

データプラットフォーム拠点形成事業（防災分野）

首都圏を中心としたレジリエンス総合力向上プロジェクト

サブプロジェクト（c）

「非構造部材を含む構造物の崩壊余裕度に関するデータ  
収集・整備」

（平成 30 年度）

成果報告書

令和元年 5 月

国立研究開発法人防災科学技術研究所

## はじめに

わが国は世界でも有数の地震大国であり、これまでに幾度となく甚大な物理的・人的・経済的被害をうけてきました。特に、過去に甚大な被害をもたらしてきた首都直下地震や南海トラフ地震については、地震調査研究推進本部地震調査委員会の長期評価によれば、今後30年以内の地震発生確率はどちらも70%程度であり、その切迫性が高まっています。

3,800万人を擁する世界最大の都市圏における首都直下地震については、内閣府より、首都機能の喪失をはじめその経済被害想定額が95兆円と試算されており、社会的懸案事項として捉えられています。こういった自然災害に対応するため、最先端の防災科学技術を一層推進すべく、「経済財政運営と改革の基本方針2016（平成28年6月2日閣議決定）」、「日本再興戦略2016—第4次産業革命に向けて—（平成28年6月2日閣議決定）」、「科学技術イノベーション総合戦略2016（平成28年5月24日閣議決定）」といった政府の基本方針が定められています。

わが国の現在の防災力ではこうした大規模地震災害の被害を完全に予防することはできず、残された時間の中で少しでも被害を減らすこと、高い事業継続能力を持つこと、速やかな復旧・復興を実現することで災害に対するレジリエンスを向上させることが課題です。

一方で、2015年5月に発生した小笠原諸島西方沖地震では、大きな被害こそ発生しなかったものの、首都圏における約2万機のエレベータの停止、交通機関の乱れ、ライフラインの一時停止等が生じ、事業の中断や経済機会損失にもつながっており、このように比較的頻度の高い中規模地震への備えの充実も決して看過することができません。

また、政府では、急速に成長するアジアをはじめとする世界の観光需要を取り込み『観光先進国』への新たな国づくりに向けて邁進していることから、災害発生時の訪日外国人旅行者向けの対策も重要な課題です。

特に、都市機能、人口が集中し、社会経済活動の中核でありわが国の頭脳となっている首都圏においては、災害に対する脆弱性を内在していることから、首都機能の維持を図るため、詳細に災害リスクを評価するとともに発災に備えた対策を施しておくことは、これまでも増して重要かつ喫緊の課題となっています。

そこで、本プロジェクトにおいては、以下に掲げる3つのサブプロジェクトの推進、有機的連携を通じて、官民一体の総合的な事業継続や災害対応、個人の防災行動等に資するデータの収集・整備を目指します。

- (a) 首都圏を中心としたレジリエンス総合力向上に資するデータ利活用に向けた連携体制の構築
- (b) 官民連携による超高密度地震動観測データの収集・整備
- (c) 非構造部材を含む構造物の崩壊余裕度に関するデータ収集・整備

本プロジェクトの推進に当たっては、防災科研が有する、又は管理・利用する研究開発基盤（施設・設備・リソース等）を活用した大学等との連携方策等について提案を募り、オールジャパンによる研究推進体制を構築し、本プロジェクト終了時における研究開発成果の最大化を図ります。

本報告書は「首都圏を中心としたレジリエンス総合力向上プロジェクト」のうち、「(c) 非構造部材を含む構造物の崩壊余裕度に関するデータ収集・整備」に関する、平成 30 年度の実施内容とその成果を取りまとめたものです。

「(c) 非構造部材を含む構造物の崩壊余裕度に関するデータ収集・整備」では、センシングデータに基づく迅速な継続使用可否・機能損失度・崩壊余裕度判定によって、地震直後の首都圏の機能ロスを最小限に抑制し、その後の速やかな復旧・復興に寄与することを目的としています。具体的には、住宅密集地域の速やかな損傷度判定、行政庁舎・病院・帰宅支援ステーション等の防災拠点候補建物の速やかな選別を目的として、国立研究開発法人防災科学技術研究所が所有する実大三次元震動破壊実験施設（Eーディフェンス）を活用し、実物を再現した建物モデルの振動台実験を行って、非構造部材を含む構造物の崩壊余裕度に関するデータを収集・整備します。キーワードは、広域被害推定・危険度判定、安全度（危険度）即時評価、継続使用性即時判定、高機能設備性能評価、機能維持・損失判定、となります

## 目次

はじめに	i
目次	iii
1. プロジェクトの概要	1
1.1 目的	1
1.2 各課題の概要	1
2. 研究機関および研究者リスト(サブプロ c)	3
3. 研究報告	5
3.3 非構造部材を含む構造物の崩壊余裕度に関するデータ収集・整備	5
3.3.1 簡易・広域センシングを用いた広域被害推定・危険度判定	5
3.3.2 災害拠点建物の安全度即時評価および継続使用性即時判定	19
3.3.3 災害時重要施設の高機能設備性能評価と機能損失判定	26
3.3.4 室内空間における機能維持	35
3.3.5 データ収集・整備と被害推定システム構築のためのデータ管理・利活用検討	47
4. 活動報告	55
4.1 サブプロジェクト(c) 運営委員会議事録	55
4.2 対外発表	60
5. むすび	66

## 1. プロジェクトの概要

### 1.1 目的

サブプロジェクト(c)では、都市の防災拠点となす建物（行政庁舎、体育館、帰宅支援ステーション等）における安全点検の自動化並びに避難者の迅速な安全確保、都市の中核となす建物の機能維持（事業の継続や生活の確保）と速やかな回復（損傷の同定や修復）、住宅密集地域における保全を目的として、国立研究開発法人防災科学技術研究所が所有する実大三次元震動破壊実験施設（E-ディフェンス）を活用し、非構造部材を含む構造物の崩壊余裕度に関するデータを収集・整備する。また、自然地震の建物への影響を把握するため、サブプロジェクト(b)が取得する地盤-建物系に設置されている地震計のデータ等を利用・整備する。具体的に以下の業務を行う。

- (1) 簡易・広域センシングを用いた広域被害推定・危険度判定
- (2) 災害拠点建物の安全度即時評価および継続使用性即時判定
- (3) 災害時重要施設の高機能設備性能評価と機能損失判定
- (4) 室内空間における機能維持
- (5) データ収集・整備と被害推定システム構築のためのデータ管理・利活用検討

### 1.2 各課題の概要

#### (1) 簡易・広域センシングを用いた広域被害推定・危険度判定

簡易で安価な普及型センサのデータや既設の広域地震観測網の情報などを統合した、住宅密集地域の広域被害推定手法および地域別危険度判定手法の研究開発を行う。具体的には、耐震性能の異なる種々の木造住宅を対象に、大型振動台実験や高度数値解析によって、建物が損傷から崩壊に至るまでの挙動と各種普及型センサから得られるデータを関連づけ、既存の木造建物応急危険度判定および自治体住宅再建判定への支援・連携を意識した、センシング技術に基づく広域被害・危険度高度判定法を提案する。

#### (2) 災害拠点建物の安全度即時評価および継続使用性即時判定

行政庁舎や体育館など、災害時拠点となる既設の建物内に少数のセンサを設置し、地震後速やかに建物安全性、崩壊余裕度、および継続使用の可否等を判定するシステムの構築を目指す研究開発を行う。具体的には、構造躯体のみならず設備・非構造部材をも再現した実物建物を大型振動台実験により損傷させ、センサによって検知した建物の揺れのデータをもとに、躯体から設備・非構造部材までの損傷レベルを即時に評価する技術、および崩壊余裕度の定量的評価に基づく施設の継続使用性判定手法を提案する。

#### (3) 災害時重要施設の高機能設備性能評価と機能損失判定

災害時にも継続的な運用が期待される地域医療の中核病院等を対象に、地震直後にその機能損失度を定量的に評価する手法を提案し、無用な混乱を回避し安全かつ効率的な管理者の被災後運

用判断を支援する仕組みに関する研究開発を行う。具体的には、高機能設備を付した病院建物に対する大型振動台実験を実施し、建物崩壊余裕度、病院機能の低下要因の特定、高機能設備個別の性能評価、施設の機能損失に関する定量的判定法を提案する。

#### **(4) 室内空間における機能維持**

非構造部材、屋内設備、家具、什器等に関して、地震時の損傷挙動データを収集するとともに、損傷被害検証手法のガイドライン、被害対策法、地震被害センシング手法を提案する。具体的には、各種非構造部材の地震損傷が再現可能な大型振動台実験用試験体（主要構造部材は無損傷に留め、そこに取り付ける非構造部材を実験毎に取り換えることで、繰り返し使用が可能な実験ユニット）を製作し、さまざまな地震動に対して各非構造部材の損傷に関するデータを収集・蓄積する。さらに、それらのデータを整備・検討して、被害モニタリング手法の構築をめざす。

#### **(5) データ収集・整備と被害推定システム構築のためのデータ管理・利活用検討**

(1)～(4)で今後実施される 4 つの E-ディフェンスによる大型振動台実験の成果、これまでに E-ディフェンスで実施された各種実験のデータ、既設の常時地震観測記録等の情報を収集・整理・統合し、さらには今後のセンサ普及を前提とした応急的な広域危険度・被害度判定の枠組みの検討・提案もあわせて行い、今後の防災への利活用方策検討、および一般・関連団体等への公開・普及を図る。

## 2. 研究機関および研究者リスト(サブプロc)

所属機関	役職	氏名	担当課題
早稲田大学理工学術院	教授	西谷 章	研究統括 3.3.5
防災科学技術研究所兵庫耐震工学研究センター (防災科学技術研究所地震減災実験研究部門)	センター長 部門長	梶原 浩一	研究統括 3.3.4
名古屋大学減災連携研究センター	准教授	長江 拓也	3.3.1
名古屋大学減災連携研究センター	研究員	ジェム ヨニ ドアン	3.3.1
株式会社日建設計	主管	山田 祥平	3.3.1
国土交通省国土技術政策総合研究所	主任研究官	柏 尚稔	3.3.1
豊橋技術科学大学 建築・都市システム学系	助教	林 和宏	3.3.1, 3.3.4
防災科学技術研究所兵庫耐震工学研究センター	主幹研究員	高橋 武宏	3.3.1
防災科学技術研究所兵庫耐震工学研究センター	副センター長	井上 貴仁	3.3.1
京都大学 生存圏研究所	教授	五十田 博	3.3.1
名古屋大学減災連携研究センター	准教授	都築 充雄	3.3.1
名古屋大学減災連携研究センター	研究員	陳 威中	3.3.1
名古屋大学 環境学研究科都市環境学専攻	助教	平井 敬	3.3.1
名古屋大学 減災連携研究センター 東邦ガス 寄附部門	助教	北川 夏樹	3.3.1
東京大学地震研究所	教授	楠 浩一	3.3.2
東京大学大学院新領域創成科学研究科	准教授	清家 剛	3.3.2
広島大学大学院工学研究科	准教授	日比野 陽	3.3.2
建築研究所構造研究グループ	主任研究員	向井 智久	3.3.2
大阪大学大学院工学研究科	教授	真田 靖士	3.3.2
広島大学大学院工学研究院科	教授	大久保孝昭	3.3.2
広島大学大学院工学研究科	助教	寺本 篤史	3.3.2
大林組技術研究所	所長	勝俣 英雄	3.3.2
大林組技術研究所構造技術研究部	副部長	米澤 健次	3.3.2
防災科学技術研究所地震減災実験研究部門	主任研究員	中村いづみ	3.3.2
防災科学技術研究所地震減災実験研究部門	主任研究員	松森 泰造	3.3.2
東京大学地震研究所	特任研究員	Trevor Zhiqing Yeow	3.3.2
京都大学防災研究所	准教授	倉田 真宏	3.3.3
防災科学技術研究所地震減災実験研究部門	主任研究員	河又 洋介	3.3.3
京都工芸繊維大学工芸科学研究科	教授	金尾 伊織	3.3.3
京都大学医学部附属病院	准教授	大鶴 繁	3.3.3

九州大学人間環境学研究院	准教授	松尾真太郎	3.3.3
京都大学工学研究科	准教授	藤田 皓平	3.3.3
京都大学医学部附属病院	技師長	相田 伸二	3.3.3
京都大学医学部附属病院	医員	堤 貴彦	3.3.3
京都大学防災研究所	研究員	Konstantinos Skalomenos	3.3.3
京都大学防災研究所	研究員	Liangje Qi	3.3.3
防災科学技術研究所地震減災実験研究部門	主任研究員	佐藤 栄児	3.3.4
防災科学技術研究所地震減災実験研究部門	主幹研究員	藤原 淳	3.3.4
早稲田大学理工学術院	教授	谷井 孝至	3.3.5
早稲田大学理工学術院	助手	服部 晃平	3.3.5
足利大学工学部 (早稲田大学 研究院)	准教授 (客員准教授)	仁田 佳宏	3.3.5



### 3. 研究報告

#### 3.3 非構造部材を含む構造物の崩壊余裕度に関するデータ収集・整備

##### 3.3.1 簡易・広域センシングを用いた広域被害推定・危険度判定

###### (1) 業務の内容

###### (a) 業務の目的

簡易で安価な普及型センサのデータや既設の広域地震観測網の情報などを統合した、住宅密集地域の広域被害推定手法および地域別危険度判定手法の研究開発を行う。具体的には、耐震性能の異なる種々の木造住宅を対象に、大型振動台実験や高度数値解析によって、建物が損傷から崩壊に至るまでの挙動と各種普及型センサから得られるデータを関連づけ、既存の木造建物応急危険度判定および自治体住宅再建判定への支援・連携を意識した、センシング技術に基づく広域被害・危険度高度判定法を提案する。

###### (b) 平成30年度業務目的

Eーディフェンスによる大型振動台実験に向けて、実験準備（加振計画、各種センシングシステムの開発、数値解析評価）を推し進める。実験で用いる試験体の製作工事、計測機器設置工事を完了し、本実験を遂行する。

###### (c) 担当者

所属機関	役職	氏名
名古屋大学 減災連携研究センター	准教授	長江 拓也
名古屋大学 減災連携研究センター	研究員	ジェム ヨニドアン
株式会社日建設計	主管	山田 祥平
国土交通省国土技術政策総合研究所	主任研究官	柏 尚稔
豊橋技術科学大学 建築・都市システム学系	助教	林 和宏
防災科学技術研究所 兵庫耐震工学研究センター	主幹研究員	高橋 武宏
防災科学技術研究所 兵庫耐震工学研究センター	副センター長	井上 貴仁

###### (2) 平成30年度の成果

###### (a) 業務の要約

- ・ Eーディフェンスによる大型振動台実験に向けた実験準備（加振計画、各種センシングシステムの開発、数値解析評価）を実施した。
- ・ 実験用試験体の製作工事、計測機器設置工事を完了した。
- ・ Eーディフェンス実験を遂行した。

## (b) 業務の成果

### 1) 実験準備

#### a) 加振計画

本課題では地盤上の木造住宅と、各種地中配管が連結される実験条件を組み入れた。土槽内に地盤を製作し、べた基礎を施工する設計原案を図1に示す。上部構造としては、木造密集地域の新しい住宅において多く見られる、3階建てのプランを採用した。軸組構法住宅と枠組壁構法住宅の2棟を実験対象とし、一連の実験において、軸組構法住宅（A棟）については免震構造の条件から開始し、枠組壁構法住宅（B棟）については土槽内地盤上の条件から開始することとした。

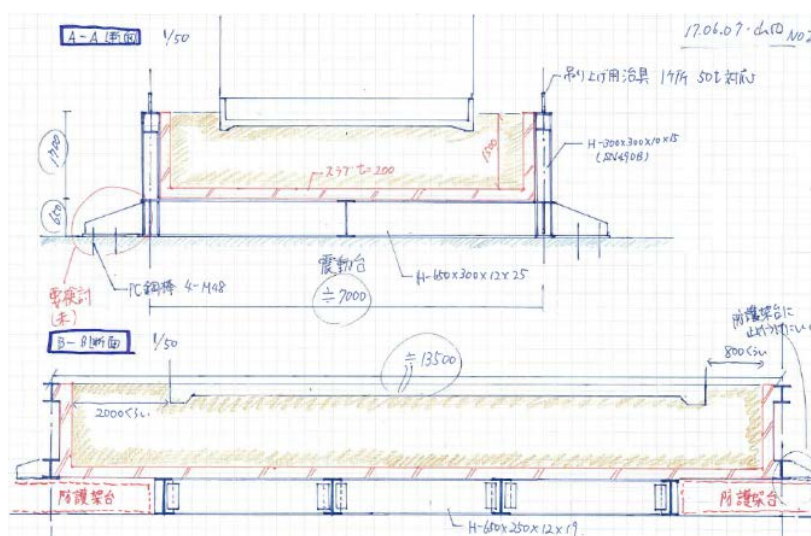


図1 べた基礎および周辺地盤を含む木造住宅実験の提案（設計過程）

木造住宅の構造性能、機能維持性能等の見地から、検証項目としては、免震構造の高性能化検証、地盤上住宅の連成挙動検証、铸铁支承によるすべり基礎構法の効果検証<sup>1)</sup>、軸組構法住宅の終局限界検証、枠組壁構法住宅の終局限界検証、耐震補強方法の効果検証を主に採用した。図2に実験における基本条件に基づいて、加振計画（入力地震動、加振順序）を示す。施設の定義としては、写真奥が北、手前が南、右が東、左が西であり、X方向のプラスは北を向き、Y方向のプラスは西を向く。入力地震動としては、既往のE-ディフェンス実験で多く用いられたJMA神戸波、JR鷹取波を採用した。JMA神戸波およびJR鷹取波のいずれにおいても、X方向にNS成分を、Y方向にEW成分を入力することとした。以下、各実験条件で意図した検証内容を説明する。

#### i) 2019年1月31日と2月1日の実験／Phase 1

A棟は免震構造の条件である。B棟は通常の施工手順に従うRC造べた基礎・地盤上の条件である。1月31日の実験は、設計レベル入力に対する検証の位置づけとし、JMA神戸波、JR鷹取波の25%加振および50%加振を計画した。その翌日の2月1日の実験を、設計レベルを超える極大地震動に対する検証の位置づけとし、JMA神戸波の100%加振とJR鷹取波の100%加振を計画した。JMA神戸波の100%加振を一般公開実験とした。

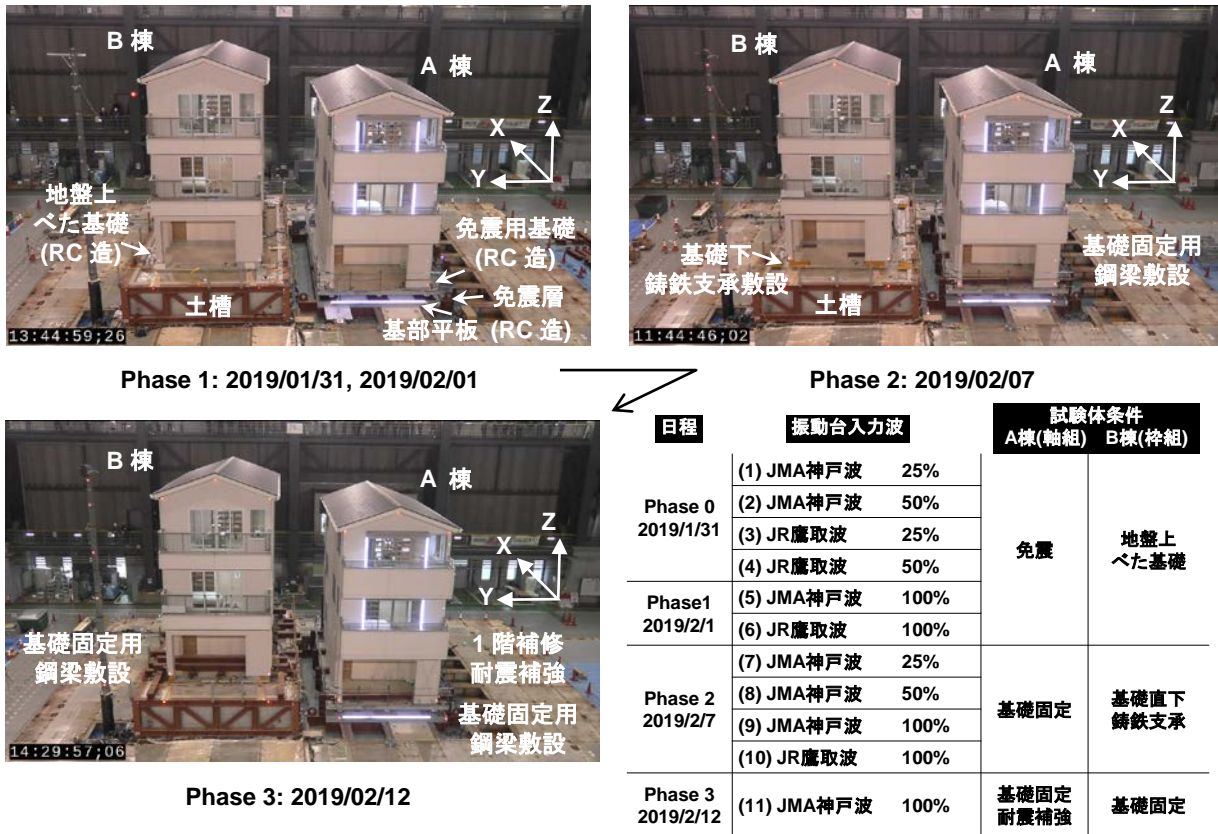


図2 実験条件の変遷と加振計画

ii) 2019年2月7日の実験/Phase 2

A棟の免震構造を取り外し、新たに基礎固定の条件を準備して、軸組構法住宅の終局限界を検証する計画とした。B棟については、基礎下を掘削して鉄支を敷設し、基礎下の異なる摩擦性状の影響を考察する計画とした。Phase 1の実験順序に準じて、JMA神戸波の25%加振、50%加振、100%加振、その後JR鷹取波の100%加振を計画した。

iii) 2019年2月12日の実験/Phase 3

A棟の1階に対して補修、補強を施し、耐震性の復旧状況を検証する計画とした。B棟については、基礎固定の条件を準備し、枠組壁構法住宅の終局限界を検証する計画とした。時間的な制約から、JMA神戸波の100%加振から実験を開始し、終局限界を特定できるまで、実験を続ける計画とした。

b) 各種センシングシステムの開発

感震ブレーカーは、1995年兵庫県南部地震を契機に開発が進んだ。近年では、そのセンサ部にMEMS加速度計を用いることも可能となっている。そこで、感震ブレーカーをセンシングデバイスと位置付け、住宅の損傷モニタリング機能への展開を検証することとした<sup>2)</sup>。図3に設置状況を示す。通常戸建て住宅に準じて、住宅1階天井付近(下図)に設置した。MEMS加速度計を内蔵した感震ブレーカーについては、既に単体での振動台実験を実施しており、0.5Hz~10Hz程度の周波数領域で高い精度の評価が得られることを確認している。図2に示す一連の加振を通して、実際の住宅に設置した感震ブレーカーの記録を取得することができ

た。今後、異なる複数の実験条件を対象に、建物損傷推定の精度を総合的に検証する予定である。また、表 1 において、感震ブレーカーを含め、実験に参加した各種付加計測の一覧を示す。



図 3 感震ブレーカーの設置状況

表 1 付加計測内容の一覧

センサ種類	設置建物	取り付け位置
相関変位センサ	A 棟・B 棟	1 階・2 階の床面と天井
無線通信式加速度計	A 棟・B 棟	1 階・2 階・3 階の床面と天井裏
LAN 通信式感震計	A 棟・B 棟	1 階・2 階・3 階の床面
スマートフォン	A 棟・B 棟	1 階・2 階・3 階の床面と 2 階壁
傾斜計	A 棟	1 階・2 階・3 階のサッシ側面
360 度カメラ	A 棟・B 棟	2 階・3 階の室内
赤外線防犯カメラ	A 棟・B 棟	1 階・2 階の室内
無線通信式ひずみ計	A 棟	2 階のサッシ

#### c) 数値解析評価

ここでは、2018 年 1 月実施の予備実験に基づき、今後使用を予定する解析モデル（IMK-Pinching モデル）の適用性を考察する。実験詳細は文献 3)、4)を参照されたい。軸組構法の外構面を対象としている。不二サッシ株式会社において運用される F 型層間変位試験装置において、面内載荷条件を与えた。図 4 に施工状況と実験セットアップ、骨組詳細を示す。本解析モデルでは、剛性劣化、強度劣化の進行の度合いに対して、限界エネルギーを基準に、



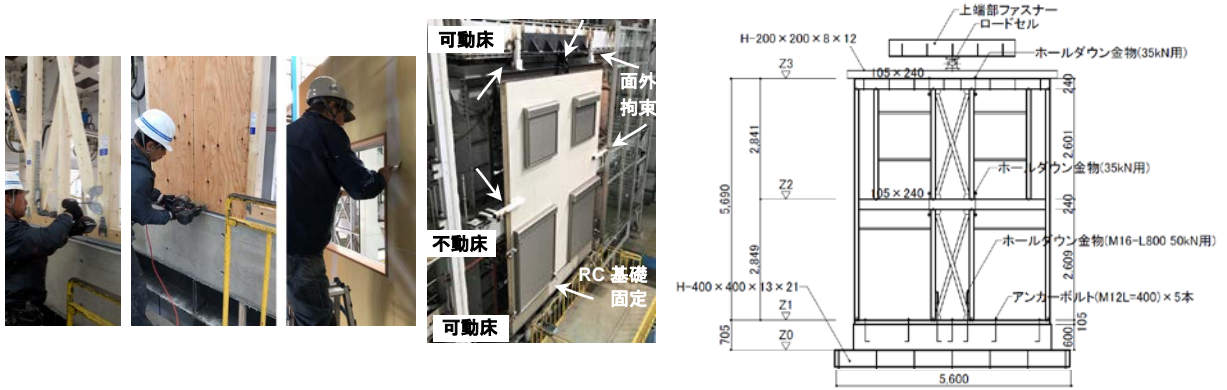


図 4 予備実験（2018年1月に実施）の施工状況と試験体条件

各サイクルのエネルギー消費を参照する<sup>5)</sup>。以下の3パターンの解析モデルを考察する。図5の左端にモデル化の状況を示す。

#### i) In-Cyclic Model

全体履歴から骨格曲線作成し、これを参照する。1次剛性は、変形角 1/200 の割線剛性とする。2次剛性は、変形角 1/100 の点と強度低下を開始する点を結んだ線とする。3次剛性の負勾配の設定は強度が低下を開始する点から、次のステップのピーク点をめざすこととした。このように、繰り返し変形によって強度劣化しながら決まった実験骨格曲線に合わせた骨格曲線をもつモデルを In-Cyclic Model と呼ぶ。

#### ii) Strength Deterioration Model

繰り返し変形を受ける条件の実験から得られる骨格曲線は、変形履歴条件に応じて生じた剛性劣化、強度劣化を前提に形成されている。Strength Deterioration Model は、IMK モデルの特徴である繰り返し変形による、剛性および強度の劣化を見込み、骨格曲線を大きくしておき、パラメータの調整で結果として各種の変形履歴に適合するモデルをめざしている。ここでは、1次剛性として初期剛性、強度開始変形角を最終ステップのピーク時とし、2次剛性を1次剛性の 3/1000 とした。第3剛性の負勾配は試行錯誤で決めた。

#### iii) Normal Bilinear Model

最大強度の 0.7 倍の強度に対応するステップのピークに原点から向かう直線で開始し、そこで降伏し勾配ゼロとなる完全弾塑性に、Normal Bilinear の履歴則を与えた。

実験で記録された 1000 Hz サンプルのデータ全てを用いて変位制御の静的解析を実施した。図5に実験結果と解析結果を比較する。左端では力変位の骨格を示し、応答履歴を比較している。右端に示す縦軸の累積エネルギー消費については、動的载荷時に多数回繰り返し変位を受けるので、累積エネルギー消費の上昇はこの履歴性状に支配される。図5の中央には与えた変位プロトコルと応答せん断力を示している。

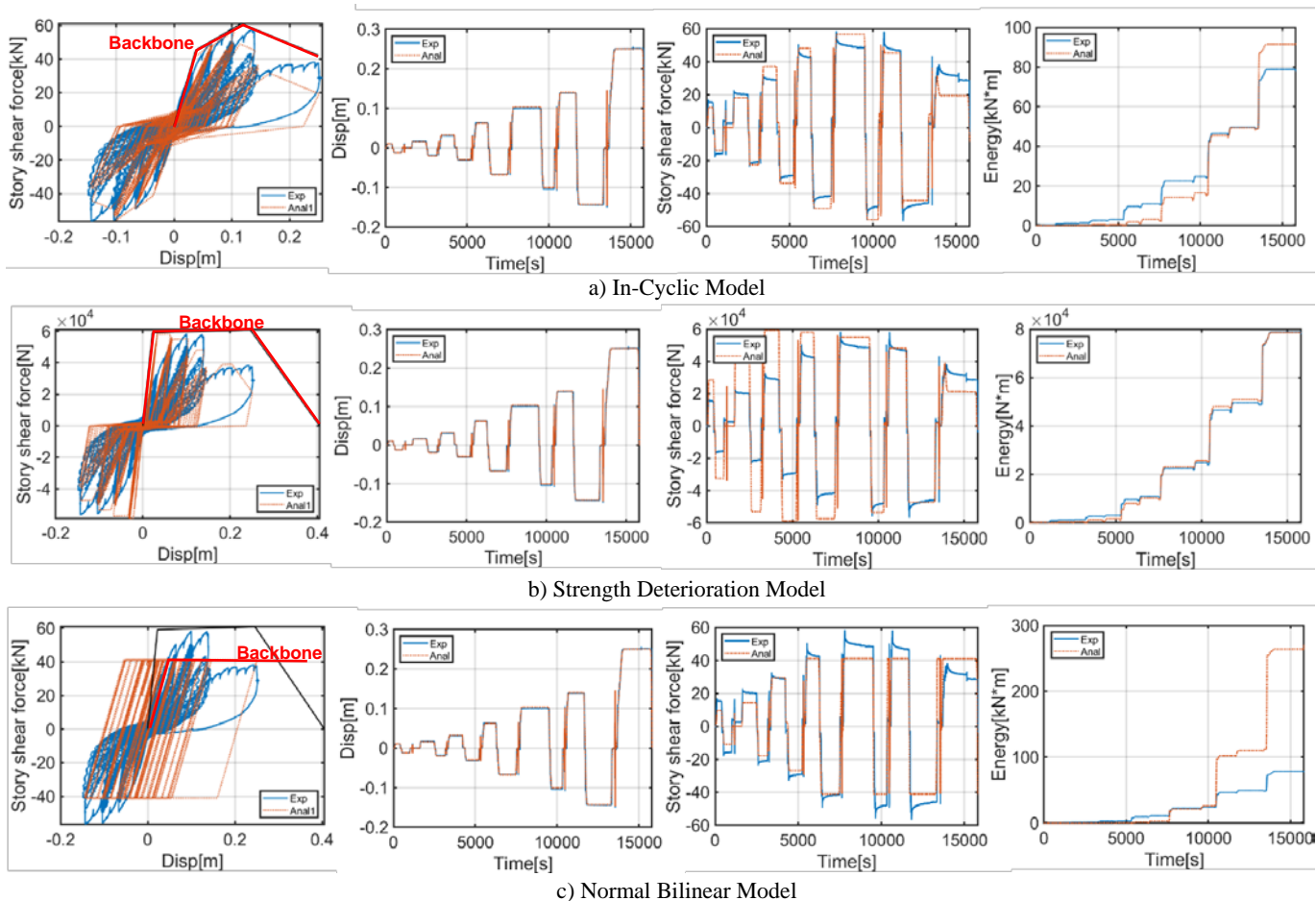


図5 試験体図面

i) In-Cyclic Model では実験で得た負勾配骨格に強度劣化が加わり、負勾配の領域において計算の強度が下回っている。その一方で、累積エネルギー消費で計算が実験値を上回った。ii) Strength-Deterioration-Model では、累積エネルギーが実験と一致した。繰り返し変形により生じる強度劣化を変位履歴に依存せず表現できる特徴が見てとれる。一方、前半において強度を過大評価している。iii) Normal Bilinear Model の計算値は、最大値の 0.7 倍を降伏点に採用したことにより強度推移がおおむね適合するが、累積エネルギー消費が実験値と合わない。

## 2) 実験用試験体の製作工事、計測機器設置工事

B 棟の土槽の骨組製作は 2017 年度に完了しており、2018 年度については、入札等の過程を経て 9 月から、土槽の仕上げ、地盤製作を開始した。また、A 棟の RC 造平板基部の製作もほぼ同時に開始した。計測機器設置工事は、地盤の製作過程より関連計測機器類の設置を開始し、RC 造基礎の製作時における歪ゲージ貼付、住宅部分の各種計測機器設置、等々、段階ごとに順次進めた。

図6 に試験体の製作準備状況、図7 に試験体の移動設置状況を示す。B 棟については、土槽内に地盤を完成後、通常の施工手順に従って、RC 造べた基礎を施工し、順次、上部構造を施工していった。A 棟については、RC 造平板と RC 造基礎の間に免震層を施工し、順次上部構造を施工していった。いずれの棟も、1 階のダイニングキッチン、2 階の子供部屋、3 階のリビング等、全ての居室に、家具、什器、家電類を過不足無く配置した。



(1) B 棟の土槽製作



(2) B 棟 RC 造べた基礎施工



(3) B 棟 RC 造べた基礎上に上部構造施工

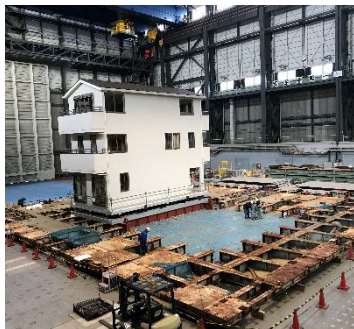


(4) A 棟の上部構造施工



(5) 施工現場 (左 A 棟、右 B 棟)

図 6 試験体の製作準備状況



(1) A 棟の設置状況



(2) B 棟の搬入状況



(3) B 棟設置後の電柱敷設時

図 7 試験体の移動設置状況

A 棟から、1000 ton キャリーを用いて、屋内に搬入し、準備しておいた鋼製吊り上げフレームを用いて、400 ton クレーンで振動台東側（写真奥）に設置して行った。1 階ガレージ側を南、1 階リビング側を北とした。続いて、B 棟を振動台西側（写真手前）に設置した。その後、計測機器の結線他、電柱などの周辺インフラ設備も敷設し、2019 年 1 月 30 日に加振の準備を完了した。

計測に関する当初の全体計画を以下に記す。

- ・埋設配管ひずみ（歪ゲージ） 80 点
- ・配管土圧（土圧計） 4 点



・配管加速度（加速度計）	15 点
・基礎土圧（土圧計）	9 点
・層間変位（変位計）	30 点
・床加速度（三軸加速度計）	114 点
・柱角速度（三軸ジャイロ）	5 点
・地盤加速度（加速度計）	30 点
・基礎水平変位（変位計）	8 点
・基礎鉛直変位（変位計）	8 点
・免震層鉛直変位（変位計）	4 点
・ロッキング・スウェイ（3D 画像計測）	55 点
・カメラ撮影	20 点

図 8 に代表的な計測機器設置状況を示す。実験では、現場での判断により、当初の計画を上回る数の計測チャンネル数となった。

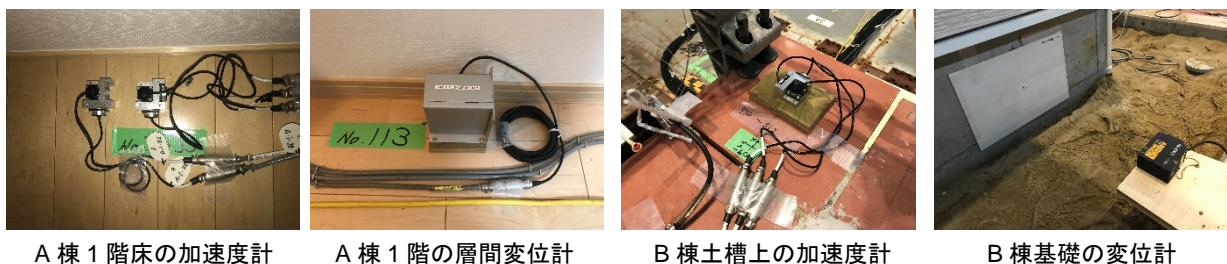


図 8 計測機器類の設置状況

### 3) 実験の実施

Phase 1 における JMA 神戸波の 100% 加振を例にとり、振動台と土槽フレーム上で記録された加速度の時刻歴波形と減衰定数 5% の加速度応答スペクトルを図 9 に示す。目標とする地震動を再現でき、振動台と土槽フレームにおいて同等の地震動が入力されたことがわかる。以下、実

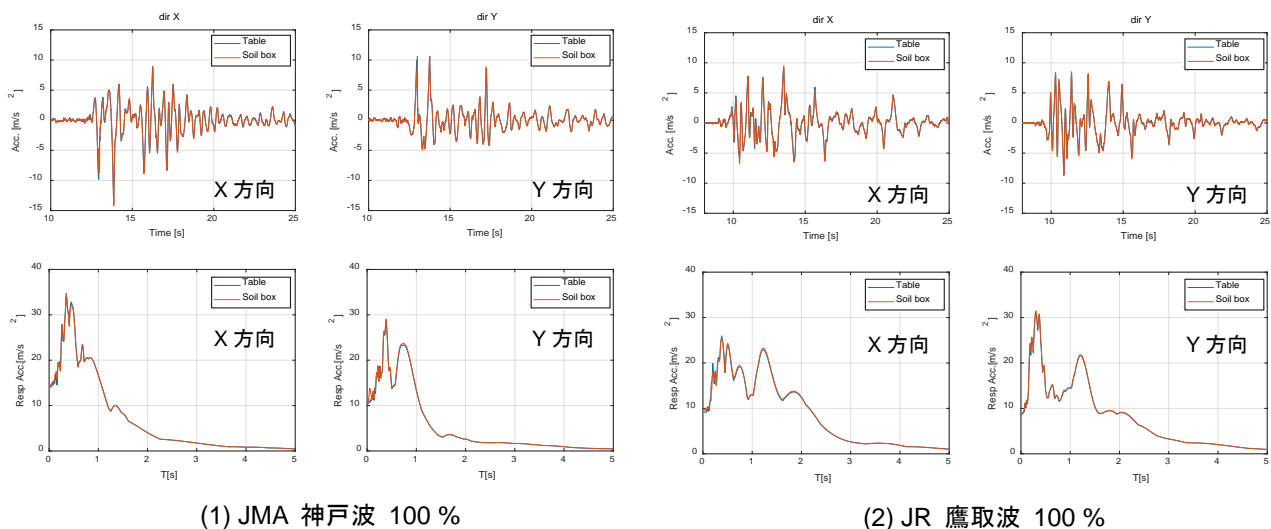


図 9 振動台上と土槽フレーム上面の加速度記録分析



験結果の概要を述べる。

Phase 1 の JMA 神戸波 100%加振における実験状況を図 10 に示す。図 10 (1) には、A 棟と B 棟の実験直後の様子を示す。いずれも建物自体に大きな損傷は生じなかった。居室内を見ると、耐震構造の B 棟において、居室内の家具の多くが移動転倒したのに対して、A 棟は免震構造の性能が発揮され、居室内の家具はほぼ無被害となっている。この時、B 棟では、べた基礎と地盤の間で約 200 mm の水平すべりが確認された。また、特に短辺方向では基礎位置に加わる転倒モーメントによって生じるロッキング回転が顕著となり、基礎に顕著な浮き上がりが生じた。基礎の移動により、埋設した配管類に大きな変形が加わることとなった。塩化ビニールパイプを用いた通常の排水管は、この変形に耐えられず、水平管と鉛直管を接合するエルボ部分が完全に破断した。図 10 (2) に破断状況を示す。一方、ガス管類については、図 10 (3) に示すように、接合部の変形吸収や管そのものの可とう性により、目立った損傷は生じず、実験の後の圧力検査においても値が低下することは無かった。

Phase 3 の JMA 神戸波 100%加振における実験状況を図 11 に示す。A 棟、B 棟ともに、基礎を



(1) 加振直後の B 棟（耐震構造、左）、A 棟（免震構造、右）の家具の転倒状況



(2) B 棟における、べた基礎の移動による排水管の破断状況

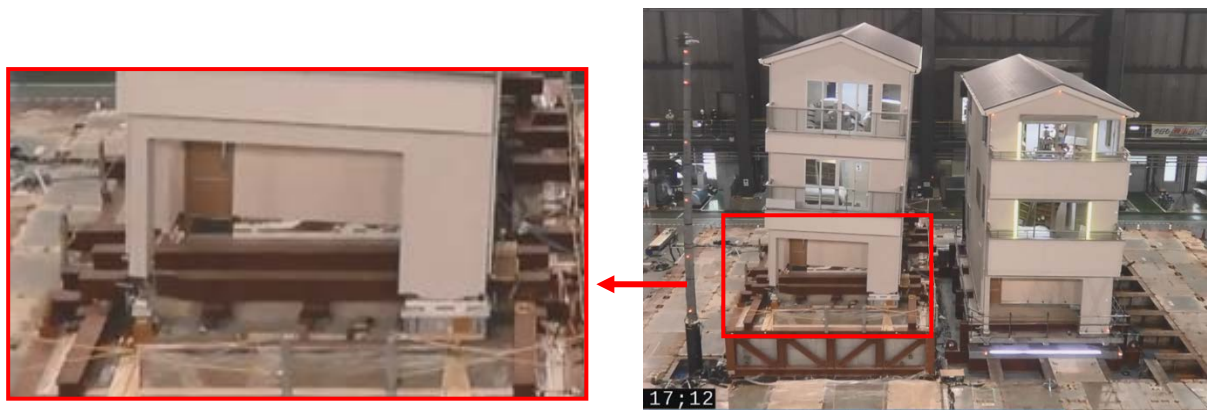


(3) B 棟における、べた基礎の移動によるガス管の変形状況

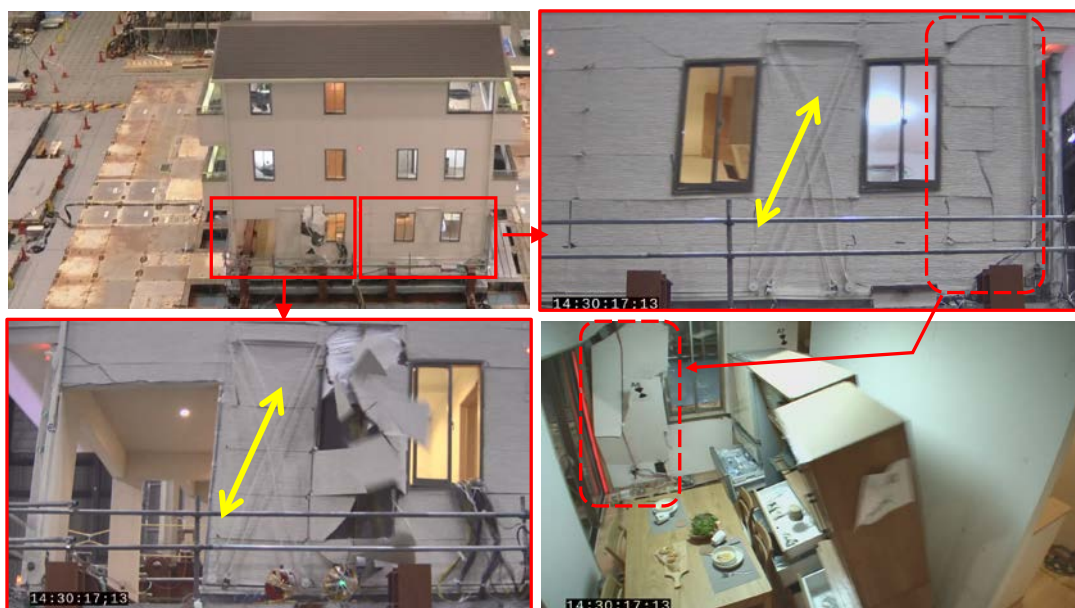
図 10 Phase 1 の JMA 神戸波 100%加振における実験状況

上下左右に剛強な鉄骨フレームで覆い、基礎が移動できないように強く拘束する条件とした。図 11 (1) には、枠組壁構法の B 棟の 1 階脚部が破断した瞬間の映像を示している。B 棟には、壁部のせん断変形による損傷が顕著となる前に、1 階脚部の固定用金物、柱脚の固定用金物の不足による破壊モードが発生しており、構造体として特徴的な終局限界に関する実験データを取得することができた。

A 棟については、先に実施の基礎を拘束した条件における Phase2 の実験において、JMA 神戸波 100%加振、JR 鷹取波 100%加振を経験しており、損傷状況に応じて、鋼材を用いたブレース補強を中心に、耐震性能の復旧を試みた。梁間方向北側では、H 鋼を組み合わせたフレーム補強を用いた。桁行方向において、最大に近い層間変形が発生した瞬間の様子を図 11 (2) に示す。図中黄色の矢印方向において、鋼製ブレース補強材が引っ張られており、壁のせん断変形の抑制に効果を発揮したと判断される。鋼製ブレース補強材が取り付けいていない壁では、内部の筋交が大きく押されて座屈し、壁の外に向かってはらみだした。南側に位置する補強材の右隣の壁では、サイディングボードを外側に押し割る様子が見て取れる。北側の壁の点線での囲んだ部分では、筋



(1) B 棟（耐震構造、枠組壁構法）の 1 階脚部の破断の瞬間、右側は A 棟



(2) A 棟の桁行方向の 1 階壁部における筋交座屈時の内外壁破壊状況、補強材の抵抗挙動

図 11 Phase 3 の JMA 神戸波 100%加振における実験状況

交が室内側にはらみだし、石膏ボード内壁を押し割る状況が見てとれる。

Phase 1、Phase 2、Phase 3 の実験条件における一連の加振は計画通り無事に終了し、A 棟、B 棟いずれにおいても、意図した実験データを全て取得することができた。

### (c) 結論ならびに今後の課題

E-ディフェンスによる大型振動台実験に向けて、実験準備を推し進めた。実験に用いる試験体の製作工事、計測機器設置工事を完了し、本実験を遂行した。今後は、大型振動台実験の結果分析、評価に取り組む。

### (d) 引用文献

- 1) 上段聖也，西峻汰，長江拓也，山田祥平，柏尚稔，林和宏，井上貴仁：地中配管設備等の非構造部材を含む3階建て住宅の機能を検証するE-ディフェンス実験（首都圏レジリエンスプロジェクト） その2 ベタ基礎下の摩擦挙動に関する要素実験，日本建築学会大会学術講演梗概集，構造II，pp.233-234.
- 2) 林和宏，山田有孝，佐藤栄児：地盤配管設備等の非構造部材を含む3階建て住宅の機能を検証するE-ディフェンス実験（首都圏レジリエンスプロジェクト） その4 損傷モニタリング，日本建築学会大会学術講演梗概集，構造II，pp.237-238.
- 3) 西峻汰，上段聖也，長江拓也，高橋武宏，梶原浩一，山田祥平，柏尚稔，林和宏，井上貴仁：3層木造住宅の外構面下層切り出し試験体に対する性能検証 第1報 実験概要と損傷過程，日本建築学会北海道支部 第91回研究発表会，pp.164-167，2018.
- 4) 上段聖也，西峻汰，長江拓也，井上貴仁，山田祥平，柏尚稔，林和宏：3層木造住宅の外構面下層切り出し試験体に対する性能検証 第2報 架構の力-変形応答と部材角に対するジャイロ出力，日本建築学会北海道支部 第91回研究発表会，pp.168-171，2018.
- 5) 横山遼，長江拓也，Cem YENIDOGAN，田原健一，土佐内優介：鉄筋コンクリート造骨組の大変形時弾塑性応答性状に関する数値解析モデルの再現性 Ibarra-Medina- Krawinkler Model，日本建築学会大会学術講演梗概集，構造IV，pp.729-730，2017.

(e) 学会等発表実績

1) 学会等における口頭・ポスター発表

発表成果（発表題目、口頭・ポスター発表の別）	発表者氏名	発表場所 （学会等名）	発表時期	国際・国内の別
3 層木造住宅の外構面下層切り出し試験体に対する性能検証 第1報 実験概要と損傷過程，口頭	西峻汰，上段聖也，長江拓也，高橋武宏，梶原浩一，山田祥平，柏尚稔，林和宏，井上貴仁	日本建築学会北海道支部 第91回研究発表会	2018年6月	国内
3 層木造住宅の外構面下層切り出し試験体に対する性能検証 第2報 架構の力-変形応答と部材角に対するジャイロ出力，口頭	上段聖也，西峻汰，長江拓也，高橋武宏，梶原浩一，山田祥平，柏尚稔，林和宏，井上貴仁	日本建築学会北海道支部 第91回研究発表会	2018年6月	国内
地盤配管設備等の非構造部材を含む3階建て住宅の機能を検証するE-ディフェンス実験（首都圏レジリエンスプロジェクト）その1 プロジェクト概要と本実験の位置づけ，口頭	井上貴仁，山田祥平，柏尚稔，林和宏，長江拓也	2018年度日本建築学会大会学術講演会	2018年9月	国内
地中配管設備等の非構造部材を含む3階建て住宅の機能を検証するE-ディフェンス実験（首都圏レジリエンスプロジェクト）その2 べた基礎下の摩擦挙動に関する要素実験，口頭	上段聖也，西峻汰，長江拓也，山田祥平，柏尚稔，林和宏，井上貴仁	2018年度日本建築学会大会学術講演会	2018年9月	国内

地盤配管設備等の非構造部材を含む3階建て住宅の機能を検証するE-ディフェンス実験（首都圏レジリエンスプロジェクト）その3 数値解析に基づくべた基礎挙動予測，口頭	西峻汰，上段聖也，長江拓也，山田祥平，柏尚稔，林和宏，井上貴仁	2018年度日本建築学会大会学術講演会	2018年9月	国内
地盤配管設備等の非構造部材を含む3階建て住宅の機能を検証するE-ディフェンス実験（首都圏レジリエンスプロジェクト）その4 損傷モニタリング	林和宏，山田有孝，佐藤栄児	2018年度日本建築学会大会学術講演会	2018年9月	国内

## 2) 学会誌・雑誌等における論文掲載

- なし

## 3) マスコミ等における報道・掲載

.

報道・掲載された成果 (記事タイトル)	発表者氏名	発表場所 (新聞名・TV名)	発表時期	国際・国内の別
高耐震住宅が基礎ごとずれる	2/1 公開実験	日経アーキテクチャー	2019年3月	国内
高耐震住宅が基礎ごとずれる	2/1 公開実験	日経ビルダー	2019年4月	国内

## (f) 特許出願，ソフトウェア開発，仕様・標準等の策定

### 1) 特許出願

- なし

### 2) ソフトウェア開発

- なし

### 3) 仕様・標準等の策定

- ・ なし

### (3) 平成31年度業務計画案

E-ディフェンスによる大型振動台実験の分析を進める。具体的には地盤と基礎の相互作用、建物損傷過程、建物最大強度と変形性能、補修・補強効果、免震構造性能を特定するために実験データを分析する。また数値解析による現象再現を実施する。

### 3.3 非構造部材を含む構造物の崩壊余裕度に関するデータ収集・整備

#### 3.3.2 災害拠点建物の安全度即時評価および継続使用性即時判定

##### (1) 業務の内容

###### (a) 業務の目的

- ・「(2)災害拠点建物の安全度即時評価および継続使用性即時判定」として、行政庁舎や体育館など、災害時拠点となる既設の建物内に少数のセンサを設置し、地震後速やかに建物安全性、崩壊余裕度、および継続使用の可否等を判定するシステムの構築を目指す研究開発を行う。具体的には、構造躯体のみならず設備・非構造部材をも再現した実物建物を大型振動台実験により損傷させ、センサによって検知した建物の揺れのデータをもとに、躯体から設備・非構造部材までの損傷レベルを即時に評価する技術、および崩壊余裕度の定量的評価に基づく施設の継続使用性判定手法を提案する。

###### (b) 平成30年度業務目的

- ・研究3年目のEーディフェンスによる大型振動台実験に向けて、平成29年度に実施した実験結果を踏まえて、試験体の設計と積算用資料の作成、および設備・非構造部材を含む建物損傷評価技術の開発に着手する。

###### (c) 担当者

所属機関	役職	氏名
東京大学地震研究所	教授	楠 浩一
東京大学大学院新領域創成科学研究科	准教授	清家 剛
広島大学大学院工学研究科	准教授	日比野 陽
建築研究所構造研究グループ	主任研究員	向井 智久
大阪大学大学院工学研究科	教授	真田 靖士
広島大学大学院工学研究科	教授	大久保 孝昭
広島大学大学院工学研究科	助教	寺本 篤史
大林組技術研究所	所長	勝俣 英雄
大林組技術研究所構造技術研究部	副部長	米澤 健次
防災科学技術研究所地震減災実験研究部門	主任研究員	中村 いずみ

##### (2) 平成30年度の成果

###### (a) 業務の要約

試験体の設計、非構造部材の損傷劣化検知、および非構造部材を含む損傷評価システムの開発を目的に、以下の項目について、検討を行った。

###### 震動台実験試験体の設計関係

- 1) 震動台実験試験体の試設計と積算
- 2) 新しい壁端部ディテールを採用した袖壁付柱の追加性能確認実験



3) 新しい壁端部ディテールを採用した腰壁・垂れ壁付き梁の追加性能確認実験

**非構造部材の損傷劣化検知**

4) 光ファイバーを用いた仕上げタイルの損傷検知委実験

5) 天井材の画像解析による損傷検知

**(b) 業務の成果**

**1) 試験体の設計**

災害拠点を想定して、国土技術政策総合研究所「災害拠点建築物の設計ガイドライン（案）」技術資料「①壁を活用した鉄筋コンクリート造建築物の損傷制御設計法」を参考に、図 1-1 に示すような 1×2 スパン 3 層試験体の設計を行った。耐震ランクは I とし、そこで壁等を有効に利用した設計とした。具体的構造設計の内容を以下に示す。

- ・雑壁（袖壁、腰壁等）を考慮したモデルで、ベースシア係数が 0.55 に達する時点の各層の最大層間変形角  $R_{max}$  が 0.33%以内であることを確認するとともに部材塑性率が 1 以下であることを確認する。

- ・雑壁を無視した純ラーメンのモデルで、保有水平耐力時のベースシア係数が 0.3 以上であることを確認する。

静的増分解析に加えて、試験体の地震応答解析を実施し、所要の耐震性能を有していることを確認した。静的増分解析結果を図 1-2 に地震応答解析結果を図 1-3 に示す。

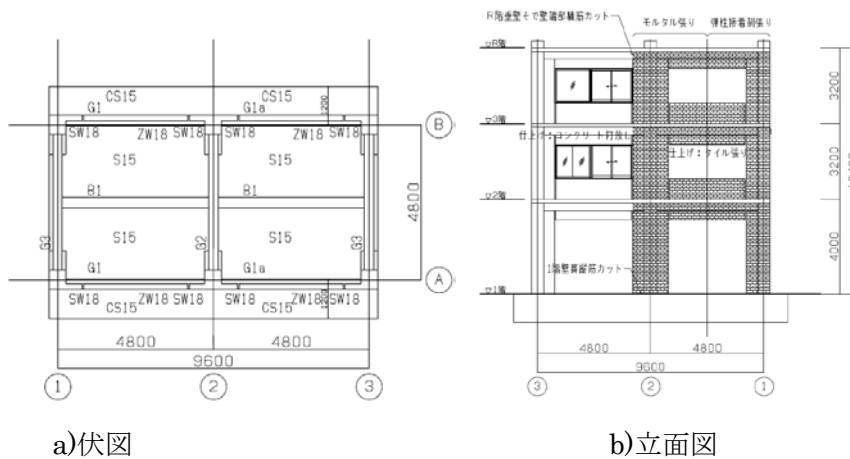


図 1-1 試験体形状

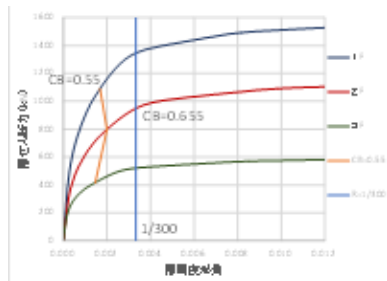


図 1-2 静的増分解析結果

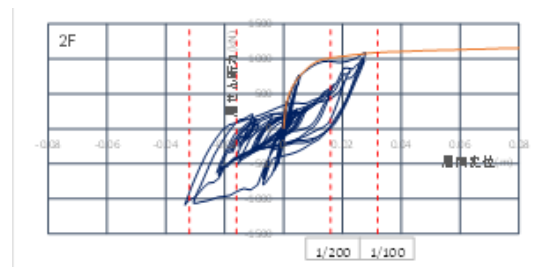


図 1-3 地震応答解析結果

**2) 新しい壁端部ディテールを採用した袖壁付柱の追加性能確認実験**

平成 29 年度は保有水平耐力規準<sup>1)</sup>に基づくみなし FA となる拘束域および ACI 規準<sup>2)</sup>に基づく耐震部材の拘束域を満足し、壁縦筋を定着させない袖壁付柱の有効性を検証した。その結果、袖



壁の増設による初期剛性および耐力の増大が確認された。また、拘束域が異なる試験体において顕著な構造性能の差異は認められなかった。そこで、平成 30 年度は袖壁の拘束域の構造詳細を大幅に緩和した袖壁付柱を対象とし、袖壁縦筋の定着の有無を実験変数とする静的載荷実験を行い、各試験体の構造性能や損傷経過について検討した。

図 2-1 に試験体配筋図を、図 2-2 に同試験体の断面図を示す。実験変数は上記の通り袖壁縦筋の定着の有無である。図 2-3 に両試験体のせん断力-変形角関係を示す。壁縦筋を定着させた試験体は定着なしの試験体より初期剛性および最大耐力が増大した。ただし、前者は壁縦筋を定着させたことで、後者と比べ壁縦筋の降伏や座屈が早期に発生し、壁脚部の圧壊も早期に発生したため、変形性能は壁縦筋を定着させない試験体の方が高いことを確認した。また平成 29 年度の試験体と比較すると、平成 30 年度は拘束域の構造詳細を大幅に緩和したことで両試験体ともに最大耐力後の耐力低下を示し、変形性能を議論するための実験結果が得られた。

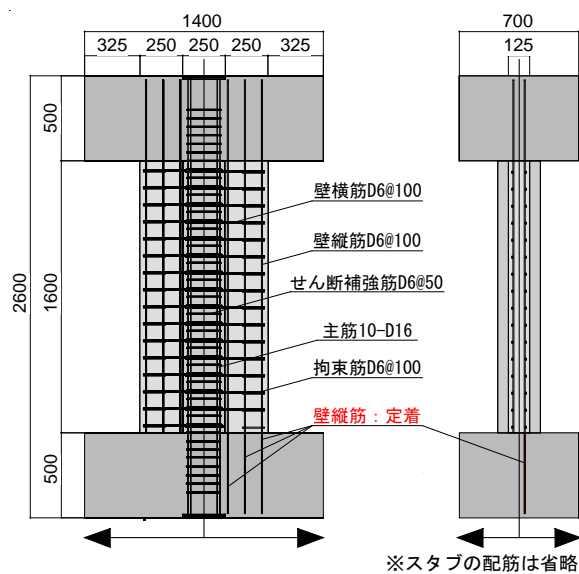


図 2-1 袖壁付き柱試験体の配筋図  
(左：壁筋定着なし，右：壁筋定着)

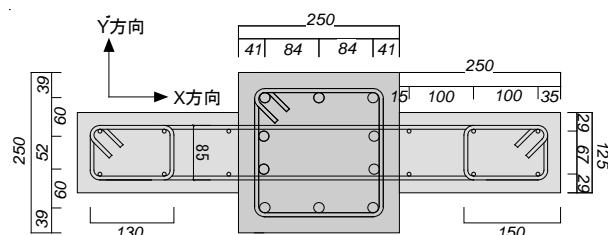


図 2-2 袖壁付き柱試験体の断面図

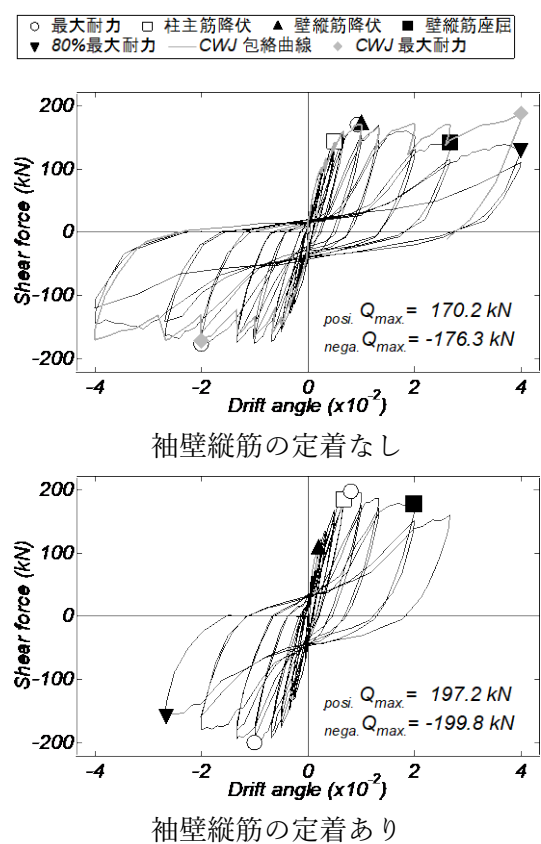


図 2-3 せん断力-変形角関係

### 3) 新しい壁端部ディテールを採用した腰壁・垂れ壁付き梁の追加性能確認実験

本研究では壁付き部材の壁端部を模擬した試験体の構造実験により、新しい壁端部ディテールにおける拘束筋と壁筋の定着が壁部材の損傷に及ぼす影響について考察を行った。図 3-1 に試験体形状を示す。試験体は壁付き部材の壁端部を模擬しており、片持梁形式で繰り返し載荷を行った。試験体は 6 体であり、壁筋比および壁筋の定着の有無、拘束筋の有無、壁厚をパラメータと

している。コンクリート強度は  $36\text{N/mm}^2$  である。図 3-2 に試験体 12NA, 12HN の変形角  $1/50$  後のひび割れ性状を示す。いずれの試験体においても壁端部においてコンクリートの圧壊が生じたが、壁筋定着をせず拘束筋を配した試験体 12HN よりも壁筋定着している試験体 12NA の損傷が大きかった。図 3-3 に試験体 12NA, 12HN, 4NN (壁筋定着なし, 壁筋量小) の荷重-変形関係を示す。正側は壁端が圧縮となる加力である。最大耐力は試験体 12NA, 12NH とも概ね等しかったが、最大耐力以後において壁筋を定着した試験体 12NA の耐力低下が顕著であった。以上から壁筋の定着を除去し拘束筋を配することで、壁筋定着時と同等の耐力と大きな靱性能を期待できることがわかった。

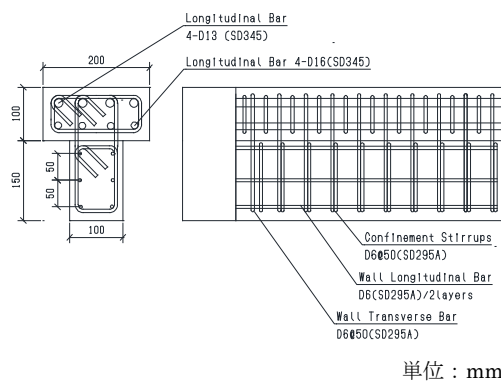


図 3-1 試験体形状(12HN)

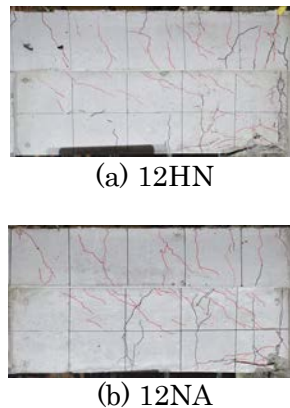


図 3-2 ひび割れ性状

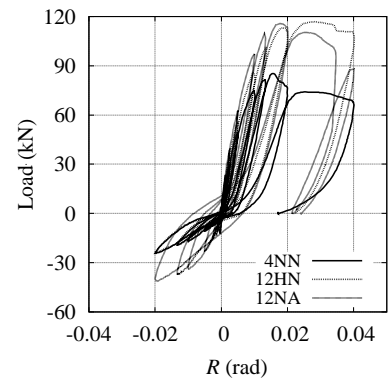


図 3-3 荷重-変形関係

#### 4) 光ファイバセンサによる外装タイルの剥離検知

地震作用時に外装タイルと躯体との接着一体性は低下し、剥離・剥落を引起す場合がある。外装タイルの剥離・剥落を検知する手法としては打音検査が一般的であるが、検査に時間を要するため、巨大地震下における被害推定、機能継続可否・機能損失度を即時に判定する手法としては適していない。

従来、外装タイルの剥離はタイルと下地コンクリートとのひずみ差(ディファレンシャルムーブメント)によって評価できると考えられ、ひずみ追従性が検討されてきた。ひずみを測定するセンサとしては一般的にひずみゲージが用いられてきたが、ひずみゲージそのものが剥離の起点になる可能性を否定できない。本実験では、極細径の光ファイバセンサを用いることで、タイルの接着性能に影響を与えない環境で剥離検知モニタリングを実施した。その結果、打音検査でタイルに剥離音の発生が生じる直前の载荷サイクルで光ファイバセンサのひずみが不連続な挙動を示し、光ファイバセンサによるタイルの剥離検知が可能であることが示された。



図 4-1 試験の様子

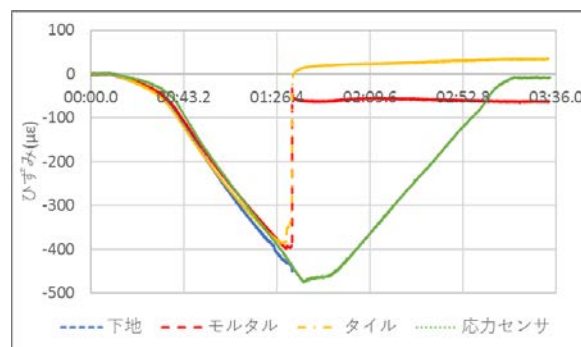


図 4-2 光ファイバセンサにより得られた各層のひずみ履歴

## 5) 天井材の画像解析による損傷検知

本研究では天井材の損傷を検知する方法として、画像解析を用いる方法について検討を行った。天井材の画像を被災前後で撮影し、その変化を比較することにより損傷の検知する技術の検証を行った。図 5-1 は天井材のひび割れおよび落下を再現した画像から差分を求めたものである。画像下の数値が画像の変化率であり、天井材の被害面積により大きくなることがわかる。以上の検証から、被災前後の画像の比較により損傷を検知することが可能であり、画像の差分量を数値化することで損傷の程度を定量化することが可能であり、損傷度を求めることができることがわかった。

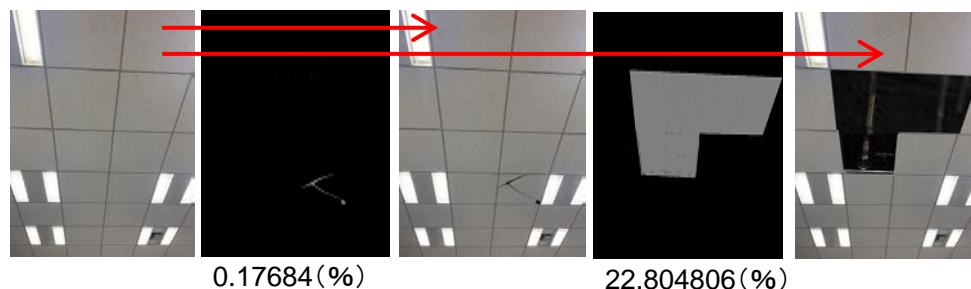


図 5-1 天井材の被害の検知

### (c) 結論ならびに今後の課題

本年度は、来年度に実施予定の震動台実験用の試験体の設計と積算を終えることが出来た。新しいディテールを有する柱と梁の構造性能の追加実験を実施することができた。光ファイバーを用いたタイル仕上げの損傷劣化検知に関する基本情報を得ることが出来た。特に建築構造分野以外の技術利用部分も多いので、今後もプロジェクトの進捗と方向性について、密に情報共有を行う。

### (d) 引用文献

- 1) 日本建築学会：鉄筋コンクリート構造保有水平耐力計算規準（案）・同解説，2016
- 2) American Concrete Institute: Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-14) and Commentary (ACI318R-14), 2014

### (e) 学会等発表実績

#### 1) 学会等における口頭・ポスター発表

発表成果（発表題目、口頭・ポスター発表の別）	発表者氏名	発表場所（学会等名）	発表時期	国際・国内の別
耐力向上と損傷抑制を目的とした壁縦筋を定着しない袖壁付柱部材の開発研究（その 3）壁縦筋の定着の有無を変数とした袖壁付柱の静的載荷実験（実験計画と構造性能）、口頭	張政, 真田靖士, 楠浩一, 日比野陽, 向井智久ほか	日本建築学会 学術講演梗概集	2019年9月 (投稿中)	国内
耐力向上と損傷抑制を目的とした壁縦筋を定着しない袖壁付柱部材の開発研究（その 4）壁縦筋の定着の有無を変数とした袖壁付柱の静的載荷実験（損傷状況の比較）、口頭	百家祐生, 真田靖士, 楠浩一, 日比野陽, 向井智久ほか	日本建築学会 学術講演梗概集	2019年9月 (投稿中)	国内

耐力向上と損傷抑制を目的とした壁縦筋を定着しない袖壁付柱部材の開発研究（その1）実験計画、口頭	椿美咲子，真田靖士，楠浩一，日比野陽，向井智久ほか	日本建築学会 学術講演梗概集	2018年9月	国内
耐力向上と損傷抑制を目的とした壁縦筋を定着しない袖壁付柱部材の開発研究（その2）実験結果、口頭	張政，真田靖士，楠浩一，日比野陽，向井智久ほか	日本建築学会 学術講演梗概集	2018年9月	国内
壁筋の定着を除去した二次壁を有する鉄筋コンクリート梁部材の耐震性能評価、口頭発表	森悠吾，日比野陽，楠浩一，真田靖士，向井智久森悠吾ほか	日本建築学会 大会学術講演会	2018年9月	国内
災害拠点建物の安全度即時評価および継続使用性即時判定（その1 試験体設計）、口頭	深井悟，楠浩一，ヤオトレポー	日本建築学会 学術講演梗概集	2019年9月 (投稿中)	国内
災害拠点建物の安全度即時評価および継続使用性即時判定（その2 非線形解析）、口頭	ヤオトレポー，楠浩一，深井悟	日本建築学会 学術講演梗概集	2019年9月 (投稿中)	国内
外装タイルの剥離検知モニタリング技術の確立に関する研究、口頭	松原大祐，大久保孝昭，寺本篤史，楠浩一，日比野陽ほか	日本建築学会 中国支部研究 発表会梗概集	2019年3月	国内
外装タイルの剥離検知モニタリング技術の確立に関する研究～その1 タイル外壁の剥離検知モニタリングにおける基礎的検討～、口頭	松原大祐，大久保孝昭，寺本篤史，楠浩一，日比野陽ほか	日本建築学会 学術講演梗概集	2019年9月 (投稿中)	国内
外装タイルの剥離検知モニタリング技術の確立に関する研究～その2 光ファイバセンサを用いた実験的検討～、口頭	関根麻里子，大久保孝昭，寺本篤史，楠浩一，日比野陽ほか	日本建築学会 大会学術講演会	2019年9月 (投稿中)	国内

## 2) 学会誌・雑誌等における論文掲載

掲載論文（論文題目）	発表者氏名	発表場所 (雑誌等名)	発表時期	国際・国内の別
壁縦筋を定着させない袖壁付き柱の構造性能の実験的評価なし	椿美咲子，真田靖士，張政，楠浩一，日比野陽，向井智久	日本建築学会 構造系論文集， Vol.84， No.762	2019年8月 (採択)	国内

## 3) マスコミ等における報道・掲載

- ・ なし

**(f) 特許出願, ソフトウェア開発, 仕様・標準等の策定**

**1) 特許出願**

- ・ なし

**2) ソフトウェア開発**

- ・ なし

**3) 仕様・標準等の策定**

- ・ なし

**(3) 平成31年度業務計画案**

- ・ 昨年度設計した、天井・窓サッシ・外壁タイル、屋上配管を有する実大3層試験体を作成し、1方向入力により、加振実験を行う。それにより、入力レベル、建物の応答レベルと構造・非構造部材の被害程度の関係を検討し、建物の災害拠点としての継続利用性を判断する。更に、建物に設置した加速度計により、建物の損傷度を自動検知し、通知するシステムの有効性を確認するとともに、カメラや光ファイバーケーブルを用いた非構造部材の被害把握技術の基礎資料を収集する。

### 3.3 非構造部材を含む構造物の崩壊余裕度に関するデータ収集・整備

#### 3.3.3 災害時重要施設の高機能設備性能評価と機能損失判定

##### (1) 業務の内容

###### (a) 業務の目的

本委託業務では、サブプロジェクト(c)のうち、「③ 災害時重要施設の高機能設備性能評価と機能損失判定」として、災害時にも継続的な運用が期待される地域医療の中核病院等を対象に、地震直後にその機能損失度を定量的に評価する手法を提案し、無用な混乱を回避し安全かつ効率的な管理者の被災後運用判断を支援する仕組みに関する研究開発を行う。具体的には、高機能設備を付した病院建物に対する大型振動台実験を実施し、建物崩壊余裕度、病院機能の低下要因の特定、高機能設備個別の性能評価、施設の機能損失に関する定量的判定法を提案する。

###### (b) 平成30年度業務目的

研究4年目のEーディフェンス大型振動台実験に向けて、試験体の設計を継続するとともに、加振実験計測計画を策定する。更に、病院施設の高機能設備や非構造部材の耐震度合を評価するため、個別の要素実験を実施する。

###### (c) 担当者

所属機関	役職	氏名
京都大学 防災研究所	准教授	倉田 真宏
防災科学技術研究所	主任研究員	河又 洋介
京都工芸繊維大学 工芸科学研究科	教授	金尾 伊織
京都大学 医学部附属病院	准教授	大鶴 繁
九州大学 人間環境学研究院	准教授	松尾 真太郎
京都大学 工学研究科	准教授	藤田 皓平
京都大学 医学部附属病院	技師長	相田 伸二
京都大学 医学部附属病院	医員	堤 貴彦
京都大学 防災研究所	研究員	Konstantinos Skalomenos
京都大学 防災研究所	研究員	Liangje Qi

##### (2) 平成30年度の成果

###### (a) 業務の要約

- 研究4年目のEーディフェンス大型振動台実験に向けて、試験体の設計を継続した。
- 同実験に向けて、加振計画および実験計測計画を検討した。
- 病院施設の高機能設備や非構造部材の耐震度合を評価するため、個別の要素実験を実施した。

###### (b) 業務の成果

## 1) 耐震棟試験体の設計

本試験体の耐震設計は、1次設計用地震力に対して許容応力度設計を行い、層間変形角 1/200 以下とし、2次設計は保有水平耐力が必要保有水平耐力の 1.5 倍以上有していることを確認し、全体崩壊形のメカニズムを形成するよう「冷間成形形鋼管設計・施工マニュアル」の部材耐力比の規定を満足させた。架構は 4 階建てのラーメン構造で、柱は冷間成形形鋼管、梁はH形鋼とした。

図 1 に床伏図、図 2 軸組図を示す。柱、梁の断面と鋼材種別を表 1 に示す。はりパネル複合型崩壊に対応した柱の耐力比を計算すると X・Y 方向とも各層 1.11 となり、全体崩壊系と判断される。設計に際して静的増分解析を行い、得られた保有水平耐力を表 2 に示す。

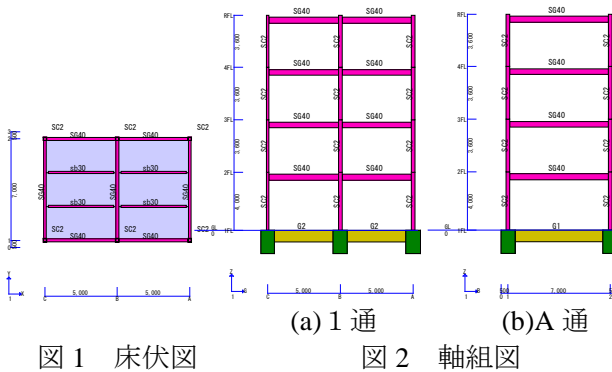


図 1 床伏図

図 2 軸組図

表 1 代表断面

部位	断面	鋼材種別
柱	□250×250×16	BCR295
大梁	H - 400×200×8×13	SN490B
小梁	H - 300×150×6.5×9	SS400
基礎梁	B1000×D800	RC
スラブ	t=150	RCスラブ

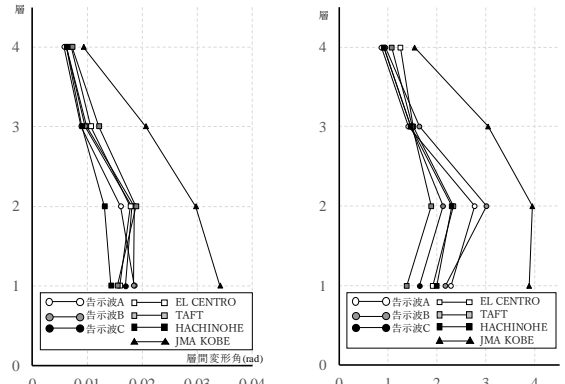
表 2 保有水平耐力

層	X					Y				
	Ds	Qud (kN)	Qun (kN)	Qu (kN)	Qu/Qun	Ds	Qud (kN)	Qun (kN)	Qu (kN)	Qu/Qun
4	0.25	1008	252	453	1.80	0.25	1008	252	395	1.57
3	0.25	1465	366	658	1.80	0.25	1465	366	574	1.57
2	0.25	1835	459	824	1.80	0.25	1835	459	718	1.57
1	0.25	2125	531	955	1.80	0.25	2125	531	832	1.57

## 2) 耐震棟試験体の地震応答解析

地震応答解析には、質点系モデル、及び立体骨組モデルを用いた。1次固有周期は 0.9 秒程度となった。レベル 2 地震動として告示波 (A: 八戸位相、B: 神戸位相、C: 乱数位相) に加えて、EL CENTRO 1940 NS 波、TAFT 1952 EW 波および HACHINOHE 1968 NS 波の 3 波、レベル 2 を超える地震動として 1995 年兵庫県南部地震 JMA KOBE NS 波を用いた。

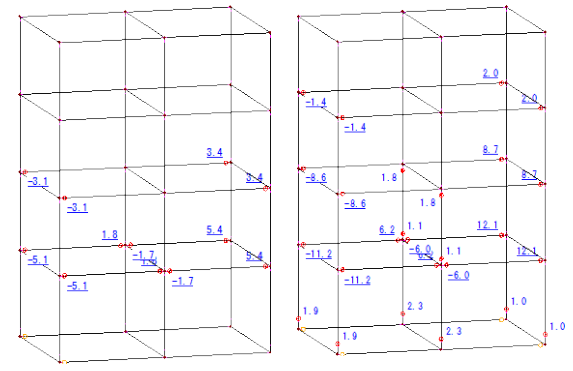
図 3 に質点系モデルの最大層間変形角、最大塑性率を示す。レベル 2 地震動で最大塑性率 3 程度、最大層間変形角で 0.02rad 程度となった。JMA KOBE 波では、最大塑性率 4 程度、最大層間変形角で 0.035rad 程度となった。図 4 に告示波 B と JMA KOBE 波の立体骨組モデルの部材の最大塑性率図を示す。告示波 B で梁端の塑性率 5 程度、JMA KOBE 波では 12 程度となった。



(a) 最大層間変

(b) 最大塑性率

図 3 応答解析結果



(a) 告示波 B

(b) JMA KOBE

図 4 最大塑性率図



### 3) E-ディフェンス実験計画

#### a) 試験体の詳細設計・施工計画に関する検討

E-ディフェンス実験で用いる試験体は、その特異性を考慮して、詳細設計や施工計画の策定を行う必要がある。検討した項目を下記に列挙する。

- E-ディフェンス実験棟の 400t 天井クレーンを用いた試験体の吊り上げについて検討した。天井クレーンの揚程不足により今年度に設計した 4 階建ての耐震棟試験体の高さを 1m 弱下げる必要性が確認された。基礎の高さと安全クリアランスを含めて、引き続き検討する。
- 実験後の試験体搬出・解体作業における安全性確保を優先する必要があるため、全加振後の試験体損傷状況を数値解析結果より推定した。より正確に状況を推定するためには部材耐力の劣化を含めた詳細な解析が必要である。
- 万が一、試験体が完全崩壊することを想定した、試験装置の損傷防止対策として、耐震棟の 4 隅に倒壊防止フレームを設置する必要がある。
- 高架水槽に水を入れる場合を検討した。水漏れの防止方法もしくは水漏れを想定した養生方法として、屋上パラペットの設置と緊急止水弁が必要である。また、振動台外への緊急放水方法が必要か引き続き検討する。
- 施工面では、非構造構造の設置、試験体内への医療機器搬入・設置・配線、センサーの設置・配線等、屋内作業、屋外作業、震動台上作業を分類する必要がある。

#### b) 資機材の再利用

効率的な実験計画のため、E-ディフェンスが保有する倒壊防止フレーム・鉄骨の下部架台や、先行して実施される課題 2 の実験で製作される予定の吊り天秤、計測治具等の再利用を検討した。吊り天秤については一部を改造することで再利用が可能であることを確認した。

#### c) 医療機器の確保および保管

京都大学附属病院他から、買い替えもしくは廃棄のタイミングで譲り受ける医療機器を補完する場所を検討した。一部については、2019 年度から E-ディフェンス構内に搬入、埃や粉塵に対する養生をして保管する。

#### d) 計測および加振方針の検討

災害時重要施設の高機能設備の性能評価と機能損失判定や、構造物の応答評価や健全度判定を行うため、多数の計測機器を設置する。要素試験や事前解析の結果を基に、計測方針を議論した。引き続き、関連研究グループによる付加計測も考慮に入れて、総合的かつ効率的な計測計画を策定する。

入力地震動は、耐震棟の事前解析で利用した JMA 神戸波を採用することとした。また耐震棟と免震棟試験体との連結部の挙動や免震装置の大変形挙動を評価するために、長周期地震動の採用も検討する。さらに振動台実験における設備や試験体の応答・損傷程度が、事前解析の結果と異なることを想定して、予備の地震動も用意する。



#### 4) 非構造部材・重要設備に関する検討

##### a) 実大実験における再現項目の検討

2020年度の実大実験に向けて、試験体の再現内容を検討して決定した。実現する室内は以下の通りである。

- 耐震棟：手術室・NICU、透析室・病室、検査部・薬剤部・診察室
- 免震棟：NICU、透析室・病室、薬剤部・検査部
- 耐震棟屋上：高架水槽を2台配置し、旧基準および新基準に従って設置する。

配管に関しても、耐震棟の4FL（3F天井）に旧基準と新基準に従った配管システムを設置することに決定した。医療関係者および医療機器メーカーとの協議により、各居室に設置する医療機器をリストアップした。概ね入手方法を決定したが、一部の機器については引き続き提供先を探す。また各居室の医療機器リストに従って積載荷重などを算定した。

##### b) 共用部天井・配管の振動台実験の結果分析

2017年度に実施した天井・配管の振動台実験（図5）で得られたデータを整理し、図6に示す伝達関数から固有振動数を推定した。配管および天井の時刻歴応答から、天井と配管の衝突と思われる加速度の急激な増加を確認した。また配管は軽量であるため、配管自体の損傷はほとんど確認できなかった。また、天井に関してもクリップのゆがみや脱落を確認したが、天井落下には至らなかった。さらに、配管は極めて高振動であるが、軽量であるため、配管端部の拘束条件が固有振動数に与える影響は小さいことを示した。

##### c) 旧配管の繰返し载荷実験

病院などでは配管損傷による水損によって事業継続が妨げられる事例が数多く報告されていることから、図7に示す载荷装置を用いて経年配管の繰返し曲げ試験を行った。材料試験より、今回使用した経年配管における降伏応力度 $\sigma_y$ 、引張強度 $\sigma_u$ 、ヤング係数 $E$ の材料特性を明らかにした。繰返し曲げ試験より、図8に示す配



図5 損傷状況

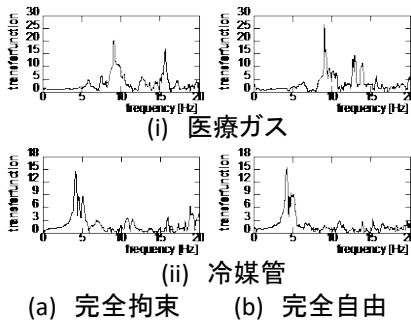


図6 配管の伝達関数

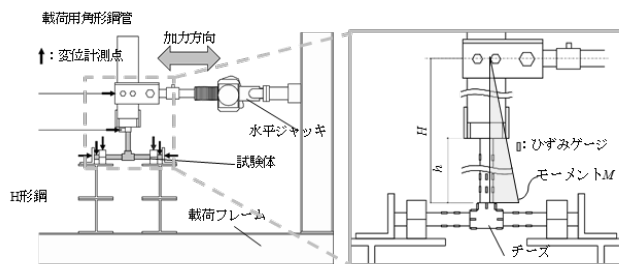


図7 実験概略図

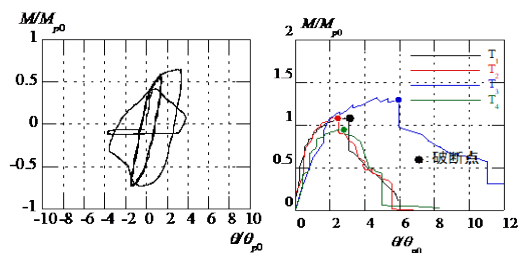


図8  $M-\theta$ 関係

図9 骨格曲線

管の面内履歴特性を評価し、図 9 示す骨格曲線において破断に至るまでの変形能力は、弾性限界の 1.5~2.3 程度であることを示した。

#### d) 空調・照明機器および天井の振動特性把握試験

非構造部材として天井材、機器として空調機と照明器具に着目し、非構造材と機器の相互作用を考慮した振動モデルを構築した。機器が単体として振動した場合を、建物と一体となって振動した場合と比較し、複数の機器が相互干渉して応答する現象を評価するために、実物大の試験体を製作し加振実験を実施した。

図 10 に試験体の立面図、平面図および内部の写真を示す。本実験では、小型加振機により試験体を強制加振させ、その加速度応答から ARX モデルを用いて固有振動数と減衰を同定した。構造躯体は 4m×3m で高さ 3m の鉄骨造で、その上部から空調機と照明器具それぞれ 2 台と天井材を吊り下げている。左右で吊高さが異なる仕様で、図 10(a)の左側は吊高さが 920mm、右側は 1375mm である。小型加振機による入力波はホワイトノイズとした。

表 3 に、加速応答から同定した空調機と照明器具の固有振動数と減衰率を示す。振動数は機器の吊り長さやブレースの有無によって大きく変化する。特に、減衰率の実験データはこれまでも報告が少なく、機器の振動モデルを作成するうえで貴重なデータが得られた。天井が設置したのちには、機器と天井は概ね一体となって振動した。天井材が 4 方を間仕切壁に接していた場合は、天井や機器の固有振動数は 16.0~19.9Hz であり、壁がない状態では、2.6-3.6Hz であった。間仕切壁の有無や壁と天井の間のクリアランスの有無で振動特性が大きく変わることが分かった。また天井がある場合には減衰率は 1~2%まで上昇したが、機器や実験データによる変動も大きかった。

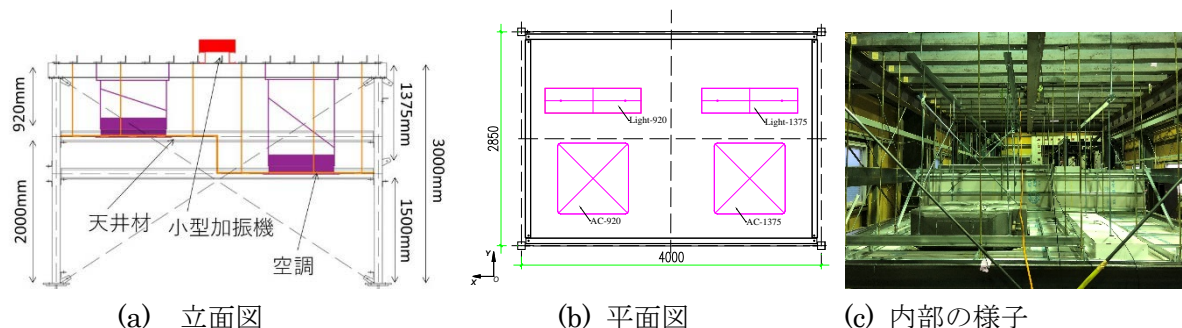


図 10 天井—機器の相互干渉評価用試験体

表 3 機器の固有振動数

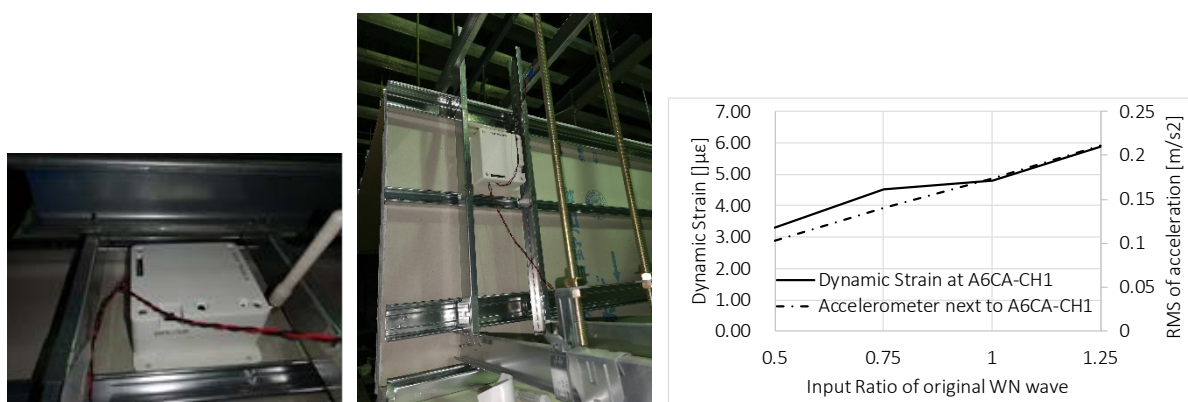
Component	ARX identifications	
	First frequency [Hz]	First modal damping ratio [%]
AC-1375 w/ brace	2.30	0.5
AC-1375 w/o brace	0.94	0.4
AC-920 w brace	3.12	0.5
AC-920 w/o brace	1.78	1.2
Light-1375	1.16	0.8
Light-920	2.78	0.2

## 5) モニタリングに関する検討

部材の動ひずみを利用した鋼構造建物の損傷度評価手法について、京都大学ではこれまでに研究成果をいくつか発表してきた【例えば文献 1-3】。同損傷評価手法では、損傷度を把握したい梁端部などにピエゾ素子センサーを設置し、建物の常時微動下で 100 秒程度の間計測された動ひずみの実効値を利用する。建物内で激しい損傷が予測される個所に重点的に設置するが、センサー数が多くなるため、計測および通信の省力化・無線化が課題であった。

そこで、IoT (Internet of Things) 用途での活用が期待されている Sigfox 規格に対応した動ひずみ計測装置を開発した。Sigfox は LPWA(Low Power Wide Area Network)と呼ばれる無線通信規格の 1 つで、省電力で広域をカバーすることができ、スマートフォンなどと同様に公共の無線基地をサーバーとして利用できる。ピエゾ素子センサーが出力される電圧信号 (12mV が  $1\mu$ ひずみに対応) をフィルタリングした後に、電圧の実効値を計算する回路を製作した。実効値はデータポイント数が少ないため、LPWA の規格でも十分に無線通信が可能である。

図 11 に開発した計測装置および実験結果を示す。計測装置にはピエゾ素子センサーを 4CH 接続でき、1 日に 1 回程度の計測でスリープモードを利用することで 1.5 年ほど電池の交換なしに計測を継続できる。次年度以降に、計測の間隔などを見直すことでさらなる省電力化を目指す。開発した動ひずみ計測装置を前節で報告した天井・機器の試験体に取り付け、加速度応答との対応を調べた。異なる入力レベルに対する天井下地材の動ひずみ実効値 (実践) は、天井の加速度応答 (破線) と非常に良く対応していた。



(a)動ひずみ計測装置 (b) 試験体への設置状況 (c) 計測結果

図 11 Sigfox 規格による動ひずみ計測

### (c) 結論ならびに今後の課題

- 研究 4 年目の E-ディフェンス大型振動台実験に向けて、医療施設に求められる耐震基準を満足する耐震棟試験体を設計した。試験体の運搬方法や吊り方などを詳細に検討した結果、基礎を含めた試験体の高さを若干低くする必要が出てきた。また倒壊を防止するための防護フレームの配置について検討を継続する。
- 試験体に入力する地震動を選定した。次年度は免震試験体の振動特性を評価し、長周期地震動の採用も視野に入れた加振計画を策定する。

- 試験体の挙動を記録するための計測計画を検討した。次年度は非構造部材について計測計画の検討を進めるとともに、他グループによる付加計測を含めた総合的な計画を策定する。
- 病院施設の高機能設備や非構造部材の耐震度合を評価するため、配管および天井・機器の要素実験を実施した。今後は、これらの実験結果をもとに、設備と非構造部材の配置を決定する。
- 入手可能な医療機器のリストを策定した。今後は、医療関係者と協議しながら、各居室における医療機器のレイアウト策定を進める。
- 広帯域省電力無線通信に対応した動ひずみ計測装置を開発し、その基本性能を検証した。次年度以降は、鋼構造建物の損傷モニタリングにより適した計測仕様を模索するとともに、得られた応答の精度をより詳細に検証する。

#### (d) 引用文献

1. Kurata, M., Li, X., Fujita, K., Yamaguchi, M. "Piezoelectric Dynamic Strain Monitoring for Detecting Local Seismic Damage in Steel Buildings," Smart Materials and Structures. 22, 115002, 2013.9.
2. Suzuki, A., Kurata, M., Li, X., and Shimmoto, S. "Residual Structural Capacity Evaluation of Steel Moment-Resisting Frames using Dynamic-strain-based Model Updating Method," Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 46(11), pp. 1971-1810, , 2017.9.
3. Matarazzo, T.J., Kurata, M., Nishino, H., Suzuki, A. "Post-earthquake strength assessment of a steel moment-resisting frame with multiple beam-column fractures using local monitoring data," Journal of Structural Engineering, Vol. 144(2), , 2018.2.

#### (e) 学会等発表実績

##### 1) 学会等における口頭・ポスター発表

発表成果（発表題目、口頭・ポスター発表の別）	発表者氏名	発表場所（学会等名）	発表時期	国際・国内の別
Damage State Classification of Expansion Joints Based on Shake Table Test Part I: Experimental Plans and Results, 口頭	Masahiro Kurata, Yu Otsuki, Konstantinos Skalomenos, Yoshiki Ikeda	平成 30 年度日本建築学会 近畿支部研究発表会	2018 年 6 月	国内
Damage State Classification of Expansion Joints Based on Shake Table Test Part II: Fragility Analysis, 口頭	Yu Otsuki, Masahiro Kurata, Konstantinos Skalomenos, Yoshiki Ikeda	平成 30 年度日本建築学会 近畿支部研究発表会	2018 年 6 月	国内

Seismic Performance Assessment of Expansion Joints through Shaking Table Test - Part I Test Plans and Results -, 口頭	Masahiro Kurata, Yu Otsuki, Konstantinos Skalomenos, Yoshiki Ikeda	平成 30 年度日本建築学会 全国大会（東北）	2018 年 9 月	国内
Seismic Performance Assessment of Expansion Joints through Shaking Table Test - Part II Development of Fragility Functions and Reliability Analysis-, 口頭	Yu Otsuki, Masahiro Kurata, Konstantinos Skalomenos, Yoshiki Ikeda	平成 30 年度日本建築学会 全国大会（東北）	2018 年 9 月	国内

## 2) 学会誌・雑誌等における論文掲載

掲載論文（論文題目）	発表者氏名	発表場所 （雑誌等名）	発表時期	国際・国内の別
Damage Sequence and Safety Margin Assessment of Expansion Joints by Shake Table Testing	Otsuki, Y., Kurata, M., Skalomenos, K.A., Ikeda, Y.	<i>Earthquake Engineering and Structural Dynamic</i>	2019 年 1 月	国際
Fragility Function Development and Seismic Loss Assessment of Expansion Joints,	Otsuki, Y., Kurata, M., Skalomenos, K.A., Ikeda, Y.	<i>Earthquake Engineering and Structural Dynamic</i>	2019 年 3 月に採録決定	国際

## 3) マスコミ等における報道・掲載

なし

### (f) 特許出願，ソフトウェア開発，仕様・標準等の策定

#### 1) 特許出願

・ なし

#### 2) ソフトウェア開発

なし

#### 3) 仕様・標準等の策定

なし

### **(3) 平成31年度業務計画案**

研究4年目のEーディフェンス大型振動台実験に向けて、試験体を本設計し、各居室への高機能設備・什器の配置計画を策定する。また試験体の運搬方法や設置方法を含めた実験計画、計測計画、ならびに加振計画を策定する。更に、Eーディフェンス大型振動台実験に適用する高機能設備の自動性能評価システムの構築に繋げる。

### 3.3 非構造部材を含む構造物の崩壊余裕度に関するデータ収集・整備

#### 3.3.4 室内空間における機能維持

##### (1) 業務の内容

###### (a) 業務の目的

非構造部材、屋内設備、家具、什器等に関して、地震時の損傷挙動データを収集するとともに、損傷被害検証手法のガイドライン、被害対策法、地震被害センシング手法を提案する。具体的には、各種非構造部材、屋内設備、家具、什器等の地震動による損傷が再現可能な大型振動台実験用試験体（主要構造部材は無損傷に留め、内部に設置する非構造部材、屋内設備、家具、什器等を実験毎に取り換えることで、繰り返し使用が可能な実験ユニット）を製作し、さまざまな地震動に対して各非構造部材の損傷に関するデータを収集・蓄積する。さらに、それらのデータを整備・検討して、被害モニタリング手法の構築をめざす。

###### (b) 平成30年度業務目的

Eーディフェンス大型振動台実験に用いる試験体一部の設計製作を継続する。室内被害評価モニタリング手法の構築のため、監視カメラ等による室内映像（実験映像）を用いた被害状況を評価するための手法の検討、実験に用いるセンサの検討や、データ分析手法の提案等を行う。

###### (c) 担当者

所属機関	役職	氏名
防災科学技術研究所地震減災実験研究部門 (防災科学技術研究所兵庫耐震工学研究センター)	部門長 センター長	梶原 浩一
防災科学技術研究所地震減災実験研究部門	主任研究員	佐藤 栄児
豊橋技術科学大学大学院工学研究科	助教	林 和宏

##### (2) 平成30年度の成果

###### (a) 業務の要約

- ・室内空間の振動台実験に向けて、「室内空間を中心とした機能保持のための研究会」（関連機関および各種メーカーが参加）を実施し、実験研究計画の立案、非構造部材、屋内設備、家具、什器等の選定および過去の地震被害調査を実施した。
- ・室内空間の振動台実験に向けて、試験体内部に室内空間を再現し繰り返し使用可能な試験体ユニットの検討を行った。
- ・監視カメラ等による室内映像（実験映像）を用いた被害状況の評価手法の検討を行った。
- ・室内空間における非構造部材の被害モニタリング手法提案に向けて、簡易地震計、スマートフォン、感震ブレーカーを用いた振動センシングの可能性を検討した。
- ・本年度実施された Eーディフェンス大型振動実験に参加し、各種センシングデバイスを用いて建物の振動応答を取得した。



## (b) 業務の成果

### 1) 室内空間の振動台実験に向けた検討

#### 1) はじめに

過去の地震災害において、室内における非構造部材、家具什器による被害が施設の機能の低下とともに人的被害や経済的被害を引き起こしている。本研究では、実験的検証手法の確立、被害判定法や対策方法の検討などを実施し、地震時における室内空間のより効果的な機能維持を実現させ、得られた成果の展開をめざす。そのため、以下の項目ごとに研究を推進する。

- 1) 機能維持性能の検証システムの確立と標準化
- 2) 機能維持に関わる判定法の科学的創出
- 3) 総合的な耐震性向上・機能維持のための対策検討
- 4) 人的影響・防災教育システムの検討

#### 2) 被害状況の評価手法の検討

##### a) 動画による被害モニタリングの検討

室内空間の被害評価システムとして、防犯カメラなどの映像から動画解析を用い評価する方法について試みた。図1に、E-ディフェンスで過去に実施された振動実験で収録された動画データを用いて画像解析を実施した結果の1例を示す。解析では、初期状態からの変化がみられるものを赤で、直前の状態から変化がみられるものを青で示す。現状では、単純な解析方法であるが、今後は家具等の物品や非構造部材を検出し、それらの変化および移動などの物理量を評価し、それらの物理量と実被害評価とを関係性を導きだし、被害評価システムの構築をめざす。



図1 室内被害の画像解析（左：原画像、右：解析画像）

##### b) 室内被害状況判定手法の検討

オフィス・店舗等の建物には既に多くの監視カメラが設置されており、その映像には地震時における室内の状況も記録されている。これらの映像を自動で分析して被害状況を判定することが出来れば、室内状況把握にかかる時間を大幅に短縮できる可能性がある。そこで、発災直後の対応順序を決めるためのスクリーニングに役立つ被害状況把握システムの構築に向けて、カメラ映像から被害状況を評価するための手法について検討を行った。

図2に被害判定手法の開発および判定の自動化に向けた検討のフローを示す。カメラ映像から自動的に被害状況を判定するにあたり、機械学習等を用いることを想定している。その学習デー



タの元となるカメラ映像と被害状況の対応は以下の手順で検討した。

- a) 被害判定フローを策定する。
- b) 収集した各映像データに対し、a)で設定したフローに従い、定性的被害状況（人が感じる被害の大小）と定量的被害状況（食器棚が倒れている等）を整理する。
- c) 定性的被害状況と定量的被害状況を確認する。

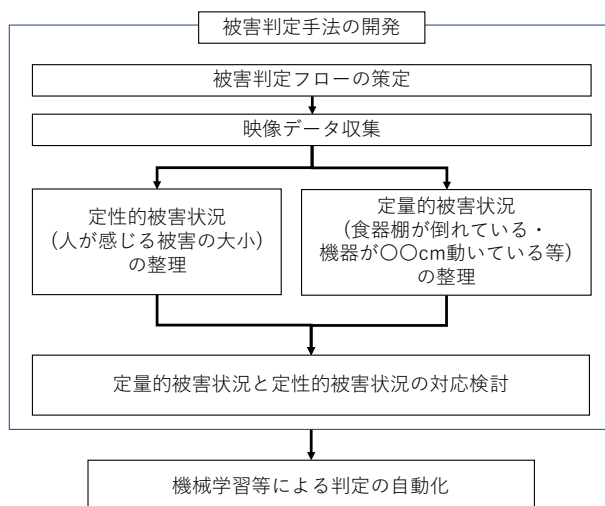


図2 検討のフロー

ここでは、E-ディフェンスにおける振動実験映像<sup>1)</sup>を用いた。表1に検討に用いたカメラ映像の概要を示す。検討に用いた映像の数は全819個の内626個で、部屋用途別の映像数は、病院>住宅>オフィス>学校の順となっている。

表1 検討に用いたカメラ映像の概要

検討対象 Eディフェンス 実験数	動画の数						
	総数	検討に 用いた 数	部屋用途内訳				
			住宅	オフィス	病院	学校	その他
14 (2006～2012年)	819	626	72	47	201	14	292

図3に策定した被害判定フローを示す。このフローは人的被害を対象としており、機器の損傷や避難経路の封鎖等の被害については評価対象外である。家具の損傷度と人体の損傷(AIS)の関係について検討された既往の文献<sup>2)</sup>を参考に、「人の有無」、「(家具の) 転倒の有無」、「落下物の有無」、「落下物の危険度」、「家具の移動量」、「(小物の) 散乱の有無」の6つの項目に対してフローの分岐を設けた。被害状況は大・中・小・無の4段階に分けており、被害大はAIS 3.0～4.0（重い打撲～骨折/内臓破裂）、中はAIS1.5～3.0（軽い打撲～重い打撲）、小はAIS1.0～1.5（擦り傷～軽い打撲）を想定している。移動量については、既往の文献<sup>3)</sup>を参考に60cmを閾値として大・小を区分する。フローに従って被害を判定した結果の一例を図4に示す。図には実験映像の概要と加振前後の物の位置と映像のスナップショットを示している。病院のナースステーションを想

定した部屋で、キャスター付きの椅子や機器が長時間にわたって大きく移動し続ける映像である。フローに従うと、被害の判定は「中」(図3の太線参照)となり軽い打撲～重い打撲が想定される判定となった。映像上では激しく椅子がぶつかる場面があり、妥当な判定と考えられるが、人によっては椅子の重量が軽いことを考慮して「被害小」と判定する場合も考えられる。

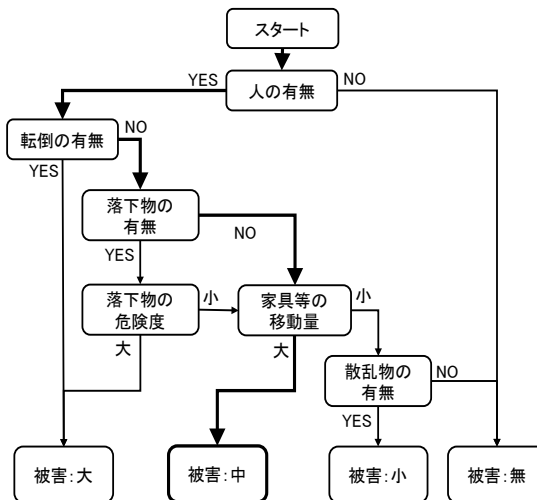


図3 被害判定フロー

スタッフステーション北東カメラ

初期位置  
加振後位置

カメラ

フローによる判定結果：被害中

実験：2008年度 重要施設の耐震実験  
加振ケース：三の丸波 100% 免震構造  
被害状況：

- ・人：3名
- ・転倒物：無し
- ・落下物：無し
- ・散乱物：無し
- ・家具等の移動
  - ・ワゴン：1m以上の移動（棚等への衝突有）
  - ・椅子：1m以上の移動（棚等への衝突有）
  - ・エマージェンシーカート：1m以上移動
  - ・テーブル：20cm程度の移動
- ・その他：棚のトレイが前方に飛び出し  
輸液ボトル落下・破損（カメラの画面外）

加振前

加振後

図4 被害判定フローによる判定例

定性的被害判定結果は、人によりばらつく可能性がある。そこで表2に示す5人を対象に評価を実施した。各人が直感的に感じた被害の大きさ(大・中・小・無)を判定値として記録するようにした。また、人(マネキン)がいない場合でも、いると想定して判定する。音については、監視

カメラ等は音を撮っていない場合が多いため、音無しで判定する。

表 2 定性的被害状況の評価者

評価者	性別	年代	評価者	性別	年代
A	女性	40代	D	男性	30代
B	女性	30代	E	男性	20代
C	男性	30代			

図 5 に定性的被害状況の判定結果の例を示す。図には加振前後のスナップショットと各評価者の判定結果の一覧を示している。この映像は、住居の子供部屋にて背の高い棚が転倒しているため、どの評価者も被害大と判定した。

図 6 はオフィスの執務空間の映像で、被害判定結果が評価者によって小～大にばらついたものである。この映像では右側奥のパーティションが転倒しており、このパーティションを重い危険なものと認識したかどうかで判定結果が分かっていた。

図 7 は病院で人がベッドに横になって透析を受けている状況が想定されており、ベッド横の透析器がロックをしながら動いている映像である。判定者は全員医療従事者ではなく、透析中に機器が動くことの危険度に関する知識を持ち合わせておらず、危険度の認識が評価者毎に異なったことにより判定結果に差が出てきていた。

以上の結果より、人は純粋に映像だけで判断しているのではなく、その映像に関連した情報を無意識に付加した上で被害を判定しており、それがばらつきの一因となっていることが分かった。判定結果のばらつきに影響が大きい付加情報としては、主に以下のようなものがみられた。

- a) 部屋の重要度（手術室かどうか等）
- b) 移動・落下・転倒するものが危険なものかどうか（重いか、割れるか、薬品が飛び散ると危ないかどうか、少し動くだけでも危ないものなのか等）
- c) 部屋にどんな人がいるのか（小さな子供か、病人か、年配者か、元気に動くことができる人か等）

現状では評価者の数が少ないが、今後評価者の数を増やして、ばらつきの要因や影響度を詳細に分析することにより、自動判定時における被害推定精度の向上につながると考えられる。

室内被害の程度を映像から自動で推定するには、定量的被害状況と定性的被害状況の関連性について検討する必要がある。今回の検討では、定量的被害状況である「転倒の有無」・「移動の有無」・「大きな落下物の有無」・「小物類の散乱」に対して表 3 のような被害スコアを設定し、映像毎に求めた被害スコアの累積値と定性的被害判定値の関係について検討した。図 8 に、評価者 A に対する定性的な被害判定値と被害スコアの関係図を示す。大局的には定性的被害と被害スコアの相関は見られるものの、ばらつきが大きい結果となった。今後、ばらつきの要因を考慮し、部屋の重要度や移動・落下・転倒した物の重量や危険度を考慮して被害スコアに補正をかけることで、ばらつきを小さく出来る可能性について検討する。



評価者	A	B	C	D	E
判定	大	大	大	大	大

図5 定性的被害状況判定結果  
(被害：大)



評価者	A	B	C	D	E
判定	小	小	大	大	大

図6 定性的被害状況判定結果  
(被害：小～大)

表3 被害スコアのカウント方法

定量的被害	被害スコア
転倒の有無	有：+10、無：0
移動の有無	移動量大：+5、移動量小：+1、無：0
大きな落下物の有無	有：+10、無：0
小物類の散乱	有：+2、無：0



評価者	A	B	C	D	E
判定	中	中	中	大	小

図7 定性的被害状況判定結果 (被害：小～大)



図8 定性的な被害判定値と被害スコア

### 3) 検証用試験体ユニット

E-ディフェンスで用いる室内空間を再現し繰り返しの振動実験が可能な試験体ユニットを検討している。本試験体ユニットは、室内空間として床、天井、間仕切壁、家具、什器、室内設備機

器等を設置し、実際の居住空間（住居、オフィス、商業施設等）を再現させ、試験体ユニットごと E-ディフェンス上に搭載し、過去の観測地震動、今後想定される地震動、あるいはそれらの地震動による建物の床応答波での加振実験を行い、室内空間の被害様相の把握、室内空間の安全性の検証を実施するものである。1つの試験体ユニットの広さは、 $40\text{m}^2$  ( $8\times 5\text{m}$ ) 程度とし、平面方向および上下方向に複数組み合わせることでより広い空間での評価も可能となる。試験体ユニットを最大限組み合わせさせた場合の構想案を図9に示す。

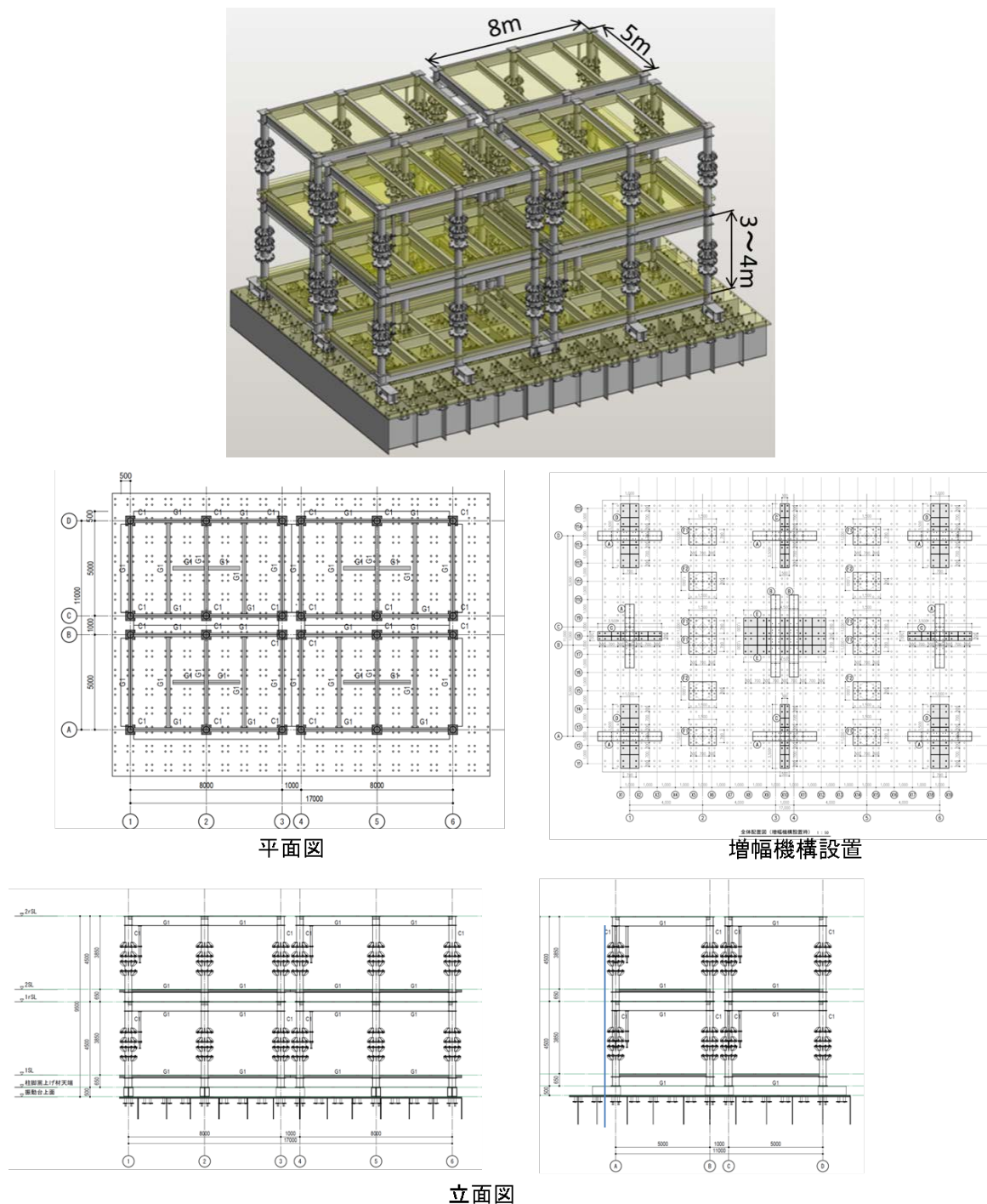


図9 試験体ユニット



#### 4) 室内空間を中心とした機能保持のための研究会

室内空間は多種多様であり、それぞれの状況に応じて被害状況やその対応などが異なってくる。そのため、効果的な研究推進をめざし、産業界や防災関連機関と協力するための研究会を立ち上げている。本年度は、4回（5/14、8/24、11/16、2/19）開催とEーディフェンス実験の見学会（2/7：「地盤配管設備等を再現した木造3階建て住宅の機能を検証するための振動台実験」（首都レジサブC課題1））を開催し、研究推進に関する議論等を行ってきた。現時点での研究会のメンバーを示す。

IMV(株)、NPO 安心安全のまちづくり機構、(株)イトーキ、(株)オカムラ、カリモク皆栄(株)、(株)桐井製作所、(株)構造計画研究所、(独) 国民生活センター、コクヨ(株)、コマニー(株)、セコム(株)、センクシア (株)、大成建設(株)、TOA(株)、東京消防庁、豊橋技術科学大学、日東工業(株)、(一社)日本オフィス家具協会、(一社)ビジネス機械・情報システム産業協会、(株)日立製作所、藤澤建機(株)、フリーアクセスフロア工業会、プラス(株)、(一社)防災事業経済協議会、(株)山小電機製作所、(一社)防災機器検査協会（順不同）

多種多様な室内空間での評価を実施するため、今後も研究会への参加メンバーを求めつつ研究を推進する。

#### II) 室内空間における非構造部材の被害モニタリングに向けたEーディフェンス実験

地震時に被害を受ける室内空間の非構造部材については、主として対象となる室内の床応答加速度記録から、その程度を推定できる可能性が高い<sup>4)~8)</sup>など。本年度は、Eーディフェンスで実施された実物木造住宅振動破壊実験に参加し、室内空間が被害を受けた際の建物各階の床応答加速度記録を取得した。

本年度は、図10に示すIT強震計（簡易地震計）、図11に示すスマートフォン、図12に示す感震ブレーカーを対象とし、Eーディフェンス実験試験体に設置した。表4は、上記3デバイスの概要一覧である。また図13に各デバイスのセンサ部取り付け位置概要を示す。

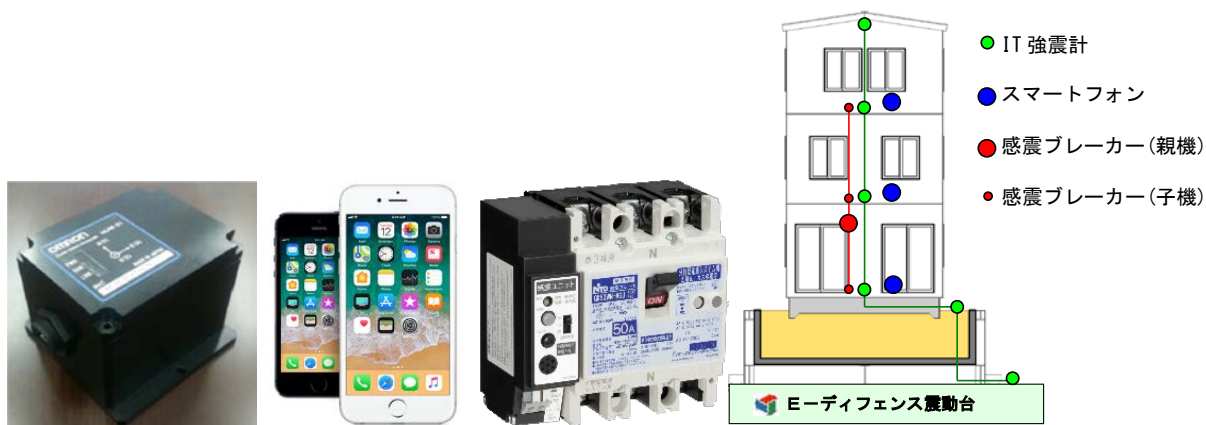


図10 IT強震計

図11 スマートフォン

図12 感震ブレーカー

図13 センサ部設置位置

表 4 各デバイスのセンサ部情報

	IT 強震計	スマートフォン	感震ブレーカー
大きさ (mm)	95 × 95 × 72	123 × 59 × 6	50 × 107 × 60
加速度センサ	MEMS	MEMS	MEMS
計測軸数	3 軸	6 軸	3 軸
計測レンジ (gal)	±2450	±2000	±2000
ノイズレベル	0.1gal 以下	2gal 程度	10gal 程度

E-ディフェンス試験体は図 14 に示す 3 階建て住宅 2 棟である。住宅は耐震等級 3 の軸組み構造と枠組み構造である。試験体木造住宅の一次固有周期は長辺方向が 0.17sec、短辺方向が 0.23sec であった。実験は 2019 年 1 月 31 日、2 月 1 日、7 日、12 日の 4 日間である。ここでは、2 月 7 日に実施された JMA 神戸波 100%加振の記録を示す。



図 14 実物木造住宅を対象とした E-ディフェンス実験

図 15 は軸組み住宅 1 階で計測した床応答加速度履歴を、図 16 は同記録に基づく加速度応答スペクトルを示す。加速度履歴、スペクトルの双方で、IT 強震計、スマートフォン、の応答は精度よく対応している。感震ブレーカーについては、短辺方向の高周波域でやや応答が過少であるものの、全体としては IT 強震計の記録と概ね対応している。これは、本来地震計として製作されてはいないスマートフォンや感震ブレーカーを用いた地震時室内被害評価に、可能性があることを示している。



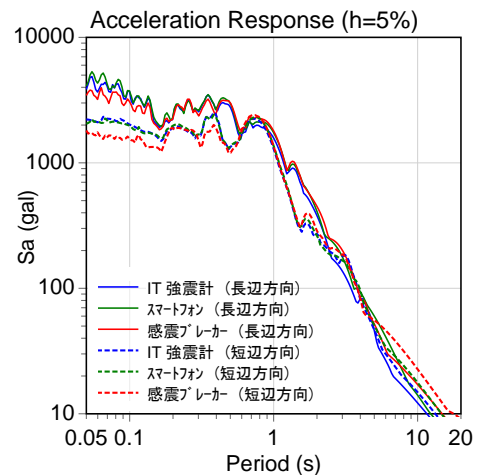
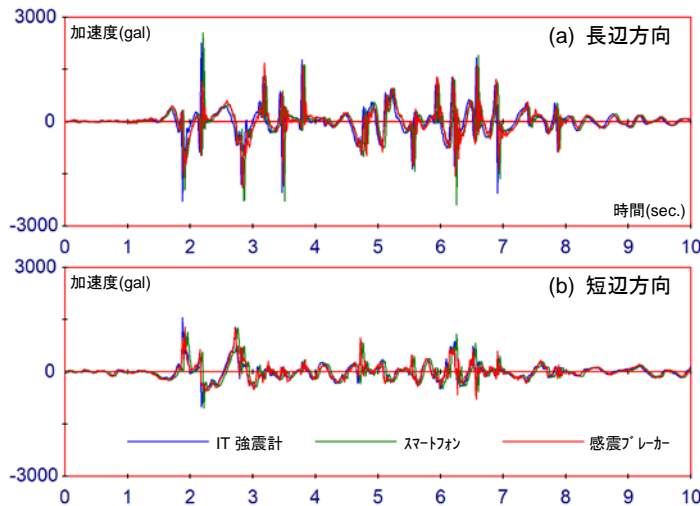


図 15 軸組木造住宅 1 階床面の加速度応答記録 (0-10sec)

図 16 加速度応答スペクトル

### (c) 結論ならびに今後の課題

室内空間の振動台実験に向けて、「室内空間を中心とした機能保持のための研究会」（関連機関および各種メーカーが参加）を実施し、実験研究計画の立案、非構造部材、屋内設備、家具、什器等の選定および過去の地震被害調査を実施した。

室内空間の振動台実験に向けて、試験体内部に室内空間を再現し繰り返し使用可能な試験体ユニットの検討を行い、最終年度での振動実験の方向性を確定させた。

監視カメラ等による室内映像（実験映像）を用いた被害状況の評価手法の検討を行い、映像による被害状況の把握の可能性と問題点を明らかにした。

室内空間における非構造部材の被害モニタリング手法提案に向けて、簡易地震計、スマートフォン、感震ブレイカーを用いたセンシングを実施した。実物木造住宅を対象とした E-ディフェンス大型振動破壊実験では、1 階床面の加速度記録において、本来地震計として製作されていないスマートフォンや感震ブレイカーの取得記録が、簡易地震計の物と概ね対応していた。これは、スマートフォンや感震ブレイカーなどの簡易デバイスを用いた地震時室内被害評価に、可能性があることを示している。

### (d) 引用文献

- 1) 防災科学技術研究所：ASEBI、<https://www.edgrid.jp/>
- 2) 岡田成幸・菅正史：地震時の室内家具転倒を機転とする人体損傷評価：家具の損傷度関数と多発外傷重症度指標の導入、2003
- 3) 東京消防庁：家具類の転倒・落下・移動防止対策ハンドブック、2012.
- 4) 金子美香：地震時における家具の転倒率推定方法，日本建築学会構造系論文集，Vol.67, No.551, pp.61-68, 2002.
- 5) 金子美香，神原浩，小川雄一郎，菅谷善昌：グリッド天井の耐震性能確認実験，日本建築学会学術講演梗概集，B-2, pp.507-508, 2006.
- 6) 文部科学省大都市大震災軽減化特別プロジェクト：高層建物内の地震時安全性評価技術の開

発, 平成 18 年度成果報告書, III.2-3.1, 2006.

7) 河村哲哉, 翠川三郎, 三浦弘之, 松田和浩, 正月俊行: 振動台実験と数値シミュレーションを用いたオフィス用パーティションの地震時挙動の把握, 日本建築学会学術講演梗概集, pp.181-184, 2014.

8) 日本建築センター: 建築設備耐震設計・施工指針, 2014.

**(e) 学会等発表実績**

**1) 学会等における口頭・ポスター発表**

発表成果（発表題目、口頭・ポスター発表の別）	発表者氏名	発表場所（学会等名）	発表時期	国際・国内の別
地盤配管設備等の非構造部材を含む 3 階建て住宅の機能を検証する E-ディフェンス実験（首都圏レジリエンスプロジェクト）その 4 損傷モニタリング、口頭	林和宏, 山田有孝, 佐藤栄児	日本建築学会学術講演梗概集	2018 年 9 月	国内
防災拠点建物を対象としたリアルタイム耐震診断システムの社会実装ー市役所庁舎へのシステム導入とその運用状況、口頭	林和宏, 齊藤大樹	第 15 回日本地震工学シンポジウム（2018）	2018 年 12 月	国内

**2) 学会誌・雑誌等における論文掲載**

・ なし

**3) マスコミ等における報道・掲載**

報道・掲載された成果（記事タイトル）	発表者氏名	発表場所（新聞名・TV 名）	発表時期	国際・国内の別
地震の建物損傷を簡単判断へ実験	林和宏	NHK 東海・北陸	2019 年 2 月	国内

**(f) 特許出願, ソフトウェア開発, 仕様・標準等の策定**

**1) 特許出願**

・ なし

**2) ソフトウェア開発**

名称	機能
建物被害モニタリングシステム	本年度実施の E-ディフェンス実験において、簡易地震計等のセンサデバイスの記録を一元的に収集・管理し、即座に視覚的情報として描画する。

### 3) 仕様・標準等の策定

- ・ なし

### (3) 平成31年度業務計画案

Eーディフェンス大型振動台実験に用いる試験体の設計・製作、実験計画の策定を継続する。また、非構造部材の被害判定法の検討を継続し、具体的な手法について提案する。特に室内空間の映像等に評価法の確立をめざし、実験映像を用いた定量的評価と定性的評価の相関についての検討等を行っていく。また、「室内空間を中心とした機能保持のための研究会」の継続し、Eーディフェンス大型振動台実験に向けた準備検討を引き続き実施していく。さらに、実験に用いるセンサの検討や、データ分析手法の提案を引き続き実施する。ここで、センサは簡易地震計やスマートフォンなど安価なデバイスを主に検討し、インターネットを通じたリアルタイムデータ共有に向けた取り組みを進める。

### 3.3 非構造部材を含む構造物の崩壊余裕度に関するデータ収集・整備

#### 3.3.5 データ収集・整備と被害推定システム構築のためのデータ管理・利活用検討

##### (1) 業務の内容

###### (a) 業務の目的

本委託業務では、「⑤データ収集・整備と被害推定システム構築のためのデータ管理・利活用検討」として、①～④で実施する4つのE-ディフェンスによる大型振動台実験の成果、これまでにE-ディフェンスで実施された各種実験のデータ、既設の常時地震観測記録等の情報を収集・整理・統合し、今後の防災への利活用方策検討、および一般・関連団体等への公開・普及を図る。

###### (b) 平成30年度業務目的

本年度は、課題①のチームと連携しながら、木造建物実験におけるセンサ配置計画を策定する。また、層間変位センサの設置に必要な、実験模型の寸法にあわせたキャリブレーションを実施する。E-ディフェンス実験において、種々のデータ計測を行うが、特に、無線センサの性能に焦点をあてる。加えて、前年度に東京の多くの高層建物群にセンサが配置されたときの広域危険度判定のスキームとして、簡易な「応答スペクトル」を提案したが、センシングデータの迅速な収集システムの検討も含めて、より具体的なあり様を検討する。ひきつづき、サブプロジェクト(b)等との連携により、サブプロジェクト(b)が収集する既設の常時地震観測記録を断続的に利用し、地盤-建物系の地震応答評価精度の向上に向けた取り組みを進める。

###### (c) 担当者

所属機関	役職	氏名
早稲田大学 理工学術院	教授	西谷 章
早稲田大学 理工学術院	教授	谷井 孝至
早稲田大学 理工学術院	助手	服部 晃平
足利大学 工学部 (早稲田大学 研究院)	准教授 (客員准教授)	仁田 佳宏

##### (2) 平成30年度の成果

###### (a) 業務の要約

- ・ <テーマ1> 木造建物E-ディフェンス実験に向けたセンサ配置計画の策定とE-ディフェンス実験における種々のデータ計測の実施。
- ・ <テーマ2> 層間変位センサの、実験模型寸法にあわせたキャリブレーションの実施。
- ・ <テーマ3> 簡易な「応答スペクトル」推定に向けたデータ収集システムの検討。
- ・ <テーマ4> 既設センサによる地盤-建物系の地震観測記録の収集と地震応答評価制度向上に向けた取り組み。

(b) 業務の成果

〈テーマ1〉 木造建物Eーディフェンス実験に向けたセンサ配置計画の策定とEーディフェンス実験における種々のデータ計測の実施。

・木造建物の設計を担当した「課題①」の名古屋大学チームと緊密に連携し、平成30年度の木造建物Eーディフェンス加振実験に向けて、具体的な建物寸法・形状、建物平面に合わせて複数種の無線センサ、層間変位センサを中心としたセンサ設置計画を策定した。木造建物の施工段階からの現地での打合せ、建物ほぼ完成段階での打合せを行って、層間変位センサのデータ送信のための配線計画も含めた計測システムの策定を行った。




・上述のセンサ設置計画に基づいて、平成31年1月～2月のEーディフェンス加振実験において種々の計測を行った。

使用した無線センシングシステムについては、表1にまとめている。Eーディフェンス実験を通して、無線センサの性能となる「時刻同期精度」「通信速度」「電源供給」などの点を検証した。この検証から、センサごとの長所短所を確認でき、同時に計測時の問題点・今後の実験および将来に向けての改善点を抽出することもできた。次の実験に生かすため、今後メーカーと協議して改善をはかる。

・無線センサは、さまざまな理由・事情からデータ計測が行えない事態が生じる可能性もあり、事実、今回のEーディフェンス実験でも一部データ取得ができなかった例もあった。表2は、今回の実験における以下の定義による「データ取得率」を示したものである。

$$\text{データ取得率} = \left(1 - \frac{\text{欠測個数}}{\text{センサ数} \times \text{加振回数}}\right) \times 100(\%)$$

表1 無線センシングシステムの一覧

システム名称 (メーカー)	構成	サンプリング 周波数(Hz)	実験時の 収録方法
sonas (ソナス) 	センサ 10 台 シンクノード 1 台 PC 1 台	100	センサ内蔵 microSD カードにて収録、実 験後回収
Swing Minder (四国総合研究所) 	センサ 4 台 親器 1 台 ルータ 1 台 PC 1 台	200	センサ内蔵 microSD カードにて収録、実 験後回収
Swing Minder II (四国総合研究所) 	センサ 10 台 親器 1 台 ルータ 1 台 PC 1 台	200	センサ内蔵 microSD カードにて収録、実 験後回収

<p style="text-align: center;">G-Link (LORD)</p> 	<p>センサ 10 台 親器 2 台 ルータ 1 台 PC 1 台</p>	128	<p>無線にて PC にリアルタイムで転送、収録</p>
<p style="text-align: center;">iPod Touch (Apple)</p> 	<p>センサ 4 台 PC 1 台 (スマートフォンによる簡易計測が目的)</p>	100	<p>機器内収録(白山工業製 i 地震使用)</p>

表 2 各センサのデータ取得率

センサ名	Sonas	Swing Minder	Swing Minder II	G-Link	iPod
センサ数	10	4	10	10	4
加振回数	26	26	26	26	26
欠測数	2	17	35	58	30
データ取得率	99%	84%	87%	78%	71%

・層間変位センサに関しては、一部、実験中間段階での、実験対象建物の基礎固定条件変更などの作業にとれない計測不能となった箇所もあったが、おおむね計測は順調に行われた。加速度データからの積分により算出する変位との比較なども含めた、詳細なデータ検証は、2019 年度に行う。

・今回の実験に際して、将来的な、映像による室内被害判定も視野にいれ、ドローンを用いた映像データ合成を試みた。震動台のある建屋内でのドローン飛行には制約があるため、建屋内への搬入前に、複数角度からの撮影を行って全体画像を合成した。

### 〈テーマ 2〉層間変位センサの、実験模型寸法にあわせたキャリブレーションの実施。

・層間変位センサ<sup>1)</sup>は、「光源部」と「受光部」からなる(写真 1)。「光源部」が「受光部」の真上にあれば、「受光部」内の電流・電子の流れは均一であるが、両者の相対的な位置がずれると、この流れが変わる。この流れの変化から、「光源部」の「受光部」からの相対的なズレを特定し、「層間変位」を計測している<sup>1)</sup>。精確な層間変位データ計測にあたっては、「光源部」と「受光部」の設置位置の寸法に合わせたキャリブレーションが必要で、設置する全センサのキャリブレーションを行った(このキャリブレーションには、購入した、専用の機器「XY ステージ」を利用する)。なお、層間変位センサについては、計測精度のさらなる向上に向けた機器としての改良(センサ設置箇所の相対傾斜角データの同時取得、小型化・軽量化等)を本年度も継続的に実施している。今回の木造建物実験への設置には至っていないが、引き続き改良を継続する。

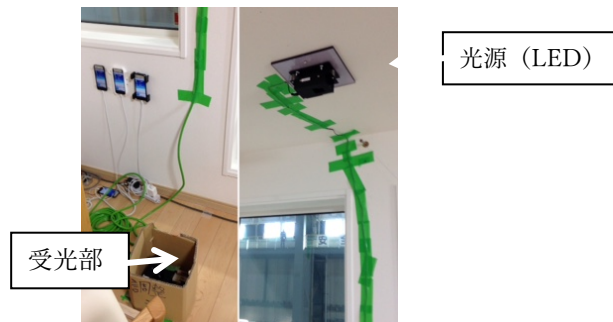


写真 1 : 層間変位センサ

### 〈テーマ 3〉 簡易な「応答スペクトル」推定に向けたデータ収集システムの検討。

・地震直後の広域的な危険度判定スキームとして、23 区ごとの簡易的な、計算不要の「応答スペクトル」推定を前年度に提案した<sup>2)</sup>。この実現には、首都圏の多くの建物最上階への加速度センサ設置が前提となるが、データとして時刻歴は不要であり、最大値のみが取得できればよい。特別な計算を行わずに、最大値と建物固有周期情報（建物高さ情報からの算定も可能）から「加速度応答スペクトル」の簡易評価が可能である。この実現に向けて、センサ・メーカーと、低価格帯の、最大値のみを記録する加速度センサの、開発・製造の可能性を検討し、またデータ送信のあり方として最大値データのみを送信受信するための、簡易で効率的なシステム構築の可能性についての検討も行った。また、日常的に、多くの建物の揺れを観測しているエレベータ会社のデータ利用可能性に関して、エレベータ会社との議論も行った。

### 〈テーマ 4〉 既設センサによる地盤－建物系の地震観測記録の収集と地震応答評価制度向上に向けた取組み。

・自由学園、成蹊学園、豊洲小学校の三建物では、MeSO-net 地震計と文部科学省「都市の脆弱性が引き起こす激甚災害の軽減化プロジェクト」<sup>3)</sup> で設置された地震計による計測を継続している。地盤と建物の観測記録データを利用して、建物被害有無の判定にも利用可能な、地盤－建物系の精度のよい応答解析モデルの構築を目指している。本年度は、豊洲小学校地点において、地盤を 3 次元有限要素モデル、建物を多質点モデルとする連成系モデルによって、建物近接地盤の応答を評価した。また、Sway-Rocking モデル (SR モデル) (図 1) における地盤に関わる諸係数の扱いについて検討を行った。ただし、本年度は比較的大きめの地震は観測されておらず、両検討においても、「建物被害有無の判定」に利用可能となるような、という目的に直結するようなモデル構築には至っていない。

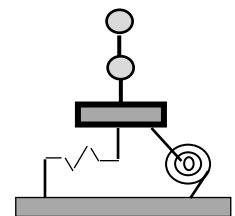


図 1: 建物－地盤連成系 SR 解析モデル

### (c) 結論ならびに今後の課題

- ・事業計画書にあげた項目に関してはほぼ予定通り進捗している。
- ・E-ディフェンス実験が 1 月～2 月であったため、実験データの主要な解析・検証は平成 31 年度 (2019 年度) となる。
- ・30 年度の実験において、無線センサによるデータ計測をおおむね行っているが、今後に向け



での改善点を抽出することができた。無線センサは、こののち発展、需要増大も見込まれている。将来のため、また今後の実験に生かすために、メーカーと協議して改善を図る。

- ・地域ごとの加速度応答スペクトルの簡易的推定は、地震直後の、応急的、広域的危険度判定に役立てることができる。計測データの効率的な送受信のあり方の検討、とくに地震時に予想される停電など非常事態の電力対応に焦点をあてた検討・検証を行う必要がある。

- ・実在の三建物で観測された地震時データに基づいて、地盤-建物系の解析モデルを作成した。他に比べて地盤性状の複雑な豊洲地点において、地盤を 3 次元有限要素モデルとした解析を行ったことで、現実の応答結果に近づけることはできた。ただ、本年度に発生した地震規模では、建物被害判定に結び付くような検証は行いにくい。比較的、大きめの地震発生時に検証を行う必要がある。

#### (d) 引用文献

- 1) Matsuya, I., Tomishi, R., Sato, M., Kanekawa, K., Nitta, Y., Takahashi, M., Miura, S., Suzuki, Y., Hatada, T., Katamura, R., Tanii, T., Shoji, S., Nishitani, A., and Ohdomari, I. : Development of lateral displacement sensor for real-time detection of structural damage, IEEJ Transactions on Electrical and Electronics Engineering, 6, pp.266-272, 2011 (DOI:10.1002/tee.20654)
- 2) 西谷章:データ活用による地震後の広域的な安全度・危険度判定への期待と展望(記録資料), 首都圏レジリエンスプロジェクト データ利活用協議会第 3 回シンポジウム「データ利活用が目指す 3 つの先進技術」(主催:防災科学技術研究所)  
[https://forr.cc.niigata-u.ac.jp/duc/archives/sympo\\_20180116](https://forr.cc.niigata-u.ac.jp/duc/archives/sympo_20180116).
- 3) 京都大学防災研究所:都市の脆弱性が引き起こす激甚災害軽減化プロジェクト:サブプロジェクト②都市機能の維持・回復のための調査・研究  
[www.toshikino.dpri.kyoto-u.ac.jp/index.html](http://www.toshikino.dpri.kyoto-u.ac.jp/index.html)

#### (e) 学会等発表実績

##### 1) 学会等における口頭・ポスター発表

発表成果(発表題目、口頭・ポスター発表の別)	発表者氏名	発表場所(学会等名)	発表時期	国際・国内の別
(口頭発表) 建造物の被害推定システム構築のためデータ管理・利活用に関する研究 その1:建物の健全性評価法の大型振動台実験データを用いた検証、論文 No.21063	森井雄史、渡邊享哉、岡沢理映、白石理人、岡田敬一、西谷章	日本建築学会大会	2018年9月	国内

(口頭発表) 構造物の被害推定システム構築のためデータ管理・利活用に関する研究 その2:大型振動台実験に適用する各種無線型加速度センサー性能検証 論文 No.21063	岡田敬一、岡沢理映、白石理人、森井雄史、渡邊享哉、西谷章	日本建築学会大会	2018年9月	国内
(口頭発表) 層間変位センサを用いたモニタリングシステムの実建物への適用、論文 No.21078	畑田朋彦、片村立太、谷井孝至、仁田佳宏、西谷章	日本建築学会大会	2018年9月	国内
(口頭発表) MeSO-net システムと連動した既設地震計を利用した地盤-建物連成計の地震応答解析と震動特性の評価、論文 No.21244	谷沢智彦、酒向裕司、西谷章	日本建築学会大会	2018年9月	国内
(口頭発表) 構造物の被害推定システム構築のためデータ管理・利活用に関する研究 その6 今後の長期モニタリング概要 論文 No.21067	秋山大地、大久保孝昭、寺本篤史、蘇振東、松原大祐、伊藤佑治、西谷章、江尻憲泰、高尾秀幸	日本建築学会大会	2018年9月	国内
(ポスター発表) 地震時レジリエンスの向上を目指す建築都市のモニタリング	西谷章	早稲田オープンイノベーションフォーラム 2019	2019年3月	国内

## 2) 学会誌・雑誌等における論文掲載

掲載論文(論文題目)	発表者氏名	発表場所 (雑誌等名)	発表時期	国際・国内の別
二段階制御を適用した免震構造物の長周期地震動時に対する応答低減効果の検討	井上波彦・仁田佳宏・西谷章	構造工学論文集	2019年3月	国内
限られた階の加速度記録のみに基づく3次スプライン補間による建物全層の応答推定	小寺健三・西谷章・沖原有里奈	日本建築学会構造系論文集	2018年4月	国内

### 3) マスコミ等における報道・掲載

報道・掲載された成果 (記事タイトル)	発表者氏名	発表場所 (新聞名・TV名)	発表時期	国際・国内の別
科学の扉・東北大震災 8年倒壊リスク瞬時に判定	記事に登場するのは、西谷章・楠浩一	新聞記事 朝日新聞	2019年 3月11日	国内

#### (f) 特許出願，ソフトウェア開発，仕様・標準等の策定

##### 1) 特許出願

- ・ なし

##### 2) ソフトウェア開発

- ・ なし

##### 3) 仕様・標準等の策定

- ・ なし

#### (3) 平成31年度業務計画案

平成30年度には、平成31年1月～2月に、木造建物のE-ディフェンス実験を行った。実験実施が年度末であったため、詳細な検証は平成31年度(2019年度)となる。31年度には、取得したデータをもとに、建物被害との関連に焦点をあてた検証を行う。この検証においては、「層間変位直接計測のデータ」と「加速度データから積分によって算出した変位推定値」との比較も重要な検討事項となる。

平成30年度の実験を通して把握できた「順調に推移した点」「問題点」等も踏まえ、平成31年度実施予定のRC建物実験に向けて、課題②のチームと連携しながら、無線センサ、層間変位センサを中心としたセンサ設置計画を策定する。そのうえで、12月前後を予定している実験において計測を行う。無線センサに関してはいくつかの改善点も把握できたので、メーカーと協議して必要な改善・改良を施したうえで、実験に臨む。

計測予定の種々のデータのうち、余裕度・事業継続性の判断に重要な指標を与える層間変位センサによる計測には、実験建物個々の寸法に合わせたキャリブレーションが必要である。XYステージを用いたキャリブレーションを実施して、設置建物に合わせたデータ取得の準備を整える。また、層間変位センサのさらなる高性能化に向けて、引き続きより正確な計測データの取得に向けた改良(センサ設置箇所の相対傾斜角データの同時計測を可能とする改良、小型化・軽量化に向けた改良等)を継続して実施する。

全サブプロジェクトが関係する、民間のデータも含めた「防災のためのデータ利活用」に関連して、以前より提案している地域別の、「簡易応答スペクトル推定」スキームの実現に向け

て、より実用的な観点からの検討を行う。すでに述べたように、このスキームには、通常の応答スペクトルのような応答計算は不要で、建物頂部付近の加速度応答最大値データのみを収集できればスペクトル推定が可能であり、地震直後の速やかな地域別危険度判定に結び付けることができる。特に、大地震時には停電発生も予想されることから、データ送信のための非常時電力供給への対応もふくめた、データ収集のあり方に焦点をあてた検証を行う。

また、ひきつづき、サブプロジェクト(b)等とも連携して、既設の常時地震観測記録を断続的に利用して、地盤－建物系のより精度の高い、建物被害推定にも応用可能な、地震応答評価モデル（建物－地盤連成系モデル）の構築に向けた取り組みを進める。

## 4. 活動報告

### 4.1 サブプロジェクト (c) 運営委員会議事録

#### (1) 第4回 (平成30年度第1回) 運営委員会

1. 日時 平成30年6月11日(月)15時00分～18時00分
2. 場所 早稲田大学 西早稲田キャンパス 55号館S棟5階 首都圏レジリエンスPJ会議室
3. 議題
  - (1) 前回議事録確認前回議事録確認
  - (2) 今年度の業務計画
  - (3) 各課題研究会報告(今年度研究計画等)
  - (4) 今年度の首都圏レジリエンスプロジェクトの活動
  - (5) その他(今後の日程等)
4. 配付資料
  - 4-1 前回議事録(案)
  - 4-2 今年度の業務計画
  - 4-3 研究会審議内容
    - 4-3-1 ① 簡易・広域センシングを用いた広域被害推定・危険度判定
    - 4-3-2 ② 災害拠点建物の安全度即時評価および継続使用性即時判定
    - 4-3-3 ② 災害時重要施設の高機能設備性能評価と機能損失判定
    - 4-3-4 ④ 室内空間における機能維持
  - 4-4 平成30年度 首都圏レジリエンスプロジェクト全体活動およびデータ利活用協議会活動の予定
  - 4-5 委員名簿および会議開催予定

#### 5. 出席者

	氏名	所属
研究統括	西谷 章	早稲田大学 理工学術院
研究統括	梶原 浩一	(国) 防災科学技術研究所 兵庫耐震工学研究センター
委員	長江 拓也	国立大学法人名古屋大学 減災連携研究センター
委員	楠 浩一	国立大学法人東京大学 地震研究所
委員	倉田 真宏	国立大学法人京都大学 防災研究所
委員	井上 貴仁	(国) 防災科学技術研究所 兵庫耐震工学研究センター
委員	佐藤 栄児	(国) 防災科学技術研究所 兵庫耐震工学研究センター
オブザーバー	後藤 祐輔	文部科学省研究開発局 地震・防災研究課 防災科学技術推進室
オブザーバー	山田 豊	文部科学省研究開発局 地震・防災研究課 防災科学技術推進室
オブザーバー	古屋 貴司	(国) 防災科学技術研究所 首都圏レジリエンス研究センター
委員(事務局)	林 和宏	国立大学法人豊橋技術科学大学大学院 工学研究科

## 6. 議事概要

- ・ 前回議事録(案)を確認した。
- ・ 平成 30 年度業務計画書により本年度の業務を確認した。
- ・ 課題①における簡易・広域センシングを用いた広域被害推定・危険度判定について説明があり、議論した。
- ・ 課題②における災害拠点建物の安全度即時評価および継続使用性即時判定について説明があり、議論した。
- ・ 課題③における災害時重要施設の高機能設備性能評価と機能損失判定について説明があり、議論した。
- ・ 課題④における室内空間における機能維持について説明があり、議論した。
- ・ 課題⑤におけるデータ収集・整備と被害推定システム構築のためのデータ管理・利活用検討について説明があり、議論した。
- ・ 平成 30 年度 首都圏レジリエンスプロジェクト全体活動およびデータ利活用協議会活動の予定が示され、議論した。
- ・ E-ディフェンス実験における付加計測については、あくまでサブプロ C が実施の可否を一義的に判断する、実験経験のない企業に公に参加を呼び掛けることはない、実施する場合はサブプロ C 運営委員会委員の先生どなたかが安全面やデータの取り扱いの全責任を負う体制でなければ認めない、ことをサブプロ C 運営委員会の総意として確認した。
- ・ Journal of Disaster Research の特別号については、西谷先生がサブプロ C の全体説明の論文を執筆されるということで調整する。
- ・ 委員名簿および今年度の運営委員会の開催日時を確認した。
  - 第 05 回 (平成 30 年度 第 2 回) = 9/14 (金) 15:00~18:00
  - 第 06 回 (平成 30 年度 第 3 回) = 2/25 (月) 15:00~18:00

### (2) 第 5 回 (平成 30 年度第 2 回) 運営委員会

1. 日 時 平成 30 年 9 月 14 日 (金) 15 時 00 分~18 時 00 分
2. 場 所 早稲田大学 西早稲田キャンパス 55 号館 S 棟 5 階 首都圏レジリエンス PJ 会議室
3. 議 題
  - (1) 前回議事録確認 前回議事録確認
  - (2) 研究会報告(今年度研究進行状況)
  - (3) E-ディフェンス実験における付加計測
  - (4) 平成 30 年度第 3 回データ利活用協議会 シンポジウム
  - (5) その他(今後の日程等)

4. 配付資料
- 5-1 前回議事録(案)
  - 5-2 研究会審議内容
    - 5-2-1 ① 簡易・広域センシングを用いた広域被害推定・危険度判定
    - 5-2-2 ② 災害拠点建物の安全度即時評価および継続使用性即時判定
    - 5-2-3 ③ 災害時重要施設の高機能設備性能評価と機能損失判定
    - 5-2-4 ④ 室内空間における機能維持
    - 5-2-5 ⑤ データ収集・整備と被害推定システム構築のためのデータ管理・利活用検討
  - 5-3 E-ディフェンス実験における付加計測について
  - 5-4 平成 30 年度第 3 回データ利活用協議会 シンポジウムについて

#### 5. 出席者

	氏名	所属
研究統括	西谷 章	早稲田大学 理工学術院
研究統括	梶原 浩一	(国) 防災科学技術研究所 兵庫耐震工学研究センター
委員	長江 拓也	国立大学法人名古屋大学 減災連携研究センター
委員	楠 浩一	国立大学法人東京大学 地震研究所
委員	倉田 真宏	国立大学法人京都大学 防災研究所
委員	井上 貴仁	(国) 防災科学技術研究所 兵庫耐震工学研究センター
委員	佐藤 栄児	(国) 防災科学技術研究所 兵庫耐震工学研究センター
委員(事務局)	林 和宏	国立大学法人豊橋技術科学大学大学院 工学研究科

#### 6. 議事概要

- ・ 前回議事録(案)を確認した。
- ・ 課題①における簡易・広域センシングを用いた広域被害推定・危険度判定について説明があり、議論した。
- ・ 課題②における災害拠点建物の安全度即時評価および継続使用性即時判定について説明があり、議論した。
- ・ 課題③における災害時重要施設の高機能設備性能評価と機能損失判定について説明があり、議論した。
- ・ 課題④における室内空間における機能維持について説明があり、議論した。
- ・ 課題⑤におけるデータ収集・整備と被害推定システム構築のためのデータ管理・利活用検討について説明があり、議論した。
- ・ E-ディフェンス実験における付加計測について、事務局からエントリー方法が示された。付加計測は、サブプロ C 運営委員会委員の先生どなたかが責任者となる場合に限り認めるものとし、2018 年 10 月 31 日までに事務局 林までエントリーシートを提出する。



- ・平成30年度第3回データ利活用協議会 シンポジウムについて説明があり、議論した。12月5日のデ活イベントは、RC建物の話題を中心に講演者の手配を楠先生にお願いする。
- ・今年度の運営委員会の開催日時を確認した。  
第06回(平成30年度第3回) = 2/25(月) 15:00~18:00

### (3) 第6回(平成30年度第3回) 運営委員会

1. 日時 平成31年2月25日(月)15時00分~18時00分
2. 場所 早稲田大学 西早稲田キャンパス 55号館S棟5階 首都圏レジリエンスPJ会議室
3. 議題
  - (1) 前回議事録確認前回議事録確認
  - (2) 研究会報告(今年度研究進行状況)
  - (3) その他(建築学会大会投稿、次年度の日程等)
4. 配付資料
 

6-1	前回議事録(案)
6-2	研究会審議内容
6-2-1	① 簡易・広域センシングを用いた広域被害推定・危険度判定
6-2-2	② 災害拠点建物の安全度即時評価および継続使用性即時判定
6-2-3	③ 災害時重要施設の高機能設備性能評価と機能損失判定
6-2-4	④ 室内空間における機能維持
6-2-5	⑤ データ収集・整備と被害推定システム構築のためのデータ管理・利活用検討
6-3	学会投稿論文について
5. 出席者
 

	氏名	所属
研究統括	西谷 章	早稲田大学 理工学術院
研究統括	梶原 浩一	(国) 防災科学技術研究所 兵庫耐震工学研究センター
委員	楠 浩一	国立大学法人東京大学 地震研究所
委員	倉田 真宏	国立大学法人京都大学 防災研究所
委員	井上 貴仁	(国) 防災科学技術研究所 兵庫耐震工学研究センター
委員	佐藤 栄児	(国) 防災科学技術研究所 兵庫耐震工学研究センター
委員	中村 いずみ	(国) 防災科学技術研究所 兵庫耐震工学研究センター
委員	河又 洋介	(国) 防災科学技術研究所 兵庫耐震工学研究センター
オブザーバー	山田 豊	文部科学省研究開発局 地震・防災研究課 防災科学技術推進室

オブザーバー 金子 雅彦  
委員(事務局) 林 和宏

文部科学省研究開発局 地震・防災研究課 防災科学技術推進室  
国立大学法人豊橋技術科学大学大学院 工学研究科

## 6. 議事概要

- ・ 前回議事録(案)を確認した。
- ・ 課題①における簡易・広域センシングを用いた広域被害推定・危険度判定について説明があり、議論した。
- ・ 課題②における災害拠点建物の安全度即時評価および継続使用性即時判定について説明があり、議論した。
- ・ 課題③における災害時重要施設の高機能設備性能評価と機能損失判定について説明があり、議論した。
- ・ 課題④における室内空間における機能維持について説明があり、議論した。
- ・ 課題⑤におけるデータ収集・整備と被害推定システム構築のためのデータ管理・利活用検討について説明があり、議論した。
- ・ 学会投稿論文・梗概に関して、謝辞記載例を周知した。
- ・ 次年度の運営委員会開催方針を確認した。開催は年 3 回(5 月末～6 月上旬、9 月下旬、2 月下旬)とし、候補日を出欠アンケートにより確定することとした。

## 4.2 対外発表

### 1) 学会等における口頭・ポスター発表

発表成果（発表題目、口頭・ポスター発表の別）	発表者氏名	発表場所 （学会等名）	発表時期	国際・国内の別
3 層木造住宅の外構面下層切り出し試験体に対する性能検証 第1報 実験概要と損傷過程，口頭	西峻汰，上段聖也，長江拓也，高橋武宏，梶原浩一，山田祥平，柏尚稔，林和宏，井上貴仁	日本建築学会北海道支部 第91回研究発表会	2018年6月	国内
3 層木造住宅の外構面下層切り出し試験体に対する性能検証 第2報 架構の力-変形応答と部材角に対するジャイロ出力，口頭	上段聖也，西峻汰，長江拓也，高橋武宏，梶原浩一，山田祥平，柏尚稔，林和宏，井上貴仁	日本建築学会北海道支部 第91回研究発表会	2018年6月	国内
地盤配管設備等の非構造部材を含む3階建て住宅の機能を検証するE-ディフェンス実験（首都圏レジリエンスプロジェクト）その1 プロジェクト概要と本実験の位置づけ，口頭	井上貴仁，山田祥平，柏尚稔，林和宏，長江拓也	2018年度日本建築学会大会学術講演会	2018年9月	国内
地中配管設備等の非構造部材を含む3階建て住宅の機能を検証するE-ディフェンス実験（首都圏レジリエンスプロジェクト）その2 べた基礎下の摩擦挙動に関する要素実験，口頭	上段聖也，西峻汰，長江拓也，山田祥平，柏尚稔，林和宏，井上貴仁	2018年度日本建築学会大会学術講演会	2018年9月	国内

地盤配管設備等の非構造部材を含む3階建て住宅の機能を検証するE-ディフェンス実験（首都圏レジリエンスプロジェクト）その3 数値解析に基づくべた基礎挙動予測、口頭	西峻汰，上段聖也，長江拓也，山田祥平，柏尚稔，林和宏，井上貴仁	2018年度日本建築学会大会学術講演会	2018年9月	国内
地盤配管設備等の非構造部材を含む3階建て住宅の機能を検証するE-ディフェンス実験（首都圏レジリエンスプロジェクト）その4 損傷モニタリング	林和宏，山田有孝，佐藤栄児	2018年度日本建築学会大会学術講演会	2018年9月	国内
耐力向上と損傷抑制を目的とした壁縦筋を定着しない袖壁付柱部材の開発研究（その3）壁縦筋の定着の有無を変数とした袖壁付柱の静的載荷実験（実験計画と構造性能）、口頭	張政，真田靖士，楠浩一，日比野陽，向井智久ほか	日本建築学会学術講演梗概集	2019年9月 （投稿中）	国内
耐力向上と損傷抑制を目的とした壁縦筋を定着しない袖壁付柱部材の開発研究（その4）壁縦筋の定着の有無を変数とした袖壁付柱の静的載荷実験（損傷状況の比較）、口頭	百家祐生，真田靖士，楠浩一，日比野陽，向井智久ほか	日本建築学会学術講演梗概集	2019年9月 （投稿中）	国内
耐力向上と損傷抑制を目的とした壁縦筋を定着しない袖壁付柱部材の開発研究（その1）実験計画、口頭	椿美咲子，真田靖士，楠浩一，日比野陽，向井智久ほか	日本建築学会学術講演梗概集	2018年9月	国内

耐力向上と損傷抑制を目的とした壁縦筋を定着しない袖壁付柱部材の開発研究（その2）実験結果、口頭	張政，真田靖士，楠浩一，日比野陽，向井智久ほか	日本建築学会学術講演梗概集	2018年9月	国内
壁筋の定着を除去した二次壁を有する鉄筋コンクリート梁部材の耐震性能評価、口頭発表	森悠吾，日比野陽，楠浩一，真田靖士，向井智久	日本建築学会大会学術講演会	2018年9月	国内
災害拠点建物の安全度即時評価および継続使用性即時判定（その1 試験体設計）、口頭	深井悟，楠浩一，ヤオトレポー	日本建築学会学術講演梗概集	2019年9月 (投稿中)	国内
災害拠点建物の安全度即時評価および継続使用性即時判定（その2 非線形解析）、口頭	ヤオトレポー，楠浩一，深井悟	日本建築学会学術講演梗概集	2019年9月 (投稿中)	国内
外装タイルの剥離検知モニタリング技術の確立に関する研究、口頭	松原大祐，大久保孝昭，寺本篤史，楠浩一，日比野陽ほか	日本建築学会中国支部研究発表会梗概集	2019年3月	国内
外装タイルの剥離検知モニタリング技術の確立に関する研究～その1 タイル外壁の剥離検知モニタリングにおける基礎的検討～、口頭	松原大祐，大久保孝昭，寺本篤史，楠浩一，日比野陽ほか	日本建築学会学術講演梗概集	2019年9月 (投稿中)	国内
外装タイルの剥離検知モニタリング技術の確立に関する研究～その2 光ファイバセンサを用いた実験的検討～、口頭	関根麻里子，大久保孝昭，寺本篤史，楠浩一，日比野陽ほか	日本建築学会大会学術講演会	2019年9月 (投稿中)	国内
Damage State Classification of Expansion Joints Based on Shake Table Test Part I: Experimental Plans and Results, 口頭	Masahiro Kurata, Yu Otsuki, Konstantinos Skalomenos, Yoshiki Ikeda	平成30年度日本建築学会 近畿支部研究発表会	2018年6月	国内

Damage State Classification of Expansion Joints Based on Shake Table Test Part II: Fragility Analysis, 口頭	Yu Otsuki, Masahiro Kurata, Konstantinos Skalomenos, Yoshiki Ikeda	平成 30 年度日本建築学会 近畿支部研究発表会	2018 年 6 月	国内
Seismic Performance Assessment of Expansion Joints through Shaking Table Test - Part I Test Plans and Results -, 口頭	Masahiro Kurata, Yu Otsuki, Konstantinos Skalomenos, Yoshiki Ikeda	平成 30 年度日本建築学会 全国大会（東北）	2018 年 9 月	国内
Seismic Performance Assessment of Expansion Joints through Shaking Table Test - Part II Development of Fragility Functions and Reliability Analysis-, 口頭	Yu Otsuki, Masahiro Kurata, Konstantinos Skalomenos, Yoshiki Ikeda	平成 30 年度日本建築学会 全国大会（東北）	2018 年 9 月	国内
地盤配管設備等の非構造部材を含む 3 階建て住宅の機能を検証する E-ディフェンス実験 (首都圏レジリエンスプロジェクト) その 4 損傷モニタリング、口頭	林和宏, 山田 有孝, 佐藤栄 児	日本建築学会学術講演梗概集	2018 年 9 月	国内
防災拠点建物を対象としたリアルタイム耐震診断システムの社会実装 - 市役所庁舎へのシステム導入とその運用状況、口頭	林和宏, 齊藤 大樹	第 15 回日本地震工学シンポジウム (2018)	2018 年 12 月	国内

(口頭発表) 構造物の被害推定システム構築のためデータ管理・利活用に関する研究 その1：建物の健全性評価法の大型振動台実験データを用いた検証、論文 No.21063	森井雄史、渡邊享哉、岡沢理映、白石理人、岡田敬一、西谷章	日本建築学会大会	2018年9月	国内
(口頭発表) 構造物の被害推定システム構築のためデータ管理・利活用に関する研究 その2：大型振動台実験に適用する各種無線型加速度センサー性能検証 論文 No.21063	岡田敬一、岡沢理映、白石理人、森井雄史、渡邊享哉、西谷章	日本建築学会大会	2018年9月	国内
(口頭発表) 層間変位センサを用いたモニタリングシステムの実建物への適用、 論文 No.21078	畑田朋彦、片村立太、谷井孝至、仁田佳宏、西谷章	日本建築学会大会	2018年9月	国内
(口頭発表) MeSO-net システムと連動した既設地震計を利用した地盤—建物連成計の地震応答解析と震動特性の評価、 論文 No.21244	谷沢智彦、酒向裕司、西谷章	日本建築学会大会	2018年9月	国内
(口頭発表) 構造物の被害推定システム構築のためデータ管理・利活用に関する研究 その6 今後の長期モニタリング概要 論文 No.21067	秋山大地、大久保孝昭、寺本篤史、蘇振東、松原大祐、伊藤佑治、西谷章、江尻憲泰、高尾秀幸	日本建築学会大会	2018年9月	国内
(ポスター発表) 地震時レジリエンスの向上を目指す建築都市のモニタリング	西谷章	早稲田オープンイノベーションフォーラム 2019	2019年3月	国内



## 2) 学会誌・雑誌等における論文掲載

掲載論文（論文題目）	発表者氏名	発表場所 （雑誌等名）	発表時期	国際・国内 の別
壁縦筋を定着させない袖壁付き柱の構造性能の実験的評価	椿美咲子, 真田靖士, 張政, 楠浩一, 日比野陽, 向井智久	日本建築学会構造系論文集, Vol.84, No.762	2019年8月 (採択)	国内
Damage Sequence and Safety Margin Assessment of Expansion Joints by Shake Table Testing	Otsuki, Y., Kurata, M., Skalomenos, K.A., Ikeda, Y.	<i>Earthquake Engineering and Structural Dynamic</i>	2019年1月	国際
Fragility Function Development and Seismic Loss Assessment of Expansion Joints,	Otsuki, Y., Kurata, M., Skalomenos, K.A., Ikeda, Y.	<i>Earthquake Engineering and Structural Dynamic</i>	2019年3月 に採録決定	国際
二段階制御を適用した免震構造物の長周期地震動時に対する応答低減効果の検討	井上波彦・仁田佳宏・西谷章	構造工学論文集	2019年3月	国内
限られた階の加速度記録のみに基づく3次スプライン補間による建物全層の応答推定	小寺健三・西谷章・沖原有里奈	日本建築学会構造系論文集	2018年4月	国内

## 3) マスコミ等における報道・掲載

報道・掲載された成果 （記事タイトル）	発表者氏名	発表場所 （新聞名・TV名）	発表時期	国際・国内 の別
高耐震住宅が基礎ごとずれる		日経アーキテクチャー	2019年3月	国内
高耐震住宅が基礎ごとずれる		日経ビルダー	2019年4月	国内
地震の建物損傷を簡単判断へ実験	林和宏	NHK 東海・北陸	2019年2月	国内
科学の扉・東北大震災8年 倒壊リスク瞬時に判定	記事に登場するのは、西谷章・楠浩一	新聞記事 朝日新聞	2019年 3月11日	国内

## 5. むすび

サブプロジェクト(c)の研究は、課題(1)～(5)ともに、平成30年度から順次実施予定の、実物建物を模擬した試験体のEーディフェンス震動台実験に向けた準備、実験の実施となる。

課題(1)の実験は平成30年度に実施済みであり、課題(2)(3)(4)の実験は、それぞれ平成31年度、32年度、33年度(2019、2020、2021年度)となるので、課題ごとに、実験対象となる建物モデルの設計状況、実験に対する準備状況は異なる。

各課題の成果は、次のようになる。

課題(1)は、30年度にEーディフェンス実験を実施した。この実験では、住宅密集地の木造建物を想定して、地盤・基礎までの含む試験体による実験を行った。実験実施が30年度末であったことから、各種センシングシステムによる計測結果をもとにした検証・分析を31年度に進める。地盤と基礎の相互作用、建物損傷過程、建物最大強度と変形性能、補修・補強効果、免震構造性能、解析による現象の再現などに焦点をあてた分析を行う。

課題(2)では、防災拠点となりうる鉄筋コンクリート構造の役所を想定した実験を31年度に行う。30年度は、31年度に実施予定の震動台実験用の3層鉄筋コンクリート造試験体の設計と積算を終えた。また、新しいディテールによる柱と梁の構造性能の追加実験も実施した。新たな試みとして、光ファイバーによるタイル仕上げの損傷劣化検知に向けた基本情報も取得した。31年度には、試験体を作製し実験を実施する。建物の災害拠点としての継続利用性を判断するシステム構築を目指す。

課題(3)では、鉄骨造の病院を想定した実験を32年度に行う。想定する病院は、耐震棟と免震棟からなる。30年度には、医療施設に求められる耐震基準を満足する耐震棟試験体を設計した。この試験体には、可能な限りの医療機器を設置する予定である。また、実験実施時に入力する地震動を選定した。31年度には、免震棟試験体の振動特性を評価し、長周期地震動の採用も視野に入れた加振計画を策定する。

課題(4)では、非構造部材を主対象とした室内空間被害に関する実験を33年度に行う。家具什器、屋内設備等を中心とした各種非構造部材の地震被害に関する実験的検証手法の確立、各種非構造部材の損傷挙動の把握および被害対策方法の検討、室内空間における非構造部材の被害モニタリング手法提案を目的に、検討を行った。30年度は、室内空間の振動台実験に向けて、家具什器・設備等を扱う企業の参加による「室内空間を中心とした機能保持のための研究会」での議論を行い、試験体ユニットの設計を行った。さらに、室内空間の被害モニタリング手法提案に向けて、課題(1)が実施した木造実験において、簡易地震計、スマートフォン、感震ブレーカーを用いた計測を実施した。課題(2)が実施する31年度の実験に向けても、簡易地震計を中心とした計測計画を策定する。

課題(5)は、上記の各課題の統括の役割も担いながら、Eーディフェンス実験に共通して設置するセンシングシステムの選定を行い、30年度の実験において計測を行った。取得データに基づく、詳細な検証、センサ間の性能比較は31年度に実施する。無線センサに関しては、実験を通して改善点を抽出できたので、メーカーと協議して改善をはかる。地盤—建物連成モデルの精度向上を目指した、実在の三建物に設置されている地震計データに基づく地盤—建物系の高度な解析モデルの構築を引き続き目指す。

31年度以降も、各課題は互いに連携をとりながら、適切に実験を進めていく。

サブプロジェクト(C) 研究統括 西谷章、梶原浩一