

大地震を受ける超高層建物内部の被害様相と防災啓発

独立行政法人防災科学技術研究所

はじめに

太平洋沿岸のプレート境界において、マグニチュード8クラスの巨大な地震が今世紀前半のうちにほぼ確実に発生します。このとき、ゆっくり揺れる成分に力を有する長周期地震動が内陸に伝わり、超高層建物群を強く揺さぶります。本稿では、超高層建物内部における居室の被害様相を忠実に再現した実験をご紹介します。記録されたビデオ映像は、インターネットからダウンロードすることができます (<http://www.bosai.go.jp/hyogo/movie.html>)。これらが、防災啓発等の実践的な場面で活用されることを期待し、ここでは実験の背景、条件、結果について詳しく解説します。

1. E-ディフェンス

実験では、E-ディフェンス (図1) を用いて超高層建物の揺れを引き起こしました。E-ディフェンスは、旧科学技術庁が兵庫県南部地震における被害を受けて建設した世界最大の振動台です。重さ 1200t の構造物を震度 7 の地震動で揺さぶることができ、これを用いて、6階建ての鉄筋コンクリート造建物、

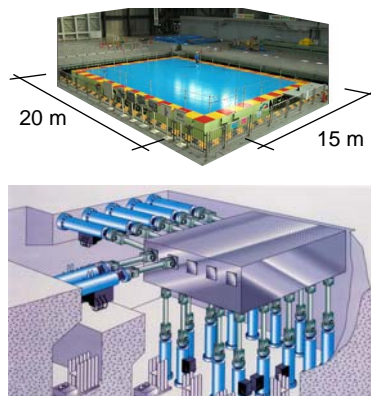


図1 E-ディフェンス

4階建ての鉄骨造建物など、数多くの大型実験が実施されています。

2. 実験のコンセプト

本実験では、成果を防災啓発、防災教育に展開することをめざしました。実験のコンセプトを図2に示します。

兵庫県南部地震でも、室内における家具の転倒・



図2 実験のコンセプト

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ました。その震災から十数年が経ち、社会における防災意識の低下が危惧されます。こうしたなか、超高層建物に限らず、室内の家具等に適切な対策を講じて、災害に備えることを訴えていく必要があります。本実験では、防災啓発の局面で強力な武器となる資料の取得をめざしました。モデルとなったのが、交通安全教育で使われるビデオ教材でした。交通事故や後に生じる様々な影響を組み込んだ内容を、受講者は身近で切実な問題ととらえ、安全運転に取り組む思いを強くします。このような経験は多くの方におありでないでしょうか。室内の対策を訴えるときも、被害状況を直接表現できれば、当事者に、この重大性をより深く理解してもら

ことができます。こうして、リアルな被害状況を念頭に、多くの映像を記録する計画をたてました。

3. 試験体の揺れと室内の実験条件

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（床の速度波形）を図3に示します。高層階に行くほど揺れは大きくなり、その揺れが数分間も続きます。このような高層階の揺れを生じさせるために用意した試験体を図4に示します。試験体は5層の大型鉄骨造骨組で、内部に用途を明確にした複数の居室を造りました。骨組と振動台の間には、揺れの幅を増すための積層ゴムをはさんでいます。試験体の揺れの周期は、想定する超高層建物の周期（一往復で3秒）にあわせてあります。

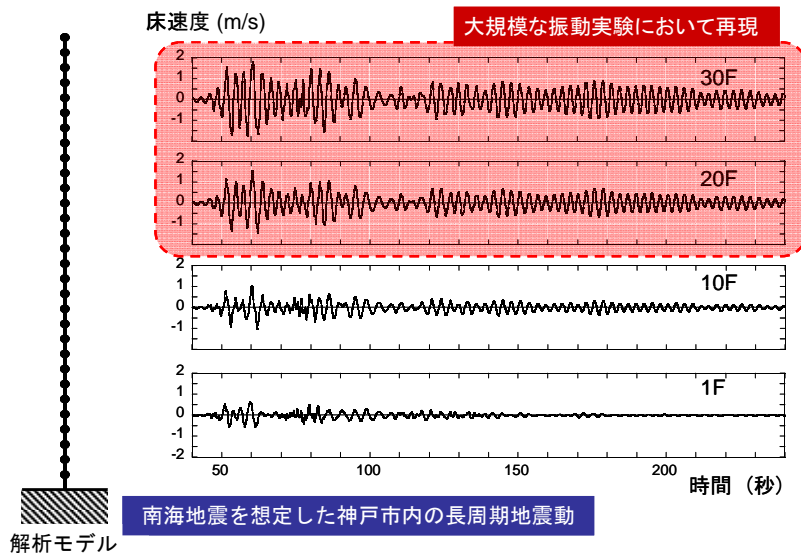


図3 長周期地震動を受ける超高層建物の揺れ

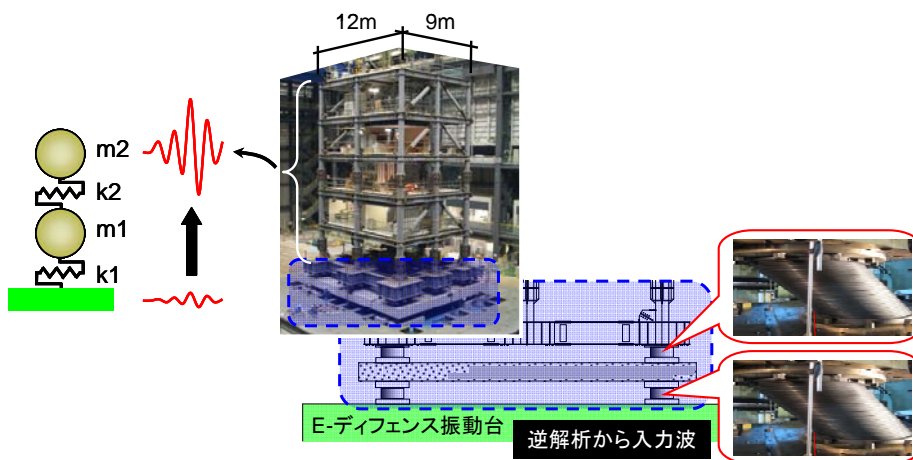


図4 試験体

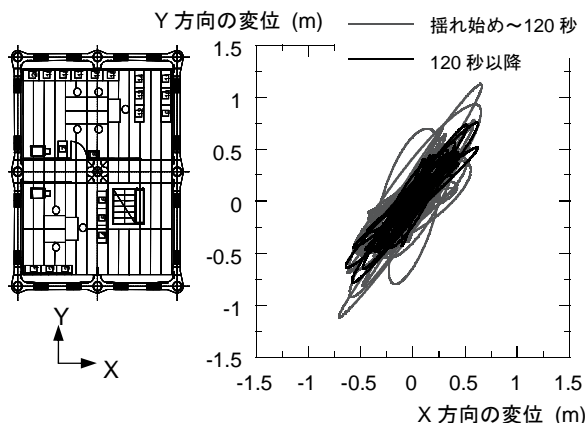


図5 試験体の床の動き

実験で与えられた床の2方向の動きを図5に示します。試験体 Y 方向の最大の往復振幅は 2.5m に及びます。揺れはじめから 120 秒経った後の床の動きは振幅 1.5m を保っています。

家具が転倒する条件を図6に示します。家具は転倒するとき、底の角が床加速度による慣性力で浮き上がり、重心位置が回転中心を超えます。重心位置が回転中心を超えるためには、家具を押し続ける効果、すなわち床速度が問題になります。家具の角が浮いても、細かな振動ではガタガタするだけです。超高層建物の場合は、大きな振幅によって床速度が十分大きくなり、一旦、家具の角が浮くとそのまま一気に倒される傾向にあります。図6における形状比 B/H は、その値が小さいと細長く角が浮きやすいことを意味します。試験体の Y 方向に生じた最大加速度は 4.5m/s^2 で、形状比 0.45 のものまで角が浮く条件になります。すなわち、レンジや洗濯機のようなものを除き、一般的な家具は、軒並み転倒することになります。

家具のすべりは、床加速度による慣性力が摩擦抵抗（摩擦係数と重量の積）を超えたときに発生します。キャスター付きの家具の場合は、摩擦係数が 0.1 を下回ります。家具と床の材質が木質の場合や、金属系の家具と P タイルの組み合わせの場合にも、摩擦係数は 0.1、0.2 といった小さな値になります。

慣性力により物体がすべる現象を、摩擦抵抗を仮定して解析してみます。Y 方向の床の揺れに対する結果が図7です。下の3つは、すべりの往復で摩擦係数が等しいと仮定していますが、摩擦係数が 0.2 の場合に往復の振幅は 3m に達し、摩擦係数が 0.1 になると同様の振幅が 200 秒以上続くことがわか

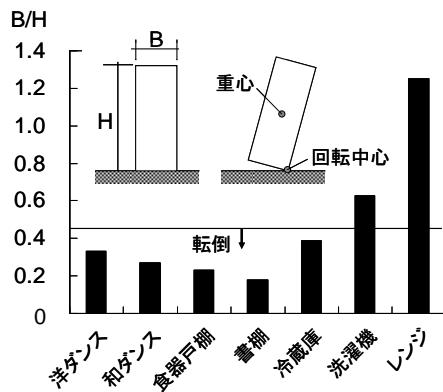


図6 家具の転倒条件

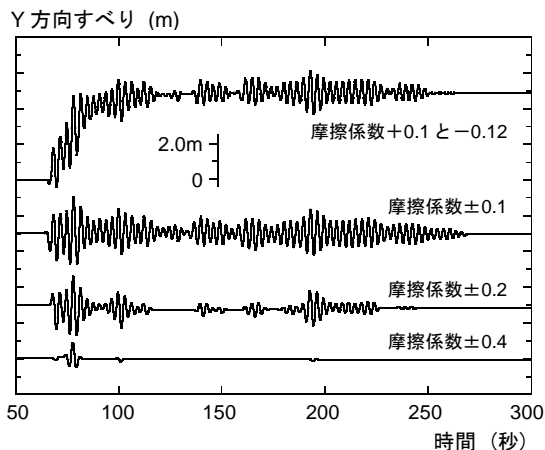


図7 解析によるすべりの計算結果

ります。さて、一番うえのすべりの状況ですが、すべりの往復で摩擦力を 2 割だけ変えた場合です。すべりが片方にどんどん偏って 6m も移動します。摩擦係数が、往復で 2 割くらい違うほうがむしろ自然で、キャスター付きの家具は、数 m 以上移動しながら衝突を繰り返すことになります。

4. 実験映像

ビデオ映像の場面を図8に示します。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、簡単にダウンロードできるようになっています。居室には、人体を模擬した人形を組み込み、家具什器の振る舞いのみでなく、そこに居る人々がどのような危険にさらされるかを表現しています。入手先を本稿で紹介出来るのは貴重な機会です、防災活動に関わる方々にダウンロードいただき活用してもらおうことが本実験の成果です。さて、説明の場では、図9の



(1) 5層分の室内空間の加振状況



(2) コピー機が大きく移動し書棚が倒れる瞬間

図8 ダウンロードできる記録映像、入手先→ <http://www.bosai.go.jp/hyogo/movie.html>



図9 居室に組み込まれた防災啓発用のシナリオ

ように、その映像の持つ意味を補足することで、強い切実感を与えることができます。

5. 被害状況と対策の効果

実験における被害状況から読み取れる内容を以下にまとめます。

(1) オフィス

被害状況を図10に示します。対策のないオフィスは、収納能力の高い(背の高い)書棚が壁面を覆っています。部屋の隅にはキャスター付きのコピー機があります。書棚は、揺れの開始から十数秒後に、働く人たちを一気に埋め尽くし、その状態で揺れはさらに数分間続きました。コピー機は部屋の端から端まで走り回りました。コピー機の最大速度は、時速に直すと十数キロです。仮に、車が時速十数キロで向かってきても、地面が止まっていれば、なんとかよけられるかもしれません。しかし、このような

揺れのなかで、人間は立っていることができません。したがって、ものが衝突してくるとき、これらが無防備に上半身で受ける可能性が極めて高いのです。重量物と壁の間にはさまれたときの衝撃は、その重量の数倍の力になります。コピー機の重量はおおよそ200kgなので、人命に重大な影響を与えることは明らかです。実験でも、コピー機が壁に突き刺さる様子が記録されており、カーテンウォールのガラス板に突っ込めば、最悪の場合、それを突き破って高層階から、落下することも予測されます。キャスター付きの機器には適切なストッパーを施し、常に効かせる習慣が対策の基本になります。

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、内容物によって数百キロにもなります。書棚を固定して、さらに内容物の飛散を防ぐとなると、市販品による簡易な対策では、大きな効果が得られませんでした。



図10 オフィスの被害状況(左は加振前)



図11 マンションにおける対策の効果

まず、人が働く場所ともの置く場所を分けて、被害を最小限にする必要があります。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した。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ります。

(2) マンション

図9において、寝室ではたんすが転倒して寝ている人の上に覆いかぶさりました。テレビ類は、台からすべり落ちて、床の上を大きくすべりました。キッチンでは、冷蔵庫のような重量物も転倒し、食器やガラスは棚から飛び出して割れました。ナイフのような調理器具も飛び散りました。これらが揺れのなかで立てない人に降ってきます。

そのキッチンのすぐ隣の、対策されたキッチンの実験後の様子を図11に示します。図9と比べれば対策の効果はてき面です。住宅系の家具は、内容物の重量とのバランスから見ても、しっかりしていることが多く、突っ張り棒やL型アングルなどを用いることで、転倒や移動を防止できることが確認できました。内容物や器具の飛散も、棚扉の開き止め、すべり止めマット、粘着性耐震マット用いることで、防ぐことができました。一方で、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ります。このような場合には、粘着性耐震マットと金具を組み合わせる対策等が有効です。冷蔵庫の転倒を防ぐことも確認できました。

6. おわりに

以前は、地震によって建物が揺さぶられる、といわれても、室内の状況を容易にイメージできませんでした。今回記録された映像は、防災活動における有力な資料として利用でき、対策への動機を高めることができます。「住宅の重大な被害は、住民の方が対策を施せば激減する」、ここに改めて記します。

さて、本実験は兵庫県と防災科学技術研究所の共同研究によるものです。活動は「E-ディフェンスを活用した減災対策推進委員会(岡田恒男委員長)」の助言、神戸大学との協働に支えられました。現場では兵庫県の要請により、兵庫県建築士会の方々が居室の作成を担当しました。兵庫県立工業高校の生徒たちも教育の一環として作業に参加しました。多くの組織を迎えて草の根活動を展開し、東京消防庁とも連携して対策の重要性を訴えた、兵庫県の防災担当の方々の熱意は、深い敬意に値します。実験の映像には、その熱意が溶かし込まれています。