

1. プロジェクトの概要

1.1 プロジェクトの目的

本プロジェクトは、防災科学技術研究所が兵庫県三木市に建設し、平成17年3月に竣工した「実大三次元震動破壊実験施設(Eーディフェンス)」をはじめとする世界の震動台や震動実験専用シミュレータを活用(既存データの活用を含む)して耐震に関する実験・研究を行い、構造物の耐震性の飛躍的向上を図ることを目的としている。

Eーディフェンスは、実際に想定される地震により実物大構造物を破壊させ、その地震時挙動を再現することが可能であり、その実験・研究成果は構造物の耐震性向上に役立てることができる。

しかしながら、Eーディフェンスのような世界初の大規模震動実験施設を有効に利用するためには、施設の運営体制の整備、大規模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、実験結果の成果の展開方法、試験体を積載した場合の震動台応答性の事前確認、震動台に入力する地震動、等の課題がある。

本プロジェクトでは、防災科学技術研究所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、研究課題解明のための実験・研究を推進・実施して行く計画である。なお、耐震性向上が必要となる構造物は多種多様であるが、現存する研究シリーズ、予算規模、5年間という時間的制約等を考慮して、鉄筋コンクリート建物、地盤・基礎および木造建物を重要課題として取り上げている。

1.2 期 間

本プロジェクトは平成14年9月から、平成19年3月末の約5年間にわたって行う。平成16年度末には中間評価が行われ、プロジェクトの進捗と方向性がチェックされた。

1.3 プロジェクトの研究構成と概要

本プロジェクトは、次の6つの研究課題から構成される。

- (1) Eーディフェンス運用体制およびシステムの整備
- (2) 鉄筋コンクリート建物実験
- (3) 地盤・基礎実験
- (4) 木造建物実験
- (5) 高精度加振制御技術の開発
- (6) 三次元入力地震動データベースの整備

以下、各課題について概要を述べる。

(1) Eーディフェンス運用体制およびシステムの整備

Eーディフェンスの有効な利活用を図るため、以下の研究を行う。

1) Eーディフェンス運用体制整備および全体研究管理

Eーディフェンスの利用予定機関の研究者、学識経験者および産官学の代表者等による「実大三次元震動破壊実験施設運営協議会」および「実大三次元震動破壊実験施設利用委員会」を設置し、実験計画、利用計画等を取りまとめ、評価を行う体制を構築し、Eーデ

ィフェンスを国際共同利用施設としての運営・利用体制を整備する。また、海外研究機関との連携、共同研究について検討を開始する。

さらに、「Ⅱ耐震性の向上研究」の各研究テーマの連絡、進捗状況のチェック等を実施することにより、プロジェクト全体の研究管理を行う。また、研究成果を公表するためのシンポジウム等を開催する。

2) E D - N e t 対応システムの整備

国内外の研究機関を高速ネットワークで結び、Eーディフェンスの実験研究成果を世界に発信し、実験データ、研究成果等の幅広い利用促進を図ると共に、相互のデータ流通や共同実験の効率的実施等を目標とした「ED-Net (E-Defense Network) 対応システム」を構築する。また、実験場所にいない研究者でもネットワークを通じて容易に参画することを可能とすることを目的として、実験と解析を遠隔地同士でリアルタイムに協調実施するための仕組みの検討を行う。

(2) 鉄筋コンクリート建物実験

鉄筋コンクリート建物を対象として、「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」、「三次元挙動の数値シミュレーションシステムの開発」、および「Eーディフェンスを用いた実験計画の策定」を3つの大きなテーマとする。

1) 鉄筋コンクリート建物の三次元動的破壊実験

Eーディフェンスで実施予定の6層程度の立体耐震壁フレーム構造の実大鉄筋コンクリート建物の震動実験の予備的研究として、1/3 程度の縮小モデルの試験体を用いた既存の大型一次元振動台や中小三次元振動台による震動実験を行い、実験技術の蓄積を行うと共に、構造物の三次元地震応答性状と破壊メカニズムの解明を行う。

2) 鉄筋コンクリート造連層耐震壁の動的挙動と静的挙動の比較に関する研究

鉄筋コンクリート造連層耐震壁の静的加力実験を実施し、耐震壁の復元力特性のモデル化を行う。また、そのモデルを用いて震動台実験結果のシミュレーション解析を行い、動的耐震性能と静的耐震性能との比較により、動的挙動に及ぼす静的復元力特性の影響を検討する。

3) 耐震壁立体フレーム構造の水平力分担に関する研究

耐震壁立体フレームの基礎を固定した場合と浮き上がりを許容した場合の耐震壁と柱部材の地震時における応力分担に着目した擬似動的加力実験を行う。

4) 耐震壁浮き上がり挙動を再現する振動台実験に用いる動的試験デバイスの開発とその特性試験

Eーディフェンスでの実大鉄筋コンクリート建物の破壊実験に向けて、地盤上の建物の地震応答と同等な応答を振動台上で再現するために、地震時の建物基礎梁の破壊や杭の引き抜き等による耐震壁の浮き上がり挙動を再現できる動的試験デバイスを開発し、その有効性を検証するため特性試験を実施する。

5) 歪速度効果を考慮したコンクリート鉄筋造柱部材の三次元解析モデルの開発

水平2方向の曲げせん断を受ける鉄筋コンクリート柱部材の弾塑性挙動に対する歪速度の効果を実験的に解明する。また、既往の水平2方向荷重に対する柱部材の弾塑性解析モデルを基に歪速度の効果を考慮した解析モデルを構築し、構造実験のシミュレーションを

通じて有効性を検証する。

6) 実大鉄筋コンクリート建物の三次元動的解析のための鉄筋コンクリート材料に関する要素試験

実大鉄筋コンクリート建物の三次元震動破壊シミュレーションの解析精度を支配するコンクリート材料の構成モデル（応力-ひずみ関係）や破壊モデルを評価・検証するための構成モデルベンチマーク有限要素解析の手法を開発する。

7) 実大鉄筋コンクリート建物の三次元動的解析システムの開発

汎用性と発展性のある鉄筋コンクリート構造物の三次元地震応答に関する数値シミュレーションシステムを開発し、E-ディフェンスで実施する実大建物の実験結果と比較することにより、その精度の検証を行う。

8) 鉄筋コンクリート建物の三次元動的破壊実験に関わる予備解析システムの開発

耐震壁立体フレーム構造の鉄筋コンクリート建物の震動実験のための予備解析システムを開発し、実験結果との比較によりその有効性を検証する。

9) E-ディフェンスによる実大鉄筋コンクリート建物の三次元震動破壊実験

E-ディフェンスを使用した実大鉄筋コンクリート建物の三次元震動破壊実験の計画を策定する。実大建物の三次元震動破壊実験の目的は、構造物の三次元地震応答性状と破壊メカニズムの解明を行い、構造物の挙動を精度良く予測する数値シミュレーション手法を開発するための実験データを得ることである。

(3) 地盤・基礎実験

本研究は、以下に示す「実験的研究による地盤・基礎の地震破壊現象の解明」と「地震破壊現象の数値シミュレーション手法の開発」で構成される。

1) 地盤-杭基礎-構造物の三次元非線形動的相互作用の実験

E-ディフェンスで実施を予定している実大の地盤-杭基礎-構造物の三次元震動破壊実験の予備的研究として、地盤-杭基礎-構造物の三次元非線形動的相互作用実験を既存の中規模せん断土槽および振動台を用いて行う。二方向せん断土槽を用いた杭および地盤の三次元振動実験により、鉛直振動や水平面内での二方向振動が杭に及ぼす影響を明らかにし、地盤の構成や杭の剛性が動的破壊挙動に及ぼす影響を解明する。また、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-杭基礎-構造物の三次元予測解析のデータとする。

2) 地盤-杭基礎-構造物の三次元数値シミュレーションの研究

地盤-杭基礎-構造物の三次元非線形動的相互作用実験の実験結果を、既存のシミュレーション解析手法によりどの程度再現できるかを把握するため予測解析を行う。解析結果と実験結果の比較・検討、多方向入力を扱った非線形地盤・杭基礎モデルの三次元数値解析の研究成果を通して、多方向入力の影響やその際の杭応力・群杭効果等に関して得られる知見を整理すると共に、解析法の有効性・精度を検証し、高度化を行う。

3) 杭頭半剛接構法を採用した建物の地震時挙動に関する研究

E-ディフェンスで実施する実大の地盤・基礎に関する耐震性向上の実験研究に向けて、杭頭接合部を半剛接合（半固定）とした杭基礎構造物を対象として行う地震応答解析より、基礎-上部構造の地震時挙動を明らかにし、半剛接合法の地震時における杭の被害軽減の有

効性を検証すると共に、杭基礎の耐震設計手法を構築する。

4) 側方流動に対する基礎の破壊メカニズム解明の実験

Eーディフェンスで実施する大型土槽実験の事前研究として、既存の振動台を用いて中規模土槽実験を行う。基礎地盤が側方流動する場合の杭基礎－上部構造物系の振動台実験を行い、護岸背後にある杭基礎と地盤、上部構造物の相互作用を明らかにする。また、その結果はEーディフェンスでの基礎地盤が側方流動する場合の杭基礎の実験計画の基礎資料とすると共に、側方流動に対する杭基礎の三次元予測解析のデータとする。

5) 側方流動に対する基礎の三次元数値シミュレーションの研究

側方流動に対する基礎の破壊メカニズム解明実験の実験結果を、既存のシミュレーション解析手法によりどの程度再現できるかを把握するため予測解析を行う。解析結果と実験結果との詳細な比較を行うことで、液状化地盤と構造物の挙動をより詳細に考察すると共に、解析手法の妥当性と精度の検証および手法の問題点・改良点を明らかにし、液状化に起因した側方流動地盤中の基礎の破壊を高精度に予測する手法を確立する。

6) 側方流動に対する基礎の耐震性向上に関する新技術、新工法の開発

Eーディフェンスで実施する実大の地盤に関する耐震性向上の実験研究に向けて、側方流動対策の新技術として変形抑制技術、地盤改良技術、基礎の補強技術等を開発するための提案を行い、実験と数値シミュレーションにより、その有効性を検討する。

7) 地盤の三次元挙動評価技術の開発

Eーディフェンスでの地盤－構造物系実験結果の革新的評価に向けて「地盤－杭基礎－構造物の三次元非線形動的相互作用の実験とその数値シミュレーション」および「側方流動に対する基礎の破壊メカニズム解明の実験とその数値シミュレーション」の成果を踏まえつつ、三次元入力場での地盤と構造物の大変形時の挙動を予測する設計用簡便法、および地盤の三次元挙動評価技術の開発を行う。

8) Eーディフェンスによる実大土槽震動実験

Eーディフェンスを使用した実大土槽震動実験の実験計画を作成する。計画を基に、Eーディフェンスでの地盤－構造物系の実験を行い、地盤－構造物の飛躍的耐震性向上に資する基礎資料の整備と共に三次元加振における地盤－基礎構造物系の実大挙動の把握、実験データの蓄積と数値シミュレーションツールの検証を行う。

9) Eーディフェンスでの地盤－構造物系実験ための施設整備

Eーディフェンスでの地盤－構造物系実験に必要な土槽の条件、土槽地盤の作成場所と方法および地盤材料を検討し、実大三次元せん断土槽、実大側方流動土槽および関連付帯設備の設計を行う。

(4) 木造建物実験

本研究では、兵庫県南部地震のような大地震が発生した際の、経年変化した木造住宅の被害形状を検討する、また耐震設計法および耐震補強法の開発と併せて木造建物の耐震性向上を検討するため、以下の研究を実施する。

1) 既存木造建物の地震応答観測

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、木造特有の特性と木造建築の地域性を考慮して木造建物の地震時挙動の把握と耐震性能の評価を行

い、耐震設計法および耐震補強法の開発と併せて木造建物の耐震性向上を図る。また、振動台における応答との相違を調べる。

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

三次元地震動に対する木造建物破壊挙動の数値シミュレーションを試み、木造建物の地震安全性検討、Eーディフェンスの木造破壊実験の検討に役立てるため、多層木造建物を木造建築の特徴を適切にモデル化し、材料非線形、幾何学非線形を考慮して、破壊に至るまでの数値シミュレーションを行う。

特に、地震動による木造建築物の崩壊パターンおよび部材・接合部の応力変形特性に関する調査分析を行い、地震応答解析プログラム開発の基礎資料とする。

3) 木造建物中規模三次元震動台実験

木造建物の実大および要素試験体を用いた既存の三次元振動台実験を実施して、Eー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の参考データを取得・解析し、Eーディフェンスでの実験に役立てる。また、木造建物の耐震診断、耐震補強に関するデータを取得し、木造建物の地震時挙動の把握と耐震性能の評価を行い、耐震設計法および耐震補強法の開発と併せて木造建物の耐震性向上を図る。

4) 木造建物の構造要素試験

木造の構造要素（柱梁壁から構成される構面）の荷重変形曲線のデータを破壊に至るまで求める。さらにこの構面に補強を施した場合の効果も調べる。

5) 既存木造建物の強度調査

既存木造住宅の現場における構造調査と視覚的および非破壊的劣化度調査を行うと共に、部材と接合部を採取してその強度試験を行う。これにより求めた建物の微小振幅時の固有周期、荷重-変形関係、部材・接合部の劣化度、建物の耐力要素の量・配置等を解析することにより、経年変化による建物構造強度の劣化度推定法を開発するための基礎とする。

(5) 高精度加振制御技術の開発

1) 三次元震動台シミュレーションシステムの整備

Eー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ための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、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。さらに、震動台シミュレータが実機震動台の加振実験を再現できるように、シミュレータのパラメータを調整する方法について取り纏める。

(6) 三次元地震動データベースの整備

本研究課題では、Eーディフェンスへの三次元入力地震動の提供を目的として、以下の研究を実施する。

1) 統計的手法による大地震強震動波形の予測および三次元地震動データベース化に関する研究

大型三次元震動台であるEーディフェンスを利用する実験研究に使用する入力地震動

データベースを作成する。また、大地震強震動の観測データに基づき、統計的手法によって最大値、振幅スペクトル、位相スペクトルなどの地震動特性を求め、これらの特性を反映した三次元強震動波形を推定し、データベースに提供すると共に、2)、3)の研究成果を踏まえ三次元地震動推定および選定機能をもつデータベースとして構築する。

2) 三次元地震動データベースの構築に関する研究

強震動データベースの枠組みに関する検討を行い、具備すべき強震動データを収集、整理する。また、強震動の属性（観測地の地盤・震源など）および特性を調査・分類・整理し、データベースの枠組みを検討する。強震データには、将来発生が予測される地震動のシミュレーション推定波形も含め、さらに、適切な経験的グリーン関数（小地震記録）のデータベース化、Eーディフェンスの国際利用を視野に置いた世界の強震データも含め、検索機能の充実を図る。

3) 三次元強震動波形の推定に関する研究

将来大地震を引き起こす可能性の高い活断層や海溝域に震源断層を想定し、対象サイトにおける三次元地震動を推定する方法を構築すると共に、大都市圏を含む特定サイトの強震動波形の推定を行い、三次元地震動データベースに大地震強震動波形として提供する。