

実験システムの提案と設計

高層建物の耐震性評価に関する E-ディフェンス実験－その2

正会員 ○福山國夫^{*1} 鍾育霖^{*5} 島田侑^{*3} 長江拓也^{*1} 梶原浩一^{*1} 井上貴仁^{*1} 中島正愛^{*1}
齊藤大樹^{*2} 北村春幸^{*3} 福和伸夫^{*4} 日高桃子^{*5}

キーワード：長周期地震動，高層建物，振動台実験，設計

1. はじめに

高層建物の実験システムを提案し，設計する。

2. E-ディフェンスの制約条件と試験体

E-ディフェンス震動台は 20×15m の平面を持ち，最大積載荷重 1200t である。実験棟内クレーン高さ等の関係から試験体高さは 22m 程度が上限となる。

3. 縮約モデルの基本コンセプト

本実験では以下に関する知見の取得を目的とする。

- (1) 長周期地震動を受ける高層建物の応答性状
- (2) 1980 年以前の初期に用いられた構造躯体の耐震性
- (3) 強震観測から損傷評価するモニタリング技術
- (4) 非構造部材の損傷と修復性

これらを踏まえ，構造躯体の破壊現象に寄与する梁端接合ディテールの再現，内壁や設備配管等の再現を意図する実験システムを構築する。高さ約 80m，21 階建て建物を想定し，E-ディフェンスにおける制約条件に従って試験体を設計する。図-1 に試験体概要を示す。鋼構造架構は高層建物下層階を模擬し，そのうえに大重量コンクリート錠と積層ゴムを中高層階の縮約として配することで長周期化をはかる。試験体基礎に入力される長周期地震動に対して，高層建物と同等の床応答，変形を生じるシステムの基本コンセプトを以下に示す。

[基本 21 層モデル]

21 質点のせん断ばねモデルを考え無次元化された降伏時ベースシヤ係数，剛性分布，強度分布等の再現から想定建物と同等の応答特性を与える。各値には統計資料^{1), 2)} を参照し平均的な値を採用する。

- (i) 全体の重量が 1200t を下回るように試験体の重量を与える，等質量の 21 質点モデルを設定する。
- (ii) 1 次固有周期 T_1 は建物高さ h との関係 $0.03 \cdot h$ から 2.4 秒となるように各層せん断ばねの剛性を与える。高さ方向の剛性分布は A_i 分布をもとづく。
- (iii) 標準せん断力係数 C_0 は 0.3 で，設計用ベースシヤ係数 C_b は T_1 に反比例する。ばねのトリリニア形状を定義する際の第一折れ点 C_{by1} および第二折れ点 C_{by2} は，それぞれ $1.4 \cdot C_b$ および $2.0 \cdot C_b$ である。 $T_1=2.4$ 秒とすれば $C_b=0.12$, $C_{by1}=0.17$, $C_{by2}=0.24$ となる。
- (iv) 高さ方向の強度分布は A_i 分布をもとに与えられる。

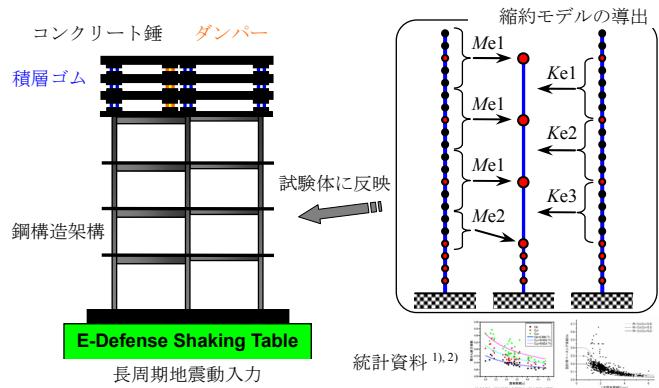


図-1 試験体概要

[21 層モデルから縮約 7 層モデルへ]

21 層モデルの上層部を縮約し，縮約層におけるモデル骨格曲線を導出する。

- (v) 21 質点せん断ばねモデルの上部 5 層の質量を縮約後 3 質点のそれぞれに与える。
- (vi) 縮約層の剛性は該当する 5 層の各層剛性を直列に結合して評価する。
- (vii) 縮約層の強度は該当する 5 層の各層強度の平均として与える。

このとき，縮約層の試験体コンクリート錠は 21 層モデルの 19 層，14 層，9 層を代表する。

4. 試験体設計

試験体を図-2 に示す。試験体の主要な諸元を表-1 に示す。以下では設計手順を示し，前述の(i)から(vii)に従い得られたモデルの骨格曲線とプッシュオーバー解析結果を比較する。

4.1 架構部

(1) 断面設計

架構平面は桁行方向 2 スパン，梁間方向 1 スパンで，部材断面は，(i), (ii), (iii) に従い， $C_0=0.3$ に対する許容応力度設計により決定される。設計時に梁のスラブ合成効果は剛性に考慮し，強度については無視する。構造詳細はその 3 で述べる。

(2) 構造特性

解析において，柱，梁は線材置換し，材端にバイリニアの弾塑性回転ばねを配す。各降伏強度は，材料強度の

Proposal and Design of the Test System

E-Defense Shaking Table Test for Evaluation of Seismic Performance of High-Rise Building Part. 2

Kunio Fukuyama, YuLin Chung, Yu Shimada, Takuya Nagae, Kouichi Kajiwara, Takahito Inoue, Masayoshi Nakashima
Taiki Saitou, Haruyuki Kitamura, Nobuo Fukuwa, Toko Hitaka

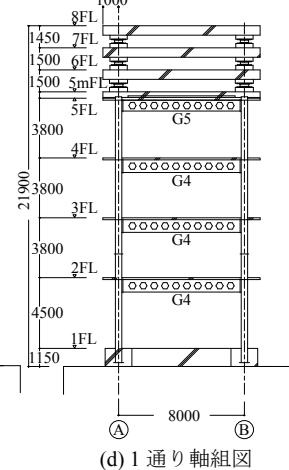
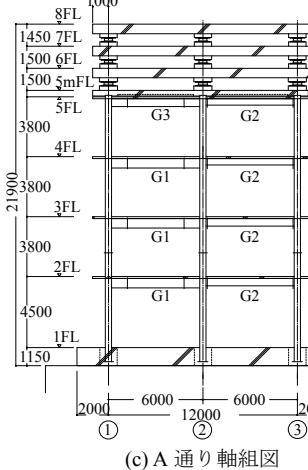
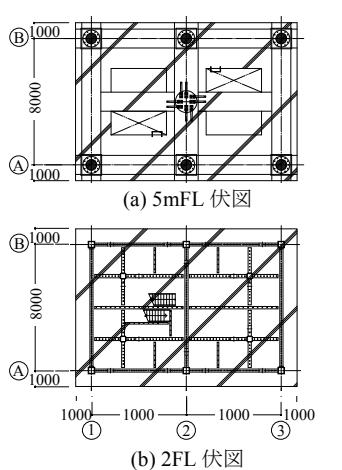


図-2 試験体

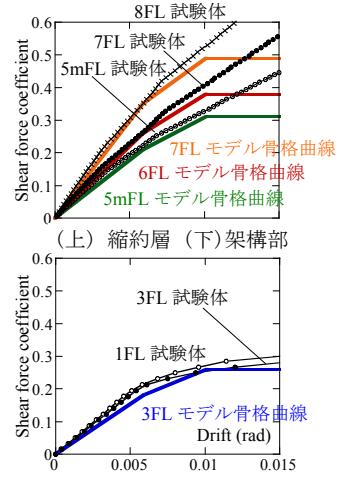


図-3 プッシュオーバー解析

表-1 試験体諸元一覧

(a) 試験体重量			
層	重量 t	層	重量 t
8F	180	4F	53
7F	195	3F	53
6F	195	2F	56
5F,5mF	1	1F	221

総重量 1119 t

(b) 架構部材	
柱 (SM490A)	梁 (SM490A)
□400x25	G1 H600x200x9x19
	G2 H400x200x8x13
	G3 H500x200x9x16
	G4 H800x199x10x15
	G5 H650x199x9x14

(c) 単体積層ゴム		
層	ゴム外径 mm	G N/mm ²
7	600	0.39
6	600	0.44
5	600	0.59

柱中心位置に縮約各層計 6 基

(d) 塑性化装置		
層	ゴム外径 mm	G N/mm ²
8F	800	0.59
7F	900	0.59
6F	1100	0.59

縮約各層中央に 1 組

公称値を 1.1 倍して与えられる全塑性モーメント M_p を適用する。梁剛性にはスラブの影響を考慮する。降伏強度は既往の実験を参照して与えられる平均的な値から正曲げのみ 1.4 倍とし³⁾、部材降伏後の 2 次剛性は初期剛性の 6%⁴⁾を与える。解析結果のうち 1 層目、3 層目における層せん断力係数と層間変形角の関係を示す。スラブによる強度上昇により、部材降伏時の強度がモデル骨格曲線の第一折れ点を上回る。第一折れ点に対応する層の強度上昇は 1.2 倍程度であるが、第二折れ点に対応する強度は、同程度である。

4.2 縮約層

(1) 基本設計

コンクリート錐間の変形特性は、「6 基の単体積層ゴム」と、「ダンパー⁵⁾と積層ゴムを直列に組む塑性化装置」を並列に組み込むことで、剛性低下とエネルギー吸収を擬似的に与える。塑性化装置の強度と剛性は、ダンパーと積層ゴムにより調節される。

縮約層の剛性は、3.1 (vi), (vii) の手順に従って与えられる縮約層のモデル骨格曲線を基本とする。設計にはスラブによる強度上昇の影響が考慮されていないので、層として第一折れ点の降伏強度を 1.2 倍に割り増す。

第一折れ点以降は二次勾配を維持する。設計で考えられてきた 0.01 rad 程度までは、強度バランスおよびエネルギー消費バランスを維持し、それよりも大きな変形領域では、下層のメカニズム降伏により変形増大が試験体架

構において卓越するシステムとする。

(2) 単体積層ゴムと塑性化装置

塑性化装置(図-4)のダンパー降伏後の剛性を 0 と見なせば、その後の剛性は 6 つの単体積層ゴムの剛性によって与えられる。本試験体では、初期剛性低下率が 0.6 程度²⁾となる骨格曲線を縮約層に与えるように強度・剛性バランスを決定した。縮約層のモデル骨格曲線と、プッシュオーバー解析の結果を図-3 に示す。縮約層の関係は、5 層分の階高にて層間変形を除した変形角としている。



図-4 塑性化装置

5.まとめ

実験システムの設計について記述した。

謝辞

大林組 佐野剛志氏、鹿島建設 田上淳氏、清水建設 寺田岳彦氏、大成建設 木村雄一氏、竹中工務店 山本雅史氏には多大なご協力をいただきました。耐震性評価・機能確保研究運営委員会において多くのご助言をいただきました。付して感謝の意を表します。

文献

- 1) 福島東陽・市村将太・寺本隆幸：超高層建物の基本的特性の時系列的変化、日本建築学会大会学術講演梗概集、1999. 9.
- 2) 建築研究所、長周期地震動による建築物への影響及び対策技術に関する研究報告書、2005. 2.
- 3) 松宮智央・吹田啓一郎・中島正愛・劉大偉・周峰・溝渕裕也：大変形繰返し載荷下における鋼梁の履歴特性に及ぼす RC 床スラブの影響 RC 床スラブ付き鋼構造部分構造実大実験、日本建築学会構造系論文集、第 598 号、pp141-147、2005. 12.
- 4) 松宮智央・中島正愛・吹田啓一郎・劉大偉・周峰・福本直晃：実大鋼構造ラーメンの繰り返し載荷挙動に対して弾塑性数値解析がもつ予測精度 実大 3 層鋼構造骨組を用いた耐震性能検証実験、日本建築学会構造系論文集、第 585 号、pp215-221、2004. 11.
- 5) 新日本製鉄(株)：カタログおよび技術資料

*1 (独)防災科学技術研究所 兵庫耐震工学研究センター

*2 (独)建築研究所 國際地震工学センター

*3 東京理科大学理工学部建築学科

*4 名古屋大学大学院環境学研究科

*5 京都大学防災研究所

Hyogo EERC, NIED

IISEE, BRI

Tokyo Univ. of Science

Nagoya Univ.

DPRI, Kyoto Univ.