に関する研究，日本建築学会構造系論文集，第 81 巻，第 724 号，pp.993-1003，2016.6
- 10) 日本建築学会：応用科学シリーズ 4 構造物の崩壊解析 基礎編，1998.7

## 謝辞

当研究は、本実験を行うにあたり、フルサト工業株式会社よりアンカーボルトの提供を受けた。また、コンクリート・モルタル打設に際し、阿部道彦教授ならびに阿部研究室の学生各位に協力を頂いた。ここに記して謝意を表します。

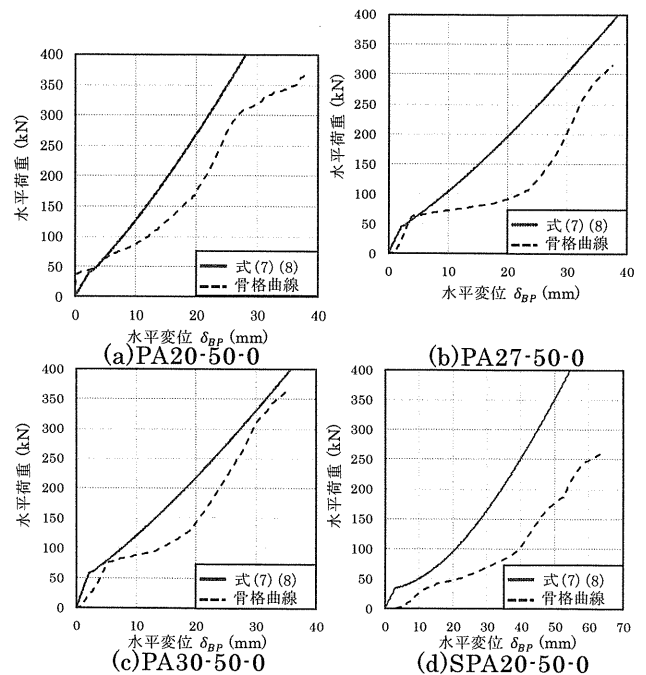


図 20 骨格曲線と式(7)(8)の比較



## 下部構造と支承部の非線形復元力特性を考慮した鉄骨置屋根構造の地震応答解析

鉄骨置屋根体育館 地震応答評価

渡辺俊也\*

山下哲郎\*\*

屋根支承部 履歴特性 RC片持壁

### 1. はじめに

図1に示されるような、RC片持架構で鉄骨大スパン屋根を支持する体育館は、鉄骨置屋根体育館と呼ばれる。2011年の東北地方太平洋沖地震では、RC片持架構が地震時に構面外応答し、RC躯体と鉄骨屋根を接合する支承部が強制変形を受け、被害が多発したことが報告されている<sup>1)</sup>。体育館は、災害後の避難施設として継続使用できることが要求され、東北地方太平洋沖地震後、精力的に地震応答の研究が進められており、耐震診断についての成果がガイドライン<sup>2)</sup>にまとめられている。

鉄骨置屋根構造の地震応答に関する研究としては、伊藤ら<sup>3)</sup>の支承部せん断加力実験、また成田ら<sup>4)</sup>の独立壁構面外応答および支承部せん断応力の評価が挙げられる。ただし、支承部の復元力特性を考慮した数値解析を用いて、支承部せん断応力を評価した研究はほとんどない。例えば、文献4)では柱頭と屋根を一体とした数値解析モデルにより支承部せん断応力を評価しており、ルーズホールによる支承部可動域の影響を考慮した応答評価はされていない。

本研究では、伊藤ら<sup>3)</sup>の支承部耐力の評価法に基づき、支承部履歴特性モデルの提案を行う。また、下部構造と支承部の非線形復元力特性を考慮した鉄骨置屋根体育館の地震応答解析を行い、支承部せん断応力の評価を行う。特に、支承部可動域の増大による支承部せん断応力の増減について評価を試みる。

### 2. 被災体育館と実被害

検討建物は、東北地方太平洋沖地震で被災した岩手県の体育館<sup>1)</sup>である（図1）。地上2階建てで、X方向44.9m、Y方向28mの耐震壁付ラーメン架構である。屋根版は斜交立体トラス構造で、高い曲げ剛性を有する。また屋根版は全周ピン支承で支持されている。

図2に損傷が視認できた箇所を重ねた屋根伏図を示す。写真1は被害写真の抜粋である。H通りに注目すると、桁壁中央付近にアンカーボルト引き抜き、モルタル破砕等の損傷が集中し、四隅の9通りでは損傷が見られない。2通りでアンカーボルト破断が生じているが、1,2通り間にエントランス架構が付い

ており、9通りと比較して下部構造の剛性が高く、応力が集中した可能性が考えられる。

下部構造の損傷としては、構面外応答によるRC片持柱の柱脚曲げひび割れや、柱頭をつなぐ梁の面外曲げによるものと思われるひび割れが確認された。

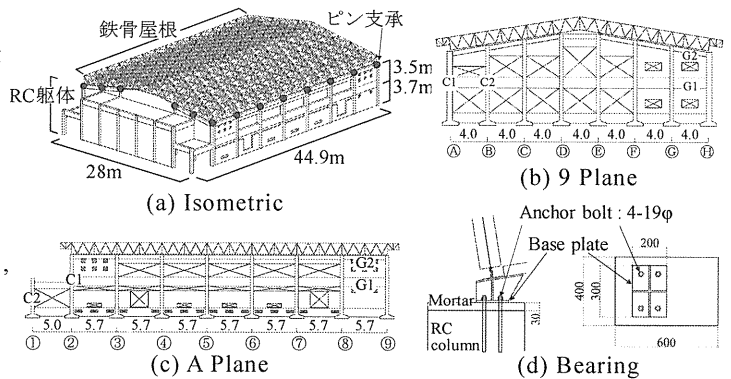


図1 検討体育館

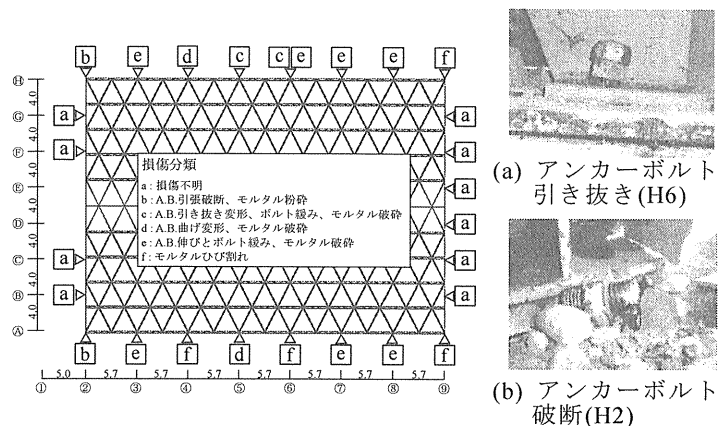


図2 屋根伏図

写真1 被害概要

### 3. 数値解析モデルの設定

#### 3.1 建物モデルの設定

解析には有限要素解析ソフト Marc<sup>5)</sup>を用いた。数値解析モデルを図3に示す。エントランス部を除く等、モデルの簡略化を行っている。RC躯体重量は24kN/m<sup>3</sup>として質量密度で与え、屋根部重量は1kN/m<sup>2</sup>として計算し、節点質量に換算して設定する。

表1に主要部材諸元を示す。柱梁部材は梁要素、壁はトラス要素でモデル化する。壁は等価なせん断剛性を持つブレースに置換し、弾性体とする。梁はコンクリートの曲げひび割れと主筋の曲げ耐力を持つトリリニア型の復元力特性を設定する。使用主筋は

\* : 工学院大学大学院建築学専攻 大学院生, \*\* : 工学院大学建築学部 教授・博士(工学)

SD295, コンクリート圧縮強度は  $24\text{N/mm}^2$  とする。  
 柱は剛体とし, 柱脚に剛性劣化型トリリニアの復元力特性を持つ回転バネを設定する。

屋根部材は弾性梁要素でモデル化し, 山形鋼と等価な断面積と断面二次モーメントを設定する。

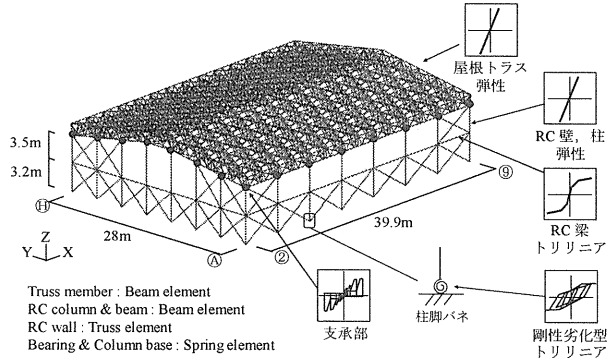


図 3 数値解析モデル

表 1 主要部材緒元

(a) 柱部材

$I_x$ 倍率	C1			C2		
	断面[mm]	ひび割れ Mc[kNm]	主筋降伏 My[kNm]	断面[mm]	ひび割れ Mc[kNm]	主筋降伏 My[kNm]
1	400×600	66	302	400×400	29	176
2	500×700	112	358	400×500	46	232
3	500×800	146	421	400×580	62	283
4	600×830	189	528	500×590	80	289
5	600×900	222	580	500×630	91	314
7.5	600×1030	291	738	500×730	122	377
10	600×1130	350	984	500×750	154	390
15	600×1290	457	1332	500×860	203	598
20	600×1420	553	1481	600×950	478	672
30	700×1550	769	1864	600×1090	326	944
40	700×1700	925	2061	600×1200	395	1053

(b) 梁・壁部材

	断面[mm]	ひび割れ Mc[kNm]	主筋降伏 My[kNm]
G1	400×1150	242	647
G2	400×600	66	241
W1	t=200		

(c) 屋根・支承部材

	トラスT[mm]	L-90×90×7
	アンカーボルト	4-M20, ABR400
	アンカーボルト 降伏強度[N/mm <sup>2</sup> ]	235
	モルタル厚h[mm]	50

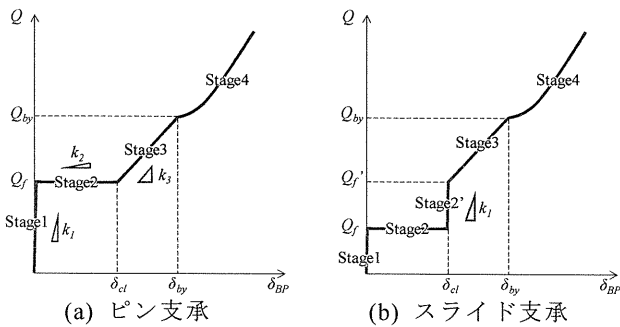


図 4 支承部耐力変位関係の骨格曲線モデル

### 3. 2 支承部モデルの設定

検討建物の屋根は高い剛性を有する斜交立体トラス屋根であり, 伊藤らの実験<sup>3)</sup>で想定する支承部と同様, 支承部に回転が生じないと仮定できる。文献 3)に基づき, ピン支承とスライド支承の耐力  $Q$ —水平変位  $\delta_{BP}$  関係の骨格曲線を図 4 のように設定する。本研究では骨格曲線を 4 つの段階で表す。

段階 1 では, 支承部の滑り出し荷重  $Q_f (= \mu P_V)$  に達するまで剛性  $k_1 = 1 \times 10^6 \text{N/mm}$  で荷重が上昇する。摩擦係数  $\mu$  はピン支承で 0.5, スライド支承で 0.06 とする<sup>3)</sup>。

段階 2 では, 支承部の片側可動域  $\delta_{cl}$  の範囲内を剛性  $k_2 = 1 \times 10^{-1} \text{N/mm}$  でベースプレートが撓動する。スライド支承では, 水平変位  $\delta_{BP}$  が可動域を超えた際, アンカーボルトの変形により敷プレートが押し出される様に撓動し, モルタルとの間に大きな摩擦力が生じる<sup>3)</sup>(段階 2')。敷プレート—モルタル間の摩擦係数  $\mu'$  は 0.5 とする。

段階 3 では, ベースプレートがアンカーボルトに接触しアンカーボルトの曲げ変形が生じる。文献 6) より, 剛性  $k_3$  は弾性床土梁理論に基づいて式(1)で表される。

$$k_3 = n \frac{3EI\beta^3}{(1+h\beta)^3 + 0.5} \quad (1)$$

$$\beta = \sqrt[3]{\frac{k'd}{4EI}} \quad (2)$$

ここで,  $n$  はアンカーボルト本数,  $h$  はモルタル厚である。 $\beta$  は基礎の特性値で, 文献 6) で示されているコンクリート反力係数  $k'$  とアンカーボルト直径  $d$ , アンカーボルトの曲げ剛性  $EI$  を含んでいる。

その後アンカーボルトは曲げ降伏するが, 文献 6) 等ではせん断力を受けるアンカーボルトでは, コンクリート表面より深い位置で塑性ヒンジが形成されることが示されている。従って, 文献 6) に基づいて塑性ヒンジが形成される深さ  $l_m$  を求め, 図 5 のように深さ  $l_m$  を考慮して式(3)により曲げ降伏耐力  $Q_{by}$  を算定する。

$$Q_{by} = n \frac{2M_p}{h+l_m} + \mu P_V \quad (3)$$

$$l_m = \frac{1}{\beta} \tan^{-1} \left( \frac{1}{1+2h\beta} \right) \quad (4)$$

$M_p$  はアンカーボルトの全塑性モーメントである。

曲げ降伏耐力到達後の段階 4 ではアンカーボルト変形角が大きく, 幾何学的非線形性を考慮したアンカーボルトの軸力による耐力式(5)を適用する(図 6)。

$$Q = nN \sin \gamma + \frac{2M}{h+l_m} + \mu(nN \cos \gamma + P_V) \quad (5)$$

$$\gamma = \tan^{-1} \left( \frac{\delta_{BP} - \delta_{cl}}{h+l_m} \right) \quad (6)$$

ここで,  $N$  はモルタル層のアンカーボルト軸力,  $M$  は塑性ヒンジ 1 カ所当たりの曲げモーメントである。

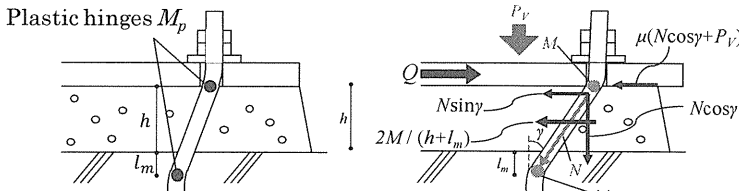


図5 塑性ヒンジ深さ  $l_m$  図6 水平方向の力のつり合い

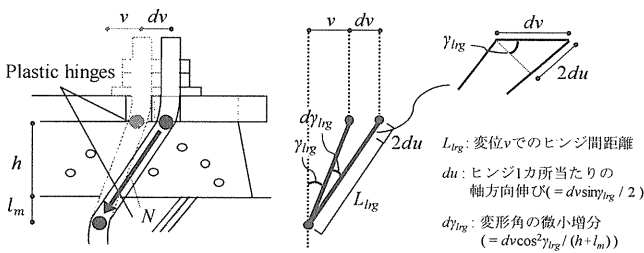


図7 アンカーボルトの微小変形

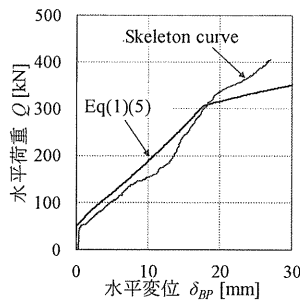


図8 式(1)(5)と骨格曲線<sup>3)</sup>の比較

また  $\gamma$  はヒンジ深さ  $l_m$  を考慮したアンカーボルト変形角である。

伊藤ら<sup>3)</sup>は一般化硬化塑性ヒンジ理論を基にして式(5)中のアンカーボルト軸力  $N$  と塑性ヒンジ部の曲げモーメント  $M$  を算定しているが、繰り返し変形を受けた際の耐力評価は行われていない。

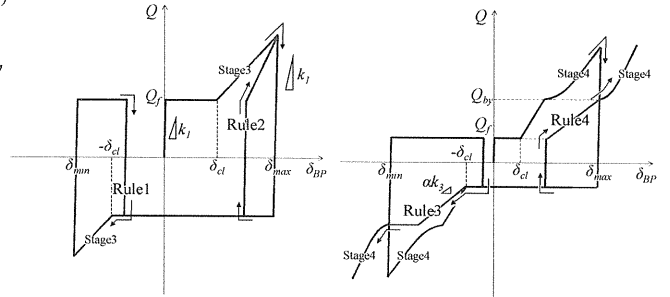
本研究では、アンカーボルトを完全弾塑性体として、降伏曲面上における塑性流れベクトルの法線則を用いて大変形時の耐力評価を行う。全塑性相関式を式(7)で仮定する。

$$\left(\frac{N}{N_y}\right)^2 + \frac{M}{M_p} = 1 \quad (7)$$

ここで、 $N_y$  は降伏軸力である。図7に示すように水平変位が  $v$  増加した後、 $dv$  だけ微小水平変位が増加した際のアンカーボルトの変位増分を考える。変位  $v$  時の変形角を  $\gamma_{lrg}$  とし、曲げ降伏耐力到達時の変位  $\delta_{by}$  における変形角  $\gamma_{lrg} = 0$  とするために式(8)で表す。

$$\gamma_{lrg} = \tan^{-1}\left(\frac{\delta_{BP} - \delta_{by}}{h + l_m}\right) \quad (8)$$

ここで塑性流れベクトルの法線則により式(9)が得られ、式(7)、(9)より、モルタル層のアンカーボルト



(a) 曲げ降伏耐力到達前 (b) 曲げ降伏耐力到達後

図9 支承部耐力変位関係の履歴曲線モデル

表2 変位正側再載荷ルール

	条件1	条件2	処理
Rule1	$\delta_{max} < \delta_{by}$	$\delta_{BP} < \delta_{cl}$	骨格曲線に移行
Rule2	$\delta_{max} < \delta_{by}$	$\delta_{BP} > \delta_{cl}$	最大点指向
Rule3	$\delta_{max} > \delta_{by}$	$\delta_{BP} < \delta_{cl}$	骨格曲線に移行
Rule4	$\delta_{max} > \delta_{by}$	$\delta_{BP} > \delta_{cl}$	点( $\delta_{max}, Q_{by}$ )指向

軸力  $N$  を式(10)で、塑性ヒンジ1カ当たりの曲げモーメント  $M$  を式(11)で表すことができる。

$$\frac{du}{d\gamma_{lrg}} = -\frac{dM}{dN} \quad (9)$$

$$N = \frac{N_y^2 (h + l_m) \sin \gamma_{lrg}}{4M_p \cos^2 \gamma_{lrg}} \quad (10)$$

$$M = M_p - \frac{N_y^2 (h + l_m)^2 \sin^2 \gamma_{lrg}}{16M_p \cos^4 \gamma_{lrg}} \quad (11)$$

伊藤らの実験<sup>3)</sup>より得られた繰り返し履歴曲線から抽出した骨格曲線と、式(1)、(5)により得られた支承部耐力-変位関係を比較して図8に示す。評価式による支承部耐力-変位曲線は、骨格曲線を良好に近似できている。処女載荷となる正側では耐力を良好に近似できるが、負側では過大評価となるため、支承部履歴特性モデルでは式(10)で求めた軸力に0.8を乗じて低減している。

耐力-変位関係の履歴曲線モデルを図9に、再載荷ルールを表2に示す。再載荷ルールでは、曲げ降伏耐力到達の有無と再載荷時のベースプレートの位置を分岐条件とする。曲げ降伏耐力到達後、再載荷ルール3を経て段階3に移行した場合、剛性  $k_3$  に剛性低減率  $\alpha$  を乗じる。低減率  $\alpha$  は実験結果から目視で決定し、式(12)とした。

$$\alpha = \sqrt{\frac{\delta_{by} - \delta_{cl}}{\delta_{max} - \delta_{cl}}} \quad (12)$$

$\delta_{max}$  は最大水平変位である。また、一度段階4を経験し、再度段階4に移行する場合、式(8)の  $\delta_{by}$  を前サイクルまでの  $\delta_{max}$  に更新する。

図 10 に伊藤らの実験結果<sup>3)</sup>と再載荷ルールを適用して求めた支承部の耐力-変位関係の履歴曲線を比較して示す。履歴曲線は実験結果を良好に近似できている。

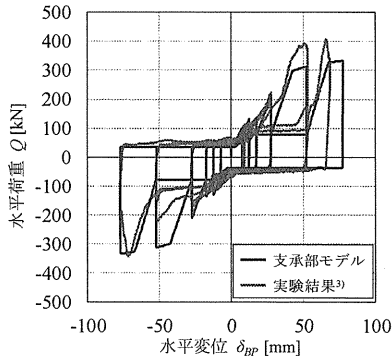


図 10 履歴曲線と実験結果<sup>3)</sup>の比較

### 3. 3 解析条件

本研究では、支承部せん断応力と下部構造の重量、剛性との関係および支承部可動域との関係について検討を行う。検討パラメータは、RC 片持柱の強軸まわりの断面二次モーメント  $I_c$  と、支承部の可動域  $\delta_{cl}$  とする。検討ケース名称を図 11 に、柱の断面諸元を表 1(a)に示す。Pin は全周をピン支承としたモデルで、Slide は四隅をピン支承、その他をスライド支承としたモデルである。

### 3. 4 入力地震波と固有振動特性

減衰定数はレイリー減衰を採用し 1 次、2 次共に 0.03 とする。入力地震波は El centro, Taft, Hachinohe の位相を用い、建築基準法告示に従い作成したレベル 2 地震波とし、解析時間刻みは 0.0002 秒とした。図 12 に各地震波の加速度応答スペクトルを示す。

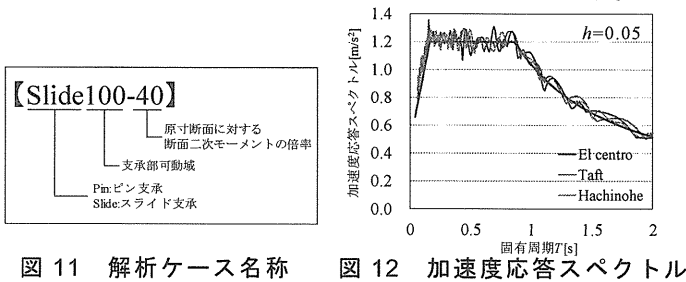


図 11 解析ケース名称

図 12 加速度応答スペクトル

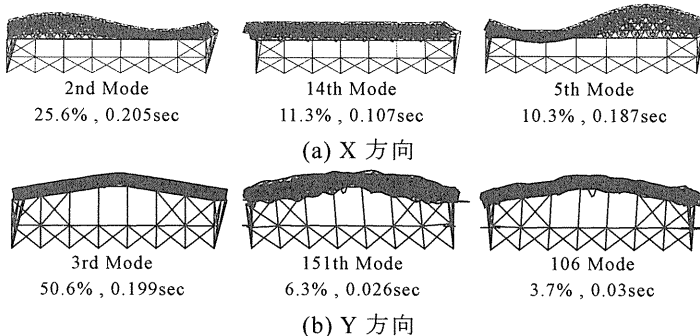


図 13 卓越固有振動モード

図 13 に Pin2.5-1 モデルの主な卓越固有振動モードを示す。X, Y 方向ともに RC 片持架構の独立振動モードが卓越する。X 方向のみ、ラチスシェルの屋根構造設計指針<sup>7)</sup>で報告される屋根面逆対称 1 波モードと片持架構の独立振動モードが連成する。ただし図 13 は支承部剛性が  $k_l$  の場合の振動特性であり、ベースプレートの撓動およびアンカーボルトとの接触により振動特性は変化する。

### 4. 弾塑性支承時刻歴応答解析による地震被害分析

支承部の復元力特性を考慮した Pin2.5-1 モデルで、X 方向を EW, Y 方向を NS とし、El centro 告示波を 30 秒間入力する地震応答解析を行った。下部構造では、全ての RC 片持柱で、構面外応答によって生じる柱脚モーメントがひび割れモーメントに達し、剛性低減が見られた。また面外曲げを受ける桁壁、妻壁の隅梁でも、ひび割れモーメントに達していた。

妻壁、桁壁の構面外最大応答変位を図 14 に、構面外及び構面内方向の支承部最大応答せん断力を図 15 に示す。妻壁に注目すると、RC 片持架構の構面外応答の影響が大きく、中央に向かって支承部変位および構面外方向の支承部応力が増大する。一方桁壁では、屋根並進モードの影響で、隅部の屋根水平変位が大きく支承部応力も大きい。

また妻壁、桁壁ともに構面外方向より構面内方向の支承部応力が大きい。これは屋根の慣性力に加えて、RC 片持架構の構面外応答によって下部構造から屋根に伝わる力を、直交する壁の構面内方向で支持するためである。

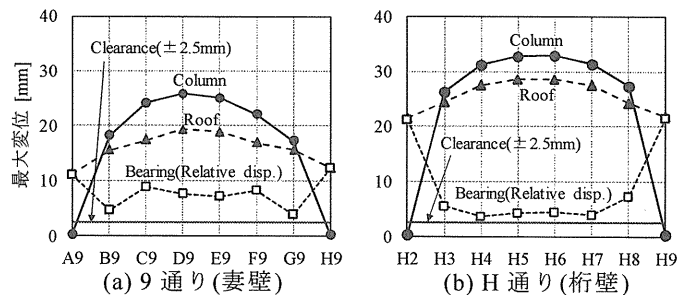


図 14 最大構面外応答変位

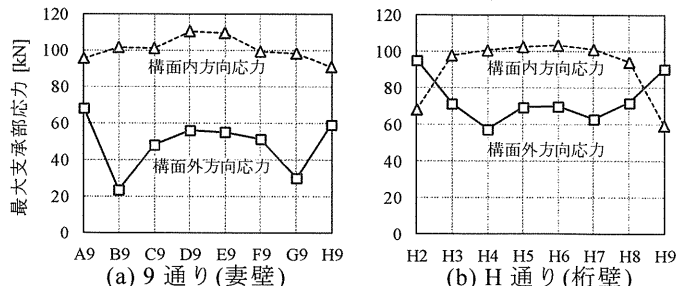


図 15 最大支承部せん断応力

代表として H5 支承部の構面内方向支承部応力-変位関係を図 16 に示す。支承部応力は曲げ降伏耐力  $Q_{by}$  を超え、アンカーボルト変形角は約 1/5 であるため、被害例のようなアンカーボルト伸びなどが生じる可能性が高い。

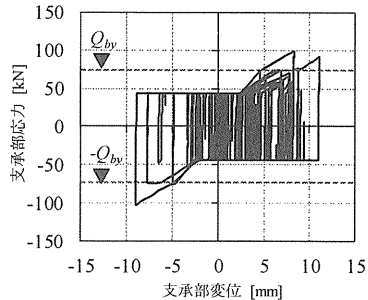


図 16 支承部応力-変位関係(H5)

5. 弾塑支承時刻歴応答解析

5. 1 支承部せん断応力の推定

曲げ降伏しない弾性支承モデルを使用して、標準 3 波の告示波を 10 秒間入力する地震応答解析を行い、支承部せん断応力を評価する。

鉄骨置屋根構造の耐震診断・改修の考え方<sup>2)</sup>によれば、屋根と柱頭が一体となっている場合の、RC 片

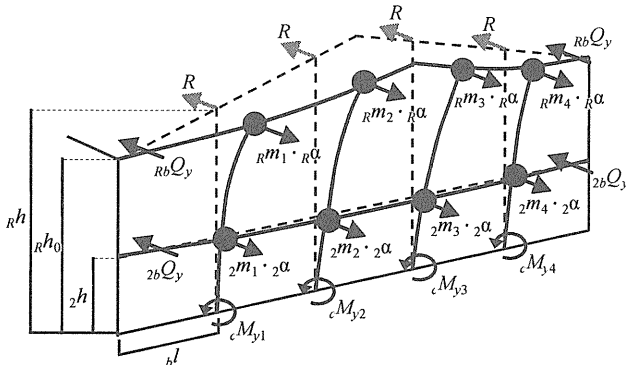
持架構の構面外応答による支承部応力は、図 17 に示すような柱脚でのモーメントのつり合いによって、図中式(13)で評価できる。また、柱頭加速度  $R\alpha$  は屋根剛性・躯体剛性に依存した増幅係数  $F_{GAi}(R_T')$  を乗じた式(14)で表す。

$${}_R\alpha = F_{GAi}(R_T') \cdot Z \cdot R_i \cdot A_i \cdot F_h \cdot C_0 \quad (14)$$

ここに、 $Z$  は地域係数、 $R_i$  は振動特性係数、 $A_i$  はせん断力係数分布、 $F_h$  は減衰による応答低減係数、 $C_0$  はベースシア係数である。文献 2) より  $F_{GAi}(R_T')$  は 1.4、解析結果よりベースシア係数は 0.7 とする。

式(13)による支承部せん断応力評価と、断面二次モーメント  $I_c$  の倍率を 1~40 倍まで変化させた Pin2.5 モデル解析結果を比較して図 18 に示す。縦軸は妻壁中央 D9 支承部の構面外方向最大応力  $R$ 、横軸は屋根版を除いた下部構造のみのモデルの 1 次固有周期  $T_c$  である。評価式(13)は解析結果と概ね近似するが、固有周期が短い場合に評価式が解析結果を大きく下回る。これは、評価式では柱梁の耐力が充足し RC 片持架構が自立するとき、支承部応力は生じないと評価するのに対し、実際にはベースプレートがアンカーボルトに衝突し、応力が生じるためである。

RC 片持架構が自立する場合にも適応できる支承部せん断応力の評価手法を考える。本研究では、柱頭慣性力と支承部応力の関係に注目し、支承部せん断応力を簡易に評価することを試みる。各解析ケースの D9 柱の最大柱頭慣性力  $F_{low}$  と最大支承部応力  $R$  の関係を図 19 に示す。縦軸は、最大支承部応力  $R$  を、下部構造のみのモデルで地震応答解析を行ったときの最大柱頭加速度に柱頭質量を乗じた柱頭加速度  $F_{low}$  で除した値、横軸は下部構造モデルの 1 次固有周期  $T_c$  である。各解析ケースでばらつきはあるが、RC 片持柱が細く固有周期が長いほど、柱頭慣性力に対する支承部応力が大きい傾向にある。



$$R = \left( \sum_i m_i \cdot R \cdot \alpha \cdot h + \sum_i m_i \cdot \alpha \cdot R \cdot h - 2 R_b Q_y \cdot h_0 - 2 2_b Q_y \cdot h - \sum_i c M_{y_i} \right) / (n \cdot h) \quad (13)$$

$m_i$ : 屋根部i番目の質点重量  $h$ : 屋根部質量の重心高さ  $\alpha$ : 屋根棟部の加速度  
 $m_i$ : 2階i番目の質点重量  $h$ : 2階の高さ  $\alpha$ : 2階の加速度  
 $n$ : 屋根部支点数  $M_{y_i}$ : 柱脚の降伏モーメント  $l$ : 隅梁長さ  
 $m_i Q_y$ : 屋根部梁のせん断力(=  $m_i M_y / l$ )  $2_b Q_y$ : 2階部梁のせん断力(=  $2_b M_y / l$ )

図 17 支承部せん断応力評価モデル 2)

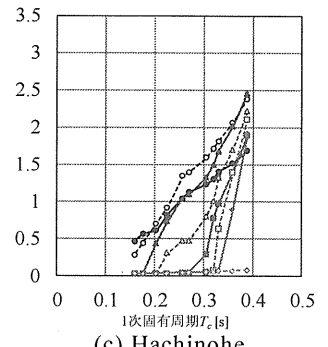
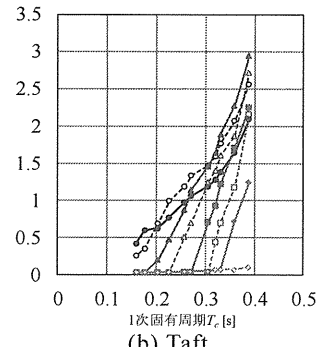
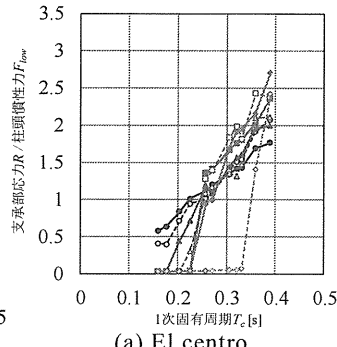
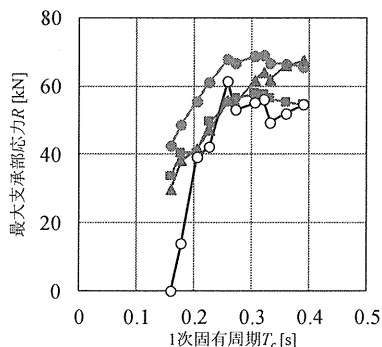


図 18 評価式(13)と解析値の比較

(a) El centro (b) Taft (c) Hachinohe

可動域  $\delta_{cl}$ :  $\circ$ -2.5  $\triangle$ -10  $\square$ -20  $\diamond$ -30  $\blacklozenge$ -40  $\blacktriangleright$ -50  $\blacktriangleleft$ -60  $\blacktriangle$ -100

図 19 支承部応力  $R$  / 柱頭慣性力  $F_{low}$  - 固有周期  $T_c$  関係

各解析より、柱頭変位が支承部可動域内に収まるケースを除いた  $R/F_{low} - T_c$  関係を使用し、図20に示すように最小二乗法による曲線近似を行う。近似曲線は式(15)で表される。

$$R/F_{low} = 17.5T_c^2 - 2.6T_c + 0.4 \quad (15)$$

柱頭節点質量に柱頭加速度(式(14))を乗じて柱頭慣性力  $F_{low}$  を算定し、式(15)の  $R/F_{low} - T_c$  関係を使用することで、支承部の最大応答せん断力  $R$  を推定できる。図21に式(15)を使用した支承部せん断力評価と、Pin2.5モデル解析結果の比較を示す。提案式による評価値が解析値と概ね整合している。

### 5. 2 支承部可動域と支承部せん断力の関係

図22に、各解析ケースのD9支承部最大応力  $R$  - 可動域  $\delta_{cl}$  関係を示す。いずれの地震波でも、多くの解析ケースで、Pinモデルよりも、Slideモデルの支承部せん断力が大きくなっている。

El centro では可動域 40~60mm、Taft、Hachinohe では 10~20mm で支承部せん断力が最大となっており、地震波の特性によって、支承部応力がピークとなる可動域の長さは変化すると考えられる。

いずれの地震波の解析結果においても、Pinモデルでの最大支承部応力に対して、Slideモデルでは最大支承部応力が最大で4~5割ほど増大している。従って、スライド支承として設計する際には、ピン支承として求めた支承部応力に対して、1.5倍の安全率を乗じることで安全側な評価ができると考えられる。

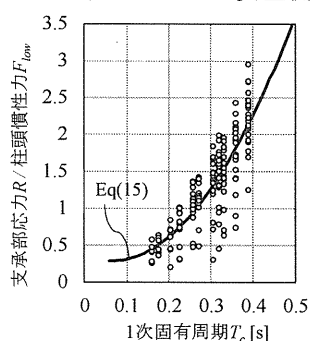


図20 曲線近似(式(15))

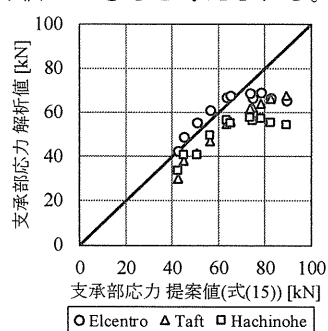


図21 解析値と評価式の比較

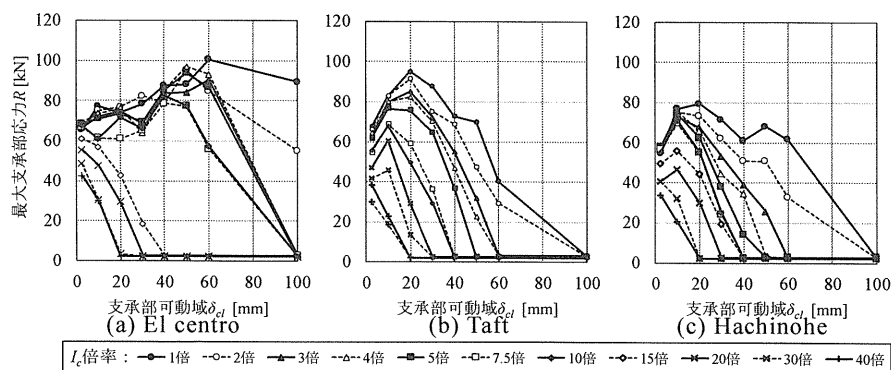


図22 D9 支承部最大応力  $R$  - 支承部可動域  $\delta_{cl}$  関係

### 6. まとめ

- 1) 降伏曲面上における塑性流れベクトルの法線則を用いた支承部履歴特性モデルで、支承部の非線形復元力特性を再現できることを示した。
- 2) ピン支承として設計する場合の最大支承部せん断応力は、支承部応力と片持柱の柱頭慣性力との関係式(15)より推定することが可能である。
- 3) スライド支承として設計する場合、ピン支承として求めた支承部応力に安全率 1.5 を乗じることで、安全側の検討とすることができる。

なお、今回支承部せん断力の評価を行ったが、屋根剛性や支承部剛性、下部構造の形状の変化によって、支承部応力と柱頭慣性力の関係(式(15))は変化する可能性があるため、今後の検討課題としたい。

### 参考文献

- 1) 建築研究振興協会東北耐震診断改修委員会鉄骨置屋根耐震検討WG：東日本大震災における鉄骨置屋根構造の被害調査報告，2012.8
- 2) 日本建設技術高度化機構：鉄骨置屋根構造の耐震診断・改修の考え方，技報堂出版，2015.9
- 3) 伊藤賢治：せん断が支配的な置屋根支承部の復元力特性，2018年度工学院大学工学研究科建築学専攻修士論文梗概集
- 4) 成田和彦，竹内徹，松井良太：RC妻面架構を有する鉄骨屋根体育館の耐震性能，日本建築学会構造系論文集 第73巻 第629号，pp.1895-1904，2013.11
- 5) MSC Software, Marc® 2017, Volume A: Theory and User Information, Volume B: Element library, Volume D: User Subroutines and Special Routines, 2017
- 6) 白井佑樹，山田哲，坂田弘安：一方向せん断力を受ける頭付きアンカーボルトと接着系アンカーボルトへの弾性床上梁理論の適応とその整合性に関する研究，日本建築学会構造系論文集 第81巻 第724号，pp.993-1003，2016.6
- 7) 日本建築学会：ラチスシェル屋根構造設計指針，2016.11

## 本体建物の振動特性を考慮した大スパン片持屋根構造の地震応答評価

大スパン片持屋根，常時微動計測，地震応答  
 地震応答，上下応答

荒井 雄大\* 山下哲郎\*\*

### 1. はじめに

スタジアム屋根<sup>(1)</sup>をはじめとして，大規模な片持屋根を有する建築物が増えている．地震時には片持屋根の上下方向に大きな加速度が生じることが予想される．構造体の設計のみならず，2011 年の東北地方太平洋沖地震で天井や照明等の落下が多発したように，非構造部材の落下防止には地震時に生じる加速度を事前に想定することは重要である．しかし，地震時の振動特性は明らかになっておらず，現在のところ大規模な片持屋根の地震荷重設定法は提案されていない．

本研究ではまず，実在するはね出し長さ 14m におよぶ片持屋根を対象に常時微動計測を実施し，片持屋根の振動特性同定を試みた．計測結果の分析から，片持屋根には屋根単体の固有振動モードに加え，主架構の水平変形に励起されるモードの存在が判明した．

解析によるスタディでは，まず，建物を片持屋根が単層構造物に支持される解析モデルに単純化し，主架構の曲げ剛性をパラメトリックに変化させることで主架構の振動特性が与える片持屋根の地震応答特性を分析する．常時微動計測で確認した屋根の主架構の水平変形によって励起される上下振動と屋根単体で振動するモードの固有周期が近接すると水平地震動のみで屋根の応答が急増することが判明した．

最後に，以上の検討を通して，大規模な片持屋根を有する架構の設計に必要な地震応答特性に関する知見を得る．

### 2. 大スパン片持屋根の常時微動計測例

#### 2.1 常時微動計測概要

常時微動計測は工学院大学八王子校舎 18 号館の片持屋根(写真 1)を対象に行った．対象建物は，はね出し長さ 14m，面積約 400m<sup>2</sup>の大規模な片持屋根を有している．建物と屋根の概要を表 1 に示す．片持梁は図 1 に示すようにテーパ断面となっており，屋根の外装仕上げは鉄板である．またアルミ樹脂複合板を箱曲加工した吊り天井を有する．

図 2 に計測位置を平面，立面図にそれぞれ示す．BF1, 1F, 3F, RF を計測階とし，図 1 で示した梁の先端から 1.2m 手前位置を平面，立面図にそれぞれ示す．BF1, 1F, 3F, RF を計測階とし，図 1 で示した梁の先端から 1.2m 手前を片持屋根の計測点とした．図 2(a)に示すように建物の東側を計測範囲とし，常時微動計測にはサーボ型速度計 VSE-15D を使用した．同時計測可能なチャンネル数の制限から，図 2(b)に示すように地下 1 階，片持屋根先端の X(水平)，Z(鉛直)の 2 方向を同時計測する 2 台 1 組の固定計測点，1F, 3F, RF を移動計測点とした．移動計測点では計測回毎に X 方向と Z 方向を入れ替え，2 方向の計測終了後，計測階を移動する．基盤入力に対する各計測点の伝達関数を同定するため，各階の計測点と BF1 の計測点は同時に計測している．各計測 1 回の計測時間は 500 秒とし，サンプリング周波数は 100Hz で計測を行った．

表 1 対象建物概要

建物	
竣工	2006
建物高さ	20.24m
階	BF1~3F
構造形式	S・RC
基礎	直接基礎
片持ち屋根	
はねだし長さ	14.4m
スパン	19m
面積	400m <sup>2</sup>



写真 1 大スパン片持屋根

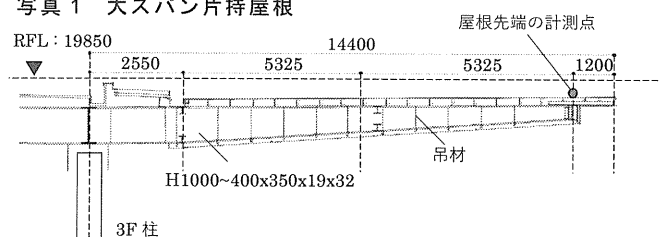
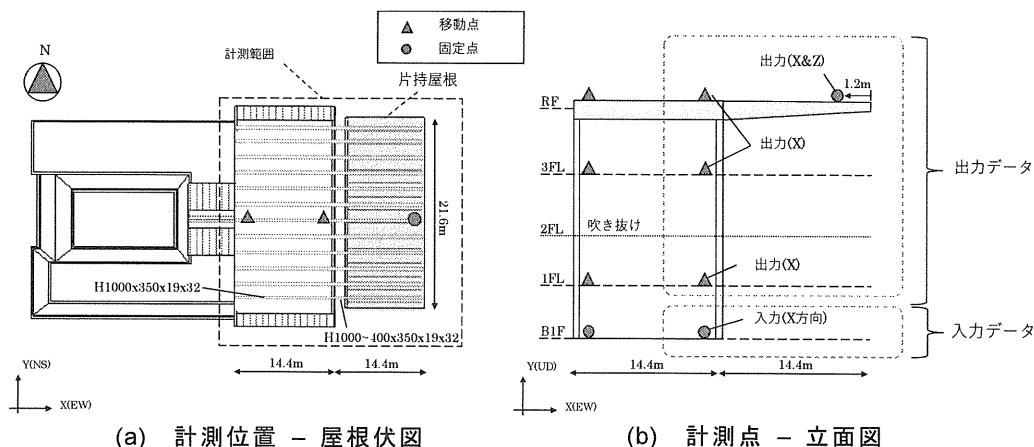


図 1 片持屋根の断面と先端の計測点

#### 2.2 片持屋根の上下振動モード

常時微動計測によって得られた RF (右柱上) の水平成分，片持屋根先端の鉛直成分のフーリエスペクトルを図 3(a),(b)にそれぞれ示す．同図共に 3.2Hz 付近にピークがあるが，片持屋根の鉛直成分には，RF の水平成分には存在しない 4.5Hz 付近のピークが確認できる．図 3(c)に上記 2 つのスペクトルを重ねたもの

\* : 工学院大学大学院建築学専攻 大学院生，\*\* : 工学院大学建築学部 教授・博士 (工学)



(a) 計測位置 - 屋根伏図 (b) 計測点 - 立面図

図 2 計測位置関係

を示す。なお、スペクトルの第 1 縦軸は RF の水平、第 2 縦軸は片持屋根の振幅成分にそれぞれ対応している。同図に示すように計測対象である片持屋根には、3.2Hz 付近のピークの一致から主架構の水平変形によって励起される上下振動モード、4.5Hz 付近の屋根単体の上下振動モードが存在すると考えられる。

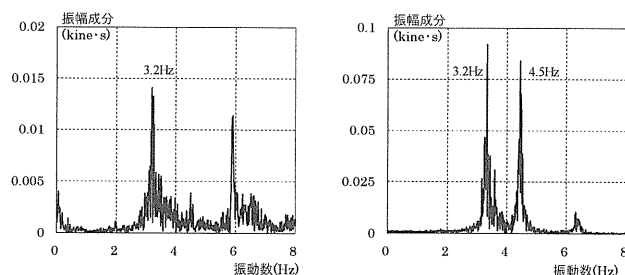
主架構の水平変形が片持屋根の振動に与える影響を分析するために、建物の 1 次固有振動モード形を同定する。振動モード同定は下式のクロス・スペクトル法<sup>(3)</sup>によって算定した。

$$\overline{H(f)} = \frac{\overline{G_{yx}}}{\overline{G_{xx}}} \quad (1)$$

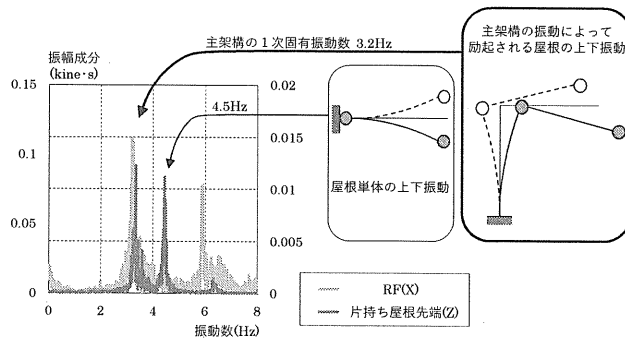
ここに、 $\overline{H(f)}$  は伝達関数、 $\overline{G_{xx}}$  は入力のパワースペクトル、 $\overline{G_{yx}}$  は入力に対する応答のクロス・スペクトルで、周波数領域において平均化操作を行うことでノイズを除去した伝達関数を算出している。クロス・スペクトル法により算出した伝達関数にモード展開によって導出した式(2)に示す理論式<sup>(4)</sup>をカーブフィッティングすることで固有振動数、減衰定数、刺激関数を同定する。

$$H(f) = 1 + \frac{\beta u_i f^2}{-f^2 + 2ih_i f + f_i^2} \quad (2)$$

ここに、 $H(f)$  は伝達関数、 $f$  は振動数、 $\beta u_i$ 、 $h_i$ 、 $f_i$  はそれぞれ  $i$  次モードでの各計測点の刺激関数、減衰定数、固有振動数である。上記の方法で同定した RF(X) と片持屋根先端(Z)の伝達関数を図 4(a)(b)に示す。最上層の計測点である RF(X)の伝達関数より、3.2Hz 付近に卓越するモードを建物の 1 次固有振動数とした。図 4(b)は基盤入力(X)に対する片持屋根先端(Z)の伝達関数を示しており、卓越するモードが建物の 1 次固有振動数と一致していることから、屋根には水平振動によって励起されるモードが存在すると考えられる。



(a) RF(X) (b) 片持屋根先端(Z)



(c) 振動モード

図 3 片持屋根の振動特性

各階の伝達関数にカーブフィッティングすることで得られた振動特性値を表 2 に示し、図 4(c) に同定した 1 次固有振動モードを示す。図中の値は刺激関数を表しており、主架構の水平変形が屋根の上下振動を励起している。同定した主架構の 1 次固有周期と屋根単体の固有周期が共振した場合には、主架構の水平応答によって屋根に急激な応答増幅が生じる可能性がある。

### 3 主架構との共振による片持屋根の地震応答

#### 3.1 解析モデルについて

以降は、主架構の振動特性が与える片持屋根の地震応答と、主架構との共振による応答増幅を解析によって分析する。計測対象である建物を簡略化した図 5 に示す弾性解析モデルを用いて大スパン片持屋根の地震応答特性を分析する。解析モデルは片持屋根が



単層ラーメンに支持される構造体を想定し、高さ  $H=5\text{m}$ 、柱間スパン  $L_1=5\text{m}$  の主架構フレームに対して片持梁長さ  $L_2=5\text{m}, 7.5\text{m}, 10\text{m}$  の 3 種類とする。柱脚は固定とし、柱頭と梁は剛接合とする。片持梁と主架構の梁の断面は同一とする。表 3 に部材諸元を示す。柱の曲げ剛性をパラメトリックに変化させることで主架構の振動特性が与える片持屋根の地震応答特性を明らかにする。解析モデル重量は主架構側の梁重量を  $36\text{kN/m}$ 、片持屋根の重量を  $5.88\text{kN/m}$  とした。解析コードは Opensees2.5.0<sup>(5)</sup> を使用する。

### 3.2 固有値解析

固有値解析結果を図 6 に示す。図 6(a) は 1, 2 次モードの固有周期が互いに離れている  $L_2=5\text{m}$  モデルの振動モードを示しており、1 次に主架構の水平変形が卓越し、2 次に片持屋根単体で上下に振動するモードが現れている。1, 2 次モードの固有周期を  $T_1, T_2$  とし、モード間の周期の近接を表す周期比  $T_2/T_1$  を定義すると

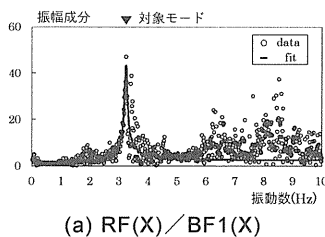
$T_2/T_1=0.41$  となる。次に、主架構の水平変形が卓越するモードと屋根の上下振動モードの固有周期を近づけるために、主架構の水平剛性を変化させる。図 7 に  $T_2/T_1$  と 1, 2 次モードの有効質量比  $M_1^{(eff)}, M_2^{(eff)}$  の関係を示す。互いの周期が近接すると、2 次の有効質量比  $M_2^{(eff)}$  が増加し、最も周期比が大きくなると、有効質量比  $M_1^{(eff)}, M_2^{(eff)}$  が共に 50% になることが分かる。このときの  $L_2=5\text{m}$  モデルの 1, 2 次の振動モードは図 6(b) に示すように、主架構の水平変形と片持屋根の上下振動が組み合わさったモードが卓越している。常時微動計測結果同様に、主架構の水平変形が卓越するモードと屋根の上下振動モードが近接すると、水平入力地震動のみで屋根に大きな応答加速度が生じる可能性がある。以降は時刻歴応答解析を行い、共振による屋根の応答増幅を分析する。

### 3.2 共振による片持屋根の応答増幅

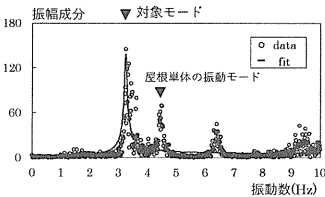
次に、周期比  $T_2/T_1$  をパラメーターとして片持屋根の地震応答特性を分析する。また、入力地震波は ElCentro NS, Taft EW, Hachinohe EW の位相特性を用い、建築基準法告示<sup>(6)</sup>に従い作成したレベル 2 地震波とする(図 8)。主架構の水平応答に対する屋根の応答増幅率  $F_A$  を下式に定義する。

$$F_A = \frac{A_{Vmax}}{A_{Hmax}} \quad (3)$$

ここに、 $A_{Hmax}$  は図 5 で示した節点 b の水平方向の最大応答加速度、 $A_{Vmax}$  は節点 a の上下方向の最大応答加速度である。減衰定数はレイリー減衰を採用し 1 次、2 次共に 0.02 とする。 $T_2/T_1$  に対する応答増幅率  $F_A$  の関係を図 9 に示す。各モデル共通で  $T_2/T_1$  が 1 に近づ



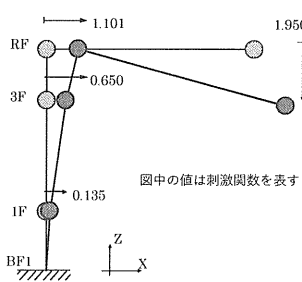
(a) RF(X)/BF1(X)



(b) 屋根先端 (Z)/BF1(X)

表 2 振動特性値

伝達関数	振動数	刺激関数	減衰定数
1F(X)/BF1(X)	3.19Hz	0.135	0.017
3F(X)/BF1(X)	3.21Hz	0.65	0.016
RF(X)/BF1(X)	3.23Hz	1.101	0.021
屋根先端(Z)/BF1(X)	3.21Hz	1.95	0.017



(c) 建物 1 次モード形

図 4 片持屋根の振動特性

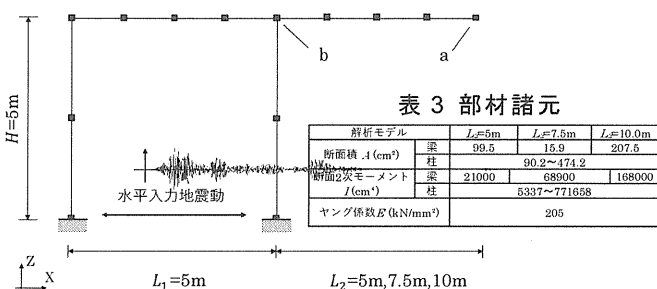


図 5 解析モデル

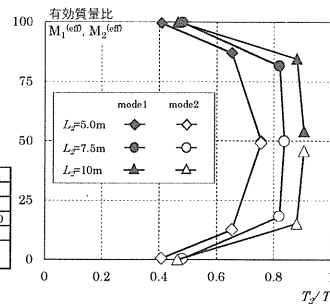


図 7  $M_1^{(eff)}, M_2^{(eff)} - T_2/T_1$

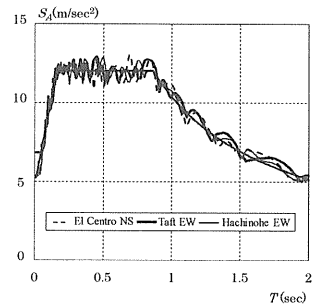
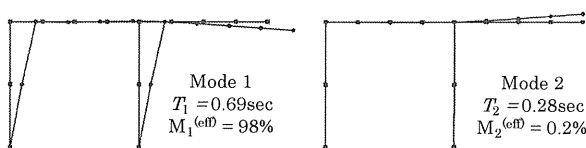
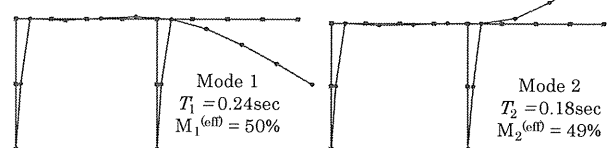


図 8 加速度スペクトル



固有周期比  $T_2/T_1=0.41$

(a) 1, 2 次モードの固有周期が離れている



固有周期比  $T_2/T_1=0.75$

(b) 1, 2 次モードの固有周期が最も近接している

図 6 片持屋根の振動特性

くと、応答増幅率  $F_A$  が増加していることが分かる。  
 次に、主架構と片持屋根の地震応答関係を簡単に考えるために、文献(7)を参考に周期比  $R_T$  を定義する。

$$R_T = T_{eq} / T_R \quad (4)$$

ここに、 $T_{eq}$  は建物の縮約 1 質点モデルの等価固有周期で、図 10(a)に示すように層の水平剛性から求めた。 $T_R$  は片持屋根の固有周期で、数値解析で求めることも可能であるが、図 10(b)に示すように、支持端に回転バネを有する片持梁モデルに置換し、変位関数を仮定して算定できる。図中  $E$  はヤング係数、 $I_b$  は梁の断面 2 次モーメント、 $m_R$  は片持梁の単位長さあたりの質量、 $y_T$  は先端の振幅成分である。回転剛性  $K_0$  は建物と片持梁の建物側の接合部節点に単位曲げモーメントを与えたときの曲げモーメント—回転角の関係から算出する。以上の梁モデルに式(5)に示すように、回転剛性  $K_0$  による片持梁の剛体回転項をもつ変位関数を仮定すると、式(6)のように片持屋根の固有円振動数  $\omega_R$  を得る(8)。

$$y = y_T \left( 1 - \cos \frac{\pi}{2L_2} x + \frac{\pi^2 E I_b}{4K_0 L_2^2} x \right) \sin \omega_R t \quad (5)$$

$$\omega_R = \sqrt{\frac{2 \left( \frac{E I_b \pi^4}{64 L_2^3} + \frac{E^2 I_b^2 \pi^4}{32 K_0 L_2^2} \right)}{m}} \left/ \left( \left( \frac{3}{2} - \frac{4}{\pi} \right) L_2 + \frac{E I_b \pi^2}{4 K_0} + \frac{E I_b \pi^2}{K_0} \left( \frac{2}{\pi^2} - \frac{1}{\pi} \right) + \frac{E^2 I_b^2 \pi^4}{48 K_0^2 L_2} \right) \right. \quad (6)$$

図 10(c)は  $T_2/T_1$  と式(4)で求めた  $R_T$  を比較したもので、 $R_T=1$  近傍で  $T_2/T_1$  が最も大きくなっている。図 11

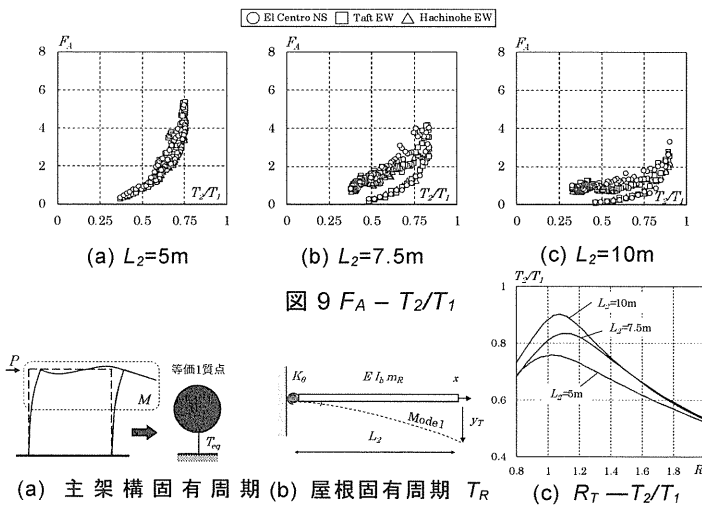


図 10  $R_T$  の定義

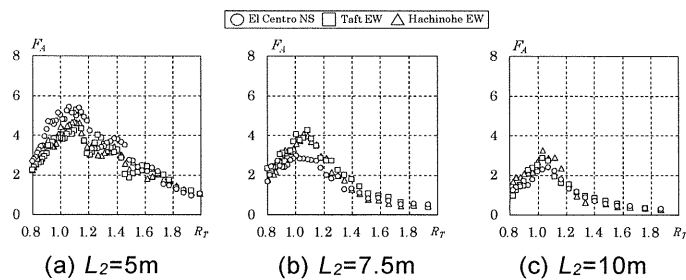


図 11  $R_T - F_A$

は応答増幅率  $F_A$  と  $R_T$  の関係を描いたもので、 $R_T$  によっても応答増幅のピークを捉えることが出来る。なお、文献(7)では、主架構とラチスシェル屋根の質量比を  $R_M$  で定義し、 $R_M$  が大きいとき、 $R_T=1$  近傍で屋根面の応答が極端に増幅するとしている。 $R_M$  を導入した応答評価については後述する。

#### 4. 多層架構に支持された片持屋根の応答特性分析

ここでは、屋根の応答は屋根支持層の接合部剛性や主架構の曲げ変形成分によって増減することを示す。例えば、柱頭ピンの単層ラーメンに支持される片持屋根は、柱の伸縮を無視すると水平地震力が作用しても変形は生じず、上下振動は生じない。しかし、屋根が高さのある重層構造で支持される場合、支持層の接合条件に関わらず柱の伸縮を伴う主架構全体の曲げ変形により屋根の上下振動は生じる。そこで、重層構造物に支持された片持屋根を検証モデルに加え、主架構の質量、曲げ変形成分が屋根の地震応答に与える影響を分析する。

解析モデルは、図 12 に示す 4 層ラーメンで、主架構の 1 次モードに曲げ変形成分が卓越すること、片持屋根と短周期で共振することを考慮しブレース構造とした。屋根支持の柱頭支持条件による応答増幅特性を検証するため柱頭剛接合、ピン接合の 2 種類を検証モデルとする。モデルの重量設定は 3 章の単層ラーメンと同様とし、表 4 に部材諸元を示す。解析モデルは図 13(a)に示すように主架構に  $A_i$  分布に基づき Pushover 解析し、限界耐力計算法によって得られる

表 4 部材諸元

4層モデル		Rigid / Pin
断面積 $A$ (cm <sup>2</sup> )	梁	187.2
	片持ち梁	263.5
	柱	656.3
	ブレース	2~300
断面2次モーメント $I$ (cm <sup>4</sup> )	梁	114000
	片持ち梁	286000
	柱	407000
ヤング係数 $E$ (kN/mm <sup>2</sup> )		205

表 5 設計荷重

i層	$\Sigma W_i$	$\alpha_i$	$A_i$	$C_i$	$Q_i$ (kN)
4	343.0	0.287	1.571	0.314	107.7
3	627.2	0.525	1.281	0.256	180.6
2	911.4	0.762	1.117	0.223	244.0
1	1195.6	1.000	1.000	0.200	300.9

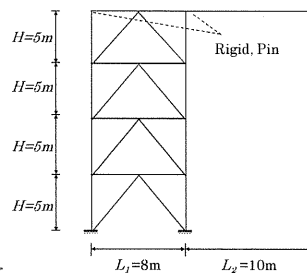


図 12 解析モデル(4層+ブレース)

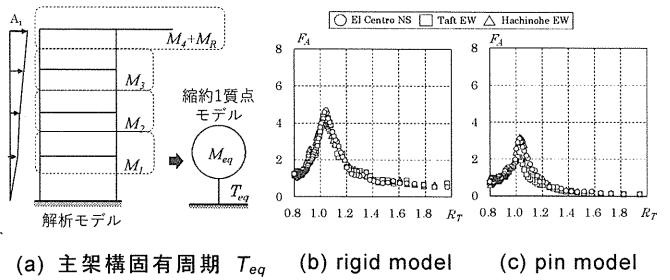


図 13  $R_T - F_A$

縮約 1 質点モデルの固有周期  $T_{eq}$  が短周期領域に収まるよう設計する. 具体的には  $0.2\text{sec} \sim 0.6\text{sec}$  に収まるように, プレースの断面をパラメトリックに変化させる. 外力算定に必要な設計荷重を表 5 に示す.

得られた縮約 1 質点の固有周期  $T_{eq}$  と屋根の固有周期  $T_R$  で式(4)より  $R_T = T_{eq} / T_R$  を求める. 以上で算出した  $R_T$  と時刻歴応答解析で得られた応答増幅率  $F_A$  を図 13(b),(c) に示す. なお,  $F_A$  は最上層の水平応答加速度  $A_{Hmax}$  と片持屋根先端の鉛直応答加速度  $A_{Vmax}$  の比である. 同図から分かるように重層構造物においても  $R_T$  によって応答増幅のピークを捉えることができる. また柱頭ピン支持にすることで応答が低減していることが分かる.

上述の特性をもとに, 片持屋根の設計用加速度の設定を試みる. まず,  $R_T=1$  近傍での主架構と片持屋根の質量比の影響を分析する. 文献(7)を参考に次式で  $R_M$  を定義する.

$$R_M = M_{eq} / M_R \quad (8)$$

ここに,  $M_{eq}$  は主架構の縮約 1 質点の等価質量,  $M_R$  は本来であれ, 片持屋根の等価質量であるが, 総質量で近似できるとした. 主架構の質量  $M_{eq}$  を変化させ, 単層モデルを  $4 < R_M < 11$ , 4 層モデルを  $15 < R_M < 25$  の範囲で  $R_M$  を変化させたときの  $R_T=1$  近傍での応答増幅率(3 波平均)の関係を図 14 に示す.  $R_M$  の増加と共に応答増幅率の最大値が大きくなっている.

### 5. L 字 2 自由度系を用いた片持屋根の加速度推定

以上より, 片持屋根の地震応答は主架構の振動特性によって増幅し, 主架構と共振する  $R_T=1$  近傍では, 質量比  $R_M$  も地震時の応答に大きく影響を与える

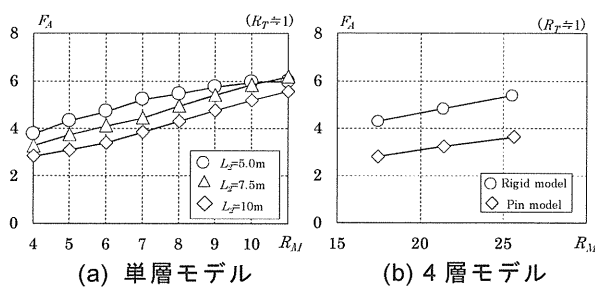


図 14 質量比  $R_M$  を変化させたときの応答増幅率

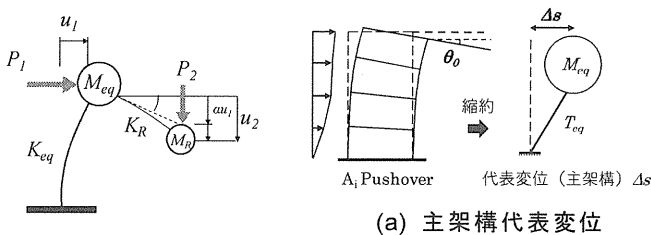


図 15 L 字 2 質点モデル

ことが分かった. 水平地震動に対する片持屋根の応答加速度推定には, 文献(10)を参考に全体解析モデルを図 15 に示すように  $u_1, u_2$  を自由度とする L 字 2 自由度系に簡略化し, 屋根の応答増幅率を誘導する.  $K_R, K_{eq}$  はそれぞれ片持屋根, 主架構の等価剛性で式(9)(10)で求めた.

$$K_{eq} = \frac{4\pi^2}{T_{eq}^2} M_{eq} \quad (9) \quad K_R = \frac{4\pi^2}{T_R^2} M_R \quad (10)$$

図中  $au_1$  は主架構の傾きによる片持屋根を剛体として仮定したときの正味の変形量で,  $(u_2 - au_1)$  が片持屋根の変形量である.  $\alpha$  を次式で定義する.

$$\alpha = \Delta R_s / \Delta s \quad (11)$$

ここに,  $\Delta s$  は図 16(a) に示すように Pushover 解析で得られる主架構の代表変位  $\Delta s$  で自由度  $u_1$  に相当する.  $\Delta R_s$  は Pushover 解析で得られる剛体片持屋根の代表変位で以下のように定めた. Pushover 解析で建物の 1 次モード形が決まると仮定すると, 片持屋根先端の上下変形量は図 16(b) に示すように接合部回転角  $\theta_0$  とはね出し長さ  $L_2$  を用いて  $\theta_0 L_2$  となる. 等分布質量の逆三角形振動モードは重心位置の変形量が縮約の代表変位となるので式(12)が  $\Delta R_s$  となる.

$$\Delta R_s = \frac{2}{3} \theta_0 L_2 \quad (12)$$

次に, L2DOF に外力  $P_1, P_2$  が作用した時の変形から剛性マトリクスを誘導する. 全ポテンシャルエネルギー  $\Pi$  は

$$\Pi = \frac{1}{2} K_{eq} u_1^2 + \frac{1}{2} K_R (u_2 - \alpha u_1)^2 - P_1 u_1 - P_2 u_2 \quad (13)$$

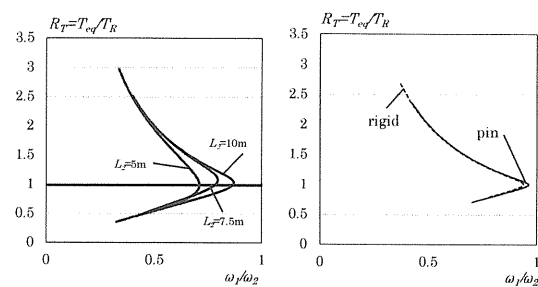


図 17  $R_T - \omega_1 / \omega_2$

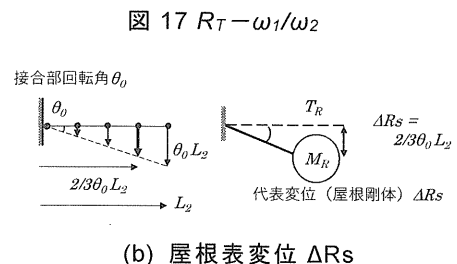


図 16  $\alpha = \Delta R_s / \Delta s$  の定義

II の停留条件より剛性マトリクスを誘導する.

$$\begin{Bmatrix} P_1 \\ P_2 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} K_{eq} + \alpha^2 K_R & -\alpha K_R \\ -\alpha K_R & K_R \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_1 \\ u_2 \end{Bmatrix} \quad (14)$$

水平方向の入力地震動  $\ddot{u}_o$  に対する運動方程式は

$$\begin{bmatrix} M_{eq} & 0 \\ 0 & M_R \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{u}_1 \\ \ddot{u}_2 \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} K_{eq} + \alpha^2 K_R & -\alpha K_R \\ -\alpha K_R & K_R \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_1 \\ u_2 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} M_{eq} & 0 \\ 0 & M_R \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} 1 \\ 0 \end{Bmatrix} \ddot{u}_o \quad (15)$$

以上より L2DOF の固有値方程式は次式で表される.

$$\left( \begin{bmatrix} K_{eq} + \alpha^2 K_R & -\alpha K_R \\ -\alpha K_R & K_R \end{bmatrix} - \omega_i^2 \begin{bmatrix} M_{eq} & 0 \\ 0 & M_R \end{bmatrix} \right) \begin{Bmatrix} \phi_{i1} \\ \phi_{i2} \end{Bmatrix} = \{0\} \quad (16)$$

ここに  $\phi_{i1}$ ,  $\phi_{i2}$  はそれぞれ  $i$  次の固有モードである. 固有値問題を解くことで得られる L2DOF の 1,2 次の固有円振動数比  $\omega_1/\omega_2$  と  $R_T$  の比較を図 17 に示す.  $R_T=1$  のときに  $\omega_1/\omega_2$  が 1 に近づいていることが分かる.

式(16)から固有モードを導出すると下式で表される.

$$\frac{\phi_{i2}}{\phi_{i1}} = \frac{\alpha}{1 - \left(\frac{\omega_i}{\omega_R}\right)^2} \quad (17)$$

ここに,  $\omega_R$  は式(6)から求められ. 水平方向入力に対する  $i$  次モードの刺激係数  $\beta_i$  は

$$\beta_i = \frac{\begin{Bmatrix} \phi_{i1} \\ \phi_{i2} \end{Bmatrix}^T \begin{bmatrix} M_{eq} & 0 \\ 0 & M_R \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} 1 \\ 0 \end{Bmatrix}}{\begin{Bmatrix} \phi_{i1} \\ \phi_{i2} \end{Bmatrix}^T \begin{bmatrix} M_{eq} & 0 \\ 0 & M_R \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \phi_{i1} \\ \phi_{i2} \end{Bmatrix}} = \frac{\phi_{i1}}{\phi_{i1}^2 + \phi_{i2}^2 / R_M} \quad (18)$$

1,2 次の固有ベクトルについて図 8 に示した加速度スペクトルに対する応答加速度  $S_{A1}$ ,  $S_{A2}$  を SRSS 法で合成し屋根質点の鉛直応答加速度  $A_R$  を得る.

$$A_R = \sqrt{\sum_{i=1}^2 \frac{\left[ \frac{\alpha}{1 - (\omega_i/\omega_R)^2} S_{A_i}(T_i, h_i) \right]^2}{1 + \left[ \frac{\alpha}{1 - (\omega_i/\omega_R)^2} \right]^2 \frac{1}{R_M}}} \quad (19)$$

以上によって得られた屋根質点の応答加速度  $A_R$  を一般化座標系とすると,全体座標系である片持屋根先端の応答加速度  $A_V$  は下式

$$A_V = \beta_T A_R \quad (20)$$

ここに,  $\beta_T$  は式(5)で与えた変位関数から得られる片持屋根先端の刺激関数で本研究での代表値は概ね  $\beta_T=1.6$  である. 以上が片持屋根先端の応答加速度  $A_V$

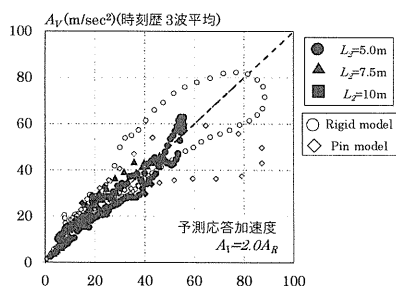


図 18 予測式の精度

の誘導であるが, 図 18 に示すように安全率  $\gamma=1.25$  を与えて時刻歴応答解析に概ね一致するように片持屋根先端の設計用加速度を次式で設定する.

$$A_V = \beta_T A_R \gamma = 2.0 A_R \quad (21)$$

さらに, 得られた片持屋根先端の鉛直応答加速度から, 鉛直応答加速度分布を下式で定義する.

$$A_v(x) = 2.0 A_R \left( 1 - \cos \frac{\pi}{2L_2} x \right) \quad (22)$$

上式は片持屋根接合部からの長さを関数としたもので  $R_T$  と  $R_M$  の関数となっている.

以上示したように, 大スパン片持屋根の設計荷重は, 主架構の振動特性との相関関係によって決定する必要がある. なお, 今回考慮しなかった上下方向の地動入力に対する応答は今後の課題となる.

## 6. まとめ

本研究では, 最初に大スパン片持屋根が重層構造物に支持された構造物の常時微動計測を行った. その計測の考察に基づき, 片持屋根が重層構造物に支持される単純な解析モデルを用いて, 主架構の固有周期をパラメトリックに変化させることで主架構との共振による応答増幅率を分析し, その推定を試みた.

建物全体を L 字 2 自由度モデルに縮約し, 屋根質点に応答スペクトル法を適用し, 得られた加速度から等価静的地震力を設定した.

本研究では, 単純な重層構造物に支持された片持屋根を解析対象としているが, サッカースタジアムのように複雑な主架構が片持で大スパン屋根を支えるような構造物への適用や, 上下動入力に対する応答評価は今後の課題とする.

## 参考文献

- 1) 細澤治, 水谷太朗, 河本真一郎, 村瀬正樹, 菅野貴孔, 小林裕明: 新国立競技場整備事業の耐震設計, 日本建築学会大会, 構造部門 (シエル・空間構造) パネルディスカッション資料, 2018.9
- 2) 笠井和彦, 村田真一郎, 加藤史郎, 引野剛, 大木洋司: 振動台の回転を加味した建物試験体の周期・減衰・モード形の同定法, 日本建築学会構造系論文集, 第 670 号, pp.2031-2040, 2011
- 3) Open System for Earthquake Engineering Simulation <http://opensees.berkeley.edu/> (2017 年 4 月閲覧)
- 4) 建設省建築研究所, 財団法人日本建築センター; 設計用入力地震動作手法技術指針 (案), 1992
- 5) 日本建築学会: ラチス屋根構造設計指針, 2016
- 6) Anil K. Chopra: Dynamics of Structures, 3rd Edition, 2006

## 各種都市建築物の非構造部材における性能評価と機能継続に関する研究

### 一都市高層ビルにおけるドローン外壁劣化度調査と評価システム

ドローン、都市高層ビル、外壁調査、ひび割れ

川村 順平\*1 田村雅紀\*2 村上正浩\*3

金山 直司\*2 新藤敦\*2

#### 1. はじめに

既存建築の維持管理において、健全性診断と長寿命化が現在課題となっている。中でも、外壁検査に関しては建築基準法第 12 条において建築物の定期検査報告等が義務付けられており、半年～3 年に一度の調査さらに竣工から 10 年を経過した建築物については全体打診等の調査が求められている。しかし、その調査では仮説の足場等が必要不可欠であり費用や時間が嵩む。さらに、検査員の調査能力によって判定精度のバラつきが生じる等の問題点が考えられる。

そこで、近年ドローンによる検査が注目されており、ドローンに搭載したカメラで建物の外壁の画像データを複数枚取得することで、従来の調査方法よりも安価で短時間、高精度に外壁劣化を判定する内容である。しかし、その手法に関する研究には都市部の高層ビル街区における実例データがない。

そこで本研究では、日本の都市部である新宿区西新宿での大規模地震などを被害後の調査を想定して、高層ビル 2 棟の低層部分および都市部外の建築物 1 棟を対象にドローンによる外壁の撮影実験を行い、壁面素材や施工の違いによる劣化種類の捕捉基準や判定基準の定量評価や定性限界の評価を行う。

#### 2. 研究概要

図 1 に研究の流れを示す。表 1 に調査対象を、表 2 に実験要因と水準、表 3 には実験項目と方法を示す。

#### 3. 建物 K1 のドローン外壁調査

##### 3.1 建物 K1 のドローン調査概要と分析方法

建物の概要は表 1 に示すように、ドローン調査時期は 2017 年 9 月 8 日であり、昨年の取得したデータを使用した。所在地は、東京都の高層ビルが立ち並ぶ西新宿に位置している。外壁劣化の捕捉率の分析方法は、調査記録図および補修記録図を元に、昨年ドローンで南面の一部を間隔

表 1 調査対象




	建物 K1	建物 K2	建物 S	建物 M
経年	27	29	43	-
階数	7 階	28 階	43 階	10 階
仕上げ	磁器質タイル 45×95mm	磁器質タイル 45×95mm	吹付タイル	陶器質タイル 60×108mm 等
仕上げ工法	PC 板打込み	PC 板打込み	PC 板打込み	PC 板打込み
	現場張り			現場張り
調査時期	2017 年 9 月 8 日		2018 年 10 月 8 日 2018 年 10 月 21 日	2018 年 9 月 7 日
外観				

表 2 実験要因と水準

項目	要因	水準			
研究 1	文献調査等	論文・シンポジウム、打診調査検査員			
		ドローン A(DJI-Matrice210)			
研究 2	ドローン	ドローン B(DJI-Matrice600)			
		ドローン C(DJI-MavicPro)			
		光学カメラ	光学カメラ A (DJI-FC220)	900 万画素 約 3.5MB	
			光学カメラ B (SONY ILCE-7RM2)	4240 万画素 約 11.0MB	
	光学カメラ C (DJI-X3Z)		1200 万画素 約 5.0MB		
	赤外線カメラ	赤外線カメラ A (DJI-FLIR)	34.56 万画素 約 200KB		
	捕捉対象	0.2mm 以上ひび割れ、0.2mm 未満ひび割れ、欠損(大・小)、エフロレッセンス、補修跡			
研究 3	建物 M	ドローン	ドローン A(DJI-Matrice210)		
			ドローン B(DJI-Matrice600)		
			ドローン C(DJI-MavicPro)		
			ドローン D(DJI-phantom4pro)		
研究 4	建物 S	光学カメラ	光学カメラ D (DJI-Zenmuse Z30)	213 万画素 約 200~500KB	
			光学カメラ E (DJI-phantom4pro)	2000 万画素	
			光学カメラ A (DJI-FC220)	900 万画素 約 3.5MB	
	実証実験	ドローン	赤外線カメラ	赤外線カメラ A (DJI-FLIR)	34.56 万画素 約 200KB
			ドローン	ドローン B(DJI-Matrice600)	
			光学カメラ	光学カメラ D (DJI-Zenmuse Z30)	213 万画素 約 200~500KB

\*1 工学院大学・建築学科 4 年 \*2 工学院大学・教授

\*3 工学院大学・まちづくり学科・教授

\*4 SOMPO リスクマネジメント株式会社

書とで撮影し取得した画像データからそれぞれ劣化種類、カメラ種類ごとに比較した。ただし、ドローン調査時期が外壁の補修後であったため捕捉する劣化の種類は 0.2mm 未満のひび割れ、欠損小、補修跡のみとし、実際の画像から読み取れた劣化画像の凡例を図 2A)B)C)に示す。

### 3.2 分析結果および考察

劣化種類別およびカメラ別の劣化捕捉のグラフを図 2 に示す。各カメラの概要は表 2 に示す。

光学カメラ B を搭載したドローン A では、取得画像の画素分解能がおおよそ 1.18mm 前後であった。光学カメラ A はドローン C の純正カメラであり、画像の画素分解能はおおよそ 1.3mm 前後であった。光学カメラ C を搭載したドローン A では、画像の画素分解能はおおよそ 1.79mm 前後であった。これから、予想通り画素分解能が小さいほど外壁劣化の捕捉率が高くなり、画素分解能が大きいほど捕捉率が低くなるのが改めて分かった。

さらに、図 2A)B)C)に示すように補修跡とタイルの欠損は色差がはっきりとしており、画素分解能が 1mm を超えても比較的捕捉可能なことが分かった。ただし、0.2mm 未満のひび割れの捕捉率は 30%や 12%と著しく低く、この画素分解能のレベルでは 0.2mm 未満または付近のひび割れ確認には不十分であることが分かった。

ただし、今回の実験で撮影した画像は歪みが大きく、撮影精度が不十分ではなかったと考え、改善点として今年度の実験に反映する。

## 4. 都市部高層ビルにおけるドローン外壁調査の実験

### 4.1 ドローン外壁調査の概要

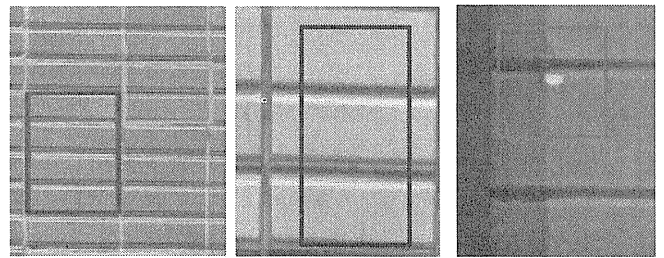
今年度実施したドローン外壁調査全般に関する実験のプロセスを図 3 に示す。主な実験は 3 回行い、予備実験①を建物 M で、予備実験②を建物 S で、実証実験を建物 S である。それぞれの建物の概要は表 1 に、使用機材を表 2 に示す。

### 4.2 使用カメラの詳細

予備実験を経て、実験で使用するカメラをカメラ D に決定した。仕様は、有効画素数が 213 万画素と高解像度カメラと比べて低解像度ではあるが、光学ズーム 30 倍に加えてデジタルズームが 6 倍と高倍率が可能なドローン専用カメラであり、対象との距離を確保し安全な位置からの撮影が可能になる。そこで、図 5 に縦軸が画素分解能、横軸が倍率で 5m 間隔における撮影距離の評価システムを示す。その概念図を図 4 に示す。さらに、1 枚当たりのデータ量が 200KB~400KB と抑えられ、データ処理時の負担を軽減できる。

表 3 実験項目と方法

項目	方法
研究 1 文献調査等	ドローンによる外壁調査に関する文献調査 打診調査に関する文献・ヒアリング調査
研究 2 建物 M ドローン調査	南面の一帯壁面を連続撮影。5 回実施(光学/赤外線) 劣化種類別や機材別の外壁劣化捕捉率を分析する
研究 3 建物 M ドローン調査 予備実験①	実際にドローンを使用し、以下の内容を実証実験に向けて検討する ・使用機材の選定 ・当日の役割分担・配置の検討 ・撮影方法や条件の検討 ・飛行場所の環境状態の確認
研究 4 建物 S ドローン調査 実証実験	都市部における高層ビルの北面低層部を劣化部分を抽出し撮影を行った。ドローンとカメラ操縦者の役割分担を行い撮影精度の向上を試みて、より詳細な劣化劣化の画像データを取得し判断基準の分析をする



A) 陶片浮き補修跡(青) B) タイルひび割れ C) 欠損小

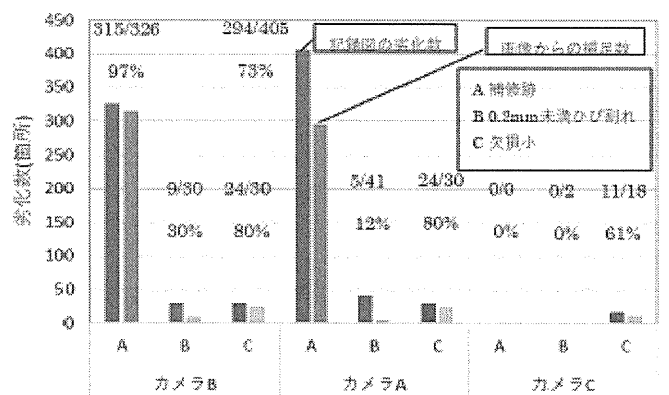


図 2 劣化種類・カメラ別の外壁劣化の捕捉率

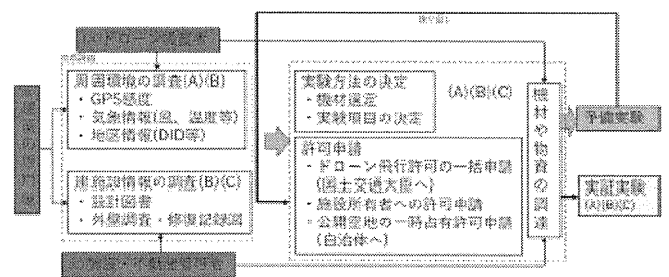


図 3 ドローン外壁調査の実験プロセス

### 4.3 実証実験の役割と関係

実証実験では、ドローン操縦者とカメラ操縦者はそれぞれ別の子機で操縦を行い、撮影精度の向上を図った。相互通信手段は無線を使い補助員と機体チェック員間で繋げて、随時指示をする形にした。モニター1では、複数のモニターをカメラ操縦者および建築材料と地域の専門家の3人で確認した。モニター2はドローン操縦者の確認用として別の位置に設置した。さらに、都市部での実験で十分な

安全を確保するため歩行者の誘導を警備員 2 人と表示物で実施した。

#### 4.4 ドローン外壁調査の結果および考察

##### 4.4.1 画像のひび割れによる劣化判定基準

図 5 に画素分解能別に確認できるひび割れ幅の程度を確認するため建物 M で撮影したクラックスケールの写真を示す。図 5 画素分解能 1.5mm の画像で確認できる最小幅が 0.55mm であった。対して、図 5 画素分解能 0.48mm では 0.2mm 幅まで確認することができ、修復すべき 0.2mm のひび割れは最低この画素分解能の大きさと捕捉できるとわかる。

ここで実際のひび割れ 0.1mm を図 6a) で確認する。図 6 の左四角は実際のひび割れ部分を囲い、右四角はひび割れ幅を画素分解能の大きさと見た画像である。撮影距離 21.22m、焦点距離 129mm の倍率 30 倍で画素分解能 0.48mm 撮影すると、僅かに色の変化が確認できる程度でありピクセルのレベルで確認しても同じようなことが言える。そこで、図 6a) を中間色域の黒を強調し加工した画像を図 6b) に示す。このように簡単な加工を一段階加えることでピクセルレベルでもひび割れの色差が強調され、画素分解能が 0.48mm の画像から 0.1mm のひび割れを確認することができた。

これらから、0.2mm ひび割れは 0.48mm の画素分解能で確認が可能であり、調査記録として残すべき 0.2mm 未満のひび割れも解析手段によりこの画素分解能で捕捉可能なことが分かった。尚、シーリング材の劣化判定については現在分析中である。

##### 4.4.2 高解像度、低解像度兼高倍率カメラに関する検討

先程示した画素分解能 0.48mm を基準に、一般的にドローン調査で効率的だとされている高解像度カメラと本研究で使用した低解像度だが高倍率可能なカメラを比較する。比較対象は表 2 のカメラ B およびカメラ D である。比較項目と結果を表 4 に示す。仮定面積は、建物 S の一面部分(1279.74m<sup>2</sup>)を全面撮影すると仮定し、ラップ率を 50% と想定した面積である。カメラ D ではデータ量がおおよそ 1/2 と抑えることが可能だが、撮影枚数がおおよそ 17 倍と撮影時の作業が増加するということが分かる。

これらから、カメラ D は現場での作業時間を十分に確保できる場合、または離れた距離から撮影を必要とする場合には有用性が高いと考える。対してカメラ B 等の高解像度カメラでは、現場での作業時間が確保できない、または近い距離から安全に撮影が可能な場合には十分な性能を持つと考えられる。ただし、作業時間に関してはさらなる実証実験の必要がある。

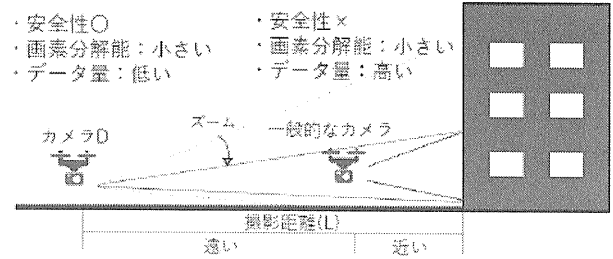


図 4 撮影距離による倍率と画素分解能の関係

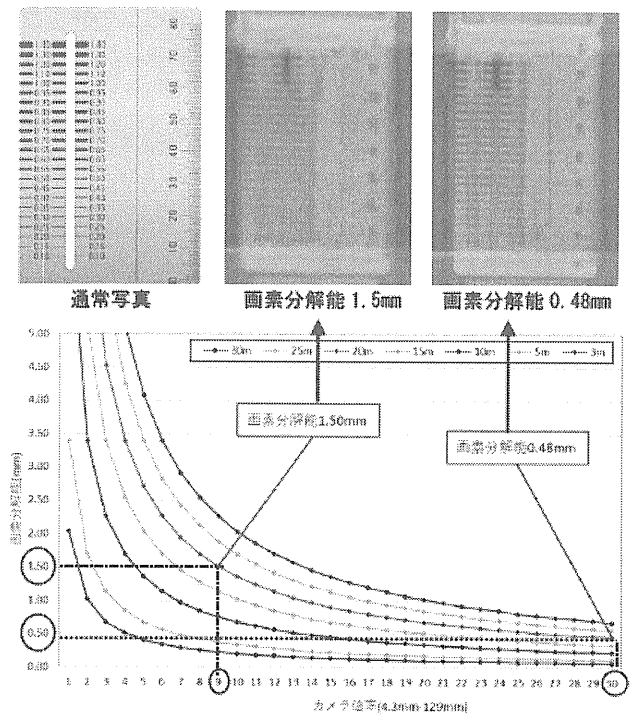


図 5 カメラ倍率 (X) と撮影距離 (L) による画素分解能の評価システム

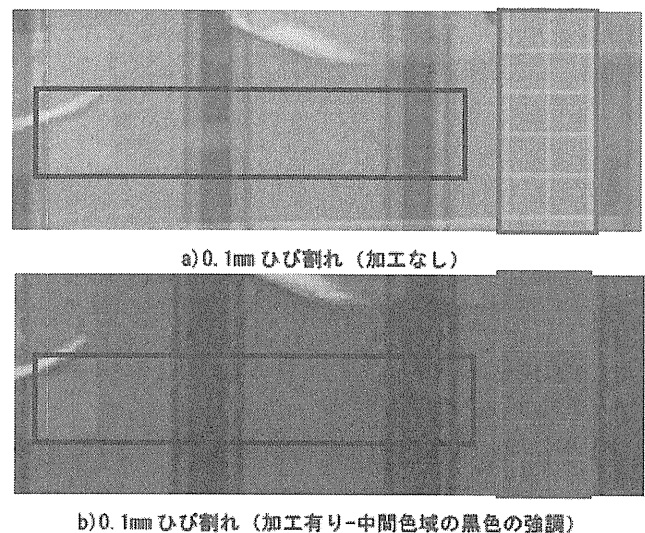


図 6 画像処理による高分解能要素の識別処理 (0.1mm ひび割れ)

##### 4.4.3 実証実験でのドローンによる撮影結果

予備実験より、カメラ D の性能を示せた。そこで実証実験で撮影した画像を図 7 に性能グラフと共に示す。図 7c)

は、撮影距離 4.6m から 20 倍率で画素分解能が 0.16mm の撮影ができ、拡大画像を確認すると、画素分解能の大きさからシーリング材の幅や細かなしわを確認することができる。図 7d)は、撮影距離 12.1m から 27 倍率で画素分解能が 0.30mm の撮影ができた。さらに、画素分解能の大きさからひび割れ幅が 1.2mm 程度あると確認できた。

#### 4.4.4 都市部におけるドローン飛行状況と考察

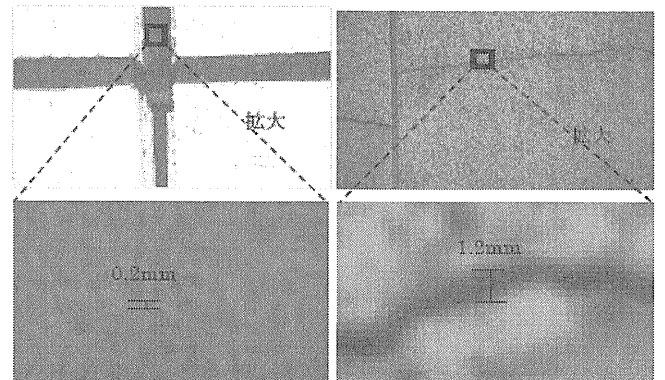
道路等で開けた場所に面した北側では、GPS 感度が良好で風による影響も許容範囲内であり、上空 65m 付近まで安定した飛行を行えた。しかし、西側では隣 2 方向に高層ビルが立ち並び、GPS 感度や通信が非常に悪く、上空ほどビル風の影響が強くなり安定した飛行が困難であった。この結果、都市部でのドローンの飛行のために、非 GPS 型のドローンを安全に飛行させる実証実験がさらに必要であると考えられる。さらに、実証実験では機体の通信ロストが発生した。都市部の高層ビルでの飛行という状況では、通信の混雑や高層ビル、そして近くに剥き出しの鉄筋や鉄骨がある場合、多くの人が同電波帯を使用している場合が多く、その潜在要因が通常の場所と比べて多く存在する。その改善点として、まだ使用されていない電波帯の使用や高周波数帯の電波の使用をすることでできると考え、来年度以降の実証実験に反映する予定である。それにより、高層ビル街区などにおいても快適な通信環境を整え、安全性の確保という問題点が解決できる可能性がある。

### 5. まとめ

- 1) タイル欠損や補修跡、エフロレンス等は色差がはっきりと表れるため画像の画素分解能が 1mm を超えても比較的容易に確認できた。
- 2) 画像の画素分解能より劣化の大きさが小さくても劣化の有無を判断することは可能であり、0.48mm の画素分解能でひび割れ幅 0.2mm を確認できた。また、0.1mm のひび割れでも画像処理で比較的確認できるようになった。
- 3) 高解像度カメラと比べて低解像度で高倍率のカメラは処理データ量が少なく、撮影距離が確保しやすいため安全性が高いが、撮影枚数が非常に多くなる。
- 4) 評価システムおよび実証実験の撮影画像より、カメラ D 等の高倍率可能なカメラで 0.2mm 幅のシーリング材のしわの程度を確認することができた。
- 5) 画素分解能の大きさから花崗岩パネルのひび割れ幅が 1.2mm と詳細に確認することができた。

表 4 高解像度カメラと低解像度カメラの比較

	カメラ D	カメラ B
有効画素数	213 万画素	4240 万画素
画素分解能	0.48mm	0.48mm
撮影範囲	921.6mm × 518.4mm	3816.96mm × 2146.56mm
データ量/1枚	約 400KB	約 11MB
仮定総撮影枚数	23,026,766 枚	1,562 枚
仮定総データ量	10.714GB	23.43GB



c) シーリング材の画像 (上: 通常, 下: 拡大) d) 花崗岩パネルのひび割れ画像 (上: 通常, 下: 拡大)

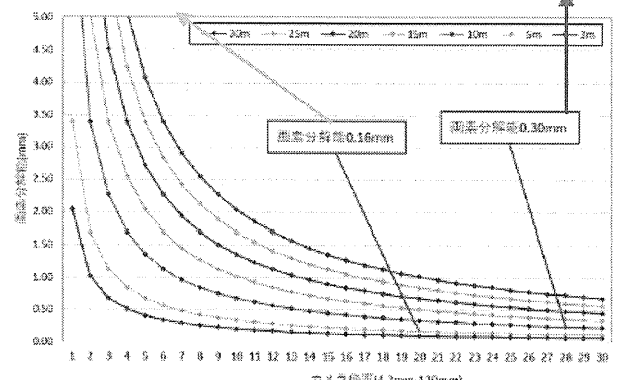


図 7 実証実験時撮影した画像と評価システム

### 謝辞

本研究は H30 年度私大研究ブランディング事業の一部で実施に当たり、工学院大学および守谷研修所、損保ジャパン本社ビルの施設管理者、チーム新宿の関係者各位、本学 4 年藤井和裕さんにドローン調査などで多大な助力を賜り感謝致します。また、本研究の一部は工学院大学 ISDC プログラム(株式会社フジタ)による。

### 参考文献

- 1) 日本ビソー株式会社、学校法人 K 大学 新宿校舎外壁シーリング更新他工事施工計画書、2017 年
- 2) 乙幡祐平、超高層ビルのタイル施工部材における打診検査時反発波の周波特性・エネルギーと劣化性状の相関評価、2017 年
- 3) 宮内博之、ドローン技術の動向と建築維持保全への利活用の検討、2016
- 4) 日本建築学会、第 2 回ドローンシンポジウム「ドローン×建築 2017」



## 各種都市建築物の非構造部材における性能評価と機能継続に関する研究

### 一 都市非住宅用・外断熱タイル張り工法の安全・劣化性状一

外装材, 外断熱, タイル張り, 安全性

鈴木秋人\*1 田村雅紀\*2 相山朋大\*3

岡田幸三\*4 堀幸作\*5 高本修一\*6

#### 1. はじめに

既存の乾式外断熱タイル張りとは湿式外断熱の塗装仕上げの中間コストであり、両方の特性を併せ持つ本製品の開発により、より手軽に断熱性とデザイン性に富んだ外断熱工法を建築物に導入できるようになると考える<sup>1)2)3)4)</sup>。外断熱工法は、熱をため込みやすいコンクリート建築物に適用することで、コンクリートの温度変化を小さくし、温度変化によっておきる経年劣化から建築物を保護することができる。また事務所ビルやマンションといった大勢の人が長時間利用するような建築物では、外部からの熱を遮断することで室内の温度変化を小さくし、快適な室内環境を提供することができる。これらの特徴から外断熱工法は、建築物の長寿命化を図ることができ、後世により良い建築ストックを残していくことができると同時に、空調設備の稼働量を減らすことで、建築物の省エネルギー化を図ることができるなど、環境問題の観点からもより一層の活用が期待できる。また都市部で問題となっているヒートアイランド現象は、日射による建築物の外壁への蓄熱により起こるため、高層ビルへ外断熱工法を適用することでその発生を大きく低減できる。このように一建築物の室内環境から、都市環境の諸問題に至るまで、外断熱工法を適用させることで一つの解決策を講じることができるのではないかと考える。

#### 2. 研究概要

本研究の目的は、既存の乾式外断熱タイル張り工法と湿式外断熱工法の中間コストで両方の特性を併せ持つ、安心安全な湿式外断熱タイル張り工法を開発することで、外断熱工法のより広い普及に寄与することを前提に、当工法の開発を通して、外断熱工法における各種評価基準を明確にすることである。

本試験で行うビスパンチング引抜強度試験およびタイル接着性試験では外部からの風荷重から算出した基準値を設定している<sup>2)</sup>。現在までに風荷重でタイルが落下した事例は挙げられないが、風荷重に対する抵抗性が保証されているのはあくまで躯体にタイルをモルタルおよび接着剤で張り付けたものに限られる。本工法においては、弾性接着剤により断熱材にタイルを張り付けているため、必ずしもこれまでの事例を引き合いに出して、同様にタイルが剥落しないとは言いきれないものであると考える。

表 1 使用材料と内容

使用材料 種類	内容 寸法 (幅 W×長 L×厚 T) (mm)
普通平板	JIS A 5371 プレキャスト無筋コンクリート製品 W300×L300×T60 (mm)
セメント	JIS R 5210 普通ポルトランドセメント
断熱材 (EPS)	JIS A 9511 ビーズ法ポリスチレンフォーム
Expanded Poly-Styrene	W300×L300×T10 (mm)
断熱材 (EFR)	JIS A 9511 EPS にフェノール樹脂を含ませたもの
Expanded Poly-Styrene -Fire Resistance	W300×L300×T10 (mm)
断熱材 (XPS)	JIS A 9511 押出法ポリスチレンフォーム
Extruded Poly-Styrene	W300×L300×T10 (mm)
タイルシート	JIS A 5209 陶磁器質タイル 45 角 2 丁セラミックタイル W300×L300
タイル用接着剤	変成シリコン樹脂系弾性接着剤
コンクリートビス	ステンレス製 φ6×90 (mm)
ファイバーメッシュ	ガラス繊維メッシュシート メッシュ間隔 5mm (#5), メッシュ間隔 15mm (#15)

表 2 要因と水準

項目	要因	水準
研究 1	断熱材種類	ビーズ法ポリスチレンフォーム 押出法ポリスチレンフォーム EPS フェノール耐火被膜フォーム
	ベースコート厚 (mm)	2.0-4.0
研究 2	ファイバーメッシュ	ガラス繊維メッシュシート #5, #15
	接着剤種類	弾性接着剤 (EB) ポリマーセメントモルタル (PCM)
	凍結融解抵抗性	あり、なし
研究 3	変位追従性	たわみ許容値 1/300 (変位 1mm)
	タイル剥離、損傷	あり、なし

表 3 使用材料と内容

項目	実験内容	方法
研究 1	実験 1 ビスパンチング試験 (ベースコート厚)	付着試験による各部強度 (kN) の測定
	実験 2 凍結融解試験	気中凍結気中融解 300 サイクル後試験体の ビス引張強度 (kN) の測定
	実験 3 ビスパンチング試験 (メッシュ目間隔)	付着試験による各部強度 (kN) の測定
研究 2	実験 1 引張接着性試験 (タイル接着剤種類)	付着試験による各部強度 (kN) の測定
	実験 2 凍結融解試験	気中凍結気中融解 300 サイクル後試験体の ビス引張強度の測定
	実験 3 引張接着性試験 (メッシュ目間隔)	付着試験による各部強度 (kN) の測定
研究 3	実験 1 変位追従性試験 (曲げせん断梁試験)	アムスラー式圧縮試験機 (200t) による各 部強度 (kN) の測定

備考) 付着試験は日本仕上学会認定付着試験器 (1t) を使用

表 4 実験 1、実験 2 の基準値

実験	項目	内容				
		建物 高さ H	基準 風速 V <sub>0</sub>	地表 粗度区分	型式	部分
実験 1	設定条件	45(m)	34(m/s)	II	閉鎖型	隅角部
	平均 速度圧 q	$q=0.6 \times E \times V_0^2=1.084(N/m^2)$				
	ピーク 外圧係数	H が 45m 以下の場合、建物端部では (-2.2)				
	ピーク 内圧係数	閉鎖型、ピーク外圧係数が 0 未満の場合 壁のピーク内圧係数は 0				
	ピーク風力 係数 C <sub>f</sub>	ピーク風力係数 C <sub>f</sub> = (ピーク外圧係数) - (ピーク内圧係数) より、 C <sub>f</sub> = (-2.2) - 0 = (-2.2)				
実験 1	設計風圧力	設計風圧力 W = q × C <sub>f</sub> より $W=1.084 \times (-2.2) = (-2.384)(N/m^2)$				
	基準値	ビス間隔を 500(mm) と設定すると、一つのビスが支持する面積は 250,000(mm <sup>2</sup> ) なので、ビス引抜強度は P <sub>1</sub> = 596(N) ビス間隔を 400(mm) と設定すると、一つのビスが支持する面積は 160,000(mm <sup>2</sup> ) なので、ビス引抜強度は P <sub>2</sub> = 382(N)				
実験 2	基準値	引張強度基準値 P <sub>3</sub> = 2,384(N/m <sup>2</sup> ) ≈ 0.0024(N/mm <sup>2</sup> ) 計測値を安全率 40 倍 (計測値を 1/40) して評価 タイル直張りの試験体は、JIS A 5557 (外装タイル張り有機系接着 剤)、標準養生の基準値 0.6(N/mm <sup>2</sup> ) を採用 こちらは計測値を安全率 3 倍 (計測値を 1/3) として評価				

\*1 工学院大学・建築学科 4 年 \*2 工学院大学・建築学科教授 \*3 株式会社ツヅキ

\*4 株式会社 Danto Tile \*5 株式会社高本コーポレーション

従って、本研究では直接的要因の前段階として、最低限担保する必要がある風荷重を元にした基準値を設定し、当工法の各部位における抵抗性を実験・検討していく。3. ビス引抜試験によるビス強度の測定

### 3. 1 ビス引抜試験の評価の概要

本工法では、風荷重による負圧に対して、コンクリートビス、ベースコートモルタル層、ファイバーメッシュ、断熱材が抵抗力を担保すると想定される。よってまずファイバーメッシュを伏せ込むベースコートモルタルの厚みや、ファイバーメッシュの目粗さ等の各使用材料の仕様をビス引抜試験を通して決定し、引抜強度が基準値を上回るか確認する。標準状態での強度が確認できたのちに、寒冷地での使用を想定して凍結融解試験を行い、温度変化の厳しい環境下で本工法を使用した場合の影響を確認する。

### 3. 2 ベースコートモルタル層のビス引抜強度の結果

図2にベースコート厚2mmと4mmでの各断熱材のビス引抜強度の測定結果を示す。引抜強度はEPS(4mm)でビス間隔500mmの基準値596(N/mm<sup>2</sup>)を下回ったが、ビス間隔400mmの基準値382(N/mm<sup>2</sup>)ではすべての断熱材、すべての厚さで基準値を上回ることが確認された。

各断熱材のベースコート厚2mmと4mmで引抜強度にあまり差が生じていないことから、ビス引抜強度ではベースコートモルタルの厚さは大きな影響を与えないことが確認できる。一方でベースコートが厚くなるほど断熱材の破断までの延性に影響を与えることがわかった。

### 3. 3 凍結融解におけるビス引抜強度の変化と結果

図3に凍結融解後のタイル張り試験体およびベースコート試験体のビス引抜強度の測定結果を示す。EPS,EFRは凍結融解後では重量が増加し、標準養生に比べビス引抜強度が7~8割程度に減少することが確認された。また各断熱材でタイル張り試験体の方がベースコート試験体より低い強度となることがわかった。これは押出法であるXPSは内部に水分が溜まらず、ビス法であるEPSとEFRではビス界面に水分が溜まったことが原因であると考えられる。またタイルを施工したことで断熱材内部の水分が排出されづらくなったことも強度に影響していると考えられる。

### 3. 4 #5メッシュと#15メッシュの強度比較の結果

図4に#5メッシュと#15メッシュのビス引抜強度の測定結果を示す。EFRでは#5,#15ともにビス間隔500mm、ビス間隔400mmの両方で基準値を上回ったが、EPS#5ではビス間隔500mmの基準値を下回った。これはビスを打ち込んだ際にワッシャーがファイバーメッシュを断ち切ってしまったことが原因であると考えられる。メッシュ

に着目すると、EPS,EFRともに#15メッシュの方がより大きい値を示したが、その分変位が1~2mmほど大きくなってしまったことがわかった。

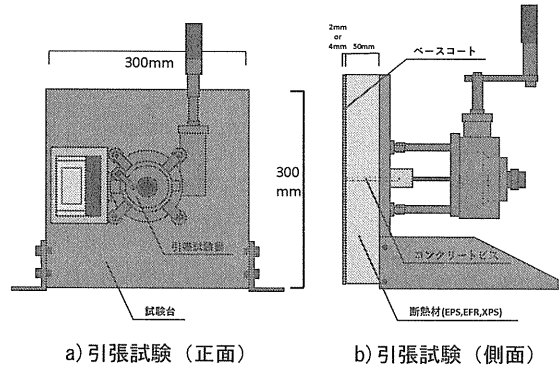


図1 ビス引抜試験概要図

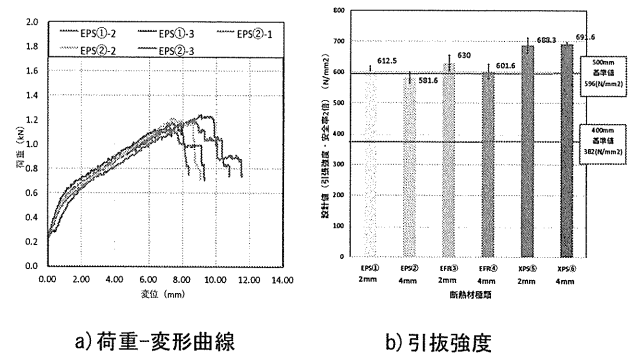


図2 ビス引抜強度試験結果 (ベースコート厚2mm,4mm比較)

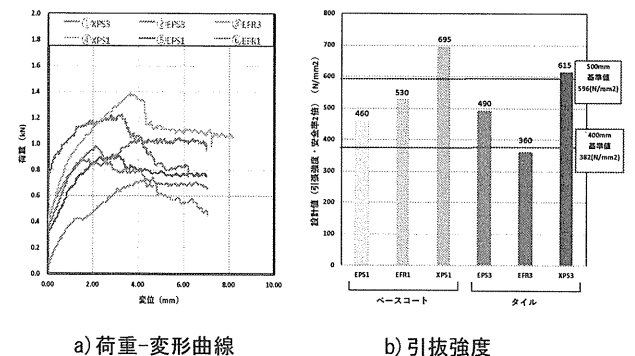


図3 ビス引抜強度試験結果 (気中凍結気中融解後)

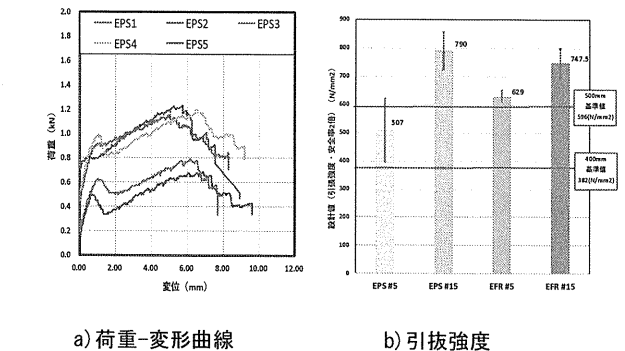


図4 ビス引抜強度試験結果 (メッシュ種類の比較)

#### 4. 引張接着性試験によるタイル接着強度の測定

##### 4. 1 ビспанチング試験の評価の概要

湿式外断熱タイル張り工法の開発にあたり、風荷重による負圧作用時の断熱材ユニット、特に仕上材であるタイルの強度を確保するために引抜接着性強度を確認する。これまでの建築物において風荷重でタイルが落下した事例は挙げられないが、当工法では断熱材を躯体に固定した上に更にタイルを張り付けており、接着剤には弾性接着剤を使用しているため、必ずしも通常のタイル張りの基準が適用できないと考える。従って、本研究においては直接的な剥落要因の試験の前段階として、最低基準である風荷重に対する抵抗力があるのかを検討・実験していく。

##### 4. 2 接着剤種類による強度比較試験の結果

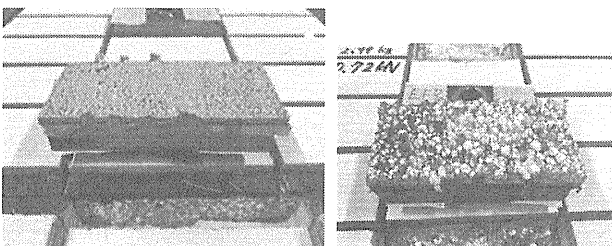
図7に接着剤種類による強度比較試験の測定結果を示す。EPS,EFR,XPSすべての断熱材でPCM、弾性接着剤ともにタイル引張強度が所定の基準値を満たすことが確認できた。しかし同時にEFRのフェノール耐火被膜のコーティングの不均一性による強度のばらつきや、XPSの界面破断率の高さが浮き彫りとなる形になった。

##### 4. 3 凍結融解による引張接着性の変化と結果

図8に凍結融解後の試験体の引張接着性試験の測定結果を示す。凍結融解により断熱材の強度が標準養生に比べ8割程度に低下することやEFRのフェノール樹脂コーティングに凍害による劣化性状が生じることがわかった。これらの特徴はビーズ法であるEPS,EFRにみられ、押出法であるXPSにはみられなかった。これはビспанチング試験同様、養生に使用したアルミテープによって内部に凝結した水分が溜まったために起こったと推察される。

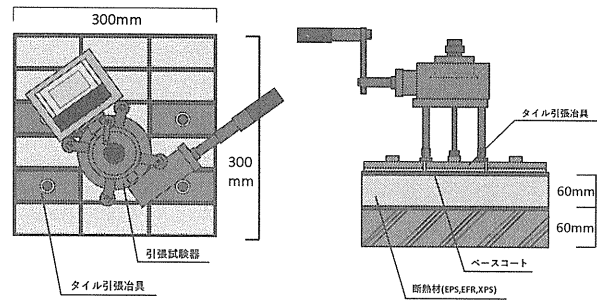
##### 4. 4 #5,#15メッシュの引張接着性試験の結果

図9に#5メッシュと#15メッシュの引張接着性試験の測定結果を示す。すべての試験体で基準値を満たすことが確認できた。また#5メッシュと#15メッシュとの間で引張強度に大きな差が出ないことが確認できた。しかし、#15メッシュでは、太い網目が使用されているため、目が詰まることで接着剤との付着率が下がり、本来持っているメッシュの強度を発揮できないことがあることがわかった。



a) XPSの破断面      b) EFRの破断面

図5 凍結融解時のXPSとEFRの破断面



a) 引張試験器 (上面)      b) 引張試験器 (側面)

図6 タイル引張接着性試験概要図

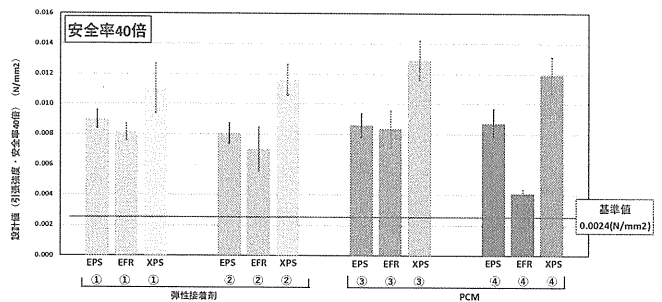


図7 平均引張接着強度 (接着剤EB, PCM比較)

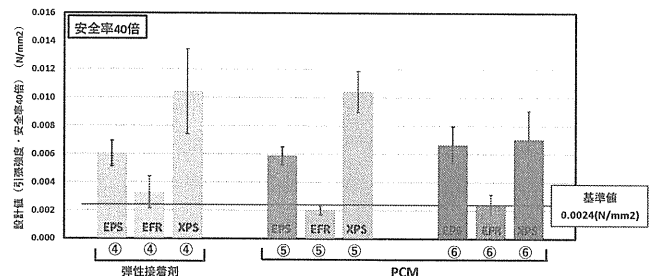


図8 平均引張接着強度 (気中凍結気中融解後)

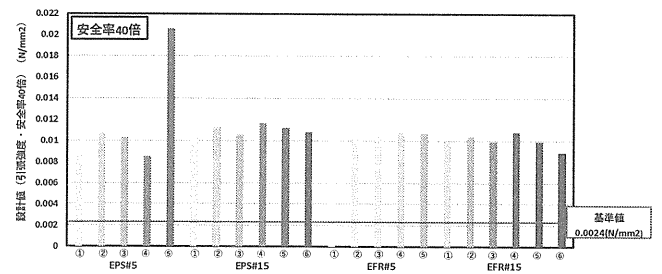
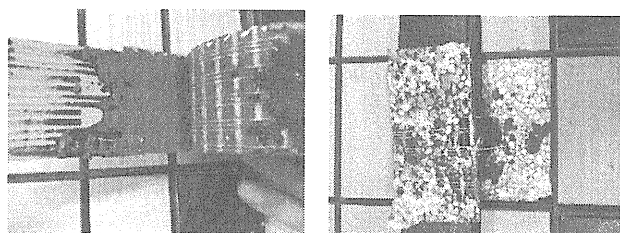


図9 平均引張接着強度 (メッシュ種類の比較)



a) 弾性接着剤面での剥離      b) モルタル界面での剥離

図10 #15メッシュの付着性の低下

## 5. 曲げせん断梁試験による変位追従性の評価

### 5.1 曲げせん断梁試験の評価の概要

外断熱ユニットの躯体変形に対する追従性を確認するため、曲げせん断梁による変位追従性試験を行う。当工法は表6-1のようにベースコート層のファイバーメッシュの上から打ち込んだコンクリートビスとポリマーセメントモルタルによって、外断熱ユニットをコンクリート躯体に固定している。この時、躯体側に変形が生じた際に、タイル側に同様の変形力が伝達しないことが望ましい。よって本章では、変位計とひずみゲージを用いて、躯体のたわみとタイル貼付け部たわみの比較、躯体表面とタイル表面のひずみの比較から、外断熱ユニットの変位追従性を確認していく。また梁部材のたわみ許容値である 1/300（本試験ではたわみが 1mm の時点）で断熱材およびタイルに損傷が生じないこと、躯体損傷時にタイル剥離を起こさないことを条件とする。以上のことを確認するためにアムスラー式圧縮試験機を用いて、梁試験体の曲げせん断試験を行う。

### 5.2 曲げせん断梁試験の結果と考察

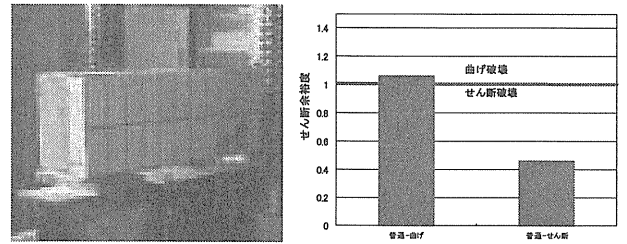
EPS タイル縦張り、EPS タイル横張り、EFR タイル縦張り、EFR タイル横張りの 4 種類の試験体で試験をおこなったところ、躯体の変形に対して十分に断熱材が追従することが確認できた。一方で、タイル表面に伝達される変形力は躯体表面に比較して、1/6~1/8 程度に低減されることがわかった。これは断熱材によって変形力が吸収されたためではないかと推察される。また躯体損傷後のタイルの接着について確認したところ、躯体に直接固定されている断熱材には損傷がみられたものの、タイル表面には剥離などの大きな損傷はみられなかった。これらのことから湿式外断熱タイル張り工法が躯体の変形力に対して一定の抵抗力を有し、躯体の損傷時でもタイルを保護することが確認できた。

## 6. まとめ

- 1) ビスパンチング試験では標準養生の試験体はビス間隔 400mm で基準値を上回ることがわかった。
- 2) タイル引張接着では EPS、EFR は母材破壊を起こすが、XPS は界面破断を生じることが分かった。
- 3) #5 メッシュと#15 メッシュでは外断熱の強度に大きな影響を与えず、むしろメッシュの太さによる付着性の低下が強度に影響を与えることがわかった。
- 4) 気中凍結融解によりビーズ法の断熱材 (EPS、EFR) が強度低下し、特に EFR では凍害劣化が確認された。
- 5) 変位追従性試験では、たわみ量から躯体破断時まで断熱材が変形に追従し、剥離しないことがわかった。また躯体が大きく損傷した場合であってもタイルの剥離、浮きが生じないことが確認できた。

表 5 曲げせん断梁の概要

		湿式外断熱タイル張り工法			曲げせん断梁試験体		
No	断熱材	接着剤	タイル	養生	せん断スパン比	主筋 D10	あばら筋 φ4.0
						間隔 (mm)	間隔 (mm)
1	EPS	弾性接着剤	縦張り	標準養生	1.5	150, 50	75
2			横張り			150, 50	75
3	EFR	弾性接着剤	縦張り	標準養生	1.5	150, 50	75
4			横張り			150, 50	75



a) 曲げせん断梁

b) せん断余裕度の算定

図 11 曲げせん断梁の試験概要

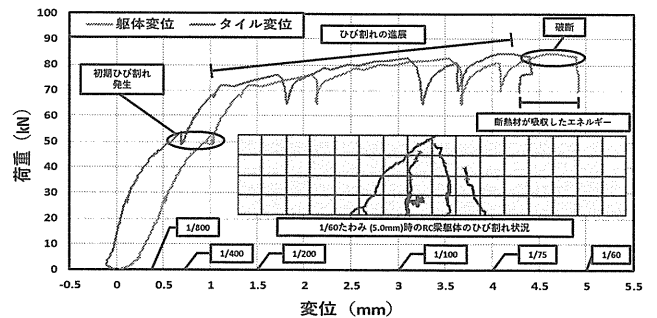


図 12 梁試験体の変形性状と躯体ひび割れの状況

## 参考文献

- 1) INAX DD Tile Wall System 技術資料,2002,3,4
- 2) 建設省,有機系接着剤を利用した外装タイル・石張りシステムの開発,建設省官民連帯共同研究報告書,1997
- 3) 国土交通省大臣官房官庁営繕部監修建設工事管理指針,2016
- 4) 都田聖悟、山崎尚志ら,炭酸カルシウム系発砲板を使用した外断熱工法に関する研究,日本建築学会大会学術講演梗概集,2016

## 謝辞

本研究を進めるにあたり、株式会社ツヅキ、株式会社 Danto Tile、高本コーポレーションの各位のご助力を賜った。本研究の一部は平成 30 年度工学院大学・私立大学研究ブランディング事業 (H28~H32) による。

## 各種都市建築物の非構造部材における性能評価と機能継続に関する研究

### －外装用・窯業系サイディング廃材を用いた再生仕上げ建材の開発－

外装材，窯業系サイディング，廃棄物，再資源化

栗原良輔\*1 田村雅紀\*2

#### 1. はじめに

近年、新設住宅の外壁素材はモルタル仕上げに代わり施工が容易なこと、デザインが豊富であること、耐火性・耐久性に優れることから、セメントに繊維質を加えることで薄いボードでも強度が得られる窯業系サイディングが主として使用されている。図 1 を見ると H21 年に急激に出荷量が減少しているが、現在では新設住宅の約 8 割近くで使用されており、年間に約 1 億 m<sup>2</sup>以上出荷されている。しかし、窯業系サイディングの廃材については有効な再利用方法が確立されておらず、各種メーカーで再利用が行われているが、ほとんどが廃棄処分されているのが現状である。これから新設住宅着工戸数は減少していくと考えられているが、今後リフォームや解体などで窯業系サイディングの廃材が大量に排出されることが予想される。そこで本研究では、窯業系サイディングの廃材の新たな再利用方法を確立し、再生資材として有効な活用方法を創り出し、資源循環や産業廃棄物削減への貢献を目的とし研究を行う。

#### 2. リサイクル先として考えられる材料の調査（研究 1）

##### 2.1 住宅における断熱材の使用状況

図 2 に住宅用断熱材の種類ごとの市場占有率を示す。シェア率はグラスウールが最も多いが、グラスウールは原料の 80%以上にリサイクルガラスを使用しており、現時点でリサイクルガラスを利用した資源循環の形が確立している。しかし近年、びんや建築用ガラスの減少により、カレット原料が減少しており、グラスウール製造時の再生資源利用率の維持に苦慮しているという現状がある。そのため窯業系サイディング廃材の再利用の 1 つとして考えられる。

##### 2.2 高炉スラグの再利用可能性

高炉スラグはセメント用に最も多く利用されており、その他にロックウールや道路、コンクリートなどに利用されている。一部のセメント工場では窯業系サイディング廃材をセメント製造過程に混ぜて利用している所もあるが、有機繊維が混ざりコンクリートの強度に悪影響を与えてしまうため大量の廃材利用は難しく、現在国内のコンクリート需要も減少傾向にあり、窯業系サイディング廃材の大量

表 1 使用材料

分類	項目	内容
窯業系サイディングの廃材	標準窯業系サイディング	F (ファイバー)
	木チップ含有窯業系サイディング	W (ウッド)
		セメント、ケイ酸質原料、有機繊維【ファイバー7.8%（重量比）】、混和剤
		セメント、ケイ酸質原料、有機繊維【木チップ27%（重量比）】、混和剤

表 2 実験要因と水準

項目	実験要因	実験水準
研究 1	文献調査 ヒアリング調査	窯業系サイディング、グラスウール、ロックウールに関する調査。
研究 2 窯業系サイディング破砕	ジョークラッシャー破砕	1 回、2 回、3 回
	振動ミル破砕	20 秒一定 1 回
研究 3 ガラス系材料の作製	焼成温度	1250℃
	焼成時間	3 時間
	大きさ	30mm×30mm×20mm
	NaHCO <sub>3</sub> 含有量	30%、50%、70%
	品質評価	密度(g/cm <sup>3</sup> )、硬度、色差、
研究 4-1 表層ガラス系材料の作製	試験体寸法	100×100×10
	焼成温度	1150℃、1250℃
	焼成時間	3 時間
	厚み	1 mm、2 mm、5 mm
	NaHCO <sub>3</sub> 含有量	30%、50%、70%
	品質評価	硬度、色差、反射率
研究 4-2 タイルガラス被膜体のガラス色コントロール	焼成温度	1150℃、1250℃
	焼成時間	3 時間
	含有量	30%、50%、70%
	添加物	銅スラグ、酸化コバルト、酸化鉄
	品質評価	色差、反射率

リサイクルは難しい。そのため窯業系サイディング廃材をロックウールにリサイクルする価値はあると考えられる。

#### 3. 窯業系サイディングの再利用方法の検討（研究 2）

##### 3.1 窯業系サイディング破砕

まず、窯業系サイディングをリサイクルするために、ジョークラッシャーでの一次破砕と振動ミルによる二次破砕を行った。写真 1 に各破砕機、振動ミルでの破砕状況を示す。ジョークラッシャーによる破砕では、F は薄く層状に、W はブロック状に破砕された。振動ミルによる破砕では F は完全な粉末状にできたが、W は含有物の木チップが粉体にならず完全な粉末状にできなかった。

\*1 工学院大学・建築学科 4 年 \*2 工学院大学・建築学科教授

### 3.2 窯業系サイディングの成分分析

次に破碎したサイディングの成分分析を行った。図3に窯業系サイディングと高炉スラグ、ソーダ石灰ガラスの成分比較を示す。蛍光X線分析を基に作成したグラフのため無機分のみ結果となるが、窯業系サイディングを構成する主成分は二酸化ケイ素(SiO<sub>2</sub>)と酸化カルシウム(CaO)であり、窯業系サイディングと高炉スラグの成分を比較すると、成分がよく似ており、さらにソーダ石灰ガラスの成

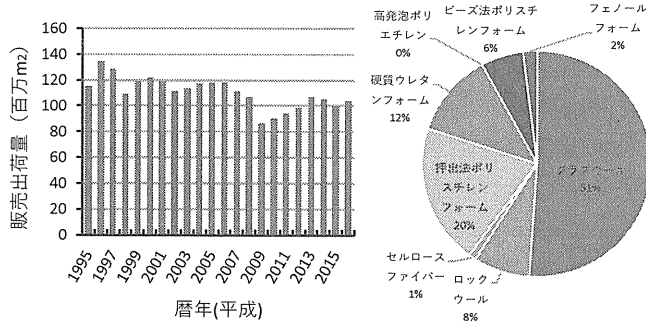


図2 年別・窯業系サイディング外装材の出荷量 図3 住宅断熱材の種類別の市場占有率

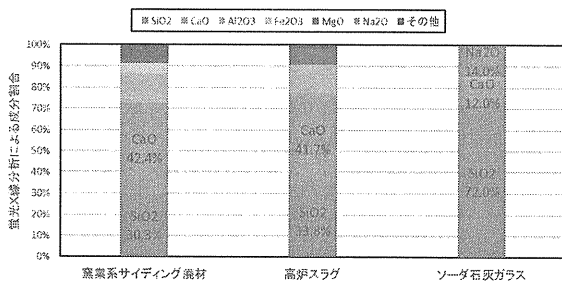


図4 蛍光X線分析での窯業系サイディングの成分分析

表3 実験項目と方法

項目		方法		
研究1	文献調査	利用量、利用統計	論文、インターネット	
研究2	破碎機による窯業系サイディング廃材の破碎	ジョークラッシャーによる破碎	窯業系サイディングFとWをジョークラッシャーに入れ、20mm以下作製	
		振動ミルによる破碎	ジョークラッシャーで破碎したFとWを振動ミルに入れ、2mm以下作製	
研究3	ガラス質系材料作製	試験体の作製	破碎したFとWにNaHCO <sub>3</sub> を加え水と練り合わせたものを焼成	
		電気炉による焼成	試験体を電気炉で焼成	
		品質評価	密度 (g/cm <sup>3</sup> )	体積法による密度 (g/cm <sup>3</sup> )
			成分分析	蛍光X線分析器
硬度	硬度計による硬度測定			
研究4-1	表層ガラス系材料作製	試験体の作製	破碎したFとWにNaHCO <sub>3</sub> を加え水と練り合わせたものをタイルの上に乗せて焼成	
		電気炉による焼成	試験体を電気炉で焼成	
		反射率	反射率測定	
研究4-2	ガラス被膜体の色のコントロール	試験体作成	破碎したFとWにNaHCO <sub>3</sub> と着色料を加え水と練り合わせたものをタイルの上に乗せて焼成	
			成分分析	蛍光X線分析器
		品質評価	色差位置	色差計による色差測定
			反射率	反射率測定

分と比べると、ソーダ石灰ガラスは窯業系サイディングに

比べ二酸化ケイ素の値が大きく、酸化ナトリウム(Na<sub>2</sub>O)が含まれているが、成分が似ているとわかる。

### 3.3 窯業系サイディング廃材のリサイクル先の検討

成分分析の結果を基に再生材料としての用途を建築資材に注目して部位/用途別に検討したものが表4である。ソーダ石灰ガラスや高炉スラグと成分が似ていることから、一定以上の強度や機能が求められる構造材や下地材での利用は難しいが、ガラス系材料として内壁や外壁などの仕上げ材としての利用や、高炉スラグ系材料のロックウール等の機能材としての利用ができると考える。

### 4. ガラスブロック体の作製 (研究3)

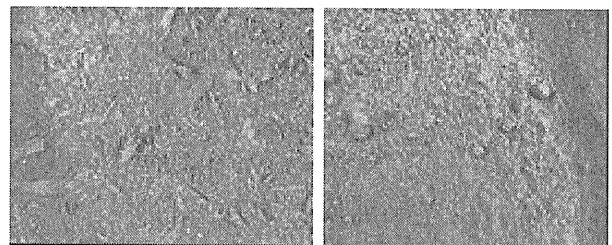
#### 4.1 型の選定と作製

窯業系サイディング廃材を用いてガラスブロック体を造るための型を選んだ。まず一つ目は耐火温度が高く非鉄金属等の casting にも利用されている耐火石膏、そして二つ目に耐火温度が高く熱伝導性も非常に良いアルミナのもつばを用いることにした。耐火石膏は粉の状態から型を作る必要があったため、写真3にあるように型を作製した。

#### 4.2 ガラスブロック体の作製 (耐火石膏)



(a) ジョークラッシャー (b) 振動ミル  
写真1 破碎機器



(a) サイディングF (b) 振動ミル  
写真2 振動ミル (2次破碎)

表4 再生材料の利用用途の検討

用途部位	構造材	仕上げ材	下地材	機能材 (遮断・調節)
基礎・杭	—	—	—	—
柱・梁	—	—	—	—
屋根	—	—	—	—
外壁	—	△	—	△
内壁	—	○	—	△
床	—	△	—	—
天井	—	○	—	—
開口部	—	△	—	—

耐火石膏の型に破碎したサイディングの量に対して 50%の炭酸水素ナトリウム( $\text{NaHCO}_3$ )を混ぜたものを入れて図4のような温度でそれぞれ最高温度 1250 度を 3 時間と 10 時間維持して焼成した。

焼成結果を写真4に示す。3時間のほうは上の部分が少しだけガラス質になっているが中身が空洞状態になっており体積が非常に小さくなった。10時間のものも体積が非常に小さくなっており、長時間焼成によりほとんど焼き切れてしまっていた。

#### 4.3 ガラスブロック体の作成 (アルミナのるつぼ)

アルミナのるつぼを用いてガラスブロック焼成実験を行った。F と W のサイディングに炭酸水素ナトリウム( $\text{NaHCO}_3$ )をサイディングの 70%添加したものと、W のサイディングに炭酸水素ナトリウム( $\text{NaHCO}_3$ )を 30%添加したものの3種類の焼成を行った。

焼成時間は図4①の最高温度 1250℃を 3 時間維持して焼成した。結果は、まず(a)と(b)は耐火石膏で焼成した時と同様に内側が空洞化し、(c)だけ内側は空洞化していないが(a)、(b)、(c)ともに体積がかなり小さくなった。さらに炭酸水素ナトリウム添加量が 30%と少ないほうが溶けて表面が少しガラス化していた。まだ焼成温度や時間、添加物を試行錯誤していく必要がある。

### 5. 表層ガラス系材料へのリサイクル

#### 5.1 タイルガラス皮膜の作製 (研究4-1)

##### 5.1.1 タイルガラス皮膜の焼成

研究2で破碎した標準窯業系サイディングFに添加物として炭酸ナトリウムと、(さらに着色する場合は+αの添加物を混ぜ)水で練り合わせたものを 100 角タイルの上に塗り、高温電気炉を用いて焼成する。写真6に破碎したサイディングに  $\text{NaHCO}_3$  と銅スラグを添加し焼成した物を示す。窯業系サイディング廃材に炭酸水素ナトリウムを適量添加し高温焼成することでガラス化できた。

##### 5.1.2 焼成温度比較

最高温度が 1150℃ではガラス化反応している部分がない所より少ないが、1250℃では 100 角タイル全体がガラス化した。

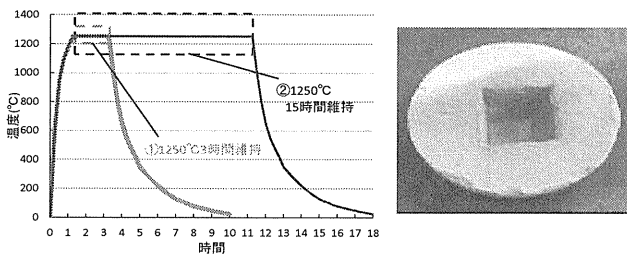


図5 ガラスブロック作製焼成温度

写真3 耐火石膏の型

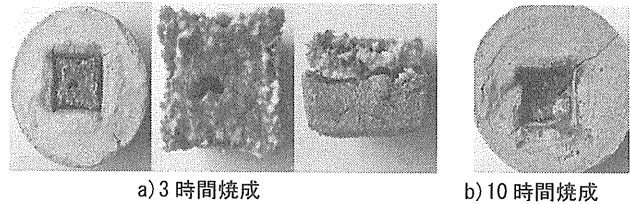
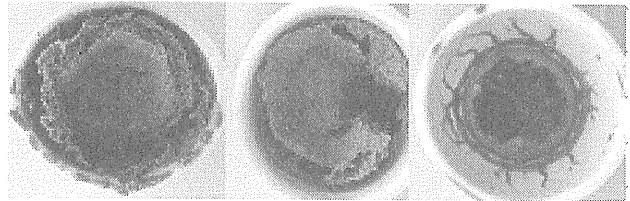
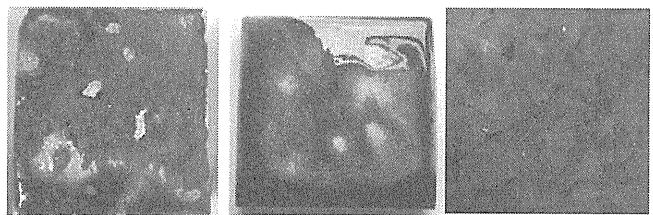


写真4 ガラスブロック作製(耐火石膏) 最高温度 1250℃焼成



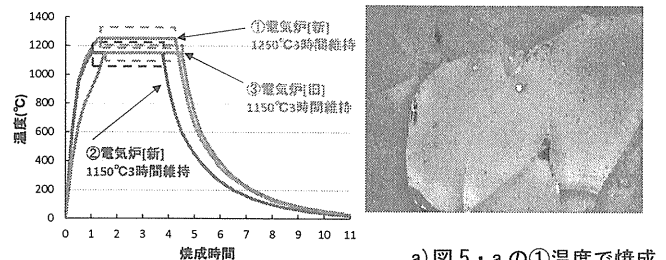
a) 標準サイディング b) 木チップ  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  70% c) 木チップ  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  30%

写真5 ガラスブロック作製(アルミナ)最高温度 1250℃ 3 時間



a) 1150℃ b) 1250℃ c) 30倍 拡大

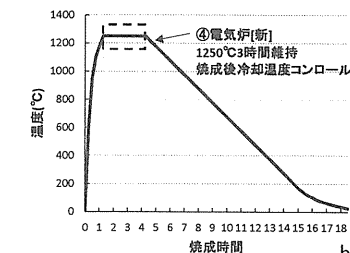
写真6 最高温度 3 時間焼成(塗厚 2mm) 100 角タイル 温度比較



a) 図5・aの①温度で焼成

$\text{NaHCO}_3$  50% (30倍)

##### a) タイルガラス皮膜焼成時間



b) 図5(b)の④温度で焼成

##### b) タイルガラス皮膜焼成時間

$\text{NaHCO}_3$  50% (30倍)

図6 温度コントロール

写真7 貫入ひび割れ比較

##### 5.1.3 冷却温度コントロール

写真6の(c)30倍を見るとひび割れがある。このひび割れは貫入と呼ばれるもので陶芸ではわざと貫入を作るものもある。原因は冷ましが急な場合や、釉薬の部分と素地

の収縮率の違いによって発生する。そこでこの実験では冷ますスピードを調整して貫入をコントロールできないかと考えた。実験結果が写真7のa,bであるが、この実験では貫入の有無は変わらなかった。結果からまだ冷ますスピードが早いか、材料との収縮率の相性が貫入の問題だと考えられる。

## 5.2 廃材によるガラス色コントロール(研究4-2)

### 5.2.1 タイルガラス被膜の着色の結果

破碎した窯業系サイディング廃材に対して炭酸水素ナトリウムを50%混ぜ、さらに着色するために $\alpha$ で酸化金属やスラグを添加し試料を作製した。右の写真5は、その試料を100角タイルの上に厚さ2mmで乗せて、高温電気炉にて最高温度1150℃を3時間維持して焼成したものである。それら試験体の色差を測定し、 $a^*$ ・ $b^*$ の軸で作った散布図を図9に示す。添加物なしのタイルガラス被膜に比べてNiスラグと酸化クロームはあまり色の変化が見られないが、酸化コバルトを添加したものは通常よりも $b^*$ 値がマイナスと低くなっており青色に近づいた。酸化鉄とCuスラグを加えると $a^*$ 値がプラスに大きくなり赤色味が強くなった。

### 5.2.2 着色顔料の添加量調節による色の变化

酸化コバルトと酸化クローム共に含有量をサイディングと炭酸水素ナトリウムを混ぜた量に対してそれぞれ1%、5%、10%の量を入れて木チップサイディングと、標準窯業系サイディングでわけて顔料ごとに計6種類のもの焼成を行った。結果を色差計で測定し $a^*$ (横軸)、 $b^*$ (縦軸)で表したグラフを図11と図12に表す。どちらの顔料でも含有量を変えても大きな色の違いは出なかった。

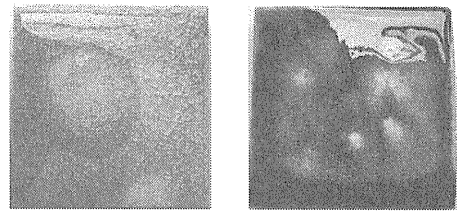
## 6. まとめ

以上実験から再生仕上げ建材について以下の知見を得た。

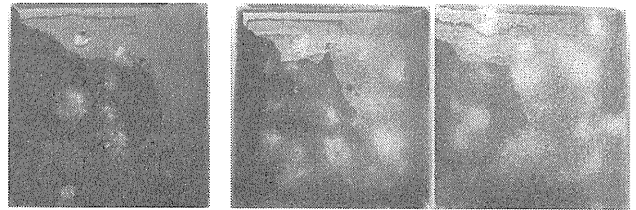
- 1)  $\text{NaHCO}_3$ 添加量を減らし、長時間高温焼成することでガラス質系材料を作製できる可能性がある。
- 2) タイルの材料を別の材料に変えることで貫入(ひび割れ)をなくせる可能性がある。
- 3) 酸化金属やスラグでタイルガラス被膜に着色できる。
- 4) 顔料の添加割合を1%~10%で行ったが、変化がほぼ見られなかったため、さらに広く0.1%~20%くらいで顔料の割合で調節して実験を行う必要がある。
- 5) タイルガラス被膜は顔料の量や薄さ、焼成時間の調節で再現性を高める必要がある。

## 謝辞

本研究はH30年度工学院大学私立ブランディング研究の一部であり、実施にあたり、NPO法人外装エコロジーシステム関係各位、窯業系サイディングの提供、調査・議論等で多大な助力を賜り、感謝いたします。

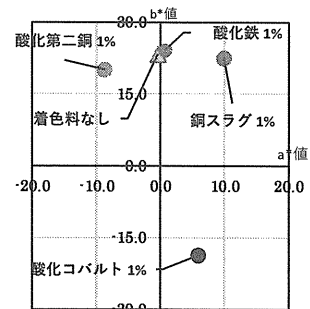


a) 添加物無し b) 酸化鉄

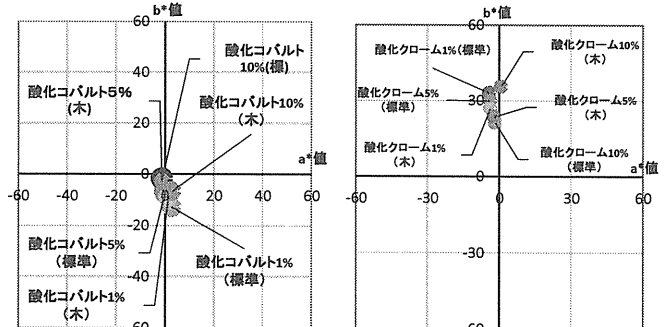


c) 酸化コバルト d) 酸化第二銅 e) 酸化鉄

写真8 タイルガラス皮膜の着色



a) 写真8の試験体の色差比較



(b) 酸化コバルト (含有量: 1%, 5%, 10%) (c) 酸化クローム (含有量: 1%, 5%, 10%)

図7 着色した試験体の色差位置比較

表5 タイルガラス皮膜作成時の使用電力量

項目	1150℃(3時間維持)	1250℃(3時間維持)
使用時間(合計)[h]	11	12
積算電力量[kWh]	3.20	4.05
積算電気料金[円]※1	89.61	109.35
CO <sub>2</sub> 排出量[kgCO <sub>2</sub> ]	1.78	2.25

※1 電気料金の1kWh単価は全国家庭電気製品公正取引協議会で定められた27円とする

## 参考文献

- 1) 日本窯業外装材協会 統計データ「年別・窯業外装材出荷量」、「新設着工戸数」、「住宅建材使用状況」参照
- 2) 経済産業省「硬質ウレタンフォーム断熱材の現状及び検討の方向性について(案)」参照
- 3) 梅原優 窯業系サイディングの資源循環を可能にする再生材の研究 2016年度日本建築学会関東支部研究報告書
- 4) 鈴木悠人 窯業系サイディング廃材を用いた再生ガラス質系資材への水平リサイクル化 2017年建築学会関東支部



## 各種都市建築物の非構造部材における性能評価と機能継続に関する研究 — 木質外装材へのアクリルシリコン系透明保護塗材を用いた退色防止性 —

非住宅、外装材、紫外線劣化、表面保護

下地 啓太\*<sup>1</sup> 田村雅紀\*<sup>2</sup> 奈良利男\*<sup>3</sup>  
内藤真弘\*<sup>4</sup> 島袋省三\*<sup>5</sup>

### 1. はじめに

日本では古来より国産材の木が建築に多く用いられてきた。しかしながら国内に豊富な資源を有するにもかかわらず、現代では伝統的建築でよく見られる外装木材の文化は失われつつある。その理由の一つとして、木材を窯業系サイディングやモルタル外壁のスタッコといった住宅への普及率の高い材料と比較した場合、耐候性能だけでなく寸法安定性や施工性が劣っていることが挙げられる。そのため、外装木材における劣化の一般的な解決策として、表面に保護塗装を施し、材料そのものに耐久性能を付与する方法が存在する。そういった塗料の多くは塗材自身が様々な色を持っていることが一般的だが、無垢材や CLT といった木質材料の素地をそのまま使用した、あらかわ仕上げが好まれている事実も存在する。

図 1 に本研究のフローを示す。研究 1,2 は既往の研究にて作成された屋外暴露試験体を計測し、こけら葺き屋根の劣化傾向の観察を行った。この結果から外装材として木が退色してゆく過程を把握し、研究 3 として杉板にアクリルシリコン系のクリア塗装を施した試験体を屋外にて半年間の曝露試験を行い、JISZ8730 表色系 XYZ 三刺激値に基づき L\*、a\*、b\*値と色差  $\Delta C^*ab$  にて退色の評価を行う。さらに研究 4 では、木材の屋外曝露初期に見られる黄色変化について検証を行う。

### 2. アクリルシリコン系クリア塗装を用いた木材の退色防止の検証

#### 2. 1 使用材料と実験概要

表 1 に研究 3 の使用材料と試験体の曝露条件を示す。試験体に杉を選択したのは、建造物に使用される木材として一般的であり、使用量が多いためである。また、実際に外装材として使用される場面を想定して試験体は柾目、追い柾、板目の水準を設け、色の比較のため辺材、心材と分けた。ここでは未塗装とアクリルシリコン系透明塗装標準仕様の柾目辺材試験体の劣化進行に着目し、比較・評価を行う。

\*1 工学院大学・建築学科 4 年 \*2 工学院大学・教授

\*4 株式会社セブンケミカル

表 2 試験体測定項目 (研究 3)

項目	実験要因	実験水準
研究 3 アクリルシリコン系クリア塗材を用いた木材の退色劣化防止の検証	退色経過測定	L*, a*, b*
		$\Delta C^*ab = \sqrt{(\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}$
	退色経過特性	0-6 ヶ月
	曝露 角度	0°, 45°, 90°
	曝露 水分量	水分量 (%)
	曝露 紫外線量	紫外線量 (mw/cm <sup>2</sup> )
	曝露 質量変化	質量 (g)

表 1 曝露試験の使用材料と条件 (研究 3)

試験体	角度	塗装条件	
杉板 (寸法 : mm) 300×60×14 辺材、心材	0° 45° 90°	未塗装	
		市販木材保護塗料 (乳白色)	
		アルキド樹脂塗料 (ブラウン)	
		アクリルシリコン系透明保護塗料	UV 吸収剤 0.3%
			UV 吸収剤 0%
UV 吸収剤 1%			
防腐・防カビ材 防水材無し			
こけら板	0° 45° 90°	未塗装	
		アクリルシリコン系透明保護塗料	UV 吸収剤 0.3%

曝露試験台東側立面図 (寸法 : mm)

表 3 初期劣化促進試験の材料と試験項目

試験体	要素	促進試験項目	時間 (h)
杉 (寸法 : mm) 30×30×5	光 空気 水分 (試験 A)	紫外線 (UV-A365nm)	1.5/ 3
		浸水	2
		水蒸気	2
		O <sub>2</sub> 養生	36
	熱 (試験 B)	乾燥 (160°C加熱)	24/ 48

\*3 奈良研究所

## 2. 2 実験内容与方法

表2に試験体の測定項目、図2に曝露試験体と測定箇所を示す。研究3の試験項目は、継続的な屋外曝露により試験体の退色を観察するため、色差計を用いて計測を行い、色彩値(L\*,a\*,b\*)にて評価する。その際、重量と含水率も共に計測する。また、研究1,2から木が退色する主な要因は紫外線であると考え、月ごとに紫外線量の測定を正午を行う。角度によって受ける紫外線量も異なるため、0°、45°、90°のそれぞれの角度にて紫外線量の測定を行う。

本研究の実験は半年間の曝露試験にて行い、定期的に試験体の色彩値、含水率、試験体重量の測定に加え、時期ごとの紫外線量(UV-A)を測定する。今回は試験体辺材と心材それぞれ三ヵ所の色彩値の平均を算出し、評価を行う。

## 2. 3 曝露実験結果

### 2. 3. 1 八王子での紫外線量測定

図3に本研究の屋外曝露試験を実施した工学院大学八王子キャンパスにて測定した、快晴時月ごとの紫外線量グラフを示す。このグラフはX軸を測定月、Y軸をUV-A(315nm~400nm)の照射量を表し、グラフより0°と45°の角度において強い紫外線を受けていることがわかる。紫外線量照射量のピークは6月にあり、12月になると全体量が減少する。加えて、9月ごろになると太陽高度が下がる影響で0°と90°の照射量の逆転が見られる。グラフ中空欄の9月は台風などで測定日の天候が雨や曇りの日が多く、快晴時の紫外線測定が出来なかった。

### 2. 3. 2 曝露26週間杉試験体の目視による退色確認

図4に屋外曝露26週間が経過したa)未塗装とc)UV吸収剤を0.3%含有したアクリルシリコンクリア塗装を施した杉試験体の写真と、b)、d)にそれぞれの拡大写真を示す。図中左から曝露をしていない保存試験体、曝露0°、45°、90°で並べている。図a)とb)の双方を比較すると、塗装を施したものは黄色く木質色を残している一方で、未塗装のものは黒く無彩色に近い色に変化していることが明らかである。加えて屋外曝露によって、辺材と心材の色の差がほとんど無くなっていることが確認できる。

未塗装の試験体に注目すると、辺材と心材の区別がわからないほど退色が進行し、シルバーグレーに変色している。90°で曝露を行った試験体のみ劣化の進行が遅いことに加え、心材と辺材で劣化の速度が異なることがわかる。未塗装拡大写真より、紫外線や雨によってダメージを受けた表面が荒れ、隙間にチリ・ホコリの付着が確認できる。次にアクリルシリコンクリア塗装を施した試験体に注目すると、角度によって大きな差は見られないものの、曝露を行っていない保存試験体と比較すると黄色が強く変色

しており、辺材と心材の色の違いがあいまいになるように変化している。拡大画像からは、塗装を施すことにより、木材表面が保護され、曝露約半年が経過した段階でも細胞をはっきり観察することが出来る。

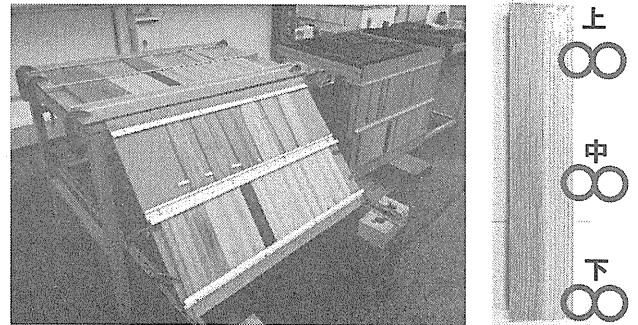


図2 曝露試験体の様子と測定箇所

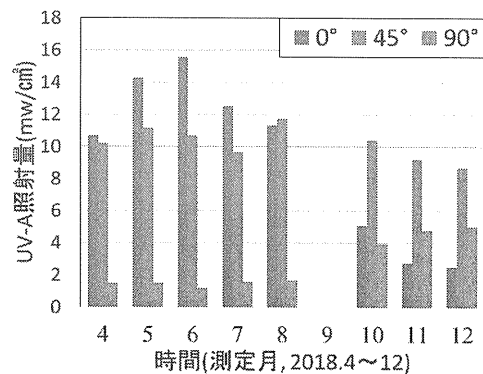
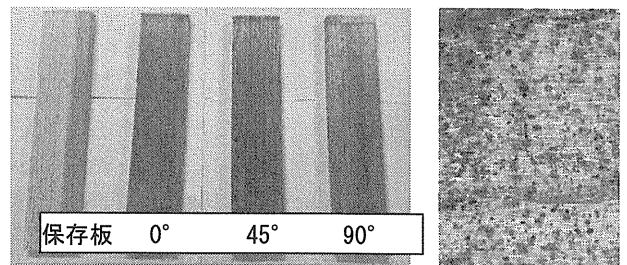
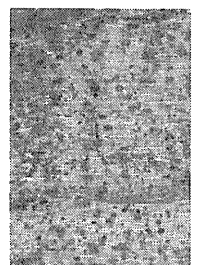


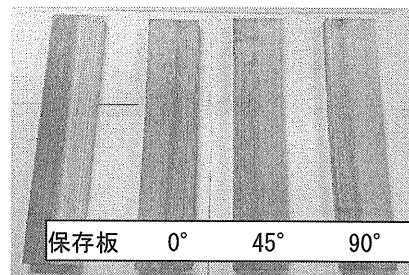
図3 4~12月快晴時 UV-A 照射量 (測定場所: 八王子)



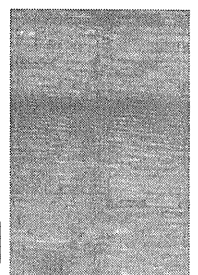
a) 未塗装柱目材



b) 未塗装拡大写真



c) アクリルシリコンクリア塗装柱目材



d) 塗装拡大写真

図4 屋外曝露26週間経過の杉試験体

### 2. 3. 3 曝露26週間杉試験体の色彩値による退色確認

図5に曝露26週目における未塗装柱目材とアクリルシリコンクリア保護塗装柱目材の色彩値をまとめたグラフ

を示す。X 軸に屋外曝露の経過時間(週)、Y 軸にそれぞれの色彩値をとる。表 2 に示した  $\Delta C^*ab$  を用いて色彩値  $a^*$  と  $b^*$  の初期値からの変化量を求める。

はじめに、図 5a),b)より、未塗装の  $L^*$  値は減少していくのに対し、塗装を施した試験体は屋外曝露による大きな変化は見受けられない。また塗装の有無に関わらず、 $L^*$  は異なる曝露角度による数値の違いは確認できない。

次に図 5c),d)より、未塗装試験体は曝露開始約 1 週間で赤みが強くなり、その後減少傾向に転じている。塗装試験体は  $a^*$  値 +5.0 前後にて一定になるのに対し、未塗装試験体は約 10 週目でマイナスとなり緑に変色する動きを見せた。また、 $a^*$  値において 90° で曝露した未塗装試験体は他のものと比べて変化量が小さいことがわかる。

図 5e),f)より、木質色の黄色の変化は曝露条件によって大きく異なることがわかる。未塗装試験体は曝露 1 週間で  $b^*$  値が大きく上昇し、次第に下がっていることが見て取れる。一方で塗装試験体は初期色からわずかに上昇がみられるが、およそ曝露 5 週目に  $b^*$  値がピークとなり、そこから大きな数値の変動は見られない。また、 $b^*$  値においても 90° の変化量は少ないことがわかる。

最後に図 5g),h)より、未塗装試験体の色彩値の変化量は塗装試験体に比べて大きく、バラつきがあることが分かる。未塗装試験体の  $\Delta C^*ab$  が曝露開始 1 週間で急激に変化し、その後 5 週目で塗装試験体とほぼ同じ数値まで減少しているのは、 $a^*$ 、 $b^*$  のグラフより、初期劣化により急上昇した色彩値が退色することで初期色に近い色に変化しているということが分かる。

これらのグラフを比較し、未塗装試験体の色彩値は曝露経過とともに減少していくが、塗装試験体の色は全体的に安定していることが分かる。加えて 90° の角度にて曝露を行った未塗装試験体は他角度と比較すると  $a^*$  と  $b^*$  の色味を示す数値のみ変化量が小さいことがわかる。

### 2. 3. 4 曝露 26 週間こけら材の色彩値による退色確認

図 6 に伝統建築物仕様であるこけら板を 26 週間屋外曝露した結果を示す。こけら板試験体は作製から数年間の保存期間があり、黄色変化した状態から曝露を開始した。a), b)より、屋外曝露によって未塗装試験体は白く変色していく傾向があり、90° のみ数値が大きく変化している。また c), d)より、こけら板も杉板と同じように、塗装によって表面色の退色が抑制されていることが分かる。塗装を施した試験体の  $\Delta C^*ab$  は曝露開始 2 週間で初期劣化が終了し、その後表面色を保っていることがグラフより見て取れる。

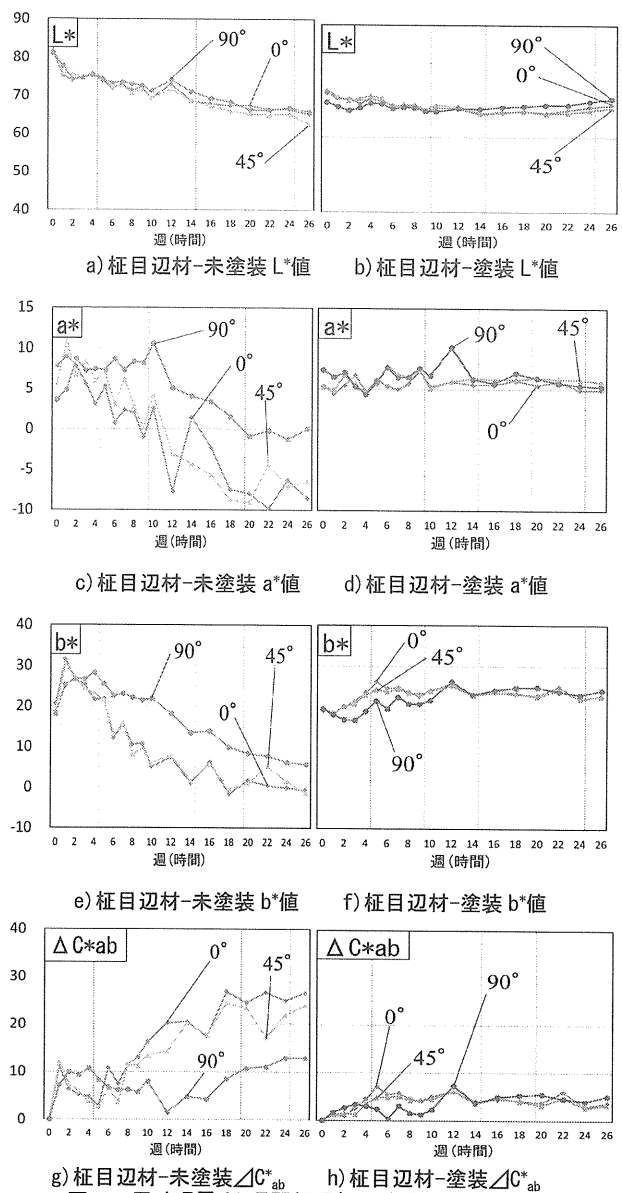


図 5 屋外曝露 26 週間経過杉試験体の色彩値グラフ

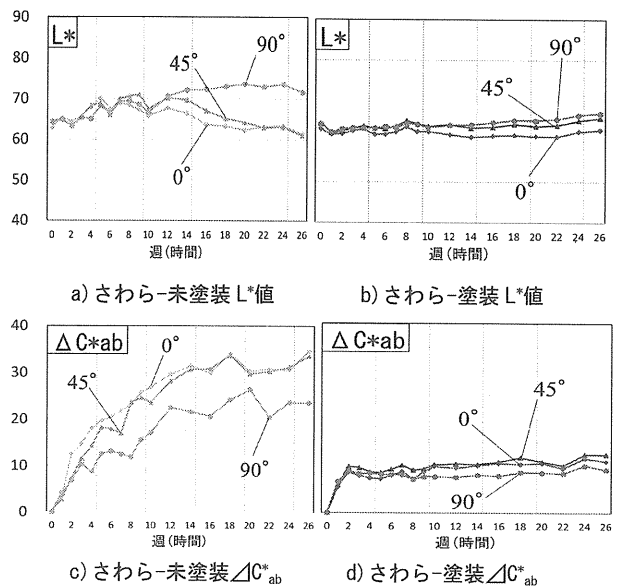


図 6 屋外曝露 26 週間経過こけら板試験体の色彩値グラフ

### 3. 酸化反応・紫外線照射による木材初期劣化の検証

#### 3. 1 使用材料と実験概要

表 3 に研究 4 で使用した試験体の材料と、促進試験の項目、試験を行う時間を示す。本研究では、研究 3 の測定結果より得られた、紫外線や雨といった屋外環境下にて退色が進行する前の初期劣化として黄色変化を表す  $b^*$  値の急上昇について、主にどういった屋外環境要因が初期劣化に関係しているのか検証を行う。

#### 3. 2 実験内容と方法

促進試験の項目として、紫外線照射と水中、水蒸気中、高酸素中での養生を繰り返す試験（以下試験 A）と、 $160^{\circ}\text{C}$  中での加熱養生試験（以下試験 B）の 2 つに分けて行う。試験 A では、紫外線ランプを用いて生材への照射を行い、その後表に示した項目での養生を行う。ここまでの 1 サイクルを計 3 回行うことで色の変化の確認を行う。試験 B では紫外線照射は行わず、生材を  $160^{\circ}\text{C}$  中にて 24 時間、48 時間でそれぞれ養生を行い、色の変化を観察する。

#### 3. 3 劣化促進試験結果

##### 3. 3. 1 目視による木材初期劣化の確認

図 6 にそれぞれの促進試験を行った後の試験体の拡大画像を示す。生材の初期色から比較を行うと、どの促進試験においても変色が見られる。紫外線照射後に水蒸気、加熱を行った試験体の変色は比較的強く、一方で高酸素養生を行ったものはほとんど変化が見られなかった。

##### 3. 3. 2 色彩値による木材初期劣化の確認

図 7 に紫外線照射と各促進試験を繰り返した際に測定した色彩値を示す。紫外線照射と促進試験を繰り返した試験 A の結果より  $a^*b^*$  値グラフから紫外線照射によってわずかに無彩色に近づき、促進試験を行うことで色彩値の急激な増加が確認できる。さらにグラフより、高酸素中にて養生を行った試験体はいずれの色彩値もほとんど変色を示さなかった。試験 B の結果からは、加熱により表面明度は落ちるが  $a^*b^*$  値ともに向上が見られる。

#### 4. まとめ

アクリルシリコン系クリア塗材による木材の退色劣化防止試験により、以下の知見が得られた。

- 1) 紫外線吸収剤含有のアクリルシリコン系クリア塗装<sup>1)</sup>で木材表面を覆うことで木質外装材の退色への対抗<sup>2)</sup>策として有効であることが分かった。<sup>3)</sup>
- 2) 表面を塗装で覆うことにより、劣化して荒くなった木材表面へのチリ・ホコリの付着による汚れ防止に有効<sup>4)</sup>であることが分かった。

3) 木材の初期劣化である黄色変化は空気中の酸素濃度に依存せず、主に紫外線照射や酸化によって引き起こされるが、雨による水分や日射による熱といった要素が初期劣化を促進することを把握できた。

4) 図 5 の e), f) より、屋外曝露 1 週目の木材の黄色変化を示す  $b^*$  値が増加することから、図 7 より紫外線と水蒸気、浸水によって劣化促進された試験体の色彩値が屋外曝露の初期劣化色に近いことが分かる。

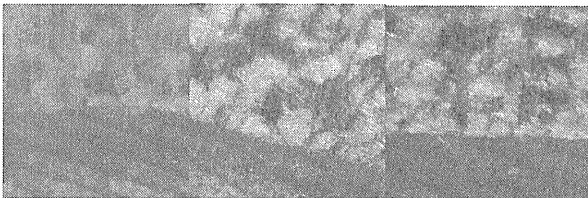
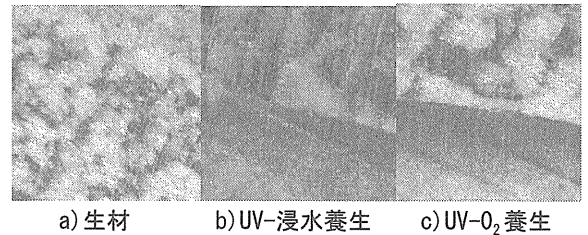
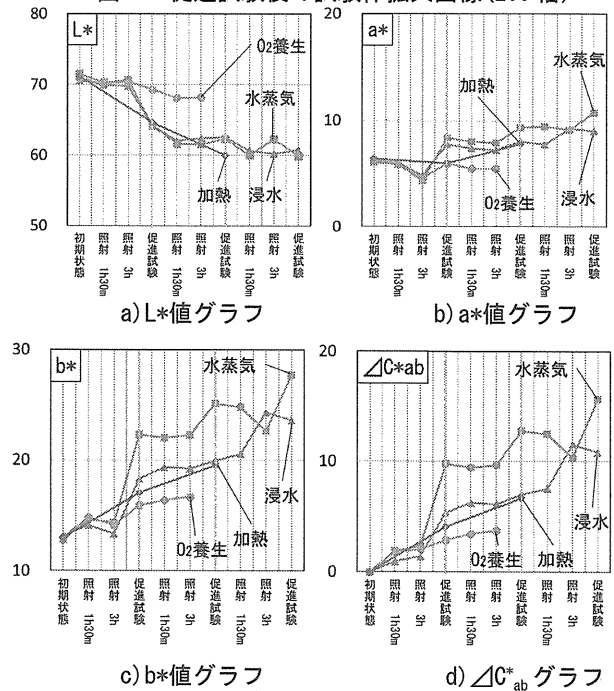


図 6 促進試験後の試験体拡大画像 (200 倍)



#### 参考文献

- JIS Z 8729 色の表示方法— $L^*a^*b^*$  表色系及び  $L^*u^*v^*$  表色系  
 JIS Z 8730 色の表示方法—物体色の色差  
 清永美奈子, 田村雅紀, 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, 日本建築仕上学会学術発表学術発表論, pp.123-126, 日本建築仕上学会, 2009 年  
 有害紫外線モニタリングネットワーク「観測データ公開」  
 URL: <http://db.cger.nies.go.jp/gem/ja/uv/>

## 各種都市建築物の非構造部材における性能評価と機能継続に関する研究

### —木質・植物系屋根に対する高粘度液体による延焼抑止効果—

非住宅、外装材、紫外線劣化、表面保護

小清水基貴\*1 田村雅紀\*2 後藤治\*3 小林直行\*4

#### 1. 実験の背景と目的

現在、日本の歴史建造物を保全していく活動がより活発になってきている。本研究では、歴史的建造物の中の茅葺屋根建築の保全に関する研究を行う。茅葺屋根の保全活動においての問題例として挙げられることは、茅葺屋根は火災にかなり弱いことだ。茅葺屋根は非常に火災に弱い理由として飛び火による着火、延焼抑止が非常に困難であるということが挙げられる。これは過去、茅葺屋根の火災被害が大火災となってしまうことに大きく関係していた。本論文では、この茅葺屋根の延焼のリスクを削減することを目標とし、研究を進める。しかしこれまでの水による消火は、茅葺屋根の特性でもある水を屋根に保持することなく、流れて行ってしまったため、水による消火、延焼防止は不効率であると考えた。そこで私たちは水に代わる消火剤として、消火に対して有効性が高い、高粘性液体に目を向けた。高粘性液体は環境への負荷が少なく、高粘性により屋根表面に残しやすいため、火災時の延焼を防止できるのではないかと考えた。本研究では、茅葺屋根の延焼に対する消火対策の一つとして、高粘性液体の水に対する燃焼抑制の効果、並びに物質に与える影響、液体を散布したことによる燃焼後の保持性、影響について考察する。

#### 2. 実験概要

##### 2.1 実験内容

表 1 に使用材料、表 2 に実験概要を示す。

茅葺屋根の模型を作成し、上部から水を散布し、浸水状態を確認。その後、高粘性液体を塗布して、高粘性液体が水よりも延焼抑止の性能が優れているかを研究する。その後高粘性液体の粘性が消火時もっとも有効的に行うことができるかを数値化して行く。その他、TA-DTA による燃焼実験を行い、温度による高粘性液体の状態変化や、炭化形態保持能力を把握する。

##### 2.2 現存茅葺屋根建築の現地調査と茅葺屋根の工法等

a) 図 2 に現場の写真を示す。今回調査した現場では、数百年歴史を持った茅葺屋根建築の吹き替え工事を行っていた。

b) 図 2 の画像より茅葺屋根の使用材料は屋根の表面からヨシ→杉皮→茅→藁の構成。表面腐食の進みが早いので、表面は耐久性のあるヨシを使用する。ヨシの次の層にある杉皮は飾りに相違ない。杉皮の次は、茅だがこれらはヨシに比べ安価なため、コストダウン等を目的とした配分と考えられる。屋根の吹き方として、下層部まで水が浸透はしない為、総取り換えはまずない。しかし、屋根面で水の流れが集中してしまうところが

あるので他よりも傷んでしまうところは、部分的な修復は必要である。茅葺屋根の特徴として、軒先が 1 番厚く吹かれていて上部にむけて徐々に吹き量を減らしている。これは、軒先が傷みやすいためである。屋根の密度は軒先から棟まで一定である。

表 1 使用材料

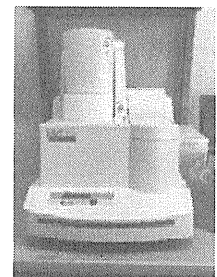
実験項目	使用材料
1. 茅葺屋根の画像解析	現存茅葺屋根画像 5 枚
2. 水と高粘性液体の散布実験と塗布実験	1) 模擬雨の液体 2) 高粘性樹脂 2%含有の液体
3. 高粘性液体の粘性実験	高粘性樹脂 2%, 3%, 4%含有の液体
4. 高粘度処理済要素試料を用いた TA-DTA 分析	1) 無処理セルロース繊維 2) 高粘度処理セルロース繊維 (高粘度樹脂 3%液体を使用し、乾湿処理を 3 度繰り返したもの)
5. 燃焼時の破壊防止効果の燃焼実験	1) 高粘性液体、水 2) 桐、杉、桧 10×10×10 mm の木片

表 2 実験概要

実験項目	実験内容
1. 画像解析による茅断面割合の算出	茅葺屋根の軒先断面を画像解析ソフト (lia320378) で解析し、密度を算出する
2. 水と高粘性液体の散布実験と塗布実験	茅葺屋根の模型を作成。水と高粘性液体の屋根面、屋根内の残留状態の確認
3. 高粘性液体の粘性実験	デジタル粘度計 <sup>1)</sup> よりせん断速度に対する粘性 (Pas) 降伏値 (N/m <sup>2</sup> ) の変化を算出する
4. 高粘度処理済要素試料を用いた TA-DTA <sup>2)</sup> 分析	燃焼時に物質に与える影響を分析する。 ・熱重量 (%), 示差熱 (μV) 測定値の比較
5. 燃焼時の破壊防止効果の燃焼実験	各木片を無処理、水、高粘性液体含浸状態にし、燃やして加圧計により圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> ) を算出する。



1) デジタル粘度計



2) TG-DTA

\*1 工学院大学・建築学科 4 年 \*2 工学院大学・教授

\*3 工学院大学・総合研究所・教授

\*4 工学院大学・総合研究所・客員研究員

## 2.3 画像解析による茅断面割合の算出

### 2.3.1 茅葺屋根の画像解析

図3に解析用の画像の解析画像を示す。

本研究の画像は、茅葺屋根試験体の一部を撮影した画像である。画像を4つの要素(隙間部分、乱雑部分、断面部分、表面積)に分類し、茅葺屋根面に占める4要素の割合を算出した。

### 2.3.2 屋根面の3要素の割合算出

図3の3要素に分けた茅の解析画像を画像解析ソフト(lia320378)で解析を行った。

図1. a)の解析画像は100×100の面積である。画像内の隙間部分、断面部分、乱雑部分の面積は、18.5mm<sup>2</sup>、201mm<sup>2</sup>、210.5mm<sup>2</sup>となった。3要素の合計から茅の表面積の画像上の面積率は57%であるが、画像に対して約120%であると仮定して、68.40%と想定できる。

図3. b)の解析画像は100×100の面積である。画像内の隙間部分、断面部分、乱雑部分の面積は25.3mm<sup>2</sup>、97.6mm<sup>2</sup>、300.6mm<sup>2</sup>となった。3要素の合計から茅の表面積の画像上の面積率は42.35%であるが、画像に対して約120%であると仮定して、69.18%と想定できる。

### 2.3.3 画像解析の考察

図4から、茅葺屋根の屋根表面は茅の側面がほとんどを占め、水に保持能力がほとんどないということから、水による消火では、延焼はほとんど保持することができないため、水での消火は不効率であると推測できる。

しかし、高粘性液体は、保持能力が高いことから、側面が大きくなればなるほど、能力を發揮することができると考える。さらに、隙間部分がほとんどなかったため、高粘性液体が屋根面、屋根内部に保持され延焼を抑制できると推測される。

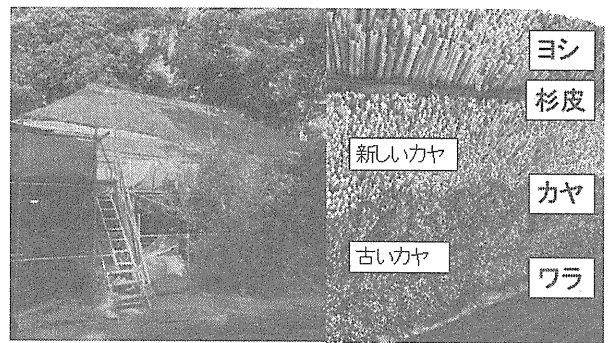
## 2.4 茅葺屋根への水、高粘性液体の散布実験、塗布実験

### 2.4.1 試験体の画像解析

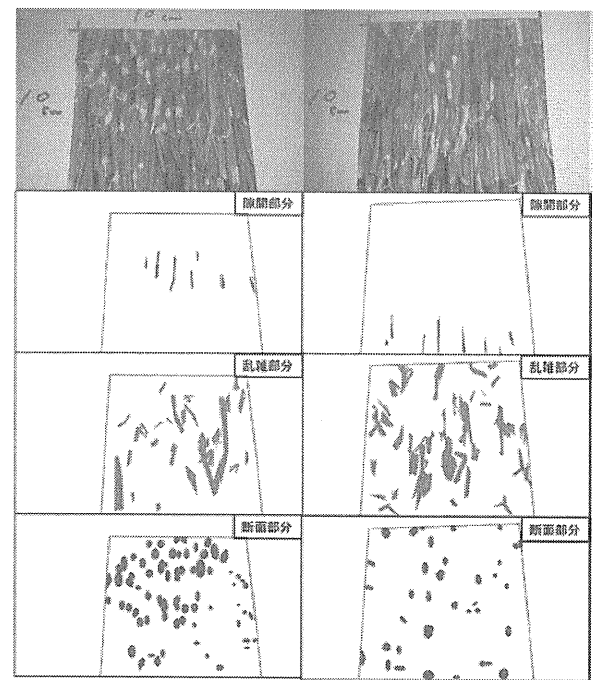
図5に試験体を示す。試験体は、現場の茅葺屋根の軒先断面画像解析により茅密度50%~60%で作成する。1層ごと色分けし浸水度を測れるようにする。また、この実験は延焼を予防する手段の1つの方法として行う。

### 2.4.2 散布実験と塗布実験の実験結果

図6に雨だれ実験の評価方法を示す。膜厚部、充填部、流下部の要素に分け水と高粘性液体の浸透状況を把握する。濃度が高く上部に多く高粘性液体が、とどまった場合のみ、上部の充填量として区別し、評価を行う。図7に要素別の比較グラフを示す。水は充填されないと仮定しグラフを作成した。水に比べ高粘性液体の流下量は低減され保持能力があると考えられる。しかし今回実験した高粘性液体は高粘度樹脂2%含有であったが、まだ保持能力が低いと考える。図5に図8の概念図を示す。図5の7層の試験体で実験した結果を図8に示す。図8a)の水の散布実験では、3層目まで数値の変動が見られ、1層目、2層目は特に浸水量が多い。また、高粘性液体を上部から塗布した場合は1層目2層目までの浸水は見られた。高粘性液体の性質である、せん断速度による粘性の変化の特性がみられる。この実験においては水圧を無視した実験のため、実際の浸透度合いとは異なるが、予防策としては、十分に効果があることが分かった。

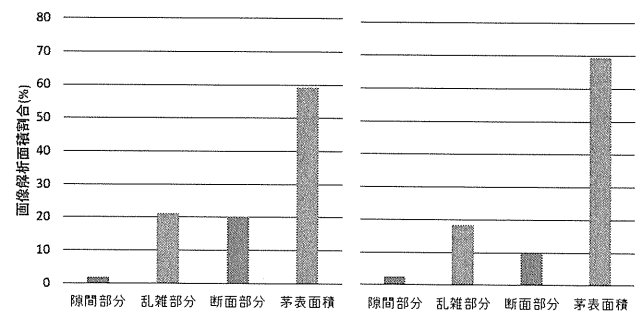


a) 現場画像 b) 軒先断面画像  
図2 茅葺屋根建築の現場調査



a) 解析画像1 b) 解析画像2

図3 解析用の画像(3要素以外は茅表面積とする)



a) 解析画像1の解析結果 b) 解析画像2の解析結果

図4 画像解析ソフト(lia32078)による解析結果

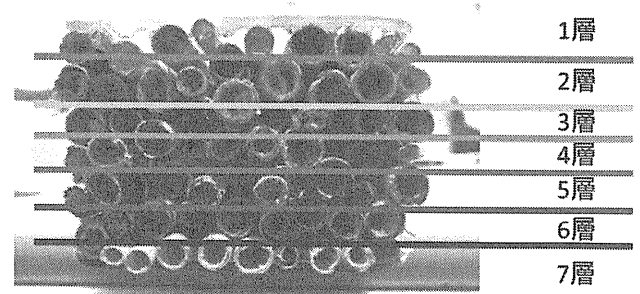


図5 散布・塗布実験の試験体画像

### 2.4.3 散布実験と塗布実験からの考察

高粘性液体の性質が随時見られた試験となった。高粘性液体は1層目の上部の多くとどまり、表面を覆っていた。対して水はほとんどが茅葺屋根の性質でもある保持能力の低さによって、ほとんどが流れ落ちた。このことから、高粘性液体が屋根にとどまることが出来ることが割った。高粘性液体がもたらす延焼遅延抑止効果が十分に期待することが出来るのではないかと考える。

2%濃度の高粘性液体では、粘度が低く、とどまることのできる質量が少なく流下部が多かったことから、2%濃度の液体では有効的ではないと考え、3%濃度の高粘性液体での実験が必要であると考え今後さらに実験を行っていく必要があると考える。

## 2.5 延焼防止に使用する高粘性液体の粘性実験

### 2.5.1 粘性実験の結果

図9にせん断速度に対する降伏値(左)と粘性(右)を示す。

以前より、高粘性液体はせん断速度に対して、粘性が下がり、降伏値も下がる結果が出ているため、本研究に取り入れられた。本研究ではそれらを数値化し、より精密に、分析を行った。せん断速度を与えることにより粘性は濃度に関係なく0に近い数値で粘性が下がることが確認された。さらに降伏値は、同じく大きく低下していた。

### 2.5.2 粘性実験からの考察

上記と図9から、高粘性液体は、せん断速度を与えることにより、大きく粘性と降伏値が低下した。さらに図9a), b), c)のグラフから高粘性液体は降伏値に大きな濃度依存性がないことから、高粘性液体の制御は容易に行うことが出来るということが分かる。これらのことから、発射時にはせん断速度が与えられ屋根面へ塗布が可能になり、塗布時にはせん断速度が与えられなくなる。保持能力を保つことができると推測できる

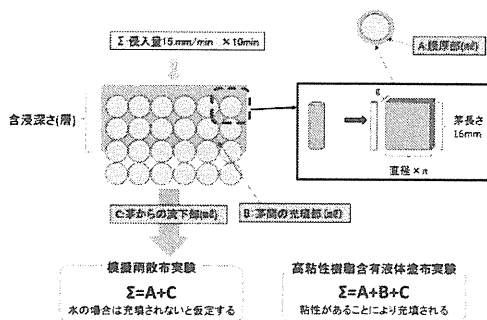


図6 散布実験と塗布実験の評価方法

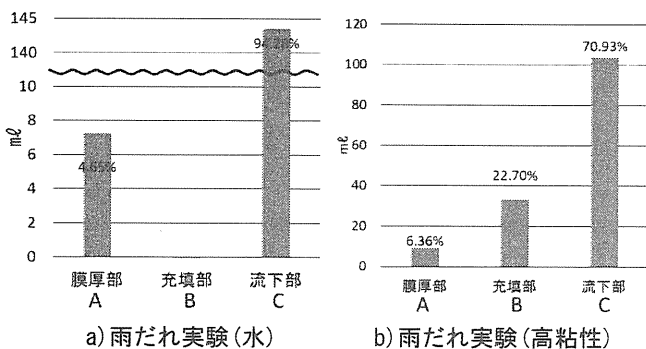


図7 散布実験と塗布実験の要素別グラフ

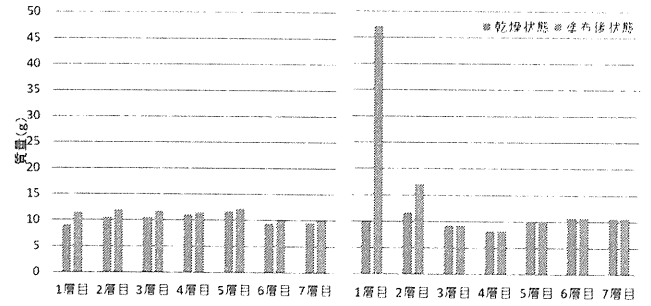
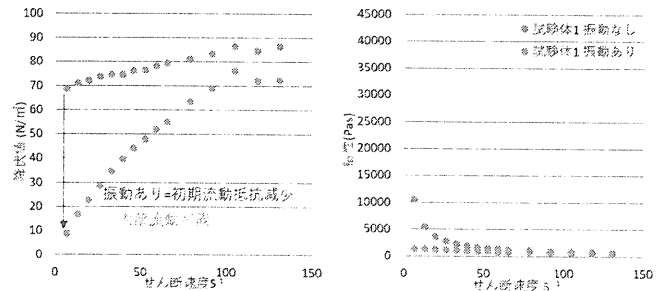
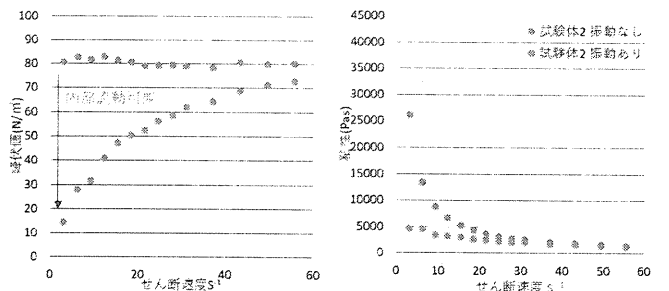


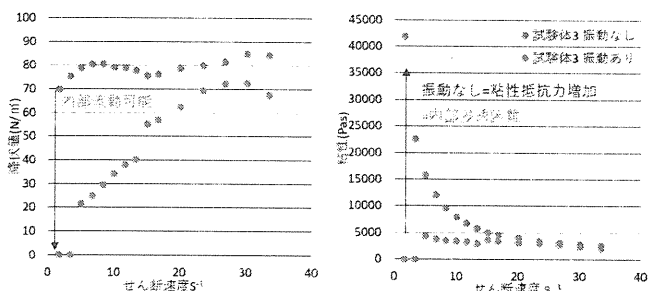
図8 試験体の各層における散布・塗布実験の結果



a) 高粘度樹脂(2%)の降伏値・粘性

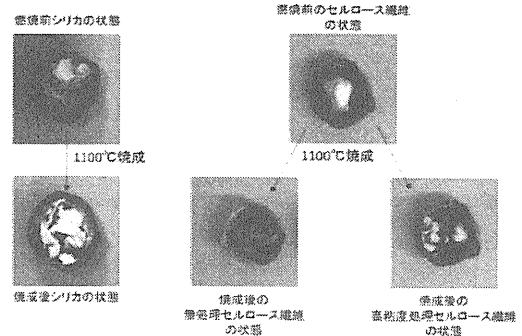


b) 高粘度樹脂(3%)の降伏値・粘性



c) 高粘度樹脂(4%)の降伏値・粘性

図9 せん断速度に対する降伏値と粘性のグラフ



a) 高粘度樹脂(シリカ) b) セルロース繊維

図10 高粘度樹脂(シリカ系成分)とセルロース繊維の燃焼後

## 2.6 高粘度処理済要素試料を用いた TG-DTA 分析

### 2.6.1 TG-DTA の結果

図 10 にセルロース繊維の燃焼前と燃焼後の無処理繊維と高粘性処理繊維の状態を示す。高粘性樹脂のシリカ Si 結晶水による水上発時間の保持、潜熱による発熱量低減、Si による炭化形態保持能力などの効果が期待される。シリカ Si により、炭化形態保持は黒ではなく白色で形態保持をした。今後この状態になった原因を実験で解明していく必要があると考える。

図 11 に温度上昇時の a) 示唆熱 (DTA)、b) 熱重量 (TG) の比較グラフを示す。結果から 450℃前後までセルロース繊維に対し Si が吸熱反応を起こし、最大発熱量を大幅に低減した。このことから、物質を完全焼失させることなく保持する能力があると想定できる。さらに a) 示唆熱変化ではシリカ Si により、吸熱効果により温度上昇が抑えられ、最高発熱量は 43%減少した。b) 熱重量変化では、上記にも示した通り、炭化形態保持がなされ、質量減を抑制した。

### 2.6.2 TG-DTA 分析の考察

高粘性液体に含まれるシリカ Si により、a) 示唆熱は抑制され、さらに、最大発熱量が大幅に減らすことが出来た。図 13, b) から熱重量変化も抑制された。さらに残留量が 40%残ったなどの結果から、高粘性液体の不燃化への期待や、火災時の熱上昇や、質量変化の抑制が期待でき、消火に有効的ではないかと推測できる。

## 2.7 高粘性液体による燃焼時破壊防止効果の燃焼実験

### 2.7.1 燃焼実験の試験方法

本研究では、高粘性液体の使用に対して、茅葺屋根以外の用途を模索する実験である。実際に他の材料に含浸させ、炭化保持能力の効果を見定める。

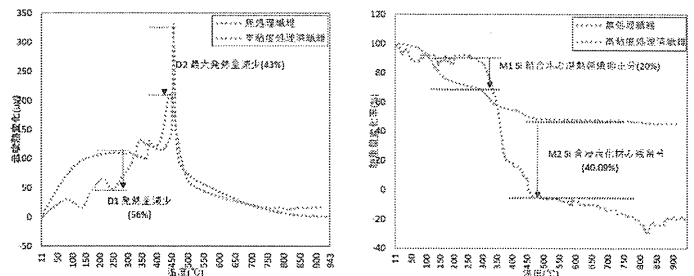
試験体は、木材を使用し、杉、桧、桐の 3 つを試験体として、10×10×10 mm で試験体を作成する。その後炭化保持能力を明らかにするため、圧縮強度を測定する。比較する対象は、液体を含浸させていない木材と、水、高粘性液体を含浸させた試験体を燃やした後に圧縮強度を測定し評価する。

### 2.7.2 燃焼実験の結果

水と高粘性液体の密度変化を図 12 a) に、最大荷重を図 12 b) に示す。燃焼後の試験体は 3 つ同様に高粘性液体を含有した試験体が高い数値であった。また、試験体の様子(図 13 に a) 桐 b) 桧 c) 杉 同様に右が水含浸の試験体、左が高粘性液体含浸試験体)においても、高粘性液体の試験体は水に比べて、軽以上維持されていた。また、最大荷重においても、全試験体が高粘性液体を含浸させることにより、強度が上がっていた。特に杉、桧においては 2 倍程度、残存強度が高い結果となった。

### 2.7.3 燃焼実験の考察

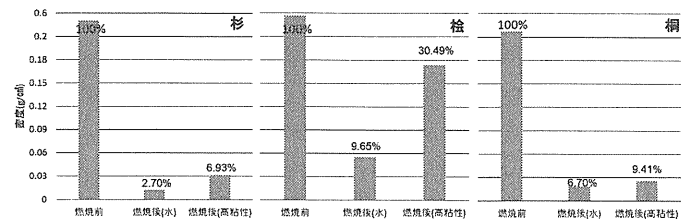
実験結果から、水に対して高粘性液体を木材に含浸させることにより、炭化形態保持能力が高いと分かり、さらに最大強度を高い状態で保持することもできた。高粘性液体が水に比べて、火に対してこれらの能力が高いことから、高粘性液体の木材に対する消火にも大変有効的であることがうかがえる。



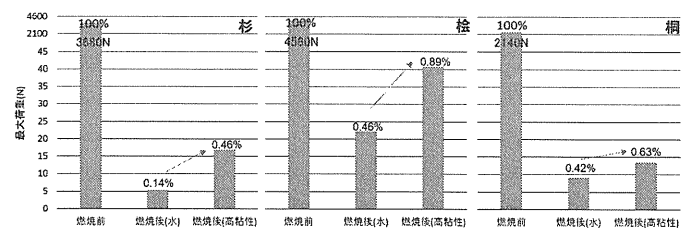
1) 示唆熱 (DTA) の比較

2) 熱重量 (TG) の比較

図 11 温度上昇時のセルロース繊維示唆熱・熱重量変化

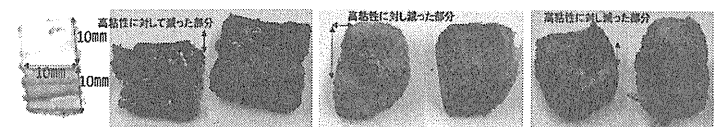


a) 燃焼前と燃焼後の密度変化率



b) 最大荷重変化率

図 12 試験体ごとの燃焼による密度・最大荷重変化



a) 杉 b) 桧 c) 桐

(※左:水含浸 右:高粘性液体含浸)

図 13 燃焼時試験体の様子

## 3. まとめ

- 1) 高粘性液体はせん断速度による粘性の変化により、水に対する屋根への保持能力の高さから延焼抑制効果がある。
- 2) TG-DTA 分析より、Si による炭化後の形態保持が確認され、熱量の抑制、最大発熱量の減少から消火にも有効的である。
- 3) 燃焼実験から、高粘性液体は茅以外の材料にも使用でき、炭化形態保持による強度の保持も確認され有効的である。

## 参考文献

- 1) 村田、石郷岡他：延焼中の茅葺き屋根に対する高粘度液体の燃焼抑制効果、平成 29 年度日本火災学会研究発表会概要集 P325~328 (2016)



## 機能継続・早期復旧を可能とする大地震対策建築モデルの開発 ～設備施設の耐震性能向上～

給水設備 ライフライン途絶 水賦存量 給水自給率

西川 豊宏\*

### 1. はじめに

過去の大地震では、建築構造は健全であっても、ライフライン機能を掌る建築設備の損傷やインフラ途絶により、建物を利用できないという事例が散見された。また、建物の居住者のみならず、帰宅困難者対応への配慮も発災後対応として考慮すべき事項とされている。また、首都圏でも今後 30 年以内に首都直下地震等が高い確率での大地震の発生が予想されており、ライフライン途絶時の人命維持や健康保持の観点から、建築物の耐震性能はもとより、非常時の水源確保は都市部における重要課題の一つと言える。今年度の課題としては、ライフライン途絶に際しての建物利用の実態を明確にすべく、評価エリアを想定し、平常時の水使用特性と非常時の水賦存量を予想し、設備施設の有効な耐震対策を立案するための基礎資料を得ることとした。

### 2. 対象地区の概要

#### 2.1 対象地区の選定

評価の対象とする地区を図 1 に示す。対象は新宿区西新宿と、渋谷区の甲州街道沿いとした。西新宿は新宿の中でも高層建築が多く、人口が集中しているため、災害時に多くの混乱が予想される。加えて帰宅困難者が多い場合、西新宿だけでは受け入れきれない可能性もあるため、甲州街道沿いも対象地区とした。

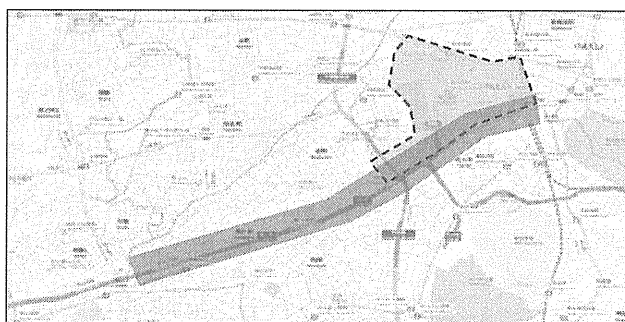


図 1 評価対象地区

#### 2.2 評価建物選定

災害時の水確保として、断水の状況下でも給水方式が高置水槽方式の場合、水槽の保有水は利用可能な水として確保することができるため、評価対象とする建物は対象地区内の高置水槽を有する建物とした。

高置水槽を有する建物を仮定するにあたって、受水槽

方式を採用する建物規定を引き込み口径が 50A 以上の建物とし、一般配管用ステンレス鋼鋼管流量線図より算出したピーク時の給水量から建物用途ごとにおける延床面積の条件を算出した。この算出によると、対象地区内で延床面積の条件を満たす建物は 271 棟となり、その中で地上階数 10 階以上の建物が高置水槽方式だと仮定した。また、受水槽の条件に満たない建物がいくつか存在したが、階数が 15 階を超える建物であれば高層建築であるため評価建物に加えることとした。

表 1 に用途別評価建物の棟数を示す。面的な範囲と線的な範囲で評価するため、西新宿エリアの 41 棟を面的な、甲州街道エリアの 110 棟を線的な範囲として分類し、それぞれ評価を行った。西新宿エリア 41 棟は事務所の割合が多く、全体の 3/4 を占めていた。一方、甲州街道エリア 110 棟の半分は集合住宅であり、事務所の 49 棟以上の棟数となった。

表 1 用途別評価建物の棟数

建物用途	西新宿[棟]	甲州街道[棟]
事務所	31	49
ホテル	4	55
一般家庭	4	4
教育施設	2	2
合計	41	110

### 3. 平常時における水利用

#### 3.1 評価建物の給水量

図 2 に対象地区における一日の総給水量を示す。一日の給水量は式(1)を用いて建物別で算出した。その際、給水量は建物用途によって給水量や水使用時間が異なるため、表 2 に示す文献<sup>1)</sup>の値を使用した。また、評価建物の延床面積の数値及び用途に関しては地理情報システム (GIS) を用いた。

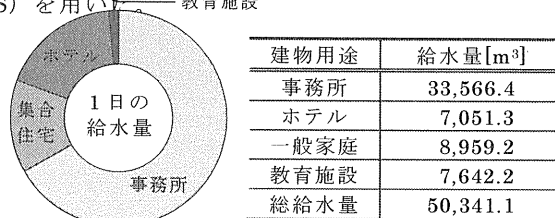


図 2 対象地区における用途別の一日給水量

$$Q_d = Q_n \cdot S / 1000 \quad \dots \text{式(1)}$$

$Q_d$  : 一日の給水量 [m<sup>3</sup>]  
 $Q_n$  : 単位床面積当たりの給水量 [L/(m<sup>2</sup>・日)]  
 $S$  : 延床面積 [m<sup>2</sup>]

\* : 工学院大学建築学部まちづくり学科,

表 2 建物種類別における単位床面積当たりの給水量<sup>1)</sup>

建物用途	給水量	水使用時間
事務所	8.05 L/(m <sup>2</sup> ・日)	9 h/日
ホテル	24.20 L/(m <sup>2</sup> ・日)	12 h/日
一般家庭	10.80 L/(m <sup>2</sup> ・日)	15 h/日
大学講義棟	4.00 L/(m <sup>2</sup> ・日)	9 h/日

図 3 に示した各用途の時刻別給水量の割合<sup>2)</sup>に評価建物における一日の給水量を乗じて時刻別給水量を算出した。また、事務所における土曜・日曜の割合は平日の水使用時間外(18時～8時)の平均値、教育施設は事務所と同様の給水量割合とした。時刻別の水槽水量を求めるにあたって、給水量を 1 分間隔にするため時刻別給水量の割合を細分化し、計算を行った。

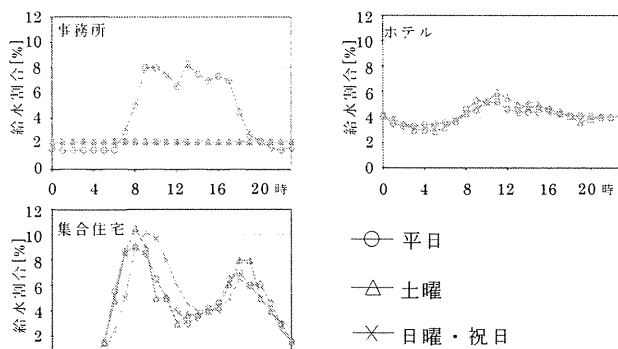


図 3 時刻別給水量の割合

図 4 に平日における西新宿エリア 41 棟の評価建物を、図 5 に平日における甲州街道エリア 110 棟の評価建物の時刻別給水量を示す。2 つのエリアの給水量は概ね等しかった。これは事務所の割合がどちらのエリアも多いため、類似する時刻変化となっている。甲州街道エリアにおける 9 時頃の給水量が他の時間帯より高くなっており、集合住宅の時刻別給水量の影響を受けている。事務所と集合住宅における給水量の割合の時刻変化は、類似しているが、昼間や深夜に差異が有り、それが甲州街道の給水量に表れている。

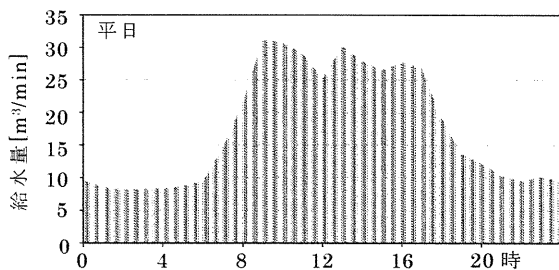


図 4 西新宿エリアにおける時刻別給水量

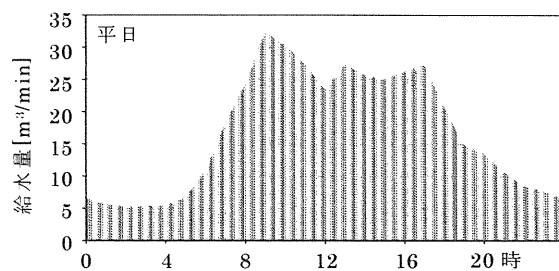


図 5 甲州街道エリアにおける時刻別給水量

### 3.2 評価建物の高置水槽容量及び補給水位

評価建物の災害時における給水自給率を評価するに当たり、式(2)～(4)の式<sup>3)</sup>を用いて高置水槽容量の仮定をした。高置水槽は給水特性(ピーク時予想給水量とその継続時間)と揚水ポンプの揚水量との関係から算出する。また、揚水ポンプの揚水量  $Q_{pu}$  は時間最大予想給水量  $Q_m$  とし、ピークの継続時間  $T_1$  は 30 分とし、揚水ポンプの最短運転継続時間  $T_2$  は 15 分とする。

高置水槽の揚水ポンプが起動する補給水位の仮定として、式(5)<sup>4)</sup>を用い、補給水位を下回った際に補給が開始され、満水に至るまで揚水を継続するものとした。

算出結果から西新宿エリアの高置水槽容量の合計は 2,068.4m<sup>3</sup>、甲州街道エリアの高置水槽容量の合計は 2,010.8m<sup>3</sup> と算定した。

$$V_e = (Q_p - Q_{pu}) \cdot T_1 + Q_{pu} \cdot T_2 \quad \dots \text{式(2)}$$

$$Q_p = Q_h \cdot k_2 / 60 \quad \dots \text{式(3)}$$

$$Q_{pu} = Q_m / 60 \quad \dots \text{式(4)}$$

$$WL_{le} = (Q_p - Q_{pu}) \cdot T_1 \quad \dots \text{式(5)}$$

- $V_e$  : 高置水槽容量 [m<sup>3</sup>]
- $Q_p$  : ピーク時予想給水量 [m<sup>3</sup>/min]
- $WL_{le}$  : 高置水槽補給水位 [m<sup>3</sup>]
- $Q_m$  : 時間最大予想給水量 [m<sup>3</sup>/h]
- $Q_{pu}$  : 揚水ポンプの揚水量 [m<sup>3</sup>/min]
- $k_2$  : ピーク時予想給水量のピーク率 (=3.0) [-]
- $T_1$  : ピークの継続時間(=30) [min]
- $T_2$  : 揚水ポンプの最低運転継続時間 (=15) [min]

### 3.3 高置水槽水量の時刻変動

算定した水槽容量と時刻別給水量より、1 日における時刻別水槽水量の変動を予測した。開始は満水状態の水槽水量から 1 分間隔で時刻別給水量を求め、水槽水量が補給水位を下回った時に揚水ポンプが起動し、満水になるまで揚水し続けるものとした。

図 6 に西新宿エリア、図 7 に甲州街道エリアにおける水槽水量の時刻変動を平日、土曜、休日に分けて示す。西新宿エリア及び甲州街道エリアはどちらも平日における昼間の給水量が多いため、補給水位を下回ってから満水になるまで他の時間帯より時間を要している。

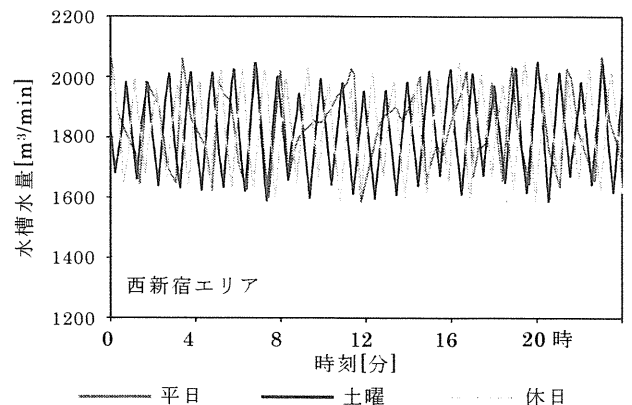


図 6 西新宿エリアの時刻別水槽水量

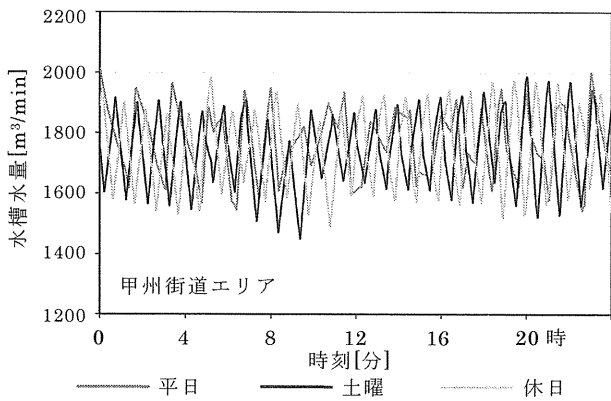


図7 甲州街道エリア時刻別水槽水量

#### 4. ライフライン途絶時における給水

##### 4.1 非常時給水の想定

災害時の給水自給率を評価するにあたり、上水・雑用水別で算出をした。表3に使用条件及び衛生器具仕様を、表4に大便器の使用条件を、表5に水槽水量の上水・雑用水比率を示す。一日当たりの衛生器具使用回数を5回とし、手洗いには上水を、便器洗浄には雑用水を使用すると仮定した。また、大便器の洗浄水量は表4に示すように各建物における竣工年次の最も出荷台数の多い大便器を使用するものと仮定した。

表3 使用条件・衛生器具仕様

上水使用用途		手洗い水
雑用水使用用途		トイレ洗浄水
トイレ使用回数 <sup>5)</sup>		5回/日
トイレ使用割合 <sup>6)</sup>	男性	大便器 1回/日 小便器 4回/日
	女性	大便器 5回/日
手洗い器吐水量 <sup>7)</sup>		1L/回
トイレ洗浄水量 <sup>7)</sup>	大便器	6~13L/回
	小便器	4L/回

表4 大便器の使用条件<sup>8)</sup>

出荷年(竣工年)	大便器洗浄水量
~ 1996年	13.0 L/回
1997年 ~ 1999年	10.0 L/回
2000年 ~ 2006年	8.0 L/回
2007年 ~	6.0 L/回

表5 上水と雑用水の比率<sup>9)</sup>

建物種類	上水[%]	雑用水[%]
一般建築	30	70
住宅	65	35
学校	40	60

##### 4.2 給水対象人員の想定

給水対象人員を評価建物における在館者及び帰宅困難者の合計とし、表6に給水対象人員を想定するための算出式を示す。在館者数は、建物用途が事務所及び教育施設の場合、レンタル比を0.6とし、1階以外の有効面積に人員密度0.12[人/m<sup>2</sup>]<sup>10)</sup>を乗じて、人数を算出した。ホテルは寝床の数を人数、集合住宅は間取りから人数を算出することとし、間取りの人数は、1R・1Kは1人、

1DK・1LDK・2Kは2人、2DK・2LDK・3Kは3人、3DK・3LDKは4人とした。在館者数の時刻変動については、文献<sup>11)</sup>を参考に予測をした。

発災時刻は首都直下地震発生の想定<sup>12)</sup>より早朝の5時、昼の12時、夜の17時とした。また、評価建物内において、事務所の比率が高いことから、給水量の増加が見られる9時も発災時刻の想定に加えた。発災時刻が5時の場合、多くの人々が自宅にいと想定し、給水対象人員に帰宅困難者を加えず、在館者のみとした。その他の9・12・17時は帰宅困難者を給水対象人員に加えて計算をした。表7に算出した発災時刻別の給水対象人員を示す。なお、給水対象人員の男女比は1:1と仮定した。

表6 給水対象人員の想定

建物用途	在館者	帰宅困難者
事務所ビル 教育施設	(延床面積・建築面積)×0.6×0.12 人/m <sup>2</sup>	1階床面積×0.6 ×(2人/3.3m <sup>2</sup> )
ホテル	(1人/床)+従業員	1階床面積×0.6 ×(2人/3.3m <sup>2</sup> )
集合住宅	1R,1K	:1人
	1DK,1LDK,2K	:2人
	2DK,2LDK,3K	:3人
	3DK,3LDK	:4人
		なし

表7 給水対象人員の想定

エリア	5時[人]	9時[人]	12時[人]	17時[人]
西新宿	11,575	139,892	150,878	119,595
甲州街道	19,138	134,838	144,498	117,131

##### 4.3 対象地区における給水自給率

対象建物における水備蓄を評価するにあたり、公的支援が期待できない発災後3日間(72時間)を対象に給水自給率の算出を行う。評価期間は2月18日の月曜日から2月24日の日曜日までとし、給水自給率は上水・雑用水及び建物用途別に、式(6)により算出した。給水自給率は3日間の備蓄の必要性から、3日間の給水ができて100%とした。

$$R_w = (Q_{3d} - Q_{sh}) / Q_{3d} \cdot 100 \quad \dots \text{式(6)}$$

$V_o$  : 高置水槽容量 [%]

$Q_p$  : ピーク時予想給水量 [m<sup>3</sup>]

$WL_{lc}$  : 高置水槽補給水位 [m<sup>3</sup>]

図8に西新宿エリアにおける発災時刻別の給水自給率を示す。5時に発災した場合の給水自給率は100%となっており、3日間の給水が可能という結果となった。9時、12時、17時における上水の給水自給率は概ね80%から100%となった。しかし、雑用水の給水自給率は10%程度と低く、発災後1日目の給水で水槽内の水がなくなる結果となった。昼間の時間帯における給水自給率が低くなっている。これは、西新宿エリアにおける評価建物の多くが事務所ビルであるため、昼間に給水対象人員が増加し、必要な給水量が大幅に増加したことが要因として考えられる。

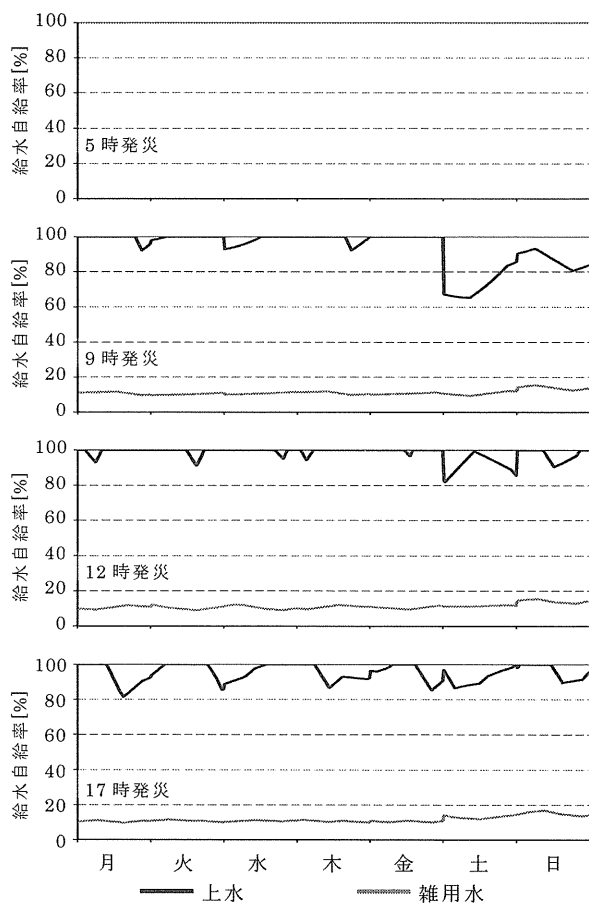


図 8 西新宿エリアの給水自給率

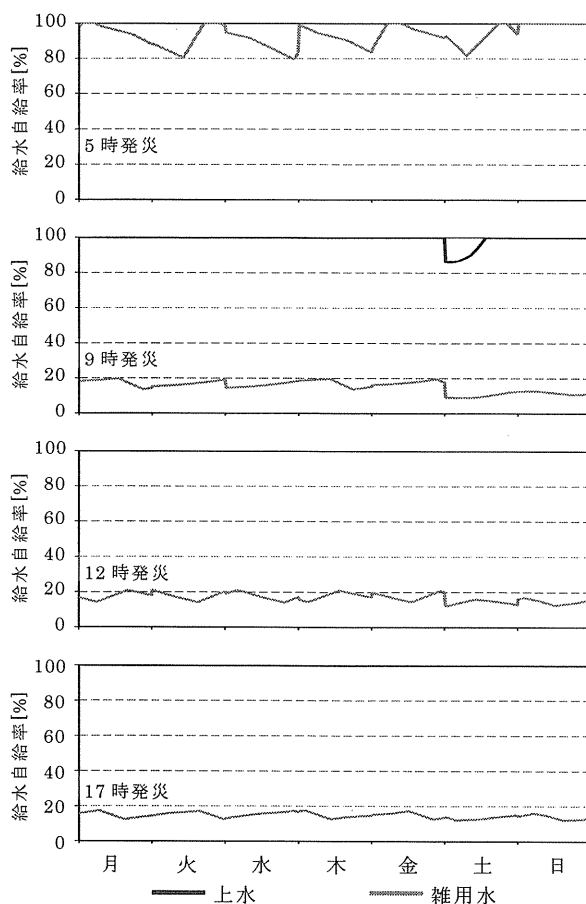


図 9 甲州街道エリアの給水自給率

図 9 に甲州街道エリアにおける発災時刻別の給水自給率を示す。上水の給水自給率は、概ね 100%という結果となった。雑用水の給水自給率は、5 時が 80 から 100%という結果となった。甲州街道エリアは集合住宅が多いため、早朝や夜間の給水対象人員が多くなり、結果として 5 時の給水自給率に影響が出たと考えられる。

## 5. まとめ

本研究では、平常時における水槽内水量の時刻変動を把握した上で大規模地震時における発災時刻別の給水自給率を予測した。上水と雑用水を比較すると、どの発災時刻においても雑用水の給水自給率が低い結果となった。発災時刻別に見た場合、早朝の 5 時発災における上水及び雑用水の給水自給率は概ね高いが、9 時以降における雑用水の給水自給率は著しく低くなる傾向にあった。これは事務所の比率が高いため、9 時から 17 時の給水対象人員や給水量が増加したことが要因と考える。

雑用水における給水自給率の予測結果から、西新宿エリア及び甲州街道エリアの評価建物における水槽内水量のみでは、全ての給水対象人員に対して 3 日間給水を行うことは困難であるため、衛生器具の非常時利用のあり方を検討する他、災害時においても受水槽の利用を可能にする措置が必要であると考えられる。

## 謝辞

本課題報告文の作成にあたり本学大学院生の浅倉佑介君、赤坂昌哉様、および卒論生の山口友輔君の協力がありました。記して感謝の意を表します。

## 参考文献

- 1) 空気調和・衛生工学会:給排水衛生設備家角の実務の知識, 改定 4 版,p39
- 2) 空気調和・衛生工学会編:給排水衛生設備計画の実務の知識,改定 4 版 p38
- 3) 空気調和・衛生工学会:給排水衛生設備計画の実務の知識, 改定 4 版,pp,54-55
- 4) 空気調和衛生工学会:空気調和衛生工学便覧 第 14 版.4. 給排水衛生設備編,pp,119
- 5) 内閣府、避難所におけるトイレの確保・管理ガイドライン (平成 24 年 4 月)
- 6) 内閣官房、日本のトイレ協会提出資料 [www.cas.go.jp/jp/scisaku/kurashinoshitsu/bunkakai1/dai3/siryou1.pdf](http://www.cas.go.jp/jp/scisaku/kurashinoshitsu/bunkakai1/dai3/siryou1.pdf) (参照年月日 2019.1.15)
- 7) 坂本和彦:シミュレーションによる事務所ビルにおける給水負荷動的算定法に関する研究、空気調和。衛生工学会大会
- 8) 豊貞佳奈子ほか:節水便器普及による環境負荷削減効果の定量化研究,空気調和・衛生工学会論文集 No.193, (2013 年 4 月)
- 9) 空気調和・衛生工学会編:空気調和・衛生工学便覧,第 14 版,p109
- 10) 空気調和・衛生工学会編:空気調和・衛生工学便覧,第 14 版 P24
- 11) 2015 年国民生活時間調査報告書(参照年月日 2018.11.15)
- 12) 内閣府:首都直下地震等による東京の被害想定

## 地表地震断層ごく近傍の強震動特性、および、断層ズレによる建物被害

キーワード 活断層、地表地震断層、長周期地震動  
2016年熊本地震、断層ずれ変位

久田嘉章\*

### 1. はじめに

本事業では海溝型巨大地震や活断層帯の地震など極めてまれな最大級地震による強震動特性と建物被害の様相を明らかにし、巨大都市の重要構造物の耐震対策に活用することを目的とする。今年度は、2018年熊本地震の震源近傍の強震動と、地表地震断層による断層ズレによる建物被害に着目し、調査研究を実施した。

2016年熊本地震の本震（M7.3）では大規模な地表地震断層が出現し、そのごく近傍で特徴あるパルス性地震動（長周期パルス）が観測された。さらに地表地震断層による断層ズレにより、その直上では地盤変状に起因する建物被害が生じた。ここではまず地表地震断層ごく近傍のパルス性地震動の特性と物理的解釈を説明し、熊本地震のパルス性地震動の解釈を行い、最後に断層ズレによる建物被害の特性と対策を説明する。なお本論文は著者らによる既往の結果<sup>1), 9), 13), 14)</sup>をもとに再構成している。

### 2. 地表地震断層ごく近傍のパルス性地震動の特性

#### 2.1 パルス性地震動の特性と物理的解釈

震源断層近傍で発生する特徴的なパルス性地震動である指向性パルスとフリングステップ/パルスとの特性と表現定理を用いた物理的解釈を説明する。前者は、図1に示すように速度波形では正負に大きな振幅を示すパルス波となり、一般に永久変位は生じない。一方、後者は、同図(2)に示すように、速度波形は片振幅に卓越し、変位波形には断層すべりに起因するステップ関数状の永久変位を示す特徴がある<sup>1)</sup>。

#### 1) 指向性パルス

指向性パルスは震源断層の近傍において断層面に直交する成分に現れるパルス性地震動であるが、最近、横ずれ断層では断層面に平行する成分にも現れる場合があることが明らかに成っている。指向性パルスは、

震源断層の近傍において断層面を伝播するすべり破壊が近づいて来る場合、断層各点から発生するパルス状の強震動（要素パルス）が建設的に重なり合うことによって発生する。1995年兵庫県南部地震の際、神戸市では六甲断層帯の走向に直交する北北西-南南東方向に多くの建物をなぎ倒すような強烈な強震動が観測されたが、指向性パルスがその成因のひとつと考えられている<sup>2), 3)</sup>（その破壊力からキラーパルスとも呼ばれた）。指向性パルスは、要素パルスのS波の放射特性により、一般に断層面の直交成分に顕著に現れるが、横ずれ断層で破壊伝播が下方から上昇する場合は断層面の平行方向に現れる場合がある<sup>4)</sup>。但し、横ずれ断層の放射特性により、断層の延長面上では振幅が0であるため、断層面の直上に近い観測点では振幅は小さく、断層からある程度離れないと振幅が現れない。従って、指向性パルスは断層の直交成分により顕著に現れる。一方、断層破壊が離れる観測点や、断層の破壊過程が複雑な場合、特に短周期成分になるほど要素パルスはランダムに重なり合うため指向性パルスは生じない。

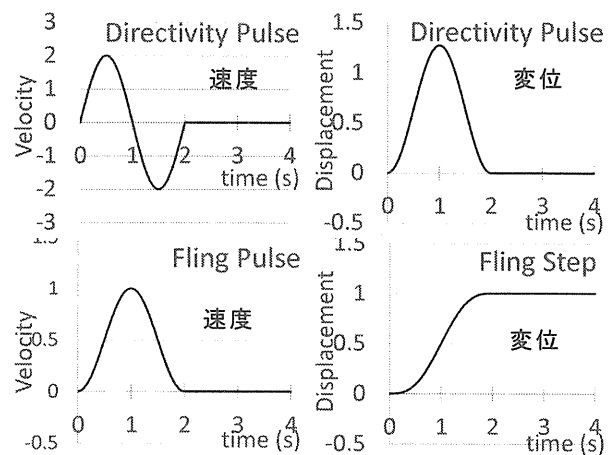


図1 震源近傍の長周期パルスの概念図

上：指向性パルス

下：フリングパルス/ステップ

\* : 工学院大学建築学部まちづくり学科

近年、構造物が活断層近傍にある場合、設計用地震動のサイト波として指向性パルスが考慮されている。強震動予測レシピを用いると、アスペリティ (または強震動生成域) から発生する指向性パルスが計算される。但し、単純な断層震源モデルに様な破壊過程を用いると、一般に特定の周期が卓越し、非常に破壊力ある指向性パルスが断層直交成分に生じる。但し、現実の断層面や破壊過程は複雑であり、それほど明瞭なパルス性状とはならない場合が多いことに注意が必要である。ちなみに現在の米国の耐震基準 (ASCE 10-16 など) では、活断層近傍では断層面に直交する成分が卓越する指向性パルスを考慮し、類似な条件の観測地震波を使用することが義務化されている。

## 2) フリングステップ/パルス

断層面のごく近傍において断層すべりに起因する永久変位を伴うステップ関数状の変位波形はフリングステップと呼ばれている。フリング (fling) とは「放り投げる・急に動かす」という意味であり、地震の原因となる断層面の弾性反発 (Elastic Rebound) によるイメージから命名されている<sup>5)</sup>。図 1 に示すように、その速度波形は片振幅が卓越する長周期のパルス波となるため、フリングパルス (あるは長周期パルス) と呼ばれることがある。フリングステップが最も顕著に観測されるのは大規模な断層ズレを生じる地表地震断層のごく近傍であり、断層を横切るライフラインや建物・土木施設に甚大な影響を与えるため、近年、工学分野で特に注目されている。フリングステップの卓越する方向は断層のすべり方向であり、横ずれ断層であれば断層面の平行成分、縦ずれ断層であれば断層走向の直交・上下成分に現れる。断層面が傾斜している場合は、上盤側の方が下盤側より大きな変位が生じる。

## 3) フリングステップの物理的な解釈と表現定理による定式化

ここではフリングステップの物理的な解釈を説明する。一様全無限体の点震源解を用いて、フリングステップをその近地項<sup>6)</sup>や中間項<sup>7)</sup>として説明する場合があるが、これは以下の理由で適切ではない。

- (1) 現実の地盤は半無限層構造体であり、一様な全無限体ではない。例えば、逆断層型の地表地震断層の近傍では、上盤のすべり量が下盤より大きくなるが、全無限体の解で

は評価できない。

- (2) 点震源解では断層面のごく近傍で振幅が増大し、強震動を正確に評価できない。すなわち、観測点 (計算点) が断層面に近づくるとグリーン関数には  $1/r^2$  ( $r$  は震源からの距離) のオーダーで振幅が増幅する特異性があるため、振幅を過大に評価してしまう。

フリングステップを精度よく計算するには、点震源ではなく、観測点ごく近傍の断層面のすべり変位を考慮し、観測点が震源にごく近い場合に生じるグリーン関数の特異性にも配慮した表現定理を正しく評価する必要がある。グリーン関数の特異性はその静的項によるため、グリーン関数から静的項を分離して面積分を評価すると、効率的かつ正確に地震動が計算され、かつフリングステップの物理的な意味も明快になる。上記の定式化を表現定理から説明する (詳細は文献<sup>8)</sup>、<sup>9)</sup>を参照)。

$$U_k(Y; \omega) = \int_{\Sigma} T_{ik}(X, Y; \omega) [D_i(X; \omega)] d\Sigma \quad (1)$$

ここで、 $\omega$  は円振動数、 $U_k$  は観測点  $Y$  の変位解の  $k$  方向成分 ( $k$  は  $x, y, z$  に対応)、 $[D_i]$  は断層面上の点  $X$  のすべり関数 (食い違い時間関数) の  $i$  方向成分、 $T_{ik}$  は震源  $X$ 、観測点  $Y$  とするグリーン関数の応力テンソル解、 $\Sigma$  は断層面である。この式は全無限・半無限を問わず任意の地盤で成立する。

次に、断層面ごく近傍の地震動を効率よく計算するために、(1) 式のグリーン関数から動的項と静的項を分離して別々に面積分を評価する。

$$U_k(Y; \omega) = \int_{\Sigma} \{T_{ik}(X, Y; \omega) - T_{ik}^s(X, Y)\} [D_i(X; \omega)] d\Sigma + \int_{\Sigma} T_{ik}^s(X, Y) [D_i(X; \omega)] d\Sigma \quad (2)$$

ここで、 $T_{ik}^s$  は、 $T_{ik}$  の静的解 ( $\omega = 0$  の解) である。(2) 式右辺の第 1 項はグリーン関数の動的項の寄与であり、実体波・表面波で構成され、指向性パルスを含む強震動は主にこの項から生成される。また静的解を除去したことで計算点が断層面に近い場合のグリーン関数の特異性も除去されているので、断層面積分は通常的手法 (小断層に分割して、各断層に 1 ~ 数点の積分点で積分を実施) で容易に計算できる。

一方、(2) 式右辺の第 2 項はグリーン関数の静的項の寄与であり、この項によりフリングステップが正確に表現される。断層面上に観測点がある場合、グリーン関数の特異性 ( $1/r^2$  のオーダー) は面積分 ( $r^2$  のオ

ーダー)で消え、すべり関数のそのものの波形となる。断層面上やそのごく近傍の変位波形の最終すべり量（永久変位）は、断層面が地中の場合や地表面に対して鉛直の場合は、断層面のすべりの半分の1/2であるが、地表近くで断層面が傾斜している場合は、傾斜角に応じて上盤の方が下盤よりより大きな値となる。一方、観測点が断層面から離れると、波形はすべり関数の形状を保ち、静的グリーン関数により距離減衰する。静的グリーン関数は $1/r^2$ の幾何減衰となるため、断層面から離れると急激に振幅が小さくなる。従って、FRINGESTEPは断層面のごく近傍のみで顕著に現れる。

ちなみに著者が開発し、公開している強震動計算ソフトでは、計算点が断層面に近い場合は、静的グリーン関数の特異性を考慮し、積分値が収束するまで断層面の再分割を繰り返す（各小断層では $6 \times 6 = 36$ 点までのガウス積分を実施）。また半無限成層地盤のグリーン関数を波数積分法で計算しているが、観測点 $Y$ が震源 $X$ の深さに近い場合、波数積分が収束しなくなり、積分の計算が困難になるという問題があるが、(2)式を用いるとこの問題も容易に解決できる。すなわち、まず(2)式第一項ではグリーン関数から静的グリーン関数の項を引いているが、これを波数積分の中で実施する（波数積分の非積分関数の値は波数の増大で静的項に収束するため、静的項を引くことで非積分関数も振幅が0に収束し、容易に波数積分が実施できる<sup>1)</sup>。一方、第2項では、波数積分法として最も効率的な積分路変換法を導入している<sup>9)</sup>。

## 2.2 理論手法による円形断層モデルによる計算例

### 1) 円形断層モデルによる動的・静的変位解

はじめに、図2の一樣全無限地盤における単純な円形断層モデルの理論解を用い、断層ごく近傍での点震源と面震源との振幅の差異や、断層のごく近傍の変位解は静的変位解で近似でき、これがFRINGESTEPの特徴を持つことを確認する。変位解は表現定理(1)式より、次式で表せる<sup>10)</sup>。

$$U(z, \omega) = \frac{zD(\omega)}{4} \int_0^R \frac{r}{\xi^3} \left\{ 2u_1(z, \omega) + u_2(z, \omega) \left( \frac{r}{\xi} \right)^2 \right\} dr \quad (3)$$

ここで、 $U$ は断層面からの距離 $z$ におけるすべり方向の変位解、 $R$ は断層半径、さらに、

$$u_1(z, \omega) = \left( \frac{6}{s^2} - \frac{6}{s} + 3 - s \right) e^s - 2 \left( \frac{p}{s} \right)^2 \left( \frac{3}{p^2} - \frac{3}{p} + 1 \right) e^p$$

$$u_2(z, \omega) = -2 \left( \frac{15}{s^2} - \frac{15}{s} + 6 - s \right) e^s - \left( \frac{p}{s} \right)^2 \left( \frac{15}{p^2} - \frac{15}{p} + 6 - p \right) e^p \quad (4)$$

$$s = i\omega\zeta/\beta, \quad p = i\omega\zeta/\alpha, \quad \zeta = \sqrt{r^2 + z^2}$$

であり、 $\beta$ はS波速度、 $\alpha$ はP波速度、 $i$ は虚数である。ちなみに $u_1$ 、 $u_2$ の( )内の第1・2項が近地項、第3項が中間項、第4項が遠地項である。

(3)式で円振動数 $\omega$ を0にすると次式の静的解を得る。

$$U^S(z) = \frac{\bar{D}}{4} \left[ 2 - 3 \frac{z}{\Delta} + \left( \frac{z}{\Delta} \right)^3 + \left( \frac{\beta}{\alpha} \right)^2 \left\{ \frac{z}{\Delta} - \left( \frac{z}{\Delta} \right)^3 \right\} \right] \quad (5)$$

ここで、 $\bar{D}$ は断層すべり量、 $\Delta = \sqrt{R^2 + z^2}$ である。さらに、点震源の場合は次式となる。

$$U^{S\&P}(z) \approx \frac{\bar{D}}{4} \left( \frac{\beta}{\alpha} \right)^2 \left( \frac{R}{z} \right)^2 = \frac{M_0}{4\pi\rho\alpha^2 z^2} \quad (6)$$

ここで、点震源と面震源とでは、断層近傍で振幅が大きく異なることを確認する。図3に断層からの距離と、円震源・点震源による静的変位との関係を示す。ここで、断層距離 $z$ は断層半径 $R$ で、変位 $U$ は、断層すべり $D$ の半分で、それぞれ基準化している。図より、断層半径より遠方( $z/R > 1$ )では円震源の変位は点震源の変位と一致するが、断層半径より近い( $z/R < 1$ )では点震源の変位量は無限に大きくなるが、円震源の変位量は断層すべりの半分の値に漸近することが確認できる。

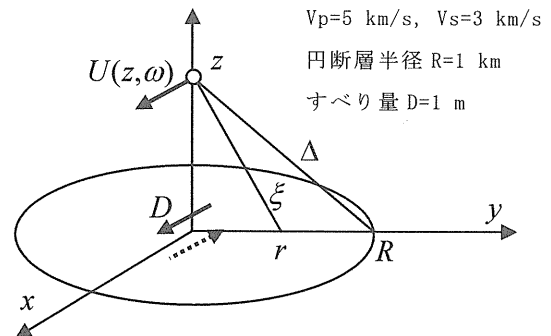


図2 円形断層モデルと観測点

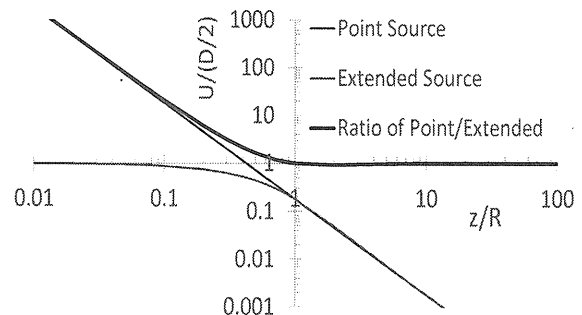


図3 円形断層による点震源と面震源の静的変位解と両者の振幅比

次に、観測点 $z$ が断層面に近いときのグリーン関数の特異性（振幅の発散）と、その性状が静的解に漸近することを確認する。図4は(3)式における断層半径に沿う積分変数 $r$ と被積分関数の関係であり、静的グリーン関数と動的グリーン関数の値を示している。図より、断層距離 $z$ が小さい場合、動的グリーン関数はほぼ実部のみとなり、その値は静的グリーン関数に等しいことと、非積分関数は $z=r$ に近い値で鋭いピーク値を示すことが分かる。一方、 $z$ の値が断層半径 $R$ に近づく（ $z/R=1$ ）と動的・静的グリーン関数は滑らかな形状となり、かつ両者の値は大きく異なってくる事が分かる。

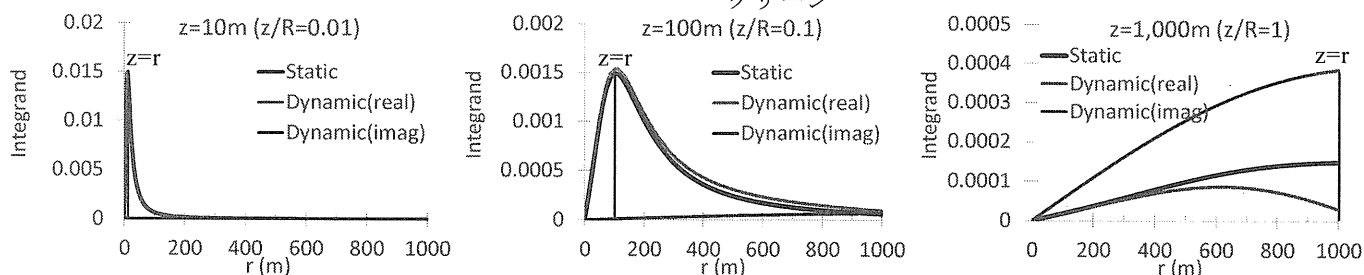


図4 円形断層モデルの被積分関数（1Hzの場合、左から $Z=10, 100, 1,000$  mの場合）  
 太実線：静的グリーン関数，赤線：動的グリーン関数の実部，青線：動的グリーン関数の虚部

## 2) 円震源モデルによるフリングステップ/パルスの計算例

図5は、すべり量1 m，継続時間1秒の三角形関数をすべり速度とした場合の速度波形（左列）・変位波形（右列）である。図には静的・動的グリーン関数による結果を示し、さらに動的グリーン関数は近地・中間・遠地項の寄与を別々に示している。図より $z$ が断層面の近い場合（ $z/R=0.1$ ）は、静的グリーン関数の波形と動的グリーン関数は一致し、フリングステップ（永久変位量は断層すべりの約半分の0.5 m）は静的グリーン関数の寄与で正確に表現できることが分かる。さらに、 $z$ が断層面の近い場合（ $z/R=1$ ）は、動的

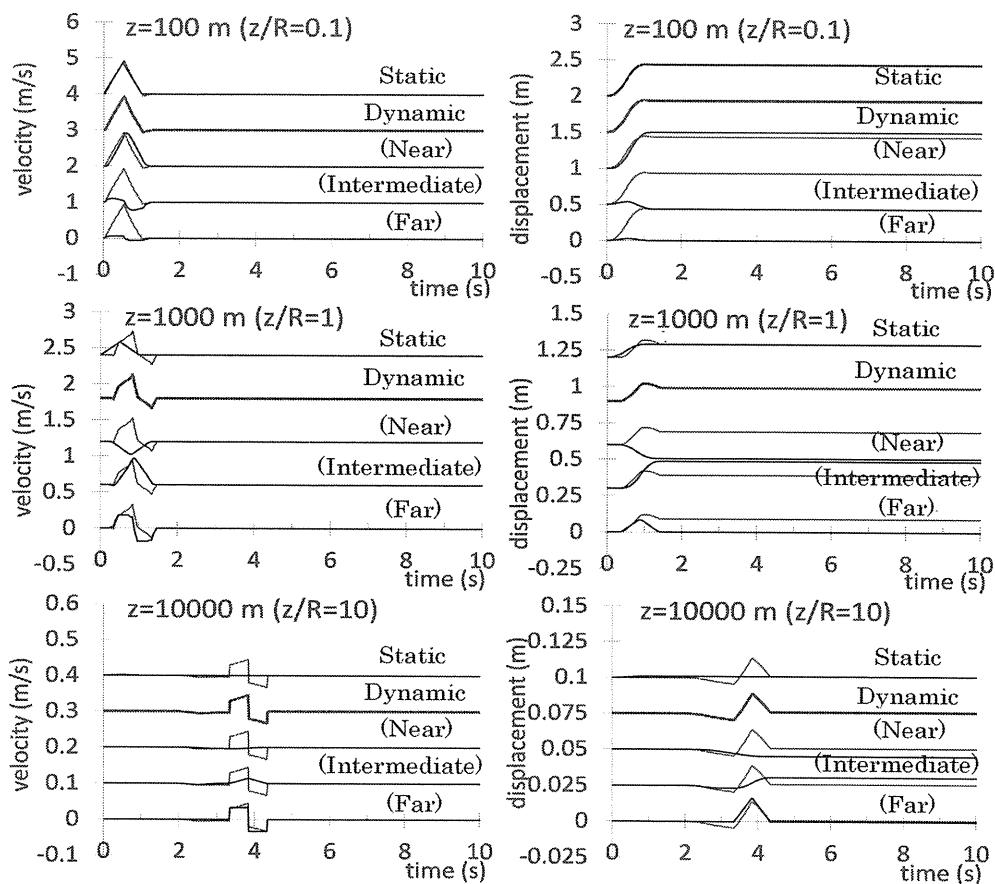


図5 円形断層モデルの速度波形（左）と変位波形（右；上から $Z=100, 1000, 10000$  m，すべり速度は1秒の三角形）  
 赤線：動的グリーン関数による波形，黒線：上は静的グリーン関数，下は動的グリーン関数の近地・中間・遠地項



関数には近地項に加えて中間項も寄与するが、遠方になる場合 ( $z/R=10$ )，静的グリーン関数や動的グリーン関数の近地項の寄与は消え、遠地項が支配的になることが確認できる。

### 2.3 修正強震動予測レシピによる2016年熊本地震の震源ごく近傍の強震動特性の再現

2016年熊本地震（本震）で得られた測地データや近地・遠地の地震動記録を用いて、多くの震源逆解析モデルが提案されている。著者らも地表地震断層近傍の断層変位を考慮した修正強震動予測レシピを提案し、図6に示すように布田川・日奈久断層に加えて、出ノ口断層を加えた断層震源モデルを用いて、活断層近傍の強震動（益城町と西原村）の再現した結果を紹介する<sup>1),9)</sup>。

図7に示すように地震発生層の上端深さを3 kmとして、それより深い地震発生層内では、逆解析の震源モデル<sup>10)</sup>を参考にした従来の強震動レシピに準拠した震源断層モデルを設定し、すべり速度関数は中村・

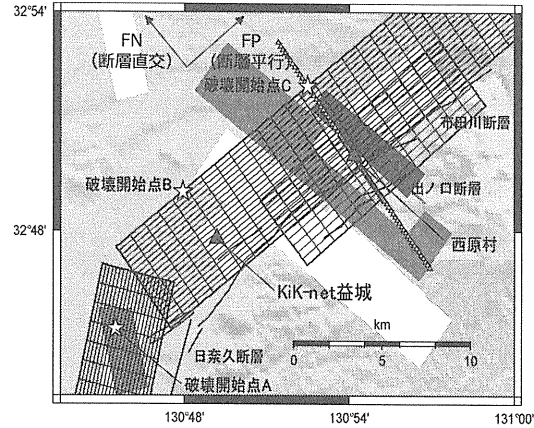


図6 布田川・日奈久断層・出ノ口断層の断層震源モデルと強震観測点

宮武関数を使用した。一方、地震発生層以浅（地表地震断層）の大すべり領域（アスペリティ）は、地震発生層内の強震動生成域と同じ長さとするべき量を持つモデルとし、すべり速度関数は経験式に基づく規格化 Yoffe 関数による滑らかな関数形を用いた<sup>9)</sup>。その他

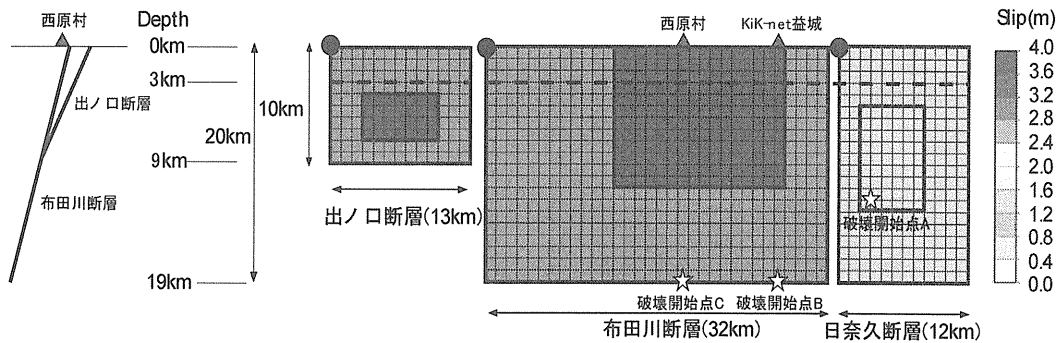


図7 修正レシピ用いた布田川・日奈久断層・出ノ口断層の断層震源モデル

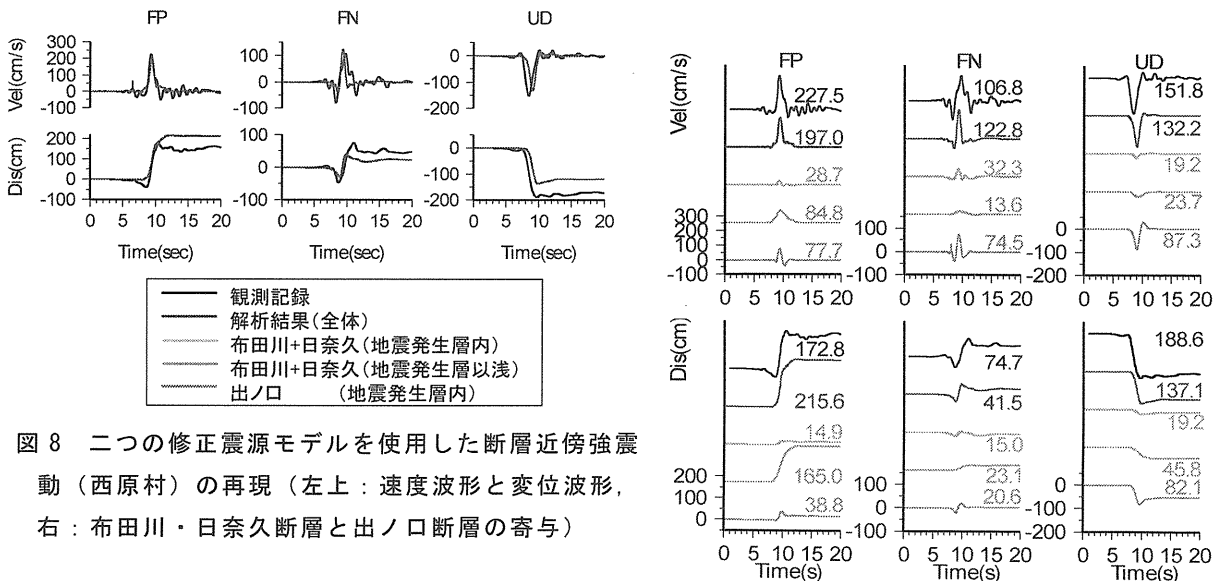


図8 二つの修正震源モデルを使用した断層近傍強震動（西原村）の再現（左上：速度波形と変位波形，右：布田川・日奈久断層と出ノ口断層の寄与）

の背景領域では、地震発生層内の背景領域と同じすべり量とする。破壊開始点は、熊本地震の震源（破壊開始点 A）と、各観測点の深部（破壊開始点 B、破壊開始点 C）に設定した。断層震源モデルは布田川・日奈久断層に、出ノ口断層を加えたモデルとした。アスペリティのすべりを 3.3m、出ノ口断層のすべり角を 225° である。地盤モデルは防災科学技術研究所の J-SHIS モデルから各観測点直下の速度構造を抽出し、周期 1 秒以上で計算した。強震動計算は著者が開発した理論的手法を用いる<sup>8),11)</sup>。

図 8 に、西原村の観測記録との比較を示すが、観測記録が非常に良く再現されている。地震発生層以浅のフリグステップ・パルスに加えて、出ノ口断層の指向性パルスによる複合型のパルスとなっている。

### 3. 断層ズレによる 2018 年熊本地震の建物被害

最後に、著者らが実施した布田川・日奈久断層帯の地表地震断層ごく近傍の建物被害調査から得られた建物被害の特徴を報告する<sup>13)</sup>。図 9 に 2016 年熊本地震の活断層と地表地震断層、および建物被害調査地点を示す。

まず、横ずれの地表地震断層による典型的な建物被害事例を示す。図 10 は、上益城郡御船町・高木における 50cm 程度の横ずれ断層と、その直上の建物被害事例を示す。全壊など甚大な被害を生じたのは地表地震断層の直上に集中していることが分かる。図 11 には、図 10 の①～⑥に位置を示す建物の被害写真を示す。建物①は築約 80 年という非常に古い伝統木造建築であり、建物の基礎は束基礎であるため、地盤のすべり変位が建物の躯体にそのまま伝わり大破していた（撤去を確認）。次に建物②は木造（あるいは軽量鉄骨造）の新しい住宅で、敷地の盛土で断層すべりが緩和され、建物の裏側で 30cm 程度のすべり変位が現れていた。RC 造の布基礎が有効に機能し、基礎には若干の亀裂は見られたものの、地盤のすべり変位は基礎版で遮断され、上部の建物は無被害であった（現存を確認）。建物③は古い S 造工場であり、基礎は無筋コンクリートブロックで破壊され、断層変位により躯体を変形している。内部の土間コンも断層変位で大きく損傷、全壊と判定した（撤去済）。建物④は、古い在来木造建物で、無筋のコンクリートブロックの基礎は断層すべりで破壊さ

れ、建物も大破させていた（撤去予定）。建物⑤は断層直上の新しい S 造工場で、盛土の擁壁には亀裂が発生したが、建物への変形量は緩和され、基礎・躯体に殆ど被害は生じなかった（現存）。建物⑥は、断層直上の古い在来木造で、基礎は RC 造布基礎であり、断層ズレ変位の被害は軽微だったが、南面に壁が少なく、震動による大破となる被害が発生していた。現在は取壊され、断層線を避けて、建替え済みであった。

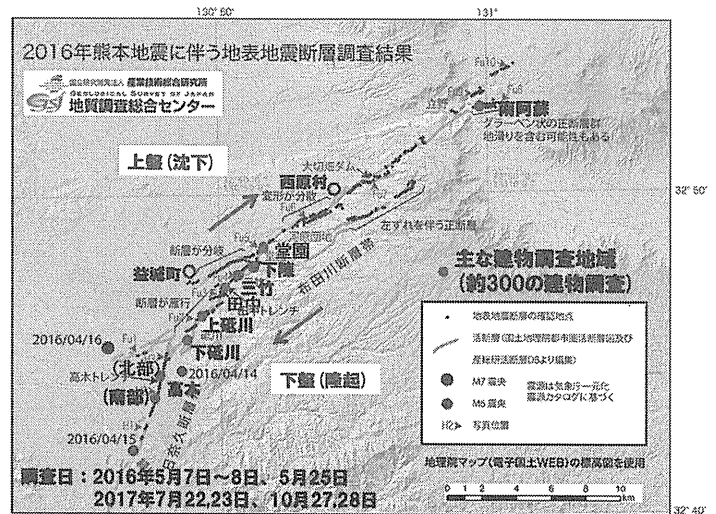
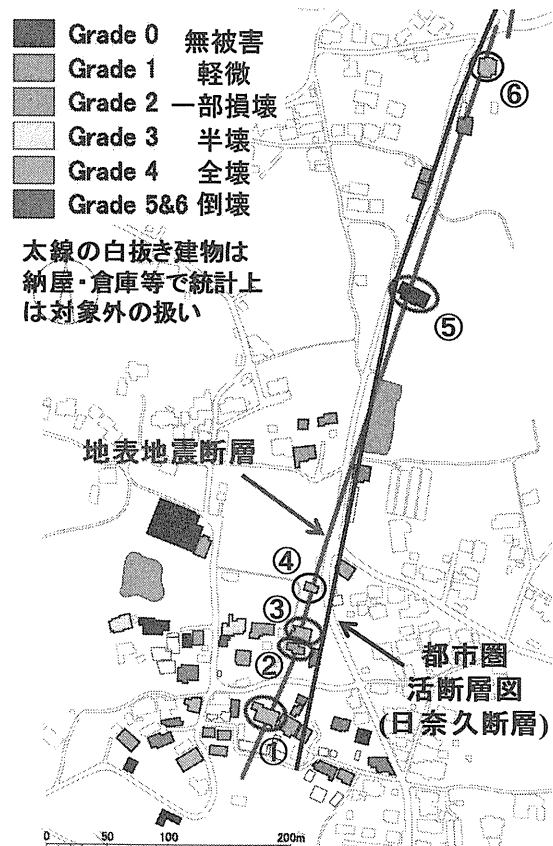


図 9 2016 年熊本地震の活断層と地表地震断層、および建物被害調査地点（地質調査総合センターの地図に重ね書き）



物の直下で生じたが、RC 造の布基礎等で躯体は軽微な被害であった。しかしながら、恐らく建物の全体が傾斜したために 2017 年には取り壊されていた。

図 10 上益城郡御船町・高木（南部）の建物被害概要



図 11 高木（南部）の地表地震断層直上の建物被害例（建物の位置は図 10 を参照）

次に縦ずれ断層による建物の被害事例を紹介する。図 12 は上益城郡益城町砥川・下砥川に出現した、30～40cm 程度の縦ずれの地表地震断層と建物被害の概要、および被害事例を示す。建物①は、古い S 造整備工場であり、敷地内に約 40cm の縦ズレ変位が出現した。建物前面が沈降したが、断層ずれが建物から外れていたために大きな被害は生じなかった。建物②が古い木造建物であり、約 30cm の縦ズレ変位で建物前面が沈降していた。この場合も断層ずれが建物から外れていたために大きな被害は生じなかった。一方、建物③は比較的新しい在来木造（または軽量鉄骨造）であり、約 30cm の縦ズレ変位が建

同様な例は他の地域でも確認されており、2000 年以降の新しい建物は、補強された布基礎やべた基礎、上部構造の高い耐震性能、軽い屋根等の効果と併せて、地表地震断層の直上では例外なく軽微な被害であった。一方、縦ずれ断層の直上で建物が傾斜していた場合は、上部構造に殆ど被害がない場合でも取り壊されているケースがあった。熊本地震では直接死 50 名に対して、災害関連死は 271 名（2018.8 月末）であり、その多くは家屋の取り壊し後の避難所・仮設住宅で発生している。今後は、高い耐震性による被害低減策と並行し、取り壊しよりも修復を優先して「逃げ

る必要のない建物」を目指すべきである。

Part B, IASPEI, pp.983-1012, 2003.

- 6) Koketsu, K., et.al.: Widespread ground motion distribution caused by rupture directivity during the 2015 Gorkha, Nepal earthquake, Scientific Reports volume 6, Article number 28536, 2016.

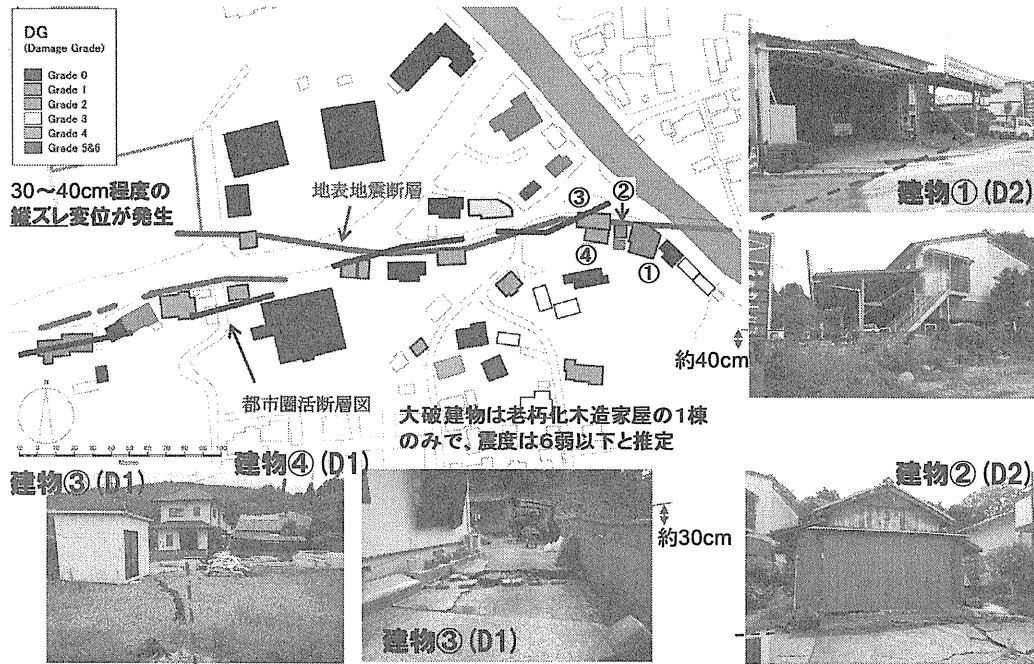


図 12 上益城郡益城町下砥川の地表地震断層と建物被害例

### 3. おわりに

2016年熊本地震の本震(M7.3)により出現した地表地震断層のごく近傍で観測したパルス性地震動(長周期パルス)と、地表地震断層による断層ズレによる建物被害に関する調査結果を報告した。

### 謝辞

本研究は文科省・科研費・基盤研究(B)「設計用入力地震動作成のための強震動予測手法の適用と検証」と、工学院大学・総合研究所・都市減災研究センター(UDM)の助成で行われた。

### 参考文献

- 1) 久田嘉章, 田中信也: 2016年熊本地震の地表地震断層近傍の強震動特性と建物被害調査, 第45回地盤震動シンポジウム, 日本建築学会, 2017.
- 2) 久田嘉章, 山本俊六, ノースリッジ地震の地震動一類似点と相違点, 第23回地盤震動シンポジウム, 日本建築学会, 1995.10.13
- 3) 久田嘉章: 1995年兵庫県南部地震における木造家屋の倒壊方向データの数値化、及び強震記録との関係, 日本建築学会構造系論文報告集, No.512, pp.105-110, 1998.
- 4) 宮武 隆: 1948年福井地震の強震動-建築物・墓石等の倒壊方向と強震動と震源過程-, 地震 II, 日本地震学会, 第52巻, pp.151-161, 1999.
- 5) Bolt, B.A. and Abrahamson, N.A.: International Handbook of Earthquake & Engineering Seismology,

- 7) Dreger, D. et. al.: Near-Field Across-Fault Seismic Ground Motions, Bull. Seism. Soc. Am., Vol.101, pp.202-221, 2011.
- 8) Hisada, Y. and Bielak, J.: A Theoretical Method for Computing Near-Fault Strong Motions in Layered Half-Space Considering Static Offset due to Surface Faulting, with a Physical Interpretation of Fling Step and Rupture Directivity, Bull. Seism. Soc. Am., Vol.83, pp.1154-1168, 2003.
- 9) 田中信也, 引間和人, 久田嘉章: 震源インバージョン結果に基づく地震発生層以浅におけるすべり速度時間関数の評価, 日本地震工学会論文集, 17巻, 5号, pp.5\_1-5\_20, 2017.
- 10) 引間和人: 強震波形を用いた2016年熊本地震の本震・前震の震源過程解析, 日本地震工学会第12回年次大会梗概集, pp.4-17, 2016.
- 11) 久田嘉章, 4.2 成層地盤の解析手法, 地盤震動-現象と理論-, 日本建築学会, pp.84-102, 2005.
- 12) 久田嘉章: 地表地震断層のごく近傍まで適応可能な統計的グリーン関数 - 円形要素地震によるグリーン関数の理論解 -, 日本地震工学会大会梗概, 2013.
- 13) Hisada, Y., et.al.: Strong Ground Motions and Damage Investigation of Buildings near the Surface Faulting of the 2016 Kumamoto Earthquake in Japan, 16th World Conf. on Earthq. Eng., Santiago Chile, 2017.
- 14) 久田嘉章, 地表地震断層ごく近傍の強震動特性, および, 断層ズレによる建物被害, 第15回日本地震工学会シンポジウム, 2018

## D-ZEV を利用した環境防災情報伝達システムの構築

情報伝達システム 環境情報 災害情報  
 防災拠点 デジタルサイネージ 屋外温熱環境

中島 裕輔\*      水野 修\*\*  
 野呂 康宏\*\*\*      横山 計三\*  
 富樫 英介\*      柳 宇\*

### 1. はじめに

2018年度のテーマ3としては、D-ZEV（自立移動式災害対応支援ユニット）の各構成要素の開発を進め、西新宿エリアの公開空地にてデモンストレーション実験を実施し、各種ニーズ調査と開発ユニットの有用性の検証を行った。具体的には、仮設救護ユニットの熱的性能調査と負荷削減手法の検討（富樫）、同ユニットの自立空調システム開発（横山・柳）、自立電源システム開発（野呂）、D-ZEV及びD-ZEV miniを利用した環境防災情報伝達システム開発（中島・水野）である（Fig.1）。

本稿では、D-ZEVを利用した環境防災情報伝達システムの構築と、平常時・非常時両方の活用を想定したデモンストレーション実験の内容と結果を中心に報告する。

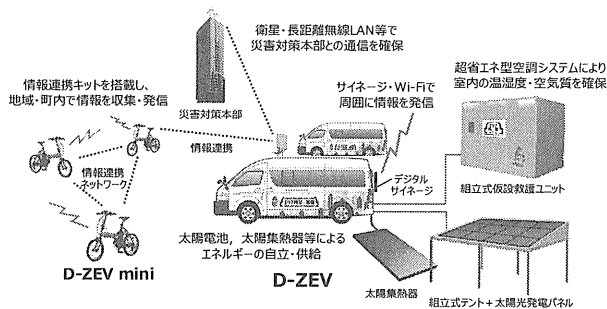


Fig.1 D-ZEV システム構成図

## 2. 環境防災情報伝達システムの構築

### 2.1 防災拠点での情報収集・発信システム

災害時、大規模駅周辺エリアの避難所、一時滞在施設などの地域防災拠点では、情報収集・発信、地元住民や帰宅困難者の受け入れ、救急救護などが重要な課題となる。そこで、災害時にこれらの地域防災拠点に駆け付け、情報通信、最低限のエネルギー供給、救急救護のサポートを行うD-ZEVによる情報伝達システムの構築を行う。非常時・平常時のD-ZEVによる情報収集発信イメージをFig.2に示す。

### 2.2 非常時の情報システム構築

非常時、災害対策本部を中心とした現状の情報システムをFig.3、この現状のシステムにD-ZEVシステムを加えた今回提案する「環境防災情報伝達システム」のイメージをFig.4に示す。

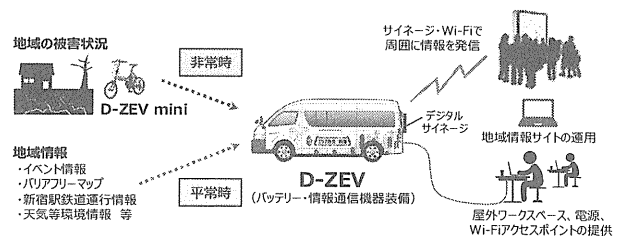


Fig.2 D-ZEVによる情報収集発信イメージ

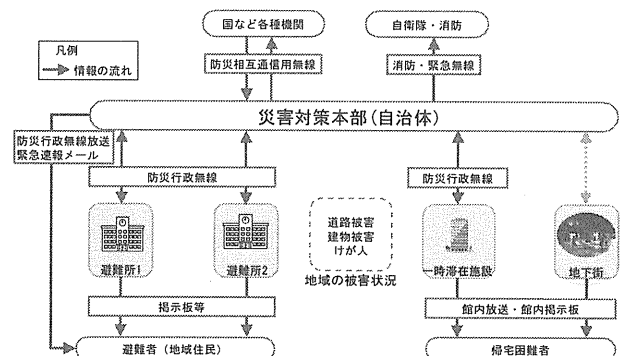


Fig.3 現状の情報システムイメージ

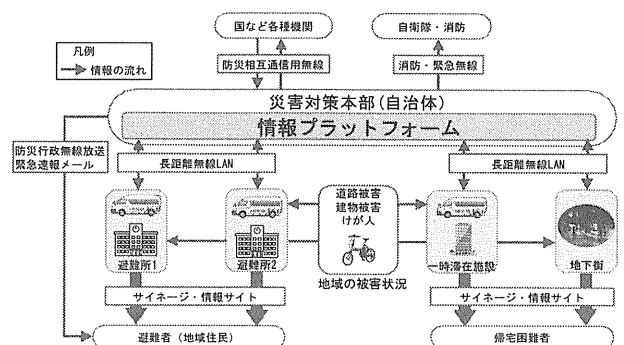


Fig.4 環境防災情報伝達システムイメージ

\* : 工学院大学建築学部, \*\* : 工学院大学情報学部, \*\*\* : 工学院大学工学部

現状のシステムでは、災害対策本部と各避難施設（避難所及び一時滞在施設）が原則防災行政無線のみでそれぞれで情報伝達を行っている。そのため情報収集に時間がかかるだけでなく、情報が集約されているのは災害対策本部だけであり、避難者や帰宅困難者に対する迅速かつ正確な情報提供が不十分である。また地域の被害等の情報についても不足している状況である。そこで、災害対策本部と各避難所や一時滞在施設周辺、地下街など帰宅困難者の流入・滞在が想定される施設をネットワーク回線で結び、情報プラットフォームを構築し、従来防災行政無線や有線の電話などで行っていた情報伝達をネットワーク共有で行う。この通信は停電時にも備え、災害対策本部と D-ZEV 等のアンテナで長距離無線 LAN を介して直接やり取りを行える独立したネットワークを構築する。これにより、情報を迅速また同時に多数の避難施設が受け取ることができるようになる。また各避難施設は D-ZEV mini 用いて地域の被害情報を収集し、ネットワーク共有で災害対策本部に伝えることが可能となる。地域の被害情報は災害対策本部が集約することにより、避難経路の提示や緊急車両等の誘導に用いることが可能となる。避難者や帰宅困難者への情報発信については、各避難施設にある D-ZEV のデジタルサイネージに加えて、個人のスマートフォンやパソコンにも災害情報ページから発信を行う仕組みを構築する。サイネージ、災害情報ページの発信項目の選定、更新については災害対策本部が行う。

### 2.3 平常時の活用

平常時のシステム管理は、地域のエリアマネジメント組織が行うことを想定する。平常時の利用方法としては、イベント等の拠点としてキッチンカーとしての利用や電源供給スポットなどが考えられる。その平常時利用の中で情報発信を行うことにより D-ZEV 及び情報発信拠点としての認知度が上がり、非常時にも有効な活用が見込まれる。情報発信コンテンツとしては、駅周辺のバリアフリーマップや ATM・トイレなどの情報をまとめたマップなど、既存の情報サイトにはない、地域に限定した情報コンテンツを制作すれば、有用性は高いと考えられる。

## 3. 提案システムのデモンストレーション調査

### 3.1 調査概要

2018年11月13日～21日の新宿防災 Week にて、

環境防災情報伝達システムに関するデモンストレーション調査を行った。工学院大学新宿キャンパス南側と野村ビルの公開空地にて行ったデモンストレーションを Fig.5 に示す。デモンストレーションでは D-ZEV の情報システムについて D-ZEV のデジタルサイネージや災害情報ページなどを用いてシステムの説明を行い、アンケート調査を実施した。デジタルサイネージ・災害情報ページの情報画面を Fig.6 に示す。アンケートの有効回答数は 84 部であった。情報コンテンツ内容に関しては非常時・平常時共に必要度を 5 段階評価で行った。

また合わせて、平常時利用に特化した屋外ワークスペースとしてのアンケート調査も実施した。D-ZEV の周囲にテーブルとイスを置き、一部の席には D-ZEV バッテリーから給電する電源コンセントを設置し、さらには D-ZEV 内の機材を活用したフリー Wi-Fi サービス、コーヒー等の飲み物提供も行い、D-ZEV を活用した屋外ワークスペースとしての利用可能性調査を実施した。

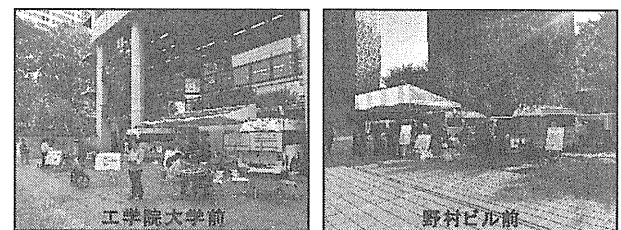
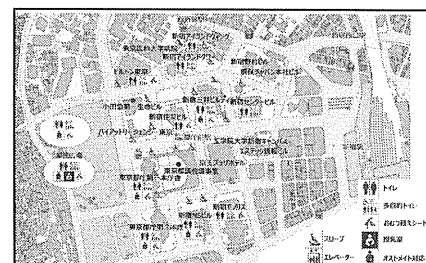


Fig.5 デモンストレーション風景



a. 一時滞在施設情報



b. バリアフリーマップ

Fig.6 システム画面例

### 3.2 D-ZEV システムに関するアンケート調査結果

アンケート回答者は、学生が約4割であったため年齢別では20代の割合が高いが、その他の年齢においては割合は同程度であった。来街頻度別でも毎日通う人とそうでない人が半々くらいであった。

Fig.7 に来街頻度別の非常時コンテンツ必要度を平均し点数化したものを、Fig.8 に職業別の平常時コンテンツ必要度の点数を示す。非常時コンテンツに関しては全体的に情報の必要度が高い。来街頻度別でみると「月1以下」の電源スポットニーズが高い。理由として情報ツールとしてスマホへの依存度が高いため、電源切れを恐れていることが原因と考えられる。平常時コンテンツでは必要度の高い情報と低い情報が顕著に見られた。職業別では「会社員他」に比べ「学生」のニーズが低い結果となった。

全体のシステム評価では、「有効である」「やや有効である」が9割以上であった（Fig.9）。またフリーコメントでは、情報集約したシステムの評価やサインージの見やすさでは評価が得られた。一方、災害情報ページやコンテンツ内容については、見やすさ等に関して課題も挙げられた。

### 3.3 屋外ワークに関するアンケート調査結果

今回の屋外ワークスペース（WS）の設置により、実際に利用した91人の回答が得られた。回答者の年齢は、20代から60代まで大きな偏り無く得られた。西新宿を訪れる頻度は約半数が週5日以上で、週1日以上上の割合は約7割であった。しかし、約7割が休憩目的で利用しているのが現状で、作業が目的の空地利用は1割程度しかいなかった。今回の屋外ワークスペースで良かった点の回答をFig.10に示す。テーブル・イスが最も評価が高く、次にカフェ機能となった。

公開空地に欲しい設備についての5段階評価の平均値をFig.11に示す。最もニーズが高かったのは植栽や日よけ、風よけといった環境面の設備となった。また、今回の屋外ワークスペースに対して、さらにほしい設備についての回答をFig.12に示す。最も高かった回答は、天気や気温などの温熱環境の情報発信であった。

以上より、公開空地のさらなる利用促進にはテーブル・イスなど設備も重要だが、植栽・日よけや温熱環境の情報発信など快適な空間づくり、より快適に過ごせる場所の管理、快適性の情報発信が求められていると推測できる。

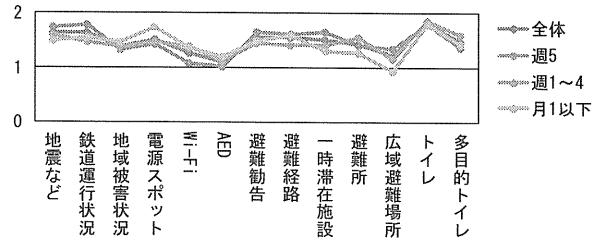


Fig.7 非常時コンテンツ評価（来街頻度別）

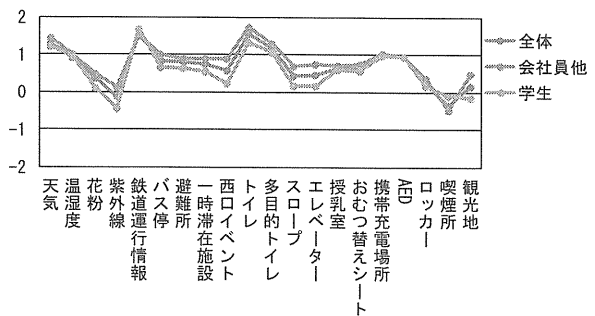


Fig.8 平常時コンテンツ評価（職業別）

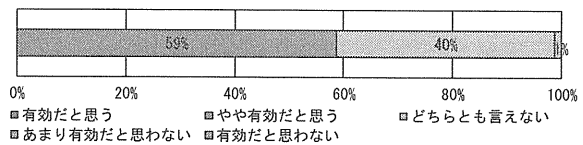


Fig.9 システムの総合評価

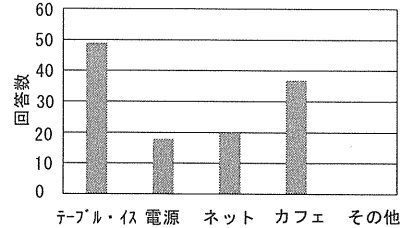


Fig.10 屋外ワークスペースの良かった点

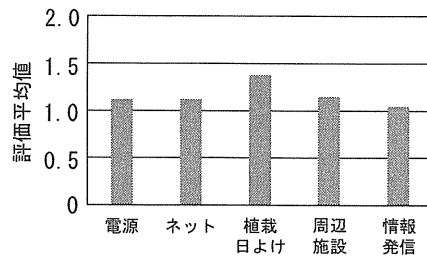


Fig.11 公開空地に欲しい設備

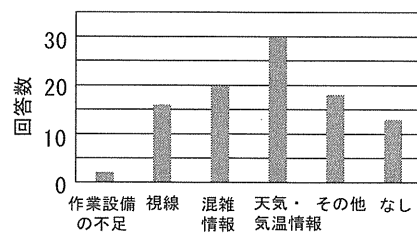


Fig.12 他に欲しい設備

## 4 西新宿エリアの温熱環境シミュレーション

### 4.1 シミュレーション概要

屋外ワークスペース向けの環境改善策の1つとして日よけ設備を配置した場合の公開空地の温熱環境の改善効果を把握するため、熱環境シミュレーションを行った。対象エリアは新宿野村ビルとその周辺とし、対象日は気象庁データで最高気温が 37.4℃を記録した 7/23、最高気温が 27.5℃と比較的涼しかった 8/19、これら 2 日の中間的な日で最高気温 32.8℃の 8/21 を選定した。対象日の天気はいずれも晴れである。今回配置した日よけは一般的なテントを想定し、性能と配置を Table.1、Fig.13 に示す。シミュレーションでは、新宿野村ビル公開空地内の地点 1、地点 2 の 2 か所の SET\*を算出した。シミュレーションソフトは THERMO Render 5Pro を使用した。

### 4.2 シミュレーション結果

7/23 の 13 時の日よけ設備配置前後の表面温度分布を Fig.14 に示す。また 3 日間の 9 時から 17 時までの外気温と地点 1・2 の日よけ設備配置前後の SET\*の値を Fig.15 に示す。最も暑い 7/23 の日よけ配置前の SET\*の最高値は 37℃なのに対し、配置後の最高値は 32.8℃と 4.2℃下がっていることが分かる。同様に 8/19 は 4.1℃、8/21 は 3.5℃下がる結果となった。

SET\*30℃以下で屋外作業可能と仮定した場合、現状では外気温が約 31℃で SET\*は 30℃を超えるが、日よけがあれば外気温が約 33℃を超えないと SET\*は 30℃を超えないことが分かった。2018 年の 7 月から 8 月の晴れの時間数(日照時間が 0.5 時間以上)でみると、現状では屋外作業が可能な日は、対象となる 334 時間中 55 時間であったが、日よけ設備配置後はこれが 266 時間と約 5 倍に増加する。

以上より、日よけ設備を配置することは屋外作業が可能となる日が大幅に増加し、公開空地活用の利用促進、及びエリア環境の改善において有効な手段の 1 つと言え、このワークに適する環境かどうかの判断情報を D-ZEV の環境防災情報提供システムから発信すれば、このシステムは平常時の公開空地の活性化にも寄与する仕組みとなることが期待される。

## 5. おわりに

D-ZEV のデモンストレーション実験を通じて、構築した環境防災情報システムについて、非常時にはシステムの有用性とニーズの高いコンテンツが把握

Table.1 日よけ設備の性能

日射反射率	0.8	熱伝導率(W/m3*K)	0.17
長波長反射率	0.95	容積比熱(J/m3*K)	1,023,000
日射透過率	0.1	厚さ(mm)	1

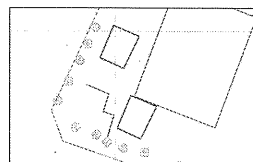
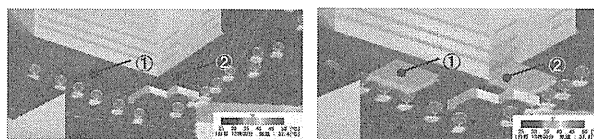


Fig.13 日よけ設備配置図



＜日よけ配置前＞                      ＜日よけ配置後＞

Fig.14 表面温度シミュレーション結果（7/23）

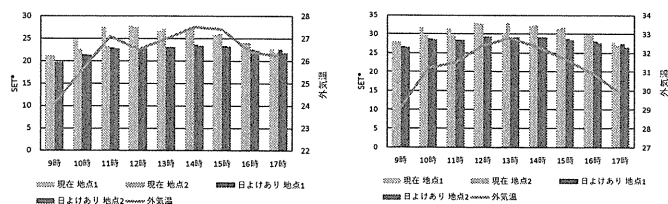
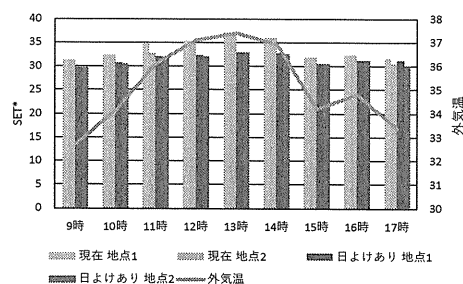


Fig.15 日よけ有無による SET\*の時間変化比較

(上：7/23, 左下：8/19, 右下：8/21)

でき、平常時には屋外ワークスペースをサポートして公開空地等の環境改善や賑わい創出にも役立つことが確認された。今後はこの D-ZEV ユニットのハード面、ソフト面のさらなる充実を図り、実装に向けた検証を重ねていく計画である。

### 謝辞

本稿における実験や調査は、2018 年度卒業生の山田誠君、吉野阿覧君を中心に、多数の学生の協力を得て行ったものである。ここに記して謝意を表する。

### 参考文献

- 1) 空気調和・衛生工学会、新版・快適な温熱環境のメカニズム、平成 18 年 3 月



## 自立移動式災害対策支援ユニットにおける情報提供方式の開発

キーワード アドホックネットワーク，デジタルサイネージ，  
Delay Tolerant Networking，情報提供，

氏名\* 水野 修

### 1. はじめに

本事業は巨大都市・中心市街地(新宿区等)とその周辺地域を対象として、震災・水害等による複合災害に強く、速やかな機能回復を可能とする「逃げる必要のない都市」の実現を目的としている。そのうち、テーマ3では、地域防災拠点であるエリアの現地本部や避難所等において、災害時に情報通信面、必要最小限のエネルギー供給面、救急救護面のサポートを行う、自立移動式ゼロエネルギーユニット(D-ZEV: Disaster-robust Zero Energy Vehicle)を開発する<sup>1)</sup>。

本報告では、D-ZEVに搭載する通信システムを活用した情報提供方式および、より小回りの利くD-ZEV-miniの情報伝送方式の基本検討について述べる。

### 2. D-ZEVの構成

D-ZEVはトヨタハイエースをベースとした2台の車両(“コーガ君号”と“クイーンちゃん号”)から構成されており、コーガ君号には主にバッテリーと太陽光発電のためのソーラパネル、テントが搭載されており、関連機器や簡易救護施設への電源供給を行う。クイーンちゃん号には簡易救護施設を組み立てるための資材と、通信機器を搭載できる。またD-ZEVminiは折り畳み自転車であり、それぞれの車両に分散して3台搭載できる。コーガ君号の天井部分にはソーラパネルが、クイーンちゃん号の後方には52インチのデジタルサイネージが2個取り付けできる。図1にD-ZEVを用いたネットワークを示す。ここでは、大別して、D-ZEVのネットワークと、D-ZEVminiのネットワークから構成される。

#### (1)D-ZEVのネットワーク

- ・D-ZEV～災害対策本部  
長距離無線LANを用いて、地域の災害情報やD-ZEVが収集した避難場所の情報を伝送する。
- ・D-ZEV～一般ユーザのスマートフォンやPC

WiFiを用いて、詳細な災害情報を伝送する。

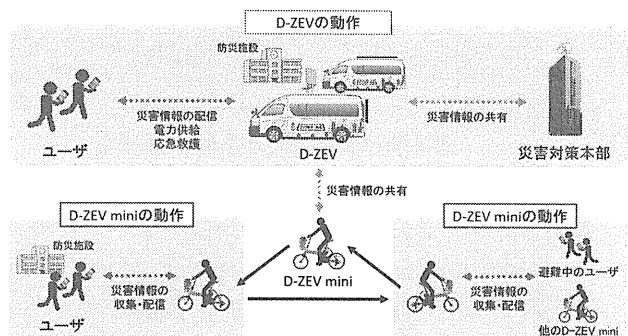


図1 D-ZEVのネットワーク

#### ・D-ZEV～D-ZEVmini

WiFiを用いて、D-ZEVminiが収集配信する災害情報

なお、D-ZEVのデジタルサイネージのうち1面には、災害対策本部から収集した、地域の情報(避難場所の位置・収容可否・設備の利用可否、鉄道の運行状況、一時救護施設の場所・状況など)を更新型サイネージコンテンツで表示する。もう1面には、テレビ番組を受信し、テレビ局が報道する広域の被災情報を放映する。

#### (2)D-ZEVminiのネットワーク

##### ・D-ZEVmini～D-ZEVmini

WiFiを用いてD-ZEVmini同士で情報交換する。

##### ・D-ZEVmini～一般ユーザのスマートフォンやPC

WiFiを用いて、詳細な災害情報を収集したり配信する。

図2にD-ZEVminiの通信システム構成、図3にその写真を示す。図中で、無線アクセスポイントは屋外で使用できるIEEE 802.11n対応製品を用いている。この製品は電源をLANケーブルで供給する仕様であるため、LANケーブルに電源を重畳させるためにPoEインジェクタを用いている。ポータブル電源は自転車で使用できるように500mlのペットボトル大のサイズの製品を用いたが、この製品でも連続3時

\* : 工学院大学情報学部情報通信工学科

間の使用が可能である。

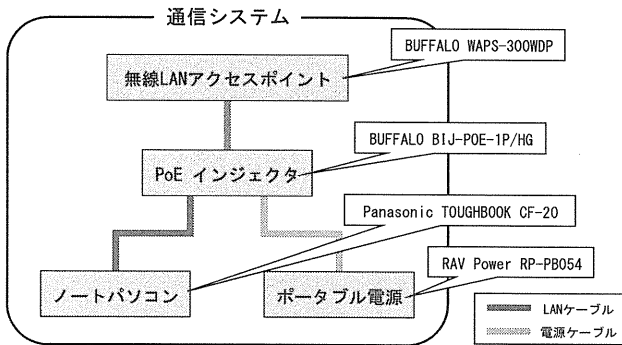


図 2 D-ZEVmini の通信システム

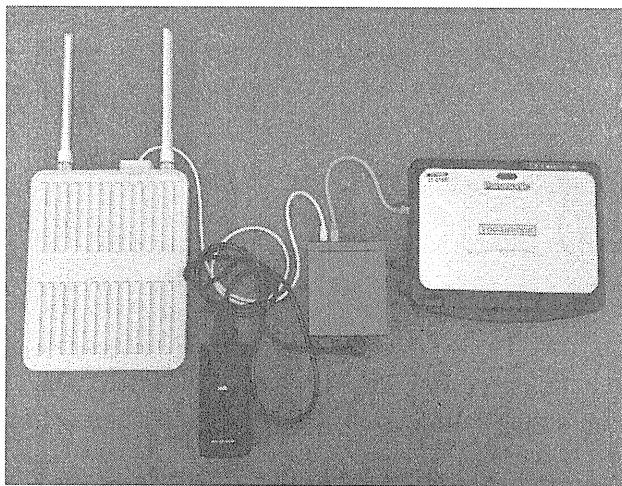


図 3 D-ZEVmini の通信システム（写真）

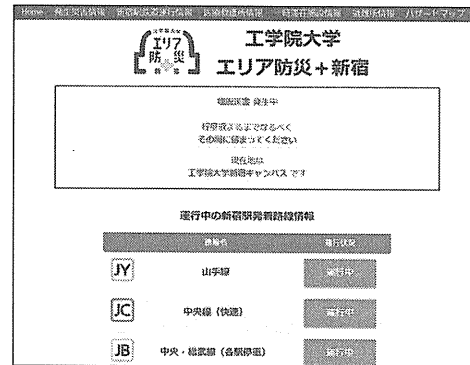
### 3. D-ZEV を用いた情報提供方式<sup>2)</sup>

#### 3.1 D-ZEV を介して提供する情報

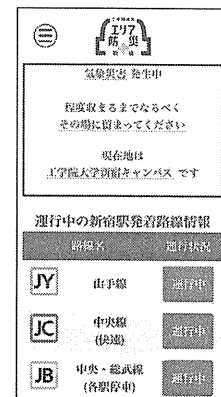
D-ZEV を介した情報提供では、地域住民および来街者問わず対象となるようなコンテンツを提供することが重要である。そのため、「発生災害情報」「新宿駅発着路線情報」「医療救護所情報」「一時滞在施設情報」「避難所」「ハザードマップ」を提供する。これらは、施設名、路線名などの情報を災害対策本部に設置されるデータベースに格納し、Web を通じて提供する。コンテンツはユーザ端末の OS や機器依存を少なくするため、アプリでの提供ではなく、ブラウザで表示できるように設計されている。これらの情報を確認した被災者は、帰宅や避難所などへの避難を行うことができる。また、土地勘の無い来街者には、D-ZEV の位置情報を表示し、現在地などの提供も合わせて行う。

図 4 に災害情報提供システムの表示例を示す。図 4 中(a)(b)は、個人端末向け災害情報提供機能の PC

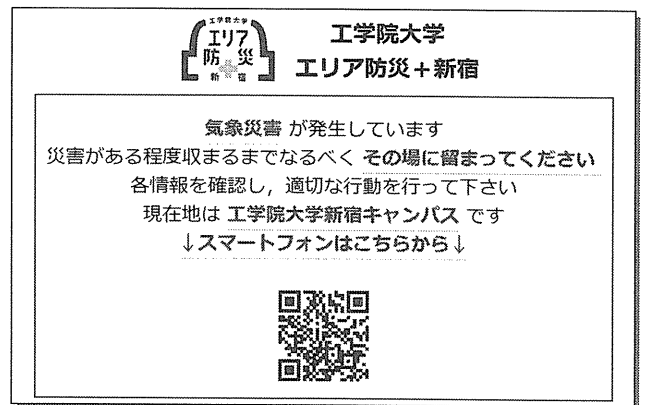
およびスマートフォンページの TOP 画面、(c)は、更新型デジタルサイネージの TOP 画面である。(a)(b)は、互いに同じものを表示し、ユーザインタフェース等を変更した。(c)では、情報量が多くスクロールが発生する場合には、自動でスクロールする機能を実装した。また、すべてのデジタルサイネージの画面に、スマートフォン用ページへ遷移する QR コードを表示している。



(a) PC 向けの画面



(b) スマートフォン向けの画面



(c) 更新型デジタルサイネージ向けの画面

図 4 D-ZEV のコンテンツ表示

#### 3.2 D-ZEV を用いた情報提供評価実験

災害情報提供システムを実装し、システムの利用者として想定される一般ユーザにアンケートを実施

し、災害情報提供システムが災害時における行動判断の支援に有効であるかを確認した。

実験日時：2018 年 11 月 13~21 日

実験場所：工学院大南側エントランス，新宿野村ビル前広場

実験人数：合計 84 人(学生 34 人，社会人 50 人)

被験者には、2 つの機能を実際に操作および目視してもらいそれぞれの有効性について評価を依頼した。図 5 に、ここで提供される情報が役に立つと思うかについて、5 段階で評価してもらったアンケート結果を示す。個人端末向けの情報、デジタルサイネージでの情報のどちらの機能とも、約 5 割以上のユーザが、行動判断の支援に有効と回答した。また、自由記述による意見には

- ・更新型デジタルサイネージ機能の画面遷移間隔がページにより異なったため、情報を取得できない
  - ・Menu の表示方法が分からず、TOP ページ以外のページに遷移できない
  - ・鉄道路線の一部運行停止情報も掲載してほしい
- などがあった。これらについては
- ・次の表示まで何秒かなどの表示を追加
  - ・Menu ボタンの表示方式を再検討
  - ・「一部運行停止」状態を作成し、運行停止区間を表示

で対応することとした。

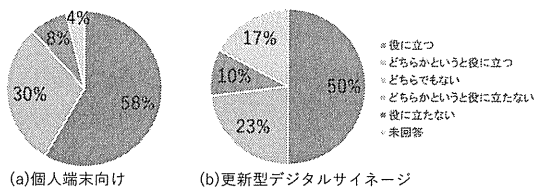


図 5 D-ZEV のコンテンツ表示

#### 4. D-ZEVmini を用いた情報伝送方式<sup>3)</sup>

##### 4.1 D-ZEVmini の情報伝送方式

D-ZEV mini の通信システムの要件を以下に示す。

要件 1: 不安定な通信環境で動作が可能であること。

要件 2: 防災拠点で多くのユーザと同時に通信するため、広い通信範囲、多くの接続台数、高スループットを実現すること。

要件 3: 避難中のユーザや他の D-ZEV mini と移動しながらの通信を実現すること。

これらの要件を満たすため、D-ZEV mini の通信

機器は、Delay Tolerant Networking<sup>1)</sup> (DTN) 機能を実装した無線 LAN アクセスポイント（以下 AP）とする。

DTN とは、蓄積した情報を持った端末が移動し、他の端末とのリンクが確立できれば情報を伝送してその端末に蓄積することを繰り返す方式である。これは、アドホックネットワークと異なり、情報発信元から目的の相手までのリンクをすべて確立する必要がなく、不安定なネットワークでも情報伝送ができる特徴を持っている。そのため、災害情報を通信システムに蓄積し、保持しながらの移動が可能となる。また、D-ZEVmini では、AP を使用するため、D-ZEV の通信範囲外の防災拠点に滞在する多くのユーザに対して同時通信が可能となる。移動中は、AP と DTN 機能の両方を利用するため、通信範囲に避難中のユーザや他の D-ZEV mini が存在した場合、移動しながらの通信が可能となる。

##### 4.2 通信システムの実験評価

DTN においても、蓄積されている情報の伝送中にリンクが切断されると、それまで伝送したデータが無効になってしまう。そのため、一回に送るデータサイズを制限して、複数に分割することで無効になるデータを減らす。一方で、小さいデータサイズで分割を行きすぎると、全体に占めるリンク確立のための時間の割合が多くなるため、伝送できるデータの総量が少なくなる恐れがある。そのため、ユーザおよび他の D-ZEV mini と移動しながらの通信を行う場合に、通信システムが送信する適切なデータサイズを実験により把握する。

表 1 に、実験の概要を示す。

測定は、小型自転車である D-ZEV mini と歩行者であるユーザの通信、および D-ZEV mini 同士の通信で行った。

D-ZEV mini の実験機材は図 2、図 3 で示したものをを用いている。またユーザは、ノート PC である TOSHIBA dynabook R/73B を用いた。他の無線 LAN との電波干渉をできるだけ避けるため、無線 LAN 施設が置かれていない工学院大学犬目キャンパスのグラウンドで測定を行った。

測定は、1 台の D-ZEVmini を 100m 走らせる。ユーザとの通信の実験では、ユーザは最初 D-ZEVmini から 60m 先におり、D-ZEVmini に向かって歩行する。そして、そのまま D-ZEVmini がユーザとすれ違う。D-ZEVmini 同士は 100m 先から逆方向に D-ZEVmini

を走らせてすれ違いを行う。いずれの場合も、すれ違い時に衝突しないように最接近時に 5m の間隔をとっている。

通信範囲にユーザや他の D-ZEV mini が入ったとき、通信システムから 1 回あたり 10, 20, 30, 40MB のデータサイズのデータを、PC に実装されている FTP ソフトを用いて繰り返し送信し、受信できたデータの総量とスループットを測定する。ここでスループットは、通信が成功した場合に、1 回あたりの送信データサイズを通信にかかった時間で割った値を示している。実験はそれぞれについて 10 回ずつ実施する。

実験結果を図 6, 図 7 に示す。D-ZEVmini-ユーザ間については、送信するデータサイズが 20MB のときが、受信データ総量が最も多く平均 60MB となった。これは 3 回の通信が実現できたことを意味している。続いて、1 回あたりのデータサイズが 10MB, 30MB, 40MB の順となっている。1 回あたりの送信データサイズが 40MB のときに、受信データ総量も約 40MB であり、これはこの条件では 1 回しかデータが伝送できていないことを示している。また、10MB の時の受信データ総量が、20MB のときよりも少ない。これは、先に述べたようにリンク確立の時間ロスのためであると考えられる。

D-ZEV mini 同士の場合は、1 回あたりのデータサイズが 10MB のときの受信データ総量が一番多く、データサイズが大きいほど受信データ総量が少なくなっている。特に、30MB, 40MB のときはそのサイズよりも平均受信データ総量が少ない。これは、試行によっては、データが受信できなかった可能性を示している。

平均スループットの値は、D-ZEVmin とユーザ、D-ZEVmin 同士の違いはあるが、D-ZEVmin 同士で送信データサイズ 40MB の場合を除いて、大きな変化は見られなかった。D-ZEVmin とユーザでばらつきが大きいのは、通信を行っている 2 者の距離によってリンクの状態が変わることと、通信時間で除算をしているため、通信時間が短いと測定誤差の影響が大きく出ると考えられる。また、リンクの状態が悪いと TCP の性質によりスループットが下がるため、このことが通信中で 2 者間の距離が変化する D-ZEVmin 同士で送信データサイズ 40MB の場合に表れていると考えられる。

この結果、1 回あたり 10~20MB のデータサイズを送信することで、災害時に通信システムを有効に使用することが可能であることが明らかになった。

表 1 実験の条件

日付	2018年6月8日, 12月3日
場所	工学院大学 犬目キャンパス
実験範囲 [m]	100×50
実験参加人数 [人]	5
転送データサイズ [MB]	10, 20, 30, 40
測定回数 [回]	各データサイズにおいて10
送信側 D-ZEV miniの配置	(0, 25) → (100, 25) を自転車により移動
受信側 D-ZEV miniの配置	(100, 30) → (0, 30) を自転車により移動
ユーザの配置	(60, 30) → (40, 30) を徒歩により移動

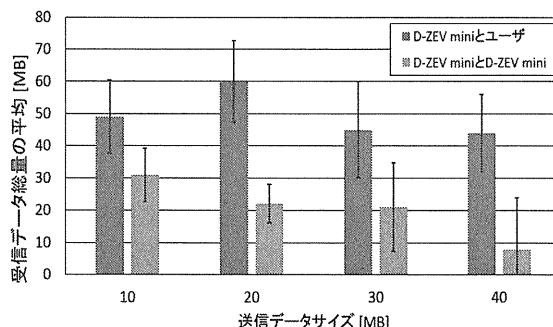


図 6 D-ZEVmini の受信データ総量

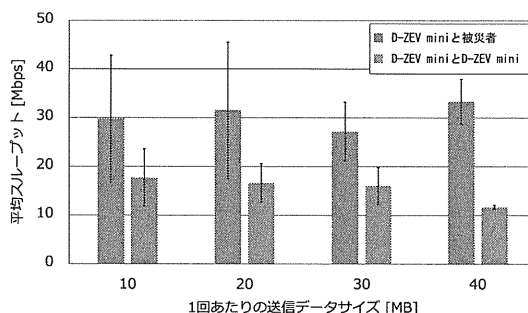


図 7 D-ZEVmini の伝送スループット

#### 4. まとめ

本年度は、D-ZEV を用いた情報提供方式の開発とユーザ評価、および D-ZEVmini の情報伝送方式として DTN の適用可能性を実験により確認した。

次年度は、この成果を踏まえ、より実用的なアプリケーションの提案とシステムの構築を目指す。

#### 謝辞

本研究において、実験に参加いただいた各位に感謝いたします。

#### 参考文献

- 1) V. Cerf, S. Burleigh, A. Hooke, L. Torgerson, R. Durst, K. Scott, K. Fall, and H. Weiss, "Delay-Tolerant Networking Architecture", "IETF RFC 4838", Apr. 2007.
- 2) 鈴木浩平, 田島氷河, 水野 修, "自立移動式災害対策支援ユニットにおける災害情報提供システム", 2019 年電子情報通信学会総合大会, A-19-26, 2019 年 3 月.
- 3) 田島氷河, 鈴木浩平, 水野 修, "小型自立移動式災害対策支援ユニットにおける通信システムの構築", 2019 年電子情報通信学会総合大会 B-6-16, 2019 年 3 月.

## 自立移動式ゼロエネルギーユニット（D-ZEV）の電力供給システム

キーワード（太陽光発電、蓄電池、自立運転、移動型）

野呂 康宏\*

### 1. はじめに

本ブランディング事業のテーマ 3 では、地域防災拠点となる避難所等に移動して、救急救護、情報通信、エネルギー供給等、現地の活動をサポートする D-ZEV（Disaster - robust Zero Energy Vehicle）の開発を行っている。D-ZEV は、大災害時に地域災害拠点に駆けつけることができ、太陽光発電（PV）をエネルギー源とし、停電が発生しても自立して電力供給が可能である。ただし、PV の発電量は気象条件に依存することより蓄電池を併用し、その必要容量の見極め、移動に適した構造の検討が必要である。

本報告は、試作した D-ZEV を用いて PV の発電量や負荷設備の電力需要を計測・分析した結果や、電力供給設備の使用方法をサポートする電源監視システムの開発状況についてまとめている。

### 2. 電力供給システムの構成と仕様

#### 2.1 D-ZEV の概要

D-ZEV の構成イメージを図 1 に示す。D-ZEV 自身が災害対策本部と通信連携可能な情報設備を備え、搭載するサイネージ等から情報発信を行う。避難所では仮設の救急・救護スペースを開設し、その運営を、照明や空調、空気清浄機などでサポートする。さらに、小回りの利く電動アシスト自転車の D-ZEV mini と連携し、D-ZEV を拠点とした近距離圏の情報を収集する一方で、地域住民や帰宅困難者への情報発信に対応する。

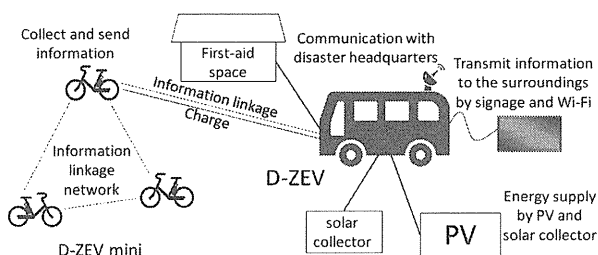


図 1 D-ZEV の構成イメージ

#### 2.2 電力供給設備に必要な条件および構成

D-ZEV の電力供給設備に求められる条件として、自立的に電力供給が可能であることや D-ZEV 本体に搭載が可能であることなどが挙げられる。本研究ではこの条件を満たしつつ、なるべく安価な電力供給設備を構築するようにした。

対象とする電力供給システムの全体イメージを図 2 に示す。エネルギー源は太陽光（PV）による発電とする。PV のみでは夜間や雨天時に発電ができないため、蓄電池を使用し、負荷へはインバータ経由で電力供給する。負荷設備は、簡易救護所内の照明、空調システム・空気清浄機、災害対策本部との通信を行う情報通信機器（無線 LAN 機器、PC、モニタ）、周囲への情報発信を行うサイネージおよび D-ZEV mini を想定する。

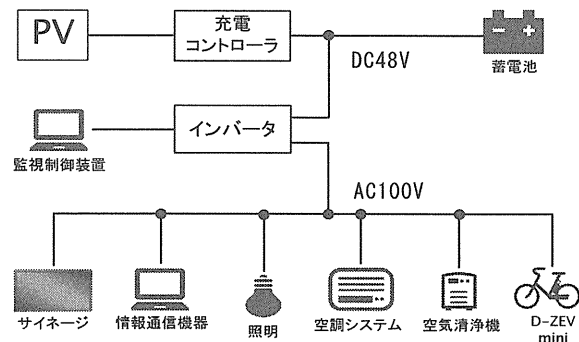


図 2 電力システムの全体イメージ

#### 2.3 電力供給設備の仕様の決定<sup>1)</sup>

まず、1 週間程度は自立的に電力供給が可能であるという条件で、D-ZEV に搭載する電力供給設備の仕様検討を行った。その結果、それぞれの必要容量はインバータ:3[kW]、PV:5[kW]程度、蓄電池:20[kWh]程度とした。また、PV パネル及びそれを支える架台にフレキシブルモジュール及びテントを使用することで、PV パネルや架台の小型・軽量化及び設置・撤収時の作業簡略化を行った。

\* : 工学院大学工学部電気電子工学科

### 3. 電力供給システムの製作と検証

#### 3.1 電力供給システムの製作

上記の検討を踏まえて製作した D-ZEV の試作品を図 3 に示す<sup>2)</sup>。D-ZEV は、電力を供給する車両（以下、電力供給車）（図 3 左）と、サイネージなどで情報を発信する車両（以下、情報発信車）（図 3 右）の 2 台を使用する。この試作品では、PV パネルが合計 15 枚（テントの屋根：12 枚、電力供給車の屋根：3 枚）使用できる。なお、PV パネルの容量は必要容量に対して不足しており、今後、増設する計画である。

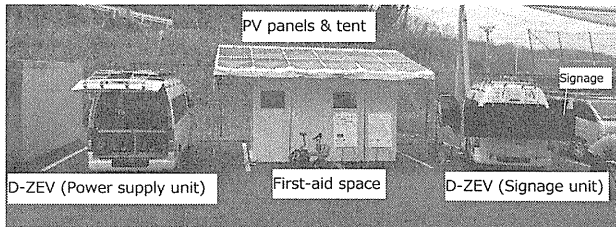


図 3 D-ZEV 試作品

#### 3.2 太陽光発電の発電量評価

試作品を用いて、PV 発電電力の計測を行った。図 4 はテントに設置した PV パネルの発電電力と蓄電池の充電残量のグラフである。計測期間中は天気概ね良かった。すなわち、天気がよければ、テント 1

張り分の PV パネルでバッテリーを 1 日あたり 30 % 程度充電できることがわかる。また、2018/7/23 PM 12:00 ごろ、発電量が 0 まで低下している。これは、蓄電池の充電が 100 % になったことによって、PV 発電出力が自動的に止まったためである。

図 5 は電力供給車の PV パネルの発電電力と蓄電池の充電残量のグラフである。こちらも、計測期間中は天気の良い日が多かった。すなわち、電源供給車の PV パネルでバッテリーを 1 日あたり 10 % 程度充電することが可能である。従って、テント 3 張り分の PV パネルと同時に発電を行えば、1 日でバッテリーをほぼ 100 % 充電が可能である。

#### 3.3 負荷設備の消費電力評価

負荷設備の消費電力・突入電流に関しては、照明、D-ZEV mini、空調、サイネージの計測を行った。また、空調では、D-ZEV からの電力供給のみで運転が可能なのかについても実験を行った。

計測を行った負荷設備の消費電力や、当初想定していた消費電力との差を表 1 にまとめる。なお、当初サイネージは 1 台だけ使用する想定だったが、実際には 2 台使用することとした。また、D-ZEV mini は 3 台使用するため、消費電力の実測値・想定値ともに、3 台分の数値としている。

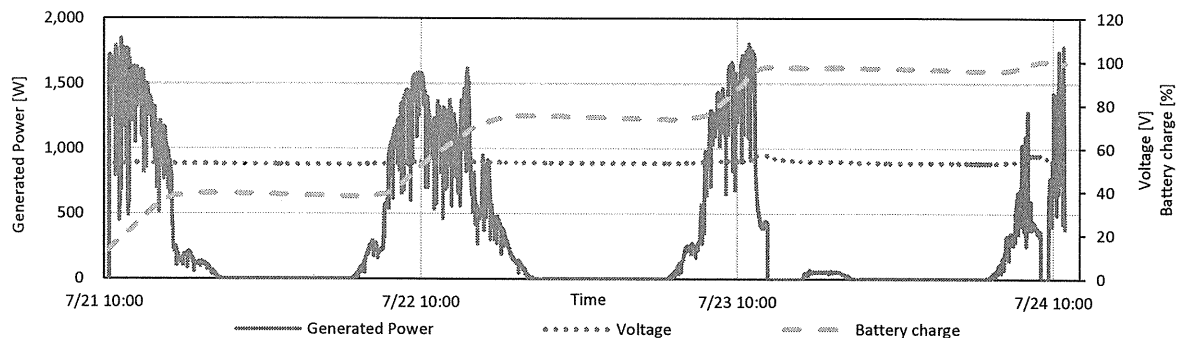


図 4 テントに設置した PV の発電出力

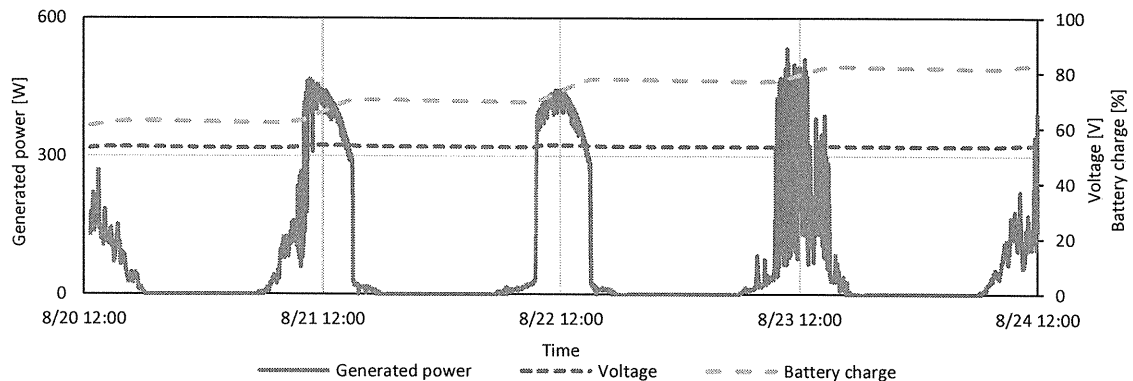


図 5 D-ZEV の屋根に設置した PV の発電出力

表 1 負荷設備の消費電力

Name	Actual load [W]	Assumed load [W]	Load difference [W]
Illumination	33	30	+3
Air conditioner	750	810	-60
Signage	370 (2 units)	250 (1 unit)	+120
D-ZEV mini	336 (3 units)	300 (3 units)	+36

表 1 より、実際の負荷設備消費電力は想定していた消費電力より約 90 W 上回っている。しかし、D-ZEV に搭載した各電力供給設備の容量にはある程度の余裕を持たせてあるため、上回った分の消費電力が大きな影響を及ぼす可能性は低いと思われる。

図 6(a)は空調の消費電力、(b)は始動電流である。今回使用した空調は、配管工事が不要なスポットエアコンである。(a)を見ると、16:00 前頃からグラフが凸凹している部分がある。これは、室温が設定温度に達したことで、空調のコンプレッサが ON・OFF を繰り返して温度調整を行っているからである。

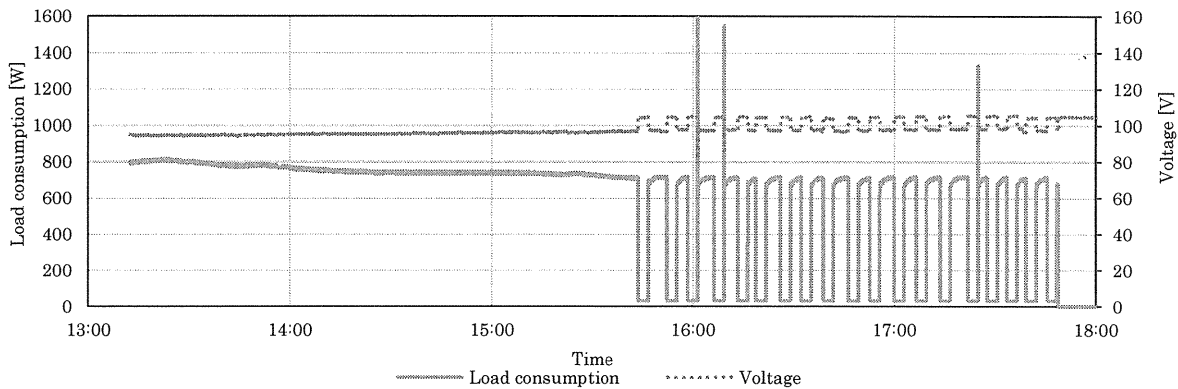
計測の結果、室内を冷却しているときの空調の消費電力は 750 W 程度、コンプレッサが OFF(室内ファンのみ稼働)の時の消費電力は 30 W 程度だった。

始動電流は、(b)よりピーク値 42.7 A と大きな値であった。定常時はピーク値 9 A 程度であるため、始動電流は定常時の 4.7 倍であり、インバータの許容値とほぼ同レベルであることがわかった。また、この時、電圧は約 25.9%(ピーク値 142.3 V→105.5 V) 低下したが特に保護装置は動作しなかった。

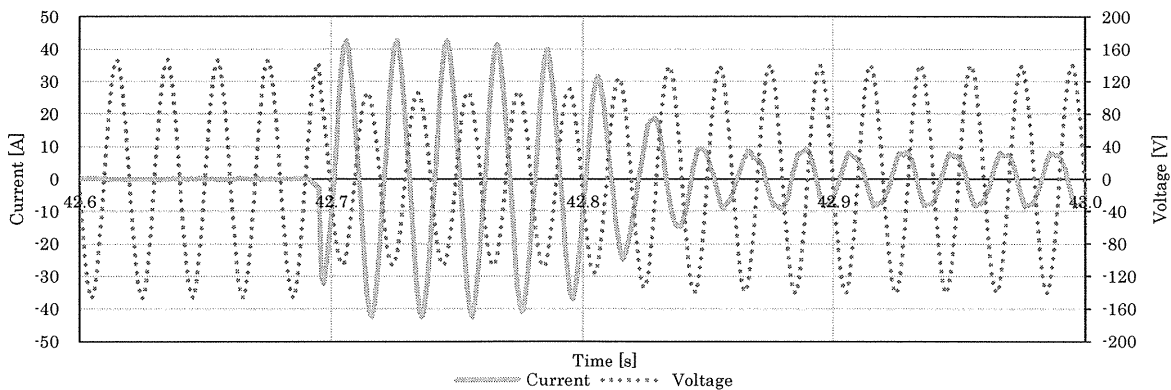
次に、外気温の高い日に D-ZEV から空調への電力供給を行った。前述のように空調の始動電流は大きかった。しかし、D-ZEV に搭載されているインバータの保護機能は動作しなかった。また、空調を数十分間動作させ続けたが、D-ZEV からの電力供給は停止しなかった。すなわち、空調の始動・運転は正常に行われる結果が得られた。

### 3.4 蓄電池の容量およびシステムの評価

実測した PV 発電電力データおよび負荷データを用いて、蓄電池容量の妥当性を評価した。その結果、PV パネルが現状（約 2.6 kW）の容量であれば、1 週間の運用のためには蓄電池容量が明らかに不足して



(a) 消費電力



(b) 始動電流

図 6 空調の消費電力および始動電流の計測結果 (7/21)

いるが、PV パネルの容量を2倍（約5.2kW）とすると、空調を使用しても蓄電池残量は必要量を維持できる可能性が高いことが確認できた。すなわち、当初検討した設備容量が妥当であると評価できた。

### 3.5 成果の公表

2018年8月30日～31日に開催されたイノベーションジャパン2018では、D-ZEVの電源車と説明パネル（テーマ3合同）を出典し、成果を発信した。また、11月13日～11月21日に開催された新宿駅周辺防災対策協議会の防災ウィークでは、工学院大学南側、新宿中央公園、および、新宿野村ビルの3か所でD-ZEV全体の展示に加え、サイネージや炊き出し（電磁調理器）への電源供給を行い、成果の発信とともに運用上の問題点をチェックした。

### 3.6 試作品を運用しての改善点

いくつかの状況での運用を行った結果、以下に代表する要改善点が判明し、今年度の研究・製作に反映した。

- (1) 保管中に蓄電池残量が自然減で低下するため、商用電源からも充電ができるようにする。
- (2) テントは大型で重量もあるため、設置のために最低でも12人程度が必要であり、時間もかかる。そこで、軽量化が必要。

### 3.7 今年度製作の主な装置

2017年度に製作した試作機では、PV パネルの容量が不足しているため、テント1張り+PV パネルを12枚追加で製作する。ただし、テントは3.6に示した改善点を考慮して、支柱をアルミ製にする、高さを低くするなど軽量化を図ることとした。

## 4. 電源監視システム

### 4.1 電源監視システムの必要性

電源監視システムとは、災害時に蓄電池からの電力供給をなるべく長期間利用するために、その日の使用可能電力量を把握し、利用者を支援するためのシステムである。システムには、(i)使用可能電力予測機能 (ii)予測値補正機能 (iii)計測機能 (iv)ログ機能 の4つの機能を搭載させる。以下に、この機能を実現するうえで重要な研究開発要素について検討結果を示す。

### 4.2 太陽光発電量の予測

以下の手順で発電量を推定することとし、プログラムを作成し、精度の検証を行い、システム運用には十分な精度が得られることを確認した。

- (1) 天気予報を行っている HP より、予報データを収集する。
- (2) 天気予報の結果より、晴天係数を算出する。
- (3) 地域の緯度経度や季節情報から1時間ごとの大気圏外全日射量を算出する。
- (4) (2)、(3)およびパネルの効率などのデータより発電量を推定する。

### 4.3 需要の推定

負荷設備の内、空調については消費電力が大きく、また、気温により変化することより、計測データを分析して消費電力推定のための近似式および予測フローを決めた。その他の設備は、前日の稼働実績を当日以降の予測に使用することとした。

### 4.4 電源使用ガイドの算出方法

PVの発電量、負荷の消費電力より、2日先まで1時間ごとの蓄電池残量を推定し、その値から、蓄電池残量が十分であるか、不足する可能性があるかをアナウンスする方法を検討した。また、これらの表示方法を検討した。

### 4.5 今後の課題

一部の機能については、プログラムの作成が行われていない部分や、精度検証が不十分な部分が残っており、今後完成させる必要がある。

## 5. おわりに

D-ZEV は、2017年度に製作した試作機を用いて、発電量や負荷の消費電力の実測・評価を行い、当初の検討方法の妥当性を確認すると同時に、改善点を反映して2018年度の追加分を試作した。

今後は、改善点の確認や精度向上のための計測を継続するとともに、電源監視システムについても、プロトタイプの完成を目指す計画である。

### 参考文献

- 1) 久保、野呂、自立移動式ゼロエネルギーユニット（D-ZEV）における電力供給システムの検討、電気学会電力技術/電力系統技術合同研究会、pp.101-105、2017
- 2) Y. Kubo, Y. Noro, Study of Power Supply System for Disaster-robust Zero Energy Vehicle (Part 4), IEEE IWPI2018, pp.101-105, 2018
- 3) 久保、野呂、自立移動式ゼロエネルギーユニット（D-ZEV）における電力供給設備の検討（その5）、平成31年電気学会全国大会、7-508



## 簡易救護ユニット空調システムの研究

簡易救護ユニット、間接蒸発、デシカント

横山 計三\* 富樫 英介\*  
 中島裕輔\* 柳 宇\*

### 1. はじめに

本ブランディング事業のテーマ3では、災害時に避難所などに移動して、現地の活動をサポートするD-ZEBの開発を行っている。本研究では、移動先に太陽光発電、太陽集熱装置を設置し、紙製の簡易救護ユニットを組み立て、その内部の空調をテーマとしている。この空調ユニットは、できるだけ現地のエネルギー源を用いずに自立して空調を行うことを目的としている。昨年度は、空調システムで用いる間接蒸発ユニットの性能試験を行った。本年は、新たな間接蒸発ユニットの試作とその性能評価及びデシカントユニット再生用に供給する太陽熱集熱器の性能評価などの要素実験を行った。

### 2. 空調システム

#### 2.1 システムの概要

空調システムは、室内空気と外気を混合しデシカントユニットにて除湿する。高温低湿となった空気は、間接蒸発冷却ユニットによって冷却する。デシカント剤の再生は、太陽熱による温水にて行う。システムのダイアグラムを Fig.1 に示す。

#### 2.2 簡易救護ユニットの冷房負荷

夏期に太陽光発電装置付きのテント及び簡易救護ユニットを組み立て、外周部に冷却用の水膜を設置して、室内の温湿度を計測した。冷却には、ユニット型のパッケージ空調機を用いた(Fig.2)。その結果を Fig.3~5 に示す。

空調機は 13 時に起動した。起動時の外気温は、35℃、室温は 38℃であったが、15:50 頃に室温が 28℃となり ON-OFF 運転に移行した。その時の外気温は 32℃で、冷房負荷は 1.9kW であった。負荷は当初の想定より大きく、その原因として、水膜の隙間があるので冷却効果が低い、パネルの隙間が大きく隙間風が多い、テントの内側の温度が高温になり天井面からの熱が侵入していることなどが考えられた。今後、これらの対策を検討し、負荷の低減を図る予定である。

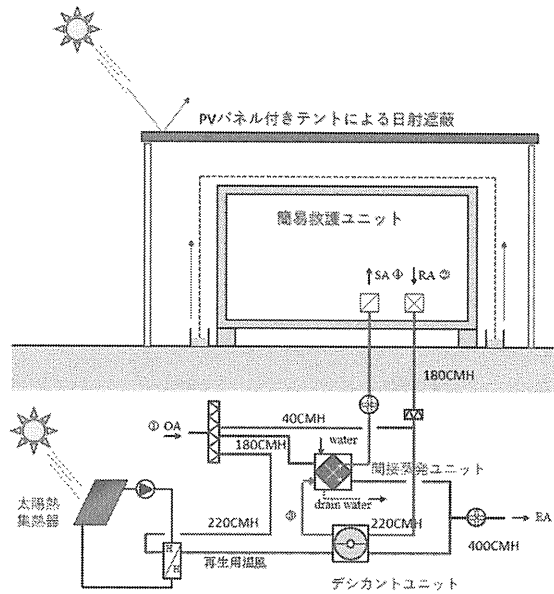


Fig.1 空調システムダイアグラム

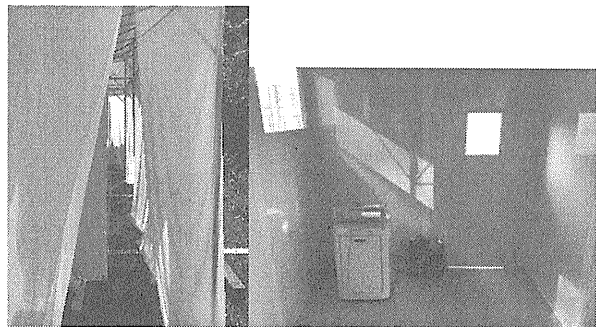


Fig.2(a)水膜設置状況

Fig.2(b)室内

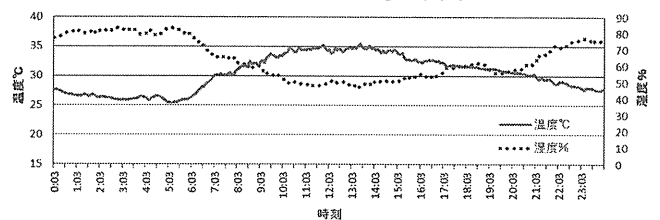


Fig.3 外気温(7月21日)

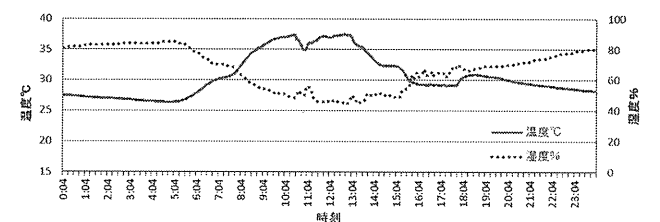


Fig.4 室温(7月21日)

\* : 工学院大学建築学部

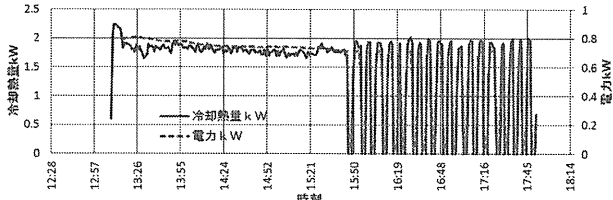


Fig.5 熱量と電力量(7月21日)

### 3 間接蒸発冷却ユニット

#### 3.1 ユニットの概要

間接蒸発冷却とは、水の気化現象を利用して冷却された空気と空調空気を顕熱交換により冷却する装置である。昨年度の実験では、試験体に十分な性能が期待できないことが分かったので、新たに MDI 社製顕熱交換器と水噴霧を組み合わせた装置を試作した(Fig.6、7)。

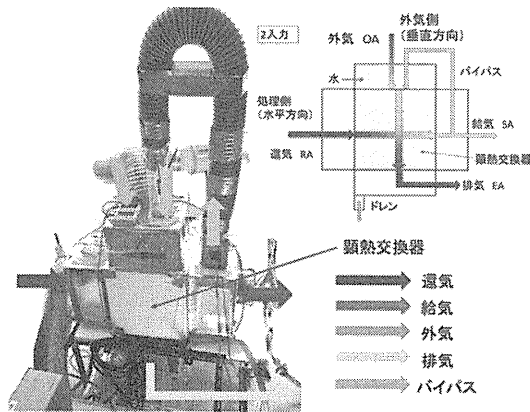


Fig.6 実験装置

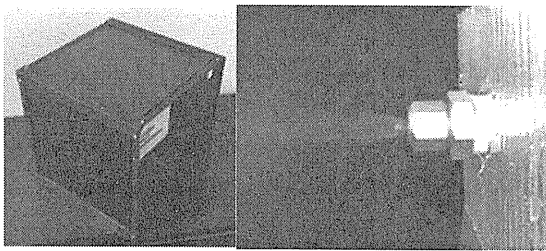


Fig.7 顕熱交換器 (MDI 社製) 及び水噴霧ノズル

#### (1)実験ケース

冷却用外気風量(同風量、66%、150%)、バイパス(0、25%、50%、100%)、水噴霧量(0、0.033、0.066、0.0132L/min)、噴霧箇所(2 か所)をパラメータとして全 16 ケースの実験を行った。

#### (2)実験結果

実験結果の一覧を Table.1 に示す。また、空気線図上での空気状態を Fig.8 に示す。

①空気状態：図はケース 2-2 であるが、入口空気が顕熱交換により冷却されているので絶対湿度はほぼ

Table.1 計測結果一覧

実験番号	給気風量 m <sup>3</sup> /h	風量比	熱量比	顕熱 交換効率	噴霧時の 顕熱交換	突加湿量 L/min	冷却熱量 kW	顕熱 交換効率	噴霧時の 顕熱交換
1-1(1)	181	0.98	1.05	0.84		0	0.26	0.84	
1-2(2)	178	0.96	1.06	0.58		0	0.25	0.58	
2-1(3)	175	1.01	1.06		0.9	0.0236	0.74	2.26	0.9
2-2(4)	182	0.81	1.10		0.85	0.0302	0.86	2.21	0.85
3-1(5)	171	1.28	0.89		0.91	0.0127	0.68	2.23	0.91
3-2(6)	181	0.93	1.06		0.64	0.0128	0.56	1.98	0.64
4-2(8)	178	0.92	1.00		0.84	0.0376	0.6	3.32	0.84
5-1(9)	144	1.51	1.11	0.9		0	0.3	0.9	
5-2(10)	138	1.43	1.17	0.72		0	0.25	0.72	
6(11)	134	1.55	1.12		0.86	0.0224	0.57	2.47	0.86
7-1(12)	211	0.62	0.97	0.73		0	0.24	0.73	
7-2(13)	198	0.66	1.00	0.57		0	0.19	0.57	
8-1(14)	199	0.65	1.03		0.87	0.0191	0.85	2.72	0.87
8-2(15)	177	0.69	0.99		0.72	0.0245	0.8	2.03	0.72
9(16)	185	1.34	1.13	0.71		0	0.24	0.71	
10-1(17)	183	1.36	1.06		0.7	0.0284	0.67	2.63	0.7
10-2(18)	183	1.45	1.00		0.72	0.034	0.65	2.79	0.72
11(19)	187	1.25	0.93	0.72		0	0.28	0.72	
12(20)	178	1.26	1.01		0.78	0.0265	0.92	2.01	0.78
13(21)	187	0.5	1.05	0.54		0	0.25	0.54	
14(22)	187	0.46	1.05		0.53	0.0075	0.57	0.58	0.53
15(23)	125	0.98	1.19	1		0	0.08	1	
16(24)	130	1.01	1.14		0.82	0.0142	0.41	0.85	0.82

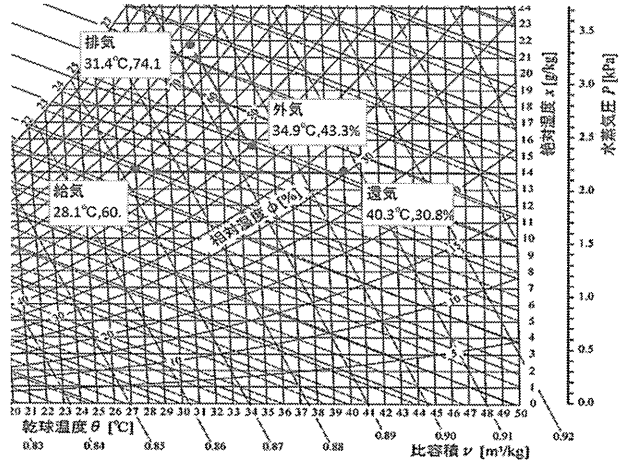


Fig.8 実験番号 2-2 空気状態図

定である。一方、冷却用外気は、水噴霧による加湿冷却と空調空気からの熱取得により加湿・冷却されている。

②顕熱交換効率：効率は水噴霧無しでは 0.72、水噴霧ありでは 0.80 となった。風量比と顕熱交換効率の関係は、外気風量と給気風量を 2/3 倍、同風量、1.5 倍の 3 水準で実験したが、この範囲では影響していなかった(Fig.9)。

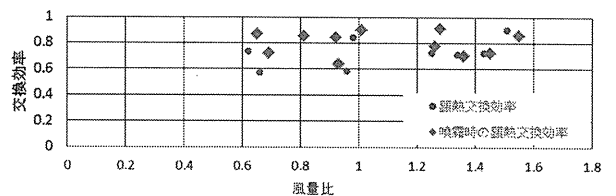


Fig.9 風量比と顕熱交換効率

③冷却熱量：水噴霧がありバイパスを使用するケース 12 が 0.92kW と全ケース内で最大となった(Fig.10)。水噴霧がない場合は、当然であるが、0.2kW 程度で低い。また、風量による相関はややあり、風量が増加すると冷却熱量も増加する傾向にある。

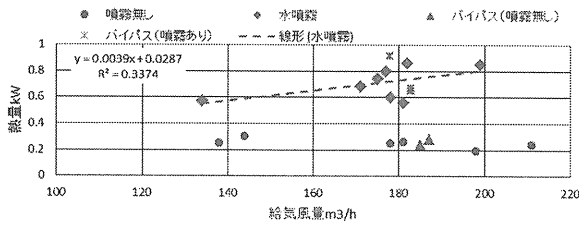


Fig.10 給気風量と冷却能力

④加湿量と冷却能力：本実験の範囲では、加湿量と冷却能力の関係は見られなかった。ただし、水噴霧なしの場合は、冷却能力は、大きく低下する。なお、加湿効率（加湿量/噴霧量）は平均で37%であった。

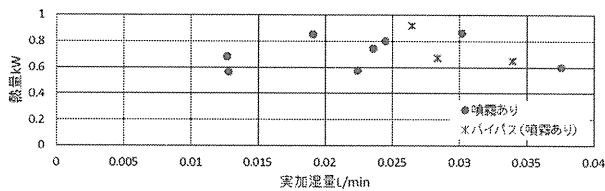


Fig.11 実加湿量と冷却能力

### 3.2.LCEM ツール<sup>1)</sup>によるシミュレーション

#### (1)モデル化

間接蒸発冷却器の実験結果を基に顕熱交換効率0.8、水噴霧の飽和効率を0.8としてモデル化を行った。また簡易救護ユニットの熱収支と水膜による外皮の温度低下を、水膜の飽和効率を0.6としてモデル化した。デシカント除湿器はモデル化していないので、デシカント出口温度は乾球温度40℃、相対湿度24%一定としてシミュレーションを行った。Fig.12にシミュレーションのブロック図を示す。

#### (2)シミュレーション条件

シミュレーションは、以下の条件で行った。期間：6/1-10/31、気象データ：省エネルギーセンター原単位管理ツール v6.10 2014年の東京の気象データ、運転条件：外気の乾球温度が25.5℃以上または絶対湿度0.014kg/kg以上の時、間接蒸発冷却器を運転する。

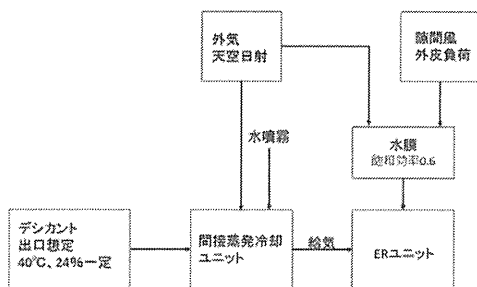


Fig.12 シミュレーションブロック図

### (3)シミュレーション結果

間接蒸発冷却器と水膜を組合せたシミュレーション結果を Fig.13 に、水膜がない場合を Fig.14 に示す。水膜がない場合は、6/1-10/31の3672時間中、外気冷房で処理できる時間は1303時間、空調運転時で1065時間が29℃を超えているが、水膜を加えると室温が29℃を超える日は、564時間と約半分まで減らすことができ、水膜の効果が期待できる。また、間接蒸発冷却器の冷却能力は約0.8kW~1.2kWであった。

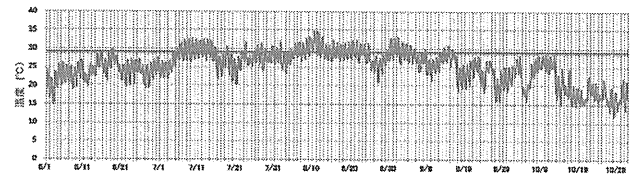


Fig.13 水膜ありの室内温度

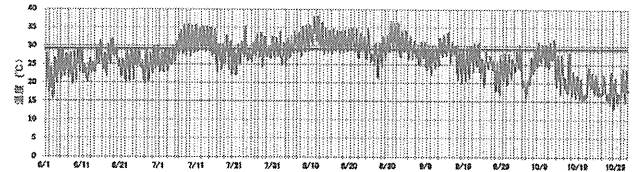


Fig.14 水膜なしの室内温度

### 4.真空ガラス管型集熱器の性能実験

#### 4.1 実験の概要

実験装置は、集熱器を南向きに1枚設置し、傾斜角度が調節できるようにする(Fig.15、16)。計測は、試験体の水の出入口温度、循環流量、冷却装置の出入口空気温度と風量、気象条件としてパネル傾斜面日射量、風向、風速、外気温度である。実験は、流量を4.4L/minと2.0L/minの2水準、傾斜角度を7.5°と20°の2水準、計4ケースで行った(Table.2)。

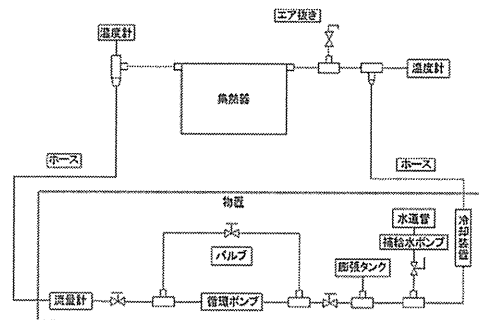
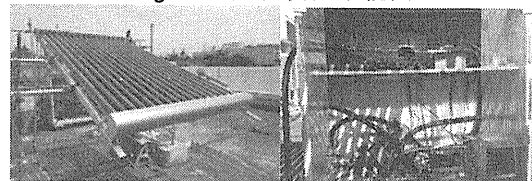


Fig.15 実験装置系統図



(a)集熱器 (b)配管系

Fig.16 実験装置

Table.2 実測ケースと日程

ケース	期間	流量(L/min)	角度(°)
1	7/20~8/2, 8/27~9/6	4.4	20
2	8/2~8/4, 8/20~27	2.0	20
3	9/6~18	4.4	7.5
4	9/18~11/30	2.0	7.5

#### 4.2 実験結果

Fig.17~21 に代表日として晴天日の 8 月 25 日、ケース 2 の計測結果を示す。

##### ①日射量と集熱量 (Fig.17)

集熱量の最高は約 900(W)、日射量の最高は約 970 (W/m<sup>2</sup>) となった。10 時以降を見ると日射量が上昇しているにもかかわらず、集熱量は一定になっている。また、12 時以降は日射量が低下しているにもかかわらず、集熱量は 15 時まで一定のままになっている。このように集熱量は、特徴的な状態を示している。

##### ②集熱効率 (Fig.18)

Fig.18 に集熱効率(集熱量/日射量)と集熱効率変数 ((平均集熱温度-外気温)/日射量)の時系列を示す。9 時以降の日射量が大きくなるにつれ、集熱効率、効率変数ともに増大し、日中は、効率 35%程度で一定値を示している。その後夕方にかけて集熱効率、効率変数ともに上昇している。

Fig.19 に効率線図を示す。メーカー提示の性能特性は右下がりに対して、実験結果は右上がりとなっている。これは、Fig.17 からわかるように高日射になるに従い集熱量が頭打ちになるのが原因と考えられる。集熱器のメーカーに確認し、ヒートパイプの熱伝導が充分でないことが原因ということがわかった。また、日射量がピークをすぎて低下していく時に集熱量は高いところを維持しているため、日射量が低下しても集熱効率が高くなっていく。これは、ヒートパイプに蓄積された熱が供給され続けるためと考えられる。

##### ③水温 (Fig.20)

集熱器出入口水温の最高温度は入口が 67°C、出口が 73°C となった。また、流量が 4.4(L/min)の場合、

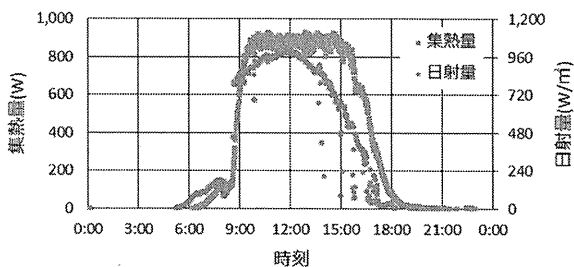


Fig.17 集熱量と日射量

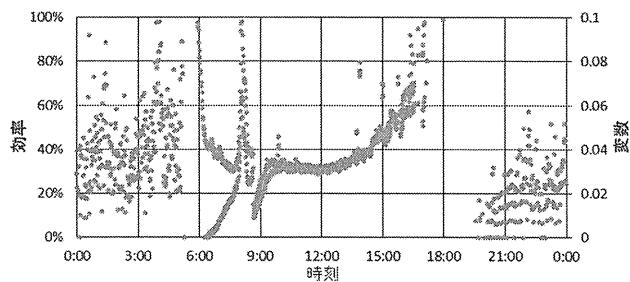


Fig.18 集熱効率と集熱効率変数

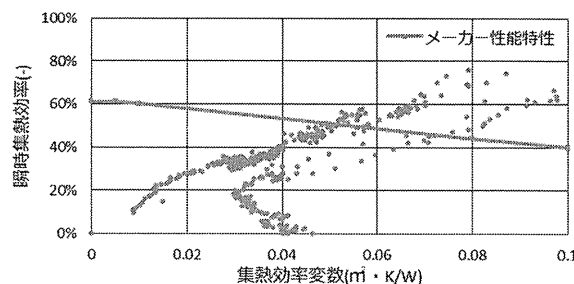


Fig.19 効率線図

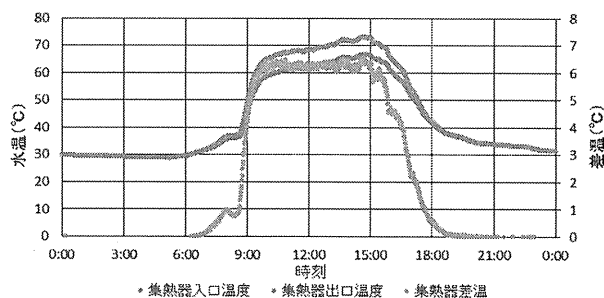


Fig.20 集熱器の出入口水温

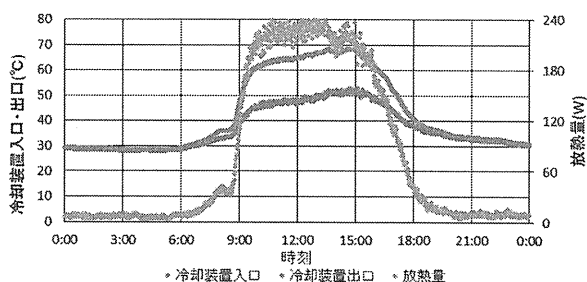


Fig.21 コイル出入口空気温度

集熱器の入口と出口の水の温度差は約 3°Cだが、流量 2(L/min)にすると温度差は 6°Cあった。

##### ④放熱コイル (Fig.21)

コイルの出入口空気温度の最高温度は入口が 53°C、出口は 70°C、放熱量の最大値は 240(W)となった。放熱量が集熱量約 800W に比べて小さいのは、配管経路に熱ロスと考えられる。

#### 4. 集熱効率特性

##### 4.1 瞬間集熱効率

4 ケースの効率を、JIS の条件を参考に日射量 600W 以上、日射量は測定中の変動は 50W/m<sup>2</sup>以内、

風速 4m/s 以内、集熱媒体入口温度の変動は±0.5K/分に絞り、効率特性式を得た。Fig.22、23 にケース4のすべての時間の瞬時集熱効率と絞り込み後を、Table.3 に効率特性式を示す。

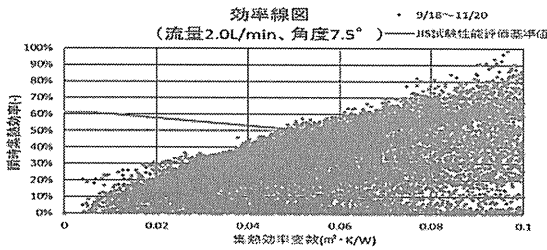


Fig.22 ケース4 瞬時集熱効率

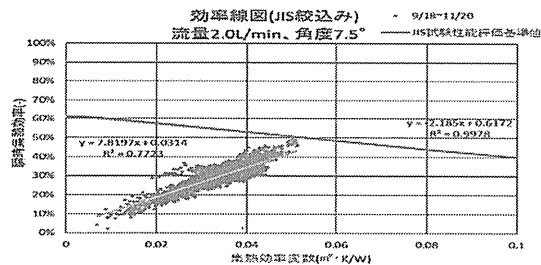


Fig.23 ケース4 瞬時集熱効率（絞り込み）

Table.3 効率特性式

ケース	計測内容	効率特性
ケース1	流量4.4L/min、角度20°	$y = 5.9416x + 0.0994$
ケース2	流量2.0L/min、角度20°	$y = 5.5228x + 0.1296$
ケース3	流量4.4L/min、角度7.5°	$y = 9.9301x - 0.0008$
ケース4	流量2.0L/min、角度7.5°	$y = 7.8197x + 0.0314$

y : 集熱効率(%) x : 集熱効率変数(m<sup>2</sup>・K/W)

#### 4.2 日積算集熱効率

4 ケースの実測期間の晴天日と曇天日の代表日から日積算集熱効率を求めた。日射量が約 2.0(kWh/m<sup>2</sup>)を超えたあたりで効率は 35%前後になり、約 35%に到達するとそれ以上は上昇せず一定となる。また、角度や流量を変えても効率にあまり変化が現れないことがわかった。

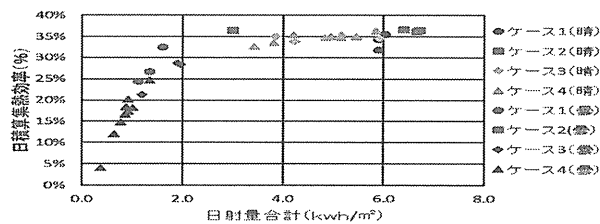


Fig.24 日積算集熱効率と日射量

#### 4.3 LCEMによる効率特性の確認

実測の効率特性の妥当性を確認するために、LCEMによる住宅の給湯システムでシミュレーションを行った。住宅給湯のモデルは、4 人家族を想定

し、給湯パターンは通常状態の MI スタンダードモードを用いる。

#### (1)実測結果の特性式によるシミュレーション

実測結果のケース4の効率特性式を用い、角度は7.5°、集熱器1枚としてシミュレーションを行った。Fig.25 に集熱効率の結果を示すが、Fig.17の実測結果とは大きく乖離している。また、参考にメーカー提示の効率特性で行った集熱効率は全体に効率が大きく、やはり実測と一致していない (Fig.26)。

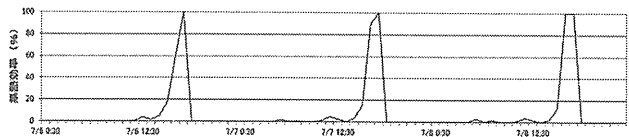


Fig.25 実測特性による集熱効率

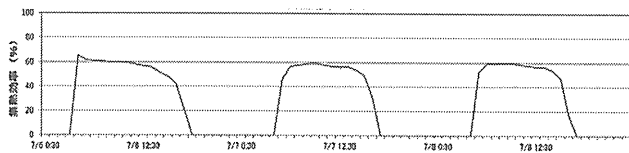


Fig.26 メーカー提示特性の集熱効率

#### (2)回帰分析による比較

集熱効率と集熱効率変数から得た集熱効率特性は、実態と異なったため、流量 2.0L/min、角度 7.5°のケースで日照時間 10 時間以上の 4 日分の計測値を用いて日射量、集熱器出入口水温の平均温度から外気温を引いた温度差、集熱効率変数をパラメータに、Table.4 に示すように 4 パターンの回帰分析を行った。分析から得た式を用い LCEM シミュレーションした結果、日射量を説明変数とした効率式が、集熱量 (Fig.27) や集熱効率 (Fig.28) 等が実測結果に最も類似していた。

Table.4 回帰分析による特性式

番号	説明変数	効率特性式
1	日射量	$y = -24.9553x_1 + 52.298641$
2	日射量+温度差	$y = -45.2506x_1 + 1.228168x_2 + 34.54712$
3	日射量+温度差+効率変数	$y = 2.806105x_1 - 0.20116x_2 + 0.804623x_3 + 768444$
4	効率変数	$y = 0.730545x_3 + 7.180055$

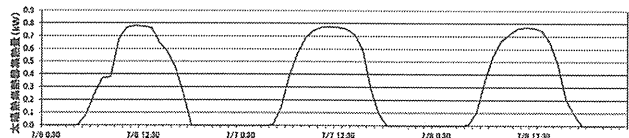


Fig.27 集熱量(回帰特性 1)

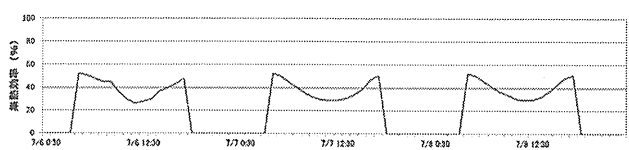


Fig.28 集熱効率(回帰特性 1)

### (3)日積算集熱効率の比較(Fig.29)

回帰分析の 4 特性とメーカー提示の効率特性の日積算集熱効率を夏、秋について求めた。実測の日積算集熱効率が 35%前後だったことに対し、回帰式 2~4 では 20%以下と低く、またメーカー提示の特性では 50~55%で実測の効率と大きく異なった。したがって、日射量で回帰した集熱効率特性が最も妥当性があると判断し、効率特性を式(1)とした。

$$y = -24.9553x + 52.298641 \quad (1)$$

y : 集熱効率(%) x : 日射量(kW/m<sup>2</sup>)

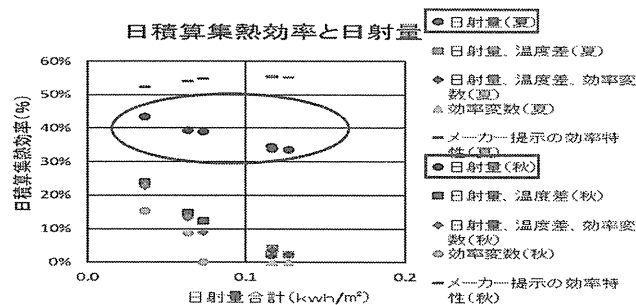


Fig.29 各種集熱特性による日積算効率

### 5.コイルの特性

放熱コイルの設計仕様から伝熱係数 KF のモデル式として、LCEM のコイルのモデル式<sup>2)</sup>をもとに式(2)とした。また、交換熱量 qt を伝熱係数 KF で表すと式(3)となる。

$$KF = \frac{-92.6096}{(0.12385 \times VA^{-0.47588}) + (0.015385 \times VW^{-0.64635})} \quad (2)$$

KF : 伝熱係数[W/m<sup>2</sup>°CRow],

VA : 風速(m/s)、Vw : 水量(m/s)

$$qt = Row \times KF \times dtlm \times AF \quad (3)$$

qt : 交換熱量[w]、dtlm : 対数平均温度差[°C]

Row : 列数、AF : コイル正面面積[m<sup>2</sup>]

このコイルモデルの妥当性を把握するため、1 分ごとの実測値 (コイル入口空気温度、コイル入口水温、風量、流量) を用い、コイルの出口空気温度とコイル出口水温、放熱量を計算した。夏と秋それぞれ 2 日分を行った。Fig.30 から実測値と計算値は、コイル空気出口温度はよく一致しており、放熱量についても概ね一致しており、モデル式の妥当性が確認された。

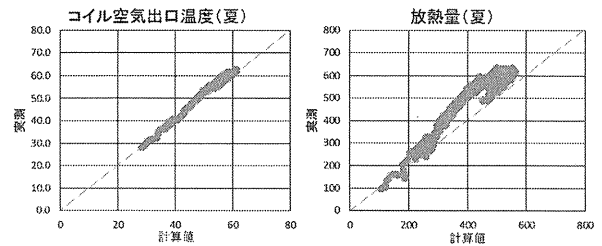


Fig.30 コイルの空気温度と放熱量

### 6.まとめ

本研究では簡易救護ユニットの空調システムにおける間接蒸発冷却器の試作と性能評価、デシカント再生用の太陽熱集熱器の特性試験を行い、LCEM シミュレーションモデルを検討した。これらの結果より以下のことが分かった。

①簡易救護ユニットの夏期の冷房負荷は、1.9kW を超えることがわかった。水膜やパネルの隙間、ユニット上部の材質などに検討の余地があることが分かった。

②間接蒸発冷却ユニットの試作と計測において、顕熱交換効率は 0.72、噴霧時の顕熱交換効率は 0.80 となった。風量が 180m<sup>3</sup>/h では、冷却能力が最大で 0.92kW であった。

③真空管型集熱器の効率は、メーカー提示の特性とは大きく異なり、日射量をパラメータとした回帰式が最も集熱効率特性を表していることが分かった。

本年の研究では、空調システムの各要素について性能評価を行ったが、来年度は、デシカント除湿器、間接蒸発冷却器、太陽熱集熱器などを組合せた空調システム全体について、シミュレーションモデルを確立して有効性を評価し、それに応じて各要素を組み合わせたシステムを構築し、システムの可能性、有効性を検討する予定である。

### 謝辞

本稿における計測と解析は、2018 年度卒業生の平田彩夏君、横山慶一君が中心に行ったものである。ここに記して謝意を表する。

### 参考文献

- 1) 国土交通省大臣官房官庁営繕部設備・環境課、LCEM ツール ver3.10、[http://www.mlit.go.jp/gobuild/sesaku\\_lcem\\_lcemtool\\_index.htm](http://www.mlit.go.jp/gobuild/sesaku_lcem_lcemtool_index.htm)
- 2) 国土交通省大臣官房官庁営繕部設備・環境課、LCEM ツール ver3.10 主要オブジェクトの計算アルゴリズム、平成 26 年 2 月

## 簡易救護ユニットにおける室内浮遊粒子の制御に関する実証

キーワード：簡易救護ユニット，空気清浄，浮遊粒子

柳 宇\*

富樫英介\*

横山計三\*

中島裕輔\*

### 1. はじめに

本研究では、被災時の一時緊急利用施設としての簡易救護ユニットを考案し、そのユニット内の浮遊粒子濃度の制御に関する検討を行った。簡易救護ユニットの用途としては、緊急時に一時的な医療行為を施す空間、一時的な避難場所などが挙げられる。従って、ユニット内の空気質、とくに微生物・花粉を含めた浮遊粒子状物質の制御が重要な課題となる。

昨年度は、簡易救護ユニットの容積を踏まえて病院の診察室における浮遊粒子濃度に対する空気清浄機の低減効果の実証を行い、予測値と実測値の差が5%程度であることが分かった。また、空気清浄機を強のモード（180m<sup>3</sup>/h）で運転した場合、30分後のユニット内の濃度は初期濃度の20%になることが予測された<sup>1)</sup>。

今年度では、試作した新たな間接蒸発型簡易救護ユニット<sup>2)</sup>を用いて評価を行った。

### 2. 試験方法

写真1に試験装置の外観を示す。試験に市販の空気清浄機（EP-NZ30，風量90m<sup>3</sup>/h）を用いた。実際使用時の状況を考慮し、空気清浄機を壁沿いに設置した。また、実験開始時の室内浮遊粒子濃度を高めるために、発煙管による煙の発生を行った。煙発生が終了した直後に粒径別浮遊粒子濃度を1分間隔の連続測定を行った。パーティクルカウンタの粒径測定範囲は0.3～0.5μm，0.5～0.7μm，0.7～1.0μm，1.0～2.0μm，2.0～5.0μm，5.0μm～の6段階である。



写真1 試験室

### 3. 結果

図1に0.3～0.5μmの浮遊微粒子濃度の経時変化を示す。約20分経過した時点での濃度は初期濃度の75%になり、昨年予測の30分後の20%よりはるかに上回った。その原因として、風量が半分になっているほか、試験室の気密性が低く、室内の濃度に及ぼす外気濃度の影響が大きいことなどが挙げられる。

図2に本試験を行う直前の室内0.3～0.5μmの浮遊粒子濃度を示す（外気濃度とみなされる）。その濃度が200000p/Lを上回っている。従って、空気清浄機を稼働しても外気の侵入による室内濃度の上昇分が大きいと、0.3～0.5μmの微粒子濃度の低減は限られている。今後の対策として、試験室の気密性を高めることが考えられる。

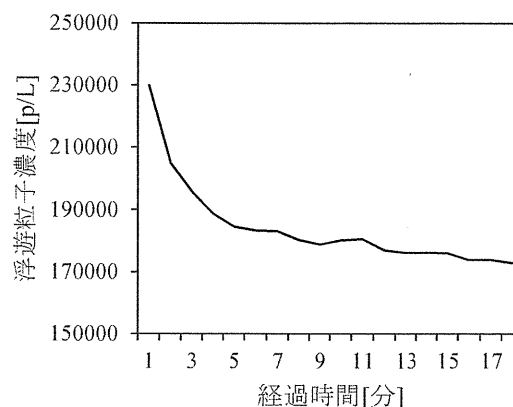


図1 0.3～0.5 μm 浮遊微粒子濃度の経時変化

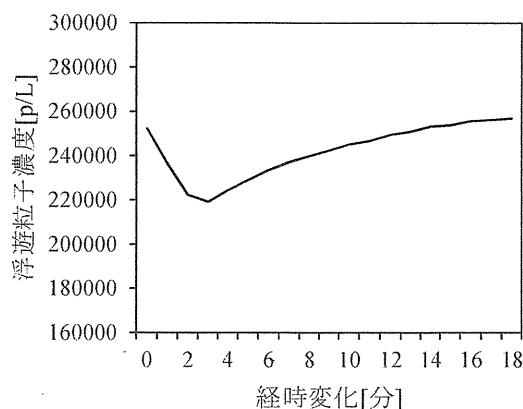


図2 0.3～0.5 μm 浮遊微粒子のバクランド濃度

\* 工学院大学建築学部

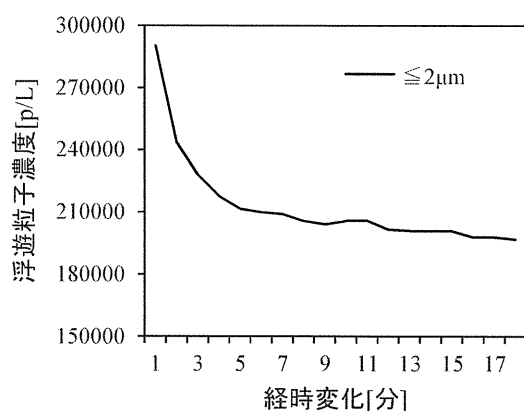


図 3  $\leq 2\mu\text{m}$  浮遊粒子濃度の経時変化

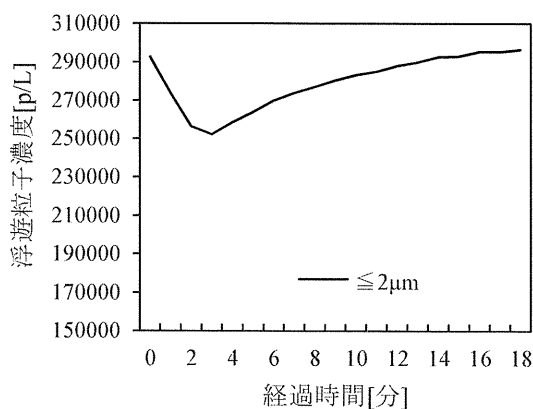


図 5  $\leq 2\mu\text{m}$  浮遊粒子濃度のバクグラウンド濃度

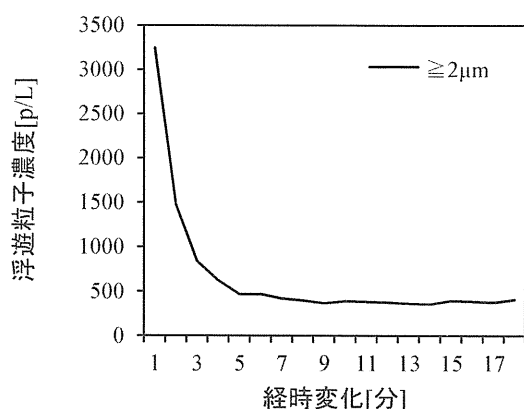


図 4  $\geq 2\mu\text{m}$  浮遊粒子濃度の経時変化

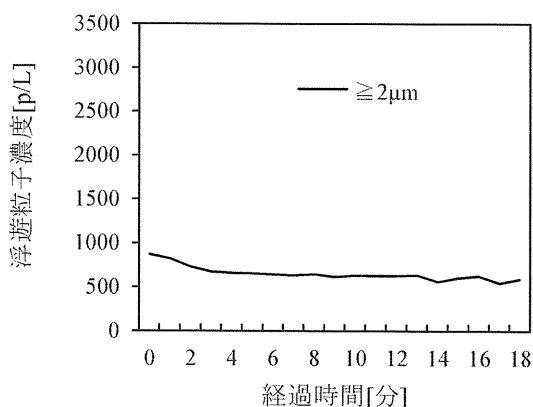


図 6  $\geq 2\mu\text{m}$  浮遊粒子濃度のバクグラウンド濃度

図 3 と図 4 のそれぞれに  $\leq 2\mu\text{m}$  (Fine particle) と  $\geq 2\mu\text{m}$  (Coarse particle) の浮遊粒子濃度の経時変化を示す。約 20 分後の濃度はそれぞれの初期濃度の 68% と 13% になった。浮遊粒子の粒径が大きいほど慣性力が大きくなる。空気清浄機に備えられたエアフィルタの捕集原理の一つは慣性衝突である。従って、 $\leq 2\mu\text{m}$  より慣性力の大きい  $\geq 2\mu\text{m}$  の粒子の方が多く捕集される。約 20 分後にそれらの減衰率間の差が 5 倍にもなった。しかし、ある濃度までに低下したら、前述した外気による影響が大きくなるため、その濃度が低下しにくくなった。参考まで、図 5 と図 6 に本試験直前の室内浮遊粒子濃度を示す。

#### 4. おわりに

今年度では、試作した新たな間接蒸発型簡易救護ユニットを用いた評価を行い、下記に示すことが分かった。

- 1) 空気清浄機約 20 分間運転後の  $0.3\sim 0.5\mu\text{m}$  浮

微粒子濃度は初期濃度の 75% になり、昨年での予測よりはるかに高かったことから、試験室の気密性を高め、空気清浄機による効果をより発揮できるようにする必要がある。

- 2) 現状では、本研究に用いたユニットを用いれば、微粒子 ( $\leq 2\mu\text{m}$ ) と粗大粒子 ( $\geq 2\mu\text{m}$ ) に対する浄化効果が認められ、風量  $90\text{m}^3/\text{h}$  条件での運転 20 分後のユニット内の濃度はそれぞれの初期濃度の 68% と 13% までに低下する。

#### 参考文献

- 1) 柳 宇, 中島裕輔, 横山計三, 富樫英介: 簡易救護ユニットにおける室内浮遊粒子物質制御に関する研究, 文部科学省 私立大学研究ブランディング事業 (平成 30 年度), 工学院大学総合研究所 都市減災研究センター成果報告書 テーマ 3
- 2) 横山計三, 富樫英介, 中島裕輔, 柳 宇: 簡易救護ユニット空調システムの研究, 文部科学省 私立大学研究ブランディング事業 (平成 30 年度), 工学院大学総合研究所 都市減災研究センター成果報告書 テーマ 3



## 広報・普及事業

佐野 勇一郎\*

### 1. はじめに

採択3年目となる2018年度は、エリア防災の社会実装促進を目的として、イベント出展、防災マニュアル作成などを軸に活動した。

### 2. 今年度の成果

#### (1) イベント出展

2018年度は主に下記の3イベントに出展・参画した。全イベント来場者数は、のべ約1300名。

①防災WEEK2018：講演会、防災コミュニケーションツール体験型イベント、企画展示（会期：2018年11月13日～21日。会場：工学院大学。主催：新宿駅周辺防災対策協議会）。約830名来場。

②防災WEEK2018：“新宿ならではの”炊き出し（会期：2018年11月16日。会場：新宿調理師専門学校玄関前。主催：新宿駅周辺防災対策協議会）約300名。

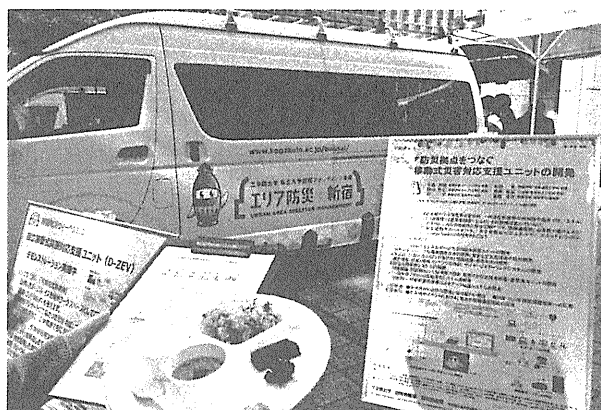
③防災WEEK2018：防災CAFÉ（会期：2018年11月21日。会場：新宿野村ビル。主催：新宿駅周辺防災対策協議会）。約50名来場。

④災害時の住環境・生活環境EXPO2018（会期：2018年10月15日、16日。会場：京王プラザホテル（新宿）4階 花、ホワイエ、けやき、かえで。主催：第2回災害時の住環境・生活環境EXPO2018実行委員会、一般社団法人日本環境保健機構、一般社団法人地域防災支援協会）。約30名来場。

本学は2007年から新宿駅周辺防災対策協議会に参画、①「防災WEEK2018」では講演会、体験イベント、展示の各会場を提供した。体験イベントと展示は、通りに面したガラス張り空間で開催し、近隣ビル勤務者も見学に訪れた。

②“新宿ならではの”炊き出しは、昨年度同様、近隣の新宿調理師専門学校と共同で実施。味噌汁に使用した水は、2つの自治体から期限切れの近い備蓄品を提供いただくなど、有効活用する流れができてはじめている。

③「防災CAFÉ」は、防災食の試食会。本学が2017年度に開発したD-ZEV（電力の供給や情報の送受信を行う車両と自転車、簡易救護所などのユニット）を会場に設置し、防災食の温め直しなどに必要な電力を供給した。この車両にはサイネージを搭載し、非常時の情報収集方法を開発中のアプリケーションを使って説明した。近隣ビル勤務者にブランディング事業を周知するためお昼時に開催したところ、用意した200食は1時間半ほどで配布を終え、地域の反響が感じられた。食材は、東京都、新宿区等の協力により廃棄予定の備蓄品を利用。50人分として一袋に入っていた食材を本学学生が事前に一人分ずつ小分けにするなどの準備を通して、学生が食品ロス問題を防災の観点から考えるきっかけにもなった。



写真：防災CAFÉの様子。防災食の試食では、備蓄食にひと工夫したトマトズットが好評。楽しく防災を知る機会となった。

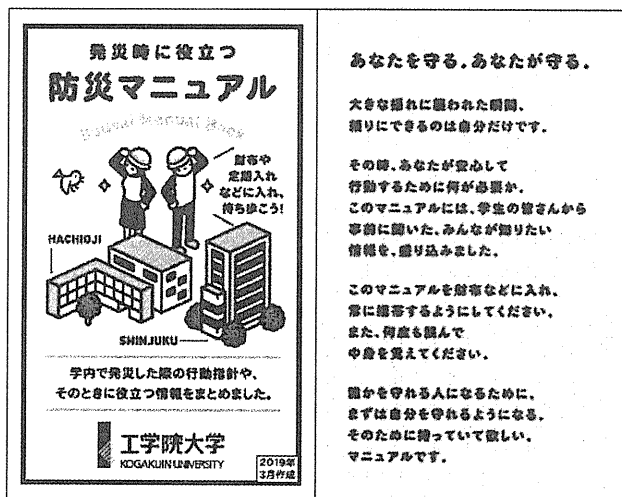
④「災害時の住環境・生活環境EXPO2018」は、乳幼児連れの親子と企業、行政の防災担当の方が多く来場された。本学は、避難所を再現したエリアの隣りにブースを開設。避難所運営で効果を発揮する「避難所開設キット」と、運営を学ぶゲーム「KUG」を紹介した。「こういうセットがあると、慌てなくて安心」「色々な配慮が必要なことが、このセットを見て気付けそう」との感想が聞かれた。

\* : 工学院大学総合企画部広報課

（2）防災ポケットマニュアルの作成と常設展示  
大学は、10年前に建築学部生がまとめた「防災ポケットマニュアル」を使い続けてきたが、その後修正を行っていなかった。最新版を作成するにあたり、下記の普及活動を行った。

①学生が理解を深めたワークショップ

防災ポケットマニュアルを作ることをゴールに、延べ30名の学生が参加。地震・災害で困る事・分からないこと・不安なことなどを書き出すブースを避難訓練で運営し、その後、防災ポケットマニュアルのキャッチコピーとして集約した。新入生は入学式後の事務オリエンテーション、在生は学生証の裏面シール配布時とし、全学生への配布を図る。



写真）学生から集まった不安・疑問を元に完成した「防災マニュアル」。キャッチコピーは「あなたを守る。あなたが守る。」に決定。

②常設展示を開始

本学新宿キャンパスの地下1階は、地下道を使って駅から来校される方の玄関となっている。エレベータや階段に向かう間にある展示フロアで、エリア防災全体を紹介する展示を始めた。前述の防災ポケットマニュアルは名刺サイズのため、サイネージでも紹介している。各テーマの詳細をまとめた動画や実験の動画を、来校者が足を止めて見入る姿を見かけるようになった。

ポケットマニュアルに掲載できることは限られるため、学園ホームページに関連事項をまとめるページを新規に作成した。学生証の裏には、マニュアル掲載ページのURLに繋がるQRコードを掲載し、いざという時も慌てずに情報収集できる仕組みを整えた。

（3）パブリシティ

ブランディング事業の最終目的は社会実装のため、プレスリリースやホームページでの記載は、一般の方が参考にすることを念頭に専門用語は避け、人数や所要時間、途中経過などもわかるよう、結果や過程に留意している。

今年度は、ブランディングで研究している分野において、専門的なコメントを求める取材が増えた。一例として、長周期地震動を研究している研究者に、ブロック塀倒壊についてのコメントが求められた取材がある。地方紙を含め、実証実験がメディアに取り上げられ、広く研究成果の啓蒙ができた。

メディア掲載については、約130件（研究内容に関する掲載は、各テーマの業績報告書参照）。主な掲載実績は下記の通り。

- ①「防災WEEK2018」。ビズハックほか（計3件）。2018年11月6日。
- ②「大阪北部地震によるブロック塀倒壊事故」。朝日新聞ほか（計44件）。2018年6月18日（ほか計3日）。
- ③「ドローンを用いた実証実験」。テレビ朝日ほか（計8件）。2018年11月15日（ほか計7日）。

3. おわりに（課題と次年度計画など）

広報・普及事業の一つのゴールは社会実装と考へ、成果検証は、防災支援技術の地導入数とイベント参加者数を主な基準とし、メディア掲載数は反響を図る補完的な基準と考へたい。

[地域導入数]

2017年度の地域導入数はゼロだったが、2018年度は東京都北区が「避難所開設キット」（テーマ1成果物）を約60台導入した。2019年度以降、より多くの方の目に触れる機会を作り、地域導入を推進したい。

[イベント参加者数]

2019年度も防災WEEK（前頁（2）イベント出展①）、新宿ならでは炊き出し（前頁（2）イベント出展②）を開催予定。防災ポケットマニュアル（広報活動成果物）は、学内防災訓練での活用を予定。

[メディア掲載数]

2019年度は、社会実装がしやすい環境作りとして、地域メディアへの複数回掲載を目指す。回を重ねた研究は、地域社会への具体的な貢献内容を伝え、メディア取材を通して、地域の付加価値を創造したい。

文部科学省 私立大学研究ブランディング事業（平成 30 年度）  
工学院大学総合研究所 都市減災研究センター（UDM）業績報告書

テーマ 1 村上正浩、藤賀雅人、境野健太郎（建築学部）  
福田一帆、雨車和憲（情報学部）

査読付き論文

1. Yoshiaki Hisada, Toshihiro Osaragi, Masahiro Murakami, Osamu Mizuno, Wataru Kobayashi, Susumu Yasuda, Miho Ohara, Tomohisa Yamashita, Kazuyuki Takada, Akashi Suematsu, Jun Shindo, Takuya Oki, and Akira Kakizaki, Disaster Response and Mitigation Support Technology for All-Hazards in Tokyo Metropolitan Area, Journal of Disaster Research Vol.14 No.2, 2019 (2018 採択決定)
2. Shota Uchiyama, Yutaro Yanagida, Masahiro Murakami, Osamu Mizuno, "The Urban-Area Mitigation System for Providing Information and Its Generalization", P1-9, The 33rd International Conference on Information Networking (ICOIN 2019), Kuala Lumpur, Malaysia, Jan. 2019.
3. 安藤繁、村上正浩、山下てつろう、首都直下地震における危険地区を考慮した来院重傷者数の推計に関する研究 災害時における負傷者の受療行動パターンに関する研究 その 2、日本建築学会計画系論文集(747 巻)、pp.843-850、2018 年 5 月
4. 藤賀雅人、二橋舜輝「不燃化推進特定整備地区における建替え助成制度の設定と運用」日本建築学会技術報告集, 第 59 号, pp. 383-387, 2019. 2

国際学会論文（査読付も含む）

1. T. Aiyoshizawa, K. Uruma, K. Konishi, T. Takahashi, T. Furukawa, Fast Approach for Image Colorization Using Locally Linear Embedding, Proc. RISP Int. Workshop on Nonlinear, Circuits, Commun. Signal Process., 2019.
2. T. Takahashi, K. Konishi, K. Uruma, T. Furukawa, Multi resolution block Hankel matrices rank minimization based image inpainting, Proc. RISP Int. Workshop on Nonlinear, Circuits, Commun. Signal Process., 2019.

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、久田嘉章、柳田悠太郎、大規模ターミナル駅周辺地域における複合災害への対応支援システムの開発、第 15 回 日本地震工学シンポジウム論文集、pp. 2228-2236、2018
2. 金山直司、村上正浩、田村雅紀、新藤淳、北郷陽子、新宿駅周辺地域における大規模震災対応へのドローン実装の取組み、第 15 回 日本地震工学シンポジウム論文集、pp. 3072-3081、2018
3. 新藤淳、村上正浩、廣井悠、市居嗣之、宮田桜子、黒目剛、虎谷洗、新宿駅周辺地域における帰宅困難者一時滞在施設開設支援手法の開発、第 15 回 日本地震工学シンポジウム論文集、pp. 3065-3071、2018
4. 藤賀雅人「2021 年以降を見据えた木造密集市街地のストック更新と共有空間の包括的評価手法の検討」Urban Study, Vol.66, pp. 37-50, 2018. 6
5. 保谷 航大、福田 一帆、VR による火災避難体験時の行動特性と精神負荷ストレスに関する研究、映像情報メディア学会技術報告, 43(8), pp. 17-20, 2019

招待講演

1. 村上正浩、首都直下地震に備える、日本認知症ケア学会第 5 回市民公開講座、2019 年 3 月 16 日
2. 村上正浩、都市再生安全確保計画の具体化に向けて一都心地域のエリア防災対策一、都市再生安全確保計画具体化検討会、2019 年 1 月 21 日
3. 村上正浩、大地震への備え、平成 30 年度都立南多摩中等教育学校防災訓練防災講話、2018 年 12 月 20 日
4. 村上正浩、久田嘉章、柳田悠太郎、大規模ターミナル駅周辺地域における複合災害への対応支援システムの開発、第 15 回 日本地震工学シンポジウム、2018 年 12 月 8 日
5. 村上正浩、新宿駅周辺地域のエリア防災の取組事例、危機管理士 1 級講座、2018 年 11 月 23 日
6. 村上正浩、避難所開設キットの役割、町田市自主防災リーダー講習会、2018 年 11 月 10 日
7. 村上正浩、新宿駅周辺地域のエリア防災対策、新宿副都心の将来像を考える勉強会、2018 年 10 月 29 日
8. 村上正浩、災害時の避難所の実態と地域の役割、八王子市中野町甲和会防災訓練防災講演、2018 年 10

月 28 日

9. 村上正浩、ターミナル駅周辺地域のエリア防災対策、千里中央地区防災勉強会、2018 年 9 月 27 日
10. 村上正浩、避難所体験、目黒中央中学校防災訓練、2018 年 7 月 20 日
11. 村上正浩、首都直下地震に備えて、平成 30 年度新宿区民生委員・児童委員協議会総会、2018 年 4 月 27 日
12. 藤賀雅人：新宿区市民フォーラム「都市型災害の被害と危機対応」2018.12

#### 口頭発表

1. 新藤淳、村上正浩、廣井悠、市居嗣之、宮田桜子、黒目剛、虎谷洗、新宿駅周辺地域における帰宅困難者一時滞在施設開設支援手法の開発、第 15 回 日本地震工学シンポジウム、2018
2. 金山直司、村上正浩、田村雅紀、新藤淳、北郷陽子、新宿駅周辺地域における大規模震災対応へのドローン実装の取組み、第 15 回 日本地震工学シンポジウム、2018
3. 安藤繁、村上正浩、山下哲郎、道路距離計算を用いた災害時における来院重傷者数の推計に関する研究、2018 年度日本建築学会大会（東北）、2018 年 9 月 4 日
4. 新藤淳、村上正浩、金山直司、新宿駅周辺地域への実装を見据えた災害対応へのドローン活用に関する実証実験その 3 2017 年度のドローンを用いた情報収集・発信実証実験の概要、2018 年度日本建築学会大会（東北）、2018 年 9 月 5 日
5. 村上正浩、田村雅紀、新藤 淳、金山直司、新宿駅周辺地域への実装を見据えた災害対応へのドローン活用に関する検証実験その 4 高層ビルの外壁損傷調査へのドローンの活用、2018 年度日本建築学会大会（東北）、2018 年 9 月 5 日
6. 金山直司、村上正浩、新藤淳、新宿駅周辺地域への実装を見据えた災害対応へのドローン活用に関する実証実験その 5 ドローンの社会への実装のための安全対策のポイント、2018 年度日本建築学会大会（東北）、2018 年 9 月 5 日
7. 土屋瑛博、村上正浩、地域特性を踏まえた避難所運営の課題抽出と解決方策の提案 - 新宿区内の 51 避難所を対象として、2018 年度日本建築学会大会（東北）、2018 年 9 月 5 日
8. 村上正浩、田村雅紀、新藤淳、金山直司、新宿駅周辺地域における大規模震災対応へのドローン実装の取組み、社会貢献学会第 9 回大会、2018 年 12 月 15 日
9. 土屋瑛博、村上正浩、都立南多摩中等教育学校における一時滞在施設運営マニュアルの検討、社会貢献学会第 9 回大会、2018 年 12 月 15 日
10. 平野広大、藤賀雅人「東京都区部における空き家対策支援事業の設定状況に関する研究」日本建築学会関東支部研究発表会、2019.3
11. 保谷航大、福田一帆、VR による火災避難体験時の行動特性と精神負荷ストレスに関する研究、映像情報メディア学会ヒューマンインフォメーション研究会立体映像技術研究会共催研究会、2019 年 3 月

#### 外部資金の獲得

1. 村上正浩、文部科学省・科研費・基盤 C/2017～2020 年度/650 千円、大規模ターミナル駅周辺地域の都市型オールハザード対応の標準化モデルの開発（研究代表）
2. 村上正浩、総務省消防庁・平成 30 年度消防防災科学技術研究推進制度/2017～2019 年度/200 千円、有線 Drone を利用した移動型火のみやぐらと G 空間システム連携の研究（研究支援）
3. 村上正浩、総務省消防庁・平成 30 年度消防防災科学技術研究推進制度/2017～2018 年度/屋内空間での小型無人航空機（ドローン）の活用に関する研究（研究支援）
4. 村上正浩、新宿区・受託研究/2018 年度/4,500 千円/新宿駅周辺防災まちづくり事業（研究代表）
5. 村上正浩、新宿区・受託研究/2018 年度/7,752 千円/避難所開設キットの製作及び地域防災ワークショップ等企画運営（研究代表）
6. 村上正浩、科学技術振興機構・SIP/2014～2018 年度/11,582 千円/巨大都市・大規模ターミナル駅周辺地域における複合災害への対応支援アプリケーションの開発（研究分担）
7. 福田一帆、文部科学省・科研費・基盤 B 一般/平成 29～32 年度/4,680 千円、実環境における物体色知覚および照明光推定機構の心理物理実験と分光計測による解明（研究代表者）
8. 福田一帆、文部科学省・科研費・若手 B 一般/平成 23～24 年度/4,420 千円、三次元空間における物体表面の色知覚メカニズムの解明（研究代表者）
9. 雨車和憲、文部科学省・科研費・研究活動スタート支援/平成 29-30 年度/2470 千円、グラフ信号処

理およびカラリゼーション符号化に基づく多チャンネル動画像符号化の開発（研究代表者）

知的財産権の取得（国内特許、国外特許、実用新案、著作権など）

1. 工学院大学（水野修・久田嘉章、村上正浩）、工学院 2017 型災害対応支援アプリケーションシステム（登録番号：P 型 10863 号-1）、2018 年 6 月 21 日

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、藤賀雅人、SengakuNet に、新宿駅周辺の防災イベント「防災 WEEK」に関する記事が掲載、2019 年 1 月 24 日
2. 村上正浩、J:COM「デイリーニュース」（12/21 放送）で村上研究室（まちづくり学科）がデザインした防災訓練の様子を放送、2018 年 12 月 20 日
3. 村上正浩、毎日新聞に、建築学部の学生が中高生の防災活動をユニークにデザインについて掲載、2018 年 12 月 17 日
4. 村上正浩、ニッキンに、ドローンを活用した超高層ビル街複数拠点での災害対応実証実験について掲載、2018 年 11 月 30 日
5. 村上正浩、保険毎日新聞に、ドローンを活用した超高層ビル街複数拠点での災害対応実証実験について掲載、2018 年 11 月 28 日
6. 村上正浩、日刊工業新聞にドローンを使った新宿での避難誘導の様子が掲載、2018 年 11 月 16 日
7. 村上正浩、ドローンを使った防災訓練の様子が、テレビ朝日『スーパーJ チャンネル』で放送、2018 年 11 月 15 日
8. 村上正浩、日本経済新聞に、ドローンを活用した超高層ビル街複数拠点での災害対応実証実験について掲載、2018 年 11 月 14 日
9. 村上正浩、マピオンニュースに、ドローンを活用した超高層ビル街複数拠点での災害対応実証実験について掲載、2018 年 11 月 9 日
10. 村上正浩、BizHack に、ドローンを活用した超高層ビル街複数拠点での災害対応実証実験について掲載、2018 年 11 月 9 日
11. 村上正浩、ほか、Zakzak に、工学院大学が災害時に通信等を担う車両を展示する『防災 WEEK2018』開催について掲載、2018 年 11 月 6 日
12. 村上正浩、ほか、Zakzak に、とれまがニュースに、工学院大学が災害時に通信等を担う車両を展示する『防災 WEEK2018』開催について掲載、2018 年 11 月 6 日
13. 村上正浩、ほか、BizHack に、工学院大学が災害時に通信等を担う車両を展示する『防災 WEEK2018』開催について掲載、2018 年 11 月 6 日
14. 村上正浩、避難所開設キット、第 1 回全国大会シンポジウム「災害関連死ゼロフォーラム」、2018 年 10 月 15 日
15. 村上正浩、帰宅困難者一時滞在施設開設キット、第 2 回災害時の住環境・生活環境 EXPO、2018 年 10 月 15 日～16 日
16. 村上正浩、ほか、「エリア防災+新宿」巨大都市・複合災害に対するエリア防災活動支援技術、イノベーション・ジャパン 2018、2018 年 8 月 30～31 日
17. 村上正浩、ほか、日経産業新聞に私立大学研究ブランディング事業の一環として取り組む活動について掲載、日経産業新聞朝刊 13 面、2018 年 8 月 31 日
18. 村上正浩、ほか、毎日新聞@大学に 8 月 30、31 日に開催されるイノベーション・ジャパン 2018 への出展について掲載、2018 年 8 月 24 日
19. 村上正浩、ほか、BizHack に 8 月 30、31 日に開催されるイノベーション・ジャパン 2018 への出展について掲載、2018 年 8 月 22 日
20. 村上正浩、ほか、とれまがニュースに 8 月 30、31 日に開催されるイノベーション・ジャパン 2018 への出展について掲載、2018 年 8 月 22 日
21. 村上正浩、ほか、エキサイト に 8 月 30、31 日に開催されるイノベーション・ジャパン 2018 への出展について掲載、2018 年 8 月 22 日
22. 村上正浩、ほか、NC ネットワークに 8 月 30、31 日に開催されるイノベーション・ジャパン 2018 への出展について掲載、2018 年 8 月 22 日
23. 村上正浩、ほか、朝日新聞 web に 8 月 30、31 日に開催されるイノベーション・ジャパン 2018 への出展について掲載、2018 年 8 月 22 日
24. 村上正浩、ほか、Quick Order に 8 月 30、31 日に開催されるイノベーション・ジャパン 2018 への出展について掲載、2018 年 8 月 22 日
25. 村上正浩、ほか、Zakzak に 8 月 30、31 日に開催されるイノベーション・ジャパン 2018 への出展につ

- いて掲載、2018年8月22日
26. 村上正浩、ほか、SEOTOOLS ニュースに8月30、31日に開催されるイノベーション・ジャパン2018への出展について掲載、2018年8月22日
  27. 村上正浩、ほか、SankeiBizに8月30、31日に開催されるイノベーション・ジャパン2018への出展について掲載、2018年8月22日
  28. 村上正浩、ほか、Sanspo.comに8月30、31日に開催されるイノベーション・ジャパン2018への出展について掲載、2018年8月22日
  29. 村上正浩、ほか、@nifty ビジネスに8月30、31日に開催されるイノベーション・ジャパン2018への出展について掲載、2018年8月22日
  30. 村上正浩、ほか、NPlusに8月30、31日に開催されるイノベーション・ジャパン2018への出展について掲載、2018年8月22日
  31. 村上正浩、ほか、@Pressに8月30、31日に開催されるイノベーション・ジャパン2018への出展について掲載、2018年8月22日
  32. 村上正浩、ほか、Mapionに8月30、31日に開催されるイノベーション・ジャパン2018への出展について掲載、2018年8月22日
  33. 村上正浩、ほか、Biglobe ニュースに8月30、31日に開催されるイノベーション・ジャパン2018への出展について掲載、2018年8月22日
  34. 村上正浩、ほか、Infoseek ニュースに8月30、31日に開催されるイノベーション・ジャパン2018への出展について掲載、2018年8月22日
  35. 村上正浩、ほか、徳島新聞 web に8月30、31日に開催されるイノベーション・ジャパン2018への出展について掲載、2018年8月22日
  36. 村上正浩、ほか、財經新聞 web に8月30、31日に開催されるイノベーション・ジャパン2018への出展について掲載、2018年8月22日
  37. 村上正浩、ほか、財經新聞 web に8月30、31日に開催されるイノベーション・ジャパン2018への出展について掲載、2018年8月22日

**輩出した博士・修士・学士（博士は氏名・表題・取得年月日、その他は人数のみ）**

修士1名、  
学士20名

**その他（報告会・シンポジウムの主催・共催など）**

1. 村上正浩、一時滞在施設開設訓練（新宿駅周辺防災対策協議会）、2019年1月31日
2. 村上正浩、藤賀雅人、新宿防災ウィーク2018、2018年11月13日～21日
3. 村上正浩、平成30年度新宿駅周辺防災対策協議会西口地域防災訓練、2018年11月15日
4. 村上正浩、ほか、平成30年度新宿駅周辺防災対策協議会セミナー・講習会、2018年7月～2019年1月（セミナー3回、講習会6回）
5. 村上正浩、首都圏での大地震時にどうなるのか？—超高層はどう揺れ、ブラックアウトはどう起きるか—、第23回震災対策技術展（横浜）関連シンポジウム、2019年2月7日
6. 村上正浩、避難所開設キット導入のためのワークショップ（新宿区柏木地区・避難所運営管理協議会）、2019年1月28日
7. 村上正浩、女性をはじめ配慮を要する方の視点でのワークショップ（新宿区榎地区）、2019年1月25日
8. 村上正浩、女性をはじめ配慮を要する方の視点でのワークショップ（新宿区四谷地区）、2019年1月17日
9. 村上正浩、HUG（避難所運営ゲーム）（新宿区榎地区）、2018年12月12日
10. 村上正浩、横浜駅西口エリア震災ワークショップ（第2回）（相鉄ビルマネジメント本社第1会議室）、2018年12月12日
11. 村上正浩、HUG（避難所運営ゲーム）（新宿区四谷地区）、2018年12月3日
12. 村上正浩、町田市自主防災組織リーダー講習会、2018年11月10日
13. 村上正浩、女性をはじめ配慮を要する方の視点でのワークショップ（新宿区四谷地区）、2018年11月8日
14. 村上正浩、女性をはじめ配慮を要する方の視点でのワークショップ（新宿区榎地区）、2018年11月5日
15. 村上正浩、避難所開設キットを活用した避難所開設訓練（新宿区牛込第一中学校避難所運営管理協議会）、2018年9月22日

16. 村上正浩、避難所開設キットを活用した避難所開設訓練（新宿区西新宿小学校避難所運営管理協議会）、2018年9月2日
17. 村上正浩、女性をはじめ配慮を要する方の視点でのワークショップ（新宿区四谷地区）、2018年7月24日
18. 村上正浩、横浜駅西口エリア震災ワークショップ（第1回）（相鉄ビルマネジメント本社第1会議室）、2018年7月18日
19. 村上正浩、女性をはじめ配慮を要する方の視点でのワークショップ（新宿区榎地区）、2018年7月23日
20. 村上正浩、避難所開設キットを活用した避難所開設訓練（新宿区落合第二小学校避難所運営管理協議会）、2018年7月22日
21. 村上正浩、避難所体験教室、目黒中央中学校、2018年7月20日
22. 村上正浩、避難所開設キット導入のためのワークショップ（新宿区戸塚地区・避難所運営管理協議会）、2018年6月25日
23. 村上正浩、避難所開設キットを活用した避難所開設訓練（新宿区津久戸小学校避難所運営管理協議会）、2018年6月23日

文部科学省 私立大学研究ブランディング事業 (平成 30 年度)  
工学院大学総合研究所 都市減災研究センター (UDM) 業績報告書

テーマ 2 山下哲郎、田村雅紀、西川豊宏、久田嘉章 (建築学部)

著書

1. 大崎純、竹内徹、山下哲郎、シェル・空間構造の基礎理論とデザイン、京都大学出版会、2019年2月
2. T. Kashima, Y. Hisada, S2HM practice and lessons learned from the 2011 Tohoku Earthquake in Japan, Seismic Structural Health Monitoring, Springer, 2019.3 (掲載決定)

査読付き論文

1. 中西真子、久田嘉章、山下哲郎、笠井 和彦、長周期・長時間地震動や活断層近傍の強震動など極大地震動を考慮した都心に建つ既存高層建築の制振補強に関する研究、日本地震工学会論文集、18巻2号、pp.62-81、2018.5
2. 伊藤賢治、山下哲郎、渡辺俊也、置屋根支承部の繰返しせん断加力実験と耐力評価、日本建築学会構造系論文集、Vol. 84 No. 759 2019年5月 (掲載決定)
3. 森田明、本間慶一、渡邊康弘、中村美咲、山下哲郎、大スパン架構の柱脚に用いるプレストレストゴム支承の剛性評価、日本建築学会構造系論文集、Vol. 84 No. 757 pp. 393-402, 2019年3月
4. 石川浩一郎、井藤健徳、山下哲郎、大久保昌治、水平地震動を受ける二層立体トラス壁の動的崩壊機構の制御、日本建築学会構造系論文集、Vol. 83 No. 753 pp. 1655-1663, 2018年11月
5. 宮澤良丞、山下哲郎、石川浩一郎、2層斜交立体トラス耐震壁の繰返しせん断加力実験、日本建築学会技術報告集、No. 58 pp. 999-1004, 2018年10月
6. 岩澤瞭、山下哲郎、大スパンH形鋼ラーメンの非弾性地震応答による累積たわみに関する研究、日本建築学会構造系論文集、Vol. 83 No. 748 pp. 819-826, 2018年6月
7. 田村雅紀、荒川京平、震災廃木材を利用した木片コンクリートの基礎的物性、日本コンクリート工学会年次大会論文集、Vol.40, No.1, CD-ROM, 2018年7月
8. 矢ヶ崎啓介、西川豊宏：数値計算に基づくスプリンクラ設備の耐震性能評価 建築の非構造部材・建築設備の耐震補強と改修に関する研究その 3、日本建築学会技術報告集 第 25 巻 第 59 号、pp249~253 2019.2
9. Y. Hisada, T. Osaragi, M. Murakami, O. Mizuno, W. Kobayashi, S. Yasuda, M. Ohara, T. Yamashita, K. Takada, T. Suematsu, J. Shindo, T. Oki, and A. Kakizaki, Disaster Response and Mitigation Support Technology for All-Hazards in Tokyo Metropolitan Area, Journal of Disaster Research, Vol.14, No.2, pp.1-18, 2019.3 (掲載決定)
10. 田中信也、金田惇平、引間和人、久田嘉章、地表地震断層近傍における永久変位を含む長周期成分の地震動評価のための震源モデルの設定方法、日本建築学会構造系論文集、752号、pp.1525-1535、2018.10

国際学会論文 (査読付も含む)

1. Shunya WATANABE, Tetsuo YAMASHITA, Earthquake Response Analysis of Large Span Facilities Considering Restoring Force Characteristics of Roof Bearings, Proceedings of 12th Asian Pacific Conference on Shell & Spatial Structures (APCS2018) (in USB), pp. 508-517, 2018.10
2. Tetsuo YAMASHITA, Ryo IWASAWA, Accumulated Downward Deformation of Large-Span Steel Moment Frames Due to Inelastic Earthquake Response, Proceedings of 12th Asian Pacific Conference on Shell & Spatial Structures (APCS2018) (in USB), pp. 298-309, 2018.10
3. Etsuko SASAKI, Ryosuke MIYAZAWA, Tetsuo YAMASHITA, Koichiro ISHIKAWA, Cyclic Shear Tests of Steel Double Layer Truss Walls, Proceedings of 12th Asian Pacific Conference on Shell & Spatial Structures (APCS2018) (in USB), pp. 266-276, 2018.10
4. Kenji ITO, Tetsuo YAMASHITA, Cyclic shear tests of conventional bearings supporting long span steel roofs, Abbreviated proceedings, IASS2018 Boston, July16-20, "Creativity in structural design", No.141 (Full-paper in USB) p.108, 2018.7
5. Yudai ARAI, Tetsuo YAMASHITA, Seismic response evaluation of large-span cantilevered roofs considering dynamic interaction with mainstructures, Abbreviated proceedings, IASS2018 Boston, July16-20, "Creativity in structural design", No.223 (Full-paper in USB) p.113, 2018.7
6. Masaki Tamura, Michihiko Abel, Tatsuya Saito, Sustainable construction by utilizing building



resource stocks to be considered resilience situation ,The International Federation for Structural Concrete 5th International fib Congress October 2018

7. Misako Hanza, Masaki Tamura, Kentaro Oka, and Osamu Goto, Deterioration Evaluation of the Stucco Lath Ceilings in the Historic Building in Japan, 17th International Symposium on Advanced Technology (ISAT-17) Engineering Innovation for Sustainable Future November 13 - 15, 2018 Danang, Vietnam
8. Keita SHIMOJI, Masaki Tamura, Toshio NARA, Shozo SHIMABUKURO, Masahiro NAITOH, The control of discoloration of wood materials by using clear paints of acrylic silicon, 17th International Symposium on Advanced Technology (ISAT-17) Engineering Innovation for Sustainable Future November 13 - 15, 2018 Danang, Vietnam
9. Erika Futami, Masaki Tamura, Toward Long Time Use of Stone-based Wall Panel in High-rise Building between Past and Future in Japan, 17th International Symposium on Advanced Technology (ISAT-17) Engineering Innovation for Sustainable Future November 13 - 15, 2018 Danang, Vietnam
10. Yuhei Oppata, Masaki Tamura, Inspection of Outer Wall Tiles in High-rise Building by Measuring Impact Response Value 17th International Symposium on Advanced Technology (ISAT-17) Engineering Innovation for Sustainable Future November 13 - 15, 2018 Danang, Vietnam
11. K. Yagasaki, T.Nishikawa, Self-sufficiency-rate Prediction of Water Supplies Post Occurrence of Large-scale Earthquakes, CIB W062 Symposium2018

#### 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, 支承部の特性と設計法, 空間骨組構造の地震被害と耐震設計の新しい展開、2018 年度日本建築学会大会(東北)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.18-25, 2018年9月
2. 山下哲郎, 3. 仮定断面の決定法, 4. 設計例, ラチスシェル屋根構造の耐震設計セミナー 講義編, pp.3-1-3-13, 4-1-4-18, 2018年6月20日
3. 大崎純、竹内徹、山下哲郎, ラチスシェル屋根構造の耐震設計セミナー 実践編 資料集, 2018年6月27日
4. 田村雅紀, ドラマをつくる建築仕上げ2019, 建築仕上技術, Vol.44, No.522, pp.40-412019.1
5. 田村雅紀、金巻とも子、石川隆司、鈴木光、左官材料を中心とした仕上げ壁の物性評価と機能展開、その1 試験体の作製と住環境機能の展開、月刊リフォーム2018年11月号, pp67-70, 2018.11
6. 田村雅紀, 建材への道のり, 第5回, 瓦編, 建材試験情報 Vol.55, pp.38-40, 2018.3
7. 田村雅紀, 2020年に向けて一左官の課題と可能性, 建材フォーラム, No.500, pp.20-41, 2018.4.
8. 田村雅紀, 尾林岳, 外壁タイル補修工事の実態調査を踏まえた弾性接着剤の補修実験と損害・工事費用リスクの調査, 月刊リフォーム, pp.84-87, 2018.4
9. 久田嘉章、大地震の際の「逃げる必要のない」安心で丈夫な家、Lifestyle MEMBERS、渡辺パイプ、pp.15-20、2019.3(掲載決定)
10. 久田嘉章、首都直下地震と建物対策～逃げる必要のない建物・まちを目指す～、地域防災、2019-2/No.24, pp.4-7、2019.2
11. 久田嘉章、大学と連携した新宿周辺地域における防災・減災活動、建築防災、490号, pp.1-9、2018.11
12. 久田嘉章、首都直下地震による住まい・高層建物の想定被害、日本地震工学会誌、35号, pp.16-19、2018.10
13. 久田嘉章、地震被害を踏まえた新知識の規基準へのフィードバック、2018年度日本建築学会大会[東北]構造部門 研究協議会資料「建築構造基準体系の現状と国際動向」、pp.28-37、2018.9
14. 久田嘉章、ゴジラ上陸! その時、あなたは どうしますか? ～ブラック・スワンとオールハザードアプローチ～、経営情報誌「オムニ・マネジメント」、2018年4月号, pp.8-13、2018.4
15. 久田嘉章、～震源近傍の強震動～指向性パルスとフリリングステップ～、シリーズ「新・強震動地震学基礎講座(第15回)」、日本地震学会ニュースレター、70/6, pp.18-21、2018.3
- 16.

#### 招待講演

1. 山下哲郎, 支承部の特性と設計法, 空間骨組構造の地震被害と耐震設計の新しい展開、2018 年度日本建築学会大会(東北)構造部門(シェル・空間構造)パネルディスカッション, 2018年9月
2. 山下哲郎, 3. 仮定断面の決定法, 4. 設計例, ラチスシェル屋根構造の耐震設計セミナー 講義編, 2018年6月20日
3. 山下哲郎, 解析モデルの説明、地震応答解析, ラチスシェル屋根構造の耐震設計セミナー 実践編, 2018年6月27日

4. 久田嘉章、巨大都市・中心市街地で想定される震災と新宿駅周辺地域における取り組み、シンポジウム「現代都市の複合システムにおける性能設計と耐震性能評価」、日本地震工学会、工学院大学、2019.3.4
5. 久田嘉章、熊本地震での活断層近傍の強震動と建物被害、および、地域連携によるエリア防災、三井住友建設、2019.2.19
6. 久田嘉章、防災セミナー 複合災害に備える、一般社団法人 東京建築士会 防災委員会、工学院大学新宿校舎、2019.2.15
7. 久田嘉章、地震・水害など複合災害と建物・まちの対策、「震災対策技術展」横浜 ～自然災害対策技術展～、横浜国際平和会議場（パシフィコ横浜）、2019.2.8
8. 久田嘉章、活断層近傍の強震動特性と、地震・水害等による複合災害と建物・まちの対策、第147回工学地震学・地震工学談話会、東工大・大岡山キャンパス、2019.1.12
9. 久田嘉章、地震・水害等の複合災害への対応、防災推進国民大会2018、日本学術会議公開シンポジウム/第6回防災学術連携シンポジウム、東京ビックサイト、2018.10.13
10. 久田嘉章、地震調査研究推進本部の調査研究成果の活用事例、および、今後10年間に期待すること（建築分野より）、地震調査研究推進本部 政策委員会、第3期総合的かつ基本的な施策に関する専門委員会、文部科学省、2018.10.24
11. 久田嘉章、地震・水害など複合災害に立ち向かう備え、第20期自治政策講座 in 東京Ⅱ、こくほ21、2018.10.24
12. 久田嘉章、最近の活断層や海溝型巨大地震の強震動特性と設計用地震動に適用する上での注意点、平成29年度「高圧ガス設備等耐震設計講座第4回」、CIVI研修センター日本橋、2018.10.17
13. 「想定外地震動」を構造設計者はどう考えるべきか、技術交流セミナー（ユニオンシステム株式会社主催）、新宿ファーストウェスト、2018.9.27
14. 久田嘉章、これまでの評価や観測から理解できる地震動の基礎と長周期長時間地震動や長周期パルスなど「想定外地震動」を構造設計者はどう考えるべきか、技術交流セミナー（ユニオンシステム株式会社主催）、新宿ファーストウェスト、2018.9.27
15. 久田嘉章、地震被害を踏まえた新知識の規基準へのフィードバック、日本建築学会大会（東北）構造部門 - 研究協議会「建築構造規準体系の現状と国際動向」、2018.9.4
16. 久田嘉章、断層近傍の強震動特性と地表地震断層近傍の建物被害と対策、及び、想定外時の危機管理、原子力規制庁 勉強会、六本木ファーストビル、2018.7.31
17. 久田嘉章、地震動シミュレーション・ハザード・リスク評価とその活用、ワークショップ：工学的利活用から見た強震動評価の現状と課題—今後10年を見据えて—、防災科学技術研究所東京会議室、2018.7.20
18. 久田嘉章、オールハザードアプローチ～ブラック・スワンとオールハザードアプローチ～、新宿駅周辺防災対策協議会、新宿区役所本庁舎5階大会議室、2018.5.23
19. 久田嘉章、地表地震断層近傍の建物被害、日本原子力学会2018特別国際シンポジウム、東京大学弥生講堂、2018.5.31
20. 久田嘉章、長周期・長時間地震動と長周期パルスに対する超高層ビルの対策、第23回R&R建築再生展特別セミナー、東京国際展示場、2018.5.30

#### 口頭発表

1. 伊藤賢治、渡辺俊也、山下哲郎、せん断が支配的な置屋根体育館支承部の復元力特性に関する研究 その2 実験結果の分析、2018年度日本建築学会大会（東北）（学術講演梗概集 構造Ⅰ pp.877-878）、2018年9月
2. 渡辺俊也、伊藤賢治、山下哲郎、せん断が支配的な置屋根体育館支承部の復元力特性に関する研究 その1 繰り返し加力実験の概要、2018年度日本建築学会大会（東北）（学術講演梗概集 構造Ⅰ pp.875-876）、2018年9月
3. 岡田淳史、山下哲郎、弾性支承を用いた鉄骨置屋根体育館支承部のせん断応力に関する研究 その3 2質点モデルの作成及び簡易応答評価、2018年度日本建築学会大会（東北）（学術講演梗概集 構造Ⅰ pp.869-870）、2018年9月
4. 稲永匠悟、寺澤友貴、松井良太、竹内徹、実石明、小西克尚、山田哲、山下哲郎、石原直、長谷川隆、立体トラス屋根を有する鉄骨置屋根体育館の地震被害分析、2018年度日本建築学会大会（東北）（学術講演梗概集 構造Ⅰ pp.867-868）、2018年9月
5. 畠山尚子、年縄巧、山下哲郎、鉄骨空間構造物の二次部材の地震応答に関する研究、2018年度日本建築学会大会（東北）（学術講演梗概集 構造Ⅰ pp.865-866）、2018年9月

6. 荒井雄大, 山下哲郎, 建物の振動特性を考慮した大規模庇の地震応答評価, 2018 年度日本建築学会大会 (東北) (学術講演梗概集 構造 I pp.859-860), 2018 年 9 月
7. 井藤健徳, 石川浩一郎, 山下哲郎, 水平地震動を受ける二層立体トラス壁の動的崩壊機構の制御, 2018 年度日本建築学会大会 (東北) (学術講演梗概集 構造 I pp.827-828), 2018 年 9 月
8. 田村雅紀, 金巻とも子, 石川隆司, 鈴木光, 左官材料を中心とした仕上げ壁の物性評価と機能展開, その 1 試験体の作製と住環境機能の展開, 2018 年度 日本建築仕上学会研究発表論文集, pp.101-105, 2018.10
9. 田村雅紀, 金巻とも子, 牧野萌子, 石川隆司, 左官材料を中心とした仕上げ壁の物性評価と機能展開, その 4 内装左官材の調湿性能測定と比較, 2018 年度 日本建築仕上学会研究発表論文集, pp.101-105, 梅本真徳, 田村雅紀, 壁土の風土から見る色彩特性と地域特性の評価, 2018 年度 日本建築仕上学会研究発表論文集, pp.173-176, 2018.10
10. 金巻とも子, 田村雅紀, 中田倫, 石川隆司, 左官材料を中心とした仕上げ壁の物性評価と機能展開, その 2 内装左官仕上げの VOC 除去特性の比較, 2018 年度 日本建築仕上学会研究発表論文集, pp.101-105, 2018.10
11. 金巻とも子, 田村雅紀, 石川隆司, 中田倫, 左官材料を中心とした仕上げ壁の物性評価と機能展開, その 3 内装左官仕上げの臭い除去特性の比較, 2018 年度 日本建築仕上学会研究発表論文集, pp.101-105, 2018.10
12. 乙幡祐平, 田村雅紀, 築 31 年を経過した超高層ビルタイル外壁の打診調査と弾性波速度比による剥離性状の評価, 2018 年度 日本建築仕上学会研究発表論文集, pp.169-172, 2018.10
13. 半座三紗子, 田村雅紀, 岡健太郎, 後藤 治, 施工後 100 年を経過した遺産的建造物におけるラス漆喰天井の劣化状態の評価, 2018 年度 日本建築仕上学会研究発表論文集, pp.133-136, 2018.10
14. 秦賢治, 北垣亮馬, 橘高義典, 田村雅紀, 堀竹市, 渡辺清彦, ニューヨーク市および台北市の外壁落下リスク対策の制度比較, 2018 年度日本建築学会学術講演梗概集, CD-ROM, 2018.9
15. 土田健太, 田村雅紀, 地域特性を踏まえた地産資源による建築資本改良, その 4 未利用資源モルタルの物性評価, 2018 年度日本建築学会学術講演梗概集, CD-ROM, 2018.9
16. 田村雅紀, 後藤治, 小林直弘, 小清水基貴, 石郷岡将平, 小松原佑太, 村田眞志, 池亀主則, 堀田博文, 堀内智, 松山賢, 延焼中の茅葺き屋根に対する高粘度液体の燃焼抑制効果 (第 3 報 熱重量示差熱分析 TG-DTA), 平成 30 年度日本火災学会研究発表会梗概集, pp.322-323, 2018.5
17. 石郷岡将平, 小松原佑太, 村田眞志, 池亀主則, 堀田博文, 堀内智, 後藤治, 田村雅紀, 小林直弘, 松山賢, 延焼中の茅葺き屋根に対する高粘度液体の燃焼抑制効果 (第 2 報), 平成 30 年度日本火災学会研究発表会梗概集, pp.320-321, 2018.5
18. 小松原佑太, 石郷岡将平, 村田眞志, 池亀主則, 堀田博文, 堀内智, 後藤治, 田村雅紀, 小林直弘, 松山賢, 高粘度液体の付着による茅葺き屋根の変色等に関する調査, 平成 30 年度日本火災学会研究発表会梗概集, pp.324-325, 2018.5
19. 櫻井 瞭, 田村雅紀, 屋根葺き仕様を変えた各種こけら葺き屋根の長期暴露性状の評価, 2018 年度 日本建築学会関東支部研究報告集, CD-ROM, 2019.3
20. 下地啓太, 田村雅紀, 奈良利男, 島袋省三, 内藤真弘木質建材におけるアクリルシリコン系透明保護塗材を用いた紫外線による退色劣化防止の検証, 2018 年度 日本建築学会関東支部研究報告集, CD-ROM, 2019.3
21. 土田健太, 田村雅紀, 漆喰仕上げ土壁建築における漆喰面剥離現象の検証と簡易補修技術の提案, 2018 年度 日本建築学会関東支部研究報告集, CD-ROM, 2019.3
22. 栗原良輔, 田村雅紀, 窯業系サイディング廃材を用いた再生仕上げ建材の開発, 2018 年度 日本建築学会関東支部研究報告集, CD-ROM, 2019.3
23. 川村順平, 田村雅紀, 村上正浩, 金山直司, 新藤 敦, 都市部の高層ビル街区におけるドローン外壁劣化度調査と評価システム, 2018 年度 日本建築学会関東支部研究報告集, CD-ROM, 2019.3
24. 相山明大, 鈴木秋人, 田村雅紀, 岡田幸三, 堀 幸作, 高本修一, 繊維シートを用いた湿式外断熱タイル張り工法に関する研究 その 2 タイル断熱材間の引張接着性評価, 2018 年度 日本建築学会関東支部研究報告集, CD-ROM, 2019.3
25. 鈴木秋人, 相山明大, 田村雅紀, 岡田幸三, 堀 幸作, 高本修一, 繊維シートを用いた湿式外断熱タイル張り工法に関する研究 その 1 繊維シートとビスによる外断熱部の躯体面への付着抵抗性, 2018 年度 日本建築学会関東支部研究報告集, CD-ROM, 2019.3

26. 梅本真穂、田村雅紀、後藤 治, 四国中央部・三波川変成帯の地質構成が地産壁土に及ぼす 物質的影響による伝統左官技法の継承, 2018 年度 日本建築学会関東支部研究報告集, CD-ROM, 2019. 3
27. 西澤元希、田村雅紀、鈴木 光、金巻とも子, 左官材料を中心とした仕上げ壁の機能性評価その 6 漆喰仕上げ壁の長期耐用に影響する不燃性と意匠性の評価, 2018 年度 日本建築学会関東支部研究報告集, CD-ROM, 2019. 3
28. 矢ヶ崎啓介、西川豊宏、大橋一正、渡辺荘児、田口茂敏、菅野晃平：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 12) 超高層建築の給排水衛生設備の耐震性能について, 日本建築学会大会学術講演梗概集(仙台), 2018.9
29. 菅野晃平、西川豊宏、大橋一正、渡辺荘児、田口茂敏、矢ヶ崎啓介：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 13) 水槽を有する超高層建築における地震時の水賦存量の予測, 日本建築学会大会学術講演梗概集(仙台), 2018.9
30. 田口茂敏、西川豊宏、大橋一正、渡辺荘児、矢ヶ崎啓介、菅野晃平：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 14) 水槽を有する超高層建築における地震時の給水自給率について, 日本建築学会大会学術講演梗概集(仙台), 2018.9
31. 渡辺荘児、西川豊宏、大橋一正、田口茂敏、矢ヶ崎啓介、菅野晃平：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 15) 実使用量に基づく超高層建築の給水自給率予測と非常災害用井戸による対策事例, 日本建築学会大会学術講演梗概集(仙台), 2018.9
32. 矢ヶ崎啓介、西川豊宏、大橋一正：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 8 報) 超高層建築における給水自給率について, 空気調和・衛生工学会論文集, 2018.9
33. 村上正浩・久田嘉章・柳田悠太郎, 大規模ターミナル駅周辺地域における複合災害への対応支援システムの開発, 第 15 回日本地震工学シンポジウム, 2018 年 12 月 8 日
34. 中西真子・久田嘉章, 既存超高層建築の費用対効果を考慮した耐震性能評価に関する研究, 第 15 回日本地震工学シンポジウム, 2018 年 12 月 8 日
35. 中村 航・久田嘉章, 2016 年熊本地震の地表地震断層の近傍における建物被害調査, 第 15 回日本地震工学シンポジウム, 2018 年 12 月 7 日
36. 久田嘉章, 地表地震断層ごく近傍の強振動特性、および、断層ズレによる建物被害, 第 15 回日本地震工学シンポジウム, 2018 年 12 月 7 日
37. 小坂宏之・田中良一・仲野健一・前川利雄・畑義雄・山崎康雄・石川理人・久田嘉章, 南海トラフを対象とした改良経験式による入力サイト波策定における検証と課題(その 2)断層最短距離やサイト特性の影響に関するパラメトリックスタディ, 第 15 回日本地震工学シンポジウム, 2018 年 12 月 6 日
38. 田中良一・小坂宏之・仲野健一・前川利雄・畑義雄・山崎康雄・石川理人・久田嘉章, 南海トラフを対象とした改良経験式による入力サイト波策定における検証と課題(その 1)改良経験式に基づく計算コード作成と妥当性の確認, 第 15 回日本地震工学シンポジウム, 2018 年 12 月 6 日
39. 久田嘉章・田中信也(東電設計), 地表地震断層近傍における長周期成分の評価を目的とした震源モデルの長大断層への適用性(その 2) 2008 年四川地震, 日本地震学会 2018 年度秋季大会, 2018 年 10 月 9 日
40. 田中信也・久田嘉章, 地表地震断層近傍における長周期成分の評価を目的とした震源モデルの長大断層への適用性(その 1) 1999 年コウジャエリ地震, 日本地震学会 2018 年度秋季大会, 2018 年 10 月 9 日
41. 金田惇平・田中信也・中村航・久田嘉章, 2016 年熊本地震における KiK-net 益城と益城町下陳の地震動と建物被害の違いの原因について その 3 地震動と建物被害の違いの原因に関する考察, 2018 年度日本建築学会大会(東北), 2018 年 9 月 6 日
42. 田中信也・金田惇平・久田嘉章, 2016 年熊本地震における KiK-net 益城と益城町下陳の地震動と建物被害の違いの原因について その 2 Kik-net 益城と益城町下陳における地震動の推定, 2018 年度日本建築学会大会(東北), 2018 年 9 月 6 日
43. 中村 航・田中信也・金田惇平・久田嘉章, 2016 年熊本地震における KiK-net 益城と益城町下陳の地震動と建物被害の違いの原因について その 1 対象とした地点の建物被害の特徴, 2018 年日本建築学会大会(東北), 2018 年 9 月 6 日
44. 久田嘉章, 震源断層近傍の強振動特性 フリングステップ/パルスについて, 2018 年度日本建築学会大会(東北), 2018 年 9 月 5 日
45. 鱒沢曜・田中聡・中嶋洋介・久田嘉章・宮村正光・諏訪仁, 非建築専門家による地震後の建物被害調査・情報集約手法に関する研究, 2018 年度日本建築学会大会(東北), 2018 年 9 月 5 日

46. 中西真子・久田嘉章, 制振補強を行った既存超高層建築の費用対効果を考慮した耐震性能評価の検討, 2018年度日本建築学会大会(東北), 2018年9月4日
47. 田中信也・久田嘉章, 2016年熊本地震を対象とした地表地震断層近傍における永久変位を含む長周期成分の評価, 日本地球惑星連合大会, 2018年5月21日
48. 久田嘉章, 地表地震断層近傍の強震動特性～Fling Stepとは何か?～, 日本地球惑星連合大会, 2018年5月21日

#### 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/平成28～32年度/1,300千円(1,000千円)、吊り天井システムの地震時の損傷発生機構とその被害軽減方法に関する研究(研究代表者:東京工業大学元結正次郎)
2. 山下哲郎、指定研究費:川金コアテック株式会社/ゴム支承部の実験/780千円
3. 山下哲郎、文部科学省・科研費・基盤C一般/平成28～30年度/4,940千円(3,800千円)、格子状壁面を用いた新しい耐震構造実現のための基礎的研究 代表
4. 田村雅紀/平成29-30年度/1,925千円、湿式外断熱タイル張り工法(研究代表者),株式会社ツヅキ,企業共同研究
5. 田村雅紀/平成29-30年度/100千円,東京都左官職組合連合会,企業技術指導
6. 田村雅紀/平成30年度/300千円,株式会社セブンケミカル,企業技術指導
7. 田村雅紀/平成30年度/100千円,株式会社アドヴァン,企業技術指導
8. 後藤治,田村雅紀ほか/平成30年度 消防防災科学技術研究推進制度/伝統的家屋等への飛び火延焼防止のための高粘度液体を利用した消火手法の開発 ほか
9. 久田嘉章、文部科学省・科研費・基盤C一般/平成28～30年度/1,450千円、震源近傍の強震動予測手法の開発と工学的利活用に関する研究(研究代表)
10. 久田嘉章、内閣府・JST・SIP 防災/平成26～30年度/11,582千円、課題7-2 首都圏複合災害への対応・減災支援技術(課題サブテーマ代表)
11. 久田嘉章、防災科学技術研究所・長周期地震動に関する観測・予測情報の利活用技術開発に関する研究/平成30年度/4,965千円、長周期地震動による超高層建築の応答・損傷予測と対応支援システムの開発(研究代表)
12. 久田嘉章、指定研究費:7社共同研究・地震動ワーキンググループ(代表 西松建設) /500千円
13. 久田嘉章、指定研究費:大鐘測量株式会社/300千円
14. 久田嘉章、指定研究費:五洋建設株式会社/500千円

#### 知的財産権の取得(国内特許、国外特許、実用新案、著作権など)

1. 工学院大学(久田嘉章ほか)、工学院2017型災害対応支援アプリケーションプログラム、知的財産権登録、P第10863号-1、2018/06/21

#### 各種メディア(新聞・テレビ・ラジオなど)・展示会等で公表

1. 後藤治,田村雅紀,小林直弘ほか,高粘度液体を用いた伝統的建造物及び密集市街地の木造住宅の防火対策手法の開発,選抜展示,2018年イノベーションジャパン,東京ビックサイト,2018.8
2. 久田嘉章,FMラジオ・JFN「OH!HAPPY MORNING!」のコーナー「Today's Focus」で住宅の耐震対策に関するインタビューに答えました。
3. 久田嘉章,毎日新聞「災害で都市機能マヒ、盲点はどこに」コメント掲載
4. 久田嘉章,毎日新聞 地震などの災害時、訪日外国人に対する災害情報の伝達についてコメント掲載
5. 久田嘉章,毎日新聞 web(9月15日配信)地震などの災害時、訪日外国人に対する災害情報の伝達についてコメント掲載
6. 久田嘉章,Goo ニュース(9月14日配信)地震などの災害時、訪日外国人に対する災害情報の伝達についてコメント掲載
7. 久田嘉章,msn ニュース(9月14日配信)地震などの災害時、訪日外国人に対する災害情報の伝達についてコメント掲載
8. 久田嘉章,Infoseek ニュース(9月14日配信)地震などの災害時、訪日外国人に対する災害情報の伝達についてコメント掲載
9. 久田嘉章,ニュース - msn(9月14日配信)地震などの災害時、訪日外国人に対する災害情報の伝達についてコメント掲載
10. 久田嘉章,Yahoo!ニュース Japan(9月14日配信)地震などの災害時、訪日外国人に対する災害情報の

伝達についてコメント掲載

11. 久田嘉章、Biglobe ニュース(9月14日配信)地震などの災害時、訪日外国人に対する災害情報の伝達についてコメント掲載
12. 久田嘉章、Au one ニュース(9月14日配信)地震などの災害時、訪日外国人に対する災害情報の伝達についてコメント掲載
13. 久田嘉章、Mixi ニュース(9月14日配信)地震などの災害時、訪日外国人に対する災害情報の伝達についてコメント掲載
14. 久田嘉章、産経新聞 台風21号と北海道地震により、関西国際空港や新千歳空港において、訪日客や交通機能が影響を受けたことについてコメント掲載
15. 久田嘉章、Yahoo!ニュース(9月12日付)台風21号と北海道地震により、関西国際空港や新千歳空港において、訪日客や交通機能が影響を受けたことについてコメント掲載
16. 久田嘉章、朝日新聞「停電 慌てないために一専門家に聞く」地震・停電に見舞われたらどう行動すべきかコメント掲載
17. 久田嘉章、神奈川新聞 本学、東京電機大学、土木研究所などが取り組む内閣府の戦略的イノベーションプログラムの一環として横浜西口周辺の雨量データなどを提供するアプリ「AREA RAIN for 横浜西口」が開発され、取り組みについてコメント掲載
18. 久田嘉章、Yahoo!ニュース Japan(8月22日配信)本学、東京電機大学、土木研究所などが取り組む内閣府の戦略的イノベーションプログラムの一環として横浜西口周辺の雨量データなどを提供するアプリ「AREA RAIN for 横浜西口」が開発され取り組みについてコメント掲載
19. 久田嘉章、カナロコ(8月22日配信)本学、東京電機大学、土木研究所などが取り組む内閣府の戦略的イノベーションプログラムの一環として横浜西口周辺の雨量データなどを提供するアプリ「AREA RAIN for 横浜西口」が開発され、取り組みについてコメント掲載
20. 久田嘉章、日刊建設産業新聞(8月16日配信)本学、東京電機大学、土木研究所などが取り組む内閣府の戦略的イノベーションプログラムの一環として横浜西口周辺の雨量データなどを提供するアプリ「AREA RAIN for 横浜西口」が開発され、取り組みについてコメント掲載
21. 久田嘉章、フジサンケイビジネスアイ 大阪北部地震(6月18日)のブロック塀倒壊事故が示す「非構造部材」の耐震について、専門家としてコメント
22. 久田嘉章、SankeiBiz(8月7日配信)大阪北部地震(6月18日)のブロック塀倒壊事故が示す「非構造部材」の耐震についてコメント掲載
23. 久田嘉章、NHK 熊本放送、2016年熊本地震で出現した南阿蘇の地表断層直上の東海大学 RC 校舎被害の解説
24. 久田嘉章、神奈川新聞 M7級が想定される首都直下地震についてコメント掲載
25. 久田嘉章、リスク対策.com「巨大地震、高層ビルを襲う「長周期地震動」 「逃げずに留まる」「自助・共助」大都市型防災で臨む」の掲載
26. 久田嘉章、朝日新聞 地震発生時、屋外での危険な箇所について見解が掲載
27. 久田嘉章、奈良新聞 6月18日に大阪北部で発生した震度6弱の地震によりブロック塀の倒壊事故が起った問題でコメント掲載
28. 久田嘉章、朝日新聞 6月18日に大阪北部で発生した震度6弱の地震によりブロック塀の倒壊事故が起った問題でコメント掲載
29. 久田嘉章、NHK 総合『ニュース7』取材協力、地震工学の専門家としてコメント
30. 久田嘉章、TBS テレビ「あさちゃん」 大都市の直下型地震の脅威、取材協力
31. 久田嘉章、首都圏 NEWS WEB(6月20日配信) 建物の耐震化や室内の地震対策に詳しい専門家として、家具の転倒防止対策などについてコメント掲載
32. 久田嘉章、NHK オンライン(6月20日配信) 建物の耐震化や室内の地震対策に詳しい専門家として、家具の転倒防止対策などについてコメント掲載
33. 久田嘉章、大阪日日新聞(6月19日付)6月18日に大阪北部で発生した震度6弱の地震によりブロック塀の倒壊事故が起った問題で、地震工学の専門家としてコメント
34. 久田嘉章、神戸新聞(6月19日付) 大都市直下型地震の備えについてインタビューに答えました。
35. 久田嘉章、信濃毎日新聞(6月19日付) 大都市直下型地震の備えについてインタビュー
36. 久田嘉章、神奈川新聞(6月19日付)6月18日に大阪北部で発生した震度6弱の地震によりブロック塀の倒壊事故が起った問題で、地震工学の専門家としてコメント
37. 久田嘉章、読売新聞(6月19日付) 大都市直下型地震の備えについてインタビュー。
38. 久田嘉章、日本経済新聞(6月3日付)長周期パルスが高層ビルに及ぼす影響などについてコメント
39. 久田嘉章、遊学堂講義録「災害時、逃げる必要のない建物とまちづくり(第4部)」  
<https://shisokuyubi.com/special-column/Disaster-prevention-city04>

40. 久田嘉章、遊学堂講義録「災害時、逃げる必要のない建物とまちづくり（第3部）」  
<https://shisokuyubi.com/special-column/Disaster-prevention-city03>
41. 久田嘉章、遊学堂講義録「災害時、逃げる必要のない建物とまちづくり（第2部）」  
<https://shisokuyubi.com/special-column/Disaster-prevention-city02>
42. 久田嘉章、遊学堂講義録「災害時、逃げる必要のない建物とまちづくり（第1部）」を公開  
<https://shisokuyubi.com/special-column/Disaster-prevention-city01>
43. 久田嘉章、ウェブロンザ(4月23日配信 朝日新聞社の言論サイト) 熊本地震で発生した長周期パルスについてコメント
44. 久田嘉章、神奈川新聞(4月18日付)2016年4月に発生した熊本地震後に行った家屋の調査などについてコメント

#### 輩出した博士・修士・学士

修士7名

学士24名

#### その他(報告会・シンポジウムの主催・共催、実験の実施など)

1. システムライン天井の振動台実験(2018/11-12)
2. 在来天井吊材の非線形振動実験(2018/12-2019/1 東京工業大学元結研究室共同実験)
3. 置屋根体育館支承部の実験(2018/9-11)
4. 応急危険度判定士スキルアップセミナー「東京都の判定員登録をしたものの、実際にどう動くのか？」(2019年3月18日、工学院大学新宿キャンパス、主催：東京建築士会新宿支部・東京都建築士事務所協会新宿支部・JIA 新宿地域会・工学院大学／後援 新宿区)
5. 2018年度日本建築学会大会(東北)学術講演会 シェル・空間構造若手優秀発表(2名：荒井雄大、渡辺俊也)
6. 2018年度日本建築学会大会(東北)学術講演会若手優秀発表賞(環境工学)2名
  - ・矢ヶ崎啓介：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12) 超高層建築の給排水衛生設備の耐震性能について、日本建築学会大会学術講演梗概集(仙台), 2018.9
  - ・菅野晃平：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13) 水槽を有する超高層建築における地震時の水賦存量の予測、日本建築学会大会学術講演梗概集(仙台), 2018.9

文部科学省 私立大学研究ブランディング事業（平成 30 年度）  
工学院大学総合研究所 都市減災研究センター（UDM）業績報告書

テーマ 3 中島裕輔、横山計三、富樫英介、柳 宇（建築学部）  
水野 修（情報学部）、野呂康宏（工学部電気電子工学科）

査読付き論文

1. 富樫英介, ポンプの最小差圧変流量制御のエネルギー消費量予測, 日本建築学会環境系論文集, 84(757), pp. 281-289, 10. 3130/aije. 84. 281, 2019. 3
2. Eisuke Togashi, Ken-ichi Watanabe and Mutuo Honnma, Prediction of the lighting energy saving effect by human detection control with an office worker agent model, Japan Architectural Review, 10. 1002/2475-8876. 12068, 2018. 11
3. 富樫英介, 渡邊健一, 本間睦郎, 執務者移動モデルによる照明の不在検知制御の省エネルギー効果予測, 日本建築学会環境系論文集, 83(753), pp. 891-899, 10. 3130/aije. 83. 891, 2018. 11
4. Eisuke Togashi, Risk analysis of energy efficiency investments in buildings using the Monte Carlo method, Journal of Building Performance Simulation, International Building Performance Simulation Association (IBPSA), 10. 1080/19401493. 2018. 1523949, 2018. 9
5. 富樫英介, 空衛学会誌 100 年データの計量テキスト分析, 空気調和・衛生工学会論文集, 43(256), 2018. 7
6. 富樫英介, 設備システムの省エネルギー化が不動産価値に与える影響の定量的評価方法に関する研究 第 5 報-モンテカルロ法を用いた省エネ投資リスクの定量化と評価法, 空気調和・衛生工学会論文集, 43(254), pp. 21-28, 2018. 6
7. 村松宏, 富樫英介, 野部達夫, 都市における自然エネルギーと躯体熱容量を活用した自律安定型環境建築の計画と基本性能検証, 空気調和・衛生工学会論文集, 43(254), 2018. 6
8. 富樫英介, 田中康信, 松田侑樹, 運用データにもとづく汎用地中熱交換器モデルの開発に関する研究, 日本建築学会環境系論文集, 83(747), pp. 491-501, 2018. 5
9. 富樫英介, 設備システムの省エネルギー化が不動産価値に与える影響の定量的評価方法に関する研究 第 4 報-テナント属性の確率モデルの開発, 空気調和・衛生工学会論文集, 43(253), pp. 31-37, 2018. 4
10. 柳 宇, 加藤信介: 大学研究室におけるヒト由来細菌の分布特性, 日本建築学会環境系論文集, 第 83 巻, 第 754 号, pp. 997-1004, 2018. 12. DOI <http://doi.org/10.3130/aije.83.997>
11. Kenichi Azuma, Naoki Kagi, U. Yanagi, Haruki Osawa. Effects of low-level inhalation exposure to carbon dioxide in indoor environments: A short review on human health and psychomotor performance, Environment International 121, 51-56, 2018, <https://doi.org/10.1016/j.envint.2018.08.059>
12. Guangtao Fan, Jingchao Xie, Hiroshi Yoshino, Huibo Zhang, Zhenhai Li, Nianping Li, Jing Liu, Yang Lv, Shengwei Zhu, U Yanagi, Kenichi Hasegawa, Naoki Kagi, Xiaojing Zhang, Jiaping Liu. Common SVOCs in house dust from urban dwellings with schoolchildren in six typical cities of China and associated non-dietary exposure and health risk assessment. Environment International, Vol. 120, pp. 431-442, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2018.08.031>
13. 金 勲, 柳 宇, 鍵直樹, 東賢一, 林基哉, 大澤元毅: 空気中エンドトキシン濃度と浮遊細菌濃度に関する基礎的研究, 日本建築学会環境系論文集, Vol. 83, No. 749, pp. 581-589, 2018. 7
14. Yang Lv, Zhimeng Wang, Tongke Zhao, Bailin Fu, Bin Chen, Jingchao Xie, Hiroshi Yoshino, U Yanagi, Kenichi Hasegawa, and Naoki Kagi: The Investigation of Indoor Environment and Children's Health in Dalian and Beijing, China, PNAS, March 21, 2018, pp. 1-7, 2018
15. Guangtao Fan, Jingchao Xie, Hiroshi Yoshino, U Yanagi, Kenichi Hasegawa, Naoki Kagi, Tomonobu Goto, Qingyuan Zhang, Chunyu Wang, Jiaping Liu: Indoor environmental conditions in urban and rural homes with older people during heating season: A case in cold region, China, Energy & Buildings, No. 167, pp. 334-346, 2018, 10. 1016/j.enbuild.2018.01.064
16. Naohide Shinohara, Masahiro Tokumura, U. Yanagi. Indoor fungal levels in temporary houses occupied following the Great East Japan Earthquake of 2011, Building and Environment, Volume 129, pp. 26-34, 2018
17. 吉野 博, 柳 宇, 大竹 徹, 後藤 伴延, 長谷川 兼一, 鍵 直樹: 中国都市部における住宅内空気環境と児童のアレルギー性疾患との関連性についての調査, 日本建築学会環境系論文集, Vol. 83, No. 745, pp. 293-300, 2018. 3
18. 張, 晴原, 吉野 博, 柳 宇, 長谷川 兼一, 後藤 伴延, 鍵 直樹: 中国における脳血管疾患死亡率に



に対する環境要因の分析, 日本建築学会技術報告集, Vol. 24, No. 56, 285-288, 2018. 02

19. Kenichi Azuma, Koichi Ikeda, Naoki Kagi, U Yanagi, Haruki Osawa. Physicochemical risk factors for building-related symptoms in air-conditioned office buildings: ambient particles and combined exposure to indoor air pollutants. Science of the Total Environment. Vol. 616-617, pp. 1649-1655, 2018. 3, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.10.147>

#### 国際学会論文 (査読付も含む)

1. H. Zhang, X. Wu, H. Yoshino, U Yanagi, K. Hasegawa, N. Kagi and T. Goto. Investigation on Old People's Cardio-cerebrovascular Disease and Living Environment in Rural Areas of Northeast China in Winter. 4th International Conference on Building Energy, Environment. pp.851-855, 2018. ISBN: 978-0-646-98213-7
2. Kenichi Azuma, Naoki Kagi, U Yanagi, Hoon Kim, Noriko Kaihara, Motoya Hayashi, Haruki Osawa. Effects of thermal conditions and carbon dioxide concentration on building-related symptoms: a longitudinal study in air-conditioned office buildings. Proceedins of Indoor Air 2018, Paper 106, 2018
3. Hiroshi Yoshino, Huibo Zhang, U Yanagi, Kenichi Hasegawa, Tomonobu Goto, Naoki Kagi, Qingyuan Zhang. Investigation of association between indoor environment and elderly's cardio-cerebrovascular disease in China - Design and preliminary outcome. Proceedins of Indoor Air 2018, Paper 169, 2018
4. Mizuki Niimura, U Yanagi, Naoki Kagi : The Influence of Mycotoxin to Other Fungus Growth Characteristics Based on Competition Principle, the 8th International Conference on Energy and Environment of Residential Buildings, Paper No. E016, 2018
5. Zhenhai Li , Zhenhai Li, Ting Wu, Hiroshi Yoshino, U Yanagi, Kenichi Hasegawa, Naoki Kagi, Tomonobu Goto, Qingyuan Zhang, Huibo Zhang : An Investigation on indoor environment in homes of elderly residents in winter in urban area of Shanghai, China, the 8th International Conference on Energy and Environment of Residential Buildings, Paper No. E016, 2018
6. Yuki Inoue, Osamu Mizuno, "Emergency Disaster Information Delivery on Information-Centric Networking", The World Symposium on Communication Engineering (WSCE 2018), Singapore, Dec. 2018.
7. Y. Kubo and Y. Noro, Study of Power Supply System for Disaster-robust Zero Energy Vehicle (part 4), The Papers of Technical Meeting on "Power Engineering", IEE Japan, - International Workshop on Power Engineering in Remote Islands -, 2018

#### 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. 柳 宇 : 緊急時の室内環境対策—空調システムからのアプローチ, 新日本空調技報, No. 23, 1-3, 2018
2. 柳 宇 : 建築物衛生法の動向について, 建築設備&昇降機, No.133, pp.11-16, 2018
3. 柳 宇 : 迅速微生物測定法の現状, 空気清浄, 第56巻, 第1号, pp.4-7, 2018

#### 招待講演

1. 柳 宇 : 建築環境における感染症のリスクとその制御方法, 日本学術会議・土木工学・建築学委員会主催第31回環境工学連合講演会講演論文集, pp.17-20, 2018
2. 柳 宇 : 「基礎講座」建築環境における衛生問題と管理—室内環境中の微生物汚染状況と測定方法—, 日本防菌防黴学会第45回年次大会要旨集, p.172, 2018

#### 口頭発表

1. 山田誠、吉田舜、田中駿也、石田慎一、中島裕輔 : 大規模駅周辺エリアにおける環境防災情報伝達システム構築に関する研究、日本建築学会関東支部研究報告集、2019.3
2. 吉野阿覧、吉田舜、田中駿也、中島裕輔 : 西新宿エリアの公開空地の活用手法に関する研究、日本建築学会関東支部研究報告集、2019.3
3. 小松礼奈、鍵直樹、柳 宇、東賢一、金 勲、林基哉、開原典子、大澤元毅 : 事務所建築物室内PM2.5の特性評価, 第45回建築物環境衛生管理全国大会抄録集, pp.80-81, 2018.01
4. 柳 宇, 小川晴彦, 水野真人, 包理 : 病院診察室における空気清浄機による浮遊粒子除去効果に関する検証, 第35回空気清浄とコンタミネーションコントロール研究大会予稿集, pp.205-207, 2018.4
5. 柳 宇 : 高齢者施設における微生物汚染の実態とその対策方法, 日本臨床環境医学会学術集会抄録集, p.46, 2018.7
6. 村上剛志, 柳 宇, 子安 誠, 佐藤 務, 二瓶士門 : 集合住宅における床チャンパー方式の冷暖房・換気システムに関する研究 (その3) —床下空間及び室内のカビ発生評価—, 2018年度日本建築学会大

- 会学術講演梗概集, pp. 683-684, 2018
7. 柳 宇, 加藤信介, 畑中未来: 建築環境における呼吸器系病原体モニタリング法の確立に関する研究—その1 研究全体の概要とサンプリング・DNA 解析方法, 2018年度日本建築学会大会学術講演梗概集, pp. 859-860, 2018
  8. 瀬戸啓太, 柳 宇, 永野秀明, 鍵直樹, 大澤元毅, 金 勲, 東賢一, 加藤信介: オフィスビルにおけるマイクロバイオームの実態の解明に関する研究 第5報—超音波加湿器内の細菌叢, 2018年度日本建築学会大会学術講演梗概集, pp. 887-888, 2018
  9. 畑中未来, 柳 宇, 永野秀明, 加藤信介: 学校環境におけるマイクロバイオームの実態に関する調査研究 第3報 夏期における地域別3 大学教室の測定結果, 2018年度日本建築学会大会学術講演梗概集, pp. 889-890, 2018
  10. 新村美月, 柳 宇, 鍵直樹: マイコトキシンと共存状態でのカビ生育に及ぼす競争原理の影響に関する基礎研究, 2018年度日本建築学会大会学術講演梗概集, pp. 899-900, 2018
  11. 吉野博, 長谷川兼一, 柳 宇, 張晴原, 鍵直樹, 後藤伴延: 中国における循環器疾患と住環境要因との関連についての調査研究 その1 調査概要, 並びに上海, チチハルの戸建住宅の結果, 2018年度日本建築学会大会学術講演梗概集, pp. 963-964, 2018
  12. 金 勲, 柳 宇, 鍵直樹, 東賢一, 長谷川兼一, 林基哉, 大澤元毅, 志摩輝治: 個別式加湿器による室内空気の微生物汚染に関する実験, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, pp. 1-4, 2018
  13. 鍵直樹, 東賢一, 金 勲, 柳 宇, 長谷川兼一, 林基哉, 開原典子, 大澤元毅: 様々な湿度条件における2-エチル-1-ヘキサノールの建材発生特性の実験的検討, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, pp. 109-112, 2018
  14. 小田切茜, 柳 宇, 新村美月, 金 勲, 加藤信介: 高齢者福祉施設における室内マイクロバイオームの実態解明に関する研究 (第1報) 北海道高齢者施設の実態調査, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, pp. 41-44, 2018
  15. 新村美月, 柳 宇, 小田切茜, 金 勲, 加藤信介: 高齢者福祉施設における室内マイクロバイオームの実態解明に関する研究 (第2報) 仙台市高齢者施設の実態調査, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, pp. 45-48, 2018
  16. 瀬戸啓太, 柳 宇, 鍵直樹, 金 勲, 中野淳太, 東賢一, 林基哉, 大澤元毅: 中小規模オフィスビルにおける室内空気環境に関する研究 第1報—2017年度調査結果, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, pp. 49-52, 2018
  17. 畑中未来, 柳 宇, 永野秀明, 加藤信介: 学校環境におけるマイクロバイオームの実態に関する調査研究 第4報 夏期における細菌叢と室内環境の関連性, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, pp. 37-40, 2018
  18. 柳 宇, 橋本翔: 空調システムにおけるマイクロバイオームの実態解明とその対策に関する研究 第1報 クールピットにおける細菌叢の実態に関する調査研究, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, pp. 33-36, 2018
  19. 原田千聡, 鍵直樹, 東賢一, 柳 宇: 温湿度影響を考慮した木質材料のVOC発生予測, 平成30年室内環境学会学術大会講演要旨集, YP-05, 2018
  20. 前田奈穂, 鍵直樹, 柳 宇: ハウスダストの特性とオゾンによる変質検討, 平成30年室内環境学会学術大会講演要旨集, YP-06, 2018
  21. 相川実穂, 鍵直樹, 柳 宇, 金 勲: 室内における微生物から発生する揮発性有機化合物の実態調査, 平成30年室内環境学会学術大会講演要旨集, YP-07, 2018
  22. 土子あみ, 鍵直樹, 東賢一, 金 勲, 柳 宇: 事務所建築物における2-エチル-1-ヘキサノールの実態調査, 平成30年室内環境学会学術大会講演要旨集, YP-08, 2018
  23. 新村美月, 柳 宇, 小田切茜, 金 勲: 高齢者施設における室内マイクロバイオームの実態解明に関する研究—施設別・季節別の比較, 平成30年室内環境学会学術大会講演要旨集, YP-25, 2018
  24. 綿寛子, 鍵直樹, 柳 宇, 東賢一, 金 勲: 室内PM2.5濃度と建築物の特徴, 平成30年室内環境学会学術大会講演要旨集, YP-34, 2018
  25. 柳 宇: クールピット付着菌叢の特徴—諸環境マイクロバイオームの比較, 平成30年室内環境学会学術大会講演要旨集, B-07, 2018
  26. 田島 氷河, 内山 翔太, 水野 修, 小型自立移動式災害対策支援ユニットにおける通信システムの検討, 電子情報通信学会第17回ネットワークソフトウェア研究会, 2018年10月.
  27. 小坂橋 由誉, 井上 勇気, 内山 翔太, 水野 修, Delay Tolerant Networking におけるバッテリー残量に基づく送信制御方式, 電子情報通信学会技術報告, IN2018-, 2019年3月.
  28. 鈴木 浩平, 田島 氷河, 水野 修, 自立移動式災害対策支援ユニットにおける災害情報提供システム, 2019年電子情報通信学会総合大会, A-19-26, 2019年3月.

29. 田島 氷河, 鈴木 浩平, 水野 修, 小型自立移動式災害対策支援ユニットにおける通信システムの構築, 2019年電子情報通信学会総合大会, B-6-16, 2019年3月.
30. 小坂橋 由誉, 井上 勇氣, 内山 翔太, 水野 修, Delay Tolerant Networking におけるノードの送信総データ量に基づく送信制御方式 2019年電子情報通信学会総合大会, B-7-2, 2019年3月.
31. 本田重夫, 服部充, 柳 宇, 鈴木猛: 国内外の空調用ダクトの規格と接合方法の現状, 空気調和・衛生工学会, 第92巻, 第8号, pp.59-63, 2018
32. 井田寛, 羽田聡子, 柳 宇, 瀬島峻介, 中西芳夫: UVGI を組み込んだ空調システムの感染対策例, 臨床環境医学, 第27巻, 第1号, pp.28-34, 2018
33. 久保陽平, 野呂康宏, 自立移動式ゼロエネルギーユニット (D-ZEV) における電力供給システムの検討 (その3), 電気学会電力エネルギー部門大会, 2018年9月
34. 久保陽平, 野呂康宏, 自立移動式ゼロエネルギーユニット (D-ZEV) における電力供給システムの検討 (その5), H31 電気学会全国大会, 2019年3月

#### 外部資金の獲得

1. 富樫英介, 文部科学省・科研費・基盤研究(C)/平成30~32年度/3,400千円、建築の省エネ化投資の不確実性を反映した経済性評価(研究代表者)
2. 富樫英介, 文部科学省・科研費・若手研究(B)/平成28~29年度/3,200千円、建築設備システムの省エネ化投資のリスク評価を可能にする確率モデルの開発(研究代表者)
3. 柳 宇, 代表・基盤 (A): 空調システム中菌叢解析とそれに基づく室内環境改善策の提案
4. 柳 宇, 代表・萌芽: 共存状態でのカビ生育特性に及ぼす競争原理の影響の解明
5. 柳 宇, 分担・開拓: 建築環境マイクロバイオームの実態把握による集団感染機構のモニタリング
6. 柳 宇, 分担・基盤 (B): 中国における循環器系疾患の死亡に対する住環境要因の関連性評価と防止対策の提案
7. 柳 宇, 分担・基盤 (B): 室内における動的挙動と相互作用を考慮した粒子汚染履歴の解明及び健康リスク評価
8. 柳 宇, 分担・厚生労働科学研究: 中規模建築物における衛生管理の実態と特定建築物の適用に関する研究
9. 柳 宇, 分担・萌芽: 高齢者居住環境における感染症予防と微生物汚染探索法としてエンドトキシン評価の提案
10. 柳 宇, 分担・AMED: 真菌関連アレルギー性気道疾患の発症・増悪予防を目指した体内・体外環境の評価と制御
11. 水野 修, 文部科学省・科研費・基盤 C 一般/平成30~32年度/1,100千円、不安定なアクセス状況下における自律的なデータ発見配備方式(研究代表者)

#### 各種メディア (新聞・テレビ・ラジオなど)・展示会等で公表

1. 中島裕輔, 水野修, 横山計三, 野呂康宏, 柳宇, 富樫英介, エリア防災拠点をつなぐ自立移動式災害対応支援ユニットの開発, イノベーションジャパン2018, 2018年8月29日~31日
2. 新宿駅周辺防災対策協議会, 防災 WEEK2018, (D-ZEV 車両, 簡易救護所, PV パネル, テント等展示), 2018年11月13日~11月21日

#### 輩出した博士・修士・学士 (博士は氏名・表題・取得年月日、その他は人数のみ)

修士4名、  
学士11名

#### その他 (報告会・シンポジウムの主催・共催、実験の実施など)

1. 平成30年度空気調和・衛生工学会研究大会実行委員会委員長
2. 1. 板倉陽平, 野呂康宏, 自立移動式ゼロエネルギーユニット(D-ZEV)における運転特性と発電量予測システムの開発, 電力システム技術東京私学連合ブランチ発表会, 2018年12月
3. 2. 篠塚祐樹, 野呂康宏, 自立移動式ゼロエネルギーユニット(D-ZEV)における電源監視システムのプロトタイプ開発, 電力システム技術東京私学連合ブランチ発表会, 2018年12月

# 防災 WEEK 2018

2018.11.13～11.21



新宿駅周辺防災対策協議会

# プログラム

## 【体験型イベント】

### ① オープニングイベント - 防災コミュニケーションツール -

新宿駅周辺には、防災に役立つノウハウやツールを持った企業・大学が数多くあります。今回は、ドローンや携帯端末アプリ、VRと連動する地震動シミュレーターなど、防災のコミュニケーションを活性化する最先端のツールや活用手法を紹介します。今年度はこれに加えて、工学院大学のブランディング事業で開発中の「D-ZEV」の展示を予定。皆さんで、実際に体験してみましょう！

実施期間：11月13日（火） 10:00～17:00

実施場所：工学院大学新宿キャンパス1階 アトリウム

11月13日は献血バスも来ます！いざという時に命をつなぎとめる、私たちにできること。献血へご協力お願いします。献血受付時間は11:00～16:00です。

### ② “新宿ならではの” 炊き出し

新宿駅周辺はオフィスだけでなく商業施設や専門学校など、いざという時に「食」の観点から活動ができる方々がいらっしゃいます。今年も学校法人新宿学園新宿調理師専門学校の協力を得て、備蓄品（新宿区提供）を活用した炊き出しを行います！

実施期間：11月16日（金）11:30～13:00（提供予定食数配布次第終了） 提供食数：300食（予定）

実施場所：学校法人新宿学園 新宿調理師専門学校 玄関前

### ③ 災害用トイレ体験

新宿中央公園に備えてある災害用トイレの設置の確認を行うとともに、実際の状況を体験します。

実施日：11月20日（火）午後

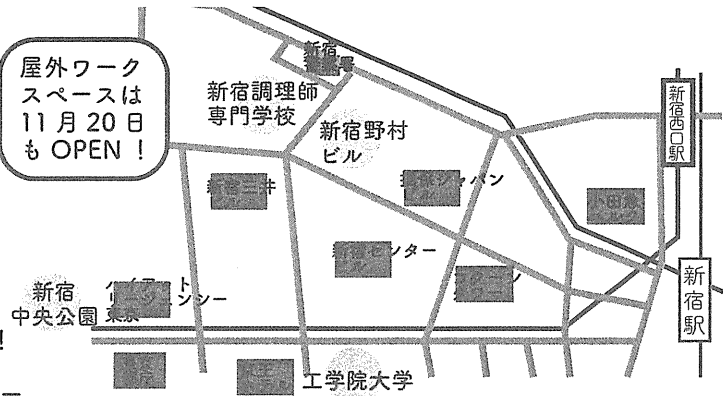
実施場所：新宿中央公園

### ④ クロージングイベント - 防災Cafe-

防災食等を活用したCafeを開店。防災食を試食しながら、ゆっくりと新宿の防災について学びましょう。オープンスペースでは、災害時の電源供給のための社会実験として、屋外ワークスペースとして彩ります。みんなで野村ビルに集まりましょう！

実施日：11月21日（水）11:00～15:00（予定）

実施場所：新宿野村ビル オープンスペース、1階ロビー



## 【講演会】

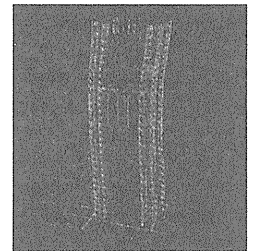
### 事業所の地震対策

気象庁が発表する地震・津波情報、長周期地震動に関する観測情報、長周期地震動対策を紹介いただくとともに、地震時の人的被害軽減のために東京消防庁が進める室内安全対策について学びます。

実施日時：11月13日（火） 14:00～16:00

実施場所：工学院大学新宿キャンパス6階 A0652 教室

講師：「防災に活かす地震情報～知っていますか？長周期地震動階級～」  
気象庁地震火山部管理課地震津波防災対策室調査官 久保剛太氏  
「近年発生した地震被害と室内安全対策」  
東京消防庁防災部震災対策課長 水村一明氏



## 【企画展示】

### 協議会活動パネル展

新宿駅周辺防災対策協議会の活動も10年を過ぎました。この展示会ではこれまでの活動を振り返ると共に、地元企業等のCSR活動・防災活動等を紹介します。

実施期間：11月13日（火）～21日（水）

実施場所：工学院大学新宿キャンパス1階 アトリウムほか

## スケジュールMAP

	11/13	11/14	11/15	11/16	11/17	11/18	11/19	11/20	11/21
協議会 訓練			西口訓練						
体験型 イベント	防災 ツール 体験			炊き出し				災害 トイレ 体験	防災 Cafe
講演会	地震対策 講演会								
企画展示	協議会・ブランディング企画展								

### 【協力】

東京都、新宿区  
学校法人新宿学園新宿調理師専門学校  
新宿野村ビル、東京都赤十字血液センター  
学校法人工学院大学  
工学院大学1部学生自治会

本プログラムは私立大学研究ブランディング事業「巨大都市・複合災害に対する建築・情報学融合によるエリア防災活動支援技術の開発と社会実装」と連携して実施しています。

# 巨大都市・複合災害に対する 建築・情報学融合による エリア防災活動支援技術の 開発と社会実装

主催 | 工学院大学 総合研究所 都市減災研究センター (UDM)



## 第1部

### 平成30年度ブランディング事業成果報告

15:00-17:00

#### あいさつ・事業概要

久田嘉章 (工学院大学建築学部教授・総合研究所都市減災研究センター長)

#### 研究テーマの概要と成果報告

テーマ1 「大都市中心エリアを対象としたオールハザード対応キットの開発」  
村上正浩 (工学院大学建築学部教授・テーマ1リーダー)

テーマ2 「機能継続・早期復旧を可能とする大地震対策建築モデルの開発」  
山下哲郎 (工学院大学建築学部教授・テーマ2リーダー)  
田村雅紀 (工学院大学建築学部教授・テーマ2サブリーダー)

テーマ3 「エリア防災拠点をつなぐ自立移動式災害対応支援ユニットの開発」  
中島裕輔 (工学院大学建築学部教授・テーマ3リーダー)  
水野修 (工学院大学情報学部教授・テーマ3サブリーダー)

#### 広報・ブランディング

佐野勇一郎 (工学院大学総合企画部 広報課長)

#### 質疑

## 第2部

### 招待講演・関連事業成果報告

17:00-18:00

招待講演: 「防災科学技術研究所における地震観測・予測情報の利活用技術開発」  
木村武志氏 (国立研究開発法人 防災科学技術研究所)

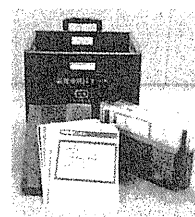
SIP (戦略的イノベーション創造プログラム)・研究開発課題名「巨大都市・大規模ターミナル駅周辺地域における複合災害への対応支援アプリケーションの開発」および防災科学技術研究所・公募研究「長周期地震動に関する観測・予測情報の利活用技術開発に関する研究」による成果紹介

久田嘉章 (工学院大学建築学部教授・総合研究所都市減災研究センター長)  
村上正浩 (工学院大学建築学部教授)

#### むすびのこたば

佐藤光史 (工学院大学 学長)

交流会 (終了後: 7階学生食堂)



避難所開設キット



防災アプリ



防災 WEEK での展示風景

2019.3.13 [水] 15:00-18:00

場所 | 工学院大学 新宿キャンパス 10階 1012教室

#### 新宿キャンパスへのアクセス

- 〒163-8677 東京都新宿区西新宿1丁目24番2号
- JR「新宿駅」下車、西口より徒歩5分
- 京王線、小田急線、地下鉄各線「新宿駅」下車、徒歩5分
- 都営大江戸線「都庁前駅」下車、徒歩3分
- 西武新宿線「西武新宿駅」下車、徒歩10分

## 「東京都の判定員登録をしたものの、実際にどう動くのか？」

という疑問にお応えします。

判定員一人一人のスキルアップはもちろん重要ですが、同時に次の点も重要なポイントです。

- ・行政・団体・判定員・区民の役割について
- ・地震発生→出動要否判断→出動要請→招集→派遣→実施→報告などのプロセスについて

最近、熊本市、大阪府、北海道と大きな地震が立て続けに起こっており、ここ東京でも憂いがあります。

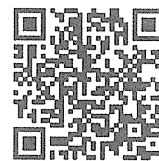
「備えあれば、憂いなし」是非、判定員としてのスキルを磨きませんか。

**日 時** 2019年3月18日(月) 18時00分～20時00分 受付開始 17時30分

**会 場** 工学院大学新宿キャンパス (3階アーバンテックホール)

**対 象** 新宿区在住又は在勤の「東京都防災ボランティア制度に基づく被災建築物応急危険度判定員」

**定 員** 60名



map

### プログラム

1. 応急危険度判定制度の概要と判定手法 (80分) 東京都多摩建築指導事務所建築構造専門課長 大熊久理子様

2. 熊本地震での判定体験談 (20分) 東京建築士会新宿支部正会員/タキロンシーアイ(株) 磯永聖次様

**受講料** 主催団体会員 500円 / 一般 1000円 (資料代。当日受付にてお支払ください。)

**主催** 東京建築士会新宿支部・東京都建築士事務所協会新宿支部・JIA 新宿地域会・工学院大学 / **後援** 新宿区

**持ち物** 筆記用具、応急危険度判定員手帳

**申込み締切** 3月10日(水) (先着順)

**申込み方法** 以下の(1)～(5)をメール本文に記載して事務局( shikai.shinjuku@gmail.com )宛にお送り下さい。

※満席でお申込みを受付けできなかった場合のみ返信いたします。

メール件名 「3月18日応急危険度判定員講習会へ参加申込」

(1)氏名(ふりがな) :

(2)連絡先メールアドレス :

(3)連絡先電話番号 :

(4)新宿区内の勤務先住所・名称(またはご自宅住所) :

(5)所属(該当しないものを削除してください)

・東京都防災ボランティア登録 No. ( )

・東京建築士会新宿支部 ・東京建築士事務所協会新宿支部 ・JIA 新宿地域会

・その他 ( )

問合せ先 : 東京建築士会新宿支部 応急判定セミナー事務局 ( shikai.shinjuku@gmail.com )

※本申込書に記載いただいた情報は適切に管理し本セミナーの運営、主催および後援団体が開催する他イベントの案内・紹介のために利用する場合があります。

※東京都防災ボランティア制度に基づく被災建築物の応急危険度判定制度とは、建築技術者が予め所定の講習を受け、地震後、行政等の招集に応じて、余震等による建築物の倒壊や落下物、転倒による二次災害を防止するため建築物の被災状況を調査し当面の使用の可否について判定する制度です。

