


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29年度成果報告書

平成30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 29 年度成果報告について

はじめに 久田嘉章（センター所長） i - v

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 都市災害と群衆行動に関する動画像解析・認知行動実験による都市災害対応モデル
・訓練ツールの検討
福田一帆 小西克己 3
- 1-3 新宿駅西口地下街の避難出口に関する考察
境野健太郎 村上正浩 石田航星 5
- 1-4 大都市中心部に位置する木造密集市街地の地域変化
藤賀雅人 7
- 1-5 3次元レーザースキャナにより取得した計測データのVR環境への利用について
石田航星 9

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 既存超高層の骨組の地震時損傷評価
山下哲郎・久田嘉章・青木花子・中西真子・林千尋 11
- 2-2 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 野原大樹 渡辺俊也 山下哲郎 17
- 2-3 鉄骨造体育館の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
岩澤瞭 山下哲郎 23
- 2-4 メーソンリーブロック外壁の繊維補強による変形抵抗性の確保に関する研究
横田将吾 田村雅紀 27
- 2-5 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数特性・エネルギー
と劣化性状の相関評価
乙幡祐平、田村雅紀 31
- 2-6 既存の現近代建築におけるラス漆喰天井の劣化状態の評価
半座三紗子 田村雅紀 35
- 2-7 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 39

2-8	地表地震断層近傍の長周期地震動の特性 久田嘉章	43
-----	----------------------------	----

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」

3-1	デジタルサイネージを活用した情報共有システムの検討 中島裕輔 横山計三 柳 宇 富樫英介	49
3-2	自律移動式ゼロエネルギー災害対応支援ユニット(D-ZEV)の通信システム構成 水野修	51
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	53
3-4	簡易救護ユニット空調システムの検討 横山計三 富樫英介 中島裕輔 柳 宇	55
3-5	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 柳 宇 中島裕輔 富樫英介 横山計三	57
3-6	簡易救護ユニットの外皮負荷削減法の検討 富樫英介 横山計三 中島裕輔 柳 宇	59

広報・普及事業

	佐野勇一郎	61
--	-------	----

資料1：平成29年度・業績一覧

テーマ1	63
テーマ2	65
テーマ3	71

資料2：平成29年度導入・設備概要

テーマ1：設備名【3Dレーザースキャナ】	74
テーマ2：設備名【大加速度・大変位加力装置】	75
テーマ3：設備名【自立移動式ゼロエネルギーユニット】	76

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 29 年度成果報告書について



はじめに

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 29 年度の成果報告である。

膨大で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る。大都市中心エリアは、膨大な人口により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る。

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る。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る。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る。

本事業の目的

本事業は、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ある。まず、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する。一方、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る。

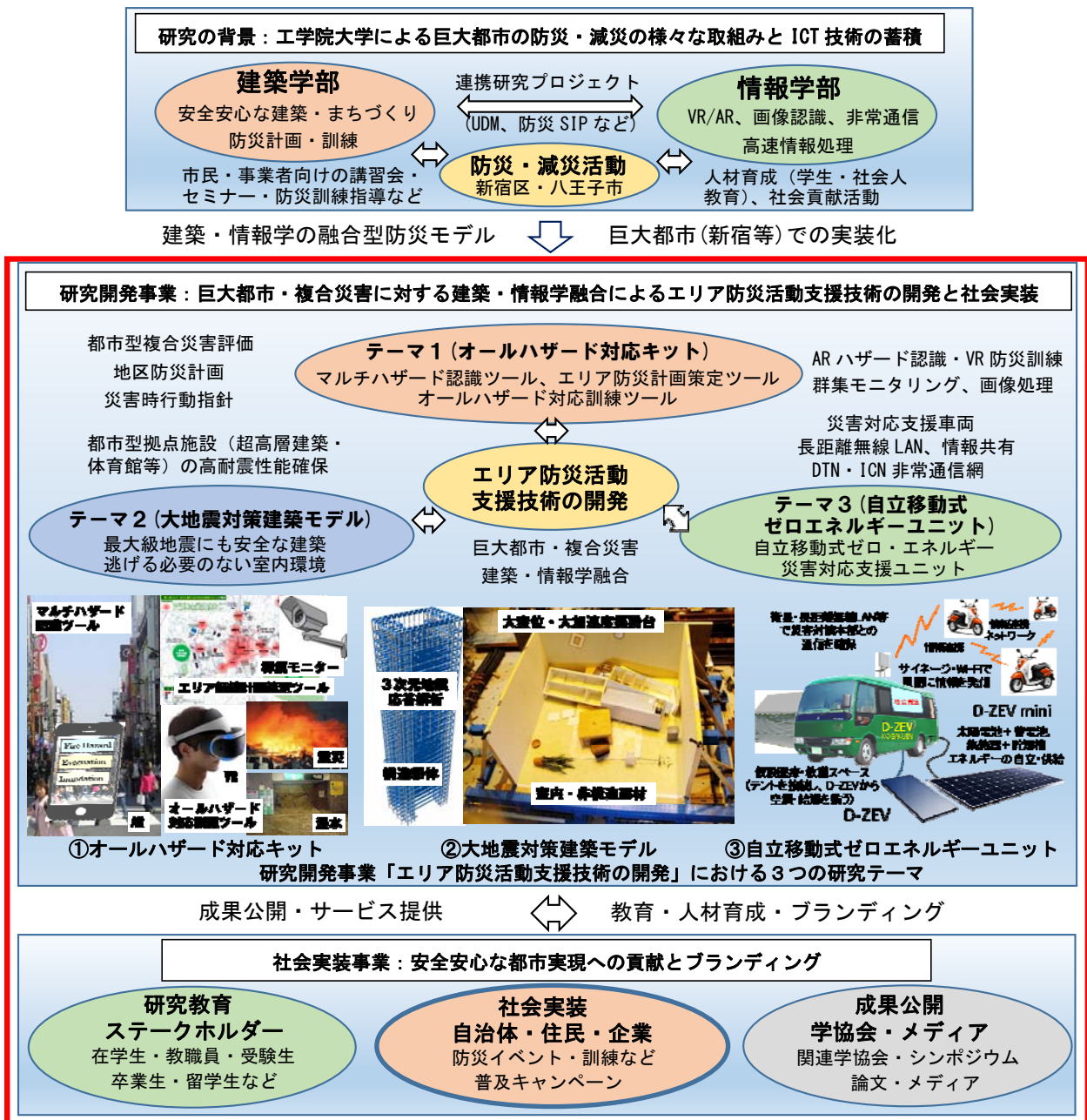


図1 本事業の全体概念図

本事業の計画と平成 29 年度の主な成果の概要

本学が保有する最先端の建築学と情報学の最新技術を融合させ、図1に示す3つの研究テーマである、①オールハザード対応キット、②大地震対策建築モデル、および、③自立移動式災害対応支援ユニット、で構成するエリア防災活動支援技術の研究開発事業と、地元行政（新宿区）と住民・事業者と連携した成果の普及キャンペーン等を実施し、以下の成果を得ている。

研究テーマ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」

大都市中心エリアを構成する住民・事業者（自助の担い手）とエリア（共助の担い手）を対象として、都市型複合災害を対象とした防災計画の策定から訓練実施のための標準化ツールであるオー

ルハザード対応キットを開発する。具体的には、①AR（拡張空間）技術を活用した街中で震災・水害等による都市型複合災害を体験できるマルチハザード認識ツール、②各種モニタリング（監視映像による群集動態モニタリングなど）技術を活用した事前の災害対応計画・行動ルールの策定の手引書となるエリア防災計画策定ツール（研究テーマ2と連携）、及び③3次元空間モデリングとVR（仮想現実）技術を活用した都市型複合災害の訓練セットであるオールハザード対応訓練ツール（研究テーマ3と連携）を開発する。各年度に連携自治体・住民・事業者を対象とした防災イベント・地域防災訓練等で開発ツール類を使用し、有効性を検証したうえで、最終的に実施・適用例とともに公開する。平成29年度に導入した設備と、主な研究成果は以下の通りである。

平成29年度導入設備：3次元レーザースキャナ

平成29年度の主な成果

- ・ドローンを用いた情報共有・滞留者誘導実験、及び外壁損傷等調査の実施
- ・大都市中心エリアの現地本部、及び一時滞在施設行動マニュアルと運営キットの試作
- ・VR空間における災害体験・群集行動に対する認知行動特性、及び生体反応の検討
- ・動画像解析により群衆の異常行動から被害を検知するアルゴリズムの開発
- ・新宿駅西口地下街の避難出口に関する調査研究
- ・東京都中心部における木造密集市街地の地域変化に関する実態調査

研究テーマ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」

大都市中心エリアにおける既存の防災拠点施設（超高層建築と避難所・体育館など）を対象として、大地震時の機能継続・早期復旧を目的とする構造・非構造部材の効果的な補強法と総合的な耐震性能評価法を開発する。具体的には、①耐震・制震補強による高耐震性能の構造躯体の補修モデル（数百年に1度のレベル2地震動でも在館を可能とし、数千年に1度のレベル3地震動でも倒壊しない構造躯体）、②大変位・大加速度振動台を活用した安全な室内空間と機能継続を可能とする非構造部材の補修モデル（天井・内外装材・設備機器を対象）、さらに①②の成果を活用した、③災害後の機能継続・早期復旧の視点からの総合的な耐震性評価法と既存建築の使用継続性能チェックリストをそれぞれ提案する。開発モデルの検証は、①構造躯体は3次元地震応答シミュレーションと既存実験等との比較検討、②非構造部材は大変位・大加速度振動台による実大実験、③研究テーマ1との連携による実建物（超高層及び体育館）への適用と防災訓練等を活用したアンケート・ヒアリング調査等で、それぞれ行う。平成29年度に導入した設備と、主な研究成果は以下の通りである。

平成29年度導入設備：大加速度・大変位加力装置（振動台）

平成29年度の主な成果

- ・既存超高層建築の骨組の地震時損傷評価モデルの構築と制震補強効果の検討
- ・置屋根体育館支承部の復元力特性、鉄骨造体育館はりの累積たわみ評価モデル構築
- ・ALCブロック外壁の補強法、及びビル外壁タイル・漆喰天井の劣化性能の評価法の開発
- ・ライフライン設備の地震被害調査と断水時の水の賦存特性の発災時刻別評価
- ・地表地震断層近傍の長周期地震動の調査研究

研究テーマ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」

地域防災拠点（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。このユニットは、①自然エネルギーを活用した発電・蓄電設備、長距離無線 LAN・DTN/ICN 技術を活用した非常用通信設備、および、応急救護・災害医療活動を支援する空調システムを掲載した自動車（D-ZEV 本体）、及び②小回りが利き、エリア情報を収集する通信ユニットを掲載する二輪自動車の D-ZEV mini で構成される。開発ユニットは、研究テーマ1との連携による各年度の防災イベント・地域防災訓練等で使用し、アンケート・ヒアリング調査を実施し、その有効性を検証のうえ、最終年度の実証実験を経て、実施・適用例とともに公開する。平成29年度に導入した設備と、主な研究成果は以下の通りである。

平成29年度導入設備：自立移動式ゼロエネルギーユニット（D-ZEV）

平成29年度の主な成果

- ・D-ZEV におけるデジタルサイネージを活用した情報共有、通信、電力供給、簡易救護ユニット、に関する各種システムの検討

広報・普及（ブランディング）事業

一方、社会実装事業では、得られた成果と適用例を全て公開し、自治体（新宿区など）・住民・事業者（新宿区や新宿駅周辺防災対策協議会、新宿駅周辺地域都市再生緊急整備協議会、自主防災組織である避難所運営管理協議会など）・外国人居住者・来街者等との連携による講習会・セミナー・防災訓練など各種防災イベントを開催し、成果の普及キャンペーン等による広報・普及（ブランディング）活動を実施する。平成29年度に実施した主な活動は以下の通りである。

平成29年度の主な事業

- ・パブリシティ：本事業に関する一般市民向け、及び各種メディアに対する広報活動
- ・各種イベント出展：新宿駅周辺エリアの「防災 WEEK2017」、震災対策技術展横浜等での出展
- ・ブランディングロゴの制定：本事業のロゴやテンプレートの制定と利活用

事業実施体制

図2に本事業の実施体制を示す。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る。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）により、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する。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する。外部連携機関として新宿区および地元事業者・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う。

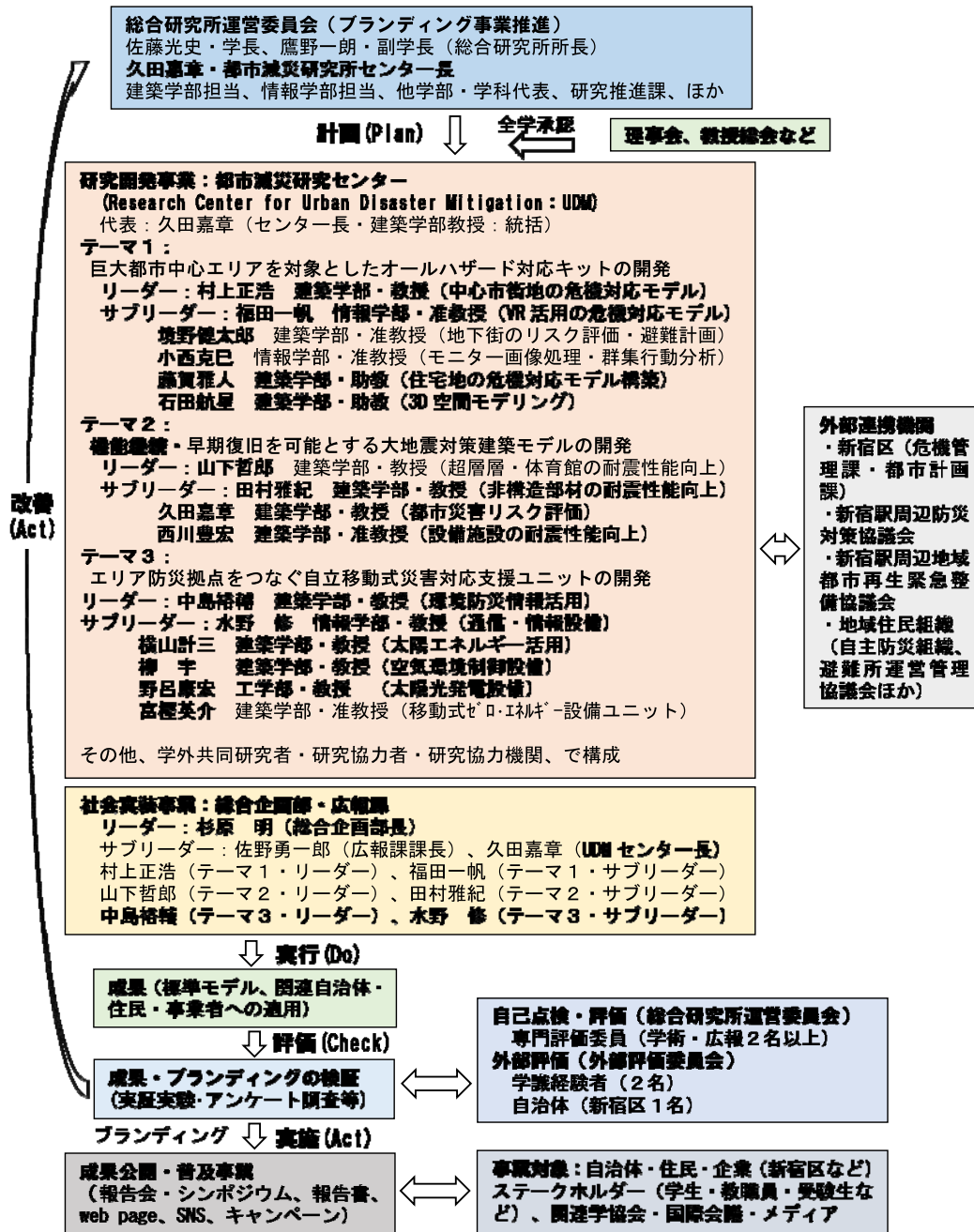


図2 本事業の実施体制（2017年度）

おわりに

本事業は2016年11月に開始し、2017年度末に設備を導入したばかりであるが、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つつある。本報告書や報告会等を通じ、多くの方々より忌憚ない意見を頂き、本学及び地元自治体・住民・事業者の方々との密接な連携により、防災・減災対策の推進とブランディングに寄与してゆきたいと考えている。

2018年3月

工学院大学学長
都市減災研究所センター所長

佐藤光史
久田嘉章

都市災害と群集行動に関する動画像解析・認知行動実験による 都市災害対応モデル・訓練ツールの検討

キーワード：VR，災害，群衆，動画像解析，行動，心理

福田一帆*

小西克己**

1. はじめに

本ブランディング事業テーマ 1 では、都市災害の対応モデル・訓練ツールの開発として、バーチャルリアリティ防災啓発・訓練用コンテンツを作成し、建物被害の確認や避難誘導等のトレーニング・訓練の効果の検証をおこなう。都市災害においては、人の行動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、動画像解析により群衆の異常行動から被害を検知するアルゴリズムの開発（小西）、VR空間において災害体験ツールを試作して、それを用いて災害体験や群集行動に対する認知行動実験およびVRによる災害体験に対する生理的変化の実験（福田）を実施した結果を報告する。

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

災害発生後の避難行動に関する調査研究は数多く行われており、パニックの発生よりも逃げ遅れによる人的被害を指摘する報告が多い¹⁾。また、人の避難行動は、経路への知識²⁾や周囲の群衆³⁾などの環境要因に大きく影響を受けることが知られている。そこで、VR災害体験ツールの試作とともに、これらの要因が複合的に発生したときの避難者の行動特性について実験を実施して検討した。また、VRによる災害体験の効果を定量的に評価する手法としてストレス指標の有用性を検討した。

実験では、3DVRシミュレーションソフトUC-win/Road (FORUM8 CO., LTD.)を用いてVR空間に街並みを作成して歩行者群衆を発生させた(図1)。初めに被験者へ課題の説明をおこない、被験者はヘッドマウントディスプレイOculus Rift CV1を装着して頭部回転により周囲を見回すことができ、また、コントローラーを用いて歩行操作が可能であった。被験者の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。また、周囲

群衆の行動の影響を検討するために、被験者を2グループに分けて、周囲群衆が災害発生直前に被験者の通ってきた経路を戻す条件と、周囲群衆が被験者の通ってきた経路の先に進む条件の行動を比較した。さらに、ストレス指標として有効性が報告されている唾液アミラーゼの測定を課題1の実施前、課題1と課題2の間、課題2の完了後の3回実施した。

以上の実験について、いくつかの特徴的な傾向が表れたので報告する。第一に、予備実験においては避難時に特定の群集行動が無い場合はほぼ全被験者が通ってきた経路を戻す方向へ避難したのに対して、本実験では全被験者が周囲の群衆に追従して避難した。第二に、被験者ごとの平常時における探索行動と災害時における避難行動の移動距離に強い相関が見られた(図2)。第三に、一部の被験者においてストレス指標(唾液アミラーゼ値)が、災害体験前から体験後にかけて上昇を示した(図3)。



図1. 災害発生場面（右）と周囲の群集行動（左）

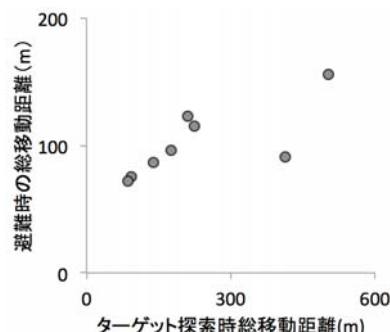


図2. 平常時の探索行動と災害時の避難行動の移動距離の相関図.

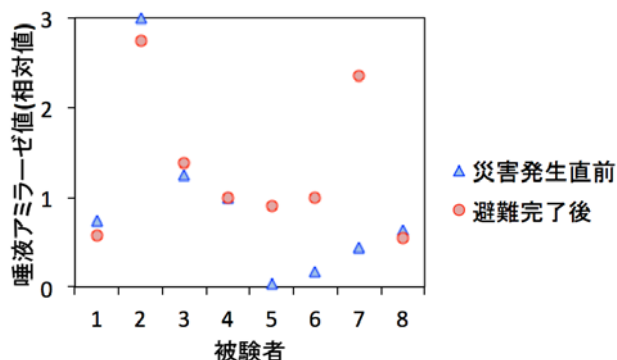


図 3. VR 災害体験による唾液アミラーゼ値の変化。唾液アミラーゼ値は平常時の VR 体験前の値に対する比率で表している。被験者 5, 6, 7 は災害発生直前△から避難完了後○にかけて値が上昇している。

次に、前述の「避難時に周辺群衆に追従する」という傾向に関連して、群衆がどの程度と同調性をもつと追従する可能性があるか検討するため、周辺群衆の進行方向に対する認知特性を検討した実験について報告する。前述の実験と同様の実験環境にて、新宿周辺の 3D 都市モデルデータ（©2016 ZENRIN CO., LTD.）上にランダムな方向に進行する歩行者群を発生させた。この歩行者群の一部を同一方向に歩行させたときに、その同調運動の方向に対する正答率を測定した。その結果、次の傾向が示された。第一に、群衆の約 30% が同一方向へ進行すると同調運動の方向を同定可能であった。第二に、正答率は群衆と観察者の位置関係により変化し、群衆と観察者の距離、観察者の視点の高さが影響した⁴⁾。他に、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も実施している。



図 4. 周辺群衆の進行方向に対する認知特性を検討した実験映像の 1 コマ（視点高さ 1.2m の条件）

3. 動画像解析により群衆の異常行動から被害を検知するアルゴリズムの開発

災害発生時の避難経路の確保のため、災害によつ

て生じた障害物を正確に把握することは重要である。そこで、監視カメラやドローンの映像から障害物を推定する手法を導出し、シミュレーション実験により有効性を検討した。

災害時には、様々なものが障害物となりうるため、予め具体的な障害物を想定して、それを画像認識により特定する手法は適切ではない。そこで、群衆の行動を解析し、その行動から障害物の場所を特定する手法を構築した。具体的には、監視カメラ等に映った群衆のオプティカルフロー（動き方向のベクトル）を計算し、そのオプティカルフローの分布により障害物の場所を検出する手法である。様々な状況の中で、様々な物体が障害物となりうることを想定し、深層学習を利用して障害物の検出を行う手法を構築した。図 5 のような歩行者 CG 映像を作成し、障害物の有無を判別する判別器を作成した。実験により、98% 以上の正解率を達成することを確認した。



図 5. 監視カメラ映像を想定した実験映像の 1 コマ

3. おわりに

次年度は、3 次元レーザースキャナにより取得したデータを利用して、VR 防災啓発訓練ツールの作成をおこなうとともに、その評価方法についても検討を進める。

謝辞

本稿に報告する実験は、工学院大学情報学部の高橋昇汰さん、高橋祐哉さん、飛山文音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) 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. 心理発達科学, 51, 9-33, 2004.
- 2) 市田, “地下空間での歩行者の避難行動と環境認知 - 実験による検証-,” 景観・デザイン研究講演集, No. 3, 13-21, 2007.
- 3) 加藤, 下園, 岡安, 個体行動特性を考慮したハイブリッド型群集津波避難シミュレーション, 土木学会論文集, B2-65(1), 1316-1320, 2009
- 4) 高橋, 福田, 3DVR 空間における歩行者群衆移動からの大域的運動検出特性と視点位置の影響, 映像情報メディア学会技術報告, 42 (7), 21-24, 2018

新宿駅西口地下街の避難出口に関する考察

新宿駅西口、地下街、避難出口、階段幅、浸水

境野健太郎*

村上正浩**

石田航星*

1. はじめに

超高層建築や広大な地下街等を有する巨大都市の中心市街地とその周辺地域では、首都直下地震や近年の異常気象に起因した集中豪雨による水害など、都市型複合災害への対策が喫緊の課題となっている。本学が位置する西新宿は、超高層ビル群に加え、世界最大規模の乗降客数を誇る新宿駅や広域に広がる新宿地下街、多くの外国人観光客など、75 万人とい

われる昼間人口以外にも多様な人々が集まるエリアである。このような地域で激甚災害が起きた場合、その群衆行動が適切に処理される必要がある。

本研究は、ビックデータを援用した群衆移動に伴う新宿駅周辺のハザード評価の基礎資料として、新宿駅西口の地下街を対象に、案内表示の状況と地上への避難出口の状況を確認するものである（図 1）。避難出口の調査結果を表 1 に示す。



図 1 新宿駅西口地下街配置構成図（Yahoo!地図を元に著者作成）

* : 工学院大学建築学部建築学科, ** : 工学院大学建築学部まちづくり学科

表1 新宿西口地下街の出口状況一覧

エリア	出口番号	接続先	階段形状	階段（通路）幅 mm			併設	利用可能時間	海抜
				下	中	上			
新宿駅 西口地下広場	1	小田急百貨店前	直線	3000	2910	2910			
	2	小田急百貨店前	直線	2930	2930	2930			
	3	京王百貨店前	直線	3000	2930	2930			
	4	京王百貨店前	直線	2900	2900	2900			
	5	京王百貨店前	直線	3000	3000	3000			
	6	ヨドバシカメラ前	曲折	3000	3000	3000			
	7	ヨドバシカメラ前	かな折れ	2890	2890	2890			
	8	明治安田生命新宿ビル前	直線	2420	2420	2420			
	9	明治安田生命新宿ビル前	直線	2420	2410	2410			
	10	明治安田生命新宿ビル前	直線+折り返し	2050	2040	1890		平日 8:00-19:00	
	11	バスターミナル16, 17	直線	2940	2940	2940			
	12	バスターミナル12, 14, 15	直線	2940	2940	2940			
	13	バスターミナル7, 8, 9, 10	直線	2960	2960	2960			
	14	バスターミナル1, 2, 3	直線	2940	2940	2940			
	15	バスターミナル16, 17	直線	2940	2940	2940			
	16	バスターミナル12, 14, 15	直線	2940	2940	2940			
	17	バスターミナル7, 8, 9, 10	直線	2930	2930	2930			
	18	バスターミナル1, 2, 3	直線	2930	2930	2930			
19	スバルビル	北 直線+折り返し（分岐）	2940	2970	1490				
20	新宿エルクア前	直線+折り返し（分岐）	5160	5160	5160				
A10	メトク飲食街	直線	3940	3940	3940				
A11	メトク飲食街	北 直線+折り返し（分岐）	2870	2870	1450				
A12	新宿駅西口地下広場	直線	14330	14330	14330				
A13	新宿駅西口地下広場	直線	6300	6300	6300				
A14	新宿駅西口地下広場	直線	2860	2860	2550				
A15	新宿駅西口地下広場	直線	5450	5450	4660	○	6:00-23:00		
A16	新宿駅西口地下広場	直線	5030	4990	4990		6:00-23:00		
A17	新宿駅西口地下広場	直線	3040	3040	2940		6:00-23:00		
A18	新宿駅西口地下広場	直線	1670	1670	1670				
B14	新宿駅西口地下広場	直線	5340	5340	5340				
B15	ユニクロ	-							
B16	小田急ハレク	-					6:00-終業時		
B17	ハスのりば 35, 36	曲折	3930	3930	3420				
B18	新宿エルクア前	折り返し	2480	2480	2420		6:00-23:00		
地下鉄 「新宿西口」駅	D1	ユニクロ	-						
	D2	141ビル	かな折れ+折り返し	2280	1210	1210	○		
	D3	新宿カード西交差点	折り返し+かな折れ	1950	1950	1620			
	D4	新宿第一アイルビル前	直線	1950	1950	1610			
	D5	新宿レイディビル	直線+折り返し	2510	1620	1610	○		
新宿駅 西口地下通路 （南側）	S-1	（階中） 永和ビル	-						
	S-2	8号線・新宿ビルディング前	曲折	2300	2300	1800			
	S-3	8号線・エスタック情報ビル前	曲折	2300	2300	1800			
	-	エスタック情報ビル	-						
	-	工学院大学	直線+折り返し	3870	1230	1200			
-	京王プラザホテル横	折り返し	1850	1850	1850				
新宿駅 西口地下通路 （北側）	N1	スバルビル	-						
	N2	モード学園カウンター	-						
	N3	モード学園前	曲折	2290	1810	1810			
	N4	新宿センタービル前	曲折	2350	2350	1800			
N5	新宿センタービル	-							
N6	新宿センタービル	-							
-	新宿三井ビル前広場	直線+折り返し	2320	1890	1900				

○：階段のみ、併設のESL幅は含まない ○：全区間設置 △：一部区間のみ設置

エリア	出口番号	接続先	階段形状	階段（通路）幅 mm			併設	利用可能時間	海抜
				下	中	上			
地下鉄 「都庁前」駅	B1	西口地下通路（南）に接続	直線	2000	2000	2000	○		
	B2	西口地下通路（北）に接続	直線	2010	2010	2010	○		
	A1	新宿駅西口方面地下道に接続	直線	3500	3500	3500		6:00-23:00	
	A2	都議会議事堂前	中空き	2000	2500	2490	△		
	A3	都議会議事堂前	中空き	4300	4300	6030	△	通常 8:00-21:30 開庁日 10:30-18:00 日曜日 8:00-18:00 年末年始 終日閉鎖	
	A4	東京都庁前	かな折れ+折り返し	4980	2050	3000	△	○	34.3m
	A5	新宿中央公園前	かな折れ+折り返し	3390	2010	3000	△	○	34.5m
	A6	（階中）	-						
	A7	タイムズアベニューに接続	直線	2090	2090	2090	○		6:00-23:00
	E1	東京都庁前	直線	1730	1730	1730	○		6:00-23:00
	E2	新宿住友ビル前	直線	4170	4170	4170	○		6:00-23:00
	E3	新宿住友ビル前	まわり	2890	2500	2500			6:00-23:00
	E4	小田急第一生命ビル前	まわり	2890	2490	2500			6:00-23:00
	E5	東京医大病院前	直線	1570	1570	1570	○		6:00-23:00
	E7	新宿警察署前	中空き	3000	1410	1630	△		6:00-23:00
	E8	住友不動産西新宿ビル前	折り返し	1320	1320	1320	○		6:00-23:00
	C1	東京都庁第一本庁舎	-						
	C4	ハイアットリージェンシー東京	直線	2990	2990	2990	○		
C5	（階中） 新宿住友ビル	-							
C6	小田急第一生命ビル	折り返し+かな折れ	2500	2000	4540				
C7	新宿アイランド	ESLのみ							
C8	ビルト東京	直線							
C10	新宿アイランド	-							
C12	野村不動産西新宿ビル前	折り返し	1600	1600	1600	○			
C13	新宿野村ビル前	直線+かな折れ	3380	3380	6310	△			
地下鉄 「西新宿」駅	1	野村不動産西新宿共同ビル前	かな折れ	4000	3030	3030	△		
	2	東京医大病院前	直線	4190	4190	4190	○		
	B	KFC前	直線	3000	3000	3000			
	C	みずほ銀行前	直線	3000	3000	3000			
	D	110ビル前	直線	3180	3000	3000			
	E	ヨドバシカメラ前	直線	3010	3010	3010			
京王モール	F	京王百貨店前	直線	3000	3000	3000			
	G	京王百貨店前	折れ	3000	3000	3000			
	1	（階中）	-						
	2	ミヤコ新ビル前	かな折れ+折り返し	4550	2990	3020			始発-23:00
	3	ファミリマート前	直線	2990	2990	2990			
	4	久保ビル	折り返し	2990	2990	3050			
	5	ヤマダ電機	折り返し	2100	2100	2100	○		
	6	新宿東海上自動車ビルディング	折り返し	2510	2510	2510			
7	甲州街道・8号道路交差点北東	直線	2980	2980	2980				
8	ワンズストリートに接続	直線							
ワンデー ストリート	D-1	甲州街道南側	中空き	5010	3000	3010	△		
	D-2	モリタビルディング前	かな折れ	3010	3010	2950	△		
	-	新宿フントホテル	かな折れ	5500	5500	6460			
-	新宿NSビル	東 かな折れ（分岐）	3290	7130	7130	△			
-	新宿NSビル	西 かな折れ（分岐）		6510	6080				
シーズン ロード	S1	西新宿二丁目交差点	直線	3030	3030	3030			
	S2	KDDIビル前	直線	2000	2000	2000			
	S3	新宿モノリス前	直線	2740	2420	2420			
	S4	新宿モノリス広場	北 直線+折り返し	4000	4000	8400			
	-	京王プラザホテル入口	南 かな折れ（分岐）	3850	3310	1980			

2. 地下街の避難出口の状況

新宿駅西口地下には、東西・南北に地下街が延び都市の回遊性が高められる一方で、地上の様子が把握しづらく、震災時の照明の消失や天井の落下、ガラスの飛散、水害による浸水の際に、群衆を安全に誘導するための計画が求められる。

新宿駅西口地下広場や京王モールには、近い距離に地下から地上への出入口が複数設けられているが、地上の歩道幅が狭く建物が迫っている箇所も多い。商業施設や鉄道駅からの群衆の移動を考慮すると、安全な誘導計画が求められる。西口バスターミナルは周囲の建物から距離が離れているため、上部からの落下物への安全性は確保されるが、バスターミナル内に人が溢れる場合は、却って危険が増すおそれもあり、誘導計画を検討する必要がある。

地下鉄「新宿西口」駅方面の出入口は、通路幅の狭い箇所が多く、混乱が生じやすい。改札まわりや地下街に比較的スペースがあるが、新宿駅西口より海抜が低いため、浸水状況などのシミュレーションによる詳細な検討が必要となる。

京王モールアネックス、ワンデーストリートは地

上への出入口が離れている。地上の海抜は高いが、地下通路内には深く下がる場所もあり、円滑な移動のために地下道内での浸水対策が求められる。

シーズンロードの出入口には、幅が狭く、傾斜が急な箇所がある。新宿モノリスや京王プラザホテルには地下道に接続する広場が設けられているが、滞留できる人数には限りがあるため、群衆行動の詳細なシミュレーションが必要である。

地下鉄「都庁前」駅やタイムズアベニューには、夜間に閉鎖となる出入口がある。一方、周囲の建物からの連絡通路も多く、東京医大病院とも繋がるため、安全な誘導が求められる。地下鉄「都庁前」駅周囲は海抜が低いため、浸水への対策も求められる。

3. おわりに

次年度以降に、浸水状況、地下街出口の安全性、停電時における地下街の状況把握（ガラスの飛散、天井の落下、照明の消失など）等の調査を行い、避難シミュレーションや教育用ソフトウェアの開発に向けた検討へと繋げていく予定である。

大都市中心部に位置する木造密集市街地の地域変化

木造密集市街地，地域危険度，不燃化推進特定整備地区
建替え， 除却

藤賀 雅人*

1.はじめに

大都市中心部はターミナル駅周辺をはじめとした商業・業務地域とともに、その外部に位置する住宅地での対応も重要となる。殊、東京都の防災力向上に向けては、山手外周に位置する木造密集市街地を対象とした不燃領域率の向上、骨格道路整備や防災公園整備が展開されており、面的整備となる再開発事業から、点的整備となる個別の老朽建築物の更新に至る多様な手法による防災まちづくりが進められている。近年では、重点密集地域内に不燃化推進特定整備地区（以下、不燃化特区）が指定され、集中的な施策が展開されている。これにより、大都市中心部に位置する西新宿、東池袋、渋谷区本町といったターミナル駅近郊の住宅地や十条駅、大山駅、曳舟駅といった沿線の核となる駅舎整備と再開発事業を導入する地区も見られており、ターミナル駅周辺と住宅地の連携を視野にした防災対応の必要性が高まっている。

ここでは、住宅地における防災まちづくりの現状把握を進めるため、大都市中心部に位置する木造密集市街地の整備動向を把握することで、オールハザード対応キットに求められる社会状況の把握を進めることとする。

2.不燃化特区における防災まちづくりの実態

現在、東京の防災まちづくりでは「木密集地域不燃化 10 年プロジェクト」が掲げられ、木造密集市街地の不燃化を目的とした施策が展開されている。ここでは 2020（平成 32）年度を目標期限として、対象地区の不燃領域率 70%の実現、延焼遮断帯となる対象計画道路の 100%整備が指針として示されている。こうした目標の内、不燃領域率向上を実現するための手法として、骨格道路や再開発等のコア事業と不燃化特区内の建替え助成制度が設定されている。

各区・地区の特性が表れやすい、不燃化特区の助成内容をみれば、除却費用では各区の判断基準から細分化がなされ、特別区が設定する助成金額の開き

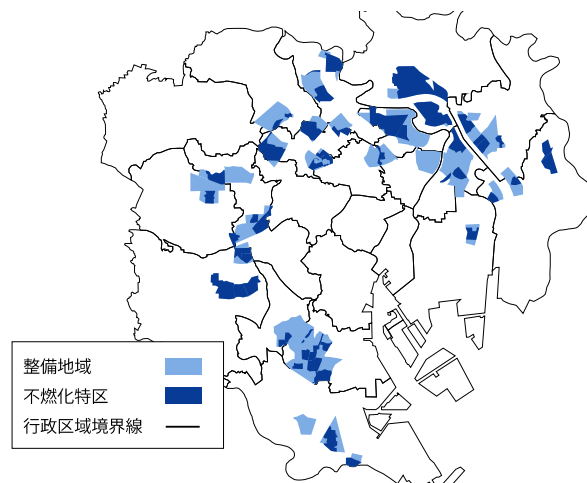


図 1. 不燃化推進特定整備地区の分布



写真 1. 東池袋地区

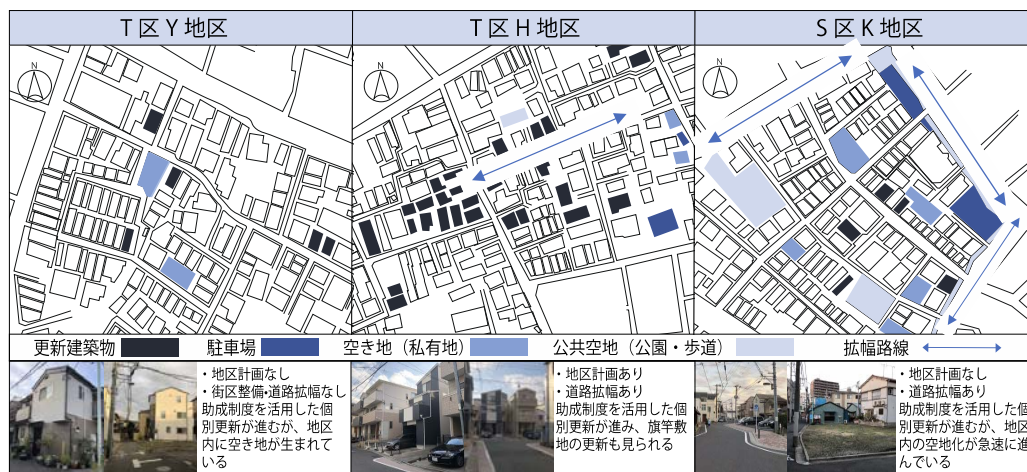
写真 2. 西新宿地区

が大きなものとなっている。特に、従前の除却基準を踏襲する区では、助成額が著しく低く設定されている。一方、設計費助成では東京都の示した金額に沿った活用がなされ、助成額の差も小さいものであったが、敷地形態・建築形態や建設後の用途等、助成対象の設定に対する違いが確認された。また、除却・設計費助成を個別で適用する区と、建替えを念頭にセットとして活用する区に分かれており、実態的な課題から、余条件を加算方式で示す独自の運用を行うケースも見られている。

こうした制度導入の違いは、更新意欲と共同住宅の受容に対する違いから来るものであるが、大都市中心部の事例を見れば、西新宿、東池袋では再開発事業の計画はあるものの、建替えに対しては共同住宅等を認めておらず、大規模開発と個別建築物の二極化を進める計画となっている。大山駅、曳舟駅周

* : 工学院大学建築学部まちづくり学科 助教

表 2. 不燃化推進特定整備地区における空間変化



されていない。不燃化特区による助成は拡幅道路に面さない場所で適用されており、拡幅道路隣接敷地では助成を活用しない除却や駐車場化が進んでいる。実態として公共空間、私有地の空き空間が地区に過度な空洞化を生んでいる。

辺でも同様の制度運用がなされており、こうした高層建築物と戸建て建築物の住まいに対する対応検討が、今後の大都市周辺部の防災まちづくりの前提となりつつある。

3. 不燃化特区における市街地環境の変化

実際に個別建物の更新による市街地の変化を見れば、更新の行われた建築物は鉄骨造の3階建て若くは2階建ての準耐火構造の個人住宅が多く、東京都及び各区の設定する最低基準を満たすものとなっている。特徴的な更新状況としては、従前の木造密集市街地整備と助成制度の関係が必ずしもないことから、地区計画等の規制誘導が設定されていない地区、特定の道路拡幅を進める地区、再開発事業を含む地区などがある。T区Y地区のように、地区計画の指定や道路拡幅による整備が計画されていない場合、接道条件と前面道路幅員を満たす状況であれば助成制度が適用されるものとなっている。こうした地区では点的に建替えが進む状況が見られている。その一方で、T区H地区では防災生活道路整備による道路拡幅が行われ、隣接する街区で集中的な更新が進んでおり、ここに不燃化特区による助成適用物件もみられている。こうした更新の進む街区内では接道敷地の建物と旗竿敷地を同時に更新する例も見られており、個別の建替えを基本に無接道敷地の解消が進む状況も見られている。ヒアリングからは、道路拡幅に伴う建替え助成の適用を重点的に周知することが確認されており、地区計画を前提としたエリア全体で助成周知を行う地区と状況が分かれている。こうした中、S区K地区の動向は特異で、地区内で道路拡幅事業が展開されるが、地区計画の指定はな

以上のように、木造密集市街地の個別更新からくる環境変化は①点在建替え型、②集中建替え型、③隙間発生型に別れている。こうした状況から防災力向上に向けて、(i)個別更新を進めることを前提としつつも、更新後のビジョン形成と規制誘導計画策定に向けた支援が必要である地域。(ii)空き地化した敷地をまちづくりに活用する検討が必要となる地域。(iii)急激な市街地変化後のソフト面での防災対応を再構築する必要がある地域が確認された。

4. おわりに

以上のように、本年度は木造密集市街地を中心に東京都の防災まちづくりの展開と市街地の変容実態、これらから認識される防災まちづくりの課題を把握した。次年度は、本年度確認された市街地変化に対応したソフト面での防災まちづくり及び防災教育の事例展開を行うとともに、住宅地での防災まちづくりとターミナル駅周辺での対策とを連動性させるための検討を行う。

参考文献

- 1) 二橋舜輝, 藤賀雅人「不燃化推進特定整備地区における建替え助成制度の運用実態」日本建築学会関東支部研究発表会, 2018. 3
- 2) 大井雅代, 藤賀雅人「郊外住宅地の密集市街地整備に対する事業変更と協議体制の関係性に関する研究-川口市芝地区における土地区画整理事業解除後の動向に着目して-」日本建築学会関東支部研究発表会, 2018. 3
- 3) 藤賀雅人「オーダーメイドの再開発をどこまで進められるか」再開発コーディネーター, No. 192, p. 1, 2018. 3

3次元レーザースキャナにより取得した計測データのVR環境への利用について

3次元レーザースキャナ, 点群データ, ポリゴン, VR

石田航星*

1. はじめに

VRアプリケーションの開発において、その質を左右する重要な要素に建築物や点景の「3次元モデル」を精緻に作り込むことがある。これは、本事業において開発を目指す防災の教育用VRアプリケーションにおいても同じである。3次元モデルの作製は、建築分野においては Revit や ArchiCAD などの BIM ソフトウェアを用いて作成することが多いが、既存の建築物の 3次元モデルの作製においては、3次元計測技術を活用し、現実中存在する建築物の形状を計測したデータを用いて、仮想空間に建築物の形状を再現することも多い。本報では、既存の建築物の 3次元形状を 3次元レーザースキャナにより取得した点群データから作成する方法について述べる。

3次元計測技術にはいくつかの種類があり、3次元レーザースキャナと写真測量が主要な 2種類である。3次元レーザースキャナは広範囲を精緻に計測することに秀でているが、計測に際して専用の機器を必要とし、分析においても専用のソフトウェアを必要とする。写真測量は専用のソフトウェアが必要であるが、写真自体は市販のデジタルカメラやスマートフォンで取得した画像を使うことができる。

防災に関する教育用VRアプリケーションで再現する環境は建物内部を想定しており、屋内の形状の計測を精緻に行うことが出来る 3次元レーザースキャナを利用することとした。2017年度中に Faro 社より 3次元レーザースキャナを購入し、校舎内の計測を行った。取得したデータを用いて、各種図面の作成や、VR アプリケーションへの転用方法について、手順を整理したうえで、マニュアルを整備している。本報においては、3次元レーザースキャナにより取得したデータを VR アプリケーションとして利用した事例について紹介を行う。

2. 既存建築物の 3次元モデルの作製方法

2.1. 3次元レーザースキャナにより取得したデータの分析手順

3次元レーザースキャナにより取得した点群データから、計測対象のポリゴンデータを作成し、VR ア

プリケーションを作成する手順と利用したソフトウェアの一覧を以下の表 1 に示す。また、計測と処理の概念図を図 1 に示す。

表 1 本報における計測と分析の手順

	処理手順	本報での利用機器・ソフトウェア
1	3次元レーザースキャナを用いて計測	Faro Focus S150
2	取得データの統合・ノイズ処理	FaroScene
3	点群データのポリゴン化	FaroScene
4	変換処理	Meshlab
5	VR アプリケーションへの読み込み	Unity

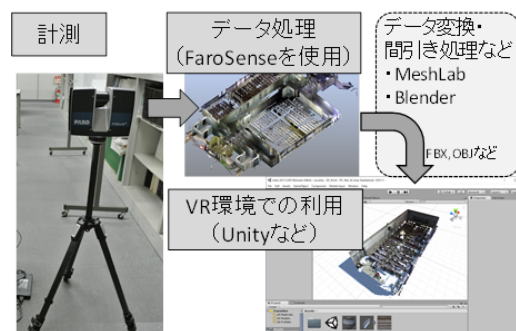


図 1 計測と分析の手順

2.2. 3次元レーザースキャナの諸元

本報で紹介する事例では工学院大学ブランディング事業で購入した 3次元レーザースキャナを用いる。以下に、諸元を示す。

表 2 3次元レーザースキャナの諸元

製造会社 (型番)	Faro 社 (Focus S150)
計測範囲	0.6~350m
測定速度	97.6 万点/秒 (最大値)
重量・サイズ	4.2Kg 230 x 183 x 103mm
センサ類	GPS、方位計、2軸補正センサ等

3. 大規模な計測データの取得

前述した 3次元レーザースキャナを用いて、複数の居室に区切られた空間の計測を行った。新宿キャンパス高層棟 5階を対象とし、全 18か所で計測を実

施した。計測は 2018/2/23 に実施し、計測時間は機器や球ターゲットの設置を含め、延べ 4 時間かかっている。計測終了後、速やかに点群データの処理を実施した。データ読み込みからターゲットの検索、統合、ノイズ処理、ポリゴンモデルの作製に至るデータ処理全体で延べ 5 時間かかっている。

以下の図 2 に取得した点群データの全体像を示す。図 2 の点群データは約 4 億点の点群で構成されている。図 3 は図 2 の点群データの細部を示す。また、図 4 に示すように点群データから天井部分のみを抽出し、水平面に投影した図を作成した。天井伏図に相当する図の作製が行えることを確認した。

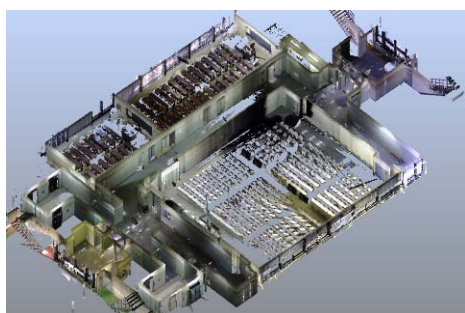


図 2 取得したデータの全体像



図 3 取得したデータの細部

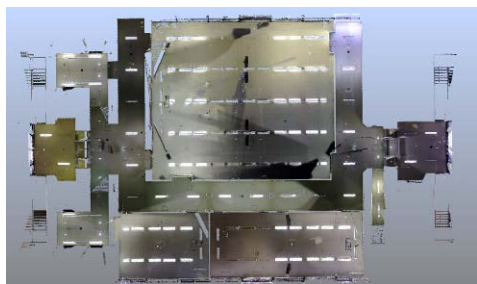


図 4 点群データから作成した天井伏図

4. 3次元でモルのVR開発環境への読み込み

本報で取得した点群データを元に、計測対象の状況を VR 空間上で観察するアプリケーションを作成した。利用した点群データを図 5 に示す。前述したように取得した点群データをポリゴンデータに変換して、VR アプリケーションの開発環境である Unity に読み込む。両ソフトウェア間でのデータのやり取りには OBJ 形式を採用した。ただ、OBJ 形式にはい

くつかの種類が存在し、FaroScene は頂点座標における色を RGB で示す形式で OBJ ファイルを出力するが、Unity は OBJ 拡張子の元ファイルからは形状データのみを取得し、色情報は MTL ファイルに紐づけされた画像ファイルをテクスチャとして貼り付ける形式を採用している。そのため同一の OBJ ファイルであるが、データの変換が必要となる。本報では MeshLab を利用してデータの変換を行った。

このデータを Unity に取り込み、屋内を 1 人称視点でウォークスルーにより閲覧するアプリケーションを作成した。読込んだポリゴンデータは約 330 万の三角形で構成されている。非常に重いデータだが、高性能ではない PC (Windows 7, CPU:Corei7-3840QM, メモリ:16GB, グラフィックカード:HDgraphics 4000) でも、発行ファイルを起動し、閲覧することが出来た。図 6 に写真とポリゴンデータの比較を示す。



図 5 利用した点群データ

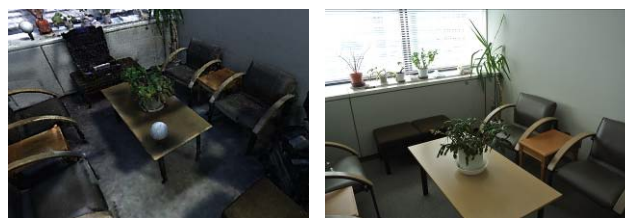


図 6 Unity に読込んだ 3 次元モデル（左）と
同一個所の写真（右）

5. おわりに

2017 年度においては 3 次元レーザースキャナを用いた計測と、取得したデータを VR 開発環境に利用する方法について整理した。これにより VR アプリケーション上で用いる 3 次元モデルを作成する環境の整備が完了した。

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 既存超高層の骨組の地震時損傷評価

超高層 制振ダンパー 長周期地震動
 低サイクル疲労 活断層近傍地震動

山下哲郎* 久田嘉章**
 青木花子*** 中西真子**** 林千尋*****

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」は、都心部で昼間に膨大な人数が勤務するオフィスとして用いられる鉄骨造高層建築と、避難所となる体育館を主な研究対象とする。

近年、都市部の高層オフィスビルでは地震後の事業継続性や帰宅困難者等の対策が急務である。これに関連し、特に超高層建築では、東京都が 2016 年に新しい構造設計指針¹⁾を示し（表 1）、耐用年数内に発生する可能性のある稀な地震動（L1）での使用継続性と、極稀な地震動（L2）でも修復を可能とする高い耐震性を求めた。また、L2 の 1.5 倍の L3 レベルも新たに加え、倒壊余裕度を検証することも求め、従来の建築基準法より高い耐震性能と要求している。

したがってここでは、工学院大学新宿校舎を例に、様々な特徴・レベルを持つ地震動に対する建物の応答を求め、構造体だけでなく非構造材も含めて大地震後の損傷を予測・評価し、補強の必要性やその方法・効果を検討する。

新宿校舎は高さ 127m、29 階建の鉄骨造超高層で（図 1）、1989 年の竣工であり、兵庫県南部地震（1995）以降急速に発展した振動制御技術は用いられていない。具体的には

- 1) 制振ダンパーは設置されていない。
- 2) 設計時に使用したコンピュータの性能は現在より格段に低く、簡略化した質点系モデルを用いた地震応答解析が行われている。
- 3) 入力地震動はいわゆる標準 3 波と呼ばれる観測波で、現在設計に用いられる告示波は用いず、最大入力レベルは L2 程度である。
- 4) 兵庫県南部地震で多数生じた梁端溶接部の破断を受けて開発された溶接部ディテールの改良案や、高靱性を保証する鋼材（SN 材）は使用されていない。
- 5) 天井、設備等非構造材に関する耐震設計は行われていない。

このように、大臣認定を受けて建設された超高層でも、現在要求される耐震性は満たさない可能性があるため、2017 年度は耐震性を各種の解析により評価・検証する。具体的には

① 3次元モデルの精密化と入力地震動の多様化

建物全体の解析を行う 3次元構造モデルにおいて、今まで考慮していなかった柱の塑性化を新たに考慮し、解析精度を向上する。また熊本地震で観測された長周期成分を含む地震動（西原波）など、L3 レベルの地震動に対する応答を観察する。

② 低サイクル疲労による梁端部破断リスク試算

梁端部の低サイクル疲労による破断条件式を用い、新宿校舎の梁端部の破断リスクを試算する。

③ H形鋼ブレースの地震時損傷評価

鉄骨のブレースは座屈部のひずみ集中により破断する可能性が指摘されている。新宿校舎に多用されている H形鋼ブレースの破断リスクを試算する。

表 1 東京都臨海部に建設される超高層建築物等の設計目標¹⁾

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	最大層間変形角	層の最大塑性率	
中地震 (L1)	既往波 (25cm/s) 告示波 (稀)	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
大地震 (L2)	既往波 (50cm/s) 告示波 (極稀) サイド波 (個別・包絡) (長周期地震動を考慮)	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
極大地震 (L3)	告示波 (極稀) の 1.5 倍程度 (長周期地震動を考慮)	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形状を把握した上で判断)			

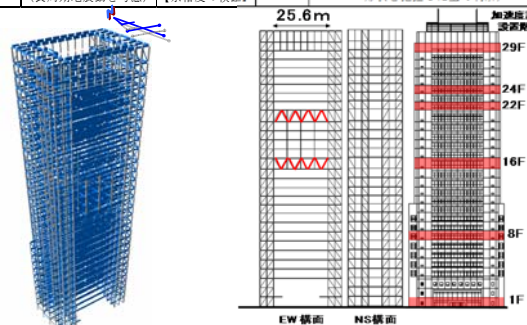


図 1 新宿校舎構造概要

* : 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,
 *** : 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

2. 研究成果概要

2.1 高層ビルの地震応答とダンパー補強効果

1) 概要

表 1 を鑑み、2017 年度は様々な特徴をもつ L1~L3 地震動を新宿校舎の 3 次元モデルに入力してその応答レベルを確認するとともに、文献 2) の手法を参考に効率的な配置としたオイルダンパー補強案の応答解析を実施し、その効果を検証した。

2) 入力地震動

表 1 に示した指針を参考に L1~L3 地震動を設定した。特に東京都心部で想定される様々な地震動を念頭に、まず M7 級の首都直下地震などを想定した「標準型地震動」として El Centro 波 (L2) と告示スペクトルとランダム位相を使用した告示波³⁾ L1~L3 地震動を用いる。次に「長周期・長時間型地震動」として、新宿校舎で観測した継続時間が 500 秒を超える 311 地震と 2004 年紀伊半島沖地震 (M7.4) の位相スペクトルと継続時間、告示スペクトルを使用した L1~L3 地震動 (以下、311 告示 L1~L3 と紀伊告示 L1~L3⁴⁾) を用いる。最後に活断層による震源近傍地震動を含む観測記録を L3 地震動として用いる。具体的には 1995 年兵庫県南部地震時に JR 鷹取駅で観測された地震動 (以下、鷹取) および、2016 年熊本地震時に西原村で観測された地表地震断層による地震動 (以下、西原) である。ちなみに首都圏都心部では、熊本地震のような地表地震断層が近い将来活動することは考えにくいと、活断層を考慮した L3 地震動、特に西原はあくまで参考波の扱いとする。図 2 に各種地震動による速度応答スペクトル (減衰 5%)、図 3 に加速度波形を示す。

3) 新宿校舎の応答と制震補強のケーススタディ

図 4 に無補強の新宿校舎立体モデル (D00) の最大層間変形角を示す。表 1 では L2 規模で最大層間変形角を 1/100 以内に抑えることが設計目標とられているが、上回っている階が見受けられる。また、L3 規模では 1/100 を超え 1/75 程度であり、特に EW の西原の下層階では、1/30 と大きな応答を示している。

次にブレース型オイルダンパーで補強する案を図 5 に示す。ダンパー配置は文献 2)、4)、5) の方法を参考に以下のプロセスで定めた。

1) 立体モデルを用い、剛性ゼロの疑似ブレースをダンパー設置可能位置全てに設置したモデルを作成し、Ai 分布を外力分布とする弾性解析を実施する。

2) 層間変形と疑似ブレースの水平変形の値が大きな

層は制振効率が良いため⁴⁾、ダンパー設置階の候補とし、出来る限り少ないダンパー本数で、L2 規模地震動で最大層間変形角が 1/100 以内となるダンパー配置を定める。この補強案を基本モデルである D44 (ダンパー総数 44 本) とする。

3) さらに D44 からダンパー総数を増大させ、余裕度を見込んだモデルとして本数が D44 の 1.5 倍である D64 モデル、2 倍の D88 モデルを作成する。

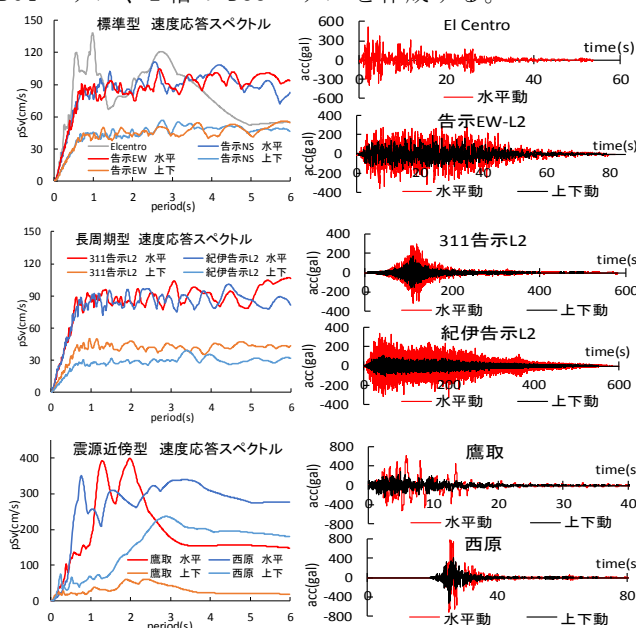


図 2 速度応答スペクトル
($h = 0.05$)

図 3 入力地震動

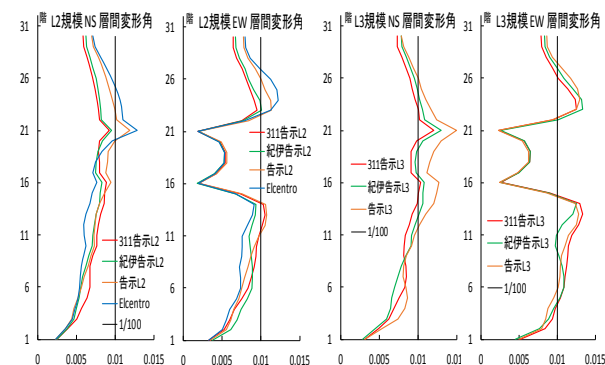


図 4 無補強 (D00) の最大層間変形角

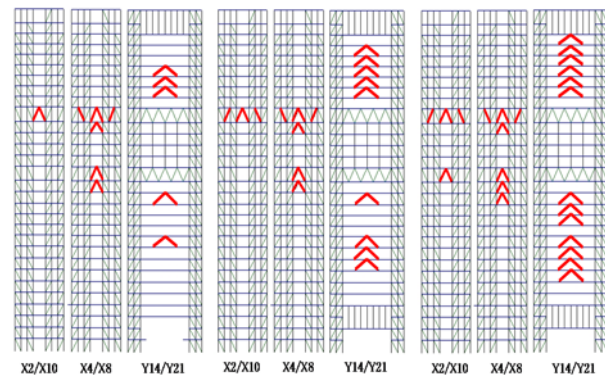


図 5 ダンパー補強モデル (左から D44, D66, D88)

図 6 に L1 地震動による最大加速度を示す。D00 では上層階で 200cm/s/s を超えている階が見受けられるが、D44 では全層で 150cm/s/s 程度以下となった。また、最大層間変形角は 1/200 以内となり、D44 で設計クライテリアを満足する。

図 7 に EW 方向の L2、L3 地震動の最大層間変形角を示す。L2 地震動では、D44 で 1/100 以下となり、設計クライテリアを満足する。また、L3 地震動を含む全ての地震動において、ダンパー数を増やすことにより最大応答値の低減が見られる。

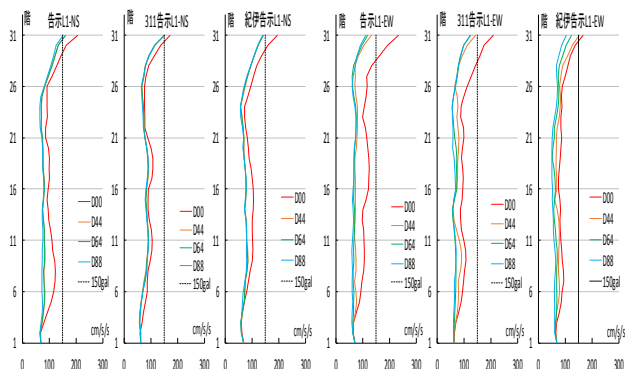


図 6 L1 地震動に対する最大応答加速度

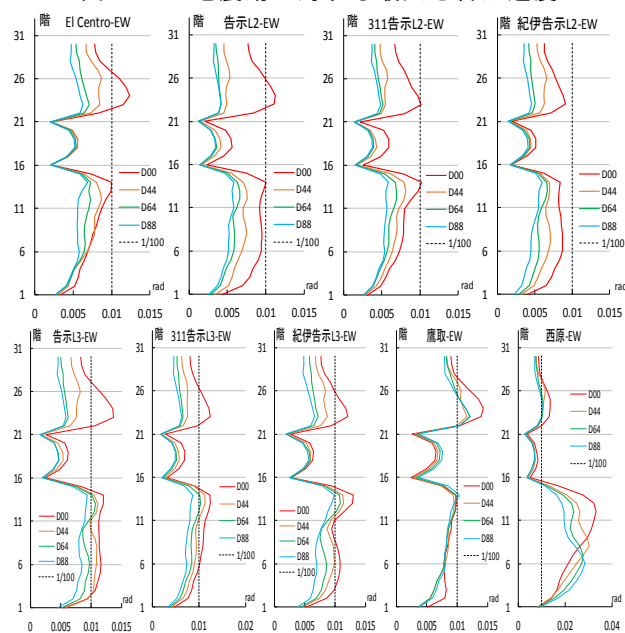


図 7 EW 方向における最大加速度（上 L2、下 L3）

2.2 地震時の梁端部の破断リスク評価

1) 概要

2017 年度は、マイナー則をもとに、地震時の梁端部の低サイクル疲労による破断リスクを試算した。なお、評価にあたり、前述の 3 次元モデルによる解析で得られた部材の応答履歴を用いた。

2) 塑性率による評価

最初に、文献 6) で示されている手法を用いて、塑性率 μ による評価を行った。評価には以下の式 (1) ⁶⁾⁷⁾ を用いて、ある塑性率振幅 μ_i に対する繰返し数 n_i と式 (2) により定める疲労寿命 N_i との比である疲労損傷比 $D_i (=n_i/N_i)$ を塑性率振幅毎に求め、その和である疲労損傷度 D を算出する。疲労損傷度 D が 1 に達したときに破断に至ると考える ⁶⁾⁷⁾。

$$D = \sum D_i = \sum \frac{n_i}{N_i} \quad (1) \quad N_i = \left(\frac{C}{\mu_i} \right)^{\frac{1}{\beta}} \quad (2)$$

β は式 (2) の勾配、 C は梁端部の接合形式に応じて定める値で、いずれも実験に基づき定められる ⁶⁾。想定地震動は El Centro 波、鷹取、311 告示 L2・L3 とし、前述の D00、D44、D88 について評価を行った。評価対象梁位置を図 8 に、評価結果を図 9 に示す。D00 の 311 告示 L3 にて 7 階梁の D が最大値 0.75 となったが、1 を超えるものは見当たらない。

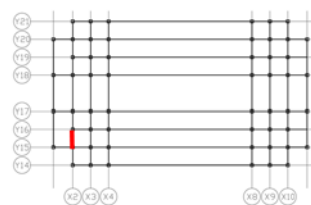


図 8 評価対象梁位置

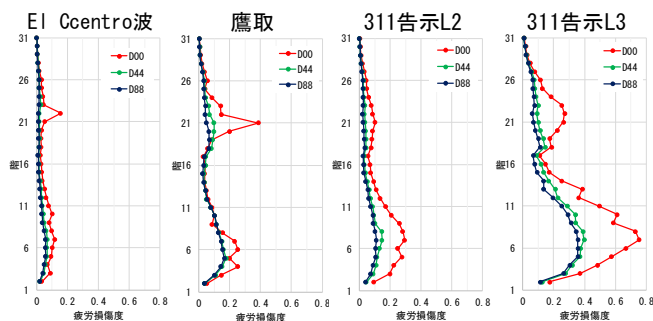


図 9 塑性率による疲労損傷度評価

しかしながら、新宿校舎の梁は鉄骨梁に床スラブが取り付けいた合成梁である。床スラブが取り付けることにより中立軸が上昇し、下フランジの歪が増幅される影響が塑性率による評価法で考慮できているか不明瞭である。そこで、次は下フランジの歪に着目した評価を試みる。

3) 歪による評価

下フランジの歪に着目した評価法の考案のため、有限要素解析ソフト MarcMentat2013（以下、Marc）⁸⁾ を用いて文献 ⁹⁾¹⁰⁾ による実大実験の試験体をモデル化して追解析を行い、塑性率 μ と、下フランジのスカラップ底（柱梁接合部から 35mm）のフランジ軸方向全歪

（以下、全歪） ε との関係を選めた式（3）。なお、 ε_p は降伏歪の計算値である。

$$\begin{aligned} \mu &= 50\varepsilon - 0.7 \quad (\varepsilon < -0.8\varepsilon_p) \\ \mu &= 500\varepsilon \quad (|\varepsilon| \leq 0.8\varepsilon_p) \\ \mu &= 50\varepsilon + 0.7 \quad (\varepsilon > 0.8\varepsilon_p) \end{aligned} \quad (3)$$

ここで、Manson-Coffin 型の塑性率を評価パラメータとした鋼材の低サイクル疲労破断式である式（4）⁶ を示す。

$$\mu = CN_i^{-\beta} \quad (4)$$

式（3）に示す塑性率と全歪の関係を式（4）に代入し、全歪の値から破断寿命の N_i を計算する。

次に、前述の塑性率による疲労損傷度評価を行った梁について、式（3）（4）を用いて下フランジの歪による疲労損傷度の評価を試みる。

試算対象は、塑性率による疲労損傷度評価を行った梁の中で、総合的に高い疲労損傷度がみられた 7 階の梁である。この部位は、溶接組立箱形断面柱（□-522×522×36）に溶接組立 H 形断面梁（BH-600×300×19×28）が接合され、厚さ 130mm の床スラブが取り付けられている¹¹。

図 10 に解析モデル概要を示す。鋼材およびコンクリート強度は構造計算書¹¹に準じて設定し、応力-歪関係は降伏後の二次勾配が $E/100$ のバイリニア型とした。地震時の入力として梁モデル先端の加力点に強制変位の時刻歴を与えた。強制変位には、3次元モデルによる解析から得られる梁端の相対回転角に梁長さの $1/2$ を乗じて作成した加力点位置での梁相対変位を用いた。

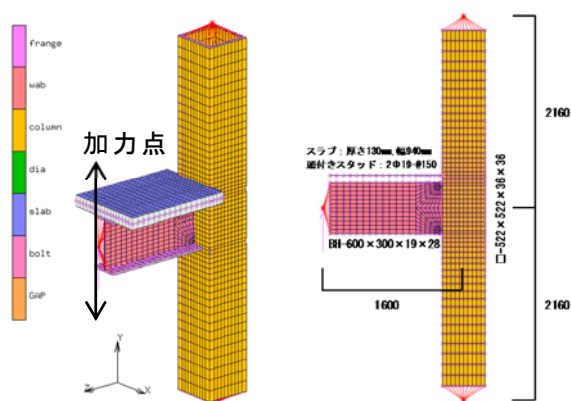


図 10 有限要素解析モデル

以上の条件で、想定地震動を El Centro 波、鷹取、311 告示 L2・L3 とし、D00 について、歪による疲労損傷度評価を試みた。

解析結果の荷重-変形関係を図 11 に示す。各想定地震動による疲労損傷度の値は、El Centro 波：0.106、

鷹取：0.178、311 告示 L2：0.164、311 告示 L3：0.489 であった。いずれの場合も疲労損傷度は 1 を超えることはなく、破断の危険は少ないと考えられる。

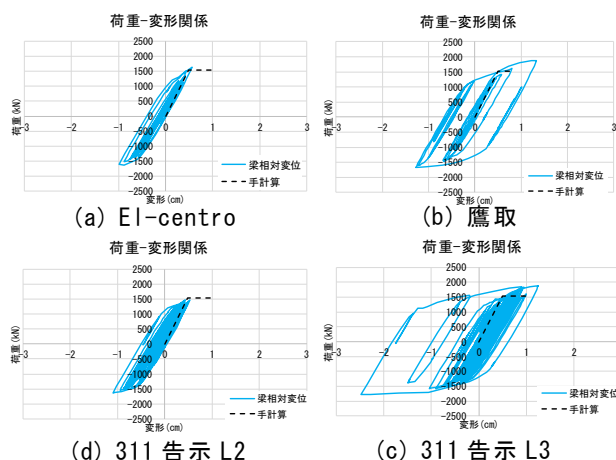


図 11 有限要素解析の荷重変形関係

2.3 H 形鋼ブレース局部座屈部の破断リスク評価

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有限要素法で解析し、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。

2) 評価手法

破断リスクの評価には、文献 12) 及び 13) で用いられている Manson-coffin 式を用いる。有限要素解析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 $\Sigma \Delta \varepsilon_{hp}$ 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（6）の Manson-coffin 式と比較し、式（6）の直線を超えたら破断が生じると考える。

$$\Sigma \Delta \varepsilon_{hp} = 3857 \times (\overline{\Delta \varepsilon_{hp}})^{-1.13} \quad (6)$$

塑性歪振幅 $\Delta \varepsilon_{hp}$ の定め方^{12, 13}) を図 12 に示す。

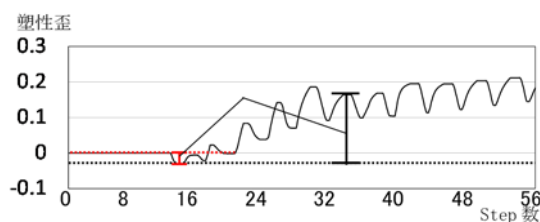


図 12 塑性歪振幅の定め方

3) 解析対象及び解析モデル

Y14 通り X3-X4 間 12 階（以下、12 階ブレース）、X2 通り Y14-Y15 間 13 階（以下、13 階ブレース）、X2 通りの Y14-Y15 間 21 階（以下、21 階ブレース）の 3 つの H 型鋼ブレースを解析対象とする（図 13）。

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他を表 2、3 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 14、15 に示す。

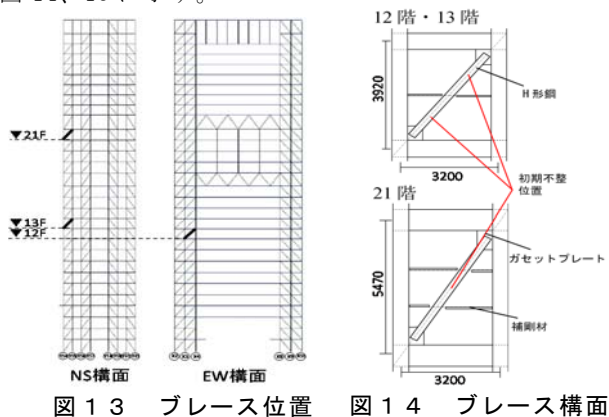


図 13 ブレース位置 図 14 ブレース構面

表 2 ブレース断面

試験体名	全体(mm)		断面(mm)		厚さ(mm)		断面積(mm ²)	縦長比		幅厚比 B/2t _v
	幅	高さ	幅	せいH	ウェブ	フランジ		ウェブ	フランジ	
12F	2725	3320	250	250	16	19	13196	20.9	26.8	6.58
13F	2694	3320	250	250	9	14	9124	19.8	26.8	8.93
21F	2706	4870	250	250	9	14	9124	24.9	29.7	8.93

表 3 鋼材強度など

試験体名	鋼材種類	ヤング係数 (N/mm ²)	降伏強度 (N/mm ²)	ポアソン比	ボルト鋼種	ねじの呼び	2面摩擦(kN)	ボルト本数		ボルト耐力 (kN)
								ウェブ	フランジ	
12F	SS400	2.05 × 10 ⁵	235	0.3	F10T	M20	377	6	8	8284
4								6	6032	
4								6	6032	

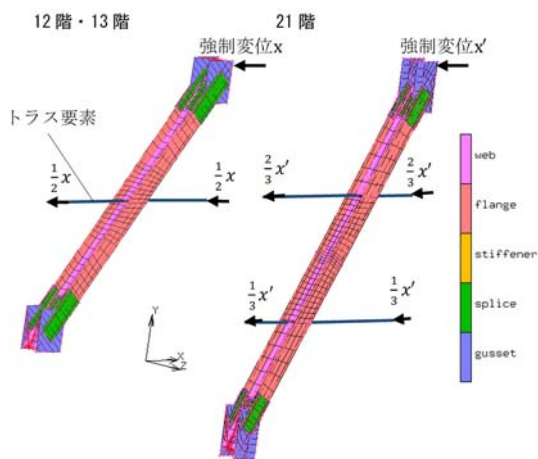


図 15 有限要素モデル

4) 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)による応答層間変位時刻歴を、解析モデル頂部節点に水平方向強制変位として入力し解析を行う。入力波形を図 16 に、解析結果（座屈状況）を図 17 に、破断予測を図 18 に示す。

図 18 より、311 告示 L3 と鷹取を想定地震動とした際に 21 階ブレースで破断の可能性が高いという結果

を得た。311 は継続時間が長い長時間・長周期地震動であるため、低サイクル疲労による累積塑性歪の値が大きくなる。また、活断層型でも鷹取と西原を比較すると、西原の方が最大振幅は大きい、鷹取は振幅の大きい波が連続し局部塑性歪の変動時間が長いため、累積塑性歪の値が増える。従って、鷹取のような比較的短周期・短時間の地震動でも破断に至る危険がある。

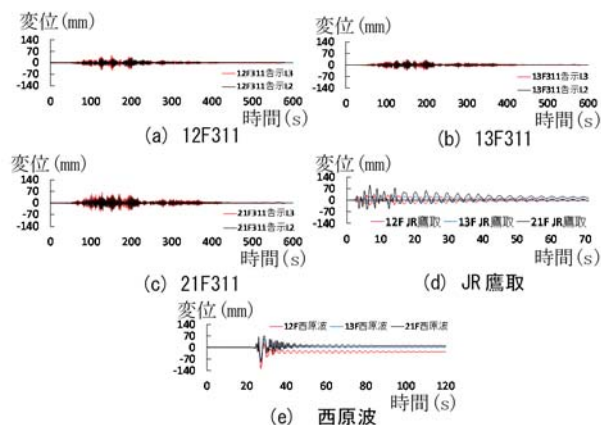


図 16 ブレース構面層間変形時刻歴 (D00)

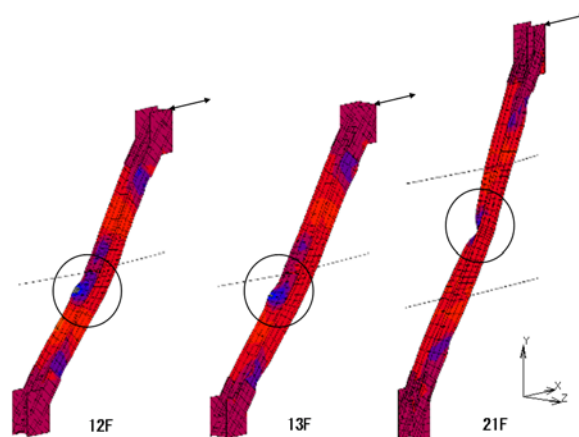


図 17 ブレース座屈状況（倍率 1 倍）

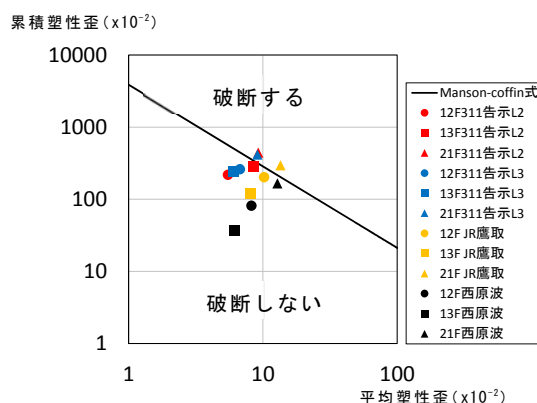


図 18 D00 における破断評価の結果

5) ダンパー補強効果の検証

次に、解析モデル (D44) による応答変位を解析モ

デルに強制変位として入力し解析を行う。各階の入力波形を図 19 に、部材の疲労破断予測を図 20 に示す。ダンパー設置により全体的に塑性歪が小さくなるが、311 告示 L3 では D44 においても破断の危険が懸念される。図 18 より、図 16 に示す波形と比較すると応答変位は減少しているが 311 は継続時間が非常に長く累積塑性歪を抑えきれないため、破断の危険は高いままである。

今後の課題として、破断を防止するために、補剛材の本数を増やす、座屈拘束化など、破断の原因となる局部座屈を防止する補強の検討が必要である。

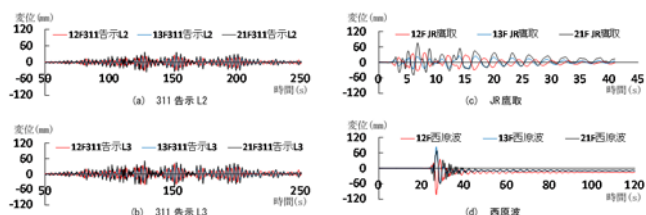


図 19 ブレース構面層間変形時刻歴 (D44)

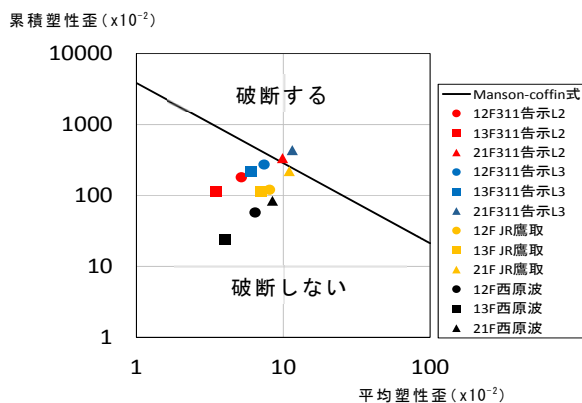


図 20 ダンパー付モデル (D44) の破断評価

3. まとめ

2017 年度においては、

- 1) 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。西原波のような長周期成分を含む大振幅の地震動に対しては、下層階に非常に大きな変形が生じることが判明した。
- 2) 1) の解析結果を用いて部分的な有限要素解析を実施し、梁端部の低サイクル疲労による破断リスクを試算した。今回の試算では、L2 レベル入力では破断する可能性は低い。
- 3) 1) の解析結果を用いて部分的な有限要素解析を実施し、H 形鋼ブレース局部座屈部の低サ

イクル疲労による破断リスクを試算した。今回の試算では、地震動によってはブレースの座屈部が破断する可能性があることが示された。

しかしながら、破断についてはまだ研究が少なく、検討方法も研究途上であるため、2018 年度は、さらに応答解析および有限要素解析の精度を向上させ、部材の破断リスクについて検討を継続する。また効果的な破断回避の方法も検討する。

謝辞

2017 年度研究の一部には、工学院大学プロジェクト研究の支援を受けた。またブレースの破断の検討方法について、松井良太博士（東京工業大学）より貴重なご助言を頂いた。

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、2016
- 2) 笠井和彦、岩崎啓介：様々な形式の制振構造における自由度縮約法と水平バネ系への変換法、日本建築学会構造系論文集 No. 605、pp. 37-46、2006
- 3) 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>
- 4) 笠井和彦、久田嘉章、山下哲郎、杜 东升、白崎和幸、青木花子、中西真子、：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. 85-94）、2016
- 5) 石井正人、笠井和彦：多層制振構造の時刻歴解析に用いるせん断棒モデルの提案、日本建築学会構造系論文集 第 75 巻 第 647 号 pp. 103-112、2010
- 6) 長谷川隆ほか：多数回繰返し载荷を受ける梁端部の塑性変形能力と超高層鉄骨造建物の耐震安全性の検証、2015 年度日本建築学会大会、鋼構造パネルディスカッション資料、pp19-32、2015
- 7) 社団法人 日本鋼構造協会：鋼構造物の疲労設計指針・解説（改訂案）、2014 年
- 8) MSC Software: MARC2013, Vol. A, Theory and user information, Vol. B, Element library, 2013
- 9) 成原弘之ほか：長周期地震動に対する鉄骨造超高層建築物の安全性検証方法の検討(その 4, 5)、日本建築学会大会学術講演梗概集, pp1019-1022, 2011
- 10) 成原弘之ほか：長周期地震動に対する鉄骨造超高層建築物の安全性検証方法の検討(その 11, 12)、日本建築学会大会学術講演梗概集, pp1053-1056, 2012
- 11) 株式会社日本設計：(仮称)KDN 街区再開発計画、構造計算書
- 12) 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 年 10 月
- 13) 竹内徹、西牧誠、松井良太、今村晃：種々の繰返し载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、pp1131-1140、2012 年 7 月

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、2 軸加力実験、耐力評価）

伊藤賢治*
渡辺俊也*

野原大樹*
山下哲郎**

1. はじめに

図 1 に示すような置屋根体育館の RC 下部構造と鉄骨屋根をつなぐ接合部を支承部と呼ぶ。2011 年 3 月に発生した東北地方太平洋沖地震で、支承部に図 2 に示すようなモルタルの粉砕やアンカーボルトの抜け出し、破断等の被害¹⁾が多発した。

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、露出柱脚に比べて鉛直荷重が小さいため、せん断力が支配的な応力となる。水平力への抵抗メカニズムは、露出柱脚が鉛直荷重による摩擦力で主に水平力に抵抗する一方、支承部は鉛直荷重が小さいため、アンカーボルトのせん断力が主な抵抗力となる。また、本研究では、図 3 に示すような屋根架構側が剛で、十分な曲げ剛性があり、ピンとできる場合の支承部を想定している。

支承部では、屋根荷重によるスラストを逃がす等のために支承部に図 4 に示すようなスライド機構を設けているものがある。このような支承部をスライド支承と呼ぶ。また、図 5 に示すように、スライド機構がなく、ベースプレートのアンカーボルト孔がルーズホールではない支承部をピン支承と呼ぶ。

本研究では、地震力がスライド支承のルーズホール方向もしくはその直交方向に作用した場合を想定して繰り返し水平加力を行い、支承部の破壊挙動の違いを観察し、耐力の評価を行う。また、ピン支承ではモルタル高さを変化させて繰り返し水平加力を行い、モルタル高さの違いによる支承部の耐力の違いを評価する。また、アンカーボルト周りにモルタルを打設せず、アンカーボルトに標点を打つことで、アンカーボルトの変形や伸びを確認する。

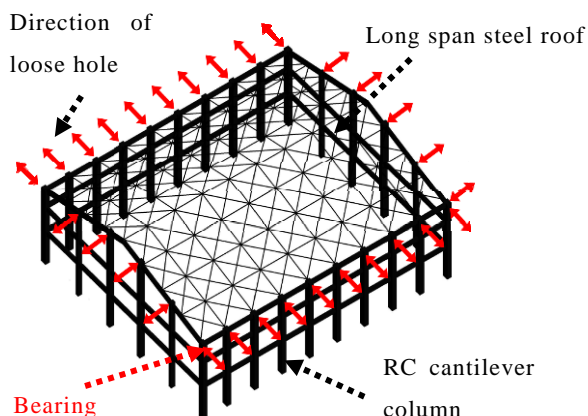


図 1 置屋根体育館

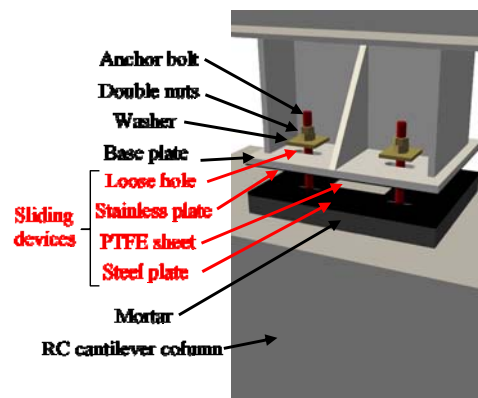


図 4 スライド支承の詳細



図 2 支承部の被害例

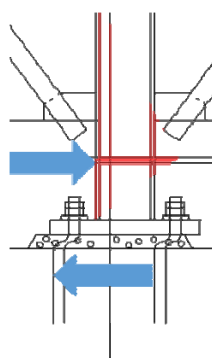


図 3 モーメント分布

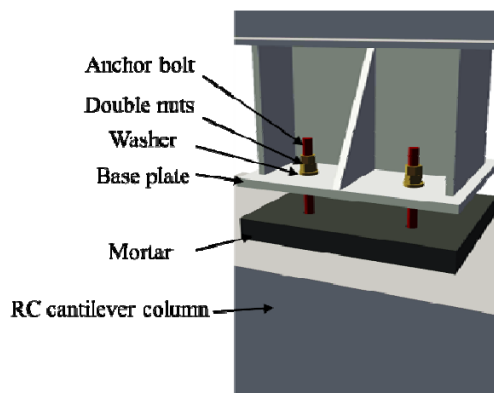


図 5 ピン支承の詳細

* : 工学院大学大学院 工学研究科建築学専攻 大学院生

** : 工学院大学建築学部建築学科 教授

2. 実験概要

2.1 実験装置

図 5 に実験装置の概要を示す。スライド支承の試験体では、M20 のアンカーボルトを埋め込んだ鉄筋コンクリートボックスの上にモルタルを打設し、モルタルの上に図 6(a) のようなアンカーボルト孔をあけたスライディングパッド(図. 4 に示す PTFE sheet と Steel plate)を乗せ、その上にベースプレートを乗せ、支承部を再現した。ピン支承の試験体ではスライディングパッドを用いずにベースプレートをモルタルの上に直接置く。試験体は PC 鋼棒で床に固定し、試験体上方に設置した鉛直加力ジャッキで鉛直荷重を与えつつ、ベースプレートに直接水平加力ジャッキで繰り返し水平加力を行った。試験体上方の鉛直加力ジャッキはスライダを介して設置することで、ベースプレートの水平変位に対応する。

図 7 にベースプレートの概要を示す。ベースプレートはアンカーボルト以外で大きな変形が生じないように厚さを 40mm とし、十分な強度と剛性を確保した。

ピン支承は、図 7(a) に示すように、アンカーボルト径+2.5mm(Φ25)のアンカーボルト孔が開いたベースプレートを用いる。スライド支承のルーズホール方向の実験では、図 7(b) に示すようなアンカーボルト芯位置で±50mm のルーズホールを設けた。ルーズホール直交方向はピン支承と同様の挙動を示す

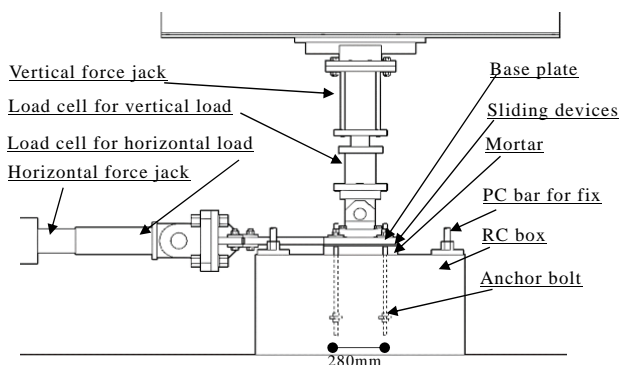


図 5 実験装置



(a) スライディングパッド (b) ステンレスシート
 図 6 スライド機構

として、図 7(a) に示すようなアンカーボルト孔がΦ25 のベースプレートをを用いて実験を行った。スライド支承の実験で使用するベースプレートでは、スライディングパッドに接触する面にステンレスシートを溶接した(図 6(b))。

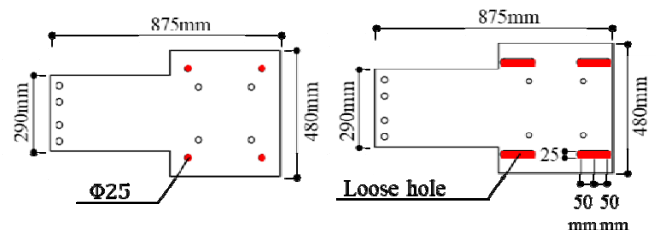
2.2 試験体

実験はスライド支承 2 回、ピン支承 2 回の計 4 回を行った。表 1 にアンカーボルトの機械的性質、表 2 にコンクリートとモルタルの強度を示す。

スライド支承のモルタル高さは、標準仕様書²⁾に記載されている高さ 50mm とし、ピン支承ではモルタル高さが異なる場合の支承部の耐力評価を行うために 50mm を一体、20mm を一体作成した。

また、既往の研究³⁾でモルタルが小変形時に損傷していたことから、支承部における耐力にモルタルの耐力がほとんど影響しないと推定し、アンカーボルトの変形を確認するためにモルタルをアンカーボルト周辺に打設しなかった。

鉄筋コンクリートボックスは側方破壊しないように十分な端あき距離と帯筋を配置した。



(a) ピン支承とスライド (b) スライド支承ルーズ
 支承ルーズホール直 ホール方向
 交方向

図 7 ベースプレート

表 1 アンカーボルトの機械的性質

Steel	SNR400
Yield strength [N/mm ²]	335
Tensile strength [N/mm ²]	465
Elongation [%]	31
Yield ratio [%]	72

表 2 コンクリートとモルタルの材料強度

	Concrete	Mortar
Test age [days]	29	14
Compressive strength [N/mm ²]	30.2	36.7
Spitting strength [N/mm ²]	2.4	2.6

2.3 計測計画

鉛直荷重 P_V と水平荷重 P_H は加力ジャッキに取り付けたロードセルで計測を行った。図 8 に示すように、ベースプレートの 2 か所に設置した変位計の平均値 δ_{BP} を水平変位(式 1)とし、変位制御で実験を行った。

$$\delta_{BP} = (\delta_A + \delta_B) / 2 \quad (1)$$

2.4 加力計画

加力サイクルを表 3 に示す。図 9 に示すようにアンカーボルトのせん断変形角 $\bar{\gamma}$ (式(2)) から加力サイクルを定めた。

実験開始前に、鉛直加力ジャッキで屋根荷重を想定した 100kN の鉛直荷重を与えて油圧をロックしたまま、水平加力ジャッキで繰り返し水平加力を与えた。

$$\bar{\gamma} = \delta_{BP} / h_m \quad (2)$$

3 実験結果

各実験ごとに荷重変形曲線と荷重変形曲線内に示した位置での実験の様子を示す。荷重変形曲線は横軸を水平変位 δ_{BP} 、縦軸を鉛直荷重 P_V 、水平荷重 P_H とする。

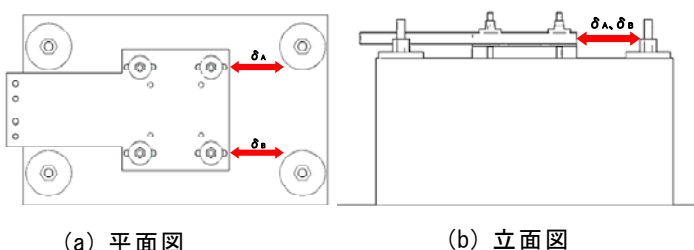


図 8 変位計について

表 3 加力プロトコル

Pin bearing					
Mortar height "50mm"			Mortar height "20mm"		
$\bar{\gamma}$	δ_{BP}	Cycle	$\bar{\gamma}$	δ_{BP}	Cycle
+0.15	+9mm	2	+0.05	+3.5mm	2
-0.1	-7.5mm	2	+0.1	+4.5mm	2
+0.2	+12.5mm	2	+0.2	+6.5mm	2
+0.3	+17.5mm	2	+0.3	+8.5mm	2
+0.5	+27.5mm	2	+0.5	+12.5mm	2
+1.0	+52.5mm	2	+1.0	+22.5mm	2
+1.5	+77.5mm	1	+1.5	+32.5mm	2
			+2.0	+42.5mm	2
Slide bearing					
Loose hole direction			Perpendicular direction of Loose hole		
$\bar{\gamma}$	δ_{BP}	Cycle	$\bar{\gamma}$	δ_{BP}	Cycle
+0	+10mm	1	+0.05	+5mm	2
+0	+30mm	1	+0.1	+7.5mm	2
+0	+50mm	1	+0.2	+12.5mm	2
+0	+52.5mm	2	+0.3	+17.5mm	2
+0.1	+57.5mm	2	+0.5	+27.5mm	2
+0.2	+62.5mm	2	+1.0	+52.5mm	1
+0.5	+77.5mm	2			
+1.0	+102.5mm	1			

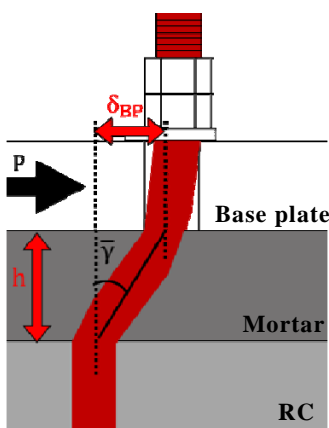


図 9 せん断変形角 γ

3.1 スライド支承[ルーズホール方向]

図 10 に荷重変形曲線を示す。図 10 に示す有効可動域 $\pm 50\text{mm}$ までは、使用した PTFE シートの公称摩擦係数 0.06 と鉛直荷重から求める摩擦力だけ荷重が増加しており、PTFE シートによってベースプレートが滑っていることが分かった。また、加力プロトコルに従い、有効可動域内の加力を行った後、+57.5mm, 1 サイクル目でルーズホールの端がアンカーボルトに接触し、アンカーボルトの傾きが確認できた(図 11(a))。アンカーボルトが傾き、スライディングパッドがアンカーボルトに接触したため、スライディングパッドが加力方向にずれた(図 11(b))。+102.5mm, 1 サイクル目の加力中にアンカーボルトが 1 本破断し、-102.5mm, 1 サイクル目でアンカーボルトが 2 本破断した。破断箇所はスライディングパッドとベースプレートの境界面であった(図 11(c))。実験終了後、モルタル表面に摩擦の跡が残っていたことから、スライディングパッドとモルタル間に摩擦が生じていたことが分かった。

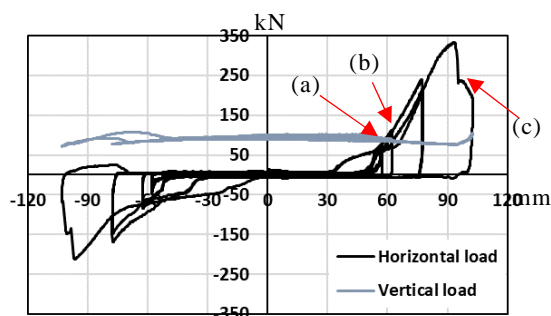


図 10 スライド支承[ルーズホール方向]



(a) アンカーボルトの傾き (b) スライディングパッドのずれ



(c) アンカーボルト破断

図 11 試験体の様子

3.2 スライド支承[ルーズホール直交方向]

図 12 に荷重変形曲線を示す。+5mm, 1 サイクル途中で、ベースプレートのアンカーボルト孔縁がアンカーボルトに接触し、アンカーボルトが傾いた。有効可動域±2.5mm内の水平荷重はPTFEシートの摩擦係数と鉛直荷重から求める摩擦力と概ね一致した。ルーズホール方向の実験同様、スライディングパッドがアンカーボルトに接触してスライディングパッドが加力方向にずれた。アンカーボルトは、+42.7mmで3本、その後のサイクルの-7.86mmで1本破断した(図 13(d))。ルーズホール直交方向においても、モルタル表面に摩擦の跡が残っており、スライディングパッドとモルタル間に摩擦が生じていたことが分かった(図 13(e))。

3.3 ピン支承[モルタル高さ 50mm]

図 14 に荷重変形曲線を示す。ベースプレートのアンカーボルト孔の有効可動域内では、鉛直荷重と水平荷重から摩擦係数を求めると 0.52 であり、学会指針⁴⁾で示されているモルタルとベースプレート間の摩擦係数 0.5 と概ね一致する値であった。+9mm, -7.5mm のサイクルで加力方向のモルタル側面が剥離した。荷重変形曲線より、+12.5mm のサイクル途中でアンカーボルトが降伏したと考えられ、+12.5mm, 1 サイクル目のアンカーボルトの傾いた様子を図 15(f) に示す。+66.8mm でベースプレートが傾いたため、加力を中断し、次のサイクル(-77.5mm)の加力中にアンカーボルトが2本破断した。この時のアンカーボルトの破断箇所は、ベースプレートの下端であった(図 15(g))。実験終了後、加力方向側面のモルタルは損傷しており、モルタル表面には摩擦の跡が残っていた。

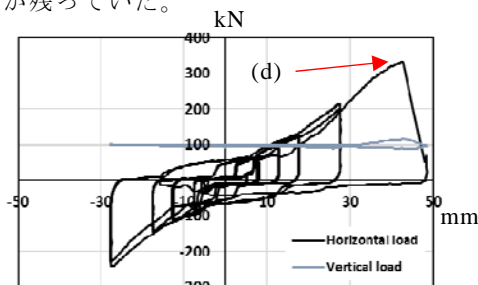


図 12 スライド支承[ルーズホール直交方向]



(d) アンカーボルト破断 (e) モルタル表面[実験後]
 図 13 試験体の様子

3.4 ピン支承[モルタル高さ 20mm]

図 16 に荷重変形曲線を示す。+4.5mm, 1 サイクル目からアンカーボルトの傾きが確認できた。また、モルタル高さ 20mm の実験においても、加力方向のモルタル側面に剥離が見られた。+6.5mm, 1 サイクル目の加力後にナットの弛緩が確認できた(図 17(h))。荷重変形曲線より、+12.5mm のサイクル途中でアンカーボルトが降伏したと考えられる。実験終了後、アンカーボルトは破断しなかった。その後、破断するまで荷重を与えて引いたところ、-49.3mm でアンカーボルトが2本破断した。この時の破断箇所は鉄筋コンクリートボックス内で破断していた(図 17(i))。また、モルタルはモルタル高さ 50mm のピン支承実験に比べ軽微な損傷であった。

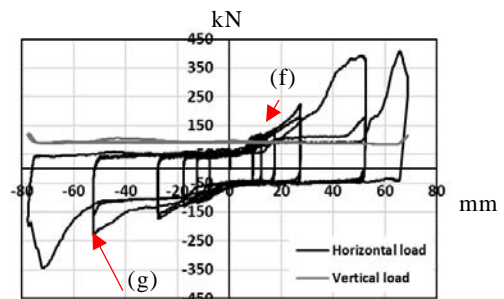


図 14 ピン支承[モルタル高さ 50mm]



(f) アンカーボルトの傾き (g) アンカーボルト破断
 図 15 試験体の様子

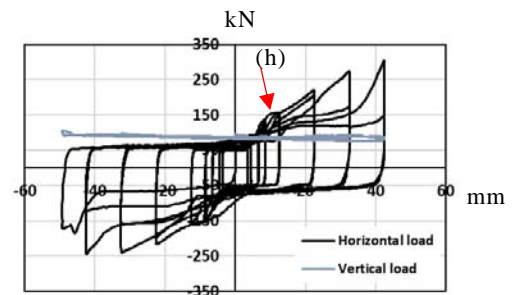
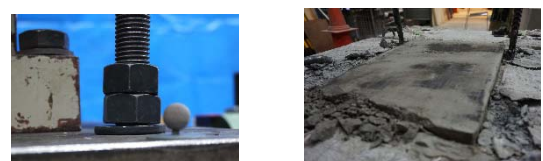


図 16 ピン支承[モルタル高さ 20mm]



(h) ナットとワッシ (i) アンカーボルト破断
 ヤーの空き
 図 17 試験体の様子

4. 分析

4.1 アンカーボルト周囲のモルタルの影響

本研究では、アンカーボルトの変形を確認するためにモルタルをアンカーボルトの周囲に打設しなかった。2016 年度の実験では、アンカーボルトの周囲までモルタルを打設したモルタル高さ 50mm のピン支承実験を行っており、今回実施したモルタル高さ 50mm のピン支承と比較することで、モルタルが支承部耐力に与える影響について考察する。また、2016 年度と 2017 年度では鉛直荷重 P_V が異なっているため、式 (3) にて実験値の水平荷重 P_H から摩擦荷重分を除いた水平荷重 P_{nf} にて比較を行い、図 18 に示す。摩擦係数 μ は学会指針⁴⁾に記載されている 0.5 とし、鉛直荷重 P_V は実測値を用いる。

$$P_{nf} = P_H - \mu \times P_V \quad (3)$$

小変形時において、アンカーボルト周囲にモルタルがある 2016 年度の実験値が 2017 年度の実験値よりも高い値となった。この差がアンカーボルト周囲のモルタルが支承部に及ぼす影響であると考えられる。また、大変形域では耐力が概ね一致していることから、モルタルの影響があるのは損傷の少ない小変形域のみであると推測できる。

4.2 スライド支承の比較

スライド支承実験ではルーズホール方向とルーズホール直交方向に加力を行った。図 19 にて、アンカーボルトがベースプレートのルーズホール孔縁に接触してからの荷重変形曲線を比較し、支承部耐力の違いを分析する。この時横軸は式 (4) に示すアンカーボルトのせん断変形角 γ とする。

$$\gamma = \tan^{-1} \frac{\delta}{h_m} \quad (4)$$

図 19 に示すようにアンカーボルトがルーズホール孔縁に接触してからの荷重変形曲線は概ね一致した。このことから、ルーズホール方向もしくはその直交方向に地震力が生じた際、支承部は同様の復元力特性を示すことがわかった。

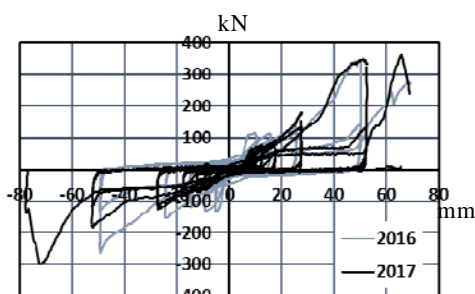


図 18 モルタルの影響の有無

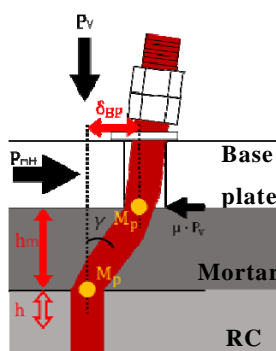


図 20 塑性ヒンジ

4.3 支承部の水平力の評価

4.3.1 曲げ降伏耐力

実験において、アンカーボルトがせん断降伏である場合、今年度の荷重変形曲線のようなスリップ型にはならないはずである。そのため、アンカーボルトの曲げによる降伏を仮定する。降伏したと思われる時のピン支承実験の結果とアンカーボルトの曲げ降伏耐力を用いた水平力を比較する。

アンカーボルトの変形と水平力 P の関係を図 20 のように仮定する。支承部の曲げ降伏耐力を用いた水平力 P_{mH} を式 (5) に示す。

$$P_{mH} = n \times \frac{2M_p}{h_m} + \mu \times P_V \quad (5)$$

$$P_{mH} = n \times \frac{2M_p}{h_m + h} + \mu \times P_V \quad (6)$$

n : アンカーボルト本数, M_p : 全塑性モーメント, h_m : モルタル高さ

図 20 (a) に示すようにモルタル高さ 50mm の実験では、式 (5) で算定した値と降伏時の水平荷重が概ね一致している。モルタル高さ 20mm の実験では、算定値が実験値を上回っており、式 (6) として、鉄筋コンクリートボックスの内部で塑性ヒンジが生じるとすると、折れ点深さ h が 5mm の時に算定値と実験値が概ね一致した。モルタル高さが低い支承部では、鉄筋コンクリートボックス内部からアンカーボルトが変形していると推測することができる。

また、実験値と算定値が概ね一致しており、アンカーボルトは初め、曲げによって降伏したことがなかった

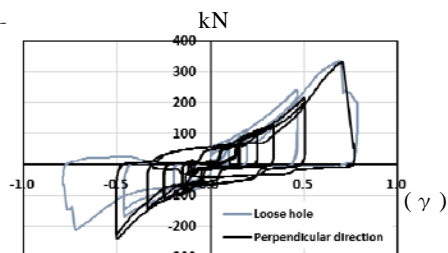
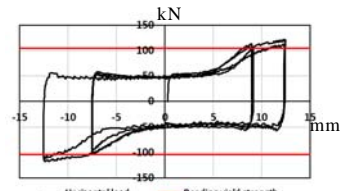
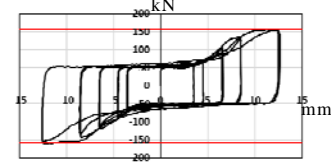


図 19 スライド支承の比較



(a) モルタル高さ 50mm



(b) モルタル高さ 20mm

図 21 曲げ耐力との比較

4.3.2 アンカーボルト軸耐力

大変形領域において、図 22 に示すようにアンカーボルトが変形し、アンカーボルトに軸力 N が生じると仮定した場合の、アンカーボルトの軸耐力による水平力の評価を行う。その時、アンカーボルトが降伏軸力 N_y もしくは最大軸力 N_u に達したとしてそれぞれ式 (7)、式 (8) とする。この時、アンカーボルトのせん断変形角 γ は式 (4) とし、摩擦係数 0.5 と各実験における鉛直荷重の平均値 P_v による摩擦荷重を加える。

$$P_y = n \times N_y \sin \gamma + \mu \times P_v \quad (7)$$

$$P_u = n \times N_u \sin \gamma + \mu \times P_v \quad (8)$$

$$\gamma' = \tan^{-1} \left(\frac{\delta_{BP}}{h_m + h} \right) \quad (9)$$

図 23, 24 に荷重変形曲線と式 (7)、式 (8) で算定した値を示す。モルタル高さ 50mm の実験では、大変形時において概ね一致した (図 23) が、モルタル高さ 20mm の実験では、算定値が実験値よりも大きくなってしまった (図 24)。そのため、鉄筋コンクリートボックス内部でアンカーボルトが変形していると仮定して、せん断変形角 γ を求めると、折れ点深さ h が約 30mm の際に、実験値と概ね一致した (図 25)。このことから、モルタル高さの低い支承部では、アンカーボルトは曲げ降伏時よりもさらに低い位置で変形していると考えられる。また以上より、大変形領域ではアンカーボルトの軸耐力で支

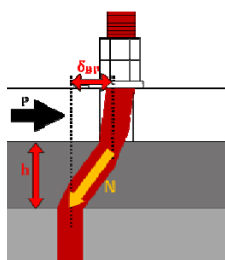


図 22 アンカーボルト軸力

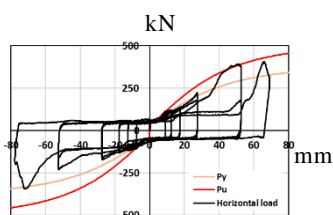


図 23 アンカーボルト軸力による比較 [モルタル高さ 50mm]

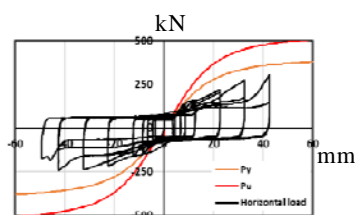


図 24 アンカーボルト軸力による比較

[モルタル高さ 20mm]

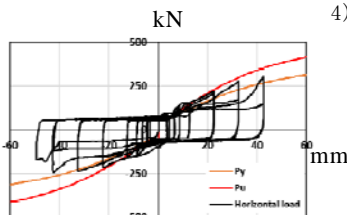


図 25 アンカーボルト軸力による比較

[モルタル高さ 20mm+30mm]

承部の復元力特性を評価することができると考えられるが、鉄筋コンクリートボックス内の折れ点深さ h はアンカーボルトによっても異なっており (図 26)、モルタル高さやアンカーボルト径による折れ点深さ h の評価は今後検討していく必要がある。

5 まとめ

鉄骨置屋根構造の支承部を再現し、ピン支承実験とスライド支承実験を実施して、耐力特性および破壊挙動を分析した。

アンカーボルト周囲のモルタルは小変形域では影響があるが、損傷の著しい大変形時は影響がほとんどないことがわかった。

また、モルタル高さの低い支承部では標準的なモルタル高さの支承部に比べて、アンカーボルトがコンクリート内部のより深い位置から変形する。

本実験のように塑性変形が累積されるようなスリップ型の荷重変形曲線を示す支承部は、基本的には曲げ降伏した後、アンカーボルトの引張で水平力に抵抗すると考えられるが、アンカーボルトがベースプレートに圧着された際の軸力の鉛直成分によるベースプレートーモルタル間の摩擦荷重は考慮できていないため、今後評価方法を検討する必要がある。

謝辞

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。

参考文献

- 1) 一般社団法人建築研究振興協会：東日本大震災における鉄骨置屋根構造の被害調査報告，pp.25-34，2012.8
- 2) 日本建築学会：建築工事標準仕様書 JASS6 鉄骨工事，pp.16-50，2015.3
- 3) 伊藤賢治、野原大樹、和田直記、山下哲郎：鉄骨置屋根構造ピン支承部の復元力特性に関する研究 その1 2軸加力実験の概要 日本建築学会大会(中国)(学術講演梗概集 p.799-800)，2017,9
- 4) 日本建築学会：鋼構造接合部設計指針、p.p292-295、2012.7



図 26 破断後のアンカーボルト

鉄骨造体育館の 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

学校体育館，H 形鋼ラーメン，パネルゾーンのせん断降伏，
 累積たわみ，繰返し変形

岩澤 瞭*

山下哲郎**

1. はじめに

学校体育館の梁間方向 H 形鋼ラーメンフレームについて，一定の鉛直荷重下で地震動による水平方向の繰返し変形を受けると，固定荷重の影響により塑性ヒンジの回転や梁の鉛直変位が累積し，極めて大きな鉛直方向の残留変形（累積たわみ）が発生することが指摘されている。中澤ら^{1, 2)}はこの現象を数値解析により示しているが，実大体育館試験体の動的加振実験³⁾においてもこの累積たわみが計測されている。

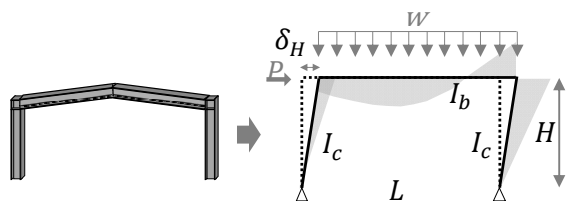
当論文では柱梁接合部パネル（以下，パネルとする）に注目し，1) 一定の鉛直荷重下で水平方向の繰返し変形により梁にたわみが累積するメカニズムを説明し，その定式化を行う。2) 梁端の塑性変形により累積たわみが生じる性質を利用すれば，逆に地震後の累積たわみを計測することで梁端部の塑性率を定量的に推定できる可能性があり，ここでは地震応答解析によりその可能性を論じる。

2. たわみが生じるメカニズムとその定式化

2. 1 定式化における仮定

体育館の梁間方向の山形ラーメンフレームを，図 1 に示すように屋根勾配を無視し，柱脚をピン支持とした単純な力学モデル（以降，単純フレームモデルと呼ぶ）に置換える。なお，ここでは一般的な細幅から中幅系列の H 形鋼ラーメンを想定しパネルのせん断降伏を想定する。

以下に示す仮定から左右のパネルの塑性率 μ_{eqL} ， μ_{eqR} （以下，左右のパネルの属性を下添字 L ， R により表す。）と屋根頂部の水平変位 δ_H ，鉛直たわみ（累



P : 水平荷重 I_c : 柱断面2次モーメント L : スパン H : 柱高さ
 W : 等分布荷重 I_b : 梁断面2次モーメント δ_H : 水平変位

図 1 単純フレームモデルと記号の定義

積たわみ) δ_{veq} との関係定式化する。

- (1) 図 2 に示すように，層間変形角 R (柱の部材角) と水平変位 δ_H には式(1)の関係が成立つ。

$$R = \frac{\delta_H}{H} \quad (1)$$

また，パネルと柱・梁端の接合面は常に直角を保ち，パネル周囲の変形角に式(2)の適合条件が成立する。

$$\begin{cases} \gamma_L = \theta_{cL} - \theta_{bL} \\ \gamma_R = \theta_{cR} - \theta_{bR} \end{cases} \quad (2)$$

- (2) パネルは柱・梁端のモーメント M_b ， M_c による偶力を受け，せん断変形のみ生じるとする。また，左右のパネルに作用する曲げモーメント M_{pL} ， M_{pR} とパネルのせん断ひずみ γ_L ， γ_R の関係を図 2 中央に示すようなバイリニア型を仮定し，等価剛性 K_{eq} を用いた式(3)で定義する。

$$\begin{cases} M_{pL} = K_{eqL} \gamma_L \\ M_{pR} = K_{eqR} \gamma_R \end{cases} \quad (3)$$

ただし，弾性域 $K_{eqL} = K_{eqR} = GV$

$$\text{降伏後} \begin{cases} K_{eqL} = \frac{GV}{\mu_{eqL}} \{1 + \alpha(\mu_{eqL} - 1)\} \\ K_{eqR} = \frac{GV}{\mu_{eqR}} \{1 + \alpha(\mu_{eqR} - 1)\} \end{cases}$$

ここに， G : せん断弾性係数， V : パネル体積， α : 2 次剛性比， μ_{eqL} ， μ_{eqR} : 左右のパネルの塑性率である。

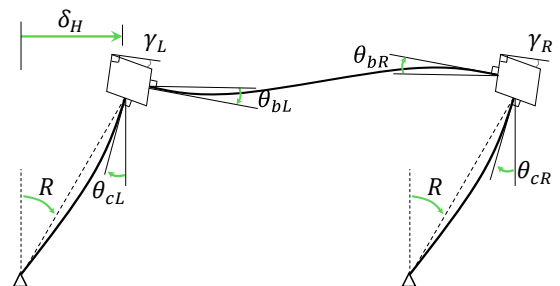


図 2 単純フレームモデルと記号の定義

* : 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）

(3) パネルの大きさを無視した式(4)が成立つと仮定する。

$$\begin{cases} M_{pL} = M_{cL} = M_{bL} \\ M_{pR} = M_{cR} = M_{bR} \end{cases} \quad (4)$$

(4) 柱脚はピンとし、式 (5) が成立する。

$$\begin{cases} R - \theta_{cL} = \frac{L}{3EI_c} M_{cL} \\ R - \theta_{cR} = \frac{L}{3EI_c} M_{cR} \end{cases} \quad (5)$$

2. 2 導出した理論式

仮定した理論から得た単純フレームモデルの荷重変形関係の概形とその時のそれぞれの曲げモーメント分布を図 3 に示す。初期状態ではパネルが弾性である状態（以降、①両側弾性と呼ぶ）だが、水平荷重が加わり増加すると風下側（右側）のパネルが先にせん断降伏し塑性ヒンジとなった状態（以降、②片側ヒンジと呼ぶ）、さらに風上側（左側）のパネルも降伏に至り両側のパネルが塑性化し塑性ヒンジとなった状態（以降、③両側ヒンジと呼ぶ）に大別することができる。この場合分けを考慮し、定式化した $\delta_H - \mu_{eqR}$, $\mu_{eqR} - \delta_{Veq}$ 関係を式(6)に示す。

$$\left. \begin{aligned} & \text{片側ヒンジのとき} \\ & \mu_{eqR} = \frac{12EI_b I_c (C_3 GV + C_2)}{H \gamma_y \{2C_1 C_3 G^2 V^2 \alpha + 2C_2^2 + C_2 GV (C_1 + C_3)(1 + \alpha)\}} \delta_H \\ & \quad - \frac{2GV \gamma_y \{2C_1 C_3 GV + C_2 (C_1 + C_3)(1 - \alpha) - (C_1 GV + C_2) I_c w L^3\}}{2\gamma_y \{2C_1 C_3 G^2 V^2 \alpha + 2C_2^2 + C_2 GV (C_1 + C_3)(1 + \alpha)\}} \\ & \delta_{Veq} = \frac{5wL^4}{384EI_b} + \frac{L^2}{16EI_b} \frac{C_2 GV}{C_3 GV + C_2} \left\{ (1 - \alpha) \gamma_y (\mu_{eqR} - 1) - \frac{wL^3}{12EI_b} \right\} \\ & \text{ただし, } 1 \leq \mu_{eqR} < \frac{I_c w L^3}{2\gamma_y (C_3 GV \alpha + C_2)} + 1 \\ & \text{両側ヒンジのとき} \\ & \mu_{eqL} = \frac{C_2}{(C_1 GV \alpha + C_2) \gamma_y H} \delta_H \\ & \quad - \frac{1}{2\alpha \gamma_y} \left\{ \gamma_y (1 - \alpha) \frac{2C_1 GV \alpha}{C_1 GV \alpha + C_2} + \frac{\alpha I_c w L^3}{2(C_3 GV \alpha + C_2)} \right\} \\ & \mu_{eqR} = \frac{C_2}{(C_1 GV \alpha + C_2) \gamma_y H} \delta_H \\ & \quad - \frac{1}{2\alpha \gamma_y} \left\{ \gamma_y (1 - \alpha) \frac{2C_1 GV \alpha}{C_1 GV \alpha + C_2} - \frac{\alpha I_c w L^3}{2(C_3 GV \alpha + C_2)} \right\} \\ & \delta_{Veq} = \frac{5wL^4}{384EI_b} - \frac{L^2}{16EI_b} \frac{GV \alpha I_c w L^3}{2(C_3 GV \alpha + C_2)} \\ & \text{ただし, } \frac{I_c w L^3}{2\gamma_y (C_3 GV \alpha + C_2)} + 1 \leq \mu_{eqR} \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

ただし, $C_1 = LI_c + 2HI_b$, $C_2 = 6EI_b I_c$, $C_3 = 3LI_c + 2HI_b$

3 FEM 解析による理論式の検証

3. 1 モデル概要

2 節で展開した単純フレームモデルによる理論式を 3次元 FEM 解析により検証する。解析には MARC mentat2013⁵⁾ を使用し、実際の体育館を例に梁間方向 1 スパン分のみ抽出した 3次元 FEM 解析フレームモデルを作成する。解析モデルは図 4 に示すように、パネル部を 4 節点シェル要素、それ以外の柱梁部分を 2 節点梁要素で作成し、シェル要素と梁要素の境界には剛体連結を施している。部材の降伏強度 $\sigma_y = 235\text{N/mm}^2$, ヤング係数 $E = 205000\text{N/mm}^2$ とし、バイリニア型の $\sigma - \epsilon$ 関係を仮定する。小梁が座屈補剛材として機能することを考慮し、図 4 中の三角記号で示すように小梁接合部位置で面外変位 (Z 方向) を、柱脚はピン支持となるように拘束している。

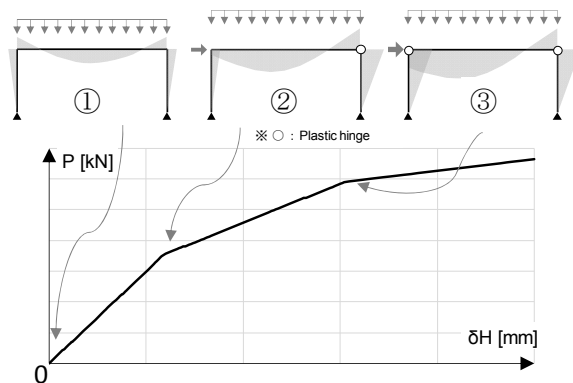


図 3 フレームの荷重変形関係と曲げモーメント図

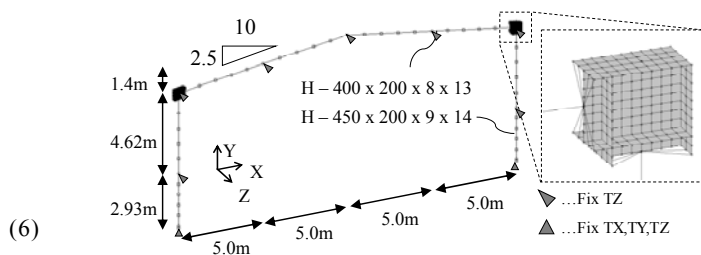


図 4 FEM 解析モデル

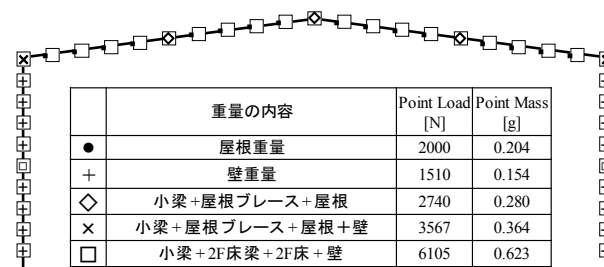


図 5 鉛直荷重条件

3. 2 荷重条件

本解析では、小梁や屋根などの負担分重量を図 5 に示すような節点荷重に置換えて鉛直下向きに一定に与え続ける。同時に、静的増分解析では地震応答解析との比較を考慮し図 6 に示すような 1 次モード比例形地震荷重を作用させる。

地震応答解析では柱脚に地動加速度として水平方向にのみ、告示スペクトル（参考文献 2015 年度版技術基準解説書）によるランダム波、JMA 神戸波、エルセントロ NS 波位相の地動加速度を与える。図 7 にこれら 3 つの入力波形を示す。なお、解析モデルの固有周期は 1 次モードで 0.978 秒であり、減衰を剛性比例型で 1 次減衰定数 $h_1=0.02$ となるように設定している。

4. 静的増分解析による理論式の検証

屋根頂部の荷重変位関係を図 8 に、パネル塑性率と累積たわみ関係を図 9 に示す。なお、解析結果におけるパネルの塑性率はパネルゾーンを構成する要素の節点におけるせん断歪みの値を平均して用いて求めている。また、パネルのせん断降伏は塑性ひずみの発生により判断し、その時点を図 8 中に風下側（右側）パネルについて A、A' 点、同様に風上側（左側）を B、B' 点により示し、せん断降伏時にヒンジが形成されたとみなす。

各図において理論式と解析結果は良く一致しており、片側ヒンジの状態である A-B 点間で右パネルの塑性化とともに累積たわみが大きく増加している

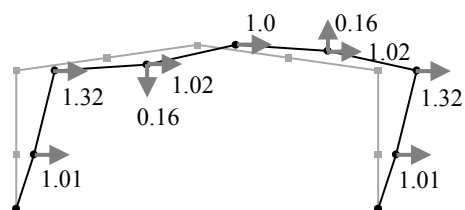


図 6 増分荷重比

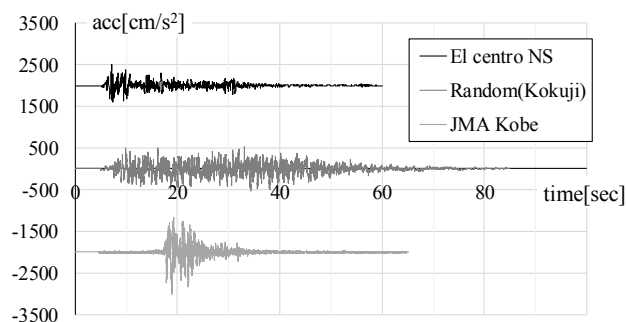


図 7 入力地動加速度

ことが確認できる。

5. 地震応答解析

全ての解析結果は座屈や急激な耐力低下を起こさず、安定したパネル降伏を示した。塑性率の高い方のパネルに注目し、パネルの塑性率と累積たわみの関係を理論式と比較したグラフを図 10 に示す。複雑な挙動でありつつも、それぞれの解析結果は概ね理論式に沿っており、パネルの塑性化とともに累積たわみが増加する傾向が確認できる。

理論式では 98.59mm を超えるとたわみは増加しないが、JMA 神戸波、ランダム位相波の結果では 120mm 近くのたわみが累積している。これは、こ

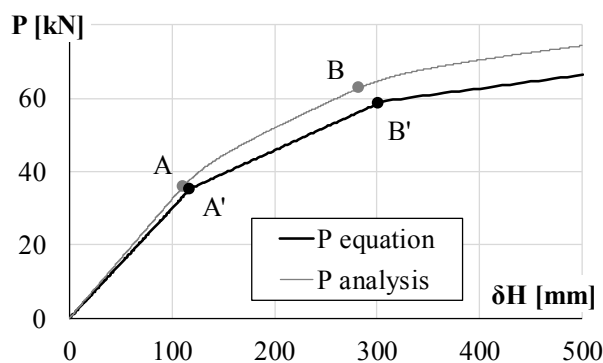


図 8 δH -P 関係

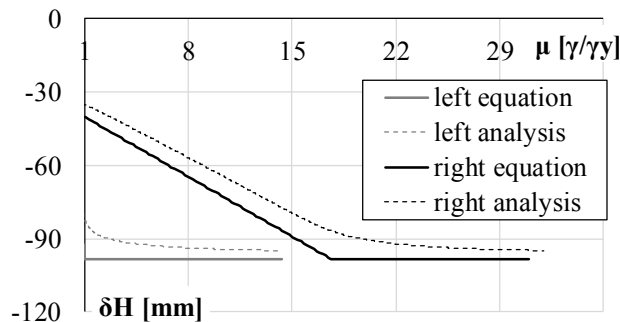


図 9 μ - δV 関係（静的増分解析との比較）

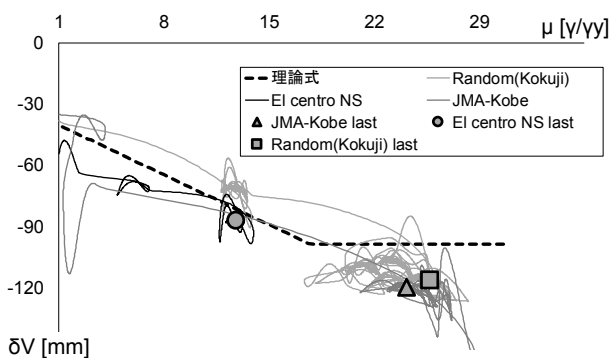


図 10 μ - δV 関係（地震応答解析との比較）

のときに歪み硬化によりパネルのせん断降伏応力度は初期の 135N/mm² から JMA 神戸波では 173N/mm², ランダム位相波では 198N/mm² まで上昇することを確認しており, 理論式よりも片側ヒンジとなる領域が増加したことが影響していると考えられる。

6. 地震後のたわみ量によるパネル塑性率推定

フレーム頂部のたわみ量がパネルの塑性変形と密接に関連するため, 地震後のたわみ量を計測することによりパネルの塑性率（損傷）を定量的に評価できる可能性がある。前述した耐力上昇の影響を考慮し, 式(7)に示す累積たわみによるパネルの塑性率の推定式を提案する。

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{片側ヒンジ} \left(1 \leq \mu_{eqR} < \frac{(\beta-1)(C_3GV\alpha+C_2)}{C_3GV\alpha+C_2} + \frac{I_c w L^3}{2\gamma_y(C_3GV\alpha+C_2)} + 1 \right) \text{のとき、} \\ \delta_{v,eq} = \frac{5wL^4}{384EI_b} + \frac{L^2}{16EI_b} \frac{C_3GV}{C_3GV\alpha+C_2} \left\{ (1-\alpha)\gamma_y(\mu_{eqR}-1) - \frac{wL^3}{12EI_b} \right\} \\ \text{両側ヒンジ} \left(\frac{(\beta-1)(C_3GV\alpha+C_2)}{C_3GV\alpha+C_2} + \frac{I_c w L^3}{2\gamma_y(C_3GV\alpha+C_2)} + 1 \leq \mu_{eqR} \right) \text{のとき、} \\ \delta_{v,eq} = \frac{5wL^4}{384EI_b} - \frac{L^2}{16EI_b} \frac{GIV_c \{ \alpha w L^3 + 12EI_b(1-\alpha)(1-\beta)\gamma_y \}}{2(C_3GV\alpha+C_2)} \end{array} \right. \quad (7)$$

$$\left(\beta = \frac{\tau'_y}{\tau_y} \right)$$

ここに, τ_y : 耐力上昇したせん断降伏応力度, τ'_y : せん断降伏応力度であり, β は耐力上昇率を表す。

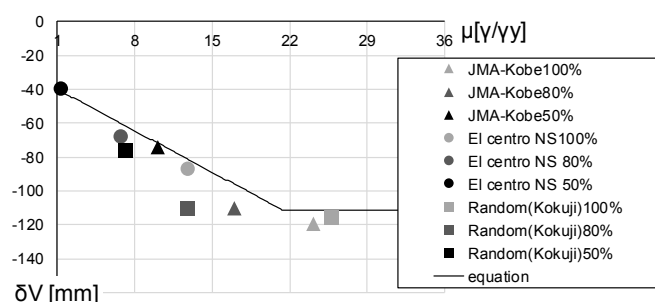


図 11 パネル塑性率(残留)と累積たわみ

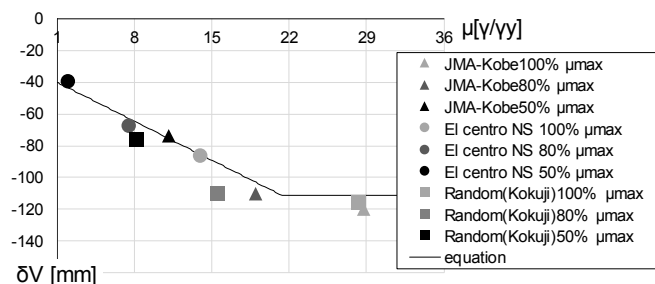


図 12 パネル塑性率(最大)と累積たわみ

塑性率が大きい方のパネルに注目し, 地震応答解析の入力加速度をそれぞれ 80%, 50%に低減した解析を追加し, それぞれの解析結果の最終ステップ位置（地震終了時）での累積たわみ量と塑性率（残留塑性変形）を, 式(7)の推定式と比較したものを図 11 に示す。また, 地震終了時での累積たわみ量に対し, 地震応答中に記録した塑性率の最大値と推定式とを比較したものを図 12 に示す。なお, 推定式のグラフを描く際はランダム位相波の解析結果から $\tau'_y = 198$ N/mm² とし, $\beta = 1.46$ に設定した。図 11 と図 12 を比較すると, 同じ地震終了時での累積たわみ量に対し, 残留塑性変形に対する塑性率よりも最大塑性率は当然大きい。また推定式はよく最大塑性率を近似していることがわかる。

7. まとめ

当研究では, 体育館の梁間方向の構造に用いられる H 形鋼フレームが, 水平方向地震動を受ける際に生じる累積たわみとパネルの塑性変形に注目し,

- 1) 風下側のみに塑性ヒンジが形成される際に大梁のたわみが累積的に増加するメカニズムを説明し, パネル塑性率と累積たわみの関係を理論的に定式化した。
- 2) 地震時の降伏耐力の上昇を考慮した理論解を応用して地震後の累積たわみの計測によりパネルの塑性率を推定する方法を提案し, 有限要素法による地震応答解析でその有効性を示した。

参考文献

- 1) 中澤祥二, 柳澤利昌, 加藤史郎, 柴田良一: スパン方向に地震動を受ける鋼構造体育館の靱性指標の評価に関する研究, 構造工学論文集, Vol.58B, pp.507-518, 2012.3
- 2) 中澤祥二, 柳澤利昌, 加藤史郎: Pushover 解析に基づく鋼構造体育館の動的靱性指標の評価: 日本建築学会構造系論文集, 第 78 巻, No683, pp111-118, 2013.1
- 3) 佐々木智大他: 大規模空間吊り天井の脱落被害メカニズム解明のための E-ディフェンス加振実験 報告書—大規模空間吊り天井の脱落被害再現実験および耐震吊り天井の耐震余裕度検証実験—, 防災科学技術研究所研究資料, 2015.2
- 4) MSC Software: MARC2013, Vol.A. Theory and user information, Vol.B, Element library, 2013.

メーソンリーブロック外壁の繊維補強による変形抵抗性の確保に関する研究

メーソンリー部材，簡易補修，ALC，変形抵抗性

横田 将吾* 田村 雅紀**

1. はじめに

大きな背景として、外壁材料の ALC (Autoclaved Lightweight Aerated Concrete) は軽量かつ均質であり、セルフビルドにも適している為世界中で普及した。一方で現在、日本や東南アジア諸国において地震などの自然災害による ALC 材料の被害がある。東南アジア地域では、人口増加によりインフラ投資が進み、大量に住宅の普及が行われている。住宅に使用される建材の中でも ALC は生産合理性が高く、主要な建材となっている。また、大地震なども世界的に発生しており、災害による組積造住宅の倒壊が際立っている。この現状を踏まえ、海外においても、積み重ねるのみで無く、予防保全の観点から耐震性を備える必要がある。

日本では、ALC パネルの取付け工法としてロッキング工法が利用されているが、2002 年以前に施工された建物は縦挿挿入筋工法などが採用されていた。この工法は目地部に縦筋を入れ、モルタルを充填させパネル間を固定する工法である。その為、変形追従性が乏しく剥落などが懸念される。そして今もなお日本の各地で利用されており、大掛かりな補修工事も出来ず、点在している。よって、ALC 外壁材に対し、外側から簡易的に剥落、倒壊を防ぐ補強方法が必要である。本研究では、三軸型ポリプロピレンメッシュシート (PP: Polypropylene Sheet) をポリマーセメントモルタルを用いて目地部に部分被着させる、ALC ブロック壁の新たな補強方法を研究する。

2. 研究概要

2.1 インドネシアにおける ALC ブロック造住宅の施工計画調査

表 1 に、ALC 組積造住居の施工計画地である、ロンボク島 (インドネシア東部) についてヒアリング調査した結果を記載した。インドネシアの人々は安くて信頼性の高いコンクリート構造物を好む傾向がある。理由として、鋼構造物は鉄の材料費が高額である上に防錆処理などにおける定期的なメンテナンスによる不安があることが第一に挙げられる²⁾。この事からも、鉄筋による高価な補強方法より、PP メッシュシートを用いた補強方法の優位性があると思われる。

2.2 インドネシアの SNI 規格による ALC の基準

インドネシアには SNI (Standar Nasional Indonesia) という、日本の JIS のような国家規格がある。ALC ブロック材も SNI 規格で定められており、SNI 03-2156-1991 に、記載がある。品質要件には、サイズと許容誤差、重量、含有量、膨張、圧縮強度、曲げ強度、そして保温が含まれている。

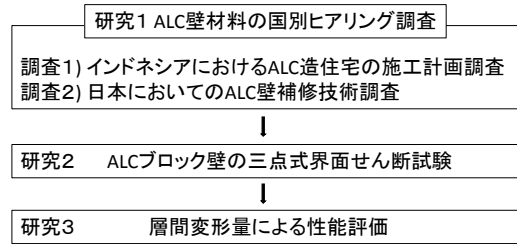


図 1 研究の流れ

表 1 ALC ブロック利用に関するロンボク島ヒアリング調査

項目	内容			
ヒアリング調査日	2017年5月~9月			
①ALCブロック (長さL×厚さT×幅W) (写真1)	製造のプロセス	①主産地	スラバヤ(インドネシア本島東部)	
		②採掘方法	重機	
	規格	600×200×W	600×400×W	600×1000×W
		W=75+25n(n=0-5)	W=(n=0-5)	W=(n=2-5)
	単価	600×200×100size=75円/個 輸送費37円/個		
	運搬方法	主産地→船→トラック→人力		
②生活水準 住居	対象	富裕層	中層	貧困層
	収入	30万円以上	15万円以下	4.7万円以下
	家賃	5.5万円以上	2.3万円以下	8千円以下
③施工プロセス	戸建て	個人のコンストラクターにて職人を雇い施工		
④現地写真(インドネシア現地調査)				
a) スラバヤALCブロック工場		b) ロンボク島住居		

表 2 使用材料と内容

使用材料	内容	
種類	寸法 (厚 T×幅 W×長 L)	
	(mm)	
母材用 ALC パネル (mm)	100(T)×600(W)×3000(L)×10 枚	
母材用 ALC ブロック (mm)	100(W)×200(T)×600(L)×144 個	
圧縮試験用 ALC コア(mm) ³⁾	圧縮強度	3.34N/mm ²
	寸法	100×100×100×3 個
下地用現場調査モルタル(M)	圧縮強度	9.74(現地調査)N/mm ²
	質量比	セメント:砂:水=1:3.5:0.7
下地用、再乳化研粉末樹脂ポリマーセメント	ポルトランドセメント(C)	W/C=70%で一定
	ポリマーセメント(P)	W/P=28%で一定
補強用三軸型ポリプロピレン (PP)メッシュシート	坪量	36(g/m ²)
	引張強度	短手 230N 長手 110N (N/50mm)
	ピッチ	5mm 間隔
吸水調整剤(HF)	HF:水=1:4	

*工学院大学建築学部建築学科・学部 4 年 **工学院大学建築学部建築学科・教授

3. PPシート補強をした ALC 壁面の補強効果測定実験

3.1 実験計画

3.1.1 PPシートによる ALC 壁面の補強方法

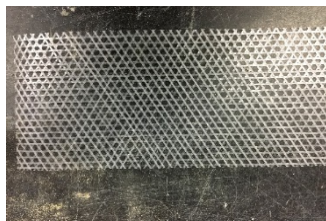
ALCブロック壁面の目地部にPPメッシュシートをポリマーセメントモルタルで部分被着させ補強する。補強方法を表3に示す。既存の部材に対して大きな変形や仕様の変更が発生することなく施工出来るので、対象建築物の持つ基礎力学的な要素を保持しながら性能付加が出来る。加えて補修工事は簡易的に行うことが出来る為、補修箇所が多い建造物も容易に補修出来る利点がある。本研究では100mmのシートを用いる。表3④の界面補強は既存建築には利用せず、新築組積住宅における補強方法として提案する。それぞれの補強方法で①のモルタルのみの施工と比較し補強効果を評価する。

3.1.2 試験体の分類

表3に明記があるように、本研究では、試験体の種類をA=水平耐力試験体、B=鉛直耐力試験体と定める。また、左官用接着セメント種類はP=ポリマーセメント、M=普通ポルトランドセメントとする。PPシート被着幅を(100mm)、PPシート被着方式を(N, S, B)で表記する。[AP100S]と表記する。

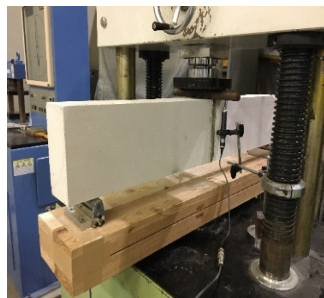
3.1.3 PPシート補強の評価方法

写真1のように壁面の一部を取り出し、アムスラー型圧縮試験機で外力を与え、三点式界面せん断試験(下部端2点を支点とし、上部中心1点に外力を加える)によりせん断抵抗力を評価する。評価方法として、外力を与えた際の左右のブロックの変位、せん断ひずみ量の差よりせん断変位量[(左変位-左ひずみ)-(右変位-右ひずみ)]を測定し、その程度の違いより、PPシートの効果を測定する。表4に曲げ強度式とせん断ひずみ式を記載する⁴⁾。



a) 補強用 PP メッシュシート

b) PP シート被着時の試験体



c) A タイプ壁面補強試験体

d) B タイプ試験体

写真1 ALC 組積試験体の作成写真及び実験風景

表3 実験水準と要因

項目	要因	水準	
研究1	文献調査・ヒアリング先	ALC材料メーカー・勤務者・海外住宅事業担当者	
研究2 ALCブロック壁の 三点式界面せん断試験	ALCブロック試験体種類	水平耐力試験体 (A) 鉛直耐力試験体 (B)	
	ビニロン貼付幅 (mm)	100	
	ビニロン貼付方式	無し (N) 片面 (S) 両面 (B)	
	左官用接着セメント種類	A	普通ポルトランドセメント、 ポリマーセメントモルタル
		B	普通ポルトランドセメント
	水P (%)	28%	
左官モルタル質量比 (セメント:砂)	1.0:3.5で一定		
試験体養生期間	2週間一定		
研究3 層間変形量による評価	層間変形 (せん断変位部材高さ)%	1/200, 1/300, 1/500, 1/700	

表4 実験項目と方法

項目	方法		
研究1 調査	日本 ALC外壁の 既存補修方法	ALCメーカー担当者へヒアリング	
	東南 アジア 施工計画地 生活水準	住宅施工会社海外事業担当者へヒアリング	
研究2 ALCブロック壁 三点式界面 せん断試験	試験部材作製	ALCパネルから規定寸法のALCブロックをALC・鉄筋籠及び電動丸鋸を用いて切り出す	
	試験体作製	2つのALCブロックをモルタルで圧着し、目地部にPPシートを被着させる	
	強度 評価	圧縮強度(N/mm ²)	圧縮試験機により、毎秒0.6±0.4N/mm ² の速度範囲で荷重する。
		曲げ強度(N/mm ²)	$F_b = 3PL / (2bt^2)$ の式により評価する P:圧縮荷重 b:試験体の幅 L:支点間距離 t:厚さ
		変位 (mm)	変位系を各ブロック1箇所ずつ設け、測定する。
ひずみ(μ)	試験体平面中心に、ひずみゲージを各ブロックに付着させ、測定する。		
研究3 層間変形量による評価		最大荷重時のせん断変位から層間変形量を求め評価する	

表5 曲げせん断試験の試験方法

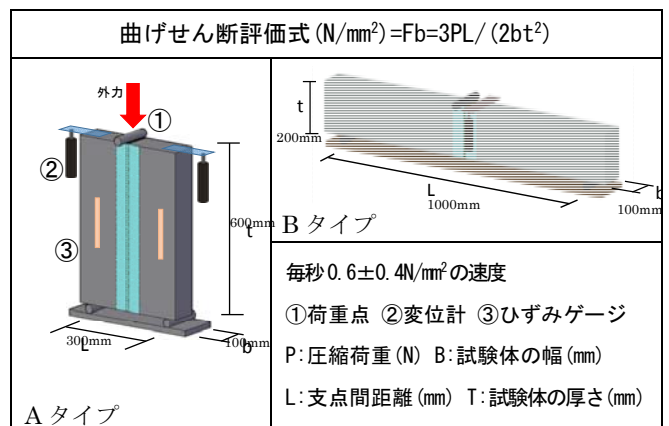


表6 ALC 組積壁の補強方法

補強方法	① 補強無し(N)	② Bタイプ壁面補強
	③ Aタイプ壁面補強	④ 界面補強
②と④は片面張りとも両面張りを検討する		
寸法	1ブロック	600×200×100 mm
	PPシート	幅 100 mm
シートによる抵抗外力	①無し	②水平、面外力 ③鉛直、面外力 ④鉛直、水平力

3.2 実験結果

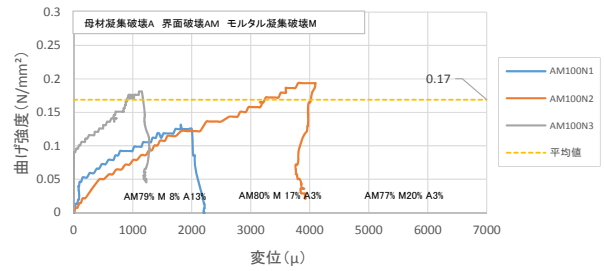
3.2.1 現場調合モルタルのフロー試験

JIS R 5201 に基づきモルタルフロー試験を行った⁵⁾。1回目の測定は 223.5 mm、2 回目の測定は 220.2 mm のフロー値を計測した。ALC 材料にはセメントと砂の容積比が 1:3.5 程度の貧調合の現場調合普通モルタルが使用されることがあり、また、インドネシアの郊外地域での施工において職人は砂の比率を多くとる事が当たり前であり、本実験でもセメント砂比を 1:3.5 とし、水セメント比を 70% にすることで施工効率を保った。

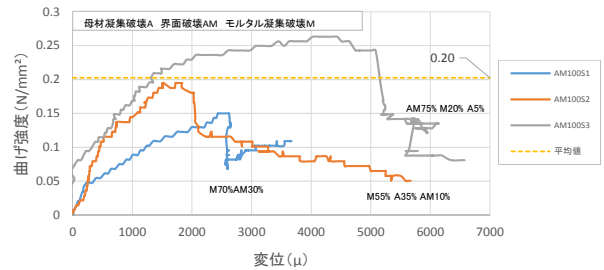
3.2.2 ALC 組積試験体の三点式界面せん断試験結果 (Aタイプ)

図 1 から図 4 に試験結果である曲げ強度変位曲線を示す。AM100N, AM100S 試験体は、貧調合の現場調合モルタルを使用した。現場調合モルタルは強度、及び付着力が弱い為、破壊モードとしては、ALC に損壊が及ぶ母材凝集破壊ではなく、モルタル凝集破壊、界面破壊が見られた。構造体の破壊モードとしては母材凝集破壊>モルタル凝集破壊>界面破壊の順で安全である。補強無し AM100N は界面破壊率が平均 78% であったが、片面補強 AM100S は界面破壊率が 38% と低下しており、代わりにモルタル凝集破壊の値が増加している。この結果から、ポリプロピレンシートによる補強により、界面破壊からモルタル凝集破壊に性能が向上したと考察出来る。また最大強度に達した後の曲げ強度変位曲線を比較すると、補強無し試験体は著しく耐力が低下し 0 になるのに対し、補強あり試験体は、PP シートが抵抗するので一定の耐力を保持していることが確認でき、最大強度も上昇している。ポリマーセメントモルタルはモルタル強度が高く、ほぼすべての試験体で界面破壊であった。

AP100N, AP100S, AP100B の試験体はポリマーセメントモルタルを使用した。図 3 のグラフにおいて、最大強度後のグラフ変化は現場調合モルタルを用いた試験体と同様の変化が見られ、片面補強と、両面補強は一定の耐力を保持したまま抵抗を続ける。最大耐力も補強がしてあるほど大きくなっている。図 5 に層間変形量に対する残存曲げ強度を示した。日本の構造規定上、施行令 82 条の 2 で地震時の層間変形角は 1/200 以下となる性能を計算で確認する事を規定している。層間変形角が 1/700、1/500 のグラフでは残存曲げ強度に変化は見られないが、1/300、1/200 と変形が大きくなると、補強無し<片面補強<両面補強の順で残存曲げ強度が大きくなっている。AP100N は 1/500 で最大強度に達しているので、層間変形量 1/200、1/300 では極端に強度が低下している。一方で片面補強の AP100S と両面補強の AP100B は 1/200 の層間変形量時に最大曲げ強度となっている。組積造は復元力や抵抗力に欠けている為、一度損壊したら、急速に倒壊し、大きな変形に耐えることが出来ない構造である。しかし、この実験結果から、地震などの外力により組積造住宅に大きな変形(1/200)が生じた場合にも耐力が維持出来ていることが証明できた。図 6.7 に断面破壊率を示す。現場調合モルタル仕様は低強度の為、モルタル自身の破壊が起こりやすくシートの補強効果が表れにくい。今後はモルタル性能も考慮する必要がある。

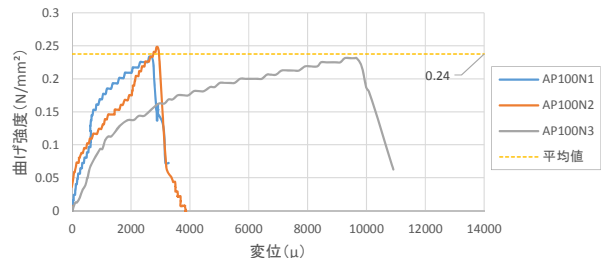


a) 補強無し (AM100N1, 2, 3)

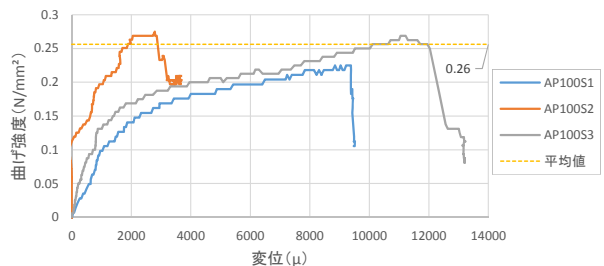


b) 片面補強 (AM100S1, 2, 3)

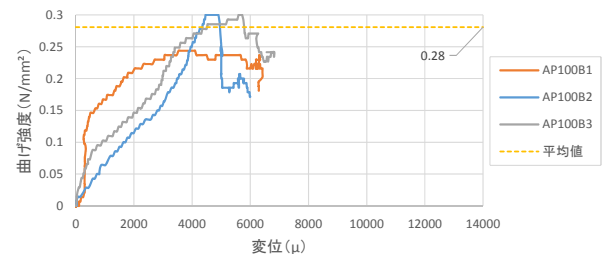
図 2 現場調合モルタル-曲げ変位曲線 (Aタイプ)



a) 補強無し (AP100N1, 2, 3)



b) 片面補強 (AP100S1, 2, 3)



c) 両面補強 (AP100B1, 2, 3)

図 3 ポリマーセメントモルタル-曲げ変位曲線

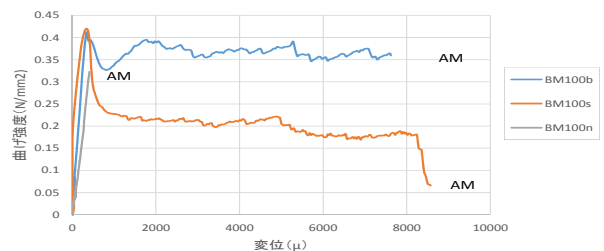


図 4 現場調合モルタル-曲げ変位曲線 (Bタイプ)

3.2.3 ALC 組積試験体の三点式界面せん断試験結果 (Bタイプ)

図4にBタイプの実験データを示し、BM100b. s. nの現場調合モルタルで施工した。Bタイプの実験もPPシート両面張り>片面張り>補強無しの場合より大きい残存耐力を示した。

Bタイプは目地部に曲げ応力による負荷がかかっているため最大耐力が低下した。この影響もあり、界面破断後の残存耐力の数値が最大荷重に近い値で抵抗した。このことから、強度が低い組積造壁面ほど、PPシートによる補強効果が見込まれると推察できる。片面補強試験体に関しても最大強度の55%の残存耐力を維持した。また、図6.7には断面破壊率を示し比較した。補強なし (BM100n) は42%の母材凝集破壊率であったが、片面補強 (BM100s) は52%の破壊率を示し、性能の向上が見られた。また、片面補強の試験体断面においては、PPシートによる補強が施されている面側に母材凝集破壊が多く、見られ、このことからPPシート補強が有効であり、性能が向上していることが分かる。実壁面は曲げによる母材破壊が起りにくい為、Bタイプにおいては一番起りにくい界面破断した試験体のみをまとめ、母材破壊したものは取り除いた。

4. まとめ

- 2016年5月に実施した企業合同ヒアリング調査により、本研究のPPシート補強が現地の生活水準に適した補修工法であることが、現地の施工技術レベルや収入などから分かった。また、ALC材料の利用価値も確認できた。
- 現場調合モルタルを用いた水平耐力試験体 (Aタイプ) の実験において、補強無しは最大荷重到達後脆性的な破壊で耐力が0になっている。一方で片面補強は最大荷重後、PPシートが抵抗しているため一定の耐力を保持している事が確認できる。補強効果により最大平均耐力も13.5KNから16.2KNまで上昇し、破壊後の平均残存耐力も0KNから約8KN (最大荷重の49.3%) を保持している。
- ポリマーセメントモルタルを用いた水平耐力試験体 (Aタイプ) の実験。PPシートが抵抗し、片面補強は平均で0.15N/mm²、両面補強は平均0.2N/mm²の残存曲げ強度を有している。また最大耐力も同様に向上している。各層間変形時の残存強度評価は、補強無しは1/500で最大強度を示したが片面補強と両面補強は1/200時に最大曲げ強度を示した。この実験結果から、組積造住宅に大きな変形が生じた場合にも耐力が維持出来ていることが証明できた。

参考文献

- ALC協会 東北地方太平洋沖地震におけるALC外壁パネルの地震被害調査報告 建築防災 2012.4
- 日本コンクリート工学会 コンクリート工学 Vol.55 No.5 2017.5
- JIS A 5416 : 軽量気泡コンクリートパネル・ALCの圧縮強度 1997
- JIS A 1106 : 中央点荷重法によるコンクリートの曲げ強度試験方法 1999
- JIS A 1150 : コンクリートのスランプフロー試験方法 2001

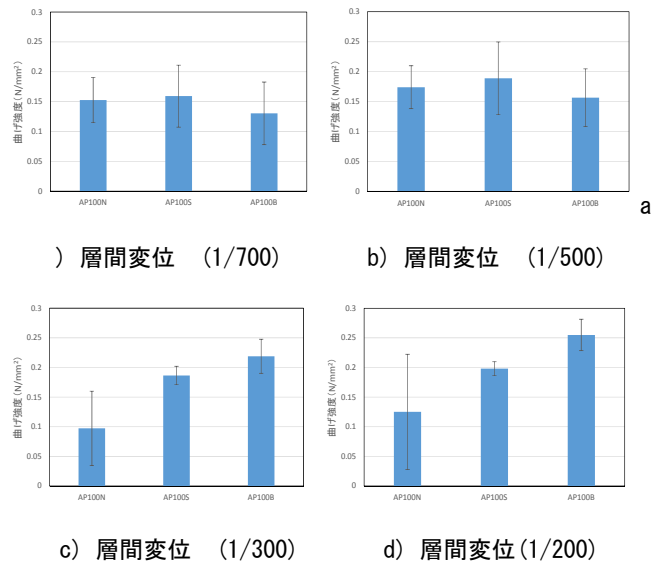


図5 ポリマーモルタル試験体・変形時の残存曲げ強度 (AP100)

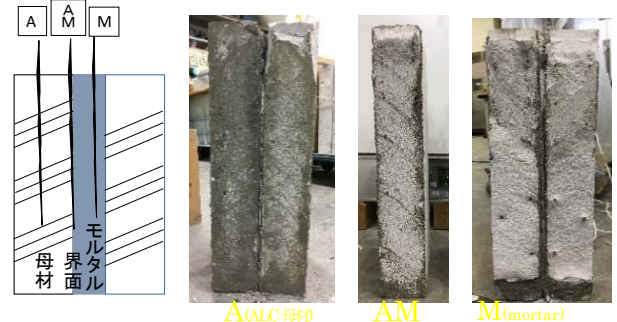


図6 現場調合モルタル・試験体破壊後断面による破壊モード

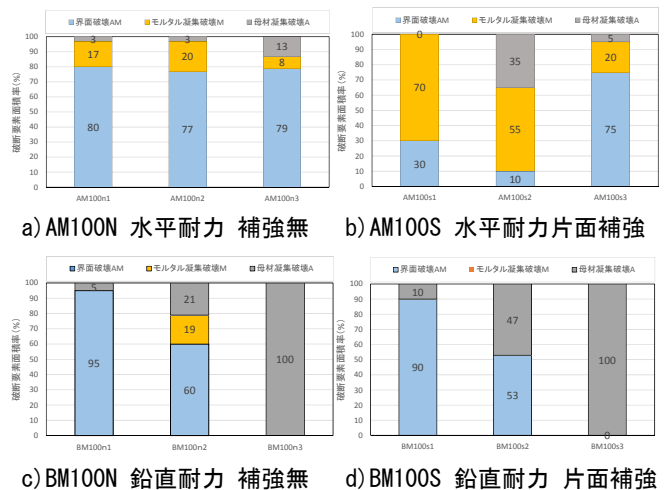


図7 現場調合モルタル A, Bタイプ破壊モード比率

謝辞

本研究は、平成29年度工学院大学私大研究ブランディング事業及び2007年度のイノベーションジャパン出展研究の一部であり、実施にあたり株式会社アーネストワン、セーレン株式会社関係各位との議論、調査等で多大な助力を賜った。

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数特性・エネルギーと劣化性状の相関評価

超構造ビル，非構造部材，タイル外壁，非破壊試験

乙幡 祐平* 田村 雅紀**

1.はじめに

タイルの外壁は、意匠性・耐候性・躯体保護の効果が期待されているが、浮き・剥離の問題があるため、定期的な診断が義務付けられている。

しかし、現況の劣化診断方法である打診法はタイル壁面を叩き、音の高低から浮き部分を耳で聞き分け判定する方法であるため、検査員の判定精度にばらつきがある。打診法の診断精度について実験した既往の研究によると、剥離範囲を健全部と判定してしまう誤診率が検査員によっては、最大で約 40%に及ぶという結果がある¹⁾。

この現状に加え、工学院大学新宿校舎で行われた打診による浮き状況調査では、先付け工法で浮きがあることが確認されても、浮きが生じている位置がタイル側なのか、躯体側なのか不明な異音のするタイルが約 6000 枚検出された²⁾³⁾。

そこで本研究では、打診音と浮き状況の相関を求めること

2.研究概要

図 1 に研究の流れを示す。表 1 に実験項目と方法、表 2・3 にそれぞれ実験要因と水準、使用材料を示す。

本研究では、擬似浮き部を有するタイル試験体を剥離位置別に作製、各種試験を実施し、浮き状況と打診音の相関を評価する。また、超高層の実建造物を対象に、浮き・剥離等の劣化及び補修状況調査とドローンの画像撮影による壁面損傷状況の調査を行う。

表 1 実験項目と方法

項目	方法	
研究 1 文献調査	外装診断手法に関する論文、書籍 タイル仕上げに関する論文、書籍 ドローンに関する論文、書籍	
研究 2 新宿校舎外壁タイル調査	文献調査	外壁調査・工事報告書等
	ヒアリング調査	大学施設部、外装工事会社にヒアリング
	ドローン調査	中層棟南側壁面を可視画像・赤外線画像等で撮影
	打診音調査	打診棒で外壁を叩き、その音を打音チェッカー(PDC-100)で計測
研究 3 擬似浮き試験体の作製・実験	試験体作製	発泡スチロールを擬似浮きに見立て、試験体を作製
	加速度測定試験	水平に固定した試験体に一定の高さから鉄球を自然落下させ、衝突後のコンクリートの縦方向の振動変位、加速度をデジタル振動計で測定
	打診音試験	水平に固定した試験体に一定の高さから鉄球を自然落下させ、打音チェッカー(PDC-100)にて周波数を測定
	赤外線サーモグラフィ試験	赤外線サーモグラフィ法のパッシブ法により、熱画像を解析し、表面温度測定
	付着強度試験	テクノテスターにて、引張試験を行い、付着強度を測定
	衝撃弾性波試験	ハンピーノにて、弾性衝撃波試験を行い、HLD 値を計測
研究 4 周波数特性分析	研究 3 の測定値を使用	
研究 5 劣化傾向分析	研究 4 で定量化したデータを基に、新宿校舎外壁の劣化診断を試みる	

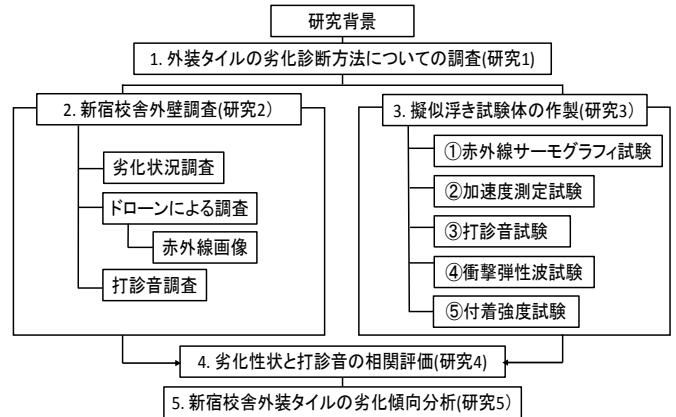


図 1 研究の流れ

表 2 実験要因と水準

項目	実験要因	水準		
研究 1	文献調査	論文、書籍、HP		
研究 2	対象建築物	工学院大学新宿校舎、築 31 年、地上 29 階、SRC 造		
	文献調査	外壁調査報告書(平成 24 年)、外壁工事報告書(平成 29 年)		
	ヒアリング調査	外装工事会社、大学施設部		
	ドローン調査	飛行機材 Mavic、Matrice100、Matrice600		
	打診音調査	打診棒 17.5φ、19φ、24φ 回数 3回、5回、10回 単位 周波数(Hz)、音圧レベル(dB)		
研究 3	試験体作製	寸法	乾式外装タイル 50 角モザイク、50 角 2 丁掛 コンクリート平板 450×600×55(mm) 発泡スチロール 10%、30%、50%	
		浮き型	(A)貫通	2mm、3mm、4mm、5mm、6mm
			(S)正方形	(B)左官下 1mm、2mm、3mm、4mm、5mm
			(R)円形	(C)タイル下 1mm、2mm、3mm、4mm、5mm
	(D)モルタル		1mm	
		(N)浮きなし	2mm、4mm、6mm、8mm	
	加速度試験	回数 1回、2回、3回 単位 加速度(m/s ²)、変位(mm)、衝撃力(N/mm ²)、振動レベル(dB)		
	打診音試験	鉄球径 10mm、20mm、25mm、31.75mm 回数 1回、2回、3回 単位 周波数(Hz)、音圧レベル(dB)		
	赤外線サーモグラフィ試験	単位 温度(℃)		
	衝撃弾性波試験	回数 1回、2回、3回 単位 HLD		
付着強度試験	単位 付着強度(N/mm ²)			
研究 4	周波数特性分析	対象 試験体(研究 3) 単位 周波数(Hz)、音圧レベル(dB)		
研究 5	劣化傾向分析	対象 工学院大学新宿校舎、築 31 年、地上 29 階、SRC 造 単位 周波数(Hz)、音圧レベル(dB)		

表 3 使用材料（研究 2、研究 3）

分類	項目	記号	内容
研究 2	仕上材	磁器質タイル	45 二丁掛
	仕上げ工法	PC 板打ち込み	—
		現場張り	—
	シーリング材	変成シリコン系	—
研究 3	飛行機材	ドローン	Mavic、Matrice100、Matrice600
	仕上材	磁器質タイル	t 50 角モザイク、50 角 2 丁掛
	下地材	ポリマーセメントモルタル	m w/c = 28%
	構造材	普通コンクリート	c JIS A 5371 平板
	擬似浮き材	発泡スチロール	eps JIS A 9511
	張付け剤	弾性接着剤	p1 変成シリコン樹脂(70%)
		p2	w/c = 28%
	治具	—	45mm×45mm

*工学院大学建築学部建築学科・学部 4 年 **工学院大学建築学部建築学科・教授

3. 工学院大学新宿校舎のタイル外壁劣化状況調査

3.1 外装補修状況の調査

超高層建築である、工学院大学新宿校舎(図 4)を対象にタイル壁面の浮き状況調査を実施した。仕上げ工法は、主に PC 版打ち込み工法で、低層部分と一部に現場張り工法が採用されている。図 2、3 に平成 17 年度、平成 24 年度、平成 29 年度における、三度の外壁浮き状況の調査結果を示す²⁾³⁾⁴⁾。結果を見ると、躯体コンクリート側の浮きとタイル側の浮きが、東西南北各方位による違いが表れることが確認できた。

3.2 ドローンによる壁面損傷調査(平成 29 年 9 月 8 日実施)

外壁タイルの損傷状況をドローンから確認する実証実験が工学院大学新宿校舎で行われた。今回の調査は、中層棟南側壁面(図 5)にて実施され、赤外線カメラや高解像度カメラ等、各種カメラによる外壁撮影が行われた。ドローンから撮影した赤外線画像や可視画像と、外壁補修工事の際に取得された外壁の損傷状況データ(図 6)³⁾を照合し、浮き状況の分析を今後進めていく。赤外線サーモグラフィ法⁶⁾は画像撮影時の障害物回避や規定測定角度(45 度以内)等の実施条件があるため、高層ビルの外壁調査への利用が不可能となる場合があるが、ドローンに機器を搭載し、空中から撮影することで、その点をカバーできる。また、ドローンを用いた新たな点検手法の確立は、大規模災害発生後の迅速な壁面状況の把握にも繋がる。結果の詳細は、現在分析中である。



図 4 ドローン調査関連写真

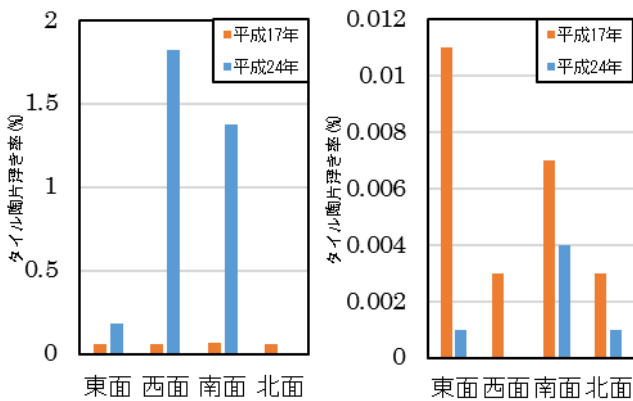


図 2 新宿校舎、PC 板先付け工法、タイル陶片浮き率



図 5 中層棟南側立面図

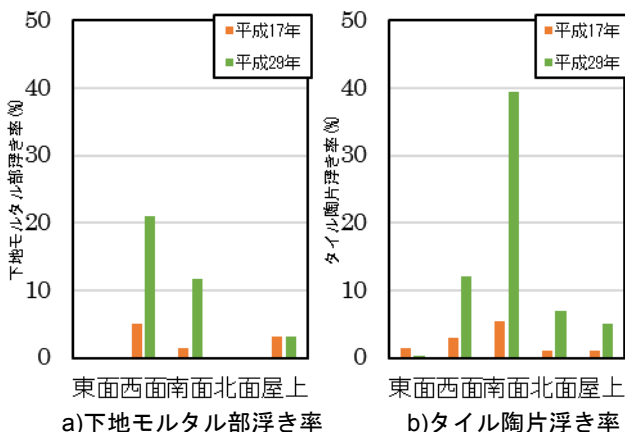


図 3 新宿校舎中層棟、現場張り工法、各種浮き率

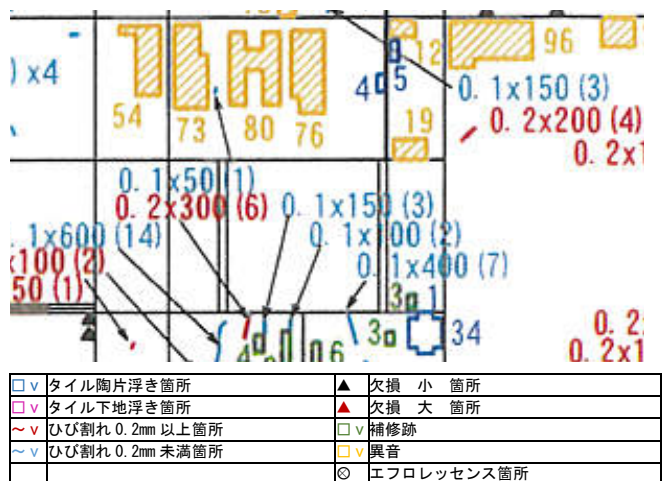


図 6 外壁損傷データ(中層棟南側壁面一部)

4. 擬似浮き部を有するタイル試験体の作製および各種試験

4.1 試験体の作製

タイルの浮き劣化状況を模した試験体を作製する(図 7-a)。発泡スチロールをタイル壁面内の空隙に見立て、タイル張付け時にモルタル内部に埋込むことで擬似浮きを再現する。タイルは 50 角と 50 角二丁を使用し、一つの浮きパターンごとに 3 個ずつ作製する。

4.2 試験体の仕様

試験体の仕様とその一例を、表 4 に示す。試験体の種類は、擬似浮きの位置別に 4 系統(図 8)と、浮きなし型の計 5 系統とする。試験体の識別記号は、貫通浮きを A、下地モルタル部浮きを B、タイル陶片浮きを C、モルタル内部浮きを D、浮きなしを N とする。それぞれのパターンごとに、貼付けモルタル厚さ、浮き材形状等を組合せ、試験体を作製する。

4.3 衝撃弾性波法による強度測定試験結果

タイル中心部の強度測定結果を図 9 に、測定機器写真を図 7-b に示す。測定結果を浮き材の平面積割合別に見ると、10%、30%、50%と浮き面積が増加するにつれ、硬さ値(HLD)の減少傾向が見られた。下地モルタル部浮き、タイル陶片浮きにおいてはそれに加え、どちらも浮き材の厚み Y_B 、 Y_C (図 8 参照)が増すにつれ、硬さ値が減少する傾向があることが分かった。モルタル内部浮き試験体では、躯体コンクリート側からの浮き材高さ位置 Y_D (図 8-D 参照)がタイル面に近づく程、硬さ値が低くなる傾向が見られた。10%浮き試験体では ABCD どの系統においても、基準となる健全な試験体の硬さ値と同様な測定結果となった。衝撃弾性波法では、浮き部分の厚さ・面積が大きいほど、欠損の状態を評価することができた。

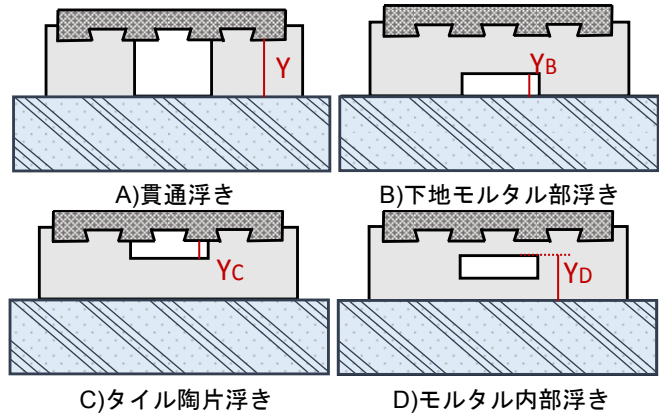
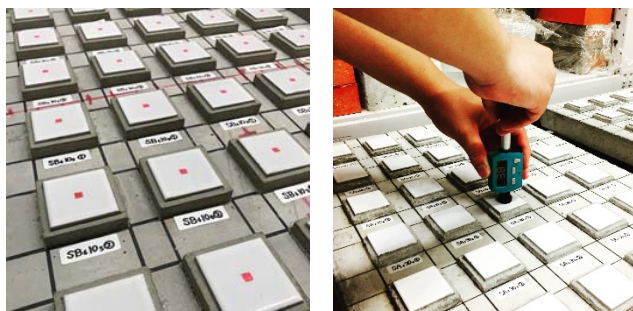


図 8 試験体のタイル浮き型別の断面図

表 4 試験体の仕様とその一例

浮き材形状	浮きパターン	モルタル厚さ(mm)	浮き材面積(%)	浮き材厚さ(mm)
(S)四角形	(A)貫通浮き	2(mm)	10%	1(mm)
(R)円形	(B)下地モルタル部浮き	3(mm)	30%	2(mm)
	(C)タイル陶片浮き	4(mm)	50%	3(mm)
	(D)モルタル内部浮き	5(mm)		4(mm)
		6(mm)		5(mm)
				6(mm)

例) SC6303		
①②③④⑤		①S四角形 ④30% タイル面積に対して30%



a)試験体写真

b)小型反発硬度測定器



c)打音チェッカー(PDC-100)

d)試験風景

図 7 非破壊・微破壊試験関連写真

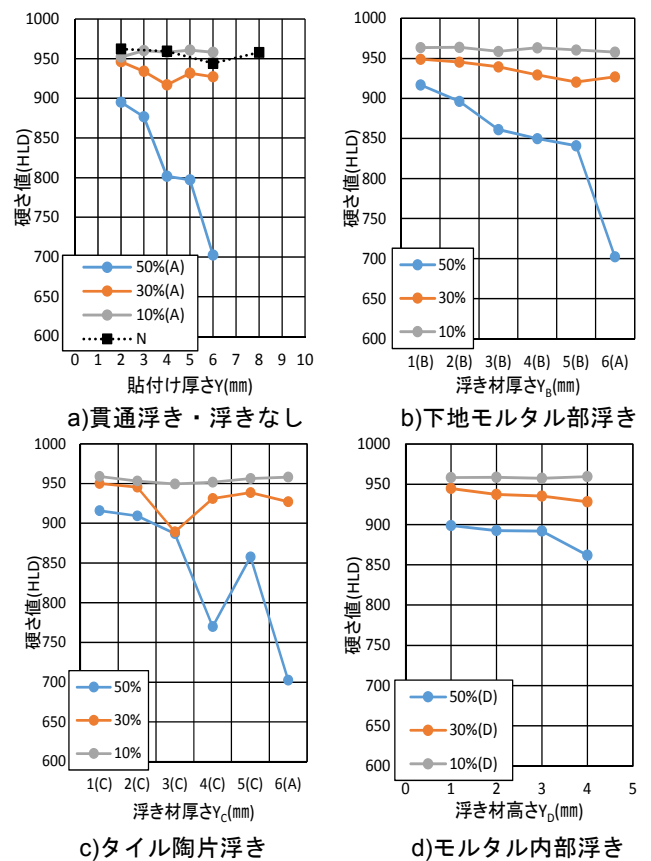


図 9 小型反発硬度測定器による硬さ値(HLD)測定結果

4.4 鉄球落下による衝突音測定試験

4.4.1 試験方法

水平に固定した試験体に鉄球を自然落下させ、その衝突音を測定する。測定機器は打音チェッカー(PDC-100)を用いる(図 7-c)。鉄球径は、10 mm、20 mm、25 mm、31.75 mm の四種類、落下高さは 1、3、5 cm とする。

4.4.2 試験結果

球径 25 mm の鉄球を 1、3、5 cm から落下させた試験結果の一例を図 10 に示す。横軸は周波数レンジ(kHz)、縦軸は音圧レンジ(PWR)を表している。この結果よりタイルの反射音は、タイル面に加えたエネルギーと反発界面の状態により決まることがわかった。

次に、作製条件が同じ 3 つの試験体の周波数測定値のエネルギーが第一第二ピークとなる周波数の平均値と標準偏差をグラフにしたものを図 11 に示す。結果を見ると、浮きの無い健全な試験体と浮きの在る試験体との間に明確な差は見られなかった。

5.まとめ

本研究より以下の知見が得られた

- 1) 打診検査は、調査員により判定精度にばらつきがあり、浮きの存在自体は確認できても、剥離位置の判定が困難なタイルが一定数存在することが事前調査により分かった。
- 2) ドローンで外壁の状況を確認した。撮影画像や外壁損傷データ等から、高層ビル外壁の損傷判断手法を検討する。結果の詳細は、打診検査結果と合わせて現在分析中である。
- 3) 衝撃弾性波試験では、浮き部分の厚さ・面積が大きいほど、欠損の状態を評価できた。
- 4) タイルの反射音は、タイル面に加えたエネルギーと反発界面の状態により決まることが確認できた。周波数測定結果をエネルギーのピークから比較したが、試験体の系統ごとに明確な差は、見られなかった。

参考文献

- 1) 添田智美、藤沼智洋「外装タイル剥離診断装置の開発に関する基礎研究」フジタ技術研究報告第 51 号 2015 年
- 2) 日本ビソー株式会社「学校法人工学院大学 新宿校舎 外壁シーリング更新他工事施工計画書」2017 年 2 月
- 3) 日本ビソー株式会社「工学院大学新宿校舎外壁シーリング更新他工事 第 1 回～3 回 進捗報告会資料」
- 4) 清水建設株式会社「工学院大学中層棟・高層棟(大学棟) 外壁調査報告書」平成 24 年 2 月
- 5) 日本非破壊検査協会「NDIS コンクリート構造物の弾性波による試験方法—第 3 部：打音法」
- 6) 日本非破壊検査協会「NDIS 赤外線サーモグラフィ法による建築・土木構造物表層部の返上評価のための試験方法
- 7) 小野芳樹「タイル付きコンクリート外壁の資源環境負荷低

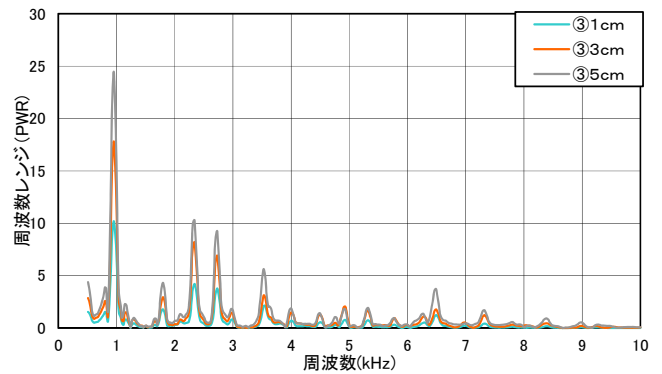
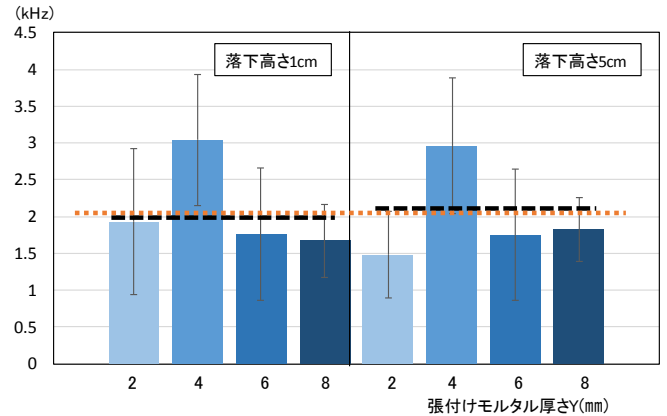
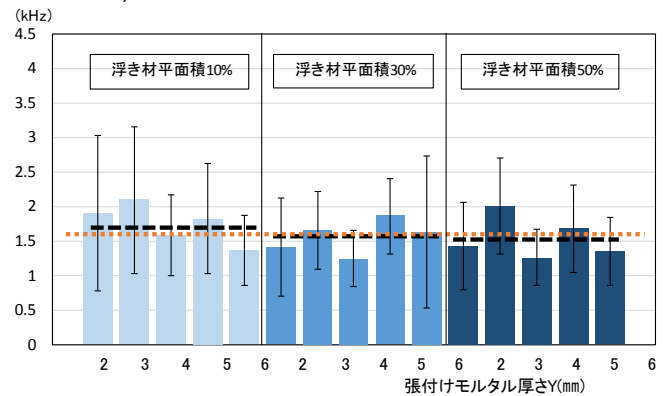


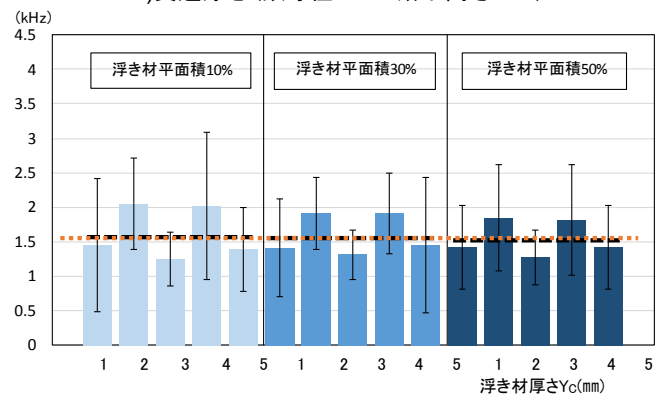
図 10 鉄球衝突音測定結果(試験体 SA6-10-6 □)



a) 浮きなし(鉄球径 25 mm 落下高さ 1cm・5cm)



b) 貫通浮き(鉄球径 25 mm 落下高さ 5cm)



c) タイル陶片浮き(鉄球径 25 mm 落下高さ 5cm)

図 11 鉄球衝突音の第一第二ピーク周波数平均値

謝辞

本研究は H29 年度私大研究ブランディング事業、H29 年度 ISDC プログラムの一部であり、工学院大学施設課関係各位、チーム新宿、株式会社ポート電子、株式会社フジタ、に助力を賜り感謝致します。

既存の現近代建築におけるラス漆喰天井の劣化状態の評価

現近代建築物，天井，ラス漆喰，腐食状態

半座三紗子* 田村雅紀 **

1. はじめに

遺産的建造物とは文化を共有する集団の歴史、伝統、風習などを集約した象徴的な存在である。そして遺産的建造物は地域復興や観光復興において観光拠点形成となるように、日本の社会において重要な役割を果たしている。それらの洋館等における天井仕上げのひとつとしてラス漆喰天井が用いられている。図 2 で示すラスは明治時代に西洋から普及したもので、明治の終わりまではイギリスやアメリカで作られたものを輸入して使用していた。国産化がされたのは大正 3 (1914) 年であった。現在それらの使用されていたラスは経年劣化が進み、さらに震災の影響もあり、ラス漆喰天井の落下が懸念されている。2011 年に起きた東日本大震災では近現代の建造物を含む遺産的建造物にも一定の被害があった¹⁾。そのなかでも、九段会館ではラスの劣化が原因とみられる影響も見られた。こうした被害防止のために 2014 年 4 月に「天井脱落対策に係る一連の技術告示」が施工され、天井の落下防止工法を中心に概要がまとめられた。そこで、「特定天井」という概念が新たに規定された。特定天井とは脱落によって重大な危害を生ずる恐れがある天井のことで具体的には①吊り天井、②天井高さ 6m、③水平投影面積 200m²、④単位面積質量 2kg/m² 超、⑤人が日常利用する場所—といった 5 条件がすべて当てはまるものを指す。

本研究ではこの特定天井にあたるラス漆喰天井が腐食し、剥落してしまう原因を過去の剥落したラス天井漆喰から図 1 の流れで分析し表 1 の材料を使用し、表 2 の要因と水準でラスや漆喰の形や成分を研究する。遺産的建造物に使用されている古くなったラス漆喰天井の補修をすることで経年劣化に対する耐久性や固定度などの性能を向上させ、長く利用される遺産的建造物となることを目指す。

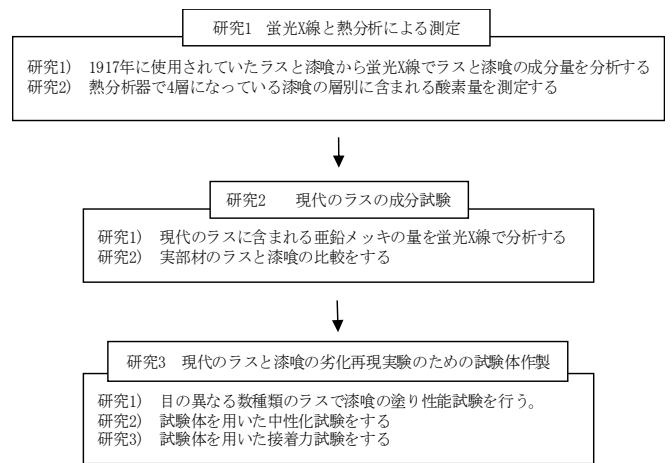


図 1 研究のフロー

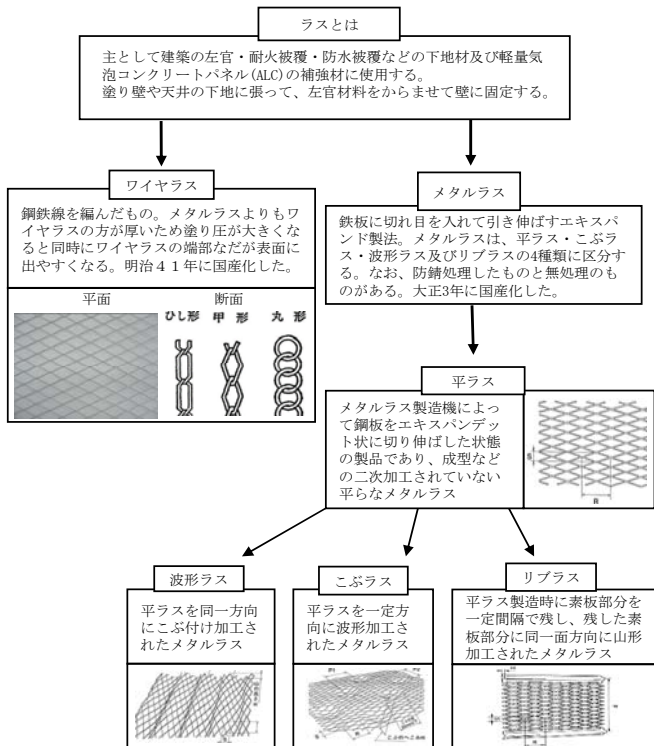


図 2 ラスの分類と特徴

実験	材料	内容
1-1	ラス漆喰	1917 年に実施工されていたラス漆喰天井部材
1-2	水	上水道水
	消石灰	JIS A 6902 左官用消石灰に準拠した消石灰
	骨材	大井川産陸砂(粒度 2.0mm 以下、絶乾密度 =2.68g/cm ³ 、吸水率=1.32%、F.M=2.83)
2-1	スサ	白毛すさ(1~3 層)、さらしすさ(南京すさ 4 層目)
2-2	メトローズ	1 袋 45g
2-3		漆喰の場合、消石灰 20kg に対し 2~3 袋使用
3-1	ラス	ハイラス (R=19, S=8.5) 薄板の厚さ 0.5mm、幅 610mm 長さ 1820mm、質量 900g/枚
3-2		平ラス 2号 (R=26, S=16) 薄板の厚さ 0.4~0.7mm、幅 610mm、長さ 1820mm、質量 0.50kg/m ²
3-3		ハッピーラス 波形 1号 (R=26, S=14.5)
		リプラス
		ニシヤマラス 厚さ 0.27~0.3mm 幅 900mm 長さ

表 1 使用材料

実験	要因	水準
1-1	剥落したラス漆喰天井 仕上面寸法：約 500mm×500mm	1917 年実施工要素
1-2		漆喰 4 層、ラス 1 層
2-1	ラス漆喰天井用ラス	ハイラス 一定
2-2		平ラス・ハイラス 一定
	ラス漆喰天井の形状	ラス漆喰天井下地を模擬
3-1	野縁・野縁受け	杉角材(幅 30×高さ 40×長さ 300mm)一定
3-2		
3-3		
	漆喰塗り厚	約 12mm 一定

*工学院大学建築学部建築学科・学部 4 年 **工学院大学建築学部建築学科・教授

表 2 実験要因と水準

2. ラス漆喰天井実部材を用いた実験の概要

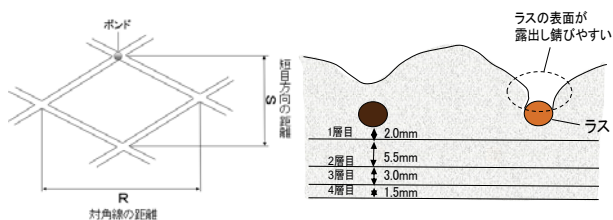
2.1 ラス漆喰実部材の分析

表 3 のラスの特徴⁵⁾と写真 2 の剥落したラス漆喰から、使用されていたラスは平ラスかハイラスで絞られる。ラスの寸法は図 3c) よりボンドの中心間距離とし、長目方向の対角線の距離を R、短目方向の距離を S としている。ラスのサイズを測ると図 3a) より S=13, R=26 ということから網目の小さいハイラスではなく、平ラスであり、そのなかでも 0 号が使われていたということが表 4a・b からわかる。図 4 に示す歴史的な流れを見ても、メタルラスは大正 3(1914)年に国産化したことから平ラスが 1917 年に使用されていたことが裏づけされ、この年代に使用されていたラスは平ラスが多いという仮説が立てられる。ラスが特定されたところで、1917 年に使用されていた漆喰天井が剥離した原因を解明する。写真を見て分かる通り、一部のラスは漆喰に付着しているが、ほとんどが完全に剥離している。これはラスの腐食が原因とみられる。ラス漆喰天井は内部や屋根裏からの CO₂ を吸収することにより、漆喰が中性化し、さらに湿度や温度の条件でラスの防錆処理が失われている場合により鉄部分が腐食し膨張することでラスが漆喰と剥離する。つまりラスが腐食する主な要因として、①漆喰の中性化によるもの。②漆喰を塗った時に完全に漆喰がラスを覆っていなかった③ラスに防錆処理がされていなかった。という 3 つが挙げられる。まず写真から分かるのは、②のラスが漆喰に覆われていないということである。漆喰の塗りこみが弱いとラスから山のように出た漆喰が隣の漆喰と重なることがない。そのためラスに対する付着面積が小さくなり、またラスも腐食しやすくなるため、剥離しやすい。ラス以外の剥落しやすい原因としては経年に伴う漆喰のひび割れ、ステーブルの腐食、木製下地材の腐食による固定度の低下等が挙げられる。



a) 採取したラス漆喰

b) ラス漆喰天井裏



c) ラスの寸法

d) ラス漆喰の断面

図 3 ラス漆喰天井実部材の構成

表 3 ラスの特徴分析と使用条件

ラス	特徴						
平ラス	JIS A 5505 製品。亜鉛鉄板によりつくられるものもある。特注品のサイズもある。						
ハイラス	網目に剛性があり、亀裂防止になる。編み目は平ラスよりも小さい。網目の形状がやや亀平型。ラス下地が不要。カーブの塗り面が自由。亜鉛鉄板からなる。機会吹付左官に適し、コテ塗りは非常に簡易に早くできる						
ハッピーラス (波型ラス)	建築基準法施工令 108 条のモルタル塗り厚 20mm を十分確保でき、耐火性能がある。モルタル質量によるラス切れを起こすことがなく、モルタル下塗り層の中心にラスが入るため、耐震性にも優れている。						
リブラス	用途は鉄骨造の内外壁、はり、柱など。建物の不燃化高層軽量化、プレハブ建築内装材として使用可能。モルタル等の付着がよく、役物に最適						
ニシヤマラス	モルタルの塗りやすい能率的な形状で手間がかからず、間柱にそのまま貼り付けるだけの 1 工程ですむため、作業人数削減につながり、経済的。モルタルの塗り厚によって木造は防火構造・鉄骨増では耐火構造となる。剛性は大きく伸縮・たるみ・継ぎ目の不揃い等による亀裂が生じない。また、クラフト紙が裏打してあり、内部からの木部の腐朽・蟻害等から壁を守る。						
種類及び記号	材料又は表面処理、及び記号	用途					
平ラス こぶラス 波形ラス リブラス A	F K W RA	溶融亜鉛めっき ステンレス	建築の左官・耐火被覆・防火被覆などの下地材				
ALC パネル用ラス	ALC	無処理	ALC パネルの補強材				
平ラスの寸法 (単位: mm)						ハイラスの寸法 (単位: mm)	
呼び方	0 号	1 号	2 号	3 号	4 号	ハイラス	ハイラス II
薄板の厚さ	0.4 ~ 0.6	0.4 ~ 0.6	0.4 ~ 0.7	0.5 ~ 0.7	0.5 ~ 0.8	0.5~0.6	
質量 (kg/m ²)	0.35	0.45	0.5	0.7	1.05	900 (g/枚)	1100 (g/枚)
備考	R	26~32				19	
	S	13~16				8.5	

実験	実験項目	評価方法
1-1	ラス漆喰天井部材 (1917 年施工)	ラス (Fe) と漆喰 (Ca) の成分分析
1-2		漆喰の炭酸化の有無
2-1	ラス	成分分析
2-2		腐食試験
3-1	小型試験体	塗り性能試験
3-2		付着強度試験
3-3	角柱形状試験体	強度試験

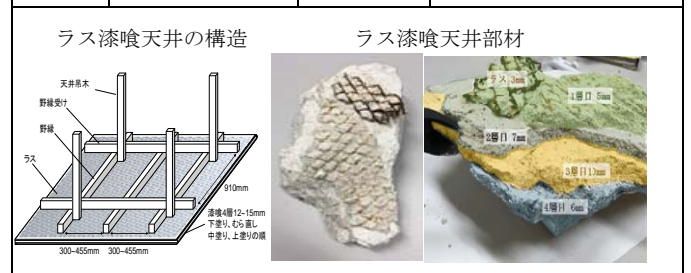


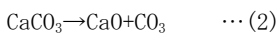
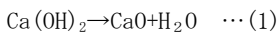
表 4 実験項目と評価方法

2.2 ラス漆喰実部材の蛍光 X 線分析装置による成分分析

図 5 に蛍光 X 線を用いた漆喰とラスの成分分析の結果を示す。値は、蛍光 X 線による強度比(cps/uA)から想定した酸化物の質量割合で求めた。使用されていたラスは大まかに 4 層に分かれており(表 4)、天井側から順に 1 層目(下塗り)、2 層目(むら直し)、3 層目(中塗り)、4 層目(上塗り)となっている。そこで 4 層に分けられた漆喰と 1 層目についていたラスを採取し、さらに現代使われているラス(ハイラス)も分析し、比較する。漆喰の 4 層分を比較してみると、図 5 からわかる通り、塗り層による材料の含有量と分析された成分との割合が一致していることが分かる。しかし、図 4 より、当時使われていたラスと現代のラスを比較すると明らかに成分と割合が異なることが分かる。当時のラスには亜鉛めっきはほとんどされていない。漆喰 1 層目(図 5a)からも付着した亜鉛はほとんど検出されなかったため、1917 年代に使用されていたラスには亜鉛メッキが使用されていなかったと裏付けられる。

2.3 漆喰実部材の熱分析装置による熱重量測定

漆喰の中性化による原因があるかを調べるため、熱分析装置で層別に含まれる構成元素量を測定する。採取した漆喰は SiO₂ 固形分を中心とした砂質量割合(%)を量り、下塗りの場合は約 10%、むら直し・中塗りには約 50~60%程度の砂含有分を除く漆喰分を測定対象とした。熱分析のグラフは質量変化率(%)と示差熱変化(μV)を表し、漆喰に含まれている成分の燃焼温度の発熱・吸熱反応とその質量によって分析する。図 6 のグラフを見ると、漆喰の 4 層共に 100℃で初期減少である水(H₂O)の蒸発が見られないことから漆喰は水分を含んでおらず、木質系の繊維であるスサが燃える温度が約 260℃であることから発熱反応が起きていることが分かる。次に約 550℃になると消石灰(Ca(OH)₂)の構造水が脱水を始める(式(1))。さらに 850℃までに漆喰が炭酸化する反応の脱炭酸化反応式(2)が起こり、最後に漆喰に含まれる砂が溶ける構造水が吸熱する反応が見られる。



また、蛍光 X 線で測定した結果だけでは漆喰の炭酸化した割合が分からないため、熱分析の結果を合わせて分析した結果、図 7 のようになり、当時の漆喰に含まれる消石灰のうち 4 層すべてが約 8 割炭酸化した炭酸カルシウム(CaCO₃)となっていた。この結果からラスは酸化しやすい状態にあったことが分かった。漆喰が中性化していたことも含め、ラスが腐食してしまう要因がすべてそろっているため、このラス漆喰天井は非常に剥離しやすい条件にあったと考えられる。

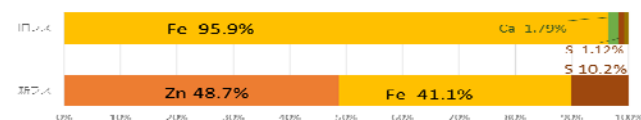


図 4 ラス実部材の化学組成比較(旧ラス、新ラス)

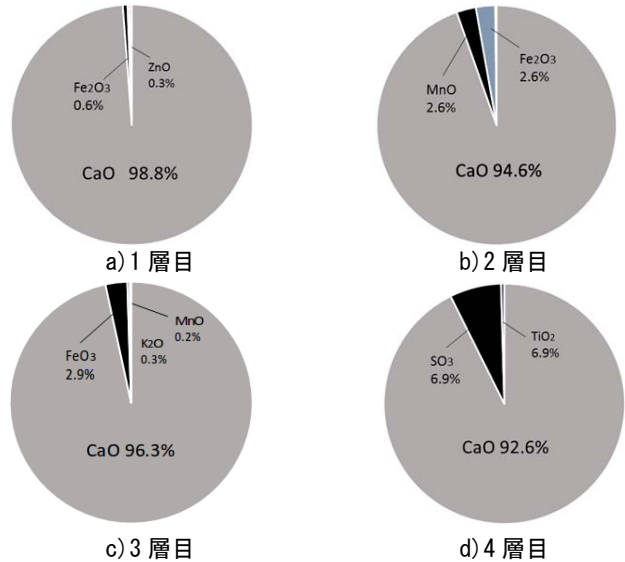
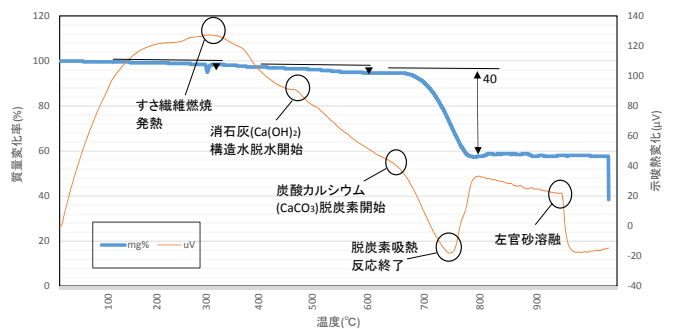
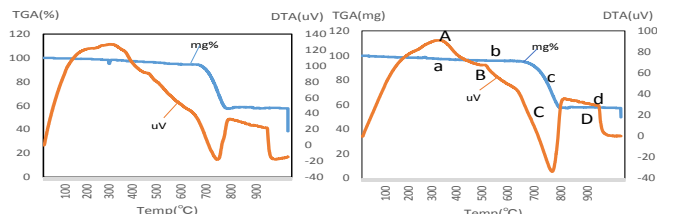


図 5 漆喰実部材の蛍光 X 線分析による層別化学組成比較

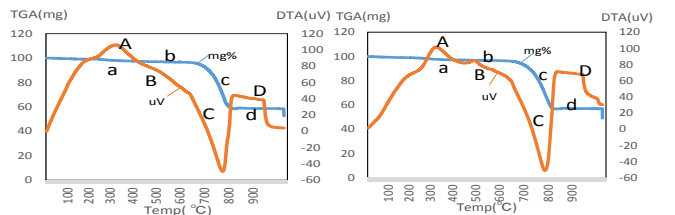


a) 1 層目 (b) 熱分析グラフの解説



b) 1 層目

c) 2 層目



d) 3 層目

e) 4 層目

図 6 漆喰実部材の示差熱・熱重量による層別構成元素量比較

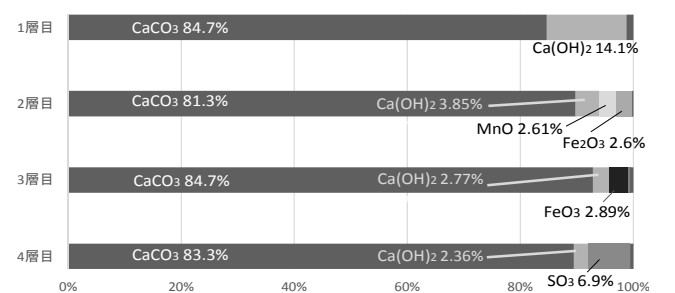


図 7 漆喰実部材の層別炭酸化割合 (1~4 層)

3. ラス漆喰試験体を用いた劣化状態の検証実験の概要

ラスが普及していた当初の防錆処理がされていないラスの耐久性を求めるために試験体を作成する。試験体は表 5 にあるように、ラスに防錆処理がされているものとしていないもの、またラスの網目の大きさを換え、ラスの打ち付ける位置を変えることで漆喰の塗り厚による付着力の変化も比較する。そして漆喰の調合は表 6 の木摺り下地の調合をもとにして、砂と水の量を調整することでラス漆喰に適した調合を分析する。さらにそのラス漆喰を中性化したものと中性化させ塩水をかけたものとで腐食試験を行う。加えて、各試験体を 3 つずつ作りそれぞれの平均をとる。試験体は表 5 の試験体全体図のように引っ張り試験を行うためのジグ (45×45mm) の大きさに合わせ野縁にあたる木枠を作成する。木枠はラスを打ち付ける高さ上 (15mm) 下 (5mm) とし、表 5 試験体断面図にあるように漆喰を塗る。またラスを打ち付ける前に漆喰を一定の高さで塗っておくことで安定した塗り厚を確保する。平行して 40×40×160mm の鋼製三連続型枠を用いて強度試験の試験体を作製する (写真 8c)。養生は気温 20℃、相対湿度 60% の試験室環境にて実施する。試験体から引っ張り強度を測定し、漆喰の耐久性を分析する。

4. まとめ

- 1) 過去に使用されていたラス漆喰天井は漆喰の塗り厚が通常 (12~15mm) の約 2 倍の厚み (約 28mm) があつた。
- 2) 当時ラス漆喰天井のラスには亜鉛めっきの防錆処理がされていないあつた。
- 3) 漆喰に含まれる消石灰のうち 4 層全てが約 8 割中性化していたことからラスが錆びやすい状態にあり、非常に剥落しやすい状況にあつたことが分析結果でわかつた。
- 4) ラス漆喰天井模擬試験体を作製するにあたり、塗り性能試験を行ったところ、形状が特殊な波形ラスでは安定したかぶり厚が確保できず、網目が細かいラスではすさが引かかつてしまつた為、改良を加えた試験体を作製した。
- 5) 作製した試験体で引張試験、腐食試験、またラスの塗り厚による強度を分析することで、漆喰の接着力を比較する試験を行い、さらに天井漆喰の最適な調合を見つける。

参考文献

- 1) 日経アーキテクチャー「九段会館、天井崩落メカニズムを推定」2017 年 2 月号
- 2) 真鍋恒博 一般財団法人建材試験センター「建材試験情報」2017 年 1・2 月号「各種建築部品・構法の変遷」Vol. 3
- 3) 毛利聡他「粘着型防水紙の活用による木造ラスモルタル外壁の品質向上の検討」日本建築学会構造系論文集 Vol. 81
- 4) 岡健太郎他 建築物の LCM における維持保全と保存的活用ストラテジー 日本建築学会関東支部研究報告書 2017. 3
- 5) 西山鉄鋼製作所製品技術情報 2017 年取得
- 6) 日本規格協会「メタルラス」JIS A 5505 2014. 8

表 5 ラス漆喰劣化再現実験のための試験体作製条件

	ラスの表面処理	防錆処理有り・防錆処理無し	
	ラスの種類	平ラス 2 号・ハイラス	
試験状態	漆喰の調合	砂	水
標準 中性化 中性化+塩水	ラスの位置 上・下	多い	多い
		少ない	多い
		少ない	少ない
		なし	普通

a) 試験体全体図 b) 試験体断面図

c) 漆喰の塗り状態 d) ラスの打ち付け状態

表 6 ラス漆喰劣化再現実験のための調合・塗り厚条件

施工箇所	塗り層	消石灰		砂	つのもたまたは銀杏草 (g)	すさ (g)		塗り厚 (mm)
		下塗り用	上塗り用			白毛	さらし	
天井ひさし	下塗り	1	-	0.1	1000	900	-	2.0
	むら直し	1	-	0.6	900	800	-	5.5
	中塗り	-	1	0.5	800	700	-	3.0
	上塗り	-	1	-	800	-	800	1.5

※消石灰 20kg に対して

a) 漆喰材料 b) ミキサー機混和状態

c) 中塗り漆喰試験体 d) 漆喰裏面 (ハイラス)

謝辞

本研究は H29 年度工学院大学ブランディング研究テーマ 2 によるものである。試験体作製に助力を頂きました富沢建材株式会社富澤英一氏および協力関係者各位の皆様へ深く御礼申し上げます。

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～

建築設備 ライフライン 水賦存量 水の自給率

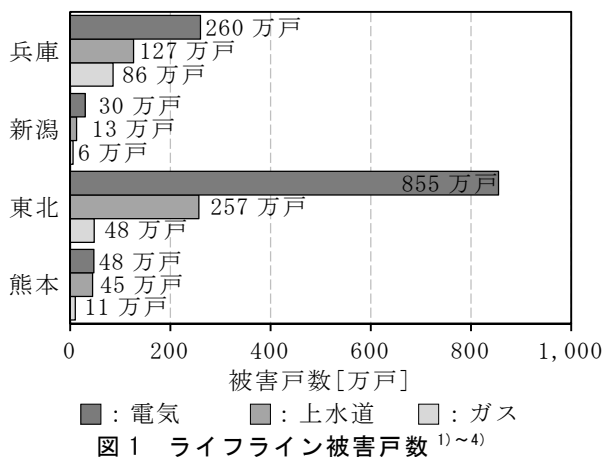
西川 豊宏*

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。本テーマでは、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、西新宿エリアの水賦存特性や建築物の設備耐震性について評価し、その対策を検討する。

2. 都市・建築のライフライン設備の地震被害調査

図 1 に近年発生した主な地震（兵庫県南部地震（以下 兵庫）、新潟県中越地震（以下 新潟）、東北地方太平洋沖地震（以下 東北）、熊本地震（以下 熊本））によるライフライン被害戸数^{1)~4)}を、図 2 にライフライン被害の復旧に要した日数^{1)~4)}を示す。4つの地震で共通して、電気の被害戸数が最も多く、次いで、上水道、ガスである。一方、それらライフライン設備の復旧に要する日数は、電気が最も早く、1週間程度で復旧している。上下水道は、最長で3か月程度要している。ただし、この調査は、完全復旧に要する日数を示したものであり、上下水道では、多くの建物が早い期間で断絶が解消している。



■：電気 ■：上水道 □：ガス

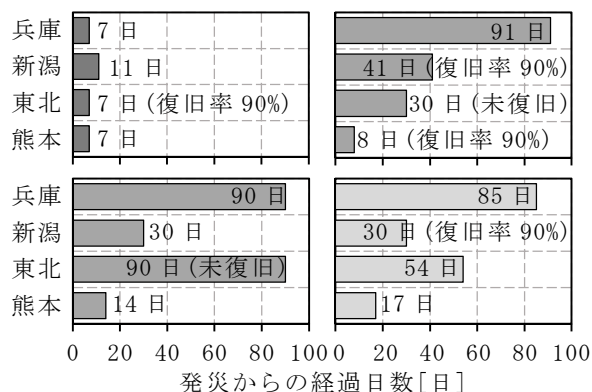


図 2 ライフライン復旧日数^{1)~4)}

3. ライフライン途絶に対する給排水衛生設備

3.1 評価エリアの概要

図 3 に本研究における評価エリアの建物概要^{注 1)}を示す。評価エリアは、新宿駅の西側であり、主にオフィスビルが立地し、新宿駅から離れるにつれて、住宅等が所在する。対象とした 44 棟の建物は、地盤面からの高さが 60m（階高 4m と仮定し、15 階）を超える建築物の超高層建築であり、5 つの用途の建物が所在する。中でも、事務所建物は、棟数では 72.7%、延床面積では 83.3%、建築面積では、77.6%と多くを占めている。また、対象とした建物のうち、10 棟が再生水を利用^{注 2)}している。

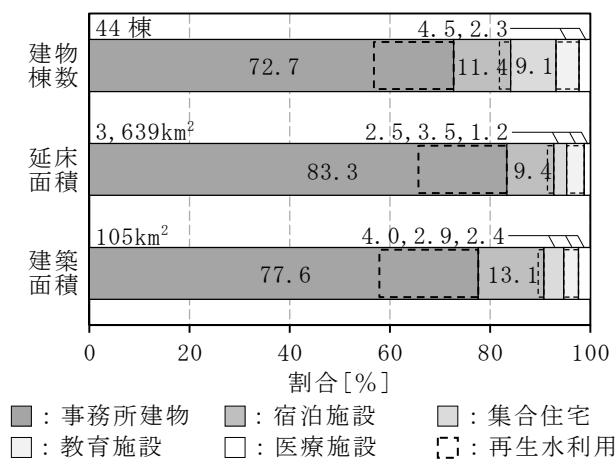


図 3 評価エリアの概要^{注 1)}

これらの建築物は、超高層大規模建築であることから、給水方式は高置水槽方式であると推測されるため、災害時において建築物へのライフライン途絶が生じて、高置水槽や受水槽が保有する水の使用が期待できる。そのため、ここでは、設計資料に基づき、建築物の水使用量と水槽容量の推算から、各時刻における水槽水位を求め、保有水量の時刻変動を予測した。

3.2 時刻別水使用量の仮定

図 4 に時刻別使用水量^{注 3)}を示す。評価エリアに所在する 44 棟の建築物の使用水量を時刻別に合計して示している。事務所建物が多く所在していることもあり、平日 9～17 時の水使用量が多い傾向にある一方で、土曜、日曜・祝日の水使用量は、平日と比較して、一日を通して変動が少ない傾向にある。

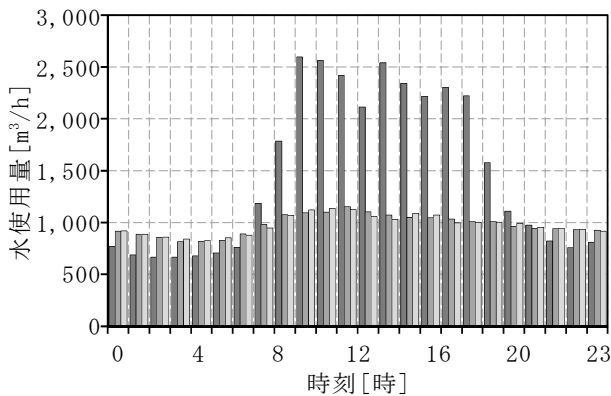
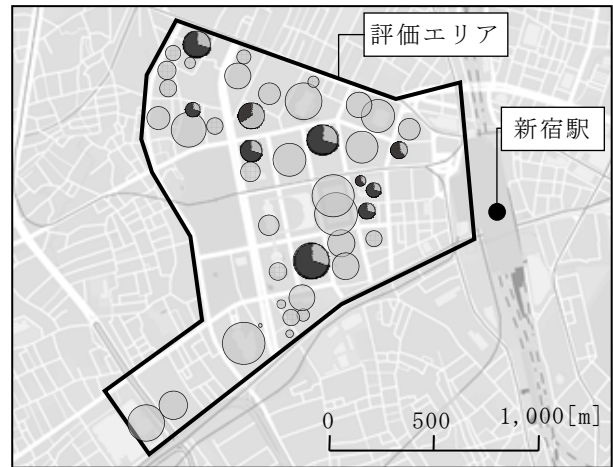


図 4 評価エリアの時刻別使用水量^{注 3)}

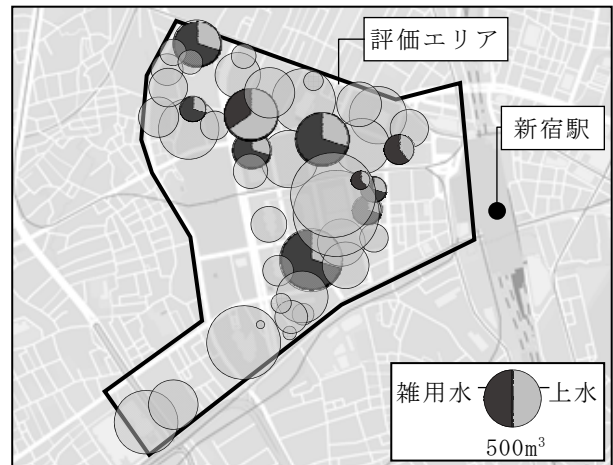
3.3 時刻別水槽水位の予測

図 5 に高置水槽、受水槽それぞれの水槽容量^{注 3)}、図 6 に時刻別水槽水位の予測結果^{注 4)}を示す。評価エリアに所在する 44 棟の建築物の受水槽と高置水槽の水槽水位をそれぞれ時刻別に合計して示している。予測計算をする際の初期条件として、水槽水位が満水の状態とし、水槽水位が補給水位を下回った際に満水まで補給されるとした。高置水槽の平日の水槽水位の時刻変動を見ると、水槽水位が最低となるのは、9 時であり、使用水量が最大となる時刻と一致した。土曜、日曜・祝日には、平日に比べて、大きな水位の低下は予測されなかった。これらの結果は、事務所建物が多くの割合を占める評価エリアの特徴であると考えられる。一方、受水槽に関しては、平日では、13 時に、土曜、日曜・祝日には、11 時に最も水槽水位が低くなる結果となった。受水槽は、高

置水槽に比べて、水槽容量が大きく、補給される回数が少ないため、水槽水位の変動に違いが生じた。



(b) 高置水槽



(b) 受水槽

図 5 評価エリアの水槽容量

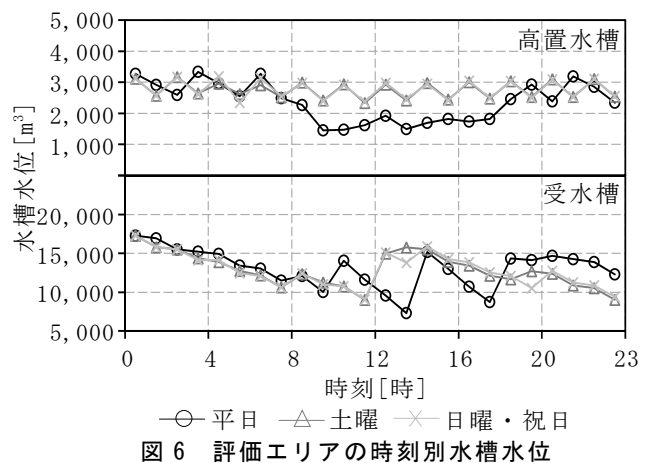


図 6 評価エリアの時刻別水槽水位

3.4 災害時の断水を想定した水利用の予測

前項までの結果を用いて、災害により上下水道が

寸断されたと仮定し、評価エリアにおける水の自給について、公的支援を望むことができない発災後3日間⁵⁾に関して予測を行う。

表1に断水時を想定した衛生器具の使用条件、表2に建築物に在館する人員数の算定条件を示す。本研究では、飲用水は、ペットボトルでの備蓄を想定し、水使用用途をトイレに限定した。断水を想定した際には、一日当たりのトイレの使用回数を5回⁶⁾と仮定し、上水を手洗いに、雑用水を便器洗浄水に使用するとして予測を行った。また、建物の在館者数に関しては、評価エリアでは、災害時に自宅へ帰宅するのではなく、建物に留まることを推奨⁵⁾しているため、平常時に建物に在館している人員数を建物用途ごとに予測した上で、外部からの受け入れを事務所建物、教育施設、宿泊施設に関して、想定するものとした。なお、人員数については、文献⁷⁾の調査結果を参考に、建物用途ごとに時刻変動を考慮しており、評価エリアの44棟の建物の合計人員の変動を図4に示す。

わずかではあるが、昼発災（13時）が最も自給率が低くなる結果になった。

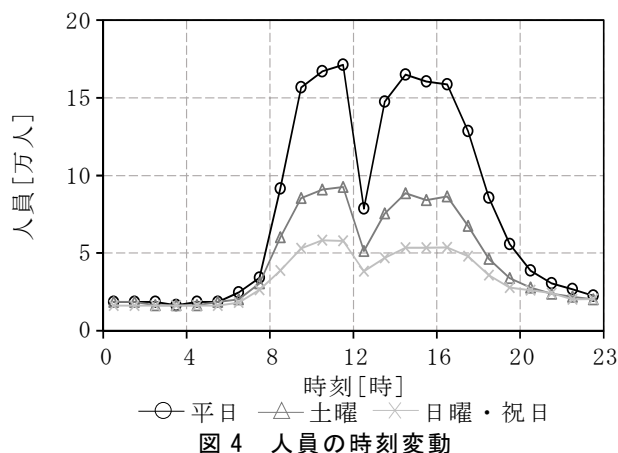


表3 自給率向上に関する検討パターン

検討パターン	手洗い器 [L/回]	大便器 [L/回]	小便器 [L/回]
現状	1.0	13.0	4.0
節水器具への改修	節水①	0.5	8.0
	節水②	0.5	6.0
	節水③	0.5	4.8
代替利用	代替①	上水を雑用水として代替利用	

表1 衛生器具の使用条件

	用途	使用水量	使用回数
上水	手洗い	1L/回	5回/日 (男:大1回/日 :小4回/日 女:大5回/日)
雑用水	便器洗浄水	大:13L/回 小:4L/回	

表2 建築物に在館する人員数の算定条件

	建物内部[人]	外部受入[人]
事務所建物 教育施設	専有面積 ^{※1} ×基準階階数 ^{※2} ×0.12人/m ²	有効面積 ^{※1} ×(2人/3.3m ²) ^{※3}
宿泊施設	(1人/床) + 従業員	有効面積 ^{※1} ×(2人/3.3m ²) ^{※3}
集合住宅	1R, 1K : 1人 1DK, 1LDK, 2K : 2人 2DK, 2LDK, 3K : 3人 3DK, 3LDK : 4人	なし
医療施設	(1人/病床) + 医師、看護師	なし

※1 専有面積：建築面積×レントラブル比0.6
 ※2 基準階：1階を除く階数
 ※3 3.3m²当たり2人が目安とされる¹⁾

図5に上水と雑用水の水自給率注5)を示す。発災時刻を、人員数の変動を考慮し、深夜(0時)、朝(9時)、昼(13時)、夜(17時)の4ケースとした。深夜発災のケースでは、上水、雑用水ともに、自給率100%を維持する結果となった。それ以外の3つケースでは、概ね同様な結果を示しており、上水では、40~100%を、雑用水では、10~30%を推移しており、

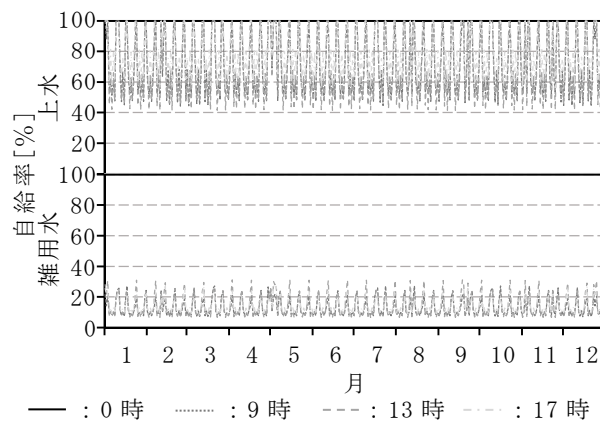


図5 発災時刻別の水自給率注5)

表3に評価エリアにおける水自給率を改善するため、その検討パターンを示す。近年の節水化の動向を考慮した節水器具への改修を行う3つのパターン(節水①~③)と、上水を雑用水用途に代替するパターン(代替①)の計4パターンで検討を行うこととした。図6に検討した4つのパターンの上水、雑用水別の水自給率を示す。図5の評価結果より、最も自給率が低いケースであった昼発災に対して水自給率の改善を検討した。節水器具への改修により、その使用水量が少ないほど、大きな改善の効果が予

測された。上水を雑用水へ代替利用することは、雑用水の自給率が改善された。

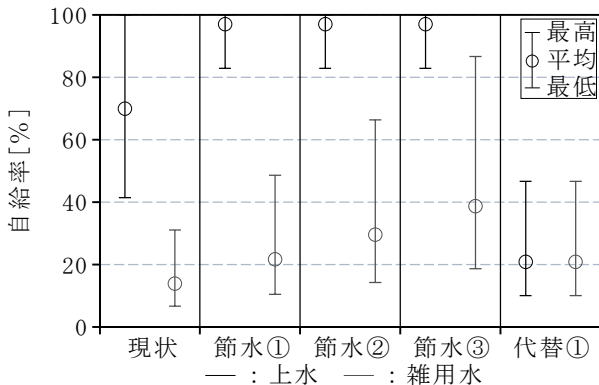


図 6 検討パターン別の水自給率 (昼発災) 注 4)

5. まとめ

本年度は、西新宿エリアのライフライン途絶を想定し、断水時の水賦存特性を発災時刻別に予想した。その結果、水の自給率は、上水では 40~100%、雑用水では 10~30%と推算され、非常時の水使用のあり方については一考を要する。今後は、建築設備の耐震性能を検証するとともに、常用設備としての適正容量と非常時対応について建築ハード面から評価する予定である。

謝辞

本テーマの推進にあたっては、工学院大学大学院修士 2 年 矢ヶ崎啓介君、まちづくり学科 4 年 菅野晃平君の協力がありました。記して感謝の意を表します。

注記

- 注 1) 建物情報は、建物ポイントデータ 2013 版(株)ゼンリン) を活用した。
 注 2) 東京都下水道台帳に基づき、再生水を引き込んでいる建築物を特定した。
 注 3) 時刻別水使用量は、式(2)~(3)により算出した。

$$Q_{h,t} = Q_d \cdot R \quad \dots \text{式(2)}$$

$$Q_d = Q_n \cdot S / 1000 \quad \dots \text{式(3)}$$

Q_d : 1 日の使用水量 [m³]
 S : 延床面積 [m²]
 Q_n : 単位床面積当たりの使用水量 [L/(m²・日)]
 事務所: 8.05 ホテル: 24.20
 一般家庭: 10.80 大学講義棟: 4.00
 病院: 22.40
 $Q_{h,t}$: 時刻別時図使用量 [m³/h]
 R : 使用水量の割合 [-]

注 4) 時刻別水槽水位を算出ため、水槽容量を式(4)~(5)により算出した。

$$V_s = Q_d / 2 \quad \dots \text{式(4)}$$

$$V_e = (Q_p - Q_{pu}) \cdot T_1 + Q_{pu} \cdot T_2 \quad \dots \text{式(5)}$$

V_s : 受水槽容量 [m³]
 V_e : 高置水槽容量 [m³]
 Q_d : 時間平均予想給水量 (= Q_d / T) [L/h]
 T : 水使用時間 [h]
 Q_m : 時間最大予想給水量 (= $k_1 \cdot Q_d$) [m³/h]
 Q_p : ピーク時予想給水量 (= $k_2 \cdot Q_m / 60$) [L/min]
 k_1 : 時間最大予想給水量のピーク率 (= 1.5) [-]
 k_2 : ピーク時予想給水量のピーク率 (= 3.0) [-]
 Q_{pu} : 揚水ポンプの揚水量 [L/min]
 T_1 : ピークの継続時間 (= 30) [min]
 T_2 : 揚水ポンプの最短運転継続時間 (= 15) [min]

注 5) 水の自給率は、式(6)により算出した。

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

R_w : 水自給率 [%]
 Q_{3d} : 発災後 3 日間の使用水量 [m³]
 Q_{sh} : 発災後 3 日間の不足水量 [m³]

参考文献

- 1) 神戸新聞 NEXT : <https://www.kobe-np.co.jp/rentoku/sinsai/graph/p3.shtml> (参照年月日 2017.12.14)
- 2) 佐藤慶昇ほか: 2004 年新潟県中越地震における供給系ライフラインの機能的被害と復旧過程について, 土木学会第 60 回年次学術講演会, p. 421-422, 2005.9
- 3) 東日本大震災合同調査報告書編集委員会: 東日本大震災合同調査報告, 土木編 3 ライフライン施設の被害と復旧
- 4) 内閣府: 防災情報のページ, <http://www.bousai.go.jp/updates/h280414jishin/h28kumamoto/pdf/h280729sanko01.pdf> (参照年月日 2017.8.23)
- 5) 新宿区地域防災計画(平成 26 年度修正): <http://www.city.shinjuku.lg.jp/content/000165027.pdf> (参照年月日 2018.2.13)
- 6) 内閣府: 避難所におけるトイレの確保・管理ガイドライン(2012.4), http://www.bousai.go.jp/taisaku/hinanjo/pdf/1604hinanjo_toilet_guideline.pdf (参照年月日 2018.1.23)
- 7) 2015 年国民生活時間調査報告書: https://www.nhk.or.jp/bunken/research/yoron/pdf/20160217_1.pdf (参照年月日 2018.1.15)

地表地震断層近傍の長周期地震動の特性

長周期地震動、地表地震断層、FRINGINGステップ
活断層、強震動、指向性パルス

久田嘉章*

1. はじめに

2016 年熊本地震（本震）では活断層に沿って大規模な地表地震断層が出現し、その近傍の益城町や西原村で特徴的な長周期強震動が観測された。本報告では、超高層建築など長周期建物で問題となる従来型の長周期・長周期地震動と、活断層近傍に現れる長周期パルスを整理し、簡単な断層震源モデルを用いて、その特徴や成因を調査する。なお本報告の 1 部の内容は、日本建築学会・第 45 回地盤震動シンポジウム（2017 年 11 月 24 日）で発表した。

2. 長周期地震動と断層近傍の強震動特性

まず長周期地震動を分類し、次に単純な断層震源モデルを用いた計算例から、断層近傍の長周期強震動の特徴を確認し、強震動計算を行う際の注意点を説明する。

2.1 長周期地震動の分類と主な特徴

表 1 に長周期地震動の分類を示す。長周期地震動は大別して、堆積盆地（関東平野など）内で卓越する表面波である長時間型と、断層近傍で発生するパルス型がある。さらにパルス型には図 1 に示すように、震源断層の破壊伝播効果によって発生する指向性パルスと、地表地震断層など浅い断層すべりに起因するFRINGINGパルス／FRINGINGステップがあり、さらには 2 種のパルスが同位相で重なり複合型パルスとなる場合がある（例えば、文献¹⁾⁻³⁾）。

指向性パルスは、1995 年兵庫県南部地震における神戸市で観測され（JMA 神戸波など）、市内建物の大被害の一因となったため「キラーパルス」として知られている（例えば文献¹⁾）。横ずれ・縦ずれ断層ともに主に断層面に直交する方向で卓越するが、横ずれ断層で破壊伝播が上昇する場合は、断層面に平行するすべりの向きに表れる場合がある²⁾。図 1(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。

FRINGINGパルス／FRINGINGステップは 1999 年台湾・集集地震で発生した大規模の地表地震断層のごく近傍で観測され（石岡波など）、長周期地震動の卓越と同時に、断層ズレによって建物に大きな被害が生じる場合がある。図 1(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。

2.2 単純な断層震源モデルによる断層近傍強震動の特徴

単純な断層震源モデルで断層近傍の特徴的な長周期地震動の物理的な成因と特徴を確認する。使用ソフトは著者らが開発した解析的手法（波数積分法）で、地表地震断層など浅い断層震源モデルで発生するFRINGINGステップを精度よく計算できる特徴がある³⁾。なお手法の詳細や計算ソフト、例題等は全て Web Page（工学院大学・久田研究室）で公開しているので参照されたい。

(1) 点震源による S 波放射特性

断層近傍の特徴的な強震動特性を理解するために、まず図 2 に点震源による S 波の放射特性を示す。まず図 2(1) は右横ずれ断層を上から見た地表上の平面図である。断層面の線上とそれに直交する線上では、それらの線に直交する方向で最大振幅の揺れが現れる。一方、それらの線に 45° 傾斜する線上では振幅が 0 になる。次に図 2(2) は、図 2(1) の A-A' 断面の放射特性であり、断層面に直交する線上では、紙面に直交する方向で最大振幅の揺れを示す。一方、断層面の延長線上では振幅が 0 となる。

(2) 地中断層モデルによる指向性パルス

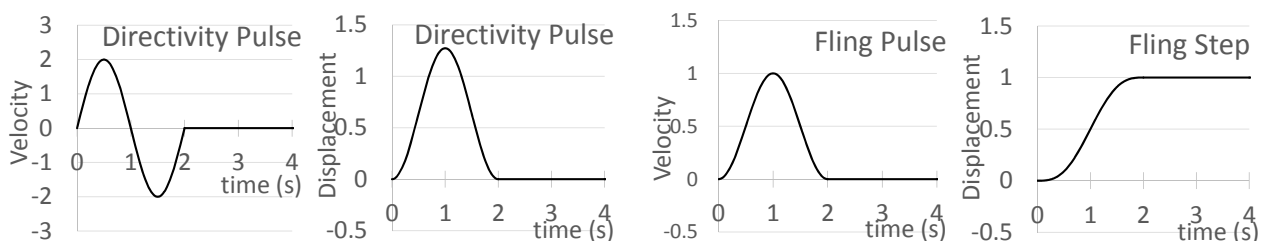
まず図 3 の単純な右横ずれの地中断層モデルで指向性パルスを確認する。地盤モデルは半無限一様地盤（密度=2.5g/cm³、Vs=3 km/s、Vp=5 km/s）とし、食い違い変位を 1m、継続時間 0.6 秒の三角形関数をすべり速度関数を用いて、3 Hz までの波を計算する。断層面は 10x4 km² であり、これを 5x2 個の小断層で

* : 工学院大学建築部まちづくり学科

は

表 1 特徴的な長周期地震動の分類例と主な特徴

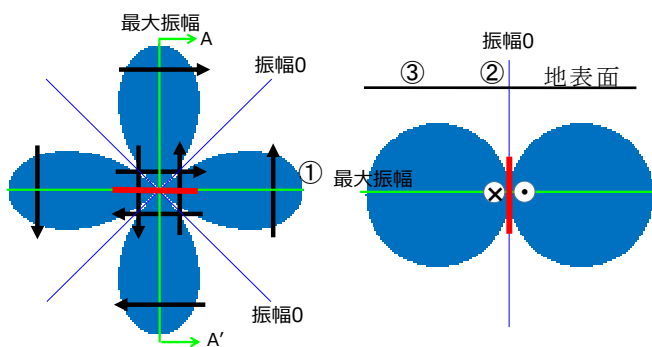
名称	特徴	主な成分	代表的な観測記録	代表的な計算法
長周期地震動	長周期・長時間地震動（やや長周期地震動）	堆積層表面波	・1923年関東大震災の東京本郷の変位波形 ・2003年十勝沖地震の苫小牧波、など	3次元差分法・有限要素法、経験的グリーン関数法など
	指向性パルス（キラーパルス）	実体波	・1994年ノースリッジ地震のNew Hall波など ・1995年兵庫県南部地震のJMA神戸波など	波数積分法、差分法、経験的グリーン関数法など
	フリングパルス（フリングステップ）	断層すべりに起因	・1999年台湾集集地震の石岡波、 ・1997年ランダース地震のLucene Valley波、など	波数積分法（静的項・面震源考慮）、有限要素法など
	複合型パルス（指向性パルスとフリングステップの複合）	実体波、断層すべりに起因	・2016年熊本地震のKiK-net益城町波、西原村役場波、など	波数積分法（静的項・面震源考慮）、有限要素法など



(1) 指向性パルス（左：速度、右：変位）

(2) フリングパルス（左：速度）とフリングステップ（右）

図 1 震源近傍の長周期パルス（指向性パルスとフリングパルス/ステップ）の概念図



(1) 平面図（上から見た場合）

(2) A-A' 断面図

図 2 点震源の S 波放射特性（右横ずれ断層の例）

分割する。破壊伝播速度は 2.5 km/s で、各小断層で 6x6=36 点のガウス積分点を配置し、最小波長でも十分な破壊フロントの連続性を確保した。震源（破壊開始点）の位置は、断層の左上端部（震源 1）と、左下端部（震源 2）の 2 ケースとする。一方、観測点は断層面の両端部近くで、断層面の地表の延長線から 0.1 km と 2 km の距離の計 4 点とした。

図 4 に計算した速度波形を示す。図中、FN 成分

断層直交（X）方向、FP 成分は断層平行（Y）方向で、上段が断層面の延長線上から 0.1 km（観測点 1A と 2A）、下段が 2 km（観測点 1B と 2B）の波形である。観測点 2A の FN 成分（特に震源 2 の場合）に大振幅の指向性パルスが現れている。観測点 2A は断層のごく近傍であり、図 2(1)の①点に相当し、断層各点から発生する要素パルス波は断層に直交する方向で最大振幅となる。断層破壊が進行する観測点 A では、これらの要素パルス波が、ほぼ同時刻に重なるため大振幅のパルス波に成長する。一方、震源 2 の場合、観測点 1A に向かって破壊伝播が上昇してくるが、FP 成分に指向性パルスが現れていない。これは図 2(2)の②点に相当し、断層面の延長線上では振幅 0 となるためである。一方、図 2(2)の③点に相当する観測点 1B では、FP 成分に指向性パルスが現れている。但し、観測点 2B の FN 成分の指向性パルスに比べて振幅が小さいが、これは破壊伝播の距離が短い（断層巾が長さより短い）ことと、観測点の位置が放射特性の最大振幅ではないためである。

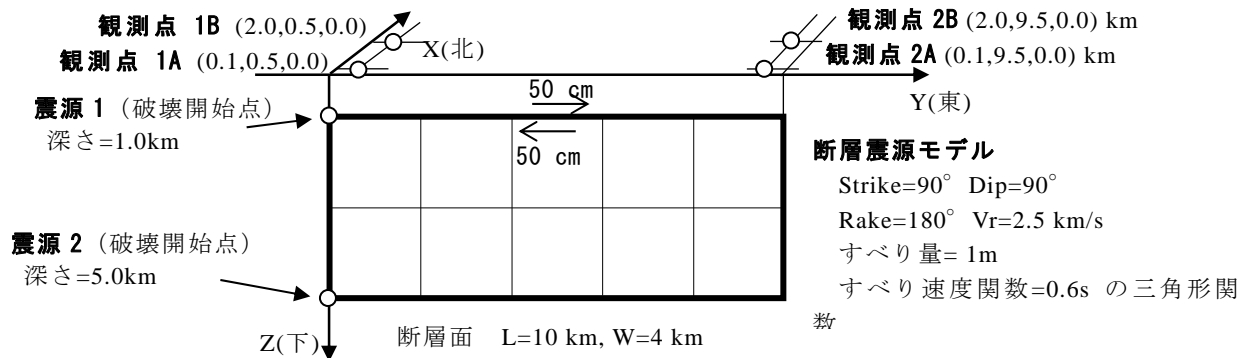


図 3 地中地震断層モデル (右横ずれ断層)

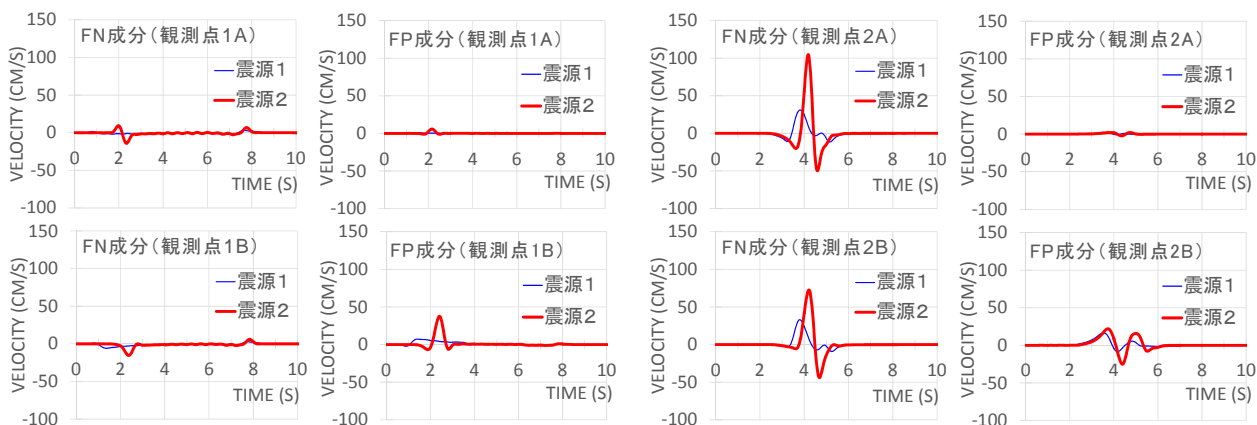


図 4 地中地震断層モデル (図 3) による指向性パルス (速度波形)

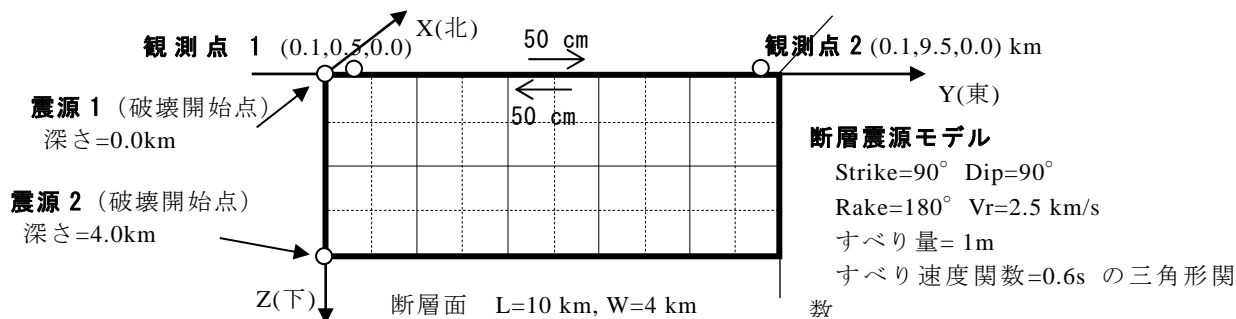


図 5 地表地震断層モデル (面震源モデル、および、5x2・10x4 分割の点震源モデル)

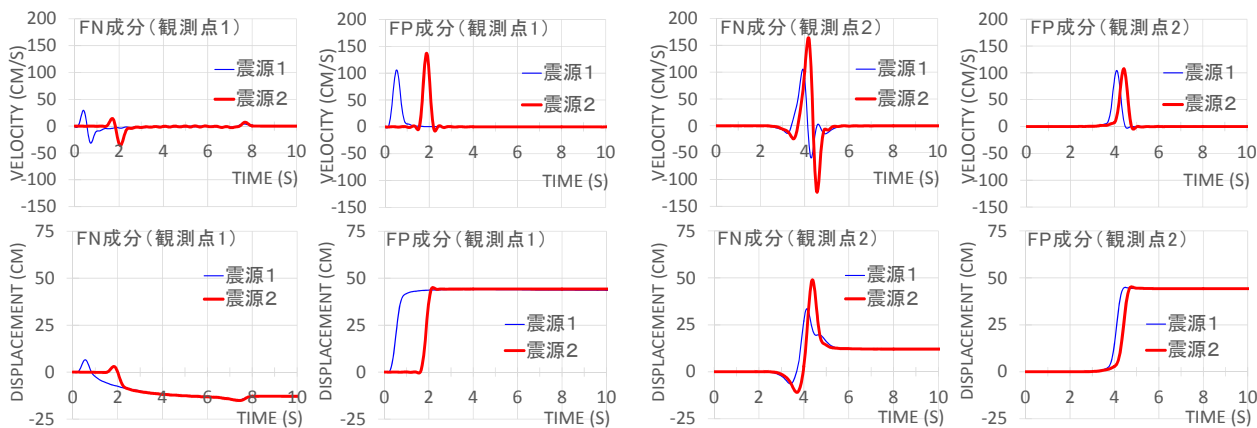


図 6 地表地震断層モデル (図 5) による指向性パルス・フリリングパルス/ステップ (上: 速度、下: 変位)

(3) 地表地震断層モデルによる指向性パルス、フリ ングパルス／フリングステップ、および複合型 パルス

次に図 5 に示す地表地震断層モデルを用い、指向性パルスとフリングパルス／フリングステップを確認する。このモデルは、断層面上端が地表に達すること以外は、図 3 と同じである。観測点は地表断層から 0.1 km 離れた断層の両端部に近い 2 点とする。

図 6 に速度波形（上段）と変位波形（下段）を示す。FN 成分では、観測点 2 で大振幅の指向性パルスが現れている。一方、FP 成分では、破壊伝播の向き（指向性）に関係なく、観測点 1 と 2 とともに速度波形に大振幅のフリングパルスが、変位波形にはフリングステップが現れている。永久変位の値はどの点でも断層面のすべり量 50 cm に近い値である。観測点 1 では、パルス波の振幅が震源 2 の方が震源 1 より大きい。これは震源 2 では破壊伝播が近づく指向性効果により、フリングパルスの幅が短くなるためである。加えて放射特性により振幅は小さいが、指向性パルスもほぼ同時刻に重なっている（表 1 の複合型パルス、図 7 の観測点 1 の FP 成分を参照）。

(4) 指向性パルスとフリングパルス／フリングス テップにおけるグリーン関数における静的・動的 項の寄与

図 6 の震源 2 に関して、グリーン関数を静的項（振動数=0 の項）と動的項（振動数=0 以外の項）の寄与を分離して波形を計算する。ちなみに、著者の手法ではフリングステップを高精度かつ効率的に計算するため、次の表現定理を用いて、グリーン関数を動的項と静的項を分離して計算している³⁾。

$$U_k(Y; \omega) = \int_{\Sigma} \left\{ T_{ik}(X, Y; \omega) - T_{ik}^S(X, Y) \right\} [D_i(X; \omega)] d\Sigma \\ + \int_{\Sigma} T_{ik}^S(X, Y) [D_i(X; \omega)] d\Sigma \quad (1)$$

ここで、 Y は観測点、 X がソース点、 ω は円振動数、 Σ は断層面、 $[D_i]$ は断層の食い違い変位である。 T_{ik} はグリーン関数で、上付き S は静的項であり、(1) 式の上段が動的項、下段が静的項の寄与による表現定理である。両者を分離する理由は、観測点が断層面に近づく（ $r=0$ 、 r は震源距離）とグリーン関数の静的項が $1/r^2$ のオーダーで発散するため、静的項を分離して r^2 のオーダーとなる厳密な面積分を実施することで、高精度な解を効率的に計算できるためである。静的項の寄与がフリングステップに対応し、

観測点が断層面に近づくと、変位波形は断層すべりに収束する³⁾。一方、上段の表現定理（動的項）ではグリーン関数の発散性が除去されるため、通常の小断層に分割する断層面積分で精度の高い解が得られる。ちなみに、動的項の寄与が指向性パルスに相当する。

図 7 が結果であり、静グリーンが静的項、動グリーンが動的項の寄与、全グリーンが両者の合計である。観測点 2 の FN 成分の指向性パルスは、ほぼ全てが動的項の寄与であり、一方、観測点 1 と 2 の FP 成分のフリングパルス／ステップはほぼ全て静的項の寄与であることが確認できる。

(5) 破壊伝播における不規則性（ランダム性）の導 入

図 6 の観測点 2 の FN 成分には非常に大きな振幅の指向性パルスが現れているが、現実の断層破壊は一定の速度で伝播することはなく、ランダム性が存在する。破壊伝播のランダム性は、短周期のランダム波を発生させ、高振動数の強震動を発生させるなど、非常に重要な役割がある（例えば文献⁴⁾）。破壊伝播のランダム性が指向性パルスとフリングパルスに与える影響を調べるため、図 5 の断層モデル（5x2 分割）の小断層にランダムな破壊開始時間の遅れを導入する。

図 8 は結果の一例であり、一様破壊モデル（破壊伝播速度が一定）と、ランダム破壊モデル（最大で 3 秒程度までの各小断層にランダムな破壊開始時間の遅れを導入）との結果を重ねている。FP 成分のフリングパルス／ステップでは、破壊開始時間の違いを除いて両者に大きな波形性状に変化は無いが、観測点 2 の FN 成分で明瞭であった指向性パルスは、ランダム破壊時間の導入により、振幅が小さく、継続時間が長いランダム性状を示す波形となっている。

(6) 面震源モデルと点震源モデルの計算波形の違い

一般に強震動計算では断層面を小断層に分割し、各小断層に点震源を仮定して計算することが多い。そこで面震源モデルと、二つの点震源モデルで波形を計算し、結果を比較検討する。面震源モデルとは先に説明したように、グリーン関数の動的項では対象周期の範囲で破壊フロントの連続性が確保され、かつ、静的項では断層近傍のグリーン関数の振幅の発散に配慮した面積分が行われているモデルである。著者の手法では、動的項は小断層ごとに最大で 36 点のガウス積分点で断層面積分が実施可能であ

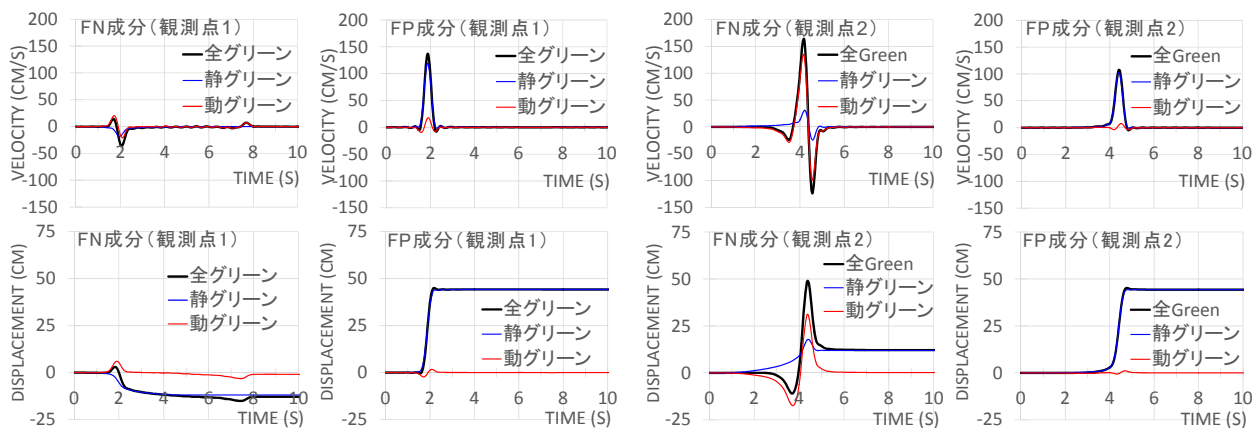


図 7 地表地震断層モデル（図 5）による指向性パルス・フリリングパルス/ステップ（上：速度、下：変位）
 グリーン関数の静的項と動的項の寄与の比較（震源 2 を使用）

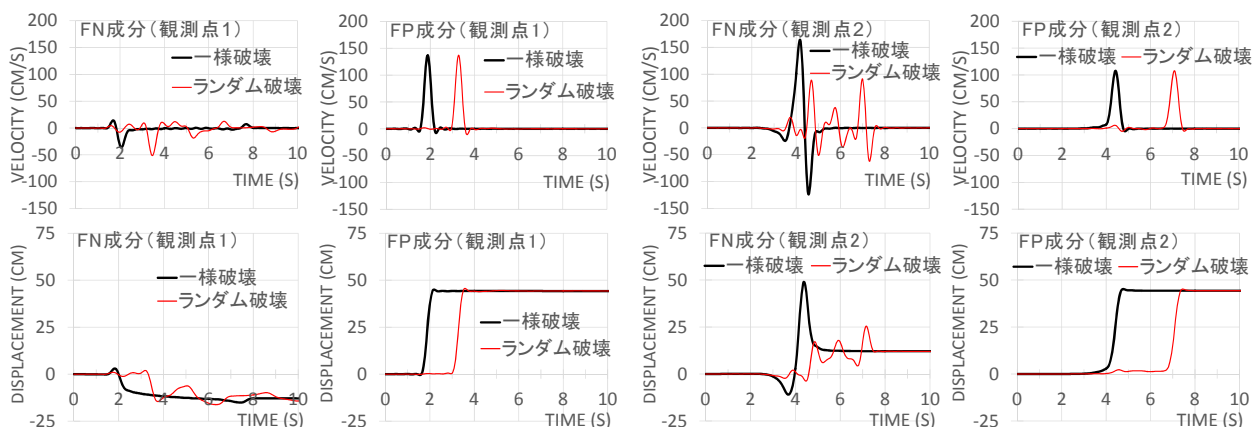


図 8 地表地震断層モデル（図 5）による指向性パルス・フリリングパルス/ステップ（上：速度、下：変位）
 一様破壊伝播モデルとランダム性破壊伝播モデルの比較（震源 2 を使用）

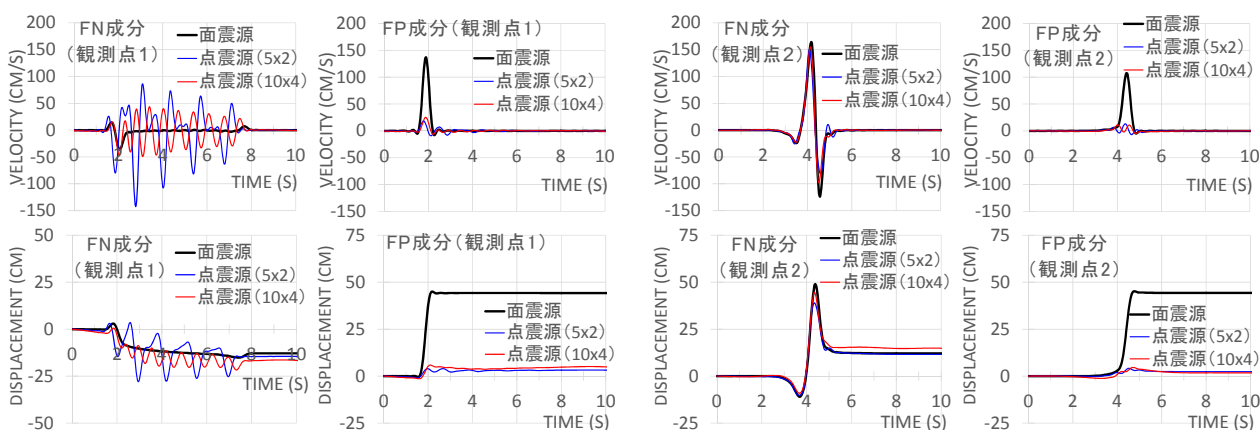


図 9 地表地震断層モデル（図 5）による指向性パルス・フリリングパルス/ステップ（上：速度、下：変位）
 面震源モデルと点震源モデルの比較（震源 2 を使用）

り、一方、静的項では観測点に近い断層面の領域では小断層の再分割を繰り返し、ガウス積分によりグリーン関数の発散性に配慮した積分を実施している

震源モデルは、図 5 に示すように、5x2 分割モデル（小断層サイズは 2x2 km²）と、10x4 分割モデル（小断層サイズは 1x1 km²）の 2 つで、いずれも点小断

層の中心点の点震源を配置し、動的項のみを用いて計算した。

図 9 に結果（震源位置は震源 2）を示す。観測点 2 の FN 成分の指向性パルスは、どのモデルでもほぼ一致するが、その他の波形では点震源モデルは面震源モデルの結果を再現できない。例えば、観測点 1 の FN 成分では点震源モデルでは各小断層の要素パルス波がバラバラに現れ、面震源の結果を過大に評価している。一方、観測点 1 と 2 の FP 成分のフリリングパルス/ステップは、点震源モデルでは全く再現できない。

観測点が断層面に近い場合、点震源モデルではグリーン関数の振幅が発散するだけでなく、図 2 に示す放射特性により、点震源と観測点の相対位置により振幅の大きさや正負の位相が大きく変化し、不安定な結果を示すことに十分注意する必要がある。

3. おわりに

本報告では、断層近傍に現れる長周期パルスである指向性パルスとフリリングパルス/ステップの成因と基本的な特性を整理した。要約は以下の通りである。

- ・長周期の建物に影響を及ぼす可能性がある長周期地震動として、長周期・長時間地震動と長周期パルスに分類し、さらに後者では、指向性パルス、フリリングパルス/ステップ、および両者の複合型パルスに分類し、その主な特徴や成因を整理した。

- ・単純な横ずれ断層震源モデルと解析的手法（波数積分法）により、断層近傍の長周期パルス地震動を計算して、その基本的な特性・注意点を確認した。例えば、指向性パルスは、主にグリーン関数の動的項の寄与であり、点震源モデル（断層面を小断層に分割し、各断層に点震源）でも破壊伝播の forward のパルス波は再現できるが、backward 側は過大評価する場合がある。一方、フリリングパルス/ステップは、地表地震断層など浅い断層モデルの断層すべりに起因し、主にグリーン関数の静的項が寄与する。フリリングパルス/ステップを正確に再現するには観測点に近い断層面部分には面積分を考慮する必要がある。

謝辞

本研究に一部は JSPS 科研費 JP16K06586 の助成を頂いています。

参考文献

- 1) 久田嘉章, 第 3 回 震源近傍の強震動、耐震の入口と出口の話、SEIN WEB、NTT ファシリティーズ総研、2011.
- 2) 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、第 52 巻、pp.151-161、1999.
- 3) Hisada, Y, and J. Bielak, 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. of the Seism. Soc.of America., Vol.93, No.3,pp.1154-1168, 2003.

デジタルサイネージを活用した情報共有システムの検討

デジタルサイネージ 情報共有 非常時対応
自治体 情報コンテンツ

中島 裕輔* 横山 計三*
柳 宇* 富樫 英介*

1. はじめに

東日本大震災時、駅周辺には情報を求める多くの帰宅困難者が密集し混乱をきたしていたため、二次災害の恐れがあった。原因としては、交通機関の寸断や通信障害などの被害に加え、ローカルな情報発信が行われていなかったことなどが挙げられる。非常時に帰宅困難者の混乱を防いで避難するためには、帰宅困難者に対して周辺エリアの情報を伝える必要があり、またその情報の収集、発信の行える仕組みが必要と考えられる。そこで、近年増加傾向にあるデジタルサイネージの活用に着目する。なお、非常時に役立つ仕組みにするには、平常時からの活用を十分に考慮する必要がある。

そこで本研究では、自立型移動ユニット（D-ZEV）に搭載するデジタルサイネージの活用手法の検討を念頭に置き、自治体を中心に、地域や都市の単位でデジタルサイネージを活用した情報共有システムの事例及びその情報コンテンツの現状を調査し、D-ZEV 向けのコンテンツの検討を行うことを目的とする。

2. デジタルサイネージを活用したシステムの現状

2.1 調査概要

自治体の平常時・非常時を考慮したデジタルサイネージを活用した情報伝達の現状及び、帰宅困難者対策の調査を行った。調査した自治体は表 1 の通りである。まず、この中でも民間サイネージと連携をしている等で活用が進んでいた広島市の取り組みについて、ヒアリング及び現地調査の結果を詳しく示す。

2.2 コンテンツ共有システムの事例

広島市が管理しているコンテンツ共有システムは、登録している民間サイネージと連携を取る仕組みとなっている。平時は市関係者が情報を提供し、広島市情報政策課が共有フォルダに情報を管理することで、コンテンツ共有システム登録者がフォルダにアクセスし、ダウンロードして各自のサイネージにアップロードできる。緊急時には、広島市危機管理災害対策課から防災情報が送られ、その情報を広島市情報政策課が管理し、平時と同様にダウンロードしてサイネージにアップロードする仕組みである。このシステムに登録できるのは広島市関係団体に所属している企業のみとなっている。広島市コンテンツ共有システムの概要図を図 1 に示す。

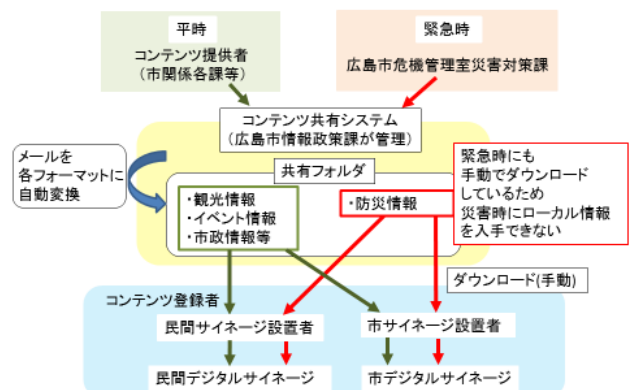


図 1 広島市コンテンツ共有システム概要図

本システムについて広島市にヒアリングした結果、大きく 2 点の課題が挙げられた。1 点目は、自治体の発信

表 1 デジタルサイネージを活用した情報システムの事例調査

運営主体	情報コンテンツ項目	災害時コンテンツ項目	評価点	課題点
港区	・行政サービス情報 ・イベント情報 他	・地震・風水害 ・不審者・生活の安全	電子ペーパーにより超省電力で長時間稼働が可能に。	民間企業に協力を委託しているところで現状緊急時に効果的な情報発信を行っていない。
(一社) 柏の葉アーバンデザインセンター	・活動情報 ・地図 ・天気 ・列車運行情報 他	NHKの放送に画面切り替え	デジタルサイネージがタッチパネル式なためその人に合った情報収集が可能。充電池を備えているため緊急時に対応可能。	緊急時にNHK緊急放送をしている中、身近な災害情報を配信できていないサイネージが4台で大きさを考慮すると情報発信ができるシステムが必要。
NTT東日本 藤沢市	・地域内の方がアップロードするため、コンテンツは多数	なし	市民が情報発信をし易くなり、限定的だが、プライベートな情報を配信できるようになったため地域力・市民力の向上に繋がった。	閉じた環境で情報発信している為地元以外の方が緊急時に活用するのが困難。サイネージを緊急時に活用していない。
広島市	・観光情報 ・市政情報 ・イベント情報 他	防災情報メールをHTML形式に変換	民間サイネージと連携しているため多くのサイネージから情報発信が可能。	情報の共有が可能になったが、リアルタイムな情報でないため緊急時にうまく活用出来ていない。

する公的なイベント等の情報以外に、そのサイネージのある場所の周辺情報が発信できていないことである。この周辺情報とは、平常時は民間の店舗情報やイベント情報、地域の気象情報などで、非常時は、駅やその周辺地域の被害状況等であり、テレビの情報では得られない、地域独自の情報のことである。また 2 点目は、連携している民間サイネージでは非常時の情報発信が難しい点である。これは、民間サイネージが情報を発信するには、各サイネージの管理者が情報を共有システムから手動でダウンロードする必要があるため、特に緊急性を必要とする非常時でも自治体が共有システムにアップロードした情報がすぐに民間サイネージのコンテンツとして取り込まれないため、リアルタイムの情報を発信するのは困難であると言える。さらには、ほぼこのサイネージも非常用のバッテリーなどは備えていない状況であった。地震等で地域一帯が停電になった場合にはデジタルサイネージも情報発信ができない状況になることが予想され、非常時利用の点ではまだ多くの点で改良の余地があると言える。

2.3 サイネージ活用事例のまとめ

デジタルサイネージを活用した都市部における情報伝達の現状を調査した結果、非常時の情報発信手段として、デジタルサイネージや電子ペーパーといった媒体を活用している事例が確認された。しかし、情報発信箇所（デジタルサイネージの設置台数）が少ないことや、平常時から効果的な活用ができていないため周知されず非常時に効果的に情報発信ができないこと、非常時のサイネージへの電源供給が考慮されていないこと、などの課題が挙げられた。広島市のように、情報共有システムを運用して民間サイネージと連携を取ることで情報発信箇所を増やす試みを行っている自治体もあるが、公的な情報以外に地域独自の情報が発信できていないことや、非常時にはリアルタイムに情報発信ができないことなどが課題として挙げられた。

これらのことから、民間サイネージも活用して情報発信箇所や手段を増やし、平常時から情報発信していることを周知させ、かつ街の賑わいを創出する周辺情報の収集発信が出来るシステムの構築と、非常時には電源も確保した上で、リアルタイムに周辺の情報発信が出来る仕組み作りが必要であると考えられる。

これらを考慮した、デジタルサイネージを活用した情報共有システムのイメージを図 2 に示す。

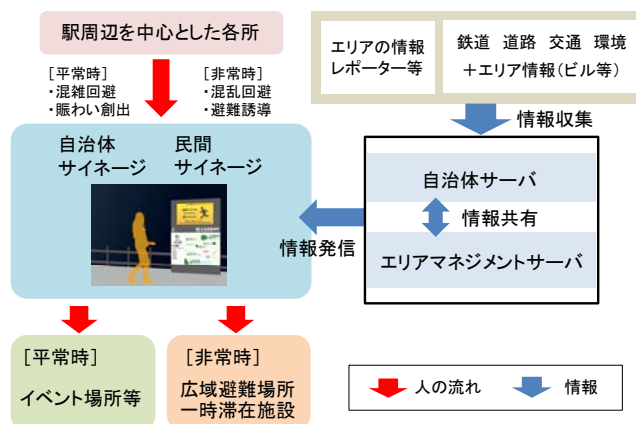


図 2 サイネージを活用した情報共有システムの検討

非常時にリアルタイムにエリア内の主要建物や駅・道路等の被害情報が収集・発信できれば、新宿などの大型ターミナル駅周辺エリアでは、駅周辺滞留者の混乱を防ぎ、まずは広域避難場所等へ適切に誘導することが可能である。またその後、広域避難場所等の帰宅困難者についても、このシステムを用いて周囲の一時滞在施設へ適切に誘導することが可能になると考えられる。

3. おわりに

すべての広域避難場所や一時滞在施設にデジタルサイネージ等の情報発信機器を設置するのが理想であるが、平常時の利用頻度も考慮すると難しい場所は多い。そこで有効となる 1 つの手法が、移動式のユニットとすることである。テーマ 3 で提案・構築している D-ZEV は、エネルギーと情報を自立電源であらゆる場所で提供可能とする仕組みであり、今後さらに活用方法を提案しながら有用性を検証していく計画である。

謝辞

本研究の現地調査では、広島市、柏の葉 UDCK など多くの方々の協力を得ました。記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 佐藤智太、吉田舜、中島裕輔：駅周辺エリアにおける平常時・非常時を考慮したデジタルサイネージ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、ページ、2018.3
- 2) 広島市ホームページ（広島デジタルサイネージ推進事業）
<http://www.city.hiroshima.lg.jp/www/contents/1271922782470/index.html>
- 4) 港区ホームページ（区政情報・デジタルサイネージ）
<https://www.city.minato.tokyo.jp/kouhousenryakutan/digitalsignage.html>

* : 工学院大学建築学部

自律移動式ゼロエネルギー災害対応支援ユニット (D-ZEV) の 通信システム構成

キーワード: 無線 LAN, アドホックネットワーク, DTN, 情報指向ネットワーク

水野 修*

1. はじめに

本事業のテーマ 3 では、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¹⁾。D-ZEV は、自動車をベースとして、防災・減災に必要な機材を搭載し、電源設備および通信設備を備えている。また、より小回りの利く 2 輪車ベースの D-ZEVmini も併せて実現する。これにより、D-ZEV は、エリアの現地本部や避難所等に移動し、設営される。また、D-ZEVmini は、エリア情報を収集する²⁾。

本年度は、昨年度の基本検討を受け、D-ZEV および D-ZEVmini に搭載する通信システムの構成を明らかにしたので報告する。

2. D-ZEV の通信システムの要件

D-ZEV の関係する通信経路は、図 1 に示すように以下のものが含まれる：

- (1)D-ZEV～災害対策本部間
- (2)D-ZEV～D-ZEVmini 間
- (3)D-ZEVmini～D-ZEVmini 間
- (4)D-ZEV,D-ZEVmini～一般市民、防災担当者

ここで、災害対策本部とは、街区の被害状況や鉄道の運行状況、病院、避難可能な施設等を把握し、一般市民や防災担当者に指示を行う施設であり、そのためのサーバシステム²⁾を保有している。

前提として D-ZEV は車両ではあるが移動中には通信を行わないものとする。一方で、D-ZEVmini は移動中にも通信を行うこととする。また、いずれの場合でも、移動体網など通信インフラは使用できない、あるいは使用制限があることを想定する。

D-ZEV および D-ZEVmini への通信システムの要件を以下に示す。

[要件 1]小型であり、省電力であること。

[要件 2]設営や運営が容易であること。

[要件 3]安定した伝送条件でなくとも、持続的に運用できること。

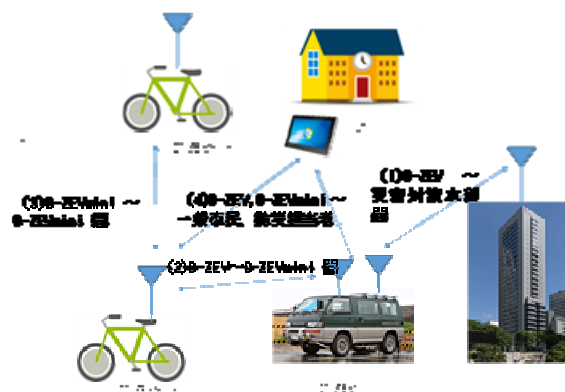


図 1 D-ZEV を中心とした通信ネットワーク

3. D-ZEV, D-ZEVmini の構成

3.1 D-ZEV の通信システム構成

D-ZEV～災害対策本部間については、災害対策本部に設置する固定局と D-ZEV に搭載する移動局を構成する。

固定局、移動局のシステム構成と機器を図 2、表 1 に示す。固定局は UDM で構築したシステム³⁾を再利用するが、D-ZEV を配置する場所の自由度を高めるため、新宿キャンパス屋上のアンテナを無指向性のものに交換した。

移動局は D-ZEV に搭載し、避難場所で組み立てることを想定している。電源は D-ZEV に搭載した電源設備より商用電源相当(AC50Hz,100V)の供給を受ける。災害対策本部へは、5GHz 帯の指向性アンテナで通信する一方で、D-ZEVmini および周辺の機器には 2.4GHz の WiFi で通信を行う。

D-ZEV の通信システムでは、[要件 2]が重要である。そこで、機器の組み立てや運用方法についてマニュアルを作成し、未経験者の学生により実施検証したところ、1 時間以内で固定局との疎通確認まで実施できた。

* : 工学院大学情報学部 情報通信工学科

表 1 D-ZEV の通信システム機器

項番	名称	型番	備考
1	無指向性アンテナ	JRC N ZA-657	固定局
2	長距離無線LAN	JRC JRL-749	固定局
3	指向性アンテナ	JRC N ZA-646	移動局
4	長距離無線LAN	JRC JRL-749	移動局
5	WiFiルータ	Archer C3150	移動局
6	PC	Panasonic Toughbook CF-20	移動局

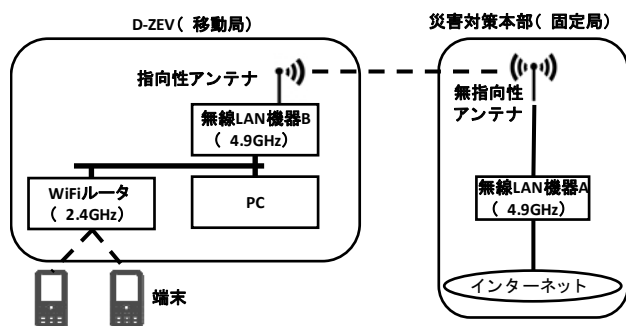


図 2 D-ZEV の通信システム構成

表 2 D-ZEVmini の通信システム機器

項番	名称	型番
1	PC	LVA LVA Z Pro (N3450)
2	PC用バッテリー	サンワ BTL-RDC6N
3	モニター	CENTURY plus one HDM I (LCD-7000VH)
4	キーボード	エレコム TK-FLP01PBK
5	ケース	タカチ NANUK910

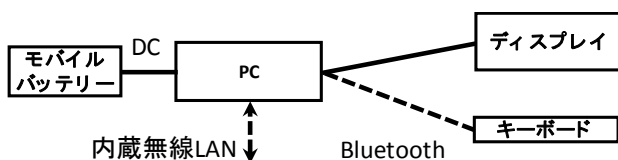


図 3 D-ZEVmini の通信システム構成

3.2 D-ZEVmini の通信システム構成

D-ZEVmini に搭載するシステムの構成と機器を図 3、表 2 に示す。D-ZEVmini に搭載するシステムは、[要件 1]、[要件 3]が重要となる。

[要件 1]については、D-ZEVmini が折り畳み式の電動自転車であることから、バスケットか荷台に設置できる大きさ、重さを目標とした。さらに、多様なアプリケーションを実現する観点、および、機械的に堅牢である観点から、eMMC ストレージで冷却ファンレスの小型 Linux コンピュータを用い、これをモバイルバッテリーで駆動することとした。バッテリー容量が 57.72Wh、コンピュータの消費電力が 5W

であるので、10 時間程度は連続使用可能である。立上げなど操作にモニターやキーボードが必要であるため、これらは電池駆動式のものを使用した。これらを、防水キャリングケース(L 320mm ×W 210mm ×H 95.5mm) 内に装備した(図 4)。全体の重量は約 2.2kg となった。



図 4 防水キャリングケースへの実装 (固定前)

[要件 3]に対しては、一対の機器間がすれ違うときにデータを送受する「すれ違い通信」を実現する。そのため、小型 Linux コンピュータに常時通信要求を出し合い、応答があったときにデータを送受するプログラムを実装した。見通し 50m 以内であれば通信が可能であることは確認できたが、WiFi のリンク確立に時間がかかるとデータ送受ができないことがあることも判明した。

4. おわりに

D-ZEV および D-ZEVmini に適用する通信システムを構築し、データ送受ができることを確認した。

次年度は、D-ZEV および D-ZEVmini に搭載し、調整を行うとともに、利用シーンを想定したアプリケーションプログラムの実装を行う。

謝辞

D-ZEV 通信機器の検証についてご助力いただいた、工学部情報通信工学科 4 年の大久保拓弥君、山田和輝君、および実験に協力いただいた各位に感謝いたします。

参考文献

- 1) 工学院大学,平成 28 年度私立大学ブランディング事業 <http://www.kogakuin.ac.jp/bousai/> (2018.2.24 閲覧)
- 2)水野 修, 自立移動式ゼロエネルギー災害対応支援ユニット(D-ZEV)のための通信システムの基本検討, 平成 28 年度工学院大学総合研究所 都市減災研究センター(UDM) 成果報告書,Mar., 2017.
- 3)水野 修, 隆 晃人, 山本 翔, 澁澤 祥, 浅谷耕一, “災害対策拠点の分散化を支援する減災情報ネットワークシステム”,工学院大学研究報告, Vol.120, pp.57-60, Apr., 2016.

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。本稿では、電力供給システムを構成する各要素の満たすべき条件、必要容量を決定するために実施した検討結果、及び、構造と製作状況について報告する。

2. 電力供給システムの構成と容量

2.1 D-ZEV の概要

図 1 に D-ZEV の構成イメージを示す。D-ZEV 自身が防災拠点施設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。避難所では仮設の医療・救護スペースを開設し、その運用を照明や空調、空気清浄機などでサポートする。さらに、小回りの利く電動二輪の D-ZEV mini と連携し、D-ZEV を拠点とした近距離圏をカバーしながらお互いに情報連携し、地域住民や周辺帰宅困難者のスマートフォン等への情報発信に対応する。

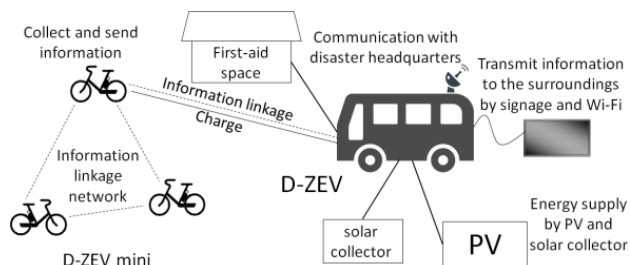


図 1 D-ZEV の構成イメージ¹⁾

2.2 電力供給設備に必要な条件

D-ZEV の電力供給設備に求められる条件は以下の通りである。

- ・1 週間程度、自立的に電力供給が可能（商用系統は停電していて利用できない前提）
- ・簡易救護所の運営や情報通信に必要な電力供給が可能
- ・D-ZEV 本体に搭載が可能（サイズ、積載重量等の制約を満たす）
- ・地域防災拠点にて、短時間で設置が可能

2.3 電力供給設備の構成

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、負荷へインバータ経由で電力供給するものとする。負荷は、簡易救護所内の照明、及び環境維持に必要な空調システム・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。

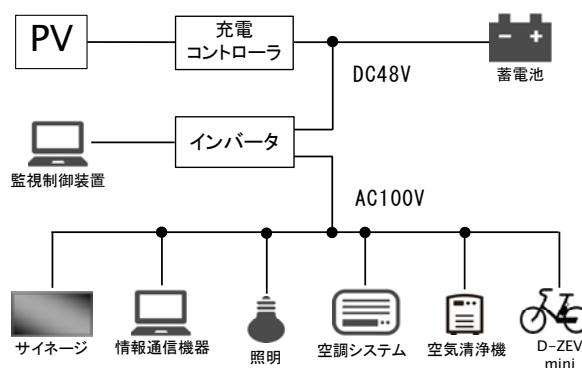


図 2 電力システムの全体イメージ

2.4 電力供給設備の容量検討¹⁾

負荷の一時間ごとの消費電力を表 1 のように仮定して、インバータ、PV、蓄電池の容量を検討した。なお、D-ZEV の使用期間を 2016 年 8 月 9 日～8 月 16 日、電力供給時間を 8 時～18 時とした。このとき、

* : 工学院大学 工学部電気電子工学科

負荷を一斉に動作させたときの総消費電力は 1.55[kW]であったため、インバータの出力は負荷起動時の突入電力を考慮して 3[kW]とした。また、PV 容量は工学院大八王子キャンパスの PV システムの実測値を基に計算を行い、多少のマージンを加味して 5[kW]程度とした。さらに、D-ZEV 使用期間中の負荷総消費電力、PV 発電電力から、蓄電池の積算電力量（PV の発電量と負荷設備消費電力の差を積算したもの）を算出した（図 3）。その結果、蓄電池に必要な容量は 15.7[kWh]であったため、損失および SOC 範囲を考慮して約 20[kWh]とした。

ことで、夏場の直射日光による簡易救護所内気温上昇を抑制する効果も期待できる。

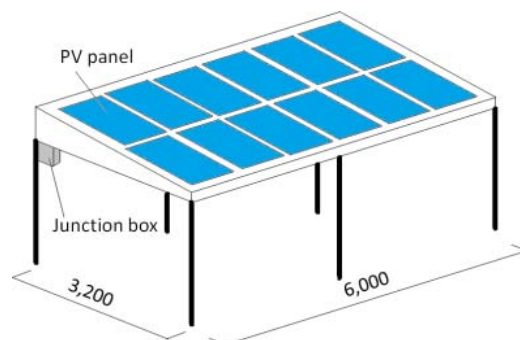


図 4 PV パネルの設置図

表 1 負荷設備

設備名	消費電力[W]	台数
照明	30	1
空調システム	810	1
空気清浄機	30	1
情報通信機器	130	1
サイネージ	250	1
D-ZEV mini	100	3

3.2 D-ZEV への組み込み

D-ZEV の車両は、普通車サイズで積載スペースの大きなハイエースとし、電源設備は図 5 に示す組み込みを行う。

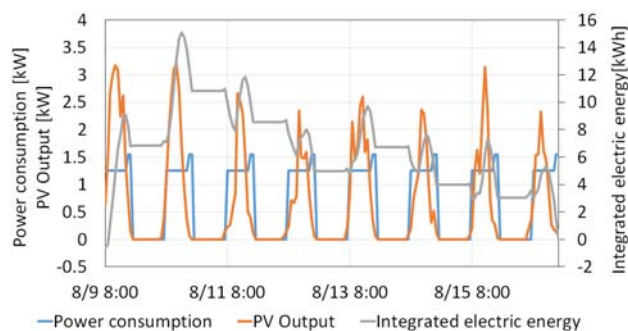


図 3 負荷消費電力、PV 発電電力、積算電力量



図 5 D-ZEV への組み込み

3. 電力供給システムの製作

3.1 PV パネルの設置方法

前述の通り、D-ZEV は防災拠点にて PV を使用して電力供給を行う。その際、PV 及びそれを支える架台はあらかじめ D-ZEV に搭載しておき、防災拠点到着後に設置を行う。そのため、PV パネルは 2.2 に示した条件を満たす必要がある。そこで、架台に代えてテントを利用し、また、PV パネルは軽量のフレキシブルモジュールを使用することとした。PV パネルの設置図を図 4 に示す。パネルはテントの屋根に設置し、テント 1 張りあたりのパネル数を 12 枚とする。また、テントは片流れ屋根の傾斜角度を 10 [度]とする。テントの脇に集電箱を設置することでテント～D-ZEV 間の配線を最小とし、事故の可能性を軽減する。また、テントの内側に簡易救護所を設置する

4. おわりに

今年度は D-ZEV の電力供給設備の仕様を決定し、機能を検証するために必要な最小限の構成について製作を行った。来年度は、製作した D-ZEV を代表的な運転モードで動作させ、運転データとエネルギー消費データを収集・分析し、性能検証すると同時に改善点の検討を行う計画である。また、電源監視システムのプロトタイプを開発する計画である。

謝辞

本稿における電源設備容量の検討は、修士 1 年の久保君が中心に行ったものである。また、製作にあたり、日比谷総合設備株式会社の阿波田様はじめ、関係各位に議論に参加いただいた。ここに記して謝意を表する。

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

簡易救護ユニット空調システムの検討

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-ZEV の開発を行っている。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、その内部を空調する。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。本ユニットの外皮には、水の自然蒸発による冷却作用を利用しているため、室内負荷が軽減されている。本稿では、空調システムの概要と、その一部である間接蒸発式冷却ユニットについて検討を行った結果を述べる。

2. 空調システム

2.1 システムの概要

Table1 に空調対象室の概要を示す。前報で述べたような外皮に蒸発冷却を採用するとし、外皮負荷を無視した。空調システムは、室内空気と外気を必要量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、所定の吹出温度まで冷却する。デシカント剤の再生は、太陽熱によって温水を取り出して行う。システムのダイアグラムを Fig.1 に示す。また、Fig.2 にシステムの各部分における空気状態を示す。

Table1 空調対象室と内部負荷

項目	仕様
対象室	2m×4m×2mH
壁・床	ハニカムボード 30mm
外皮負荷	貫流熱と日射熱は無視する
内部負荷	30W
人員	2名
外気	40m ³ /h

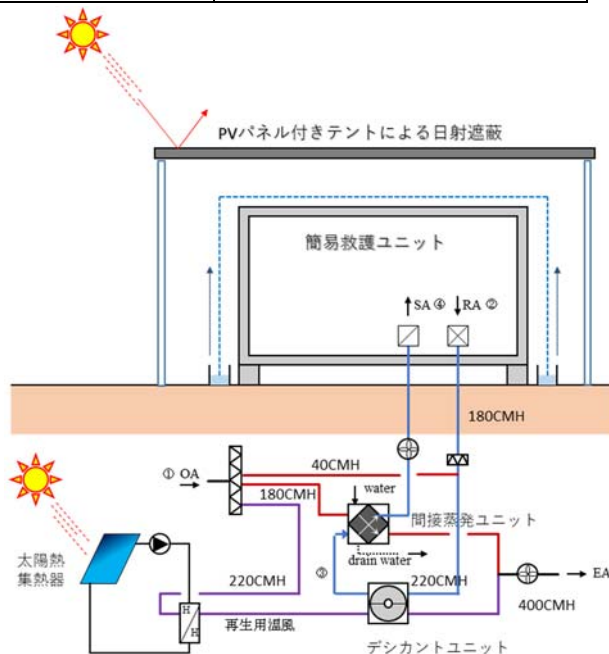


Fig.1 空調システムダイアグラム

2.2 間接蒸発冷却ユニットの概要

間接蒸発冷却とは、水の気化現象を利用して顕熱冷却する装置である。一般的な間接蒸発冷却装置には Fig.3 に示すように 2 種類の流路があり、乾燥している day zone と壁面が湿った wet zone が接するように連続的に配置されている。冷却の原理は、導入した空気が、dry zone に入り内部を通過する際、隣接する wet zone 内の冷却された空気と顕熱交換し、導入空気が冷却され、給気として吹出される。冷却された給気の一部は wet zone に入り、内部の水分が蒸発し、さらに冷却される。この空気 dry zone の空気を冷却する。wet zone の空気は、熱を吸収したのち排気される。

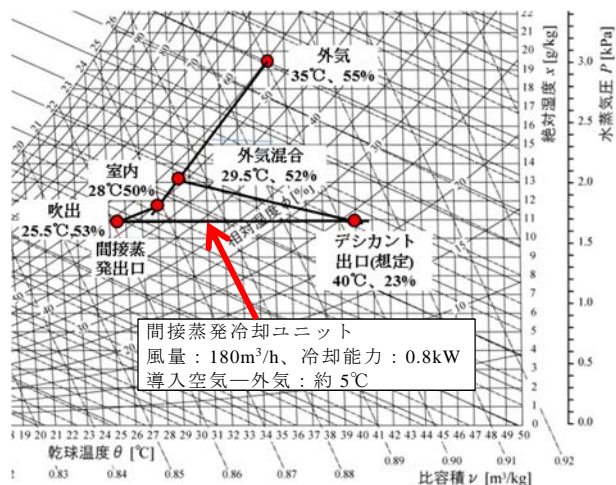


Fig.2 空気状態変化

* : 工学院大学工学部建築学部

2.3 評価対象の間接蒸発冷却ユニット

本研究では、G 社製の間接冷却ユニットを用いてシステムの検討を行った(Fig.4)。このユニットでは、wet zone に導入する冷却空気は、一般的な方式では被冷却空気の約半分を用いるが、当該ユニットでは、外気を wet zone に直接導入する方式をとっている。ただし、被冷却空気は、一部(20~30%程度)が wet zone に導入され、冷却効果を向上させている。メーカー提示の資料によると、外気の乾球温度と湿球温度の差の 95%まで冷却できるとなっている。

2.4 空調システムの運転状況の検討

上記の条件で蒸発冷却できるとして、冷房期間中どの程度、本装置が対応できるかを試算した。東京の気象データ¹⁾を用いて冷房期間中（6月～9月）の外気が湿球温度の 95%まで冷却されると想定し、吹出条件まで冷却できるかどうかを確認した。この結果、冷房期間の 4 か月において 208 時間は、冷却能力が低下し吹出条件を満たさないことがわかる (Fig.5)。また、蒸発冷却のみでよい時間は、88 時間、外気導入のみでよい時間は、219 時間であった。

3. 実験による確認

Fig.4 に示した間接蒸発ユニットを用いて、冷却能力の確認を行った。実験装置の外観を Fig.6 に示す。風量、導入空気と外気の温度差、噴霧水量をパラメータとして実験を行った (Table2)。温度差（導入空気－外気）と冷却能力の関係を Fig.7 に示す。この結果より温度差と冷却能力は比例関係にあるが、風量や噴霧水量の違いによる差はみられなかった。また、予想された冷却能力が得られていなかった。この理由として、熱交換器の wet zone のぬれ方が十分でなかったために、蒸発冷却が不十分だったことが考えられる。噴霧ノズルを増加させ、十分な水量をユニット全体に供給することで改善される。

4. おわりに

装置実験において十分な能力が得られなかったことおよびシステムが有効でない期間があることから、水噴霧の改善と空気の偏流を改善させた状態での計測、間接蒸発ユニット自体の検討、デシカント装置を組み合わせたシステム全体の計測などを行い、空調システムの有効性を検証する予定である。

謝辞

本稿における計測は、2017 年度卒業生の平尾拓巳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。

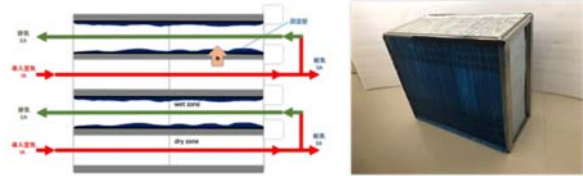


Fig.3 動作原理模式図²⁾

Fig.4 熱交換ユニット

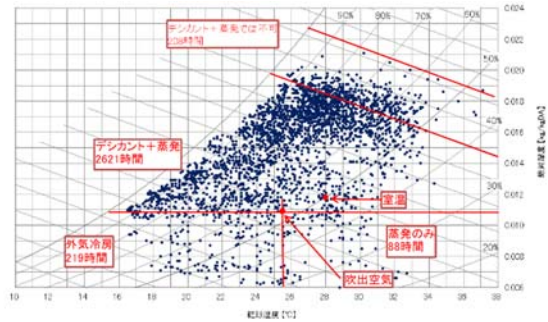


Fig.5 空調対応状況（6月～9月）

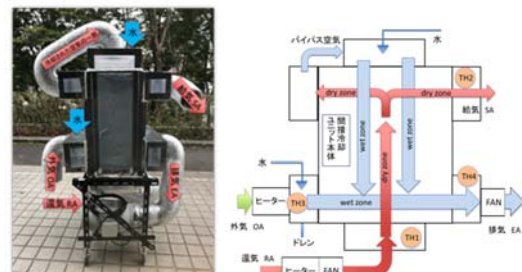


Fig.6 間接蒸発ユニット実験装置と装置模式図

Table2 実験条件と計測結果

No	実験条件	ΔT (°C)	冷却能力(kW)	水量(L/min)
1	設計条件	5.3	0.475	0.04
2	風量:標準、水量:標準	2.8	0.237	0.05
3	風量:標準、水量:標準	2.8	0.326	0.04
4	風量:標準、水量:標準	4.6	0.386	0.04
5	風量:標準、水量:標準	5.8	0.356	0.04
6	風量:標準、水量:大	2	0.178	0.06
7	風量:標準、水量:大	4	0.167	0.08
8	風量:標準、水量:大	4	0.356	0.07
9	風量:標準、水量:大	4.3	0.278	0.09
10	風量:標準、水量:大	6.2	0.445	0.09
11	風量:標準、水量:大	11.1	0.445	0.08
12	風量:標準、水量:大	19.8	0.653	0.07
13	風量:標準、水量:大	20.1	0.593	0.07
14	風量:大、水量:大	8.3	0.24	0.08
15	風量:大、水量:大	8.5	0.3	0.08

※風量:標準:外気・給気ともに220m³/h、大:外気のみ450m³/h

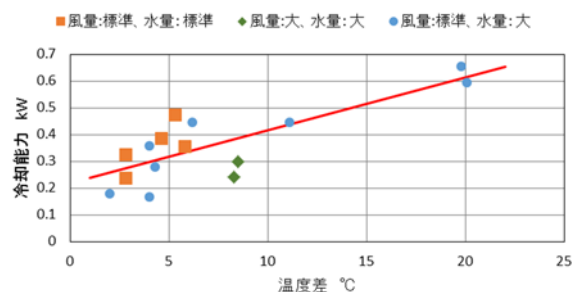


Fig.7 温度差と冷却能力

参考文献

- 1) 拡張アメダス気象データ 1981～2000（日本建築学会編）
- 2) 田子他、間接蒸発冷却に関する機器単体での性能把握実験、空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集、2016年

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

キーワード：簡易救護ユニット、空気清浄、浮遊粒子

柳 宇*

中島裕輔*

富樫英介*

横山計三*

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、とくに微生物を含めた浮遊粒子状物質の制御が重要な課題となる。

緊急被災時と、浮遊粒子制御のことを勘案すれば、ポータブル空気清浄機の活用が現実的かつ有効であると考えられる。本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を実証した。

2. 空気清浄機の浄化性能¹⁾

図 1 に示す室内に空気清浄機を設置した場合においては、下記のマスバランス式が成立する。

（室内汚染発生量＋外気による侵入量）－（空気清浄機による除去量＋排気による除去量）＝室内汚染物質の変化量

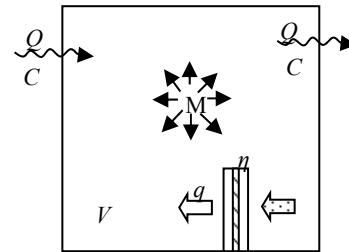
仮に、a) 室内に発生した汚染物質が室内空間に瞬時一様拡散する。b) 汚染物質の室内表面への沈降・沈着量、が無視できるとすると、以下の式 (1) が成り立つ。

$$(M + Q_{ns}C_{oa} - q\eta C - Q_{nr}C) dt = VdC \quad (1)$$

ここでは、室内汚染物質発生量の時間的な変化が無視できると仮定し、式 (1) の両辺を積分し整理すると、式 (2) を導くことができる。

$$C = C_{oe}^{-\left(\frac{q\eta}{V} + \frac{Q_{nr}}{V}\right)t} + \frac{Q_{ns}C_{oa}}{q\eta + Q_{nr}} \left[1 - e^{-\left(\frac{q\eta}{V} + \frac{Q_{nr}}{V}\right)t} \right] + \frac{M}{q\eta + Q_{nr}} \left[1 - e^{-\left(\frac{q\eta}{V} + \frac{Q_{nr}}{V}\right)t} \right] \quad (2)$$

式 (2) 右辺の第 1 項は、自然換気と空気清浄機の希釈、除去による室内初期濃度の減衰を示す項、第



M: 室内汚染発生量 [mg/h]
 V: 室容積 [m³]
 Q_{ns}: 自然給気量 [m³/h]
 Q_{nr}: 自然排気量 [m³/h]
 C: 室内汚染物質濃度 [mg/m³]
 C_{oa}: 外気中浮遊粒子濃度 [p/m³]
 C_o: 室内初期浮遊粒子濃度 [p/m³]
 η: 空気清浄機捕集率 [-]
 t: 経過時間 [h]
 q: 空気清浄機の処理風量 [mg/m³]

図 1 室内空気清浄機の設置例

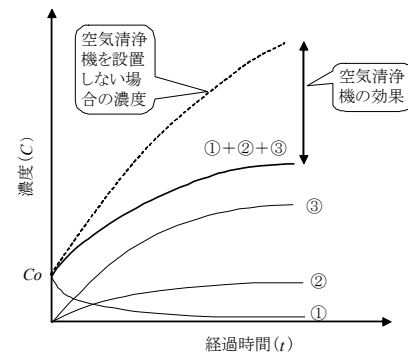


図 2 室内濃度の経時変化

2 項は、外気による汚染侵入量に起因する濃度の上昇を示す項、第 3 項は、室内での汚染発生による濃度の上昇を示す項である。

式 (2) を図で表すと図 2 になる。同図に空気清浄機を設置または作動させない場合（q=0）の濃度変化を併せて示す（図中の破線）。空気清浄機の設置効果は明らかである。

3. 空気清浄機浄化性能の実証試験

3.1 測定対象の概要

実証の対象を石川県金沢市内にある 5 階建て、延べ床面積 19,118m²、260 床の病院の 2 階にある呼吸

* 工学院大学建築学部

器内科の診察室（3m（D）×3m（W）×3m＝27m³）とした。空調は PAC であり、換気は第 2 種方式で、1F のエントランスに外気を導入し、その一部が 2F の診察室に流れる方式である。

3.2 測定方法

測定日は 2017 年 8 月 22 であった。診察室内（写真 1）、屋外共に浮遊微粒子濃度、温湿度、二酸化炭素（CO₂）濃度を 9:00～12:00 の 3 時間に渡って 1 分間隔の連続測定を行った。空気清浄機の運転状況を下記の通りとした。なお、空気清浄機は診察室入口左側の壁沿いに設置した。

9:00～10:00 OFF
 10:00～12:00 ON

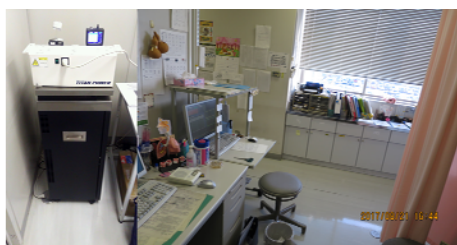


写真 1 測定対象の診察室の内観

浮遊微粒子、温湿度・CO₂濃度の測定にエアリーテクノロジー社製のパーティクルカウンタ（P611）と T&D 社製の CO₂ Recorder（TR-76Ui）を用いた。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。

3.3 結果及び考察

図 3 に診察室内 CO₂濃度の経時変化を示す。9:00 過ぎごろから外来の患者の入室と退室の繰り返しにより、室内 CO₂濃度が上下したことが図から読み取れる。ちなみに、室内 CO₂濃度は 1000ppm を超えることはなかった。

図 4 に測定した粒径別浮遊粒子濃度から、細菌の大きさとして 0.5μm 以上の浮遊粒子濃度の経時変化を示す。10:00 に空気清浄機を稼働させてから室内における 0.5μm 以上の浮遊粒子濃度が急激に低下し、約 30 分後初期濃度の約 1/3（36%）まで低くなることが明らかになった。

ここでは、前述した式（2）を用いた理論的な予測と図 4 に示す実測値との比較を行い、空気清浄機を簡易救護ユニットに適用した場合の室内浮遊粒子濃度の特性について検討を行う。

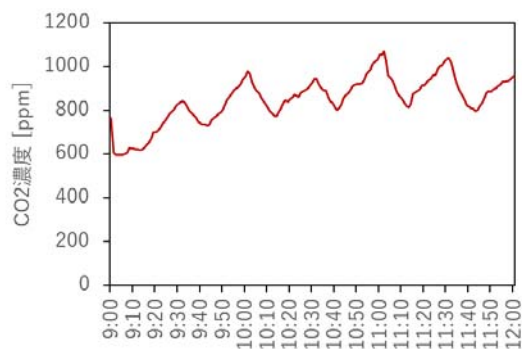


図 3 診察室内 CO₂濃度の経時変化



図 4 浮遊粒子濃度の経時変化

診察室に用いた空気清浄機の風量は 120m³/h（標準モード）、装備されているエアフィルタの捕集率は 99%（0.3μm）、室内容積は 27m³、ヒトからの浮遊粒子発生量を 5000p/h とし、図 3 の測定結果をフィッティング法で求めた換気回数 2.2 回/h を用いて室内浮遊粒子濃度を求めた結果、初期濃度 66843p/L の条件では、30 分後室内浮遊粒子濃度は 23952p/L であり、実測値の 25270p/L との差が 5%程度であることが分かった。また、簡易救護ユニット（4.087m×2.087m×2.270m＝19.4m³）に空気清浄機を導入した場合、上記の初期濃度であれば、30 分後に室内浮遊粒子濃度が 18464p/L となり、容積が小さいため前記の診察室より低い濃度を示す。さらに空気清浄機を強モード（180m³/h）で運転した場合、30 分後の室内濃度は 13120p/L となり、初期の 20%になる。

参考文献

- 1) 柳 宇：空気清浄機、空気清浄、第 46 巻、第 6 号：pp.40-45、2009
- 2) 柳 宇、吉野博、他 6 名：中国における居住環境と児童の健康障害との関連性に関する調査研究、第 4 報 室内 CO₂濃度の実態と CO₂濃度測定値を用いた換気量の算出、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.993-994、2015

簡易救護ユニットの外皮負荷削減法の検討

簡易救護ユニット、外皮負荷、蒸発潜熱

富樫 英介* 横山 計三*
 中島裕輔* 柳 宇*

1. はじめに

本研究では、被災時にエネルギーを消費せずに運用が可能な災害時拠点の構築を目指している。その一環として導入を予定している簡易救護ユニットは、軽量で運搬、建設、除却が容易であるという利点があるが、一方で単純なダンボール製であるために、断熱性能には課題がある。特に夏季においては、基本的に屋外設置となるため、外気と日射の影響を大きく受け、内部の熱環境を悪化させる危険性がある。これに対応して活動可能な内部環境を維持するためには、空気の冷却が必要となるが、機械的な冷却はエネルギーを大きく消費するため、ユニットの活動時間を短縮させてしまう。

本計画では、水の自然蒸発による冷却作用を利用して、簡易救護ユニットの熱負荷を軽減する。具体的には、ユニットの外部を布で覆い、これに散水を行って湿潤状態に保つことで、外表面での蒸発を継続させる。本年は、このような湿潤外装の冷却効果のモデル化と、そのモデルの妥当性検証のための実験を行った。

2. 外装材温度と給水量の予想

定常状態では外装材において式(1)の熱収支式が成立する。ただし、 T [°C]は乾球温度、 x [kg/kg]は絶対湿度、 α_o [W/(m²·K)]は総合熱伝達率、 γ [J/kg]は水の蒸発潜熱、 k_x [(kg/s)/(m²·(kg/kg))]は絶対湿度基準の物質移動係数、 a_{ex} [-]は日射吸収率、 I_{df} [W/m²]は入射する拡散日射である。また、添字の oa と ex はそれぞれ外気と外装材を表す。

$$\alpha_o(T_{oa} - T_{ex}) + \gamma k_x(x_{oa} - x_{ex}) + a_{ex}I_{df} = 0 \quad (1)$$

拡散日射 I_{df} が 0 であれば、外装材の温度は湿球温度 $T_{wb,oa}$ [°C]となり、湿度は当該温度での飽和湿度 $x_{wb,sat}$ [kg/kg]となる。従って、物質移動係数は式(2)で計算できる。

$$k_x = \frac{\alpha_o(T_{oa} - T_{wb,oa})}{\gamma(x_{wb,sat} - x_{oa})} \quad (2)$$

式(2)を式(1)に代入して整理すると式(3)となる。外装材の湿度は温度 T_{ex} における飽和絶対湿度であり、湿り空気の計算により求められる（式(4)）。式(3)と式

(4)を連成させれば外装材の温湿度を求めることができる。

$$T_{ex} = T_{oa} + \frac{x_{oa} - x_{ex}}{x_{oa} - x_{wb,sat}}(T_{wb,oa} - T_{oa}) + \frac{a_{ex}I_{df}}{\alpha_o} \quad (3)$$

$$x_{ex} = f_{sat}(T_{ex}) \quad (4)$$

上記の式にもとづいて夏季代表日の温度の推移を計算した結果を Fig.1 に示す。ただし、総合熱伝達率 α_o は 10 W/(m²·K)、日射吸収率 a_{ex} は 0.3 とした。外気温度は最大で 34 °C 程度まで上がるが、外装温度は湿球温度から 2~3 °C 程度高い 25 °C 前後で推移することがわかる。

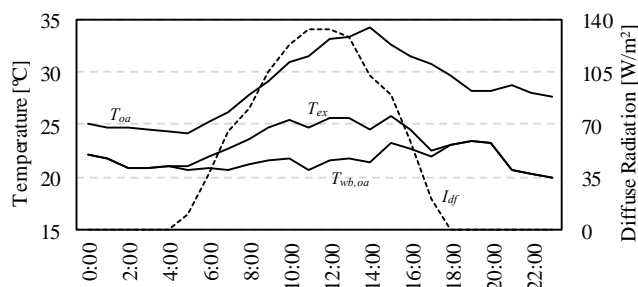


Fig.1 代表日の温度の推移

式(1)から明らかなように、単位面積あたりに必要な給水量 m_{ex} [kg/s]は式(5)である。式(5)を用いて、上記の代表日について日積算の給水量を計算すると 2.5 kg/(m²·day)となる。従って、単位面積あたりで 2.5 kg 程度の水を保有できるのであれば 1日に1度の給水で足りるということになる。

$$m_{ex} = k_x(x_{oa} - x_{ex}) = \frac{\alpha_o(T_{oa} - T_{ex}) + a_{ex}I_{df}}{\gamma} \quad (5)$$

3. 実測

前章で開発したモデルの妥当性を確認するため、実測を行った。

1) 実測日

2017年10月27日

2) 実測対象

2組の同型の簡易救護ユニットを実測対象とする。一方は標準の外装、もう一方は外部を湿潤外装で覆うことで、湿潤外装の有無による温熱環境の差を検証す

* : 工学院大学工学部建築学部

る。標準のユニットをユニット A (U_A)、湿潤外装で覆ったユニットをユニット B (U_B) とする。蒸発冷却の効果を高めるためには風通しの良い日陰である必要があり、八王子校舎 3 号館ピロティ部に設置する。

熱環境測定箇所一覧を Table 1 に示す。断面図と測定箇所を Fig.2 に示す。表面温度の測定には熱電対を用いる。放射温度の測定には熱電対を黒体球で覆ったグローブ温度計を用いる。空気の湿度測定には静電容量式センサを用いた。計測器の仕様を Table 2 に示す。

Table 1 熱環境測定箇所一覧

ID	位置	温度	湿度	放射温度	ID	位置	温度	湿度	放射温度
A1	U _A 内部空気	○	○	○	B1	U _B 内部空気	○	○	○
A2	U _A 外側表面 1	○	-	-	B2	U _B 外側表面 1	○	-	-
A3	U _A 内側表面 1	○	-	-	B3	U _B 内側表面 1	○	-	-
A4	U _A 外側表面 2	○	-	-	B4	U _B 外側表面 2	○	-	-
A5	U _A 内側表面 2	○	-	-	B5	U _B 内側表面 2	○	-	-
A6	U _A 外上表面	○	-	-	B6	U _B 外上表面	○	-	-
A7	U _A 内上表面	○	-	-	B7	U _B 内上表面	○	-	-
A8	U _A 内底表面	○	-	-	B8	U _B 内底表面	○	-	-
-	-	-	-	-	B9	湿潤外装 -箱外表面間	○	○	-
C	外界 (外気)	○	○	○	B10	湿潤外装表面	○	-	-

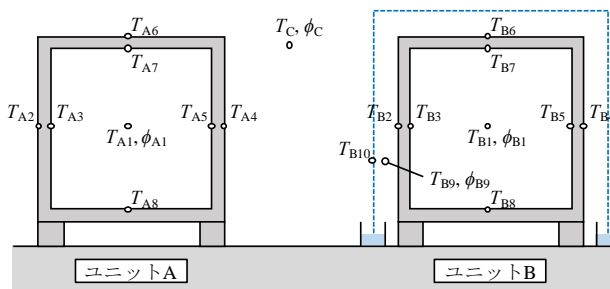


Fig.2 温湿度測定箇所一覧

Table 2 計測器の仕様

計測対象	外観	仕様
表面温度		ロガー：GL840（GRAPHTEC 社） 熱電対：T 型クラス 1 測定確度：±0.5 °C サンプルング間隔：1 sec 連続測定：電源接続のため制限なし 放射温度はピンポン球に黒色塗装
空気湿度		検出部：AOSONG 製 AM2320 測定確度 ±0.5 °C、±3 % 測定範囲 -40~80 °C、0~99 % サンプルング間隔：1 sec 連続測定：単 4 電池で 5 日間 ATmega328 を用いて microSD カードにロギング

3) 実測結果

Fig.3 に、外装を等しくした場合のユニット内の温度変動を示す。ほぼおなじ値をとり、条件は揃えられていることがわかる。Fig.4 にユニット外皮の温度に関して、シミュレーションと実測値を比較した結果を示す。Fig.5 にユニット外表面の熱画像を示す。13:30 以降は直達日射が差し込んだため、この影響によりシミュレーション結果と実測値がずれている。しかし、間接日射の影響のみが主である 10:00~13:00 のデータに関しては、シミュレーションと実測が概ね整合する結果となった。

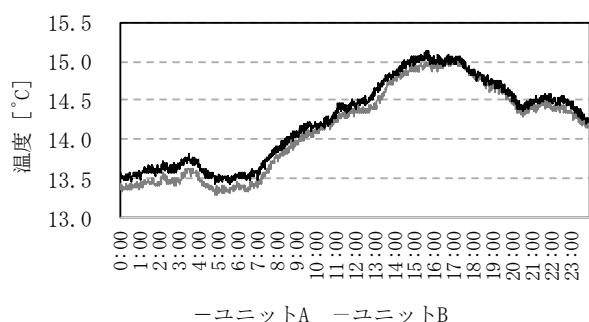


Fig.3 ユニット内部の温度変動

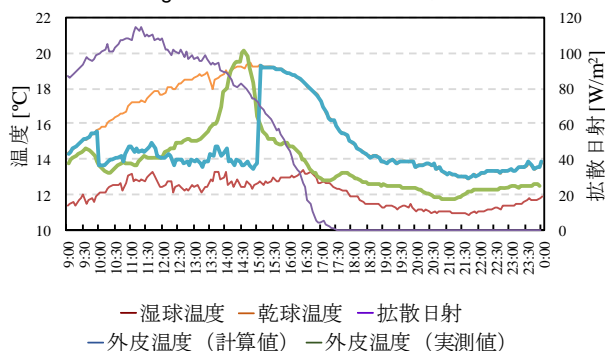


Fig.4 ユニット外皮の温度とシミュレーションの比較

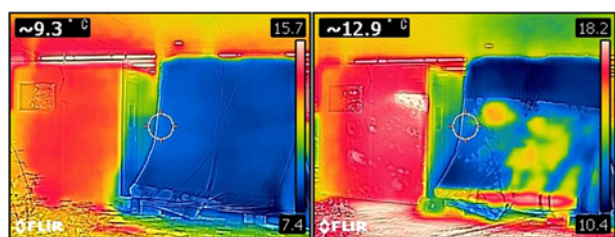


Fig.5 ユニット外表面の熱画像
(左：散水 1 時間後、右：直達日射照射時)

4. おわりに

次年度は本シミュレーションを発展させ、ユニット内の温度変動予測が可能なモデルを構築する。

【謝辞】本実測は、2017 年度 工学院大学卒業生 前田千明様を中心となって遂行したものです。ここに記して深く感謝の意を表します。

広報・普及事業

佐野 勇一郎*

1. はじめに

採択 2 年目となる 2017 年度は、本学ブランディングの確立とエリア防災の社会実装促進を目的に、パブリシティ、イベント出展とブランドロゴの制定を軸に行った。

2. 今年度の成果

(1) 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。

実証実験がメディアに取り上げられて以降、ブランディング事業全体について取材を受けるなど、相互作用的な発展が多くあった。

ブランディング事業の掲載は約 40 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「本ブランディング事業」朝日新聞、読売新聞ほか（計 7 件）。2017 年 4 月 24 日（ほか計 6 日）。
- ②「防災 WEEK2017」。朝日新聞ほか（計 24 件）。2017 年 10 月 30 日。
- ③「ドローンを用いた実証実験」。産経新聞ほか（計 6 件）。2017 年 8 月 30 日（ほか計 4 日）。

(2) イベント出展

2017 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 WEEK2017：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：2017 年 11 月 6 日～22 日。会場：工学院大学。主催：新宿駅周辺防災対策協議会）。約 800 名来場。
- ②防災 WEEK2017:新宿ならではの炊き出し(会期:2017 年 11 月 17 日。会場：新宿調理師専門学校。主催：新宿駅周辺防災対策協議会)。約 300 名来場。
- ③震災対策技術展（会期：2018 年 2 月 8 日、9 日。

会場：パシフィコ横浜 D ホール。主催：「震災対策技術展」横浜 実行委員会)。約 200 名来場。

本学が 2007 年から新宿駅周辺防災対策協議会に参画している経緯により、①「防災 WEEK2017」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。

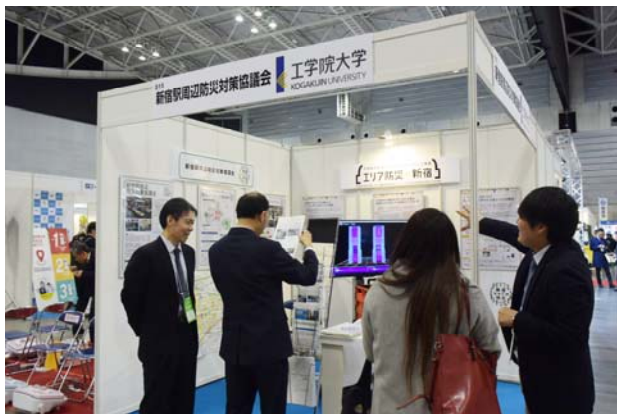


②「新宿ならではの炊き出し」は、本学が近隣の専門学校（新宿調理師専門学校）に声がけしたことで実現した。近隣ビル勤務者にブランディング事業を周知するためお昼時に開催したところ、1 時間弱で 300 食の配布を終え、地元ケーブルテレビが取材に来るなど、地域の反響が感じられた。食材は、行政の協力により廃棄予定の備蓄品を利用し、「食品ロス」問題に防災の観点から解決を図るきっかけを作った。



* : 工学院大学総合企画部広報課

③「震災対策技術展」は、企業と行政の方を中心に約 18000 人が来場した。本学と新宿駅周辺防災対策協議会が連名で開設したブースには、200 名を超える方が訪れ、約半数の方から取り組みについての質問を受けた。



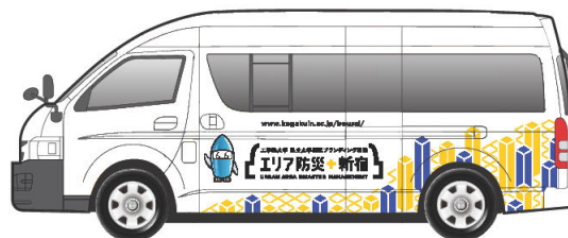
（3）ブランドロゴの制定

本学が取り組むエリア防災の一連の活動の幅広い認識に繋がるように、統括するロゴやテンプレートを制定した。短いフレーズで印象に残りやすく、研究が他都市に拡大しても利用できる仕様とした。



具体的には、展示会での掲出ポスター、配布資料、看板、ノベルティなどに使用した。来場者からは、「防災の取り組みであることがすぐわかる」「研究が多岐にわたることがわかった」との意見が聞かれ、

今後の定着が期待できるロゴと感じている。また、テーマ 3 で活用される D-ZEV ユニット(ハイエース)にも活用した。



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え、成果検証は、防災支援技術の地域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えたい。

[地域導入数]

2017 年度の地域導入数はゼロだったが、東京都北区が「避難所開設キット」(テーマ 1 成果物)の 2018 年度導入を発表した。2018 年度以降、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]

2018 年度も防災 WEEK(前頁(2)イベント出展①)、新宿ならではの炊き出し(前頁(2)イベント出展②)を開催予定。本学主催の科学教室(毎年 8 月開催)でのブース新設を検討している。

[メディア掲載数]

2018 年度は、新規メディアへの掲載を目指す。メディアは目新しいことを報道する傾向があるため、回を重ねた研究でも再度取材してもらえるよう、研究進捗を一般向けに伝える工夫を検討したい。本学からの発信と各種メディア掲載により、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 29 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 業績一覧

査読付き論文

1. 安藤 繁、村上正浩、山下てつろう、病院の災害時診療圏を設定し来院負傷者を推計する方法 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 1、日本建築学会計画系論文集、No. 739、pp. 2249-2255、2017 年 9 月

学術雑誌、商業誌、研究機関への研究報告、展望、解説、論説など

1. 村上正浩、中心市街地の災害対応力向上のための教育・訓練プログラム—新宿駅周辺地域における実践事例一、危機管理レビュー、vol. 9、2018 年 3 月（掲載決定）
2. 佐藤正之、永井岳大、福田一帆、近藤 悟、竹内広太、ヒューマンインフォメーションの研究動向 映像情報メディア学会、71(6)、pp. 839-845 2017
3. 藤賀雅人「オーダーメイドの再開発をどこまで進められるか」再開発コーディネーター、No. 192、p. 1、2018. 3
4. 藤賀雅人「事例編 東京都墨田区 一寺言問を防災のまちにする会（一言会）」地域主体のまちづくり参考書、都市計画家協会、p. 53、2017. 12
5. 藤賀雅人「事例編 東京都新宿区 新宿駅周辺防災対策協議会」地域主体のまちづくり参考書、都市計画家協会、p. 54、2017. 12
6. 藤賀雅人「アドバイス 防災まちづくり」地域主体のまちづくり参考書、都市計画家協会、p. 56、2017. 12

招待講演

1. 村上正浩、避難所開設キットを活用した避難所訓練について、文京区避難所運営協議会、2018 年 3 月 16 日
2. 村上正浩、被害を軽減する地域コミュニティの力～「個」と「地域」の防災力を高めるために～、ねりま防災カレッジ防災講演会、2018 年 3 月 4 日
3. 村上正浩、ターミナル駅周辺地域のエリア防災対策、第 62 回エネルギー・環境講習会、2018 年 2 月 15 日
4. 村上正浩、地域の防災対策について-「個」と「地域」の防災力を高めましょう-、平成 29 年度家庭防災フェスティバル講演会（福生消防署管内消防連絡協議会）、2017 年 12 月 3 日
5. 村上正浩、大地震への備え-避難所の開設・運営について、平成 29 年度新宿区地域本部研修、2017 年 9 月 5 日
6. 村上正浩、新宿駅周辺地域の帰宅困難者対策・地震防災対策-新宿駅周辺地域の帰宅困難者対応の経験を踏まえて、2017 年度第 1 回三宮駅帰宅困難者対策協議会、2017 年 8 月 10 日
7. 藤賀雅人、世田谷区 防災まちづくりフォーラム「密集市街地で”暮らし続ける”-暮らし続けるための家づくり・街づくり-」2018. 1
8. 藤賀雅人、ISFJ 日本学生政策会議 政策フォーラム 都市政策コメンテーター、2017. 12

口頭発表

1. 柳田悠太郎、村上正浩、新宿駅周辺地域を対象としたエリア災害対応支援システムの開発、2017 年度（第 88 回）関東支部研究発表会、2018 年 3 月 2 日
2. 柳田悠太郎、村上正浩、新宿駅周辺地域の災害対応を支援するエリア災害対応支援システムの開発、社会貢献学会第 8 回大会、2017 年 12 月 2 日
3. 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把握と課題解決のための効果的な運営方法の検討 新宿区内の 51 避難所を対象として、社会貢献学会第 8 回大会、2017 年 12 月 2 日
4. 村上正浩、大規模災害時におけるより良い支援のあり方を考える、社会貢献学会第 8 回大会フォーラム、2017 年 12 月 2 日
5. 新藤 淳、村上正浩、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 2 ドローンを用いた情報収集・発信実証実験の概要、日本建築学会 2017 年度大会、2017 年 9 月 2 日
6. 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検証実験 その 1 新宿駅周辺地域の震災対応の考え方と実験の想定、日本建築学会 2017 年度大会、2017 年 9 月 2 日
7. 柳田 悠太郎、村上正浩、山下 倫央、歩行者シミュレーションによる新宿駅周辺地域の行動指針の効

- 果検証、日本建築学会 2017 年度大会、2017 年 9 月 2 日
8. 安藤 繁、村上 正浩、山下 哲郎、災害時診療圏の設定と来院重傷者数の推計に関する研究、日本建築学会 2017 年度大会、2017 年 9 月 2 日
 9. 高橋祐哉、福田一帆、3DVR 空間における歩行者群衆移動からの大域的運動検出特性と視点位置の影響、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、2018 年 3 月
 10. 二橋舜輝、藤賀雅人「不燃化推進特定整備地区における建替え助成制度の運用実態」日本建築学会関東支部研究発表会、2018. 3
 11. 大井雅代、藤賀雅人「郊外住宅地の密集市街地整備に対する事業変更と協議体制の関係性に関する研究 -川口市芝地区における土地区画整理事業解除後の動向に着目して-」日本建築学会関東支部研究発表会、2018. 3
 12. 二橋舜輝、藤賀雅人「木造密集市街地整備におけるストック更新型助成制度の設定と運用実態 -東京都不燃化推進特別地区制度を対象として-」社会貢献学会第 8 回大会、pp. 109-110、2017. 12

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/2,500 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 29 年度消防防災科学技術研究推進制度/2017 年度/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、新宿区・受託研究/2017 年度/5,000 千円/新宿駅周辺防災まちづくり事業及び新宿駅周辺防災対策協議会西口地域訓練業務（研究代表）
4. 村上正浩、新宿区・受託研究/2017 年度/3,000 千円/避難所運営管理訓練等企画運営業務（代表）
5. 村上正浩、科学技術振興機構・SIP/2014~2018 年度/7,929 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）
6. 境野健太郎、文部科学省・科学研究費補助金、基盤研究(B)，平成 25-27 年度、南海トラフ地震に備えた事前の「復興計画」の提案 地域文脈の解説と集落・都市の再編、研究分担者（研究代表者：木多道宏（大阪大学））、13,800 千円
7. 境野健太郎、鹿児島大学、鹿児島大学奄美豪雨災害調査委員会、平成 23 年度、2010 年奄美豪雨による都市災害と復旧、研究分担者（研究代表者：木方十根（鹿児島大学））
8. 藤賀雅人、一般財団法人民間都市開発推進機構 都市再生研究助成/平成 28~29 年度/2,200 千円、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」（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. 村上正浩、新宿駅周辺防災対策協議会の取り組み、工学院大学・私立大学ブランディング事業の取り組み、第 22 回「震災対策技術展」横浜、2018 年 2 月 8 日・9 日
2. 村上正浩、飲食店地震時マニュアル、読売新聞朝刊都民 14 版、25 面、2017 年 12 月 29 日
3. 村上正浩、防災 WEEK2017 “新宿ならでは” 炊き出し、J:COM デイリーニュース、2017 年 11 月 20 日
4. 村上正浩、避難者に安心安全な場を提供する『EvaQuick』、Innovation Big-West、2017 年 11 月 1 日
5. 村上正浩、最新機器で被害防げ ドローン使い建物確認、北海道新聞、2017 年 10 月 27 日
6. 村上正浩、高層ビル街の防災にもドローン 工学院大など チーム・新宿」が推進、ドローンタイムズ、2017 年 9 月 1 日
7. 村上正浩、避難者に安心安全な場を提供する『EvaQuick』、イノベーションジャパン 2017、2017 年 8 月 31 日
8. 村上正浩、都市防災先端技術の力 パニック回避へ訓練計画探る、朝日新聞朝刊、2017 年 5 月 28 日
このほか、12 月 12 日に実施したドローンを活用した実証実験に関する新聞記事等 22 件、11 月 6 日~22 日に開催した新宿防災ウィーク 2017 に関する新聞記事等 23 件

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）

学士 12 名（村上）、学士 3 名（福田）、学士 15 名（境野）、学士 9 名（藤賀研）：学士計 39 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、新宿防災ウィーク 2017、2017 年 11 月 6 日~22 日
2. 村上正浩、平成 29 年度新宿駅周辺防災対策協議会セミナー・講習会・訓練、2017 年 7 月~2018 年 3 月（セミナー 3 回、講習会 5 回、訓練 1 回）
3. 藤賀雅人、日本建築学会事前復興・災害対策小委員会「福島復興の環境都市計画の視点からの検証および災害復興準備に関する公開研究会」2018. 3

文部科学省 私立大学研究ブランディング事業（平成 29 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 業績一覧

著書

1. 田村雅紀, 平常時・災害時におけるコンクリートのサステナビリティと品質保証の接点, コンクリート診断士研修テキスト, 日本コンクリート工学会, pp.93-102、2017.9
2. 田村雅紀, 高炉セメントまたは高炉スラグ微粉末を用いる鉄筋コンクリート造の設計・施工指針案同解説, 日本建築学会 材料施工委員会 環境配慮運営委員会, pp.155-168、2017.9
3. 原英嗣、西川豊宏、現場で役立つ管工事の基本と実際、株式会社秀和システム、2017
4. 久田嘉章、1 章：新宿駅周辺における大震災時の多数傷病者に関する地域連携による対応力向上の取り組み（分担）、病院からの全患者避難～災害医療フォーラム全講演～pp.162-179、2017.9

査読付き論文

1. 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間数の評価、日本地震工学会論文集、Vo. 17, No. 8, pp. 1-20, 2017. 11
2. 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 2018 年 6 月 第 83 巻 第 748 号 (掲載決定)
3. 野原大樹、伊藤賢治、渡辺俊也、山下哲郎、鉄骨置屋根構造ピン支承部の復元力特性に関する研究、鋼構造年次論文集, Vol. 25 pp. 303-310, 2017 年 11 月 (アブストラクト査読)
4. 岡 健太郎, 田村雅紀, 後藤治, 津村泰範, 文化財建造物の木摺り漆喰天井における浸透性樹脂を用いた補修工法の実施工検討, 日本建築学会技術報告集, pp. 789-796, Vol. 23, NO. 55, 2017 年 10 月
5. 岡 健太郎, 田村雅紀, 後藤治, 漆喰仕上げ天井における補修工法の開発, 日本建築学会技術報告集, Vol. 23, NO. 54, pp. 403-408, 2017 年 6 月
6. 岡 健太郎, 田村雅紀, 後藤治, 歴史的建造物における既存左官天井の非破壊による健全度評価の基礎的検討, 日本建築学会構造系論文集, 第 82 巻, 第 736 号, pp791-800 2017 年 6 月
7. 岡 健太郎, 田村雅紀, 後藤治, 材料物性と下地仕様の観点からみた木摺り漆喰天井部材における基本性能と健全度評価に関する実験的検討, 日本建築学会構造系論文集, 第 82 巻, 第 731 号 2017 年 1 月
8. 西川豊宏, 浅倉佑介, 事務所建物における給水原単位と雨水利用に関する調査研究 第 1 報—実測データに基づく水使用実態と雨水利用設備容量の評価, 空気調和・衛生工学会論文集, 2018.3 (掲載予定)

国際学会論文 (査読付も含む)

1. T. Kanemaki, M. Tamura, Construction technologies and systems of shelters and temporary houses for improving the living environment for people with pets in disaster situations, 14th International Conference on Durability of Building Materials and Component, DBMC, Gent, 2017
2. M. Tamura and S. Sayama, Improvement Effect on Mechanical Properties of Cementitious Woodchip Compound Board introducing Stimulating Agent of Seawater in Disaster Situation for Resilience Measures in Disaster Situation Toward Sustainability, 14th International Conference on Durability of Building Materials and Component, DBMC, Gent, 2017
3. K. Tsuchida, M. Tamura, Development of Structural and Finishing Materials Utilizing Unused Local Resources in the Asian Region, 13th KOREA-JAPAN Joint symposium on Building materials & Construction, Korea Hanbat, 2017. 8
4. M. Umamoto, M. Tamura, Variation Color of Local Produced Mud Wall as Landscape Element form Stand Point of Japan Regional Characteristics in Asia, 13th KOREA-JAPAN Joint symposium on Building materials & Construction, Korea Hanbat, 2017. 8
5. T. Nishikawa, Evaluation of unit design water supply amounts and characteristics of water consumption based on measured building use, Proceedings the 43rd International Symposium of CIB W062 Water Supply and Drainage for Buildings, 2017. 8
6. K. YAGASAKI, T. Nishikawa, Maintaining the Functionality of a Plumbing System, Proceedings the 43rd International Symposium of CIB W062 Water Supply and Drainage for Buildings, 2017. 8

学術雑誌、商業誌、研究機関への研究報告、展望、解説、論説など

1. 久田嘉章、田中信也、2016 年熊本地震の断層近傍の強震動特性と地表地震断層近傍の建物被害調査、第 45 回地盤震動シンポジウム「2016 年熊本地震に学び、将来の強震動予測を考える」、日本建築学会、

2017. 11

2. 久田嘉章、首都圏複合災害への対応・減災支援技術<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>、建築設備と配管工事、日本工業出版、55 巻、13 号、pp. 9-15, 2017. 11
3. 久田嘉章、第 7 回「数千年に一度の最大級地震に対する建物の対策（その 3：逃げる必要のない建物とまちを目指して）」、NHK そなえる防災、2017. 9
4. 久田嘉章、震源近傍の強震動、長周期、長時間地震動の特性と建物の耐震対策、日本振動技術協会 振動技術 免震特集、NO. 35、pp. 21-25, 2017. 5
5. 久田嘉章、第 6 回「第 6 回 数千年に一度の最大級地震に対する建物の対策（その 2：活断層近傍の建物対策）」、NHK そなえる防災、2017. 5
6. 久田嘉章、活断層帯の地震に対するレジリエントな建物対策 ～数千年に一度の地震にどう立ち向かうべきか～、Structure、一般社団法人日本建築構造技術協会、140 号、2017. 4
7. 久田嘉章、2016 年熊本地震で観測された震源近傍強震動、および地表地震断層による建物被害、特集「熊本地震から見えてきたのも」地震動②、建築雑誌 4 月号、日本建築学会、2017. 4
8. 後藤治、田村雅紀、小林直弘、岡崎かんき他、旧茨城県立土浦中学校本館、木摺漆喰天井剥落防止補強技術の適用、2018 年 1 月
9. 田村雅紀、建築教育部門—パネルディスカッション 遺産的建築物をめぐる 新技術展開と教育・伝承主旨説明 田村雅紀（工学院大学）pp. 7-16, 2017. 9
10. 橘高義典、田村雅紀、北垣亮馬、堀竹市、渡辺清彦、蝦名浩二、成田至弘、蛇口洋平、2017 台日建築外装材の診断・改修技術シンポジウム参加報告、月刊リフォーム 2018 年 2 月号、pp26-31, 2018. 2
11. 田村雅紀、小野航太郎、築 27 年経過した超高層ビルから採取したシーリング材の外部環境影響を踏まえた劣化度調査、月刊リフォーム 2018 年 2 月号、pp. 52-56, 2018. 2
12. 田村雅紀、中田倫、牧野萌子、建築単体ではなく建築部位の構成材料として性能を示す必要がある、建材フォーラム、No. 495 2017 年 11 月号、pp12-15, 2017. 11
13. 田村雅紀、建築仕上げの将来像を語る、建築仕上げ技術 pp38-54, Vol. 43, No. 505, 2017. 8
14. 田村雅紀、金巻とも子、14th International Conference on Durability of Building Materials and Component (DBMC) 参加報告、Finex, Vol. 29. No. 173 , pp. 24-25, 2017. 7
15. 田村雅紀、他、建築物の資源利活用に向けた災害時におけるレジリエンス対応技術の最前線と今後の展開～東日本大震災から熊本地震を踏まえて～ 日本建築学会・資源活用による建築・都市のレジリエンス小委員会 2017 年 3 月

招待講演

1. 久田嘉章、・周期地震動に対する・助・共助による超高層建築の備え、緊急地震速報防災講演会 in 大阪「緊急地震速報 10 周年～緊急地震速報のこれから～」、気象庁、阿倍野区民センター 2 階大ホール、2018. 2. 14
3. 久田嘉章、震災から学ぶ建物・まちの地震防災・減災～1923 年関東大震災から 2016 年熊本地震まで～、第 22 回「震災対策技術展」横浜、パシフィコ横浜、2018. 2. 8
4. 久田嘉章、災害時、逃げる必要のない建物とまちづくり、麴町アカデミア・遊学堂（ビジネスエアポート東京）、日本生命丸の内ガーデンタワー（ビジネスエアポート東京）、2018. 2. 6
5. 久田嘉章、長周期地震動に対する自助・共助による高層集合住宅の備え、体験型防災イベント「大地震へのソナエ」、気象庁、東京臨海広域防災公園「そなエリア東京」、2018. 2. 2
6. 久田嘉章、長周期地震動に対する自助・共助による高層オフィスビルの備え、体験型防災イベント「大地震へのソナエ」、気象庁、東京臨海広域防災公園「そなエリア東京」、2018. 2. 2
7. 久田嘉章、首都直下地震の被害想定と過去の震災に学ぶ予防対策、慶応義塾大学東村山三田会（第 3 回講演会）、東村山市西口 サンパルネ、2018. 1. 20
8. 久田嘉章、数千年に一度の地震と想定すべき設計用・検証用地震動、第 17 回免震フォーラム「免震建築のこれからを考える」、日本免震構造協会、青年館ホール、2017. 12. 18
9. 久田嘉章、過去の震災から学ぶ建物防災～関東大震災から熊本地震までの教訓～、読売新聞土地活用セミナー、品川イーストワンタワー 21 階、2017. 12. 9
10. 久田嘉章、長周期地震動による高層ビル被害と対策、防災ウィーク「新宿ならでは防災」、新宿駅周辺防災対策協議会、工学院大学新宿校舎、2017. 11. 6
11. 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、高圧ガス設備等耐震設計講座、高圧ガス保安協会、TKP 市ヶ谷カンファレンスセンター、2017. 10. 24
12. 久田嘉章、首都直下地震の地震被害想定とレジリエントな災害対策～過去の震災事例や新宿での取り組み～、横浜駅西口共同防管・防災講演会、横浜市民防災センター研修室、2017. 10. 12

13. 久田嘉章、首都直下地震の被害想定と建物・まちの災害対策～関東大震災から熊本地震までの過去の震災からの教訓から学ぶ～、東京建築士会 練馬支部、石神井公園区民交流センター、2017.05.25

口頭発表

1. 久田嘉章、2016年熊本地震に学ぶ活断層近傍の建築・まちの震災対策、社会貢献学会、第8回大会、2017年12月2日
2. 中西真子、久田嘉章、山下哲郎、笠井和彦、超高層建築の効果的な補強方法と評価、社会貢献学会 第8回大会、2017年12月2日
3. 金田惇平、久田嘉章、田中信也、2016年熊本地震における地表地震断層近傍の強震動特性と建物被害(その2)益城町と下陣の強震動特性の違いに関する考察、2017年秋大会 日本地震学会、2017.11.25
4. 久田嘉章、金田惇平、中村航、田中信也、2016年熊本地震における地表地震断層近傍の強震動特性と建物被害(その3)建物被害調査と推定される強震動特性、2017年秋大会 日本地震学会、2017.10.25
5. 田中信也、引間和人、金田惇平、久田嘉章、2016年熊本地震における地表地震断層近傍の強震動特性と建物被害(その1)益城町と西原村の観測記録の再現性に関する一考察、2017年秋大会 日本地震学会、2017年10月25日
6. 久田嘉章、中村航、2016年熊本地震の地表地震断層近傍の建物被害調査 その2 下陣・高木地区での調査結果と活断層近傍の建物対策、2017年度日本建築学会大会(中国)、2017年9月3日
7. 中村航、久田嘉章、2016年熊本地震の地表地震断層近傍の建物被害調査 その1 悉皆調査の概要と南阿蘇村での調査結果、2017年度日本建築学会大会(中国)、2017年9月3日
8. 鱒沢曜、久田嘉章、超高層ビルにおける傷病者の階段降下搬送に関する研究、2017年度日本建築学会大会(中国)、2017年9月2日
9. 田中信也、金田惇平、引間和人、久田嘉章、地震発生以浅に適用可能なすべり速度時間関数の評価 その2 規格化 Yoffe 関数に基づく近似式、2017年度日本建築学会大会(中国)、2017年9月1日
10. 金田惇平、田中信也、引間和人、久田嘉章、地震発生以浅に適用可能なすべり速度時間関数の評価 その1 1999年集集地震を対象とした検討、2017年度日本建築学会大会(中国)、2017年9月1日
11. 寺本彩乃、鱒沢曜、久田嘉章、極大地震動による耐震建物の応答特性に関する研究、2017年度日本建築学会大会(中国)、2017年8月31日
12. 石川理人、久田嘉章、2014年長野県北部地震における建物被害調査と強震動シュミレーション、2017年度日本建築学会大会(中国)、2017年8月31日
13. 金田惇平、久田嘉章、Parameter Study on Near Fault Strong Ground Motion Considering Randomness of Faulting Process、日本地球惑星連合大会、2017年5月24日
14. 田中信也、引間和人、久田嘉章、地震発生層以浅に適用可能なすべり速度時間関数の評価、日本地球惑星科学連合大会、2017年5月21日
15. 久田嘉章、2016年熊本地震における地表地震断層の直上の建物被害と対策、日本地球惑星科学連合大会、2017年5月20日
16. 野原大樹、伊藤賢治、渡辺俊也、山下哲郎、鉄骨置屋根構造ピン支承部の復元力特性に関する研究、鋼構造シンポジウム、2017年11月
17. 青木花子・中西真子・山下哲郎・久田嘉章・笠井和彦、極大地震動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2 マイナー則を用いた疲労損傷度評価、2017年度日本建築学会大会(中国)(学術講演梗概集B-2 pp.5-6)、2017年8月
18. 中西真子・青木花子・久田嘉章・山下哲郎・笠井和彦、極大地震動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 極大地震動を考慮した既存超高層建築のダンパー補強効果とブレース破断の検討、2017年度日本建築学会大会(中国)(学術講演梗概集B-2 pp.3-4)、2017年8月
19. 荒井雄大・山下哲郎、常時微動計測による鉄骨大庇の振動特性の同定及び地震応答推定、2017年度日本建築学会大会(中国)(学術講演梗概集B-1 pp.971-972)、2017年8月
20. 岩澤瞭・山下哲郎、鉄骨造体育館梁間方向ラーメン構造の塑性化挙動に関する研究 その4 地震力を受ける際の累積たわみとパネル塑性化の関係、2017年度日本建築学会大会(中国)(学術講演梗概集B-1 pp.851-852)、2017年8月
21. 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2 簡易2質点モデルによる地震応答評価、2017年度日本建築学会大会(中国)(学術講演梗概集B-1 pp.805-806)、2017年8月
22. 渡辺俊也・和田直記・山下哲郎、鉄骨置屋根構造ピン支承部の復元力特性に関する研究 その3 支承部の復元力特性を反映した鉄骨置屋根構造の静的増分解析、2017年度日本建築学会大会(中国)(学術講演梗概集B-1 pp.803-804)、2017年8月
23. 野原大樹・伊藤賢治・和田直記・山下哲郎、鉄骨置屋根構造ピン支承部の復元力特性に関する研究 その

- の2 実験結果の分析, 2017年度日本建築学会大会(中国)(学術講演梗概集 B-1 pp.801-802), 2017年8月
24. 伊藤賢治・野原大樹・和田直記・山下哲郎, 鉄骨置屋根構造ピン支承部の復元力特性に関する研究 その1 2軸加力実験の概要, 2017年度日本建築学会大会(中国)(学術講演梗概集 B-1 pp.799-800), 2017年8月
 25. 田村雅紀, 材料教育検討WG活動報告, 第17回建築教育シンポジウム, 建築教育研究論文報告集 No.18, 2017.12
 26. 田村雅紀, 原田香菜, ガラスと仕上材を合わせた意匠化粧材の開発と視覚的印象評価, 2017年度日本色彩学会・環境色彩研究会研究発表会, 2018.2
 27. 田村雅紀, 梅本真穂, 景観構成要素となる地産壁土の地域特性から見た色彩分布の評価式, 2017年度日本色彩学会・環境色彩研究会研究発表会, 2018.2
 28. 田村雅紀, 六角暁, 横田将吾, 長崎翼, 2017年 ISAT ジャパン アジア・モンスーン地域住宅における自然災害対応型一建設技術の開発・普及, ポスターセッション, 2017.8 工学院大学
 29. 田村雅紀, 2017年イノベーションジャパン アジア・モンスーン地域住宅における自然災害対応型一建設技術の開発・普及 ショートプレゼン, 2017.8 東京ビックサイト
 30. 長崎翼, 田村雅紀, 東南アジア地域レンガ造住居壁面の繊維補強シート面材による変形抵抗性の改善 2017年度 日本建築学会関東支部研究報告集1, CD-ROM, 2018.3
 31. 横田将吾, 田村雅紀, ALCブロック外壁の繊維補強による変形抵抗性の確保に関する研究 2017年度 日本建築学会関東支部研究報告集1, CD-ROM, 2018.3
 32. 半座三紗子, 田村雅紀, 岡健太郎, 後藤 治, 遺産的建造物におけるラス漆喰天井の劣化状態の評価・検証実験 2017年度 日本建築学会関東支部研究報告集1, CD-ROM, 2018.3
 33. 小林将希, 田村雅紀, 岡健太郎, 後藤 治 木摺り漆喰天井における木摺り下地面への補修樹脂充填度の可視化, 2017年度 日本建築学会関東支部研究報告集1, CD-ROM, 2018.3
 34. 石川隆司, 田村雅紀, 中田 倫, 牧野萌子 内装左官仕上げの構法による性能・機能を比較する試験体の作製, 左官材料を中心とした仕上げ壁の機能性評価 その1, 2017年度 日本建築学会関東支部研究報告集1, CD-ROM, 2018.3
 35. 中田 倫, 田村雅紀, 金巻とも子, 石川隆司, 各種内装左官仕上げの VOC 除去特性の比較-左官材料を中心とした仕上げ壁の機能性評価-その2 2017年度 日本建築学会関東支部研究報告集1, CD-ROM, 2018.3
 36. 中田倫, 田村雅紀, 金巻とも子, 石川隆司, 各種内装左官仕上げの臭い除去・抗菌特性の比較-左官材料を中心とした仕上げ壁の機能性評価-その3 2017年度 日本建築学会関東支部研究報告集1, CD-ROM, 2018.3
 37. 牧野萌子, 田村雅紀, 石川隆司, 金巻とも子, 各種内装左官仕上げ壁の調湿性能の測定・比較-左官材料を中心とした仕上げ壁の機能性評価-その4 2017年度 日本建築学会関東支部研究報告集1, CD-ROM, 2018.3
 38. 牧野萌子, 田村雅紀, 石川隆司, 金巻とも子, 各種左官仕上げ壁の防音特性の比較 - 左官材料を中心とした仕上げ壁の機能性評価 - その5 2017年度 日本建築学会関東支部研究報告集1, CD-ROM, 2018.3
 39. 鈴木悠人, 田村雅紀, 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年度 日本建築学会関東支部研究報告集1, CD-ROM, 2018.3
 40. 乙幡祐平, 田村雅紀, 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数特性・エネルギーと劣化性状の相関評価 2017年度 日本建築学会関東支部研究報告集1, CD-ROM, 2018.3
 41. 大野 彩, 田村雅紀, 各種内外装材料の汚れ意識調査と汚れ洗浄処理による印象改善度の評価 2017年度 日本建築学会関東支部研究報告集1, CD-ROM, 2018.3
 42. 田村雅紀, 小野航太郎, 築27年経過した超高層ビルから採取したシーリング材の外部環境影響を踏まえた劣化度調査, 2017年度日本建築仕上学会研究発表論文集, pp.73-76, 2017.10
 43. 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, 2017年度日本建築仕上学会研究発表論文集, pp.13-16, 2017.10
 44. 土田健太, 田村雅紀, 地産材料を改良活用した左官仕上げの検討, その2 未利用地産資源の調査及びモルタル活用による印象評価, pp.105-108, 2017年度日本建築仕上学会研究発表論文集, 2017.10
 45. 梅本真穂, 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, その2 含有酸化物測定と土地条件の分析, 2017年度日本建築仕上学会研究発表論文集, pp.109-112, 2017.10
 46. 金巻とも子, 田村 雅紀, ペット共棲住環境の QOL 改善を目的とした建築技術・システムに関する基礎的検討 その6 左官調軽量調湿内装壁面への引掻き傷の印象評価, pp923-924, 2017年度日本建築学会学術講演梗概集, CD-ROM, 2017.9
 47. 田村雅紀, 金巻とも子, ペット共棲住環境の QOL 改善を目的とした建築技術・システムに関する基礎

- 的検討 その5 左官調軽量調湿内装壁面への引掻き傷の物理特性、pp. 921-922、2017年度日本建築学会学術講演梗概集、CD-ROM、2017.9
48. 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2 未利用地産資源の調査・検討及びモルタル活用による印象評価、pp. 1061-1062、2017年度日本建築学会学術講演梗概集、CD-ROM、2017.9
 49. 梅本真穂、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1 景観構成要素となる土材の色彩分布、pp. 1059-1060、2017年度日本建築学会学術講演梗概集、CD-ROM、2017.9
 50. 土田健太、田村雅紀、未利用地産資源を改良活用した無機系構造・仕上材料の開発、2016年度日本建築学会関東支部研究報告集1、pp. 217-220、2017.3
 51. 梅本真穂、田村雅紀、地域特性から見た景観構成要素となる地産壁土の色彩分布、2016年度日本建築学会関東支部研究報告集1、pp. 73-76、2017.3
 52. 梅原優、田村雅紀、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集1、pp. 225-228、2017.3
 53. 小野航太郎、田村雅紀、築27年経過した超高層ビルから採取したシーリング材の外部環境影響を踏まえた劣化度調査、2016年度日本建築学会関東支部研究報告集1、pp. 261-264、2017.3
 54. 村松凌、田村雅紀、天然鉱物含有型仕上塗材の熱的作用による劣化影響と苔植物の定着関係、2016年度日本建築学会関東支部研究報告集1、pp. 229-232、2017.3
 55. 中島駿介、田村雅紀、後藤治、5年間の屋外暴露による外部影響を受けた柿葺き屋根の劣化指標提案、2016年度日本建築学会関東支部研究報告集1、pp. 65-68、2017.3
 56. 原田香菜、田村雅紀、ガラスと仕上材を合わせた意匠化粧材の開発と視覚的印象評価、2016年度日本建築学会関東支部研究報告集1、pp. 245-248、2017.3
 57. 佐藤勇太、田村雅紀、既存コンクリート構造体の赤外線サーモグラフィ装置を用いたひび割れ深さ検出、2016年度日本建築学会関東支部研究報告集1、pp. 5-8、2017.3
 58. 岡健太郎、田村雅紀、後藤治、津村泰範、建築物のLCMにおける維持保全と保存的活用ストラテジー その4 既存木摺漆喰天井の補修工法による岩手銀行旧本店本館への試験施工、2016年度日本建築学会関東支部研究報告集1、pp. 53-56、2017.3
 59. 西川豊宏、浅倉佑介、実測調査に基づく建築物の水使用特性と給水原単位の評価(その1)実測の概要と水使用量について、2017年度日本建築学会大会学術講演梗概集(中国)、pp. 607-608、2017.8
 60. 浅倉佑介、西川豊宏、実測調査に基づく建築物の水使用特性と給水原単位の評価(その2)給水原単位と雨水利用、2017年度日本建築学会大会学術講演梗概集(中国)、pp. 609-610、2017.8
 61. 矢ヶ崎啓介、西川豊宏ほか、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11)給排水衛生設備の耐震性能予測、2017年度日本建築学会大会学術講演梗概集(中国)、pp. 661-662、2017.8
 62. 矢ヶ崎啓介、西川豊宏ほか、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7報)給排水衛生設備の耐震性能について、空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集(高知)、pp. 93-96、2017.9
 63. 浅倉佑介、西川豊宏、実測調査による給水原単位と雨水利用の評価に関する研究、空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集(高知)、pp. 161-164、2017.9

外部資金の獲得

1. 久田嘉章、文部科学省・科研費・基盤C一般/平成28~30年度/1,430千円、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(研究代表者)
2. 久田嘉章、文部科学省・科研費・基盤A一般/平成26~29年度/338千円、巨大地震の長周期地震動による超高層住宅の生活継続プランの構築に関する系統的研究(研究代表者: 京都大学 川瀬博)
3. 久田嘉章、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(代表)、SIP(戦略的イノベーション創造プログラム) 課題「レジリエントな防災・減災機能の強化」/平成26~30年度/7,930千円
4. 久田嘉章、山下哲郎、大地震時の強震動予測手法の開発と超高層建築の耐震対策への適用、工学院大学 総合研究所プロジェクト研究費/平成26~30年度/650千円
5. 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
6. 久田嘉章、指定研究費: 株式会社 ダイナミックデザイン /1,000千円
7. 久田嘉章、指定研究費: 株式会社 ダイナミックデザイン /1,000千円
8. 山下哲郎、文部科学省・科研費・基盤A一般/平成28~30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)

9. 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
10. 西川豊宏、文部科学省・科研費・基盤 A 一般／平成 28～32 年度／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(研究分担者)
11. 西川豊宏、文部科学省・科研費・基盤 C 一般／平成 28～30 年度／給排水ライフラインの機能維持と災害レジリエンス向上に関する研究(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. 2017 年 8 月 18 日、特願 2017-157926 建築物の壁構造を構成するブロック体のシート面材による補強方法、発明者：田村雅紀，小川 忠靖
2. 2017 年 7 月 27 日 海外 PCT/JP2017/027341 天井の修復方法及び壁の修復方法、発明者；後藤治，田村雅紀，丸山紘明，横島順一，石崎斯征

各種メディア（新聞・テレビ・ラジオなど）・展示会等で公表

1. 久田嘉章、新宿新聞「大地震が都心を襲ったら・都市直下型地震新宿駅周辺防災対策協議会、防災ウィークでの工学院大学のイベント・講演会」の様子を掲載、2018. 2. 5
2. 久田嘉章、建通新聞、免震建築の「これから」を考える、「数千年に一度の地震と想定すべ恋設計用・検証用地震動」掲載、2018. 1. 26, 2017. 11. 11、
3. 久田嘉章、朝日新聞「免震脅かす長周期パルス」情報提供・コメント掲載、2017. 1. 14
4. 久田嘉章、NHK/BS1「巨大危機 MEGA CRISIS 特別編 第 1 集 都市直下地震 新たな脅威 “長周期パルス” の衝撃」、コメント、2018. 1. 10
5. 久田嘉章、NHK WORLD TV「MEGA CRISIS Episode1:Skyscrapers in Aseismic Danger」、コメント、2017. 11. 19
6. 久田嘉章、NHK スペシャル「巨大危機 MEGA CRISIS 特別編 第 1 集 都市直下地震 新たな脅威 “長周期パルス” の衝撃」、コメント、2017. 9. 2
7. 久田嘉章、朝日新聞「教えて！自然災害 中小規模の地震にも備えを」コメント掲載、2017. 8. 30
8. 久田嘉章、日本経済新聞「首都直下地震・減災に挑む、外装、天井も揺れに強く、避難いらずの建物へ」コメント掲載、2017. 7. 10
9. 久田嘉章、朝日新聞「都市防災先端技術の力、地震被害 VR で疑似体験」とどまる避難も知って”」コメント・写真掲載、2017. 5. 28
10. 久田嘉章、神奈川新聞「熊本地震被害調査の家屋調査、断層真上全壊率 5 割超「基準満たす」は不十分」、コメント・資料掲載、2017. 5. 21
11. 久田嘉章、読売新聞「住宅耐震備えのカギ」コメント掲載、2017. 4. 15
12. 久田嘉章、読売新聞「熊本地震 とじ込め 78%一階で、警視庁分析 7 割が 60 歳以上」コメント掲載、2017. 4. 13
13. 久田嘉章、日経アーキテクチャ・追跡熊本地震「「見える化」せよ 「柔」と「剛」の使い分けで地盤変形を吸収」談話掲載、2017. 4. 13

その他、地方新聞に熊本地震の建物被害に関するコメント掲載が 19 編（2017. 5. 20-5. 22）

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 2 名 学士 9 名（久田）、修士 4 名 学士 6 名（山下）、修士 1 名 学士 6 名（西川）、修士 2 名 学士 5 名（田村）：修士計 9 名、学士 26 計

その他（報告会・シンポジウムの主催・共催、実験の実施など）

置屋根体育館支承部の実験（2017/9～12）

天井用吊材の振動実験（東京工業大学共同 2017/9～2018/2）

新宿駅周辺防災対策協議会・工学院大学による新宿駅周辺地域における震災対策の取り組みのパネル展示、第 22 回「震災対策技術展」横浜、パシフィコ横浜、2018/2/8-9

文部科学省 私立大学研究ブランディング事業（平成 29 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 業績一覧

著書

1. 柳 宇: 改定建築物の環境衛生管理（上巻）（第 4 版）, p.358, pp.398-404, pp.480-482, pp.502-506, pp.513-517, pp.519-521, 公益財団法人日本建築衛生管理教育センター, 2013.3
2. 柳 宇: レジオネラ防止指針（第 4 版）. pp.56-65, pp.86-88, ビル管理教育センター出版, 2017.7

査読付き論文

1. 長谷川兼一, 吉野博, 柳 宇, 東賢一, 大澤元毅, 鍵直樹: 仙台市内の応急仮設住宅の温熱環境の実態と環境改善に向けた提案、日本建築学会環境系論文集、第 82 巻、第 731 号、pp. 19-29、2017
2. Guangtao Fan, Jingchao Xie, Hiroshi Yoshino, U. Yanagi, Kenichi Hasegawa, Naoki Kagi, Jiaping Liu, Environmental conditions in homes with healthy and unhealthy schoolchildren in Beijing, China, Building and Environment, Volume 112, pp. 270-284, February 2017
3. Jinhua Hu, Nianping Li, Hiroshi Yoshino, U Yanagi, Kenichi Hasegawa, Naoki Kagi, Yingdong He, Yingdong He. Field study on indoor health risk factors in households with schoolchildren in south-central China, Building and Environment; Volume 117, pp. 260-273, 2017, <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.03.014>
4. Kenichi Azuma, Koichi Ikeda, Naoki Kagi, U Yanagi, Haruki Osawa. Evaluating prevalence and risk factors of building-related symptoms among office workers: Seasonal characteristics of symptoms and psychosocial and physical environmental factors, Environmental Health and Preventive Medicine, 2017, DOI 10.1186/s12199-017-0645-4
5. 柳 宇、内田悦嗣、滋野弘崇、包 理、小林 誠: ナノファイバフィルタとオゾン発生器を備える空気清浄機による菌の捕集と殺菌効果、空気清浄、第 55 巻、第 2 号、pp. 30-35
6. Guangtao Fan, Jingchao Xie, Hiroshi Yoshino, U. Yanagi, Kenichi Hasegawa, Chunyu Wang, Xiaojing Zhang, Jiaping Liu. Investigation of indoor thermal environment in the homes with elderly people during heating season in Beijing, China, Building and Environment; 126, pp. 288-303, 2017. 09 <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.09.031>
7. 長谷川兼一、吉野 博、柳 宇、東 賢一、大澤元毅、鍵直樹: 仙台市を中心とする応急仮設住宅を対象とした 屋内外環境の健康影響に関するアンケート調査、日本建築学会環境系論文集、第 82 巻 第 741 号、pp. 967-975, 2017. DOI <http://doi.org/10.3130/aije.82.967>
8. 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, 26-30, 2017

国際学会論文（査読付も含む）

1. Miku Hatanaka, U Yanagi, Hideaki Nagano, Shinsuke Kato, Actual Conditions of Environmental Microbiome in a University' s classrooms, Healthy Buildings 2017 Europe, Paper ID 0207 ISBN: 978-83-7947-232-1
2. Yuriko Shimura, U Yanagi, Naoki Kagi, The Effect of Mycotoxin to other Fungus Growth Characteristics, Healthy Buildings 2017 Europe, Paper ID 0215 ISBN: 978-83-7947-232-1, 2017
3. Kenichi Azuma, Naoki Kagi, U Yanagi, Hoon Kim, Kenichi Hasegawa, Haruki Osawa: Effects of exposure to water damage on homes after downpours and flooding in Fukuchiyama: indoor environment and human health, Healthy Buildings 2017 Asia, the proceedings pdf, pp.2-4, 2017
4. Kana Hasebe, Shinsuke Kato, U Yanagi, Hideaki Nagano, Shigeo Matsuno, Yudai Takahashi: Establishing quantitative evaluation method of contact infection risk using a qPCR method, Healthy Buildings 2017 Asia, the proceedings pdf, pp. 356-361, 2017
5. Rena Komatsu, Naoki Kagi, U Yanagi, Kenichi Azuma, Hoon Kim, Motoya Hayashi, Noriko Kaihara, Motoharu Osawa: Field measurement of PM2. 5 and particle size distribution in office buildings, Healthy Buildings 2017 Asia, the proceedings pdf, pp. 732-734, 2017
6. T. Umeda and Y. Noro, Study of power supply system using PV and FC at the time of major disaster, Proc. 2017 The International Conference on Electrical Engineering, Weihai, 2017

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：室内空気汚染の現状と対策、建築設備&昇降機、No.126、pp.13-19、2017.03
2. 柳 宇：建築物における微生物汚染対策・バイオテロ対策、朝日工業社 Technical Letter、No.29、pp.1-3、2017
3. 柳 宇：生活環境空気中の浮遊菌、化学療法の領域、Vol.33、No.5、pp.67-73、2017.05
4. 柳 宇：高齢者住居の微生物環境と健康影響、保健医療科学、Vol.66、No.1、pp.136-140、2017.06
5. 柳 宇：空調除菌・加湿に関する技術動向、建築設備と配管工事、Vol.55、No.7、pp.1-6、2017
6. 柳 宇：高齢者施設における温熱環境の実態、空気清浄、第55巻、第1号、pp.10-15、2017
7. 柳 宇：高齢者施設における微生物汚染と集団感染の実態、第55巻、第1号、pp.22-27、2017
8. 柳 宇：室内空気質のための必用換気量、空気調和・衛生工学、第91巻、第8号、pp.45-49、2017
9. 柳 宇：ASHRAEにおける感染症に対する病院空調設計法、クリーンテクノロジー、pp.56-61、2017
10. 柳 宇：換気と健康・快適性、空気調和・衛生工学、第91巻、第10号、pp.49-53、2017
11. 鍵直樹、柳 宇：美術館における室内空気汚染の実態、空気清浄、第55巻、第4号、pp.17-21、2017

口頭発表

1. 佐藤智太、吉田舜、中島裕輔：駅周辺エリアにおける平常時・非常時を考慮したデジタルサイネージ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、2018.3
2. 柳 宇、吉野博、後藤伴延、長谷川兼一、鍵直樹、張晴原：中国住宅における温熱環境とヒートショックによる死亡率の関係に関する調査研究、第51回空気調和・冷凍連合講演会講演論文集、pp.38-41、2017.04
3. 光岡真知子、柳 宇、永野秀明、加藤信介：病院待合室におけるマイクロバイオームの粒径特性に関する検討、第51回空気調和・冷凍連合講演会講演論文集、pp.42-45、2017.04
4. 志摩輝治、柳 宇、鍵直樹、金 勲、東賢一、大澤元毅：オフィスビルにおける室内浮遊微生物濃度の長期測定 その2、第34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.80-83、2017.04
5. 高橋雄大、加藤信介、柳 宇、永野秀明、松野重夫：環境マイクロバイオームの性状把握、第34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.84-85、2017.04
6. 長谷部花奈、加藤信介、柳 宇、永野秀明、松野重夫：qPCR法を用いた接触感染リスクの定量的評価手法の確立、第34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.86-88、2017.04
7. 柳 宇、志村ゆり子、内田悦嗣、滋野弘崇、町田正、丸橋啓司、包 理、小林 誠：ナノファイバフィルタとオゾン発生装置を備える空気清浄機の除菌と殺菌効果、第34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.89-91、2017.04
8. 原田千聡、鍵直樹、東賢一、大澤元毅、柳 宇、金 勲、長谷川兼一、萬羽郁子：木材の乾燥方法と環境湿度の違いがVOC発生に与える影響、第34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.143-145、2017.04
9. 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：事務所建築物室内における室内PM2.5の粒径別評価、第34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.179-182、2017.04
10. 柳 宇：ASHRAEにおける病院設計の最新動向、第26回日本臨床環境医学会学術集会
11. 開原典子、林基哉、大澤元毅、金 勲、柳 宇、東賢一、鍵直樹：建築物衛生法における空気環境の報告徴取と立入検査に関する実態、2017年度日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.1285-1286、2017
12. 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 その1 中国における脳卒中による死亡率の影響因子、2017年度日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.1119-1120、2017
13. 金 勲、柳 宇、鍵直樹、東賢一、大澤元毅、林基哉：室内環境中エンドトキシンに関する研究 その1 空気中エンドトキシン濃度と培養法による浮遊細菌濃度との関係、2017年度日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.613-614、2017
14. 長谷部花奈、加藤信介、柳 宇、永野秀明、高橋雄大、松野重夫：遺伝子解析技術を用いる接触感染リスクの定量的評価手法の開発 一手のひらの細菌採取率と接触による細菌伝播率の検討、2017年度日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.639-640、2017
15. 新村美月、柳 宇、鍵直樹、長谷川兼一、東賢一、金 勲、大澤元毅：カビ増殖特性に与える木材の含水率の影響に関する検討、日本建築学会2017年度大会
16. 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3報 一冬期と夏期における細菌叢の比較、2017年度日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.641-642、2017
17. 加藤信介、柳 宇、永野秀明、伊藤一秀、山中俊夫、小林光、羽山広文：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 マイクロバイオーム解析に基づく室内環境モニタリングの意義、2017年度日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.633-634、2017

18. 柳 宇、加藤信介、永野秀明、伊藤一秀、山中俊夫、小林光、羽山広文：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2 KG 大学研究室におけるマイクロバイオームの調査結果、2017 年度日本建築学会大会学術講演梗概集、pp. 635-636、2017
19. Kana Hasebe, Shinsuke KATO, U YANAGI, Hideaki NAGANO, Toshi YAMANAKA, Hikaru KOBAYASHI, Hirofumi HAYAMA, Shigeo MATSUNO. Establishing quantitative evaluation method of contact infection risk using qPCR method: Difference of bacteria collection rate depends on the moisture condition, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集、pp. 5-8、2017
20. 藤井結那、柳 宇、加藤信介、永野秀明：医療施設におけるマイクロバイオームの実態とその対策方法に関する研究 第1報 待合室内マイクロバイオームの実態把握、空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集、pp. 49-52、2017
21. 光岡真知子、柳 宇、藤井結那、永野秀明、加藤信介：医療施設におけるマイクロバイオームの実態とその対策方法に関する研究 第2報 諸環境とのマイクロバイオームの比較、pp. 53-56、2017
22. 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2報 秋季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. 57-60、2017
23. 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解明に関する研究 第4報 2016年の調査における中央方式と個別方式の比較、空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集、pp. 61-64、2017
24. 志摩輝治、柳 宇、鍵直樹、東賢一、金 勲、大澤元毅：オフィスビルにおける室内環境に関する長期調査研究、空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集、pp. 85-88、2017
25. 原田千聡、鍵直樹、西岡芙実、東賢一、柳 宇、大澤元毅、長谷川兼一、萬羽郁子：木材から発生する VOC の特徴と住宅における実測調査、空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集、pp. 77-80、2017
26. 開原典子、林基哉、大澤元毅、金 勲、柳 宇、東賢一、鍵直樹：特定建築物の室内空気環境データの分析、空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集、pp. 81-84、2017
27. 光岡真知子、柳 宇、永野秀明、加藤信介：病院待合室におけるマイクロバイオームの特性、日本防菌防黴学会第44回年次大会要旨集、p. 66、2017
28. 志摩輝治、柳 宇、鍵直樹、東賢一、金 勲、大澤元毅：オフィスビルにおける浮遊微生物に関する長期調査、日本防菌防黴学会第44回年次大会要旨集、p. 256、2017
29. 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：建築物における粒径分布を考慮した室内粒子濃度の予測、平成29年室内環境学会学術大会講演要旨集、P23、2017
30. 原田千聡、鍵直樹、西岡芙実、東賢一、柳 宇、大澤元毅、金 勲、長谷川兼一、萬羽郁子：木材を使用した住宅における室内VOC濃度の特徴、平成29年室内環境学会学術大会講演要旨集、P20、2017
31. 柳 宇、加藤信介、永野秀明：オフィスビルにおける自然換気時の室内空気質に与える大気汚染の影響—自然換気時の室内マイクロバイオーム特性—、平成29年室内環境学会学術大会講演要旨集、A01、2017
32. 梅田拓磨、野呂康宏、大災害時の避難所における独立型電力供給システムの検討（その2）、電気学会電力・エネルギー部門大会、2017年9月
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、電気学会電力技術・電力系統技術研究会、2017年9月
34. 梅田拓磨、野呂康宏、大災害時の都市部避難所における独立型電力供給システム、電気学会スマートファシリティ研究会、2018年1月
35. 久保陽平、野呂康宏、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2）、H30 電気学会全国大会、2018年3月

各種メディア（新聞・テレビ・ラジオなど）・展示会等で公表

1. 野呂康宏、水野修、自立移動式ゼロエネルギーユニットの電力ユニット・情報通信システム、第16回国際先端技術シンポジウム（研究シーズ展示）、2017年11月1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）

学士1名（中島）、学士2名（水野）、学士1名（横山）、修士1名 学士2名（野呂）
：修士計1名、学士計6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. 電力システム技術東京私学連合ランチ発表会（電気学会後援の卒論生発表会主催）、2017年11月26日

文部科学省 私立大学研究ブランディング事業（平成 29 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
設備名【3Dレーザースキャナ】

（設備の概要・仕様・使用計画・を簡潔に紹介ください。構成図や写真も掲載してください）

概要

建築物の形状を計測する機器で、レーザー光線を使って距離を計測する光波測距儀である。本機器は3次元形状だけでなく、色情報も取得できる機器で、1室の計測をおよそ10分程度で行える。計測においては、3次元レーザースキャナ本体のみで実施できる。計測後のデータ分析には、計測データをPCに移動し、Faro社が作成したFaroSenseを用いて行う。

仕様

- ・製造会社：Faro社
- ・測定範囲：0.6m～最大350mまで
- ・測定速度：最大976,000ポイント/秒
- ・範囲誤差：最大±1mm
- ・重量：4.2Kg
- ・マルチセンサ：GPS、コンパス、ハイトセンサ、2軸補正センサ
- ・サイズ：230 x 183 x 103mm

使用計画

- ・防災に関する教育コンテンツに利用するための3次元モデル作製用の計測
- ・新宿校舎とその周辺における屋内の形状の計測

構成図・写真など



図1 3次元レーザースキャナの全体構成図



図2 取得データの例1

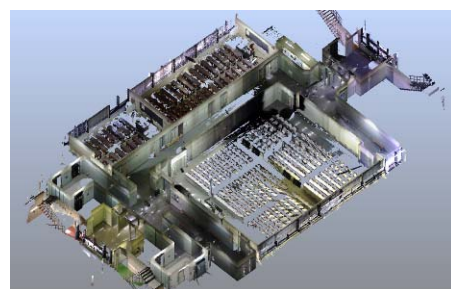


図3 取得データの例2

文部科学省 私立大学研究ブランディング事業（平成 29 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
 設備名【大加速度・大変位加力装置】

概要

東日本大震災では多くの施設で天井・設備の崩落が発生し、在来天井については地震時に落下防止を目的とする告示が施行された。しかしながら特に大都市のオフィスビルに多用されているシステム天井については、崩落のメカニズムはいまだに明らかでなく、耐震性評価法や補強方法なども確立していない。また設備と天井は多くの場合独立ではなく相互作用を生じるが、その応答挙動はほとんど明らかにされていない。

このような問題に対し、UDM では新たに大変形加力装置振動台を導入し、新宿校舎高層階のライン天井の大型試験体による振動実験を実施して落下のメカニズムと加速度を解明した上で、学生でも施工可能な簡易な落下防止装置を考案した。しかしながら装置の能力の限界から入力加速度の上限は 1G 程度であり、また老朽化により頻繁に振動台が暴走するようになったため、それ以降実験が実施できなくなっていた。

したがって今回の設備導入にあたっては、

- 1) 新たに油圧ジャッキと制御装置をセットで導入する。
- 2) 不安定化の一因となる旧振幅増幅装置の使用を避けるため、高速かつ長ストロークの油圧ジャッキとする。速度と荷重はトレードオフの関係にあるため、載荷能力（荷重）は減少する。
- 3) 減少した載荷能力でも高加速度を出せるよう、天井試験体のみを振動させる軽量な天井用振動台を、既存の振動台の上に架設する。ジャッキの移動により、既存振動台と天井用振動台を独立に動かす。油圧のシステムについては、11号館の既存システムを利用する。

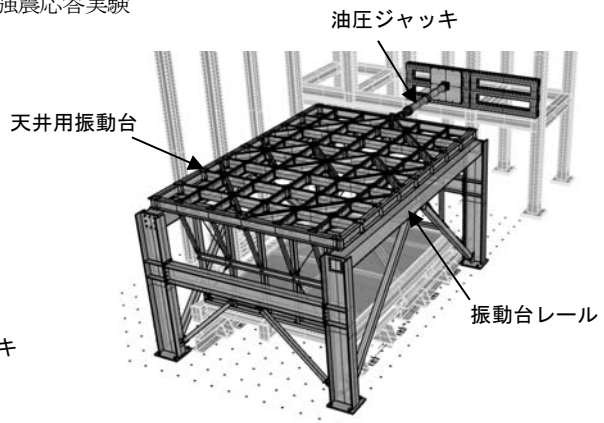
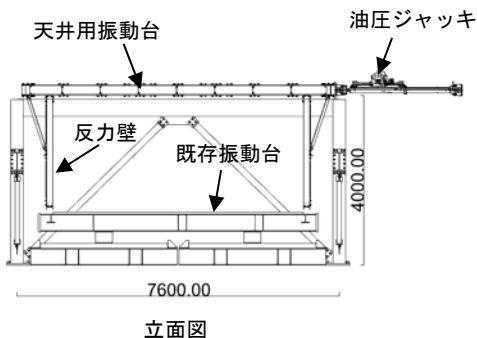
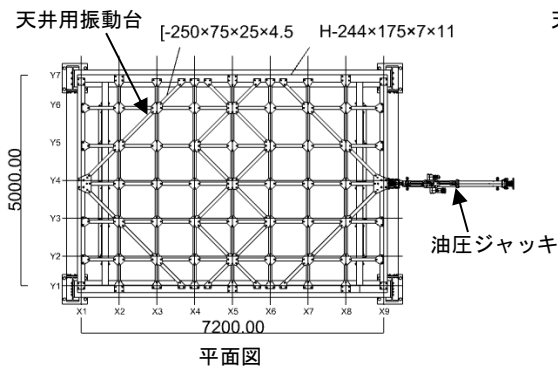
仕様

油圧ジャッキ : 可動域±500mm、最大速度 100cm/s、最大荷重 100kN
 振動台 : 可動部重量 4.5tf 以下

使用計画

2018 年度 動作の調整、システム天井の強震応答実験
 2019 年度 システム天井の強震応答実験
 2020 年度 設備を配置したシステム天井の強震応答実験

構成図・写真など



文部科学省 私立大学研究ブランディング事業（平成 29 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
 設備名【自立移動式ゼロエネルギーユニット】

概要

自立移動式ゼロエネルギーユニット（D-ZEV : Disaster-robust Zero Energy Vehicle）は、災害時に避難所等の地域防災拠点に駆けつけ、情報通信面、必要最小限のエネルギー供給面、医療・救護面のサポートを行うことを可能とする設備ユニットで、2 台の車によって構成される。

仕様

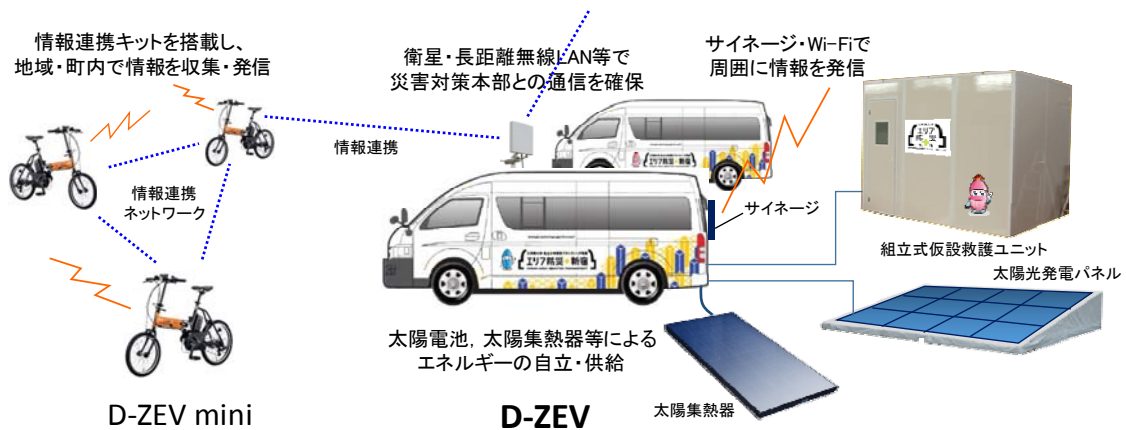
D-ZEV は、太陽光・太陽熱利用設備、蓄電・蓄熱設備、自然エネルギー換気設備を備え、D-ZEV 自身がエネルギー自立して行動できるとともに、防災拠点施設と通信連携可能な情報設備を備え、搭載するサイネージ等から情報発信を行う。避難所では、車内に搭載している組立式の簡易救護ユニットを接続して、仮設の救護スペースを開設し、その運用をサポートする。さらに、小回りの利く電動アシスト自転車の D-ZEV mini と連携し、D-ZEV を拠点とした近距離圏をカバーしながらお互いに情報連携し、地域住民や周辺帰宅困難者のスマートフォン等への情報発信に対応する。

また、平常時には、エネルギー自立性向上のための研究を行いながら、地域の環境・防災情報を収集発信するとともに、地域の防災訓練サポートを始めとした環境・防災啓発活動等をおこなう。

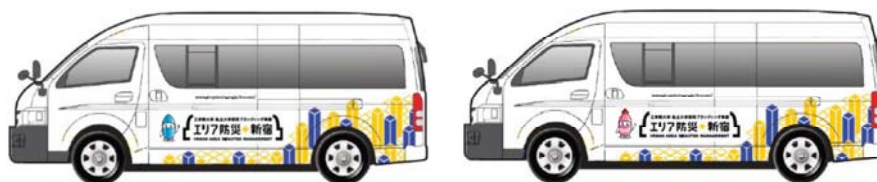
使用計画

今年度は機材一式を揃えた状況である。次年度にはこれを運用できるレベルにするための調整・整備等をおこない、年度内にはデモンストレーションを行う計画である。

構成図・写真など



自立移動式ゼロエネルギーユニット（D-ZEV）構成図【活動時】



自立移動式ゼロエネルギーユニット（D-ZEV）構成図【移動時】
 （ユニット機材は全て車内に格納）