

# E-ディフェンスを用いた 長周期地震動を受ける高層建物の震動台実験

(独) 防災科学技術研究所

## 1. 研究背景・目的

首都圏などの大都市に数多く建設されている高層建物は、大きな地震に見舞われた経験がありません。首都圏周辺では、直下地震や東海地震などの海溝型巨大地震が想定されますが、特に海溝型地震では長周期地震動が発生し、設計想定を大きく上回る地震エネルギーが高層建物に入力される可能性が指摘されています。

本研究では、E-ディフェンス震動台を利用する実規模実験により、直下地震による地震動や長周期地震動を受ける高層建物の下層部における挙動を再現し、その損傷過程、安全限界を検証します。実験では、高層建物の耐震設計に標準的に用いられている観測波、海溝型地震の予測波を入力し、各地震に対する被害の様相を明らかにするとともに、今後の設計、耐震改修に資する工学資料を収集・蓄積します。

## 2. 試験体概要

試験体は、高層建物の平均的な規模として地上21階、高さ80メートルの建物を想定しています。世界最大のE-ディフェンス震動台といえども、これをそのまま載せることはできません。そのため、図-1のように1階から4階までの鋼構造架構を実規模で構築し、5階以上の高層階は5階分を1枚のコンクリート錘で代用して、これに想定建物と同様の剛性、強度、減衰性を与えるため、積層ゴムとダンパーを組み込んでいます。

統計資料を参照すると、建物としての強度や剛性が年代によって大きく変化することはありません。一方、構造躯体としての保有性能に関わる部材レベルの構造詳細は、その時々々の技術水準や経済状況を反映します。本実験では1980年代以前の初期に建てられた初期高層建物で用いられていた柱梁接合部詳細などの再現を試みています。桁行

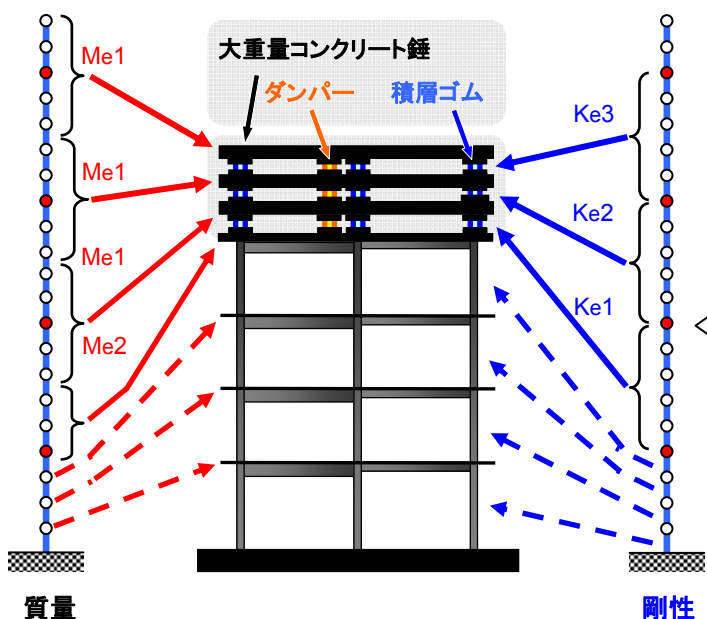
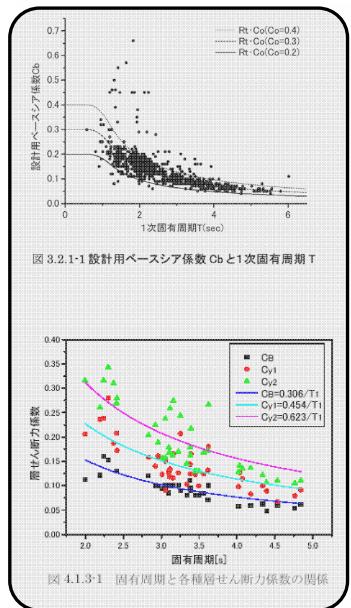


図-1 高層建物のモデル化手法 (高層階の縮約)



統計資料を参照した力学特性

方向にブラケット付きの工場溶接，梁間方向にウェブをボルト接合する現場溶接を採用し，破壊形式等を比較します。各階には厚さ 12 cm のコンクリートスラブが取り付けられており，スラブ付き鋼構造架構としての剛性や強度，変形性能を検証します。

図－2 に試験体架構部の作製状況を示します。



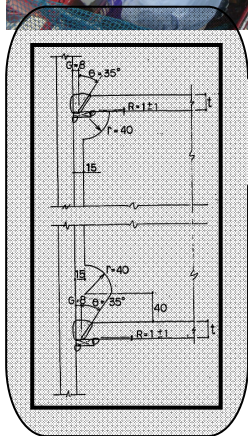
工場溶接



現場溶接



鋼構造架構の建て方



参照した 1970 年代の資料



デッキプレートとスタッドボルト



コンクリート床スラブ

図－2 下層実規模架構部の製作状況

### 3. 実験で用いる地震動

今回の一連の実験では，耐震設計に標準的に用いられている観測波および関東地震，東海地震，東海・東南海地震において予測される想定波を入力地震動として用います。図－4 に波形を示します。このうち，東海地震を想定した首都圏での地震動（東扇島波），東海・東南海地震を想定した名古屋市での地震動（三の丸波）について公開実験を行います。

図－3 に示す入力地震動が E-ディフェンス震動台で再現されます。速度応答スペクトルを図－4 に示します。横軸の建物周期に対する縦軸の値  $S_v$  が建物に与える地震の力を



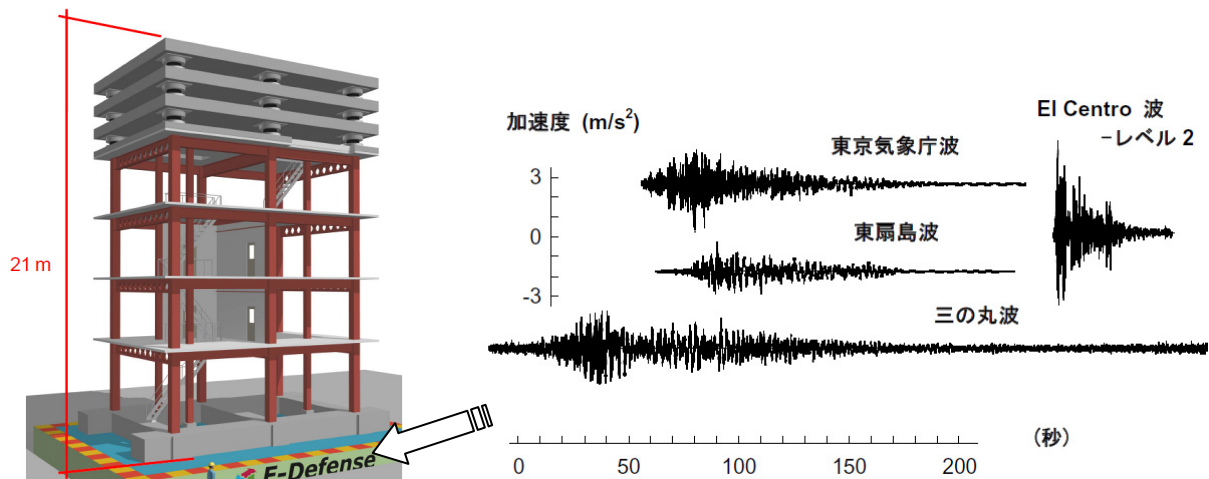


図-3 入力地震動の加速度波形

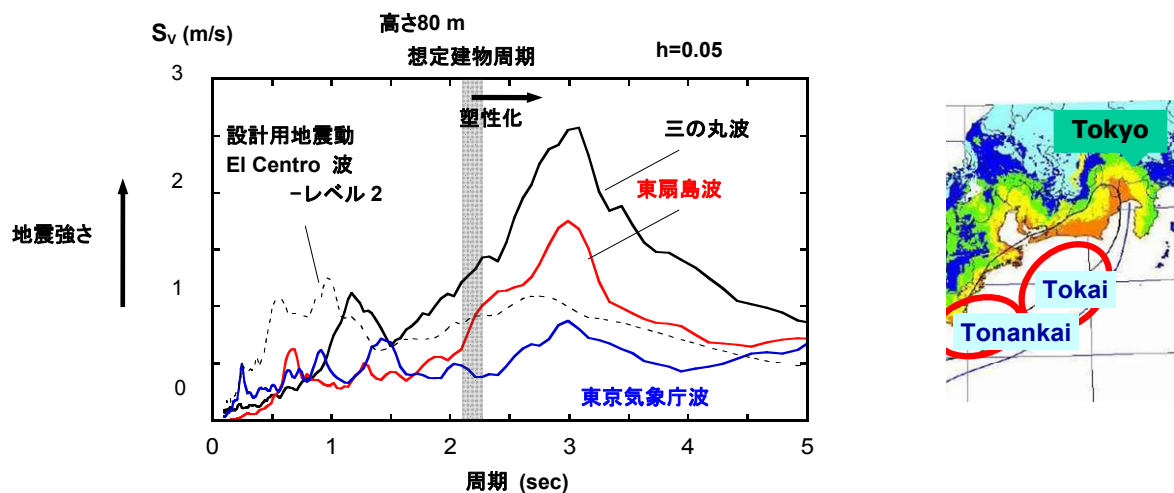


図-4 入力地震動の速度応答スペクトル

表します。試験体の周期の想定範囲を網掛けで示します。気象庁波、東扇島波、三の丸波の順に段階的に当該範囲における速度応答  $S_v$  が大きくなり、設計用地震動の El Centro 波-レベル 2 と比較すると、東扇島波の場合に同程度、三の丸波の場合に 1.5 倍程度の速度応答を有することがわかります。地震によって建物が壊れ始めると周期が長くなるので、東扇島波、三の丸波の場合に  $S_v$  すなわち地震の力がさらに大きくなる傾向にあります。したがって、試験体の床の揺れや変形が設計用地震動で想定される程度を大きく上まわることが予想されます。

### 3. 試験体と非構造材

試験体 3 階の A L C 間仕切り壁は、建物の変形に対して A L C パネルがスライドする工法が用いられています。4 階の軽量間仕切り壁は軽鉄下地のうゑに石膏ボードが貼り付けられます。いずれもドア開口部が組み込まれ、内壁材自身の損傷のみならず、避難性にかかわるドアの開閉等、建物としての機能保持能力の評価も視野に入れています。

給排水立管は、高層および中層建物に多く用いられている単管式排水管、ステンレス製給水管、安価な排水管として用いられることが多い耐火二層管式排水管を複数層に渡って組み込んでいます。それぞれ地震時に生じる変形を継ぎ手で吸収します。とくに許容される変形角を超えた場合に継ぎ手の損傷が予想され、継ぎ手や管の変形状態、気密性などから性能を評価します。



鋼構造柱梁接合部



給排水立管および枝管



試験体全景



縮約層の塑性化装置



間仕切壁およびドア開口

図 - 5 試験体概要

## 5. 首都直下プロジェクトと参画機関

「首都直下地震防災・減災特別プロジェクト」とは、文部科学省が今年度から着手した5ヵ年間の研究開発プロジェクトのことで、地震による被害の大幅な軽減と首都機能維持に資することを目的としており、以下の3つのサブプロジェクトからなります。

- ①首都圏周辺でのプレート構造調査、震源断層モデル等の構築等
- ②都市施設の耐震性評価・機能確保に関する研究
  - (1) 震災時における建物の機能保持に関する研究開発
  - (2) 長周期地震動による被害軽減対策の研究開発
- ③広域的危機管理・減災体制の構築に関する研究

サブプロジェクト②は、首都直下地震に対する都市施設の被害を軽減し、建物の包括的な継続性を維持するための防災・減災対策を、実大三次元震動破壊実験施設Eーディフェンスを用いて推進するものです。本実験はサブプロジェクト②うち(2)「長周期地震動による被害軽減対策の研究開発」の一環として行われるもので、下記の機関の参画の元に実施されます。

(独) 建築研究所, 東京理科大学, 名古屋大学, 京都大学  
大林組, 鹿島建設, 清水建設, 大成建設, 竹中工務店



## 6. 実験結果の速報

東扇島波を入力した実験では、柱付近の梁端部の変形の影響で柱付近のコンクリート床スラブにひび割れがクモの巣状に生じた(図-6)が、鉄骨造架構には溶接箇所の亀裂などの被害は生じませんでした(図-7)。一方、内壁には局所的な剥落やへこみが生じ補修が必要な状態になりました(図-8, 9)。三の丸波を入力した実験では、梁端部に多数回の繰り返し変形が集中し、溶接部において破断が生じた(図-10)。

なお、事前に、耐震設計で標準的に用いられている地震波(エルセントロ波)を用いた実験を行い、設計で想定されていた応答レベルとなることを確認しています。首都直下地震の波については、本プロジェクトで提案される新たな予測波も今後の実験に取り入れていく予定にしています。

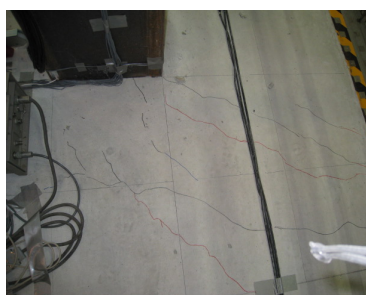


図-6 床のひび割れ



図-7 接合部状況 1



図-8 壁とドアフレームの間に隙間



図-9 内装材の剥離



図-10 接合部状況 2