

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

・都市圏における重要施設や密集市街地の住宅群を対象として、巨大地震下における被害推定（地震による損傷レベルや危険度の同定）や機能継続可否・機能損失度・崩壊余裕度判定（事業の継続や災害対策拠点利用の可否判断）を即時に可能とする技術を開発し、速やかな災害復旧・復興に貢献する。各種の評価手法等については、広く一般に公開・普及を図り、関連機関等での利活用を促進する。

この目的にそって、早稲田大学では、「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」を実施する。また、課題(1)（名古屋大学）、課題(2)（東京大学）、課題(3)（京都大学）、課題(4)（防災科研・豊橋技術科学大学）の業務統括の役割も果たす。

(b) 平成 29 年度業務目的

・これまでに E-ディフェンスで実施された多数の実験結果を再検証・再処理し、種々のセンサ記録の再検証や安全性評価・崩壊余裕度評価に有効なデータ処理方法を検討する。また、大都市圏の多くの高層建物にセンサが配置されたときの効率的な広域危険度判定のスキームを検証する。さらに、課題(1)～(3)の研究チームが実施する E-ディフェンス振動台実験に向けて、適切なセンシングデータ収集システムの検討、実験に適用するセンサの選定・購入・性能把握試験を行う。さらに、既設の地盤-建物系の計測データを利用して、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	教授	高口 洋人
足利工業大学 工学部	准教授	仁田 佳宏

(2) 平成 29 年度の成果

(a) 業務の要約

- ・〈テーマ 1〉 これまでの E-ディフェンス実験データの整理・検証
- ・〈テーマ 2〉 地震直後の広域的な応急危険度判定システムの検討
- ・〈テーマ 3〉 今後の E-ディフェンス実験におけるセンシングシステムの検討・選定・購入・性能把握
- ・〈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・整備と地震応答解析

(b) 業務の成果

〈テーマ 1〉 E-ディフェンス実験データの整理・検証

・平成 17～27 年に実施された E-ディフェンス加振実験 52 件の公開結果¹⁾について、構造種別・階数・非構造部材の有無・試験体最終状態を確認し、データ整理を行って一覧表にまとめた。これら 52 件のうち建物系の実験は 28 件ある。この 28 件の中で、加速度センサ・変位センサが各階に設置されていて、計測条件が確実に把握できる 13 件（S 造 4 体、RC 造 5 体、木造系 4 体）の実験データを抽出し、健全性の検証に向けたデータ処理手法の分析を行った。分析に用いた 13 試験体のデータが表 1 である。ここに挙げた「整理 No.」は全 52 件の通し番号である。

建物の安全度・崩壊余裕度ともっとも相関があるのは、層間変位データである。この意味では層間変位の直接計測が理想的ではあるが、現状のモニタリング実装においては、加速度センサがもっとも普及していること、さらには限定層へのセンサ設置が現実的であることを念頭において、①限定層の加速度データから全層の加速度応答を推定し、②積分計算による全層の層間変位算出を行う、という手順を想定して、加速度データからの層間変位データへの変換手法を検証した。

表 1. 分析に用いた既往の E-ディフェンス実験データ 13 試験体

整理 No.	名称	実施年 種類	構造 種別	階 数	縮尺	非構造 の有無	加速度 計	変位 計	最終状態	略称	備考
1	縮小 6 層 RC 造耐震壁フレーム建物の振動実験	2015 建物	RC	6	1/3	無	各階	各階	倒壊	RC 造 6 層 試験体	—
2	鉄骨造高層建物の崩壊余裕度の定量化	2014 建物	S	18	1/3	無	各階	一部の階	倒壊	S 造 18 層 試験体	—
4	長周期地震動に対する RC 造建築物の安全性検証方法に関する検討	2012 建物	RC	20	1/4	無	各階	一部の階	津島模擬波 200 % 最大層間変 形角 1/35	RC 造 20 層 試験体	—
5	コンクリート系建物実験/設備機器・配管実験	2010 建物	RC PC	4	1/1	無	各階	各階	神戸波 100 % 鷹取波 60%	RC 造 4 層 試験体 PC 造 4 層 試験体	2 試験 体
6	CLT による建築物の構造性能検証実験	2014 建物	CLT	A: 5 B: 3	1/1	無	各階	各階	一部パネルが 圧縮、せん断破 壊 最大層間変形 角 A : 1/27 B : 1/9	CLT 造 5 層 試験体 CLT 造 3 層 試験体	2 試験 体
8	地震によって損傷を受けた鉄骨建築物の耐震安全対策に関する実験研究	2013 建物	S	3	1/1	無	各階	各階	鷹取波 100% 想定南海トラフ波 150%	S 造 3 層試 験体	—
25	重要施設の機能保持性能向上耐	2010 建物	RC 耐震・	4	1/1	有	各階	各階	各種実験最 大波	RC 造 4 層 耐震試験	—

	震実験		免震							体	
30	3階建て木造軸組み工法の設計法検証に関する実験	2009 建物	在来 木造	3	1/1	無	各階	各階	人工地震波 165%	木造3層 試験体	—
35	鉄骨造建物実験研究 制振構造建物実験	2009 建物	S	5	1/1	有	各階	各階	鷹取波 70%	S造5層 試験体	—
44	2階建て木造住宅(大安心の家)の耐震性能検証に関する実験重要施設の機能保持性能向上耐震実験	2008 建物	在来 木造	2	1/1	無	各階	ノイズが多く 使用不可	最大層間変 形角 1/17 耐力壁の割 れ、石膏ボ ードのはずれ	木造2層 試験体	—
46	重要施設の機能保持性能向上耐震実験重要施設の機能保持性能向上耐震実験	2007 建物	S	4	1/1	無	各階	歪型 変位計	完全崩壊	S造4層 試験体	—

- ・鉄骨造を対象とする場合には、層間変位データが直接計測されていれば（あるいは加速度データから算出されていれば）、構造情報をもとに構築した簡易なモデルによってもかなりの精度で損傷梁位置の推定が可能であることを、鉄骨 18 層建物 1/3 モデル(整理 No. 2 試験体)の層間変位データ²⁾を用いて、検証した。

〈テーマ 2〉 地震直後の広域的な危険度判定

- ・地震直後の広域的な危険度判定スキームとして、首都圏の多くの建物最上階への加速度センサ設置を前提とした判定システムを提案した。データが自動的に収集されるシステムがあれば、特別な計算を経ずに、固有周期（あるいは建物高さ情報から算定）と加速度応答最大値の組合せをプロットするだけで、地域別の（たとえば、23 区ごとの）「加速度応答スペクトル」評価を簡易的に行えること、さらにそれに基づいた応急的な広域危険度判定が可能となることを提示した³⁾。

〈テーマ 3〉 センシングシステムの検討・選定・購入・性能把握

- ・平成 30 年度から順次予定されている E-ディフェンス実験の設置するセンシングシステムを検討し、センサの選定・購入・性能把握試験を行った。現状、センシングシステム導入においては、配線関連の費用が占める割合は大きい。センサが無線化されれば配線に要する費用・設計が不要となり、今後の実装・普及を後押しすることが期待できる。この意味で、実験における無線センサの設置も積極的に検討した。

購入したセンサ、購入予定のセンサの性能把握を目的として、清水建設技術研究所の大型振動台上に「4 層せん断型建物模型」を置き、センサを設置して加振実験を行った。性能把握検証の対象としたセンサについては、基準とした「サーボ型加速度計 JA-40GA（日本航空電子）」と同等の性能が期待できることを確認した。無線センサについては、相互の時刻同期性能に関する検証も行っている。写真 1 は振動台実験の様子（平成 29 年 12 月）、写真 2 は性能

検証の対象とした無線センサの一例である。



写真1：
センサ性能検証振動台実験（写真提供：清水建設）



写真2：
ソナス無線センサ

- ・早稲田大学で開発済みの層間変位センサの改良を試みた。光源部に二種類の LED を設置して、相対傾斜角も同時に計測可能とするセンサを大学内で試作した。センサ設置位置の傾斜角データが得られると、より精度よく層間変位を計測できる。この試作品の性能検証を平成 31 年度に引続き行い、検証結果にもとづいてさらなる改良を加える。

<テーマ 4> 地盤－建物系の地震観測記録の収集・整備と地震応答解析

- ・以前よりセンサの設置されている三建物（自由学園、成蹊学園、豊洲小学校）では、地盤と建物の観測記録を継続的に収集している。これらの既設センサは、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」⁴⁾ で設置された地震計である。解析技術の向上を目指して、収集したデータに基づいて、地盤－建物連成系のモデル化を行った。平成 29 年度に計測されたデータをもとに、地盤－建物系の伝達関数を求め、振動特性を分析し、上部構造を多質点曲げせん断棒、基礎・地盤をスウェイロッキング(Sway-Rocking)ばねによって表した解析モデル(図1)を構築した。構築したモデルによる計算結果と実計測記録との比較を行った。

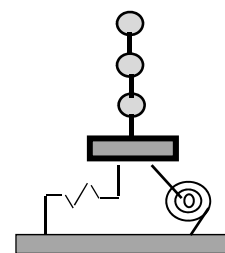


図1: 建物－地盤連成系解析モデル

以上に加え、熊本地震の設備被害をもとに、これまでほとんど検討がなされていない地震発生時の設備被害確率予測モデルを構築した。

(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。
- ・52 件の E-ディフェンス実験を実験状況・計測状況などを比較しやすい表にまとめ、必要とするデータへのアクセスを容易にした。
- ・地域ごとに加速度応答スペクトルを簡易的に推定できれば、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。この基本的な枠組みを提示した。より具体的な枠組みのあり様と効率的なデータ収集のあり方を引き続き検討していく。

- ・今後の実験に適用予定のセンシングシステムの検討を行った。特に無線センサについては、性能検証実験により、サーボ型加速度センサと同等の性能を有することを確認し、複数センサ間の時刻同期性能についても確認した。平成 30 年度に行う E-ディフェンス実験において、現実の使用条件に近い環境のもとでの、データ取得状況、時刻同期性能を確認する予定である。
- ・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。平成 29 年度は、上部を多質点曲げせん断棒モデル、地盤・基礎を Sway-Rocking モデルとした。今後発生する地震時のデータと、モデルによる解析結果を比較して、より精度のよいモデルに修正し、地盤-建物連成モデルの精度向上を目指す。

(d) 引用文献

- 1) 国立研究開発法人防災科学技術研究所：ASEBI, <https://www.edgrid.jp/>
- 2) Xiang, P., Nishitani, A., Marutani, S., Kodera, K., Hatada, T., Katamura, R., Kanekawa, K., Tanii, T.: Identification of Yield Drift Deformations and Evaluation of the Degree of Damage through the Direct Sensing of Drift Displacements, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol.45(13), pp.2085-2102, 2016. (DOI:10.1002/eqe.2752)
- 3) 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/
- 4) 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

(e) 学会等発表実績

「首都圏レジリエンスプロジェクト」発足以前の研究成果ではあるが、本プロジェクトに密接に関連する「学会誌・雑誌等における論文」「マスコミによる掲載記事」を以下に挙げる。

1) 学会等における口頭・ポスター発表

なし

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
限られた階の加速度記録のみに基づく 3 次元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 No.746	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
地震防災スペシャル対 談：地震後のビルの健全 性を判定 構造ヘルス モニタリング	西谷 章 白石理人	読売新聞鹿児島版	2017年1月 20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 30 年度業務計画案

- ・前年度には、これまでのEーディフェンス実験データの再検証・再処理を行い、また今後のEーディフェンス実験で用いるセンサ候補を選択し、それらを小型実験模型に設置して性能検証の確認等を行ってきた。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、実験建物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ー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。