

実大三次元震動破壊実験施設の利用計画

佐藤 正義¹・井上 貴仁¹

¹防災科学技術研究所 特定プロジェクトセンター「実大三次元震動破壊実験施設の利用に関する研究」
(〒305-0006 茨城県つくば市天王台3-1)
E-mail:m.sato@bosai.go.jp・dinoue@bosai.go.jp

防災科学技術研究所では、現在兵庫県三木市に超大型の三次元震動台、すなわち「実大三次元震動破壊実験施設(E-ディフェンス)」を建設中である。この施設の運営と有効な利用方法については多くの課題があり、それを解決するため、(1)運営体制の整備と外部機関との連携のためのネットワーク、(2)施設を利用した鉄筋コンクリート建物実験、地盤基礎実験、木造建物実験の予備的研究と実験実施計画、(3)震動台利用にあたっての震動台入力地震動データベースと震動台シミュレーションを重点テーマとして設定し、国内の種々の研究機関の協力のもとに取り組んでいる。

Key Words : Largest shake table, Seismic performance of structures, Shake table tests

1. はじめに

防災科学技術研究所(以降、防災科研と称す)が、現在兵庫県三木市に建設中の「実大三次元震動破壊実験施設(E-ディフェンス)」は、実際に想定される地震により実大の構造物を破壊させ、大規模地震におけるその挙動を再現することが可能であり、実験研究の成果を構造物の耐震性向上に役立てることを目的としている。本稿では、防災科研がE-ディフェンスの有効利用を目指し取り組んでいるプロジェクトの内容を報告する。

2. プロジェクトの概要

防災科研は、文部科学省が2002年後半から実施している「大都市大震災軽減化特別プロジェクト」のテーマ「震動台活用による構造物の耐震性向上研究」に取り組んでいる。これは、実験研究を主としたE-ディフェンスの有効活用による構造物の耐震性向上に寄与することを目的としている。しかし、E-ディフェンスこれまでにない規模の実験施設であり、これを有効に利用するためには、以下のような課題がある。

- ・施設の運営体制の整備
- ・試験体を積載した場合の震動台応答性の事前確認及び震動台の制御方法
- ・震動台に入力する地震動
- ・大規模な実験研究を実施するにあたっての予備的研究
- ・どのような実験を行うかの計画・計測方法、実験を実施するための諸設備
- ・実験結果の成果の展開方法

・実験結果のシミュレーション解析手法

本プロジェクトでは、これらの課題を解決すべく研究を推進・実施して行く計画である。そのため、防災科研がこれまでの蓄積した技術的・研究の実績を踏まえつつ、また広く国内の研究機関の協力を得て実施している。本プロジェクトは表-1に示す6つの研究課題で構成されており、各課題には防災科研の他、多くの研究機関が参画している。防災科研はプロジェクトの中核機関として、各研究テーマの連絡、進捗状況のチェック等のプロジェクト管理と研究全体の取り纏めを行っている。なお、E-ディフェンスで実験研究の対象となる構造物は多種多様であるが、当面防災科研が重点的に取り組む課題として、鉄筋コンクリート建物、地盤・基礎及び木造建物を対象として取り上げた。

本プロジェクトの実施期間は、2002年秋から2007年3月末の約5ヶ年度の予定であり、前半の3ヶ年度はE-ディフェンスの利用に向けての実験研究を行う準備期間、後半の2ヶ年度はE-ディフェンスを利用した実験研究を行う期間として、各研究課題を推進・実施していく計画である。

3. 研究テーマ概要

(1) E-ディフェンス運用体制及びシステムの整備

E-ディフェンスを国際共同利用施設として有効な利活用を図り、かつ広く外部の意見を取り入れながら施設運営と研究を行うための体制作りとして、「実大三次元震動破壊実験施設運営協議会」及び「実大三次元震動破壊実験施設利用委員会」を設置している。「実大三次元震動破壊実験施設運営協議会」は、産学官の代表者から構成され、

表-1 研究課題と体制

研究課題	研究リーダー & 幹事	研究機関
E - ディフェンス運用体制及びシステムの整備	佐藤 正義 (防災科研) 井上 貴仁 (防災科研)	防災科学技術研究所
鉄筋コンクリート建物実験	壁谷澤 寿海 (東大地震研) 松森 泰造 (防災科研)	防災科学技術研究所、東京大学地震研究所、豊橋科学技術大学、建築研究所、京都大学防災研究所、鹿島建設、清水建設
地盤・基礎実験	時松 孝次 (東工大) 佐藤 正義 (防災科研)	防災科学技術研究所、東京工業大学、農業工学研究所、土木研究所、鹿島建設、竹中工務店、大成建設、東北大学、基礎地盤コンサルタンツ、地盤工学会
木造建物実験	坂本 功 (東大) 箕輪 親宏 (防災科研)	防災科学技術研究所、東京大学、建築研究所、京都大学防災研究所、日本システム設計、森林総合研究所
高精度加振制御技術の開発	梶原 浩一 (防災科研)	防災科学技術研究所
三次元地震動データベースの整備	阿部 健一 (防災科研)	防災科学技術研究所、東京大学地震研究所、京都大学防災研究所

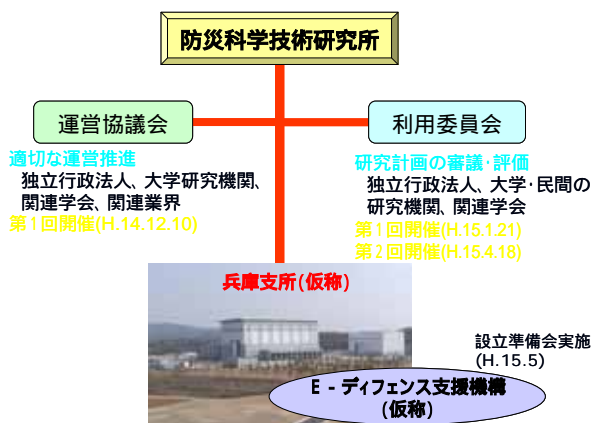


図-1 運用体制

施設運営全般に対する適切な助言・指導を得る事を目的としている。一方、「実大三次元震動破壊実験施設利用委員会」は、E - ディフェンスの利用予定機関の研究者及び学識経験者から構成され、施設利用・実験計画の技術的な審議・評価と利用機関のスケジュール調整を行う機関である。図-1に運営体制を示す。

また、E - ディフェンスでの実験情報等の公開及び実験研究成果等の幅広い利用促進を図るため、国内外の研究機関との高速ネットワークに対応する「ED - Net (E-Defense Network)システム」を構築している。

(2) 鉄筋コンクリート建物実験

実大鉄筋コンクリート建物の三次元震動破壊実験の目的は、実構造物の三次元動的応答性状及び破壊メカニズムを解明し、構造物の挙動を精度よく予測する手法を開発するためのデータを得ることである。その成果は、鉄筋コンクリート構造物の耐震性能評価手法及び耐震設計手法の高度化、耐震性向上を目指した新しい構造システムの開発、既存構造物の耐震診断・耐震補強等の具体的な方法の提案に直接結びつけることができる。ここでは、主として次の3テーマの研究を行っている。

- 1) 「実験的研究による三次元地震応答性状と破壊メカニズムの解明」
- 2) 「三次元挙動の数値シミュレーションシステム

の開発」

3) 「E - ディフェンスを用いた実験計画」

前半の3ヶ年度は予備的研究として、実大鉄筋コンクリート建物震動破壊実験の1/3スケールモデル（耐震壁フレーム構造、耐震壁を含む立体フレーム構造）を対象とした既存の大型一次元振動台や中規模三次元振動台による実験を行い、E - ディフェンスでの実験計画の基礎資料の取得、実験技術の蓄積、及び地震時の三次元動的応答性状や破壊メカニズムの解明を行う。写真-1に2003年3月に実施した耐震壁立体フレーム構造の振動台実験の状況を示す。また、E-ディフェンスで実験を計画している試験体モデル（6層、高さ約18m、2×3スパン@5m、総重量1000tonf）の一例を図-2に示す。



写真-1 耐震壁立体フレーム構造の振動台実験

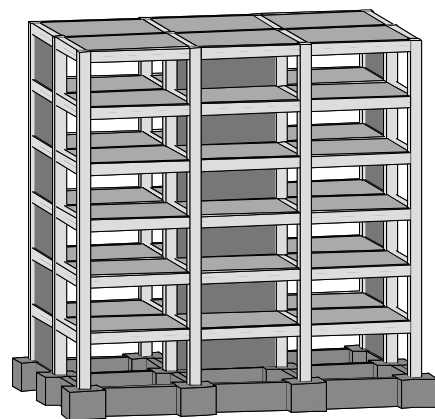


図-2 計画中の試験体モデル

(3) 地盤・基礎実験

E - ディフェンスで実施する大型土槽実験の予備研究として、既存の振動台を用いて地盤 - 杭基礎 - 構造物の三次元非線形動的相互作用及び側方流動に対する基礎の破壊メカニズムを解明する震動実験を実施している。その結果は、E - ディフェンスでの地盤・基礎実験計画の基礎資料とすると共に、地盤・基礎構造物系の地震時挙動の詳細な考察と高精度な予測ができる三次元数値シミュレーション手法の確立のためのデータとして用いる。写真-2に側方流動実験の状況を示す。



写真-2 剛体土槽による側方流動実験

本課題で実施している研究は、上述の予備研究を含め、大きく次の3テーマに分類される。

- 1) 「実験的研究による地盤・基礎の地震破壊現象の解明」
- 2) 「地震破壊現象の数値シミュレーション手法の開発」
- 3) 「E - ディフェンスによる土槽実験計画と施設整備」

E - ディフェンスを使用した実大土槽振動実験では、三次元入力場での地盤と構造物の大変形挙動と破壊メカニズムを解明するため、

水平地盤中の杭基礎実験

護岸の側方流動実験

の2タイプについて検討・計画を進めている。また、それらの実験実施にむけ、実験に必要な土槽、土槽地盤の作成方法、地盤材料等について検討し、実大三次元せん断土槽及び実大側方流動土槽の設計、関連付帯設備の設計を行っている。図-3に水平地盤中の杭基礎の実大実験のイメージを示す。

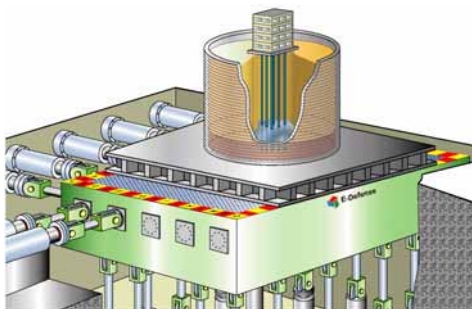


図-3 実大土槽実験のイメージ

(4) 木造建物実験

本テーマでは、兵庫県南部地震のような大地震が発生した際における経年変化した木造建物の地震時挙動の把握と耐震性能の評価を行い、耐震設計法及び耐震補強法の開発と併せて既設木造建物の耐震性向上の方策を検討するため、以下の研究を実施している。

- 1) 既存木造建物の地震応答観測
- 2) 木造建物の地震動による破壊に関する数値シミュレーション
- 3) 木造建物中規模三次元震動台実験
- 4) 木造建物の構造要素試験
- 5) 既存木造建物の強度調査

新しい試みとして、これまでほとんど観測データがない既存木造建物の地震応答観測を実施している。木造建築特有の構法や木造建物の地域性を考慮して選定した対象建物の観測を行い、木造建物の地震応答・耐震性能を解明すると共に、木造建物の耐震性向上の基礎資料とする。また、振動台における応答と地震観測結果の相違を調べ、E - ディフェンスでの実大実験の資料とする。写真-3に観測対象の建屋と地震計設置状況を示す。



写真-3 観測対象の建物と地震計設置状況

また、既存建家から切り出した壁構面、1981年耐震基準改正以前の木造住宅モデル及び伝統構法を含む軸組構法木造建物モデルの中規模振動台実験を行い、E - ディフェンスにおいて実施予定の木造建物の三次元震動破壊実験計画の基礎資料及び開発中の木造建物の地震動による破壊に関する数値シミュレーションの検証データとする。1981年耐震基準改正以前の木造住宅を想定した振動台倒壊実験の状況を写真-4に示す。



写真-4 木造住宅モデルの振動台倒壊実験

(5) 高精度加振制御技術の開発

E - ディフェンスによる震動実験を安全かつ高精度に行うために、震動台の応答挙動を事前に精度良く把握する必要がある。このため、三次元震動台シミュレーションシステムを開発する。システムは、震動台モデル、加振系(加振機、三次元継ぎ手)、応用制御系、基本制御系、試験体モデルにより構成されるものとし、試験体による震動台応答への影響を推定できるものとする。また、科学技術振興調整費による総合研究¹⁾の研究「大型震動台制御手法の高度化」における成果を反映し、そこで検討された制御系と震動台ユーザーが持ち込む制御系の装備が可能なシステムとする。図-4に震動台シミュレーションモデルを示す。

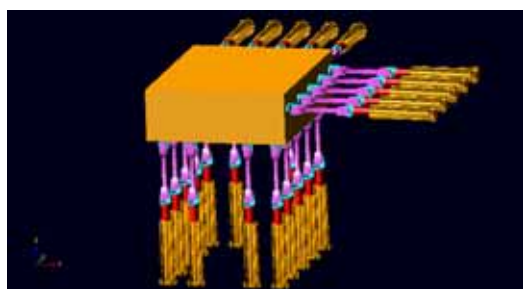


図-4 震動台シミュレーションモデル

(6) 三次元地震動データベースの整備

E - ディフェンスへの入力地震動を提供することを目的として、既存の強震動観測波形及び三次元強震動波形推定手法で算定された波形を保有し、三次元地震動作成・データ選定検索機能をもつ三次元地震動データベースを整備する。図-5にデータベースのプロトタイプを示す。

既存の強震動としては、国内外の記録を対象としてその属性に関する資料を収集、整理する。また、三次元強震動波形推定のための手法を構築し、大都市圏地域を含む具体的なサイトを対象として将来予測される大地震の三次元強震動波形を推定する。

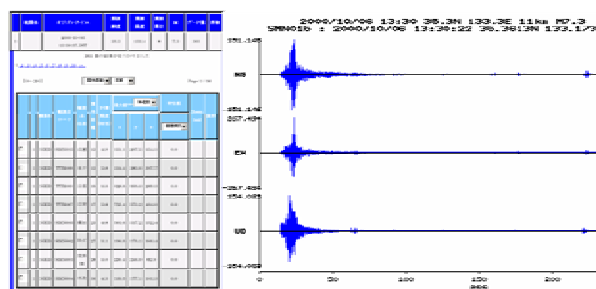


図-5 データベースの検索画面と抽出された波形

4. おわりに

防災科研が建設中の「実大三次元震動破壊実験施設(E-ディフェンス)」を有効に利用するため取り組んでいるプロジェクトの概要を紹介した。このプロジェクトでの実験研究の成果を、構造物の耐震性向上に役立て、地震災害の低減に結びつけていくと共に、E-ディフェンスの特長を社会にアピールし、実験施設の有効利用提案に繋げていきたいと考えている。

なお、本プロジェクトは下の URL にて紹介をしている。

<http://www.bosai.go.jp/sougou/eduse-pj/ddt-pj/index.htm>

謝辞：文部科学省はじめ、本プロジェクトに参画された多くの研究機関及び研究者に感謝致します。

参考文献

- 1) (社)土木学会技術推進機構：第4回構造物の破壊過程解明に基づく地震防災性向上に関するシンポジウム論文集, pp. 35-70, 2003.

(2003. 9. 16 受付)

GENERAL FRAME WORK OF RESARCH TOPICS UTILIZING THE 3-D FULL-SCALE EARTHQUAKE TESTING FACILITY

Masayoshi SATO and Takahito INOUE

National research Institute for Earth science and Disaster prevention in Japan (NIED) is constructing the world's largest 3-D full-scale shake table which is nicknamed as E-Defense. Concerning the utilization of E-Defense, there are many subjects which NIED should make clear before the operation of the facility becomes possible. In order to solve these subjects, NIED investigates actively the research themes as follow, 1) Establishment of utilization and wide area network systems, 2) Development of ground motion database for input motion and a simulation system for the shake table, and 3) Full-scale test and analysis of reinforced concrete structures, soil-pile-structure systems and conventional wooden structures.