

E-ディフェンスの活用に向けて

梶原 浩一
(防災科学技術研究所)

1. はじめに

平成7年、当時の科学技術庁防災科学技術研究所(現 独立行政法人 防災科学技術研究所)は、実大構造物の破壊実験が可能な、過去に類を見ない規模となる、大型三次元振動台の建設を目指しその要素技術開発に着手した。平成9年9月、科学技術庁長官の諮問機関である「航空・電子等技術審議会」の地震防災研究基盤の効果的な整備についての審議にて、新たな地震防災研究基盤整備の方針が提案され、この研究基盤の中核的施設の1つとして本施設の計画検討が行われることとなった。平成10年より施設整備のための予算化が具体的に進み、兵庫県三木市震災記念公園に平成17年度の完成を目指し工事が進捗中である。完成を2年後に控えて、施設を構成する数多くの機器が実際に稼働するのはこれからであり、各種調整試験を慎重に実施する段階に入っている。なお、施設全体の愛称も公募によりE-ディフェンス(英語名 E-Defense)と決定された。実体は大型三次元振動台であるが、付帯施設を含め大地震の震動に起因するさまざまな被害全般に対し有効に活用される施設となることを期待したネーミングとして採用された。EはEarthのEである。本稿では、最近の施設建設状況と活用に向けた検討状況を、E-ディフェンスの概要を含め紹介させて頂く。

2. 震動台の仕様

震動台の基本スペックは表1に示すとおりである。図1に示すように震動テーブルは長方形であり、構造物の実際の形状を

考慮して台の面積を効率的に使用できるようにしている。加振性能は建設コストや使用目的も考慮し、加速度よりも速度、変位に主眼をおいた仕様としている。一般に剛性の高い構造物では加速度が破壊の起因となるが、その後の破壊の進行には速度などの影響も大きいとされている。また、比較的柔性の構造物では、変形が十分に出ることが破壊の条件となり加速度のピーク値が大きいだけでは被害の再現が難しい。本施設では、地上にある通常の、剛性が低くまた経年劣化などもある構造物などの被害の再現と補強手法の開発などを考慮して、加速度仕様をやや控えめに設定し、一方免震技術などそもそも破壊を起こさせないための新技術の検証、開発などを考慮して大きい速度、変位性能を持たせている。

表1 実大三次元震動破壊実験装置の基本スペック

実大三次元震動破壊実験施設		
最大搭載重量	12MN (1200tonf)	
震動台の搭載面積	20m × 15m	
駆動方式	アキムレタ蓄圧/電気油圧制御	
加振方向	X・Y - 水平	Z-垂直
最大加速度 (最大重量搭載時)	900cm/s ² 以上	1,500cm/s ² 以上
最大速度	200cm/s	70cm/s
最大変位	±100cm	±50cm
許容モーメント	水平軸周り	鉛直軸周り
	150MN・m以上 (鉛直軸980cm/s ² 加振時)	40MN・m以上 (水平1軸最大加速度時)

制御器（震動台加振コントローラ）については、従来の実績ある手法と実装・運用の経験に基づくものを選定した。この制御器は、基本制御器と応用制御器と名付けた2投構成となっている。基本制御器はその名の通り、テーブル加振時の基本的な性能を確保するためのものであり、震動台の変位、速度、加速度と加振目標波形の変位、速度、加速度を用いた演算動作を行う、フィードバック・フィードフォワード兼用制御器である。また、応用制御器は、3種類実装するが、その主たる目的を負荷試験体の動特性が震動台に与える影響の低減とするフィードフォワード制御器である。それぞれ試験体の特性により使い分けるものであり、それについては、震動台応答を確認する事前シミュレーションと、科学技術振興調整費（文部科学省）総合研究成果の1つである制御器選定に関わるガイドラインを活用する予定である。

負荷試験体を用いた性能確認については、平成17年度予定する実験を鑑み、許される期間・予算の範囲を考慮して計画である。主たる目的は、実験時の震動台性能の把握であり、特に大型試験体を搭載した場合の震動台性能を掴むことにある。これについては、振動台実験に卓越した実績、経験を持つ民間企業の研究者諸氏と、多くの実験研究に携わられた学識経験者より貴重な意見を賜り計画に至っている。また、基本的な震動台装置性能を確認する目的で、平成16年度に行う総合調整運転についても計画が進行中であり、それに関わる具体的な実験項目、目標値はほぼ決定している。

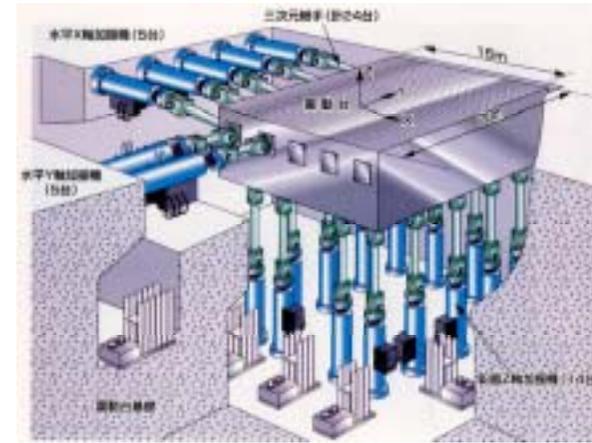


図1 装置の主要部



図2 施設の完成イメージ

施設の完成イメージを図2に示すが、実験準備棟、屋外重舗装エリアなどが試験体製作、保管のために用意されているのが特徴である。建設の全体スケジュール及び関連する事項を表2に示す。

表2 建設スケジュール

	10	11	12	13	14	15	16	17	18
施設整備									
震動台基礎工事									
実験機他建設工事									
装置の製作									
加振機、配管等の組立・据付									
フラッシング									
加振性能試験・調整運転									
実験研究計画									
準備研究									
E・ディフェンスによる実験									
運営体制整備									運用開始
運営協議会									設立
利用委員会									設立
兵庫支所(仮称)									開所
E・ディフェンス支援機構									業務開始

3. 建設の現況

表2にも示したように、現在、土木建築関連工事はほぼ終了し、油圧配管のフラッシングが進行中であり、秋には加振機の単体加振性能試験に入る予定である。図3に建設中の建屋、図4に実験棟内基礎に加振機が据付けられている状況を示す。また、これらとあわせ、32個に分割して製作された震動台テーブルブロックが実験棟内に順次搬入され、図5のように現地溶接が進行中である。平成16年初頭にはテーブルが完成し、ピット内への設置、リンク継手、加振機との結合を経て、総合調整運転に続く予定である。



図3 実験棟(左)及び油圧源棟(中央)、(平成15年1月)



図4 加振機の据付完了状況 (平成15年1月)



図5 震動テーブル(一部)の現地溶接開始(平成15年6月)

4. 活用に向けての取り組み

E-ディフェンスの運営と利用については、他機関、学識経験者の協力を得つつさまざまな検討作業が実施されている。運用の基本方針としては、防災科研が支所を設置し運営を行う計画であり、この運営の透明性を確保するため、運営や利用(実験)に関する事項を協議、審議するため、外部有職者の意見を取入れる2委員会を組織している。その1つである運営協議会では、外部有職者の助言、指導を得ることを目的として、(1) E-ディフェンス運営に関する事項、(2) E-ディフェンス活用促進及び中長期の活用計画に関する事項等の協議を、もう1つの利用委員会では、実験計画の策定及び関係機関間の調整等を目約として(1) E-ディフェンスを利用した実験計画に関する事項、

(2) 実大破壊実験の準備研究に関する事項等の審議を行う。また、業務の遂行を円滑に行うために、E-ディフェンス支援機構(仮称)を設置する計画であり、基本的には図6のような体制をとることが決められている。

利用研究課題については、これまでもいくつかの委員会、検討会が設けられ各種の提案が審議されてきているが、現在は、「大都市大震災軽減化特別プロジェクト」(通称「大大特」、文部科学省)において、RC建築、地盤、木造の3課題が具体的に検討されている。関連して三次元震動破壊実験シミュレーションシステムの開発が防災科学技術研究所において実施されており、また準備研究関連では科学技術振興調整費(文部科学省)による総合研究「構造物の破壊過程解明に基づく生活基盤の地震防災性向上に関する研究」が進められている。

図7に大大特における取り組みの概要を示す。このようないわば国主導型の研究に加え、試験課題の公募や受託研究、また国際協力による実験の実施など幅広い利用をはかる必要があり、そのために必要な受け入れ体制や使用条件などについて検討を進めているところである。

施設利用での、「実験の申し込み」と「利用料金」についてであるが、前者については、防災科研のホームページで募集を行い、利用委員会での審議を経て採択を決定する予定である。募集開始は2004年秋～2005年春を予定している。「利用料金」については、データ公開を原則として、イニシャルで設定した料金の大幅な割引を考える方向であるが、具体的な内訳については「実験の申し込み」を含め、現在、大大特のテーマの中で検

討中である。

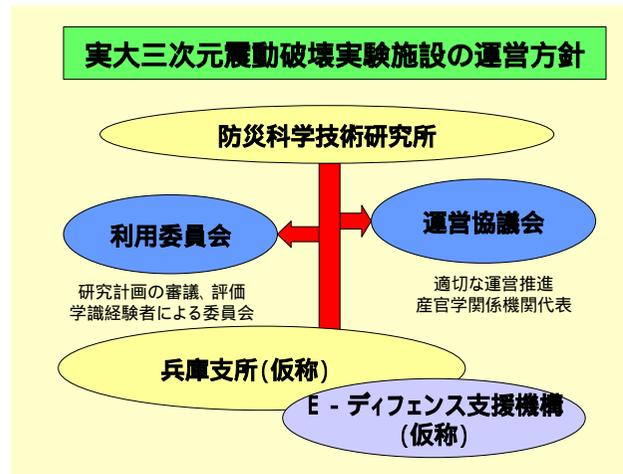


図6 E-ディフェンス運営体制概要



図7 「大大特」におけるE-ディフェンス関連課題

5. あとがき

本施設は関西地区に位置するが、是非、遠方となる東北、北海道地区の地震防災に携わる方々にも本施設活用に積極的にご参加、推進いただきたい。また、小中学校を含む教育関係に携わる方々には、地震防災への関心をお持ちいただくためにも、是非ご見学賜りたく庶幾するものである。

最後に、本施設の計画、建設においては地震工学と関連分野の多くの専門家のご指導、ご支援を頂いている。この場を借りて、深謝申し上げる次第である。

原子力施設の耐震設計の現状について (発電用原子炉の耐震設計についての雑感)

市橋 一郎

(財)原子力発電技術機構
耐震技術センター)

頂いた題は「原子力施設の耐震設計の現状と今後の動向」であったが、勝手ながら個人的な感想に代えさせていただいた。現在の発電用原子炉施設の耐震設計は商用軽水型原子炉が導入された昭和40年代はじめにその基本方針が固まり、50年代に「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」として成文化された。指針では原子炉施設を構成する各建物・構築物、機器・配管について耐震設計上の重要度、重要度毎に考慮すべき地震力、地震力算定のために考慮する地震動等原子炉施設が保持すべき耐震性能についての基本的な要求が定められている。原子炉施設に限らず構造物の耐震設計を行うためにはこうした基本的な要求を実現するための具体的な設計手法等が必要で、これは日本電気協会の技術指針が担ってきた。耐震設計審査指針を踏まえた設計手法の事例が「原子力発電所の耐震設計技術指針 JEAG 4601」として昭和59年に刊行された。以降、この技術指針は昭和62年、平成3年にそれぞれ追加見直しが行われている。この技術指針策定の裏には、設計評価法策定、検証のためのデータを取得するために数多くの試験が電気事業者、プラントメーカー、建設会社等によって行われ、大学関係者の参加を得て評価検討が行われてきた。筆者が関係した機器配管関連に限ってもその主なものとして、配管の減衰評価試験、動的機器の機能

評価試験 (Active Component Test)、アンカーボルトの耐力評価試験が挙げられる。建物・構築物関連や地震動関連についても同様の努力がなされてきている。

これら試験とは別に、昭和57年以降原子炉施設の耐震性を判りやすく示すことを目的として、大型模型を使って耐震性を実証する試験、いわゆる耐震実証試験が国によって行われてきている。ここでは、原子炉施設の安全上重要な機器やシステムを対象に実際に使われている機器乃至はそれに近い大きさの模型を多度津の大型振動台上に設置して、耐震設計に考慮されている地震動で加振が行われている。これまでに原子炉格納容器、原子炉容器、制御棒及び炉内構築物、非常用ジーゼル発電機システム、電算機システム、及び原子炉停止時冷却システム等についての設計地震動を上回るレベルまでの健全性実証、さらにコンクリート製格納容器及び配管についての破壊強度確認が行われた。現在は電気盤及びポンプの動的機能の限界強度を確認する試験が行われている。これら耐震実証試験で得られた結果により設計手法の検証が行われ、また得られた新知見は設計手法に反映されてきた。

即ち、指針に示される基本方針はこれまで大きな見直しがされていないが、この方針を実現するための設計手法については地道な検証データの積重ねと精度向上等改良の努力が重ねられて

きている。

現在、耐震設計審査指針への関連知見の反映、見直しのための検討が原子力安全委員会にて安全、地質、地震、建築、土木、機械等の分野の専門家により行われている。検討は公開で行われており、検討の動向はご承知の方も多いかと思われる。耐震設計の基本目標と目標が達成されるために満たされるべき性能、基本目標へのリスク概念の導入、設計上考慮する地震動の考え方への最新の地震学等の関連知見の反映、地震応答解析・応力解析に係る基本的性能要求、許容限界に係る基本的要求及び構造信頼性の確率論的評価等々多方面からの検討が行われている。具体的な設計手法の事例を示す技術指針に関しては、審査指針の見直し結果に対応した見直しが行われることになっている。さらに、必要なら、評価法や設計法の新たな策定、検証のための試験が行われることもある。

施設の設計に関連科学、技術の最新知見をタイムリーに反映がしやすいように規制基準の性能規定化とともに、要求される性能を実現するための具体的な設計手法や仕様等を定める学協会規格の審査基準への採用が進められている。このため、学協会規格には、最新知見の取り込みと新たに採用する知見（技術等）の信頼性、成熟性の確認が要求されることになる。また、関係者には「平成7年兵庫県南部地震を踏まえた原子力施設耐震安全検討会報告書」で提言されているように施設の耐震信頼性を一層向上するための努力が求められている。耐震設計手法等の見直しにおいても信頼性向上の視点は欠かせないが、以下の点にも留意してはと思う。

地震による損傷モードの同定：施設の耐震性を確保するには作用する地震動に対して発生し得る損傷モードを的確に把握することが重要である。十勝沖地震で発生した原油タンクの火災及び釧路空港管制ビルの天井落下事故では、いずれもタンク本体又は建物本体とは異なる部分の損傷により火災、管制機能の一時喪失が生じている。一般に構造物がその機能を喪失したり、その結果2次の災害が発生するのに複数の損傷モードが存在する。また、損傷が初通過破壊型か累積損傷型かそれ以外かの違いもある。当然ながら、それぞれの損傷モードに対する損傷確率の分布は同じとは限らない。損傷モードの確認には破壊試験が必要であるが、作用する地震動の違いを包含したクリチカルな損傷モードを少ない試験体で確認することは容易ではないと思われる。今後、試験データの蓄積が望まれる。

地震動の不確定さに対する考慮：設計地震動スペクトルの幅広げ、許容応力への余裕の考慮、保守的な設計解析手法の採用等これまでも不確定さに対して種々の配慮がなされてきているし、新たな対応の検討（例えば確率論的安全評価、構造信頼性の確率論的評価）が行われてきている。筆者は、入力の変動に対して鈍感な構造の導入に関心を持っている。免震構造、制振構造もその一つと考えられよう。一般建築では兵庫県南部地震以降、免震構造や制振構造を採用した建物が相当数に上っている。また、原子力施設への適用についてもFBR免震システム確認試験等が行われ、これらの成果をもとに日本電気協会では「原子力発電所免震構造設計技術指針 JEAG 4614-2000」を制定している。これまでどちらかと言えば施設に所要の耐震強度を付与す

る観点及び経済合理性の観点から免震構造、制振構造が評価されてきたように思えるが、不確定さへの対応の観点からも評価されて良いように思う。

設計と運転管理との役割分担：原子炉施設の地震に対する安全性を確保するには、設計、製作、据え付け、運転の各段階で安全確保上必要な措置が効果的に執られる必要がある。例えば、運転に伴って施設に生ずる欠陥等劣化への対応については何処までを設計が分担して、どこから運転時のモニタリングと修復が分担すればリスクが最も少なくなるのかの観点での検討が必要ではないかと思う。

以上

2003 年度 事業企画委員会 報告

2003 年度事業 地方自治体職員等を対象とした講演会

井野 盛夫
(富士常葉大学
環境防災学部)

講演「巨大地震から生き延びるためには」並びにフォーラム「地域の防災力をどう高めるか」へのパネラー参加

参加者：事業企画担当理事(富士常葉大学環境防災学部学部長)
井野盛夫

日時：平成 15 年 10 月 25 日(土)午後 1 時～4 時 30 分

開催場所：愛知県豊橋市ライポートとよはし コンサートホール

参加者：800名

参加費：無料

講座テキスト：あいち防災セミナー「地域の防災力の向上を図るために」

趣旨と活動：愛知県は大規模地震対策特別措置法に基づく地震防災対策強化地域に指定されたため、「あいち防災セミナー」を開催して防災指導者の養成に努めている。その一環として基調講演とフォーラムのパネラーとして参加し、学会の活動内容の紹介と入場口においての学会案内のチラシ配布を行った。また、司会者からフォーラムが地震工学会の活動として後援されているもので、講演は学会が提供したものであることを紹介された。

講演の要旨：想定される東海地震の諸元と被害、地震予知がされた時の情報と行動、行政と住民の緊急時の対応、自主防災組

織の必要性について述べた。

フォーラムにおいては、行政の対策と住民の意識、木造住宅の耐震化が進まない理由とその対応、防災教育における市町村の役割、企業の職員研修と訓練内容、まとめについて発表。

強化地域の拡大に伴う防災教育のため、自治体職員、消防職員、自主防災組織役員など各種の受講者が混じっていて、参加者も非常に多く水準が整え難い状況であった。

2003 年度事業 市民を対象とした講座(特別講演会の代替)

地震工学市民講座の開催

日時：平成 15 年 11 月 21 日(金)午後 1 時～4 時 45 分

開催場所：富士常葉大学 G 1 0 1 号教室 富士市大淵 3 2 5

参加者：92名

参加費：無料、テキスト無料配布

後援：富士常葉大学、静岡県、富士市

講座テキスト：「地震被害を低減するために」52 頁

趣旨と活動：事業企画委員会に所属する会員が講師となって、それぞれの現場調査や研究成果を市民に報告した。開催にあたってはNHK、静岡新聞、富士県行政センター、富士市、富士常葉大学の協力を得て住民に広報した。学会の活動としては初めての公開講座であった。

講座の概要：初めに委員長より挨拶、そして地震工学会の紹介、今回の市民講座が開催された趣旨を述べた。発表内容をテキストとして作成し、参加者に無料配布した。発表時間は一人あたり25分であったが、パワーポイントを使い持ち時間内に収まる説明であった。特に、「宮城県地震の被害報告」や「我が家の耐震設計」、「東海地震と予知情報」などに参加者の関心が寄せられた。しかし受講者が専門家ではないため、数式の説明また地盤の固有振動などやや理解されなかったところがあった。同時に協賛企業の技術展示があり、耐震ベッドの展示は参加者の興味を引いたようであった。

編集後記

早稲田大学西谷先生から会誌担当理事を引き継ぎました東京電機大学の藤田でございます。専門は機械工学で、何分少数派ということもございませうが、会員皆様のご協力の元、幹事の渡辺先生（埼玉大学）と努力していく所存でございますので、何卒よろしくお願ひ申し上げます。本号は機械系耐震関係の話題でまとめてみました。次号では、2月に誘致先が決定する予定の ITER（国際熱核融合実験炉）の話題、そして昨年の十勝沖地震における貯油タンクの被害調査報告を中心に編集・発行の予定です。

会誌編集委員会担当理事 藤田 聡