

地震で壊れない構造物を実現する

実大三次元震動破壊実験施設（Eーディフェンス）

20年の歩みとこれから



都市空間耐災工学研究領域 研究領域長
兵庫耐震工学研究センター センター長
中埜 良昭

はじめに

今から30年前の1995年に発生した兵庫県南部地震では、阪神淡路地域に建物の倒壊などの甚大な被害をもたらした（阪神淡路大震災、図1）、地震国日本が今後解決すべき課題をさまざまな角度から投げかけました。筆者の専門である建築耐震構造分野においても、構造物が破壊に至るメカニズムの理解と破壊過程の詳細な追跡、古い耐震規定で設計された既存構造物の耐震性能評価と耐震補強方法、倒壊・崩壊防止に加えて地震後の機能維持や修復性能評価手法、余震等の後続地震に対する安全性のチェック体制の整備（応急危険度判定や被災度判定等）など、多岐にわたります。

Eーディフェンスの整備に至る背景

とりわけ震源近傍で発生する極めて強い地震動により大きな被害が生じたことは、構造物の振動破壊の解明への関心を大いに高めることとなりました。このような背景から、三次元地震動を受ける実大構造物の破壊実験

を可能とする実大三次元震動破壊実験施設（愛称：Eーディフェンス）の建設がスタートし、兵庫県、三木市、地元地域の協力による2005年3月の完成後は、三木市に所在する防災科研・兵庫耐震工学研究センターがその運用を担っており、今年で20周年を迎えます。

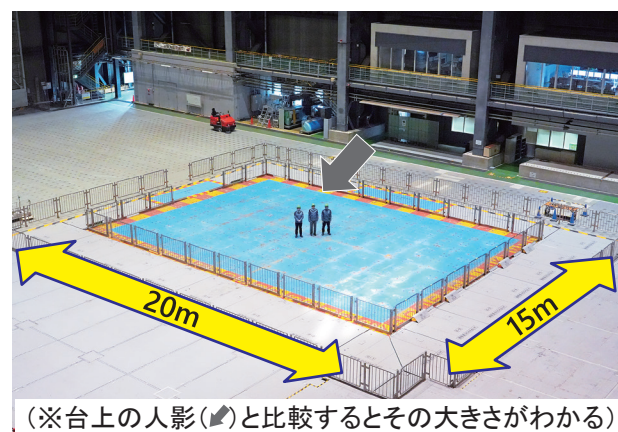
Eーディフェンスの特徴 ～その大きさとパワー～

Eーディフェンスの特徴は何といっても実大構造物の破壊実験を可能とするその大きさとパワーです。震動台は長さ20m×幅15m、これに水平各5台と鉛直14台の計24台の加振機が接続されています（図2）。その加振能力は実大規模の10階建て建物を1995年兵庫県南部地震や2011年東北地方太平洋沖地震で記録された揺れで破壊させるものです。また、本施設はその規模から2012年にギネス世界記録™に認定されました（図3）。

Eーディフェンスでの実験数は2025年3月末で132件です。実験結果は可能なものについてはデータと映像が公開されています（図4参照）。これらは、物理的な破壊



図1 兵庫県南部地震で倒壊した住宅



（※台上の人影（人）と比較するとその大きさがわかる）

図2 震動台の全景



図3 ギネス世界記録™認定証



実験データ



実験ビデオ

図4 関連QRコード

実験と両輪をなす数値震動台技術（実験結果を高精度にコンピュータ・シミュレーションする技術）の精度検証と高性能化にも極めて重要な情報を提供しています。

Eーディフェンスを活用した研究事例

壊れない構造物を実現するにはまず壊してみないとわからない、が研究の原点です。運用開始の初期にはEーディフェンス開発の契機となる実大構造物の強震時における詳細な破壊過程の再現とその解明、耐震性能の評価や向上に関する実験が多く行われています。例えば、実在する木造住宅2棟を震動台上に移築し、補強の有無をパラメータに同時加振した事例や（図5）、1980年代ごろの設計施工による18層鉄骨造建物を南海トラフ地震を対象に崩壊まで加振し、想定地震に対する崩壊余裕度を検証した事例などはその好例です。また、東北地方太平洋沖地震でため池の決壊により人的被害が生じたことから、た



図5 木造住宅の補強効果の検証実験（2005年）

め池を全国一保有する兵庫県との共同研究として実施した遮水シート工法によるため池堤体の耐震実験など、Eーディフェンスならではの特徴ある実験も実現しています。

近年では倒壊防止にとどまらず、建物の機能維持能力の把握とその向上を目指した取り組みが本格化し、積極的に損傷を制御したり免震装置を取り付けたりすることで応答を制御する技術の有効性の検証、非構造部材の崩壊余裕度評価を含む実験なども行われています。

Eーディフェンスが目指すところ

これまでの一連の研究開発では、主として構造物「単体」を対象に「単発」の地震に対する応答評価に重点を置き、いわば「個」を極める研究開発に主軸を置いてきました。その重要性はこれからも変わることはありませんが、一方で南海トラフの巨大地震や首都直下地震のような広域・甚大な被害が危惧される災害時に日本がいち早く社会経済活動を復活・継続できることは極めて重要で、そのため都市の災害レジリエンス（災害からの回復力）を高めることが肝要です。

そこでEーディフェンス実験が「都市」を対象とした本格的なレジリエンス強化に直結するよう、都市空間内（3D）の構造物「群」へ、さらに本震後の「後発」地震の影響など発災から復興に至る「時間軸」を考慮した4Dでの議論へと展開を試みています。

さいごに

しかしながら、Eーディフェンスであっても都市そのものの直接的な破壊実験はできないため、Eーディフェンス実験と両輪をなす数値震動台との連携が今後ますます重要となります。シミュレーション結果の信頼性を担保し得るエビデンスやデータを実験が提供することはもとより、シミュレーション精度を支配する重要なパラメータを明確にし、その適切な設定方法についての知見が得られるよう、実験計画のさらなる高度化にシミュレーションを専門とする研究者が積極的に寄与するなど、双方向のより積極的なインタラクションも大いに期待しています。Eーディフェンスで得られる成果により都市のレジリエンス高度化に寄与する技術・知見がさらに充実するよう研究開発に取り組みたいと考えています。