

E-Defenseにおける超高層建物実験

長江拓也，梶原浩一，福山國夫，井上貴仁，中島正愛

独立行政法人 防災科学技術研究所 兵庫耐震工学研究センター

1. はじめに

太平洋沿岸のプレート境界ではマグニチュード8クラスの巨大な地震が周期的に発生し、その巨大地震が今世紀前半のうちにほぼ確実に発生する。このとき、長周期の成分に力を有する長周期地震動が内陸に伝わり、大都市の超高層建物を長時間にわたって強く揺さぶる可能性が高い。こうした状況下で、防災科学技術研究所は、多くの機関との協働により^{1), 2)}、超高層建物の被害の軽減に資する実験に取り組んでいる。実験では、E-ディフェンス振動台の持つ性能を最大限に活かし、長周期地震動をうける超高層建物の揺れを引き起こす。本稿では、前半を「鉄骨造骨組の耐震性に関する実験」、後半を「室内安全性に関する実験」として、現在までの成果を紹介する。前者は工学的な見地から設計や耐震改修に展開できる技術資料を取得するもので、後者は防災啓発を視野にマンション住民やオフィスビル関係者に提示できる資料を取得するものである。まとめにおいては、「非構造部材に関する実験」にも言及する。

2. 鉄骨造骨組の耐震性に関する実験—文部科学省による首都直下プロジェクト—

文部科学省が推進する首都直下プロジェクトの一環として、計3回の実験が計画された。本実験は、その第1回目にあたるもので、2008年3月に実施された。「長周期地震動を受ける超高層建物の損傷過程・安全余裕度把握」を目的に、研究項目として (a) 地震応答特性評価、(b) 構造体の保有性能評価、(c) 非構造部材の機能性・修復性評価、(d) 損傷モニタリング技術の開発 を設定した¹⁾。

2.1 実験方針

鉄骨造超高層建物の骨組実験の方針を図1に示す。E-ディフェンス振動台は、平面が20m×15mで、最大積載荷重は1200tである。また、試験体高さは22m程度が上限である。本研究で設定した高さ80mの超高

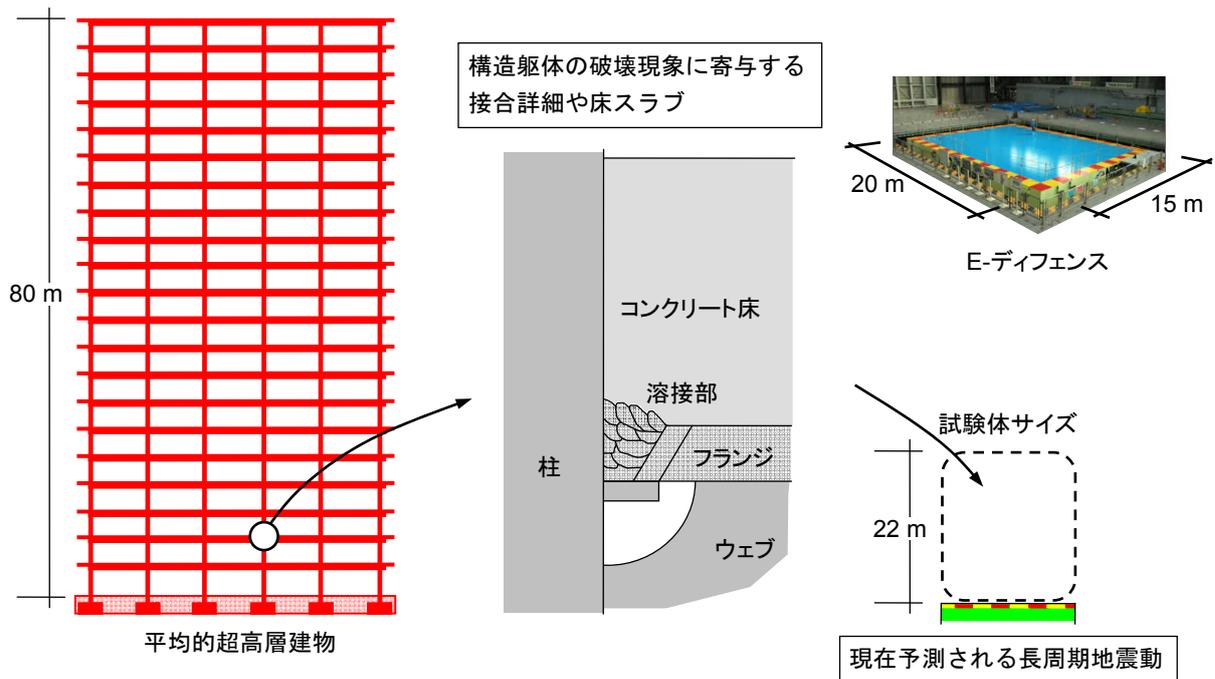


図1 鉄骨造骨組実験の方針

層建物の平均像と E-ディフェンス振動台を図 1 において比較するが、施設の制限から許される試験体の高さは平均像の 1/4 程度である。このような条件のなか、本実験では、E-ディフェンス振動台に載せることのできる最大レベルの鉄骨造骨組を用意し、その破壊現象に重要な意味を持つ柱と梁の接合詳細を実物で再現する。付加的な実験装置を用いる振動台実験手法^{3), 4)}の考え方を適用することで、ここに長周期地震動を受ける超高層建物の揺れを与える。

2.2 試験体用力学モデル

試験体用力学モデルの考え方を図 2 に示す。想定する高さ 80 m、21 階建ての超高層建物に対して、試験体用の 21 層モデルを設定する。これを縮約モデルに置換し、試験体設計に反映する。

21 層モデルは、振動台に搭載が可能な重量を踏まえ 1000 t とする。21 質点せん断ばねモデルの力と変形の間関係をトリリニアで定義し、初期剛性は、1 次固有周期 T_1 が 2.4 秒（想定建物高さ H の 0.03 倍）となるように与える。高さ方向の剛性分布、強度分布は A_i 分布に基づいて決める。第 1 降伏点、第 2 降伏点のベースシヤ係数は平均的な設計用ベースシヤ $C_b=0.125$ の 1.4 倍、2.0 倍とする^{5), 6)}。

本実験では、4 層の骨組を下層部分として用意する。それよりうへは、コンクリート錘と積層ゴムを基本とする縮約層によって表現する。21 層モデルに対する固有値解析において、1 次モードから 3 次モードまでの刺激係数が全体の 90% 以上を占める。よって、縮約層を 3 層とする。縮約モデルは、質量 M_e を 21 層モデルの 19 階、14 階、9 階に集約し、剛性は 5 層の直列剛性 K_e 、降伏強度は 5 層の平均強度 Q_{ye} とする。

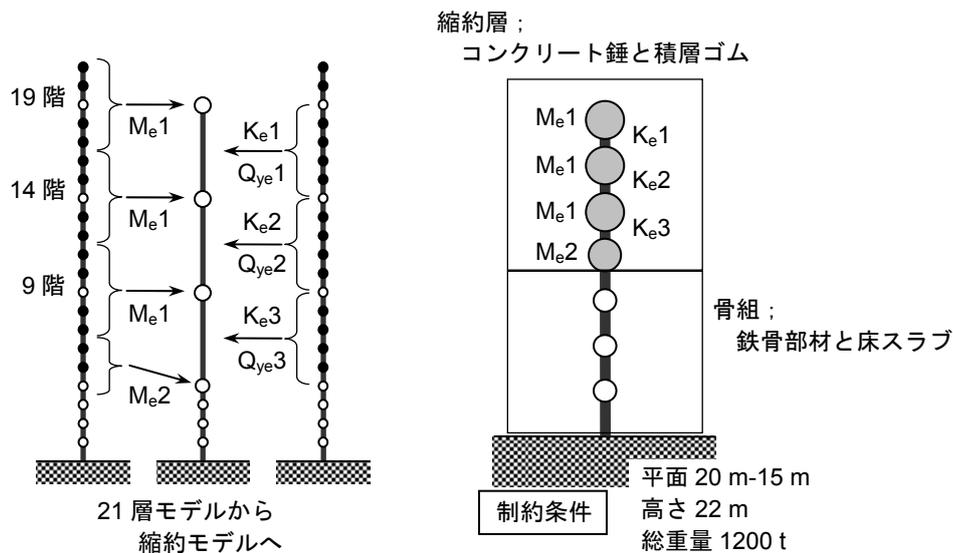


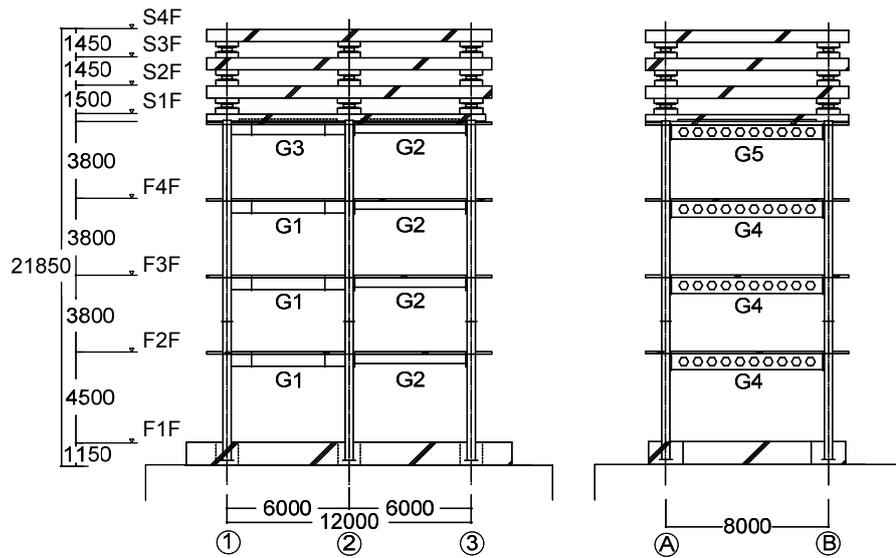
図 2 力学モデルと試験体

2.3 試験体

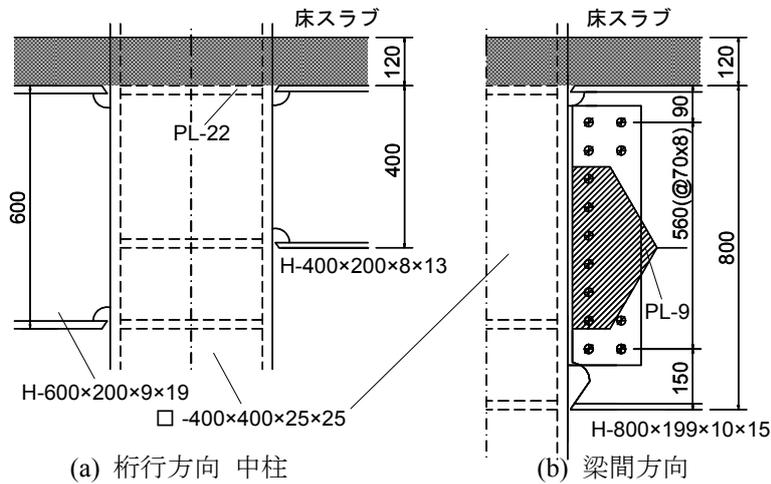
試験体の立面を図 3(1)に示す。階高、スパン長さを実寸とする鉄骨造骨組は、振動台平面の長辺方向を 2 スパンの桁行方向、短辺方向を 1 スパンの梁間方向とした。縮約層のコンクリート錘は、骨組と同様の平面とし、積層ゴムを柱位置に配置した。

骨組の鋼材は、当時よく用いられた SM50A に近い材料特性の SM490A を採用した。骨組みに対しては、前述の 21 層モデルで採用した設計用ベースシヤ係数、 $C_b=0.125$ に対する許容応力度設計を実施し、部材を選定した。柱は、幅厚比を超高層建物で用いられる値とし、長期の軸力比を中柱で 0.2 程度、隅柱で 0.1 程度とした。せいが 600 mm の G1 梁、せいが 800 mm の G4 梁によって初期の超高層建物に使用された梁⁷⁾を表現した。接合部の詳細を図 3(2)に示す。桁行方向の G1 梁を工場溶接接合部、梁間方向の G4 梁を現場溶接接合部とした。骨組内の各層には、厚さ 120 mm のコンクリート床スラブを取り付けた。1 層目の柱脚は、振動台に緊結されるコンクリート基礎に埋め込んだ。

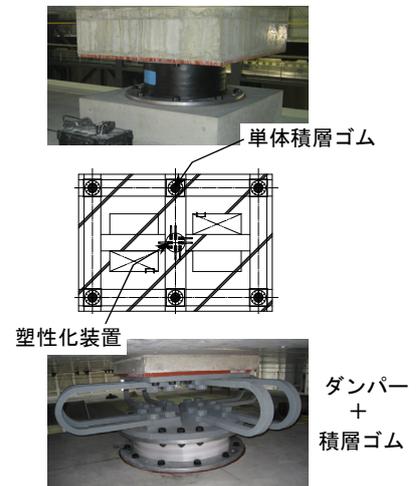
縮約層の概要を図 3(3)に示す。縮約層の剛性は、縮約モデルの値を参照して決めた。鋼製 U 型ダンパーと



(1) 試験体立面



(2) 柱梁接合部詳細



(3) 縮約層の平面配置

図3 試験体

積層ゴムを直列に結合した「塑性化装置」を中央に組み込み、骨組の非線形特性をモデル化した。

2.4 試験体の製作と計測状況

図4に試験体の製作状況を示す。内ダイヤフラムのある通し柱に、桁行方向の柱梁接合部のブラケットを工場溶接した。試験体製作現場にて、桁行方向の梁を高力ボルト接合し、直行する梁間方向の梁を現場溶接接合した。その後、全ての柱梁溶接接合部に対して UT 検査を施したが、現在の規定において不合格になるような欠陥は確認されなかった。0°Cのシャルピー衝撃値は、現場溶接で 88J, 工場溶接で 105J であった。各層のコンクリート床スラブの打設を終えた骨組を施設屋内に搬入し、鉄筋コンクリート基礎を震動台に緊結した。錘スラブは別途製作しておき、単体の積層ゴムと塑性化装置を介しつつ、コンクリート錘を順に組み上げて、試験体を完成した。

計測には、計 674ch の点数を用意した。振動台上、基礎上、各層床上の加速度、骨組および縮約層の層間変位、柱・梁の端部と中間部のひずみを計測した。ほかにも、梁の端部の回転角を求めるために梁の軸方向変形を計測した。



(1) 現場溶接接合部



(3) 骨組の組立



(2) 現場溶接接合部



(4) 試験体全景

図4 試験体製作

2.5 実験結果

2.5.1 振動特性

ホワイトノイズ波による弾性加振から求めた試験体基礎と頂部の伝達関数を図5(1)に示す。これをもとに求めた1次モードの固有周期は2.13sec, 減衰定数は2.6%となった。(1次固有周期に関して, 試験体の重量が設計時よりも小さくなった分, 予定した2.4秒よりも若干短くなった。) 試験体のモード形状を図5(2)に示す。縮約層の値は, 等価な9階, 14階, 19階にプロットしている。試験体のモード形状は, 21層モデルの

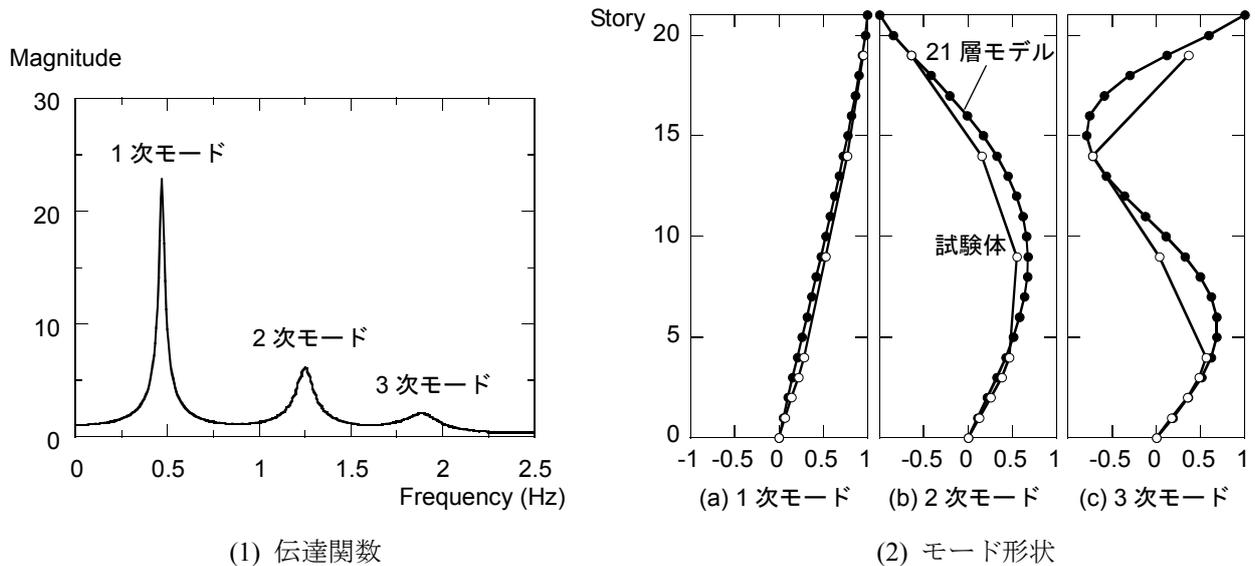


図5 ホワイトノイズ加振の結果

計算結果と概ね一致していることがわかる。

2.5.2 入力地震動

本研究で用いた地震動を表 1 に示す。設計用地震動としてレベル 2 の El Centro 波(最大速度 0.5 m/s)を採用した。首都圏に予測される長周期地震動として、関東地震を想定した気象庁波、東海地震を想定した東扇島波を採用した^{8),9)}。さらに、東海・東南海地震を想定した東海地方の長周期地震動、三の丸波を採用した¹⁰⁾。速度応答スペクトルを図 6 に示す。実験は水平 2 方向の同時加振で、試験体の桁行方向と梁間方向に分けて示している。桁行方向に、1 次固有周期付近の応答レベルが大きい方向成分を選択した。試験体の 1 次固有周期付近に対応するスペクトル振幅について、東扇島波は El Centro 波と同程度、気象庁波はその 0.5 倍程度、三の丸波は 1.5 倍程度である。東扇島波と三の丸波の場合は周期 3 秒付近にスペクトルのピークがあり、塑性化して試験体の周期が伸びれば、応答が増幅される傾向にある。

表 1 実験に用いた地震動

地震動	想定地震	マグニチュード	場所
気象庁波	関東地震	7.9	東京都千代田区
東扇島波	東海地震	8	川崎市
三の丸波	東海・東南海地震	8.3	名古屋市
El Centro波レベル2	-	-	-

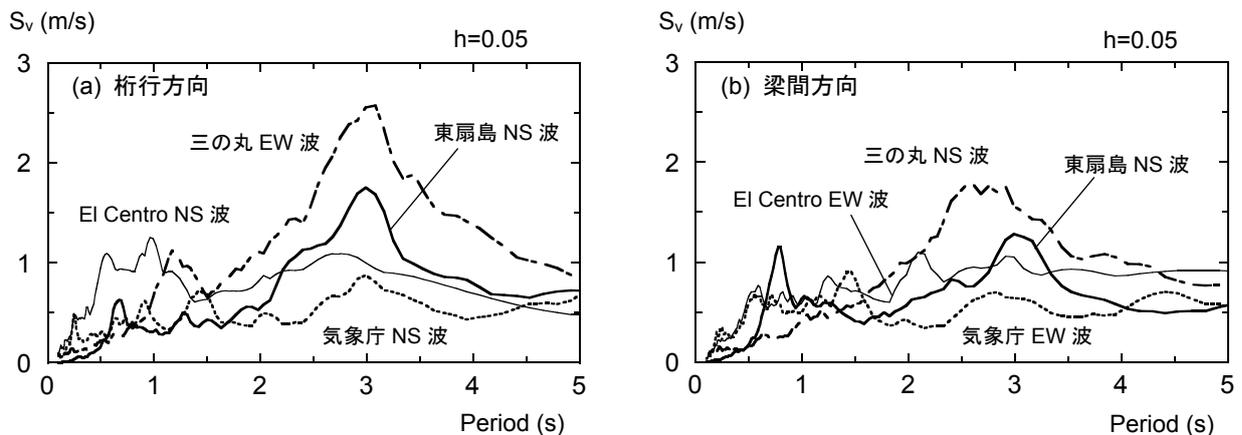


図 6 実験に用いた地震動の速度応答スペクトル

2.5.3 地震応答性状

実験は、気象庁波、El Centro 波、東扇島波、三の丸波の入力順序で実施された。図 7 に最大層間変形角分布を示す。縮約層は等価な位置にプロットしている。気象庁波の値は弾性範囲内の応答となった。El Centro 波の最大値は 0.009 rad となり、超高層建物に対して従来の設計が想定した応答値を再現している。東扇島波と三の丸波の場合は 1 次モードが卓越し、下層ほど最大層間変形角が大きくなっている。最大値を見ると、東扇島波の場合は、0.011 rad、三の丸波の場合は 0.018 rad で、いずれも桁行方向において生じている。弾塑性応答時において骨組は、梁の端部が主に降伏した。

骨組内で最大層間変形角が生じた 2 層目の層間変形角の時刻歴波形を示す。設計用地震動のエルセントロ波に比べれば、予測地震動は、揺れの継続時間が長く、気象庁波、東扇島波で 120 秒を超える。三の丸波は、200 秒を超える。梁の下フランジの降伏時層間変形角は約 0.005 rad であり、これを超える振幅が多数回発生

して、塑性変形が累積される。定量的な比較のために、層レベルの累積塑性変形倍率を出して比較すると、東扇島波で、エルセントロ波の約4倍、三の丸波でエルセントロ波の約15倍に達する累積値となった。

実験では、三の丸波を入力したとき、梁間方向の現場溶接接合部において、梁端下フランジが破断した。図の中に、その破断時刻を示す。塑性変形の累積によって生じたスカラップ底の亀裂が進展して破断したも

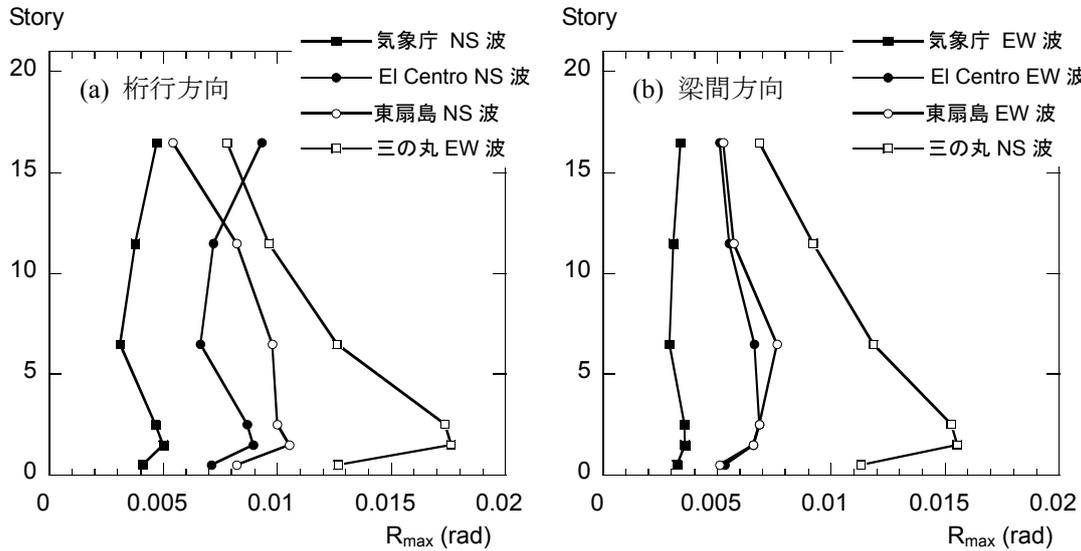


図7 最大層間変形角分布

Drift angle (rad)

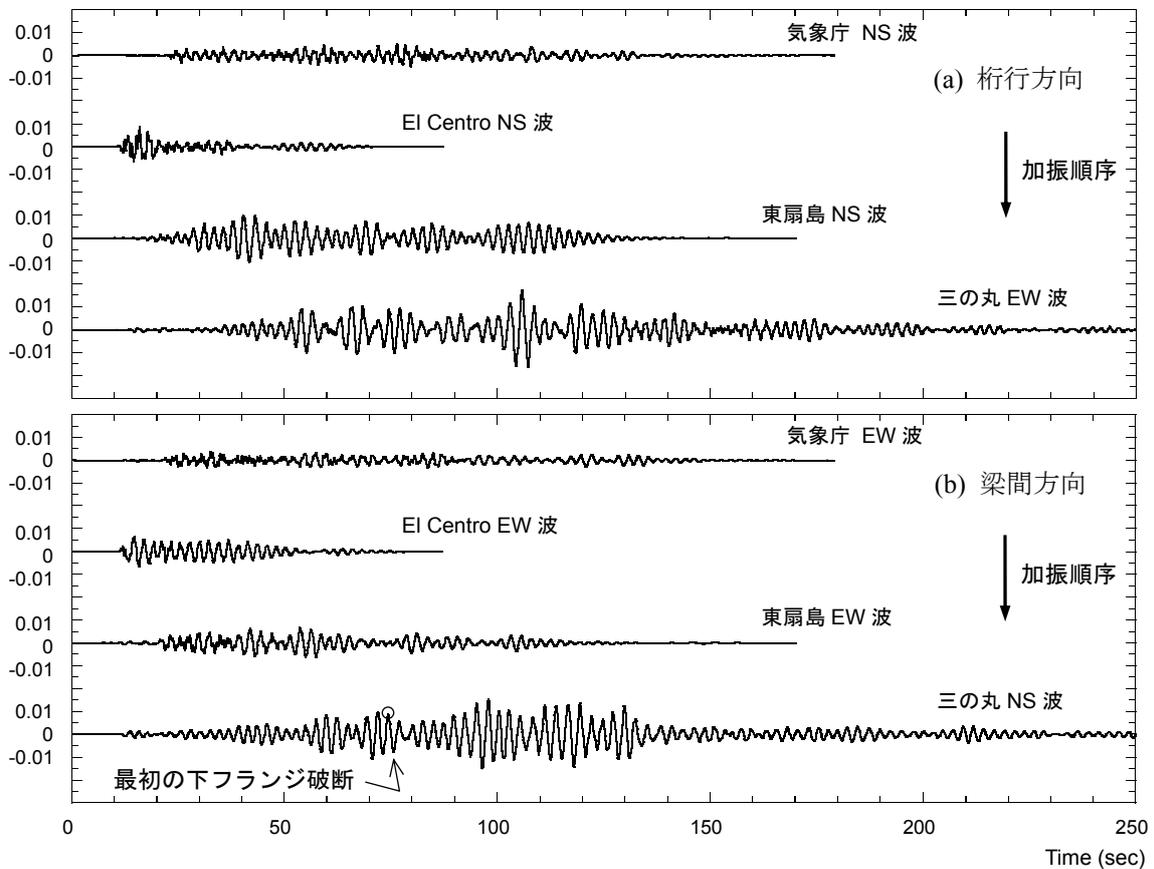


図8 骨組の2層目における層間変形角の時刻歴波形 (水平2方向同時加振)

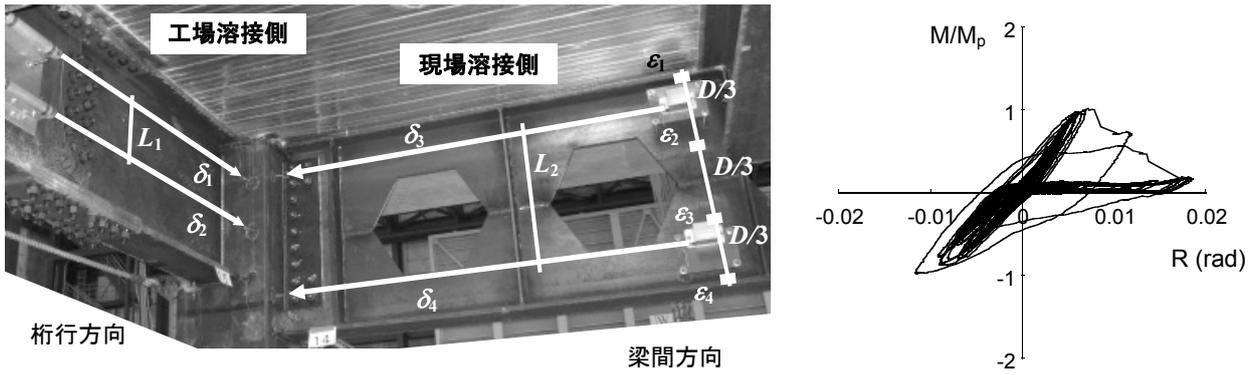


図9 梁端部のモーメントと回転角の測定，および破断した現場溶接接合部の状況（三の丸波）

ので，対象とする12ヶ所のうち3ヶ所に生じた。工場溶接の場合は，桁行方向の一方向加振に切り替えて，さらに2回の加振を追加したところで，梁端下フランジのスカラップ底を起点とする破断が12ヶ所のうち2ヶ所に生じた。破断までの累積塑性変形倍率で比較すると，工場溶接接合部は現場溶接接合部の約5倍の変形能力を有していた。これら全ての梁端部のモーメントと回転角の関係を取得している。破断した場合の例では，多数回の繰り返し履歴の後，下フランジの破断に伴う急激な耐力劣化が生じている。こうした資料から，部材レベルのエネルギー吸収量が計算でき，接合部の変形性能が評価できる。

2.6 鉄骨造骨組実験に関する今後の展開

実験では，設計用地震動と首都圏で想定される長周期地震動の加振を終え，その後の名古屋三の丸波の加振の途中で，現場溶接接合部の梁端部の下フランジが破断した。こうした内容は，先に述べた研究項目に基づき考察が進められている。一方，超高層建物において多数の梁の端部に破断が生じれば，大規模な補修が必要になることは明らかで，その程度によっては，継続使用を放棄せざるをえない状況も出てくる。変形レベルを抑えて，多数回の繰り返し塑性変形が生じないようにするためには，ダンパーを組み込む耐震改修が必要である。柱梁接合部に対する補強が必要となる場合もある。プロジェクトにおける第2回目の実験は耐震改修を主題としており，図10に示すように，同様の実験方法を用いて実施される。

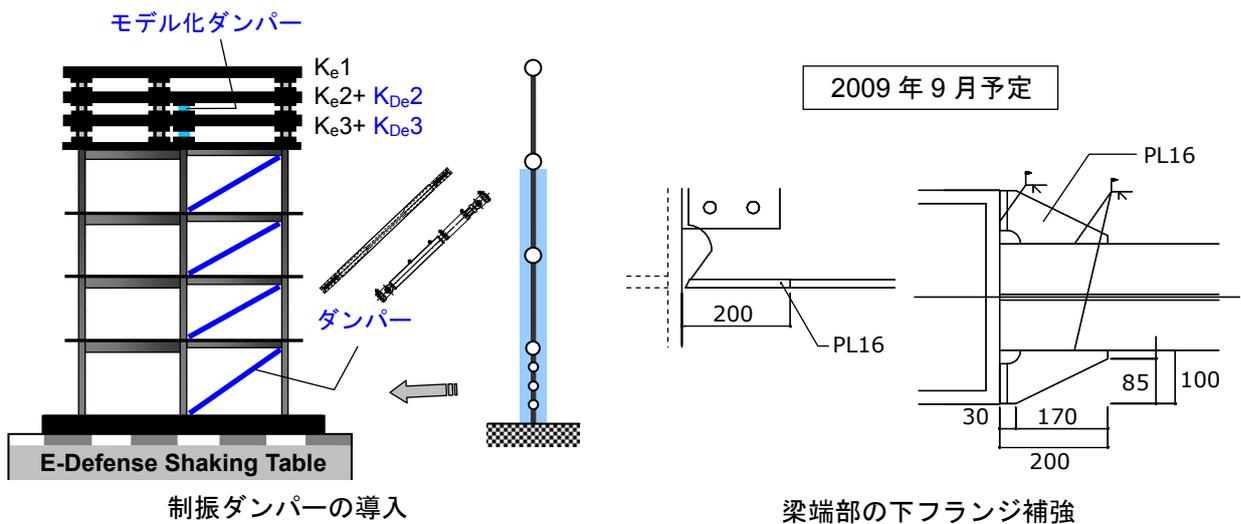


図10 耐震改修に関する実験

3. 室内の安全性に関する実験

兵庫県と防災科学技術研究所は、大地震時の超高層建物における家具什器および非構造部材の挙動に関する共同研究を継続的に実施してきた²⁾。一連の実験では、特に、防災施策、防災教育に展開することをめざした。

3.1 試験体と床応答状況

事前の解析で求めた、長周期地震動を受ける超高層建物の揺れ（床速度）を図 11 に示す。超高層建物の揺れは、高層階ほど増幅され、また数分間も続く。実験では E-ディフェンス振動台上に用意した試験体を高層階と同じように揺らし、室内の安全性を検証した。

試験体は 5 層の大型鉄骨骨組で、広い内部スペースを確保した(図 12)。この鉄骨骨組と振動台の間に積層ゴムをはさんで振幅を増幅する手法により、大振幅で長時間の揺れを実現した。固有周期は想定する建物になるべく近くしておき（約 3 秒）、加振では逆解析で求めた入力波を用いた。実験で与えられた床の動き（変位オービット）を図 13 に示す。試験体の 2 方向に大振幅の床応答が与えられ、Y 方向（試験体長辺方向）の

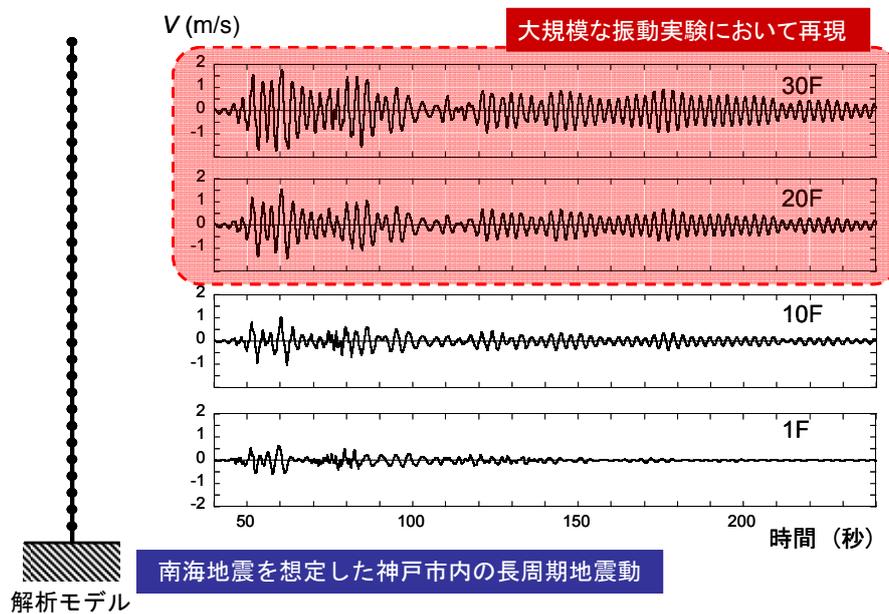


図 11 長周期地震動を受ける超高層建物の揺れ

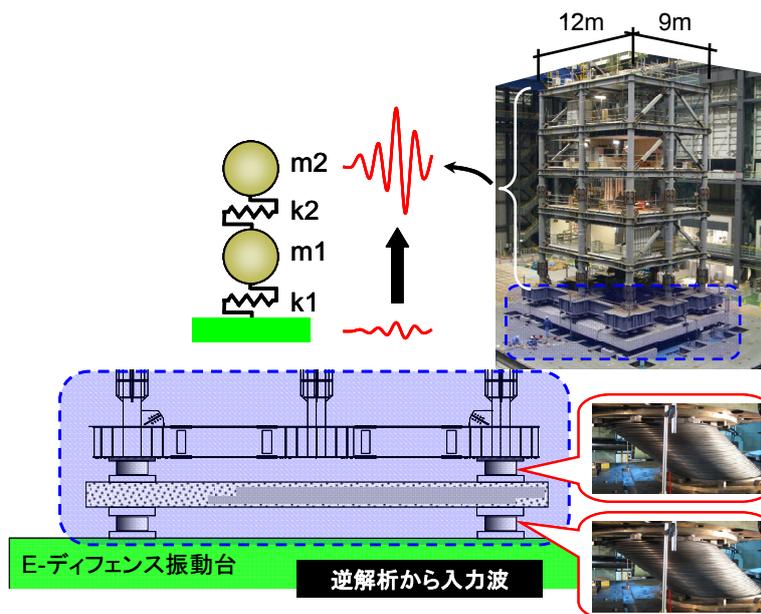


図 12 試験体

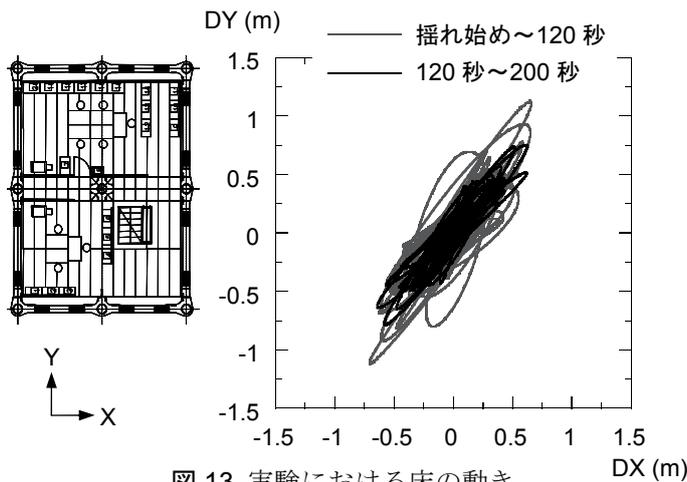


図 13 実験における床の動き

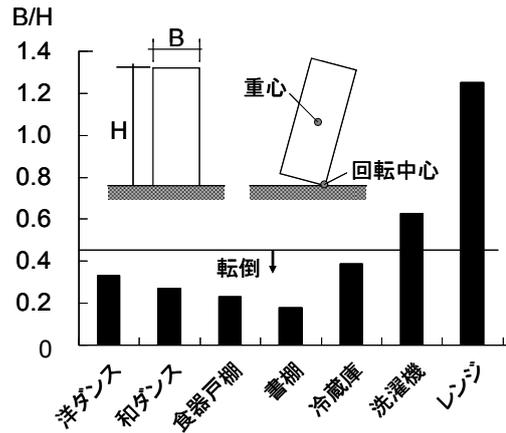


図 14 家具の転倒条件

最大の往復振れ幅は 2.5 m に及ぶ。実験では、超高層建物が長周期地震動に共振して長時間揺れる状況を表現しており、揺れははじめから 120 秒経った後の動き（図中、黒線）は、なお振れ幅 1.5m を有している。

3.2 家具の条件¹¹⁾

家具が転倒する際には、床加速度の慣性力によって下端部が浮き上がり、その重心位置が反対の下端部位置を超えることになる。そのため、転倒条件には、床加速度とともに床速度も反映される。ただし、超高層建物の揺れの場合には、床加速度が条件を満たしたときの床速度は十分大きい。実験において、試験体の Y 方向に生じた最大加速度は 4.5 m/s^2 （最大速度は 2.2 m/s ）である。標準的な家具の形状比を図 14 に示し、下端部の浮き上がる条件の形状比 0.45 を付記した。形状比が 0.45 より小さいと転倒する条件となり、レンジや洗濯機などを除き、一般的な家具は、軒並み転倒することとなる。

家具のすべりは、床加速度による慣性力が静止摩擦力（静止摩擦係数と重量の積）を超えたときに発生する。キャスター付の家具の場合は、静止摩擦係数が 0.1 を下回り、家具と床の材質がともに木質の場合、また、金属系の家具と P タイルの組み合わせの場合にも、0.1, 0.2 といった小さい値になる。床の動きは往復で 2.5 m におよび、摩擦係数が小さくなると、すべりの振幅は急激にその値に近づいていく。したがって、重量が 200 kg にもなるコピー機等の重量物も、キャスターや床の材質によって、大きく長時間にわたって動き回ることとなる。

3.3 本実験のコンセプト

兵庫県南部地震でも、室内における家具の転倒・飛散が、人命を奪う被害を引き起こすことが大きく取り上げられた。マンション住民やオフィスビル関係者が自ら適切な対策を講じて、災害に備える必要がある。その重要性を常に訴えていくための資料が必要である。本実験では超高層建物内の室内を忠実に再現し、そこに長周期地震動を受ける超高層建物の床応答を与えた。その工学的な意味は前節で述べたとおりで、技術的に個々の家具の振る舞いを予測する資料は以前より提示されている。一方、防災啓発活動の局面においては、その被害状況を直接的に表現する資料が必要である。

本実験では、実際に起こりうる現象を引き起こし、室内における総合的な被害状況をリアルな映像として記録することに力を置いた。実験のコンセプトを図 15 に示す。モデルとなったのが、交通安全教育で使われるビデオである。実際の事故やその後に生じる様々なドラマを組み込んだリアルな内容によって、受講者は身近なこととして切実感を覚え、安全運転、交通マナーなどに対する思いを強いものにする。家具の転倒や飛散を防止するための対策を訴えるとき、同様の方法によって当事者に、ことの重大性を理解してもらうことが、防災啓発の効果を増幅する。こうした映像を防災に関わる機関や団体の活動に積極的に提供し、説得力を増すための道具として活用されることを意図した。

マンションの居室、オフィスのワークスペースには、人体を模擬した人形を組み込み、家具什器の被害のみでなく、そこに居る人々がどのような危険にさらされるかが表現されている。図 16 のように、その映像



図 15 防災啓発のコンセプト



図 16 室内に組み込まれたドラマ



(1) 5層分の室内空間の加振状況



(2) 室内が陥る危険な状況

図 17 記録映像 (入手先→ <http://www.bosai.go.jp/hyogo/movie.html>)

の持つ意味を補足することで、さらに切実感を増したプレゼンテーションとすることができる。ビデオ映像の例を図 17 に示す。音響も含まれる映像ファイルがインターネットを通じてダウンロードできるようになっており、住民や関係者は情報を直接閲覧することもできる。

3.4 実験から読み取れる被害状況と対策の効果

(1) オフィス

被害状況を図 18 に示す。対策のないオフィスには、収納能力の高い（背の高い）書棚が壁面を覆うようにあり、キャスター付のコピー機もある。書棚は、揺れの開始から十数秒後にその空間で働く人たちを一気に埋め尽くした(図 17(2))。衝突を繰り返すコピー機の動きは3m 以上となり、壁に穴を開ける状況も記録された。人間はこのような揺れのなかで立っていることができず、重量物がそのような威力をもって衝突してくるときに、無防備に上半身で受けてしまう可能性が高い。揺れは 200 秒以上続き、その間コピー機は動き続けた。

オフィス用の書棚等は、ものを効率的に収納できる代わりに、本体だけで数十キロのものが、内容物を入れることで、数百キロにもなる。こうした内容物の飛散を完全に防ぐことは容易でない。移動式書棚の動きはコピー機と同類で、専門家による特別な器具の設置が必要である。キャスター付の機器に対しては、適切なストッパーが必要である。まずは、居室のレイアウトを考え、ものを置く場所と働く場所を適切に区分し、被害を最小限にとどめる必要がある。実験で確認された最も安全な空間は、ものを置かない廊下であった。



図 18 オフィスの被害状況(左は加振前)



図 19 対策の効果 (図 16 と比較)

緊急地震速報を導入して、速報の際には廊下で待機することを確認しておけば、大変有効な対策になる。

(2) マンション

キッチンにおいて、冷蔵庫のような重量物が転倒し、食器・調理器具は滑落、損壊、飛散し凶器に変わった(図 16)。ダイニングにおいては、フローリング床のうえを木質系の家具が、大きくすべり続けた。対策がある場合の加振後の様子を図 19 に示す。効果はてき面である。住宅系の家具は、内容物の重量とのバランスから見れば、しっかりしていることが多く、突っ張り棒やL型アンクルなどを用いて固定すれば、転倒や移動を防止できる。内容物や器具の飛散に対しては、滑り止めマット、粘着性耐震マットを用いることで、被害を防ぐことができる。一方、マンションでは床や壁に穴を開ける必要がある対策や、視覚的に圧迫感のある対策は、なかなか取り入れられない傾向がある。金具と粘着性耐震マットを組み合わせた対策はそのような負担がなく、これによって冷蔵庫の転倒を防ぐことができた。こうした視点からの取り組みも、対策を広めるためには重要である。

4. 結語

(1) 鉄骨造骨組の耐震性

長周期地震動を受ける超高層建物の骨組みは、設計で考えられていた変形の数倍もの大変形を一気に受けるのではなく、設計で考えられていた値の 1.5 倍程度の変形を長時間に渡って何度も繰り返し受ける。針金を曲げるときを思い浮かべるとわかりやすい。1 回曲げただけでは白っぽくなるだけで、抵抗する力は変化しない。しかし、同じ箇所を何度も繰り返し、押し戻したりしているうちに、とうとうそこで切れてしまう。同じことが、長周期地震動に共振する超高層建物の骨組に起きる可能性がある。

実験では、設計用の地震動において骨組に補修を必要とする損傷は生じなかった。しかし、現在、予測される長周期地震動は、それとは異なる揺れ方を超高層建物に与える。個々の建物で、設計内容をもう一度見直して、設計時に考えられていなかった地震動に対する再評価が必要である。

(2) 室内の安全性

以前は、超高層建物のみならず、地震時の室内における被害状況を忠実に再現した公開映像は、ほとんど

なかった。超高層建物が長周期地震動で共振するといわれても、その室内状況をイメージすることは容易でない。実験においては、多数のビデオカメラを試験体内に組み込み、貴重な映像を収録することができた。こうした内容は、今後展開される防災教育において有力な資料として利用できる。

(3) 非構造部材の耐震性

建物を構成する非構造部材に、損傷、損壊が生じれば、その建物を継続使用することは困難となる。本稿で紹介した実験の他に、ALC版外壁、メタルカーテンウォールに関する大規模な実験が実施されている¹²⁾。その結果、0.02 rad という層間変形角を被った際にも、外壁の損傷は軽微であった。

一方、鉄骨造骨組実験に組み込まれた軽鉄下地の石膏ボード内壁においては、層間変形角が0.01 rad に達する前から、ドアの開口補強周りに損傷が認められ、0.01 rad においてドアの開閉に支障が出た。0.017 rad に達すると、ドアの鋼材が面外座屈するほどの力が働き、ドアの開閉は、完全に阻害された¹³⁾。配管には被害が生じなかった¹⁴⁾。こうした内容に対して総合的な評価が必要であり、首都直下プロジェクトにおける第3回目の実験では、災害後の機能維持に焦点を当てる予定である。

謝辞

鉄骨造骨組の耐震性に関する実験を実施するにあたって、「都市施設の耐震性評価・機能確保研究運営委員会(委員長:和田章 東京工業大学教授)」の委員各位から貴重なご助言をいただきました。室内の安全性に関する実験を実施するにあたって、「E-ディフェンスを活用した減災対策推進委員会(委員長:岡田恒男 東京大学名誉教授)」の委員各位から貴重なご助言をいただきました。実験は、数多くの関係各位の多大なご協力のもとで実施されたものです。ここに記して、感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 井上貴仁, 長江拓也, 梶原浩一, 福山國夫, 中島正愛, 斉藤大樹, 北村春幸, 福和伸夫, 日高桃子: 長周期地震動による被害軽減対策の研究開発の全体計画と概要 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 1, 日本建築学会大会学術講演梗概集, C-1, pp.823-824, 2008
- 2) 城戸史郎, 藤谷秀雄, 大西一嘉, 長江拓也, 梶原浩一, 福山國夫, 中島正愛: 兵庫県と防災科学技術研究所の共同研究概要・研究目的・実験概要 高層建物の非構造部材・家具什器に関する E-ディフェンス振動実験 - その 1, 日本建築学会大会学術講演梗概集, B-2, pp.551-552, 2007
- 3) 秋山宏, 山田哲, 箕輪親宏, 寺本隆幸, 大竹章夫, 矢部喜堂: 慣性加力装置を用いた鋼構造要素の実大振動台実験方法, 日本建築学会構造系論文集, No.505, pp.139-146, 1998.3
- 4) 山口路夫, 山田哲, 前田泰史, 萩原みき, 竹内徹, 成川匡文, 中島正愛, 和田章: 実構造物の地震時挙動を再現する実大振動台実験手法の提案 制振ダンパーを組み込んだ鋼構造骨組の耐震性 その 1, 日本建築学会構造系論文集, No.541, pp.179-186, 2001.3
- 5) 市村将太, 福島東陽, 寺本隆幸: 鋼構造超高層建築物の設計用パラメータに関する研究—その 1 剛性分布・固有周期・ベースシャー係数—, C-1, pp.305-306, 1999
- 6) 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
- 7) 武藤清: 構造物の動的設計, 1977
- 8) 佐藤俊明・壇一男: 関東地震による首都圏の広帯域強震予測, 免震構造設計指針, 日本建築学会, pp.263-274, 2001
- 9) 土方勝一郎, 植竹富一, 金谷淳二, 真下貢, 早川崇, 渡辺基史, 佐藤俊明: 想定東海地震の東京湾岸における長周期地震動予測, 日本建築学会構造系論文集, No.617, pp.55-62, 2007. 7
- 10) 愛知県設計用入力地震動研究協議会: 愛知県設計用入力地震動の作成—想定地震による強震動予測—改訂版, 2005
- 11) 非構造部材の耐震設計施工指針・同解説および耐震設計施工要領, 日本建築学会, 2003.
- 12) 長江拓也, 梶原浩一, 藤谷秀雄, 福山國夫, 川辺秀憲, 大西一嘉, 城戸史郎, 中島正愛: 家具および非構造部材に着目する高層建物の地震応答再現実験 E-ディフェンス振動台による実規模実験システム, 日本建築学会構造系論文集, No.628, pp.1007-1014, 2008.6.
- 13) 関松太郎, 長江拓也, 鍾育霖, 福山國夫, 梶原浩一, 井上貴仁, 中島正愛, 斉藤大樹: 非構造間仕切り壁の損傷過程 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 7, 日本建築学会大会学術講演梗概集, C-1, pp.875-876, 2008
- 14) 平山昌宏, 斉藤大樹, 長江拓也, 森田高市: 排水と配水管系の耐震性 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 8, 日本建築学会大会学術講演梗概集, C-1, pp.877-877, 2008