

防災科研ニュース

特集

- ・木造建物実験
- ・実大6層鉄筋コンクリート建物実験
- ・地盤基礎実験

行事開催報告

- ・第7回国土セイフティネットシンポジウム
- ・第2回シンポジウム「統合化地下構造データベースの構築～データベースの連携で築く公共の地盤情報～」

- ・防災研究フォーラム第6回シンポジウム～能登半島地震と新潟県中越沖地震から学ぶ～
- ・しずおか防災科学技術展2008～あしたのために、いま学ぶ～

受賞報告

- ・小原地震研究部副部長が井上學術賞を受賞
- ・堀内研究参事が「ナイスステップな研究者2007」に



特集

E-ディフェンスによる地震防災への貢献

当所では、2004年10月1日に兵庫県三木市に兵庫耐震工学研究センターを開設し、阪神・淡路大震災から10周年となる2005年1月に世界最大の実大三次元震動破壊実験施設（愛称：E-ディフェンス）の披露式を行いました。その後、同施設の性能検証試験を経て、2005年4月から多種多様な実規模構造物の震動破壊実験に取り組んできました。

2005～2006年度には、文部科学省からの委託研究「大都市大震災軽減化特別プロジェクト」（通称：大大特）のテーマⅡ「震動台活用による構造物の耐震性向上研究」の中で、「木造建物」「鉄筋コンクリート（RC）建物」「地盤・基礎構造」に関する実験を実施しました。2007年度からは、日米共同研究として「鉄骨造建物」「橋梁構造」、兵庫県との共同研究として「高層建物」、日伊共同研究として「7階建て木造壁式建物」の実験を実施しました。この他にも、センター開設以来、原子力関係を含む数件の受託実験を実施し、全ての実験を成功裏に終了させ

ています。E-ディフェンスによる震動破壊実験は、日本はもとより世界の耐震工学研究を牽引するものであり、世界的な耐震工学研究のコア機関を目指して活動を続けています。また、センター開設以来の総見学者数は約30,000名にのぼり、多くの人々に耐震技術についてご理解いただく場を提供しています。

今回の特集では、大大特における実験研究の成果に焦点を当てて、当所が地震防災にどのように貢献しようとしているか、その一端をご紹介します（詳細は、大大特「総括成果報告書」<http://www.bosai.go.jp/library/gaibu/ddt-all/index.html>をご覧ください）。なお、本年4月に、「E-ディフェンスの建設技術と実大震動実験」に対して、日経BP技術賞（建設部門）が授与されました。この受賞を励みにして、地震防災への貢献をめざし、さらに耐震実験研究に取り組んで参りますので、関係各位のご支援・ご協力をお願いいたします。

木造建物実験

木造建物の耐震性能向上を目指して

兵庫耐震工学研究センター 主任研究員 中村 いずみ



はじめに

日本では1981年に建築基準法が改正され、この前後で建物の耐震性能は大きく異なっています。改正後の建築基準法に従って建てられた木造建物については、ある程度の耐震性能を有しており、1995年兵庫県南部地震でも被害は少なかったことがわかっています。その一方で、1980年以前の基準で建てられた木造建物には大きな被害が生じました。このような、古い基準で建てられた建物を「既存不適格」といいますが、国内にはまだ多くの既存不適格である木造建物が残っており、これから起こる地震で、これらの建物に大きな被害の発生することが懸念されています。木造建物の地震被害を軽減するためには、このような木造建物の耐震性能をよく理解し、どのような対策が効果的なのかを知ることが重要です。

大大特の一環で実施した木造建物実験では、既存木造建物の耐震性能向上を目的とし、E-ディフェンスにおける実大実験を中心とした広範な研究を行いました。平成14年度から平成16年度までの3年間は準備研究を、平成17年度、平成18年度の2年は、E-ディフェンスを使用した実大実験を実施しました。木造建物実験では主に既存不適格木造建物を対象としていますが、それらはさらに、1950年の建築基準法制定以前に建てられた建物と、1950年から1981年の建築基準法改正までに建てら

れた建物の2種類に分けられます。本研究では、その両方を対象とし、前者を「伝統構法木造建物」、後者を「在来構法木造建物」と称しています。E-ディフェンスで実施した実験には、1981年以降の基準に従って建てられた住宅で、免震装置を組み込んだものに対する振動実験も実施していますが、本稿では、平成17・18年度に実施した既存不適格建物を対象とした実験について紹介します。

在来構法木造建物の耐震性能向上に関する研究

木造住宅の地震被害を軽減するには、耐震補強を施すことにより既存不適格建物の耐震性能を向上させる必要があります。本研究では、実大実験によって在来構法木造建物の耐震性能を計測し、耐震診断結果と比較することにより、耐震診断法の妥当性と耐震補強効果を確認することを目的としました。

平成17年度には、既存不適格建物の耐震性能を調査することを目的として、1980年以前に建てられた、ほぼ同一の平面と軸組である2階建て木造建物2棟をE-ディフェンスに移築し試験体とした実験を実施しました。この2棟の建物を、以下A棟、B棟と称します。さらに、平成18年度には平成17年度に使用した試験体と同様の平面と軸組を有する建物を新築で再現した試験体を使用した実験を行いました。平成18年度の試験体は2棟製作しており、これら

を、以下C棟、D棟と称します。

平成17年度の実験で使用した2棟の建物は、マスコミ等の公募を通じ一般の方から提供を受けたものです。兵庫県明石市に1974年に建てられ、試験体として選定されるまで実際に住宅として使用されていました。選定した木造住宅は公道を運搬できる大きさに分割され、Eーディフェンスのある兵庫耐震工学研究センターに搬入後、試験体として再組立されました。耐震補強の有無による大地震時の挙動の違いを調査するために、A棟はそのまま、B棟には大地震でも倒壊しない程度の耐震補強を行いました。

C棟、D棟では、A棟、B棟と比較し、経年劣化の耐震性能に与える影響を把握すること、また、B棟に適用したものと異なる耐震補強の効果を調査することを目的としています。具体的には、C棟、D棟とも、A棟を新築で可能な限り再現し、その上で、C棟はそのまま、D棟には耐震補強を行って実験に使用しました。また、D棟では、地盤・基礎の影響を調査するため、発泡系プラスチック材料を用いた模擬地盤上にコンクリート基礎部分を再現しました。

表1に、A棟～D棟の試験体の特徴と、文献1)に基づいて実施した耐震診断の評点を示します。B棟、D棟の補強は、安価かつ一般的な工法を使用することとし、主に筋かい、構造用合板、接合金物を使用しました。B棟は、倒壊を防止するために必要とされる補強を全て実施した場合です。また、D棟は、耐震診断で必要とされる補強のうち、接合部の補強が不十分な場合となっています。これは、実際の耐震補強工事において、施工上の困難のため必要な耐力の補強金物を取り付けられない場合を想定したものです。

実験では、試験体倒壊時に試験体が震動台上に損傷を与えることを防止するために、震動台上に鋼製の防護架台を設置しました。A棟・B棟、C棟・D棟は2棟ずつ、防護架台上に並べて設置し、加振実験を行いました。試験では、兵庫県南部地震において、JR鷹取駅で記録された波形（以下、JR鷹取波）の3方向成分を使用

表1 平成17年度・平成18年度試験体一覧

試験体	特徴	評点*
A棟	移築・無補強	0.50
B棟	移築・補強①	1.84
C棟	新築・無補強	0.48
D棟	新築・補強②・基礎つき	1.57

* 文献1)の、精密耐震診断法1の診断結果

表2 在来構法木造建物実験での加振内容と試験結果

入力波*	各方向の最大入力加速度[Gal]**			試験結果			
	X	Y	Z	A棟	B棟	C棟	D棟
JR鷹取波100% #01	666 (EW)	642 (NS)	290 (UD)	倒壊	倒壊せず	倒壊せず	倒壊せず
JR鷹取波60%	340 (EW)	385 (NS)	174 (UD)	---	倒壊せず	倒壊せず	倒壊せず
JR鷹取波100% #02	666 (EW)	642 (NS)	290 (UD)	---	倒壊	倒壊	倒壊せず
JR鷹取波100% #03	666 (EW)	642 (NS)	290 (UD)	---	---	---	倒壊せず
JR鷹取波100% #04	666 (EW)	642 (NS)	290 (UD)	---	---	---	倒壊

* JR鷹取波60%以上の加振のみ記載。このほか、試験体の特性把握と中小地震における応答の取得を目的とし、ホワイトノイズ波、正弦波掃引試験、JR鷹取波5%レベルの加振を実施。

** X: 張間方向、Y: 桁行き方向、Z: 上下方向。加速度の値は目標値。

しました。表2に、実験における入力と各試験体の結果概要を示します。実験の結果、A棟は100%入力（震度7相当）1回目で、1階から倒壊しました。一方、耐震補強を行ったB棟は、この加振では倒壊しませんでした。写真1に、A棟、B棟の、加振前後の状況を示します。B棟は、その後、最大余震を想定したJR鷹取波60%入力（震度6強相当）でも倒壊せず、再度入力した100%入力で倒壊しました。一方、A棟の軸組を新築で再現したC棟は、100%入力1回目

により、玄関側で1/6rad.程度変形し、1階の土壁が脱落するなどの大きな被害がありました。その後、60%入力でも倒壊に至らず、続いて実施した100%入力2回目で倒壊しました。一方、D棟は、C棟倒壊時でも大きな損傷は見られず、100%入力3回目を入力したところ、外壁の1階モルタルおよび内部土壁の崩落、筋かいの折損などの被害を生じ、続く100%入力4回目で倒壊に至りました。写真2に、C棟・D棟に対する、100%1回目加振終了後の試験体の状況を示します。

新築であるC棟の被害から、1981年以前の基準に沿って建てられた住宅に対する耐震補強の必要性が改めて示されました。また、A棟とC棟の実験結果から、ほぼ同一の仕様である建物の場合、経年変化により耐震性能がさらに低下する可能性があることがわかります。また、C棟とD棟の実験結果から、不十分であっても適切な評価に従い耐震補強を実施すれば、補強した分の耐震性能の向上が得られる可能性の高いことがわかりました。



(a) 加振前



(b) 加振後

写真1 JR鷹取波100%1回目加振前後のA棟、B棟



写真2 JR鷹取波100%1回目加振後のC棟、D棟

伝統構法木造建物の耐震性能向上に関する研究

伝統構法木造建物実験で対象としている建物は、1950年以前に建てられた住宅です。このような住宅は、現在でも伝統的建造物群保存地区などに多く残り、歴史的な景観の保存と耐震性能の確保を両立するため、伝統構法の特長を活かした耐震補強法や耐震設計法が求められます。平成17年度には、建物全体としての挙動を把握することを目的とし、伝統構法の特徴を有する実大試験体で振動特性、耐震性能、耐震補強の効果进行调查しました。平成18年度には、平成17年度の実験で明らかになった要検討点、不明点等を調査するため、基本的な形状で複数

のパラメータを効率よく調査できるような試験体を使用した実験を行いました。

平成17年度の実験では、京都市内から移築した既存京町家（以下移築試験体）、および、現行の耐震基準を満たす新しい設計法に基づき設計された新築京町家（以下新築試験体）の2体を試験体として使用しました。移築試験体は、京都市内の現地で部材単位に解体したあと、兵庫耐震工学研究センターで再組立を行いました。また、新築試験体も並行して実験準備棟内で製作しました。試験体製作後、2棟を並べて防護架台上に設置し（写真3）、実験を行いました。試験では、（財）日本建築センター模擬波を主に使用しましたが、一部兵庫県南部地震で記録されたJMA神戸波3成分100%も使用しました。その結果、移築試験体については、加振に伴い土壁のき裂や部分的な崩落、軸組のずれなどが生じましたが、はしご形フレームや荒壁



写真3 平成17年度の伝統構法木造建物試験体



写真4 平成18年度の伝統構法木造建物試験体（屋根付き試験体）

パネルなどの耐震補強を施すことで、JMA神戸波100%にも倒壊しないことが確認されました。また、新築試験体は、全加振を通じ、軸組等に大きな損傷は生じませんでした。実大実験を通じ、提案されている耐震補強法、耐震設計法に基づき適切な耐震設計を行えば、伝統的な構法による木造住宅に十分な耐震性能を与えられることが確認できました。

平成18年度には、水平構面、偏心、柱脚仕様などの影響を調査する試験体（以下標準試験体）6体、屋根形状の影響を調査する試験体（以下屋根付き試験体）2体の、計8体を使用しました。これらの試験体も、2体ずつ震動台上に設置し、加振実験を実施しています。写真4に、平成18年度の実験状況を示します。これらの実験を通じ、屋根形式や床剛性が建物挙動へ与える影響を把握できるデータが得られました。

おわりに

平成17年度実験、平成18年度実験とも、主な加振は公開実験としました。また、実験の状況はテレビ、新聞等のマスコミにより広く一般に報道されました。このことにより、実感しにくい耐震補強の効果を視覚化し、耐震補強の重要性の啓発に役立てられることがわかりました。Eーディフェンスでの実験を通じ、建物全体としての耐震性能を確認するとともに、現行の耐震設計や耐震診断法、耐震補強法の妥当性の検証に有用なデータが得られました。今後、これらのデータを木造建物の耐震性能向上に活かすよう実験で取得したデータの分析、解析による評価検証を重ねていく予定です。

<参考文献>

- 1)（財）日本建築防災協会（2004）：木造住宅の耐震診断と補強方法、木造住宅の耐震精密診断と補強方法（改正版）

実大6層鉄筋コンクリート建物実験

1970年代に建てられたビルの崩壊現象再現

兵庫耐震工学研究センター 主任研究員 松森泰造



はじめに

E-ディフェンスでは、従来の振動台では実現できなかった実大規模の中低層の鉄筋コンクリート（RC: Reinforced Concrete）建物の崩壊に至るまでの加振ができ、その挙動を直接的に観察することが可能です。

大大特では、E-ディフェンスでRC構造物を対象に最初に実施する実験の試験体として実大6層建物を選択し、2006年1月に加振実験を実施しました。実大試験体の概観を写真1に、試験体の基準階伏図と軸組図を図1に示します。

実大6層試験体

試験体は、与えられた諸条件を考慮しつつ、



写真1 実大試験体 全景

様々なスタディを経た上で決定しました。

- ①E-ディフェンスは現在世界で最も大きい3次元震動実験装置ですが、振動台床面積15 m × 20 m、試験体の最大許容高さ20 m、最大搭載質量1200 tonです。これらの制限の下、可能な限り大規模なものとして、試験体は6層（軒高16.2 m）、2 × 3スパン（各階床面積12 m × 17 m）、総重量約9.70 MN（基礎も含む）としました。
- ②構造形式は、柱と梁のみからなる純ラーメン構造ではなく、耐震壁も加わった耐震壁付ラーメン構造としました。これは、耐震壁付ラーメン構造では、特に、動的効果（耐震設計で想定する静的外力分布と実際の地震応答では異なること）が大きいであろうという予測があり、本実験ではその実証を目的の一つとしたためです。
- ③加振実験では構造物の崩壊近くまで加振を実施することを目指しました。振動台の許容最大加速度の範囲内で崩壊過程が実現できるよう、試験体の終局強度時のベースシア係数（1層の水平せん断力を総重量で除した値）は0.5程度以下とし、連層耐震壁は1枚のみとしました。
- ④諸般の制約条件（予算、振動台利用可能期間、試験体運搬・設置・計測準備に要する期間）から、試験体数は1体に限られました。
- ⑤1体の試験体を確実に破壊させたいという判断もあり、試験体は1970年代の設計による

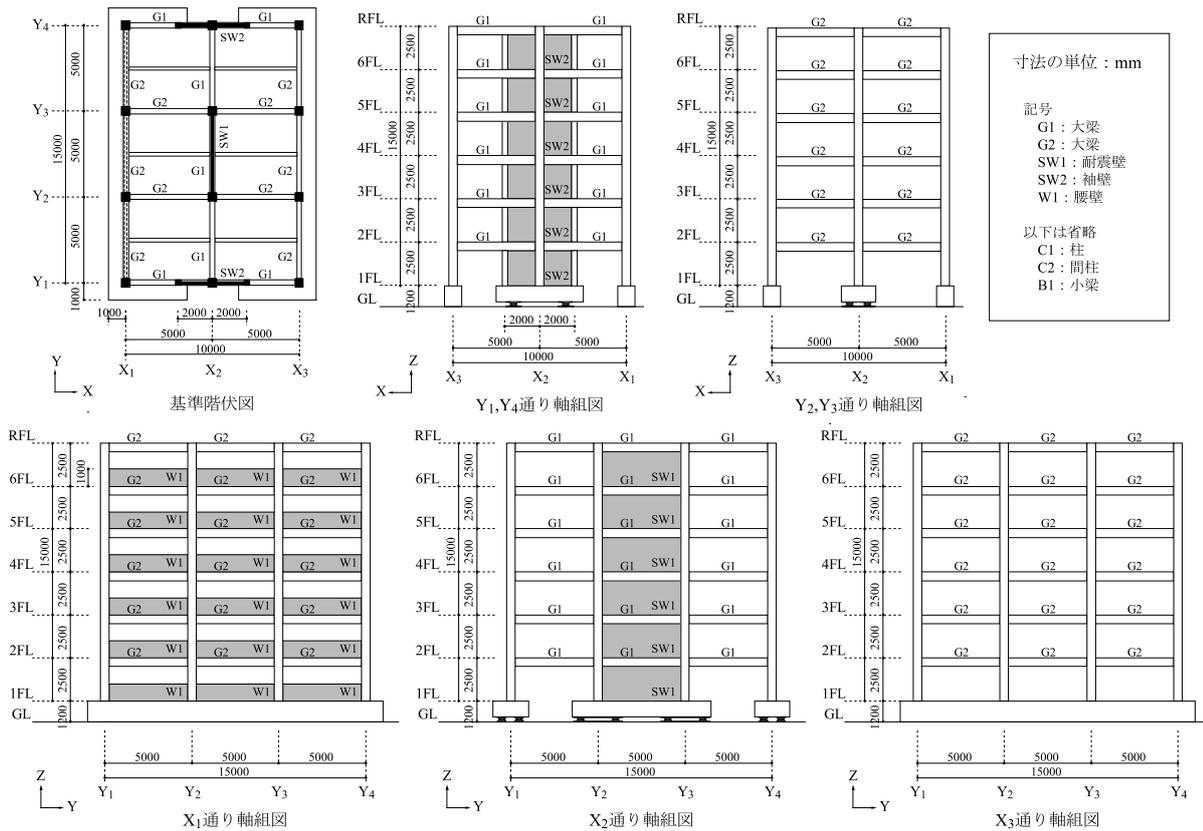


図1 試験体の基準階伏図と軸組図

やや古い建物を設定しました。1968年十勝沖地震でRC柱が数多くせん断破壊し、その応急的な対策として、1971年に柱の帯筋間隔を100mm以下とするように建築基準法施行令が改定されました。本試験体は、この改定後を想定しています。

既存の建物の中には耐震性不足が懸念されるものが未だ多く残されており、実験から得られる知見やメディアを通したPR効果などにより、耐震診断や耐震補強がさらに推進されるための一助となるよう期待したことも理由の一つです。

ただし、現在の耐震設計法の検証にも役立てるためには、耐震強度が低すぎるのも好ましくなく、現行規定をやや下回る程度のレベルとなるよう試験体の強度を設定しました。

⑥1体の試験体の実験結果からより多くの知見

を得るため、性質の違う複数の構面を混在させ、各構面において異なる損傷、破壊性状が観察できるような計画としました。すなわち、試験体の長手方向(Y方向)は、X₂通りに連層耐震壁、X₁通りに腰壁付短柱を設けました。1978年宮城県沖地震で腰壁短柱のせん断破壊が多く見られ、その教訓から、現在では腰壁の柱際に構造スリットを設けることが多くなっています。本試験体は1970年代建設を想定し、構造スリットを設けることはしていません。

⑦基礎は、振動台テーブルに完全固定する形式としました。実際の地盤上にたつ建物は完全な基礎固定の状態とは異なるため、基礎形式を地盤の影響を模擬した方法にすることも実験計画段階における選択肢の一つとして考えられました。しかし、本実験は、Eーディフェ

ンスにおける最初の大型実験研究であり、実大規模で地盤の影響を模擬した基礎形式とすることは実験技術的なハードルが相当高いこと、また今後の解析や実験のベンチマークとして基礎固定状態の実験データは重要であることを考慮し、最終的に基礎を完全固定する形式を採用しました。

入力地震動

入力波として1995年兵庫県南部地震における気象庁神戸海洋気象台観測波(JMA神戸波)を採用し、水平2方向、鉛直方向の3次元加振を実施しました。本実験のような大規模な構造物に対し、兵庫県南部地震を再現できる振動台は、現在E-ディフェンスにおいて他にありません。

試験体が最終的に長手方向(Y方向)で破壊に至るように、原波をZ軸回りに45度水平回転させ、加速度・速度が大きいN45W方向を試験体の長手方向に入力しました(図2)。

加振は、入力波の振幅倍率を5%, 10%, 25%, 50%, 100%, 60%と順次変化させて実施しました。入力レベルを徐々に増大して複数回の加振を行ったのは、1体の試験体の実験結果から、ひび割れ・降伏・破壊といった異なる損傷レベルの挙動データを取得したいという理由です。

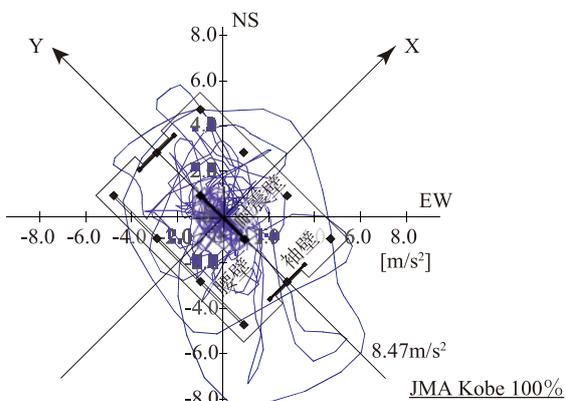


図2 入力加速度のオービット

試験体の破壊過程

振幅倍率50%の加振4では、柱端・梁端に曲げひび割れが多数発生し、1層耐震壁にせん断ひび割れが発生しました。被災度は「小破」で、引き続き使用可能な状態でした。

振幅倍率100%の加振5では、1層の腰壁付短柱2本のせん断破壊が生まれました。1層の連層耐震壁でも、斜めせん断ひび割れが進展し、脚部のせん断すべり破壊が生まれました。被災度は「大破」で、使用禁止・立入不可の状態でした。最後に行った60%の加振6では、前の加振で破壊した柱、耐震壁の破壊はさらに進行し、それ以外の柱でもせん断破壊、曲げ破壊が生まれました。加振後の試験体は、崩壊寸前ですが辛うじて自立している状態でした。



最終損傷状況 (X₁ 通り)



左から2番目の柱

右から2番目の柱

写真2 試験体の損傷状況

保有水平耐力

加振実験で得られた1層の水平せん断力(層せん断力)と層間変位の関係を図3に示します。層せん断力は、各階重心位置における応答加速

度と各階質量から求まる慣性力を累加して算出しました。層間変位は、振動台テーブルに対する2階床スラブの下面の相対変位です。

Y方向では、1層の短柱と耐震壁がせん断破壊した加振5で2階変位が急増しています。その後は剛性が著しく低下し、地震動の振幅倍率を下げた加振6でも変形が増大する一方です。従って、1層の層崩壊に至ったと判断できます。

1層の最大応答せん断力は7.41MN（ベースシア係数0.99）に達しています。これは、現行の計算法（仮想仕事法）による保有水平耐力の算定値 Q_u （3.60MN、ベースシア係数0.48）を大きく上回っています。1層の層せん断力がこのように増大したことによって、設計では想定できなかった部材のせん断破壊ならびに1層の層崩壊に至ったと考えられます。

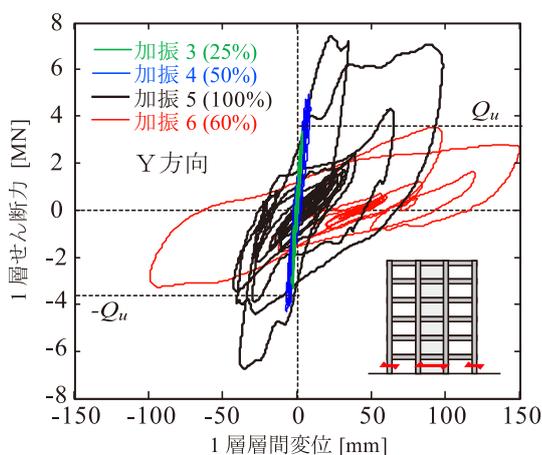


図3 1層の層せん断力-層間変位関係

層せん断力の分布

加振3～5について、1層せん断力が最大となった瞬間の各層のせん断力係数（層せん断力をその層より上の重量で除した値）の高さ方向の分布を図4に示します。比較のため、建築基準法施行令に示される地震層せん断力の分布係数 A_i 、保有水平耐力 Q_u の算定時に用いた逆三角形外力分布による形状を重ねて示しています。

加振4および加振5では、逆三角形外力分布や A_i 分布とは大きな差があり、むしろ、等分布に近い分布であることがわかります。

外力分布を等分布と仮定して1層の保有水平耐力を再計算すれば4.51MN（ベースシア係数0.60）となり、逆三角形分布の場合と比べて25%程度上昇します。実験の1層せん断力が保有水平耐力算定値を大きく上回った一因は、下層に偏った動的外力分布の影響であると言えます。

耐力上昇の要因は、この他、保有水平耐力算定時における仮定や評価式の精度、材料の歪み速度、上下動による軸力変動などであることが実験データの分析によって分かってきています。

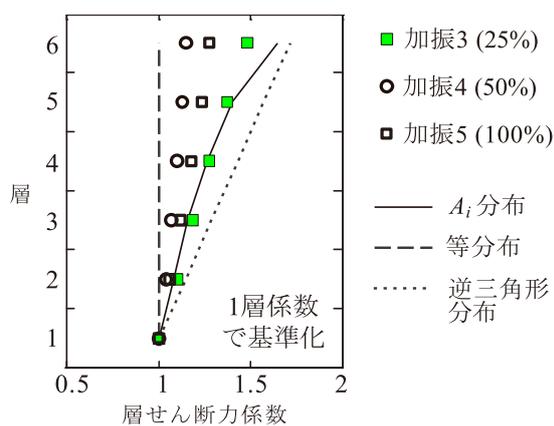


図4 層せん断力の高さ方向分布

まとめ

大大特で実施した実大6層RC建物実験は、大規模かつやり直しの効かないRC構造物の破壊実験であり、技術的課題や制約条件も多く、実験の実施は決して容易ではありませんでしたが、最終的にほぼ計画通りに実験が遂行されました。実験はプレス・一般公開を行い、1,200人を超える来場者がありました。

実験データは、耐震設計法の高度化に資すべく、その分析を進めるとともに、関連研究者にも配布し、数値シミュレーションの精度向上のために活用されています。

地盤基礎実験

地盤と基礎構造の地震時挙動を検証

兵庫耐震工学研究センター 主任研究員 田端憲太郎



はじめに

大規模な地震時には液状化による地盤変形やそれに伴う構造物被害が多く見られることから、構造物の耐震性向上のためには、地盤や基礎構造の地震時挙動を考慮する必要があります。1995年の兵庫県南部地震では、地盤の液状化や液状化地盤の側方流動による護岸崩壊と構造物の基礎破壊といった、地盤に関する被害が数多く発生しました。このような地盤液状化の引き起こす被害が研究課題の一つとして大きくクローズアップされるようになったことから、地盤と基礎構造の地震時挙動の解明へ向けて、被害調査や様々な実験、解析による検討が進められています。しかし、実際の地震時に地盤や基礎構造がどのようなプロセスを経て被害を受けたのかを記録した観測データがないために、調査や実験、解析による現象の十分な理解には

至っていません。

地盤や基礎構造の被害プロセスを再現するために、遠心载荷装置や振動台に載せた縮小規模地盤モデルに振動を加える実験が以前より行われていますが、実際の地盤の力学特性を縮小モデルへ完全にフィードバックすることができないことから、これらの実験結果を実挙動と直接的に比較し、解釈することは困難を伴います。そこで当研究所では、実現象が再現され得る地盤モデルの実験から実証データを取得することを目標として、構造物のある液状化地盤の実大規模モデルを土槽と呼ばれる容器内に作製し、それをE-ディフェンスの震動台に載せて地震動で揺らす震動実験を実施しました。地盤モデルに実現象を再現させるためには、実際と同様の大きなサイズのモデルが必要となり、それに伴い質量も非常に大きなものになります(写真1)。E-ディフェンスは、そのような大規模・大質量のモデルを三次元の地震動で揺らすこと



写真1 水平地盤実験の地盤モデルの震動台上への設置 (吊上げ時質量約750t)

表1 E-ディフェンスによる地盤基礎実験の種類

実験の種類	平成17年度	平成18年度
側方流動実験	<ul style="list-style-type: none"> 矢板護岸 杭基礎構造物 (鋼管杭6本) 	<ul style="list-style-type: none"> ケーソン護岸 杭基礎構造物 (鋼管杭6本)
水平地盤実験	<ul style="list-style-type: none"> 非液状化地盤 (乾燥砂) 杭基礎構造物 (鋼管杭9本) 	<ul style="list-style-type: none"> 液状化地盤 (飽和砂) 杭基礎構造物 (鋼管杭9本)

ができる、世界で唯一の震動実験施設です。

地盤や基礎構造の地震時挙動解明に関して取り組むべき研究トピックは非常に多く存在しますが、特に地盤液状化に係る問題は、その影響が非常に広範囲にわたって発生件数も多いことから、国民的関心事となっています。この液状化問題の中でも「水平地盤における杭基礎の破壊」と「側方流動による護岸とその背後の杭基礎の破壊」のメカニズム解明は、とりわけ重要な課題です。そこでE-ディフェンスによる最初の地盤基礎実験として、これら2つの重要課題を対象とした震動実験（それぞれ「水平地盤実験」、「側方流動実験」と称します）をこの研究で取り組むこととし、平成17・18年度に4種類の実験を実施しました（表1）。本文では、側方流動実験のうち、ケーソン形式の護岸を有する液状化地盤モデルの実験について紹介します。

側方流動によるケーソン護岸とその背後の杭基礎の破壊実験

兵庫県南部地震では、臨海部の液状化に伴う地盤の側方流動により護岸が壊滅的な被害を受け、その背後にある杭基礎構造物も大きな被害を受けました。これら構造物の多くは物流拠点

であり、かつ災害発生時には救援や復旧に必要な物資集積の拠点となりますので、液状化に伴う側方流動による護岸とその背後にある杭基礎構造物の被害を軽減させることはきわめて重要です。そこで筆者らは、地盤液状化に伴う護岸の変形メカニズムと、護岸の背後にある杭基礎の破壊メカニズムを、実大規模地盤モデルで実験的に把握することを目的としたE-ディフェンスによる震動実験を実施しました。

この実験では、直方体形状の土槽（内部の長さ16m、幅4m、高さ5m）の中に、ケーソン護岸と杭基礎構造物が設置された液状化地盤を想定した地盤モデルを作製しました（図1、写真2）。液状化地盤は、相対密度が土槽底面から0.75mまでは90%の密な状態に、それより上層が60%のやや密な状態になるように、乾燥状態の砂を締固め、地盤が所定の高さに達した後に土槽底面から脱気水を注入することにより飽和させました。地盤はケーソン（質量21.6t、単位体積あたりの質量 2.1t/m^3 ）によって陸側と水側に地盤表面高低差2mで分けられ、地下水位面を陸側地盤表面から0.5m下（水側表面から1.5m上）としました。ケーソンの下には碎石によるマウンドを、背後には鋼管杭6

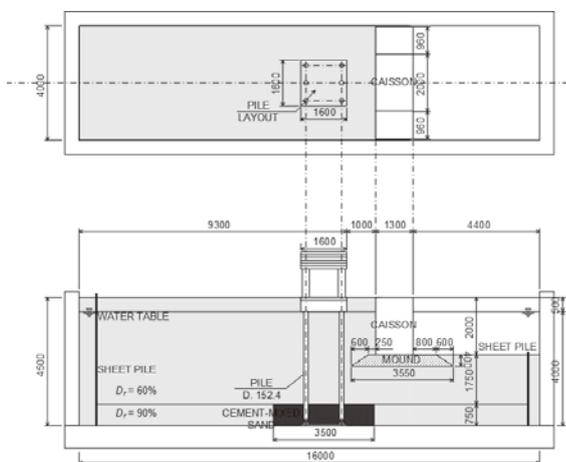


図1 地盤モデルの仕様（ケーソン護岸のモデル）



写真2 実験前の地盤モデル（ケーソン護岸のモデル）

本の基礎で支持された構造物（上部構造物の質量12t、フーチングの質量10t）を設置しました。この地盤モデルに、加速度計、変位計、水圧計、土圧計、ひずみゲージ他、約900チャンネル分のセンサを設置して、地盤や構造物の挙動を計測しました。また、このような大規模モデルでは、地盤や構造物に従来の変位計で計測できない水平・鉛直方向の動きを生じることが予想されたため、地盤表面やケーソン、構造物に取り付けた光反射マーカ（写真3の地盤や構造物表面で光っている球体）をデジタルカメラで捉えることによって移動量を算出する、三次元変位計測も併せて実施しました。

震動実験では、兵庫県南部地震で実際に観測された地震波を、80%の加速度レベルに調整して土槽長手（水平）・上下（鉛直）の2方向に入力（加振）しました。震動台の最大水平加速度 5.96m/s^2 、鉛直加速度 1.71m/s^2 の加振により、地盤全体が液状化しました。加振後の地盤モデルの状況と平面・断面図を、図2と写真4にそれぞれ示します。ケーソンは加振後から大きく水側へ水平方向に上部で約1.5m、下部で約1.0m移動し、その下にあるマウンドもケーソンの移動に伴って水側へ移動しました。しかし、ケーソン、マウンドとも、鉛直方向への移

動量はそれほど大きくありませんでした。ケーソン背後（構造物前面）の地盤では加振開始直後に沈下と亀裂を生じ、ケーソンやフーチングとの間隙から水を噴き出す状態となりました（写真5）。この状況から、少なくとも地盤表層付近では、ケーソン、フーチング、その間の地盤は一体ではなく、亀裂や隙間を生じて動いているようです。構造物は、ケーソンの移動とそれに伴う前面（ケーソン背後）地盤の流動により、水側へ傾斜しました。これは構造物の杭の破壊によって生じたもので、すべての杭でフーチング直下が提灯状に変形し、加えて水側の3本の杭がマウンドと同じレベルで折れ曲がっていました（写真6）。

加振中の地盤と構造物の動きについて、水平方向移動量を図3に示します。ケーソンは

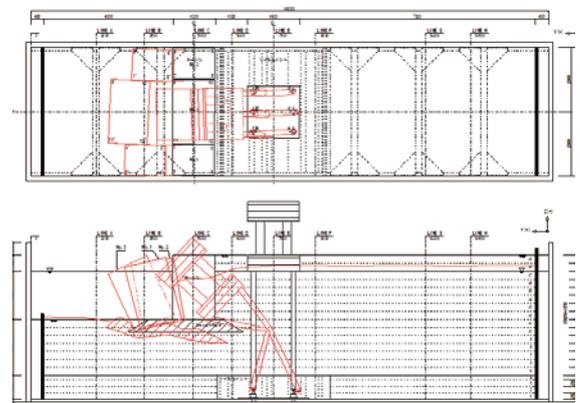


図2 加振後の地盤・構造物の状況



写真3 三次元変位計測の光反射マーカ



写真4 加振後の地盤モデル

加振直後から水側と陸側に大きく揺れ、経過時間 10.5 秒頃に水側へ転倒しました。転倒までの間、背後地盤と構造物の移動量はケーソンよりも小さく、ケーソン転倒にそれほど影響を与えていないことがわかります。しかしケーソンが転倒すると、背後地盤と構造物が同じように水側へ大きく動き、最終的に背後地盤は流出し、構造物は杭が破壊して転倒します。次に、加振中の地盤と構造物の加速度の変化を図 4 に示します。ケーソンの加速度が経過時間 10 秒頃に大きく変化していることから、その転倒が加速度、つまり慣性力が大きく変化することにより引き起こされたものと考えられます。一方、地盤と構造物の加速度は、ケーソン転倒前後でそれほど変化が見られないことから、構造物の転倒は前面（ケーソン背後）地盤の流出がトリガ

となって生じたと思われます。

おわりに

このような実大規模地盤モデルの震動実験を行うことにより、実際の地震時に観測されていなかった地盤と構造物の動きや加速度変化などのデータを収録し、同時に地盤や構造物の震動時の映像も収録することができました。また、本文で紹介した実験結果のように、構造物への地盤変形や慣性力の影響など、挙動評価のための情報を得ることができました。E-ディフェンスによる震動実験のデータや知見は実大規模地盤モデルから得られたものですので、実際に起こりうる現象の再現から得られたものであると言えます。この実験研究で得られた結果は、従来手法による実験結果の解釈や数値解析手法の開発や評価のベンチマークとして不可欠なものであるために需要が高く、今後の利活用が期待されています。



写真5 加振開始直後のケーソン背後地盤



写真6 折れ曲がった杭

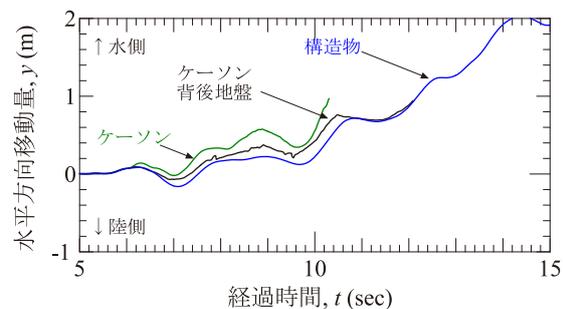


図3 水平方向の移動量の変化

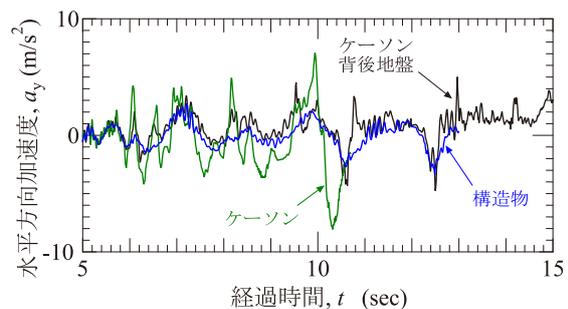


図4 水平方向の加速度の変化

第7回国土セイフティネットシンポジウム

防災科研は、日本地震工学会やNPOリアルタイム地震情報利用協議会(REIC)と共催で表記シンポジウムを、1月31日に横浜国際平和会議場で開催しました。本シンポジウムでは、緊急地震速報の利用普及促進のために提供側と利活用側の代表的な方々を招き、講演やパネルディスカッションを通じて意見交換を行いました。

まず提供側の代表として気象庁の上垣内氏より緊急地震速報の一般提供に関する講演をして頂きました。その後日本大学の中森氏からは緊急地震速報に関するアンケート調査を踏まえた課題について、(株)伊勢丹の熊谷氏からは緊急地震速報行動マニュアルについて、REICの藤縄氏からは緊急地震速報の技術的限界を改善する方法について、防災科研の藤原氏からは、地震動予測の高精度化のための地盤情報の整備についての講演がされました。



パネルディスカッションの様子

次に東京大学の目黒氏を司会としたパネルディスカッションでは、気象庁の上垣内氏、消防大学の座間氏、藤沢市の林氏、日本テレビ放送網(株)の谷原氏をパネラーとして、一般参加者も交え、活発な意見交換がなされました。なお、同日から2月1日に開催された第12回震災対策技術展では、防災科研からリアルタイム地震情報処理システムや地震ハザードステーション等を出展し、大変盛況でした。

第2回シンポジウム「統合化地下構造データベースの構築～データベースの連携で築く公共の地盤情報～」

防災科研は、独立行政法人 産業技術総合研究所、独立行政法人 土木研究所、社団法人 地盤工学会と共催で表記シンポジウムを、2月28日に日本科学未来館みらいCANホールで開催しました。

前半は、まず、基調講演として、名古屋大学の福和伸夫教授より、「災害被害軽減のための地盤情報の共有化と活用」と題して、お話し頂きました。次に、防災科研の藤原広行氏(研究代表者)よりプロジェクトの概要について、また、産総研



シンポジウムの様子

の木村克己氏から、首都圏の地質地盤情報データベースと三次元モデルの構築について講演がありました。

後半は、まず、本プロジェクトでシステム開発を担当している4機関(防災科研・産総研・土木研・地盤工学会)からそれぞれの研究成果について講演がありました。また、防災科研で実施している、自治体における地下構造データベース整備状況に関するアンケート調査についての報告がありました。さらに、データベースの利活用について、本プロジェクトに参画している2機関(東京工業大学・東京大学地震研究所)に加えて、2自治体(東京都・千葉県)、民間を代表して社団法人全国地質業協会連合会のそれぞれから講演がありました。

また、会場では、研究内容を紹介するパネルも展示され、大変盛況でした。

行事開催報告

防災研究フォーラム第6回シンポジウム ～能登半島地震と新潟県中越沖地震から学ぶ～

表記シンポジウムが、3月15日、東京大学小柴ホールで地震調査研究推進本部(事務局 文部科学省)との共催で開催されました。同シンポジウムでは、昨年発生した2つの地震の緊急調査研究等の研究代表者や、諸学会の地震被害調査団長の方々が一堂に会して、被災直後から精力的に行われた調査研究の結果が報告されました。防災科研からは、小原副部長が「能登半島地震に関



シンポジウムの様子

する緊急調査研究」、長坂主任研究員が「中越沖地震被災地における地域防災力」、池内研究員が「2つの地震における災害医療活動」について講演を行いました。また、文部科学省地震・防災研究課の奥課長補佐より、平成20年度から5カ年計画で小原副部長を研究代表者として実施される「ひずみ集中帯における地殻構造調査研究」に関する特別講演が行われました。

防災研究フォーラムは、文部科学省科学技術・学術審議会「防災分野の研究開発に関する委員会」の提言(2001年8月)を受け、自然災害を中心とした災害軽減・防御に関する共同研究プロジェクトの立案や産官学連携の研究体制などについての検討を進めるため、2003年6月に設立された組織で、京都大学防災研究所、東京大学地震研究所、独立行政法人防災科学技術研究所の3機関が輪番制で事務局を勤めています。

行事開催報告

しずおか防災科学技術展2008 ～あしたのために、いま学ぶ～

当所は、静岡県、国土交通省富士砂防事務所、静岡大学、静岡県立大学、東海大学海洋学部、東海大学海洋研究所、富士常葉大学と共催で、3月20日、静岡県コンベンションアーツセンター「グランシップ」において、防災科学技術展を開催しました。あいにくの雨風の強い天気となりましたが、休日ということもあり、会場は約500名の来場者で賑わいました。この催しは、昨年までつくばや都内で実施してきた「防災科学技術研究所成果発表会」に該当するもので、つくばで来場者を待ち受けているだけではなく、こちらから各地へ出かけ、地元の自治体や研究・教育機関と連携して共に学び、成果普及に努めたいという想いがありました。今回は静岡県との打合せの結果、単なる講演会ではなく、展示・実験教室・科学工作などを含んだ、より多彩な催しを実施しました。このイベントについて、一般の人や学

生・児童、地方自治体関係者や研究者など、色々なレベルの参加者がそれぞれに得るものを感じ、満足していただいたようでした。



石黒先生の特別講演 「木造倒壊する」公開実験



Dr. ナダレンジャーの実験教室



静岡県地すべりマップ (巨大床地図)

小原地震研究部副部長が井上學術賞を受賞



小原一成地震研究部副部長が、「沈み込み帯における様々なスロー地震の発見」により、第24回（平成19年度）井上學術賞を受賞し、2月4日にKKR ホテル東京において贈呈式が行われました。

今回の受賞は、平成7年1月の阪神・淡路大震災を契機として発足した地震調査研究推進本部の方針に基づき防災科研が整備した高感度地震

観測網（Hi-net）の観測データを丹念に解析することにより、世界で初めて「深部低周波微動」を発見し、さらに「短期的スロースリップ」、「深部超低周波地震」及び「浅部超低周波地震」といった、フィリピン海プレート境界付近で発生する様々なスロー地震を次々と発見した業績が評価されたものです。

スロー地震とは、通常の地震よりもゆっくり断層破壊する地震のことで、巨大地震発生域であるプレート境界付近でのこれらの発見は、プレート境界の破壊過程を解明する上で大きな手がかりとなり、巨大地震発生予測に大きく貢献すると期待されています。

井上學術賞は、(財)井上科学振興財団より、自然科学の基礎的研究で特に顕著な業績を挙げた50歳未満の研究者に授与されるもので、日本地震学会による推薦を経て受賞につながりました。

堀内研究参事が「ナイスステップな研究者2007」に

堀内茂木防災システム研究センター研究参事が気象庁の東田進也地震火山部管理課調査官とともに、文部科学省科学技術政策研究所により「ナイスステップな研究者」として選定されました。

これは、昨年10月1日より一般の方々への配信が始まった「緊急地震速報システムの開発」への貢献及びその科学技術政策的意義が高く評価されたものです（詳細は、防災科研ニュース2007年秋号（No.161）特集「緊急地震速報を支える防災科研の技術」をご覧ください）。



ナイスステップな研究者シンポジウムにおける記念撮影
(4月11日)

http://www.bosai.go.jp/news/oshirase/images/h191226_02.pdf

