

2017夏耐震キャンペーン「耐震フォーラム」

大地震による建物被害と暮らしを守る震災対策

～世界最大の耐震実験施設・E-ディフェンスによる振動台実験から～

2017.8.31

国立研究開発法人防災科学技術研究所
兵庫耐震工学研究センター

トピック

- 防災科研の紹介
- 世界最大の耐震実験施設・E-ディフェンスとは
- E-ディフェンスによる振動台実験

国立研究開発法人 防災科学技術研究所の概要

1. 設立根拠

国立研究開発法人防災科学技術研究所法
(平成11年12月22日法律第174号)

2. 沿革

平成27年4月1日
(昭和38年 国立防災科学技術センターとして設立)
(平成 2年 防災科学技術研究所に改組)
(平成13年 独立行政法人防災科学技術研究所に改組)
(平成27年 国立研究開発法人防災科学技術研究所に改組)
※平成28年4月1日より、第四期中長期計画スタート

3. 目的

防災科学技術に関する基礎研究及び基盤的研究開発等の業務を総合的に行うことにより、防災科学技術の水準の向上を図ることを目的とする。(防災科学技術研究所法第4条)

4. 役員

理事長 林春男
理事 1名, 監事 2名 (うち非常勤1名)

5. 職員数

平成29年1月1日現在 254名

6. 予算規模

平成28年度予算 運営費交付金 70.2億円

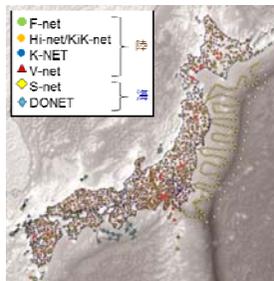
関連施設配置図



防災科学技術に関する基礎研究及び基盤的研究開発の推進

地震津波、火山、気象、雪氷災害、土砂災害などのあらゆる自然災害に対する①予測力、②予防力、③対応力、④回復力の総合的な向上を図る研究開発を実施

基盤的観測網の運用



▲地震津波観測網および火山観測施設の運用

産学官連携の取り組み



▲産学官の人材・情報・技術を糾合し、「研究と人材の中核拠点」へ



▲セブン-イレブン・ジャパンとの全面的協働による実証実験

災害対応 (熊本地震)



▲発災後、フェーズに応じた災害対応・復旧支援を実施



▲県知事との定期的な打合せを実施



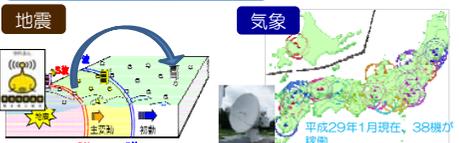
▲土砂災害危険情報の提供

大型実験施設を活用した研究開発



▲大規模構造物の破壊過程の再現
▲局地的豪雨等による土砂災害の再現
▲雪国に起こる様々な現象の再現

研究成果の社会実装 (例)



▲気象庁 緊急地震速報への実装
▲XバンドMPレーダーの国交省XRAINへの実装

トピック

- 防災科研の紹介
- 世界最大の耐震実験施設・E-ディフェンスとは
- E-ディフェンスによる振動台実験

E-ディフェンスとは

重さ1,200tの構造物を、**震度7の地震動**で、壊れるまで、揺さぶることができる実験施設



建設の経緯

大地震に対するわが国の脆弱性が
1995年阪神・淡路大震災で露呈
・死者：6,434名
・直接被害総額：10兆円強



近い将来、発生が予想されているより**強烈な地震**に対する備え
首都直下地震、活断層地震
海溝型地震への必要性も
(南海トラフ地震)



E-ディフェンス

独立行政法人防災科学技術研究所
2005年4月完成

究極の検証手段
実物大の破壊実験が可能
世界唯一の施設

重さ1,200tの構造物を、**震度7の地震動**で、壊れるまで加振可能な実験施設



実大三次元震動破壊実験施設 (E-ディフェンス)

E-ディフェンスの由来とロゴマーク

【E-ディフェンス】

実大三次元震動破壊実験施設のニックネーム

- “E”：Earth (地球)
- “ディフェンス”：地球規模で災害を未然に防ぎ、国民の生命と財産を守る研究開発への期待を示す。

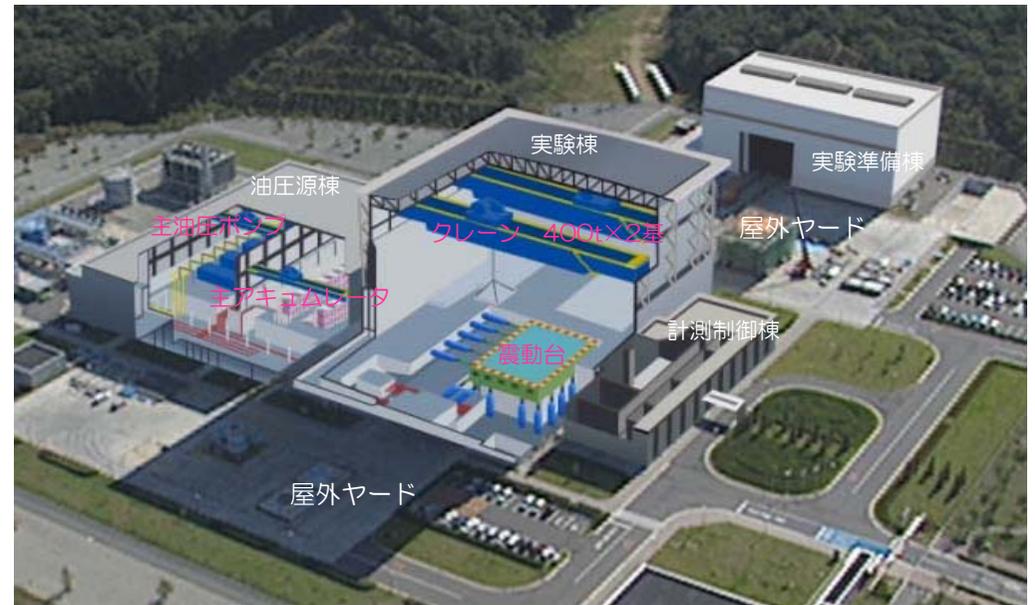


大地の割れと地震の姿、およびこれに対応する三次元震動破壊実験施設の三次元の動きを三色で表現している。

E-ディフェンス 鳥瞰図



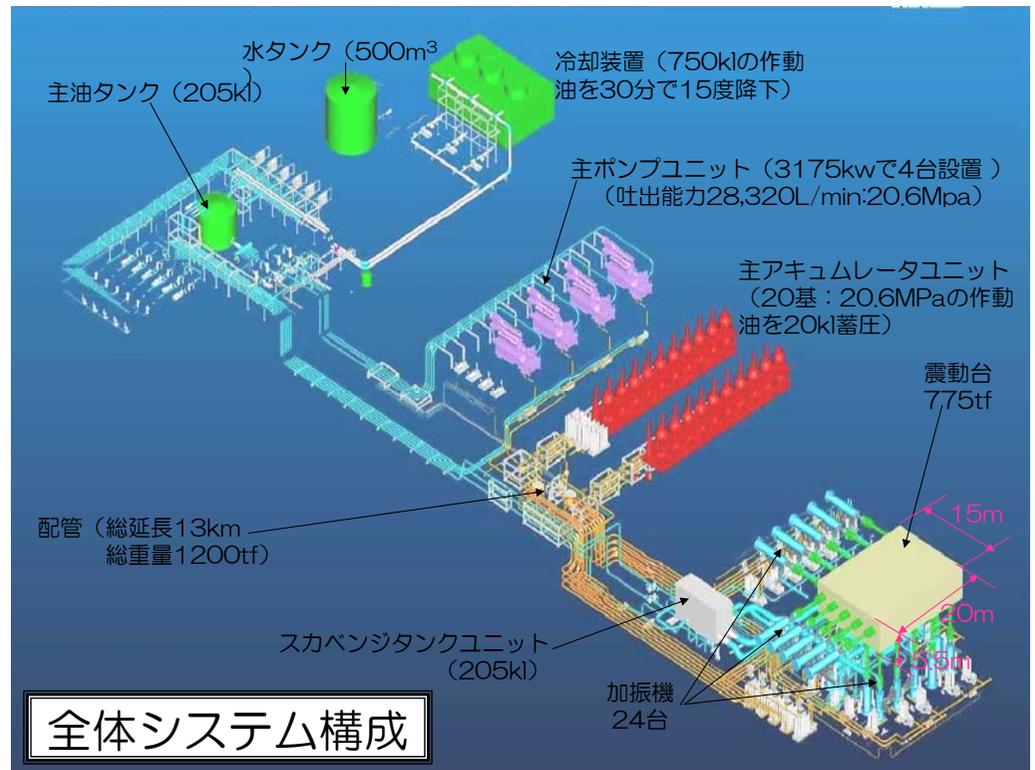
E-ディフェンス全景



E-ディフェンスの基本仕様

項目 Item	仕様 Specifications	
最大搭載質量 Loading Capacity	1,200 ton	
搭載面積 Table Size	20m×15m	
駆動方式 Driving Type	アキュムレータ蓄圧/電気油圧制御 Accumulator Charged / Electro-Hydraulic Servo Control	
加振方向 Shaking Direction	水平 Horizontal	垂直 Vertical
最大加速度(最大質量搭載時) Max. Acceleration (at Max. Loading)	900cm/s ² 以上 More than 900cm/s ²	1500cm/s ² 以上 More than 1500cm/s ²
最大速度 Max. Velocity	200 cm/s	70 cm/s
最大変位 Max. Displacement	±100 cm	±50 cm
許容モーメント Max. Allowable Moment	水平軸周り Overturning	垂直軸周り Yawing
	150MN・m以上 (垂直軸980cm/s ² 加振時) More than 150MN・m (at Vertical 980cm/s ² Shaking)	40MN・m以上 (水平1軸最大加速度時) More than 40MN・m (at Max. Horizontal Acceleration)

他の追随を許さない世界最大の震動破壊実験施設
(ギネスに登録)



全体システム構成

長時間・長周期化工事：平成24年度に実施



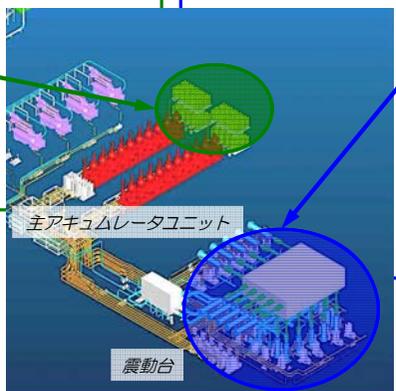
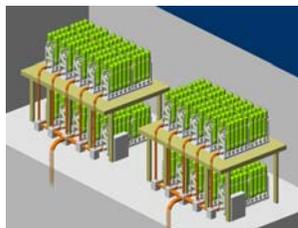
- ・東北地方太平洋沖地震による長周期地震動被害
- ・南海トラフ等巨大地震の懸念



東日本大震災で観測された長周期成分を含む非常に継続時間の長い揺れを再現するため、施設の機能を強化。

(1) アキュムレータ(蓄圧容器)の増設

- ・アキュムレータを増設し、総吐油量を20キロ・リットルから24キロ・リットルへ増量
- ・震動台へ供給する油量を増量



(2) アクチュエータ(加振機)へのバイパスバルブの設置

- ・バイパスバルブを16台のアクチュエータに設置(水平6台、垂直10台)
- ・アクチュエータを出入りする油量を加振波の性質により調整



バイパスバルブ

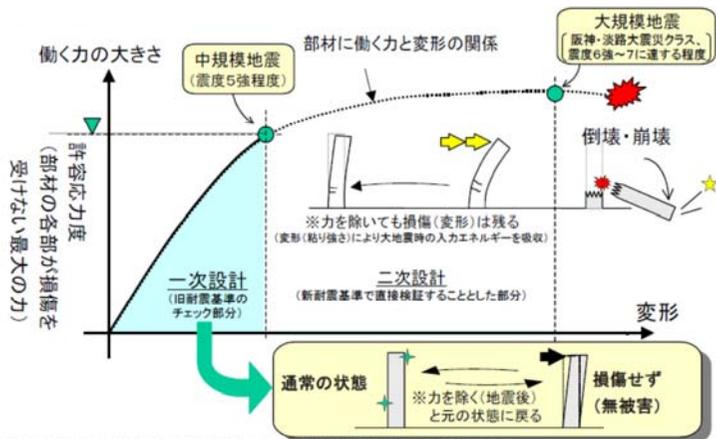
E-ディフェンスの油圧システム (一部抜粋)

トピック

- 防災科研の紹介
- 世界最大の耐震実験施設・E-ディフェンスとは
- E-ディフェンスによる振動台実験 (建物被害と暮らしを守るために)

建物の被害を防ぐため「建築基準法(新耐震設計基準)」が求める耐震性能

- 1) 中地震 (建物の供用期間中に数回遭遇する程度の地震：震度5強程度) に対して損傷せず、地震後も特に修復を要しないこと。
- 2) 大地震 (建物の供用期間中に一度遭遇するかも知れない程度の地震：震度6強～7) に対して倒壊・崩壊せず、人命が守られること。



※ 二次設計には、保有水平耐力計算の他、より簡易的な許容応力度等計算やより高度な構造計算方法である境界耐力計算等がある。

(参照) <http://www.nhk.or.jp/sonae/column/20140326.html>
http://www.mlit.go.jp/jutakukentiku/house/jutakukentiku_house_fr_000043.html

木造住宅の耐震補強の実験

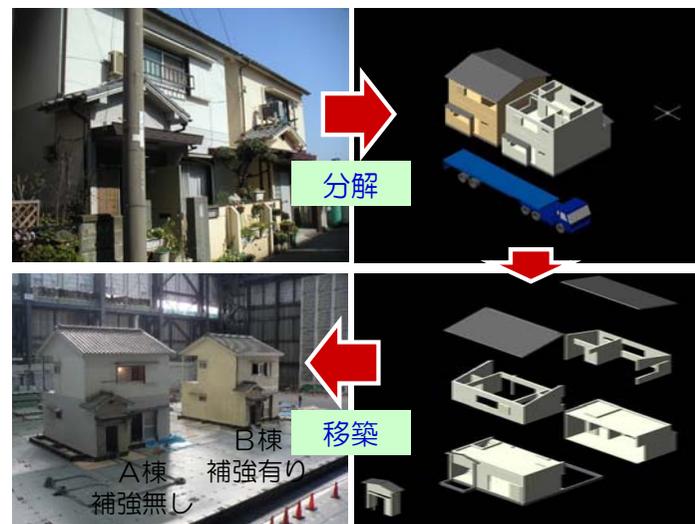
- 目的
- ・古い木造住宅の地震に対する強さを調べる。
 - ・耐震補強の効果を確認する。

試験体

- ・兵庫県明石市から移築
- ・昭和49年建築
- ・同じ間取りの2棟
- ・建築面積 35㎡
- ・延床面積 69㎡

無補強 vs. 耐震補強

- A棟(左)：そのまま
- B棟(右)：耐震補強



実験方法 1995年阪神・淡路大震災の地面の揺れを与える

木造住宅の耐震補強の実験

- 目的**
- 古い木造住宅の地震に対する強さを調べる。
 - 耐震補強の効果を確かめる。

試験体

- 兵庫県明石市から移築
- 昭和49年建築
- 同じ間取りの2棟
- 建築面積 35㎡
- 延床面積 69㎡

無補強 vs. 耐震補強

- A棟(右)：そのまま
B棟(左)：耐震補強



接合部の補強



構造用合板増設

筋かい増設

動画



実験方法 1995年阪神・淡路大震災の地面の揺れを与える

木造住宅の耐震補強の実験

- 目的**
- 古い木造住宅の地震に対する強さを調べる。
 - 耐震補強の効果を確かめる。

試験体

- 兵庫県明石市から移築
- 昭和49年建築
- 同じ間取りの2棟
- 建築面積 35㎡
- 延床面積 69㎡

無補強 vs. 耐震補強

- A棟(左)：そのまま
B棟(右)：耐震補強



接合部の補強



構造用合板増設

筋かい増設



自治体における実験映像の活用。耐震改修促進に貢献。

鉄筋コンクリート建物（学校校舎）耐震補強効果の検証実験

目的

- 旧耐震設計基準（1970年代）により設計した鉄筋コンクリート建物の崩壊過程の解明
- 無補強試験体と耐震補強試験体の比較による耐震補強の有効性の検証



試験体と入力地震動

- 鉄筋コンクリート造学校校舎
 - 耐震補強試験体（外付鉄骨ブレース）
 - 3階建て 高さ 8.3m
 - 各階 = 12m × 8m
- 神戸海洋気象台で観測された兵庫県南部地震の地震波（震度6強相当）

補強方法

- 躯体にあと施工アンカーを埋め込む
- 鉄骨ブレース設置
- スパイラル筋配筋、型枠設置
- 躯体と鉄骨の間に無収縮モルタルを充填



鉄筋コンクリート建物（学校校舎）耐震補強効果の検証実験



研究成果

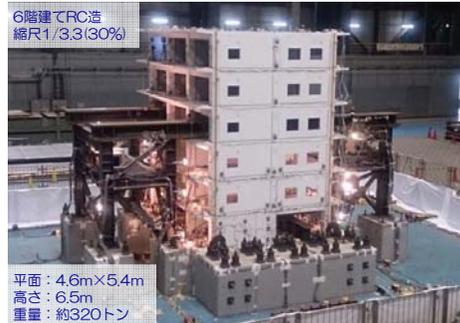
- 補強なし建物は、耐震診断・解析の結果通り崩壊状態に至った。
- 耐震補強（補強あり）建物は、建築基準法施行令の「極めて希に発生する地震を上回る激震（兵庫県南部地震）」に対しても倒壊せず、耐震補強の効果とその重要性が明らかになった。

実験してわかったこと：耐震補強で建物倒壊は免れたが、室内の机椅子は散乱状態となった。



RC造6層建物の崩壊までの余力を検証するための振動台実験

- 首都直下地震に対する鉄筋コンクリート(RC)造建物の崩壊までの安全余裕度を評価する。



試験体：

- 都市に多数存在する造の中層共同住宅を対象
- 建築基準法の現行規定による設計施工されたRC造6層建物の30%縮小試験体を建設

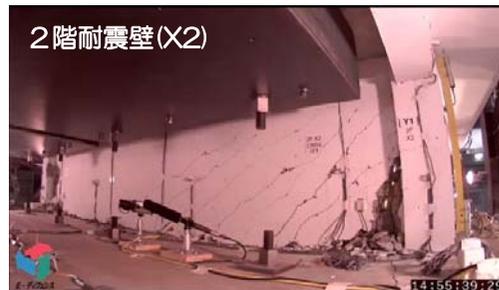
加振実験：加振レベルを上げながら崩壊を現出

- JMA神戸波120%加震により保有水平耐力に到達した。
- 保有水平耐力は基準で定められる必要保有水平耐力の2倍程度であった。
- JMA神戸波の140%を2回繰り返し入力した後、JR鷹取波120%を入力。
- 柱や壁の破壊を伴いながら、試験体は1、2層で層崩壊し、鉄骨防護フレームにもたれ掛かった。

研究成果

- RC造建物の崩壊挙動に関する詳細な実データの取得に成功。
- データ分析を経て、数値シミュレーションによる再現技術を整備し、安全余裕度定量化手法の構築へと展開。
- 将来のRC造建物の耐震設計、および巨大地震に対する安全性評価に活用。

RC造6層建物の崩壊までの余力を検証するための振動台実験 実験結果【動画】JR鷹取120%



免震構造の有効性検証実験（機能保持）

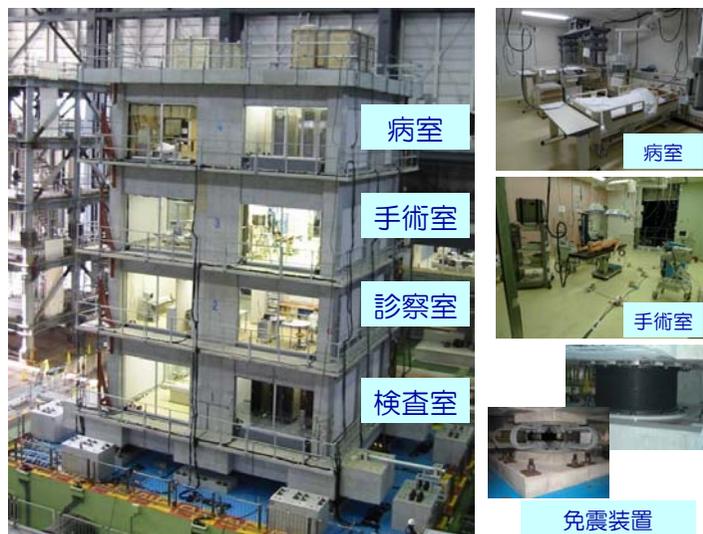
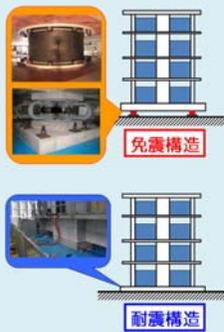
- 目的**
- 災害時の病院の機能保持性能を調べる。
 - 免震構造の実力を確かめる。

試験体

- 鉄筋コンクリート造4階建て
- 病院

本物の病院と同じように手術室や病室等を設け、機械装置や人形を設置

免震構造と耐震構造



- 実験方法**
- 1995年阪神・淡路大震災の地面の揺れを与える。
 - 東海・東南海地震を想定した名古屋三の丸地区での長周期地震動を与える

免震構造の有効性検証実験（機能保持）

26

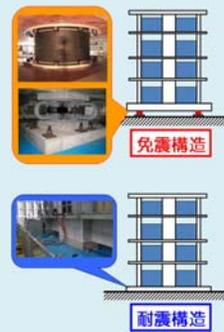
- 目的**
- 災害時の病院の機能保持性能を調べる。
 - 免震構造の実力と地震対策の効果を確認する。

試験体

- 鉄筋コンクリート造4階建て
- 病院

本物の病院と同じように手術室や病室等を設け、医療機器や人形を設置

免震構造と耐震構造



- 1995年阪神・淡路大震災の地面の揺れを与える
免震構造の実力を確かめる

目的

- ・災害時の病院の機能保持性能を調べる。
- ・免震構造の実力と地震対策の効果を確認する。

試験体

- ・鉄筋コンクリート造4階建て
- ・病院

本物の病院と同じように手術室や病室等を設け、医療機器や人形を設置

地震対策例



長周期地震動を入力。地震対策の効果を確認する。
免震は万能ならず。医療施設の地震対策、防災教育実施のきっかけに。

アウトカム

■ 病院スタッフのための地震対策ハンドブック

-あなたの病院機能を守るための身近な対策-

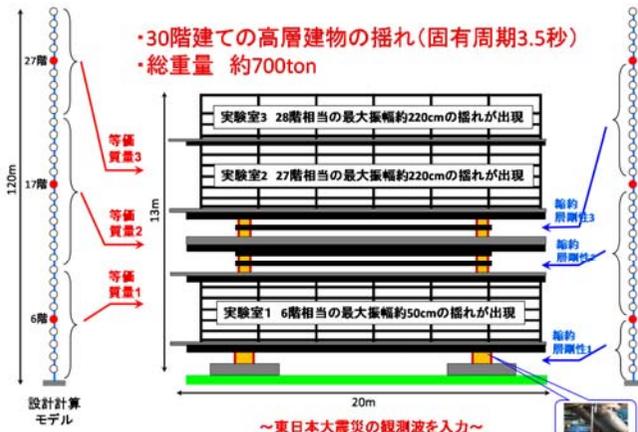
病院スタッフ，病院管理者，病院設計者等を対象

- 想定される被害事例
- 具体的な機能保持のための対策について紹介
- 被害の軽減策のチェックリスト



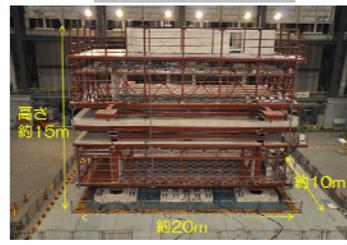
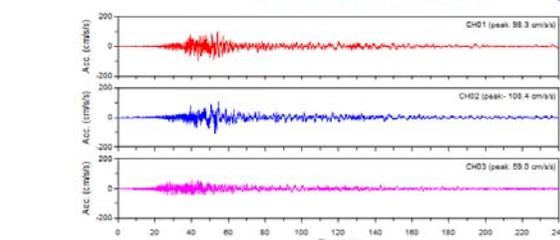
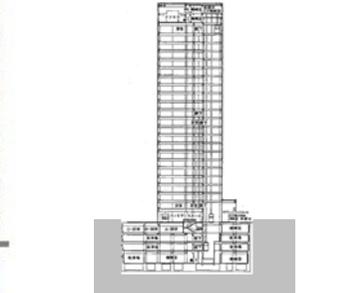
<http://www.bosai.go.jp/hyogo/syuto-pj/outcome1.html>

30階建てビルの長周期地震時の様相再現



試験体

都市の30階建てビル
広いオフィス空間の
長周期地震時の様相再現



30階建てビルの上下階の揺れの違い 住宅部分



実験室2 オフィス部分



実験室2 住宅部分



実験室1 住宅部分

実験日 2011年10月7日
試験体 高層建物モデル
入力地震動 MeSO-net西新宿 余震330%
(2011年東北地太平洋沖地震)



30階建てビル上下階の違い 住宅部分

高層マンションの室内安全性

高層マンションが長周期地震動によって長時間、大きく揺さぶられた場合の室内の安全性を実験で確認しました。キャスター付のテレビ台は室内を動き回り、転倒対策を施していない書棚や食器棚は一斉に転倒しました。一方、転倒対策を施した棚類の転倒は防止され、室内被害は軽減されました。

3

まず、家具の転倒対策が、室内での安全確保につながります



粘着シートを貼ったし字型の金物で、書棚を壁に固定するだけでも、転倒防止効果が発揮されました。

http://www.bosai.go.jp/hyogo/syuto-pj/outcome/kousou_taisaku_sd.pdf 31

超高層建物の室内の危険性に関する実験

兵庫県との共同研究

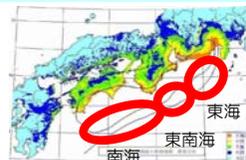
- 目的**
- ・長周期地震動を受ける超高層建物の揺れを再現する。
 - ・室内の危険性、地震対策の効果を調べる。

試験体

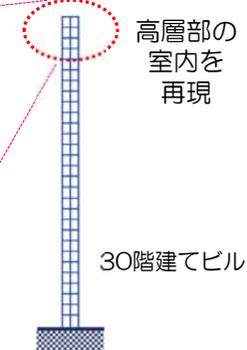
神戸に建つ30階建てビル
高層部の室内を再現
南海地震想定
対策あり vs. 対策なし



都市に林立する高層建物



南海トラフの巨大地震



30階建てビル
震動増幅装置

実験方法 南海地震の長周期地震動で想定される高層階の揺れ（最大振幅約300cm）を再現

超高層建物の室内の危険性に関する実験

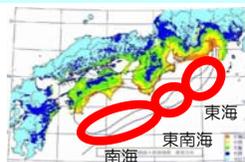
- 目的**
- ・長周期地震動を受ける超高層建物の揺れを再現する。
 - ・室内の危険性、地震対策の効果を調べる。

試験体

神戸に建つ30階建てビル
高層部の室内を再現
南海地震想定
対策あり vs. 対策なし



都市に林立する高層建物



南海トラフの巨大地震



対策あり



対策なし



平成21年6月施行の改正消防法で求められる高層オフィスビル等の防災管理に係る消防計画に記述すべき家具固定等の被害軽減措置の重要性の裏付け

【地方自治体の活動への貢献】

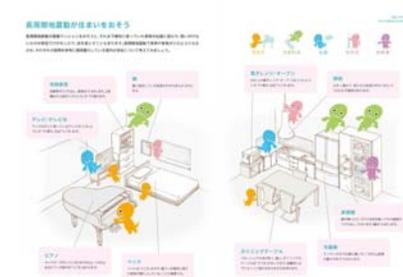
実験映像やデータがE-ディフェンスホームページで公開中と、東京都等が作成したガイドブックで紹介されている。



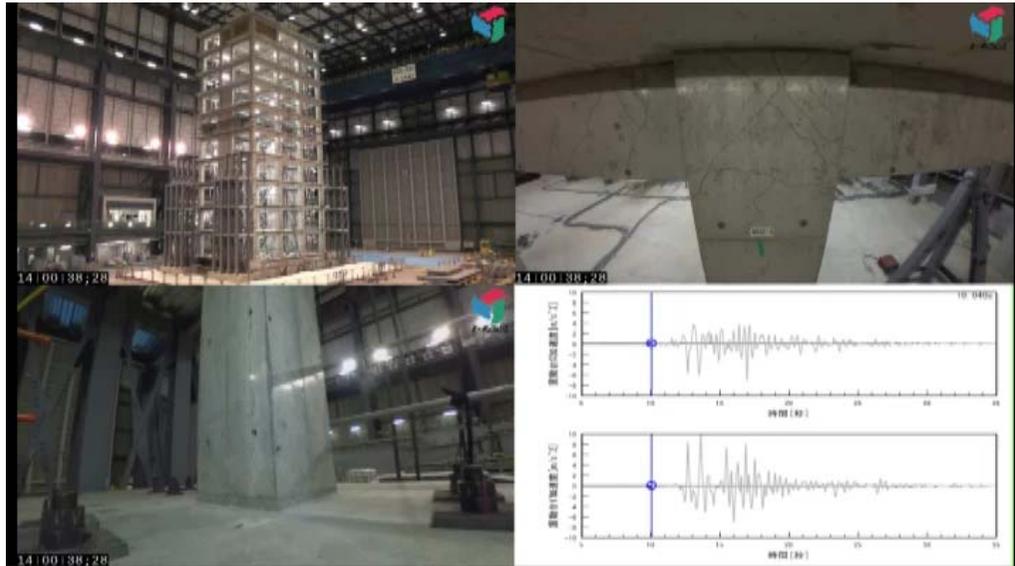
「次の巨大地震に備える高層ビル室内安全ブック」(H23.3)

(企画製作：東京都・新潟県・愛知県・京都府・大阪府・兵庫県・徳島県・福島県)
以下のURLより入手可能。

http://www.shakeout.jp/common/pdf/20110916_U-T-T-O.pdf



10階建て鉄筋コンクリート建物の揺れ



10層 建物高さ 27.6m
 平面計画:12.0m×8.0m
 重量:約1000ton
 JMA神戸100%入力

実験結果

- ◆倒壊を免れ人命に対する安全性は確保できた
- ◆梁・壁に多くのひび割れが生じ、さらに柱梁接合部の損傷が激しくみられ、建物の継続使用は難しい。

10階室内の揺れと地震対策の効果



JMA神戸25%入力

JMA神戸100%入力

E-ディフェンスの成果利用及び施設利用

➤ 実験映像の活用

E-ディフェンスでは、所有する写真や映像を、防災啓発・防災教育・報道等の目的に沿う事を条件に無償で貸出を行っています。

<http://www.bosai.go.jp/hyogo/research/movie/movie.html>



➤ 実験データの活用

E-ディフェンスでは、データの公開そのものがE-ディフェンスの地震工学分野への貢献と考え、実験終了後一定の猶予期間の後、データを公開しており、研究、教育又は行政目的であれば、どこでも利用できます。

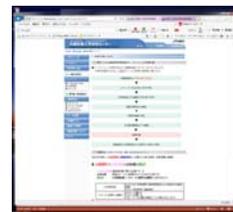


<https://www.edgrid.jp/login>

➤ E-ディフェンスの施設利用

E-ディフェンスは共用施設として、大学や研究機関等との共同研究、あるいは、民間企業等からの委託による受託研究、及び民間企業や各研究機関への施設貸与で利用できます。

<http://www.bosai.go.jp/hyogo/research/use/use.html>



ご静聴ありがとうございました。