

地震時の室内状況再現実験

Experimental Study of Indoor Damage under Seismic Forces

藤井 睦 ^{*1}	田邊 太一 ^{*2}	志摩 好宣 ^{*2}
Atsushi Fujii	Taichi Tanabe	Yoshinobu Shima
西内 晃二 ^{*3}	青木 研 ^{*3}	関谷 英一 ^{*3}
Kouji Nishiuchi	Ken Aoki	Eiichi Sekiya

要旨

東日本大震災以降、免震構造の耐震性能の高さが改めて注目されている。また、企業や個人の関心が、地震による建物本体の被害に留まらず、内装・備品の被害の最小化やBCP(事業継続計画)に向けられつつある。これらの状況を踏まえ、建物に採用された構造形式の違いによる室内の備品や什器の被害状況の違いを確認する実験を行った。

振動台実験に先立って、RC造、S造それぞれに、免震構造、制振構造、耐震構造の各構造形式の建物を想定し、地震応答解析により、各階床の時刻歴応答値を求めた。計算により求めた床応答値を振動台で再現することで地震時の室内状況や什器の挙動を実験的に調べた。実験では、部屋模型に様々な家具をセットして集合住宅および事務所を模した実験を行った。

キーワード：振動台実験 免震 制振 転倒 滑り

1. はじめに

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震以降、免震構造の耐震性能上の優位性が改めて認識されている。免震構法を建物に適用すると地震時に躯体変形を小さくでき、柱や梁など躯体の損傷を防げることはよく知られている。免震構法のもうひとつの特徴として、地震時の絶対応答加速度、すなわち各階での揺れの激しさを大きく減らすことにより、家具など什器類の移動や転倒による危険を小さくできることが挙げられる。什器類の安定は、人命だけでなく、財産の保全や事業継続にも関わる重要な要件であるといえる。

什器単体の地震時の挙動を予測することは、すでにある程度可能となっているが、什器の形状や重さが多種多様であり、地震動にも様々なタイプがあるため、地震時の部屋全体の状況をイメージすることは難しい。そこで今回、実際の什器を配置した部屋を造り、想定される地震時の床の応答値を振動台で再現し、室内状況や什器の挙動を実験的に調べた。実験では、部屋模型に様々な家具をセットして地震時の室内状況を再現する「部屋実験」と什器単体での挙動を調べる「要素実験」をそれぞれ行った。ここでは、「部屋実験」の概要について報告する。



写真1 集合住宅を模した部屋



写真2 事務所を模した部屋

*1 技術研究所 建築技術研究部門

*2 大阪本店 建築設計部

*3 東京本店 建築設計部

2. 試験体

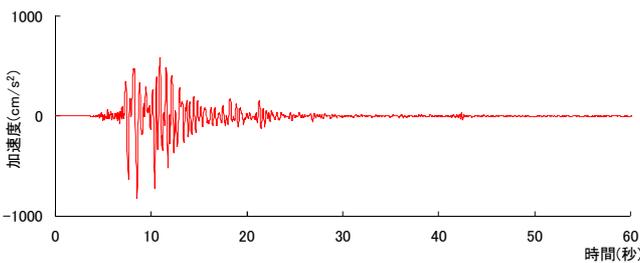
部屋実験では、間口4m×奥行3mの部屋模型1室を振動台上に設け、実物の什器などを配置して試験体にした。集合住宅を模した部屋では、フローリング床に食卓、本棚、テレビや日用品類を配置した。事務所を模した部屋ではカーペット床にデスク、ロッカー、パソコンや事務用品を配置した。

3. 加振波

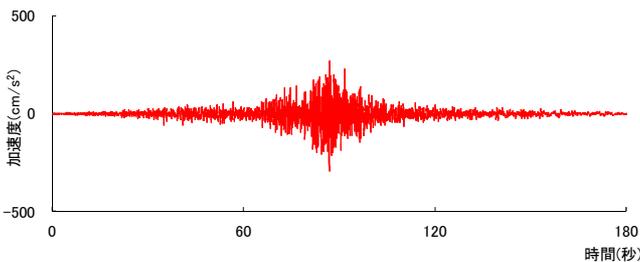
振動台での再現に用いた加振波には、18階建て鉄筋コンクリート造集合住宅（免震、非免震）、8階建て鉄骨造事務所（制振、非制振）の建物モデルを使って時刻歴応答解析によって求めた床の応答値を用いた。時刻歴応答解析用の入力地震動には、内陸型地震動として兵庫県南部地震時のJMA神戸波と海洋型遠距離地震動として継続時間の長い東北地方太平洋沖地震での筑波波（当社技術研究所観測記録）を用いた。解析用入力地震波の諸元を表1に示す。また、神戸波、筑波波の加速度波形（原波）を図1に示す。

表1 時刻歴応答解析用入力地震波

モデル建物			入力地震波	
実験種別	構造種別	建物規模	神戸波 <JMA神戸波(1995)>	筑波波 <技研観測記録波(2011)>
免震 非免震	RC造	18階建て	原波 (最大加速度818cm/s ²)	2倍波 (最大加速度592cm/s ²)
制振 非制振	S造	8階建て	50cm/s規準化 (最大加速度473cm/s ²)	原波 (最大加速度296cm/s ²)



(a) 神戸波



(b) 筑波波

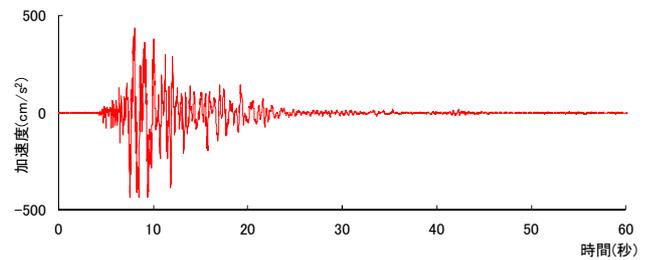
図1 採用地震波加速度波形（原波）

また、揺れを再現する階の一覧を表2に示す。なお、再現する階は振動台の性能を考慮して決定した。

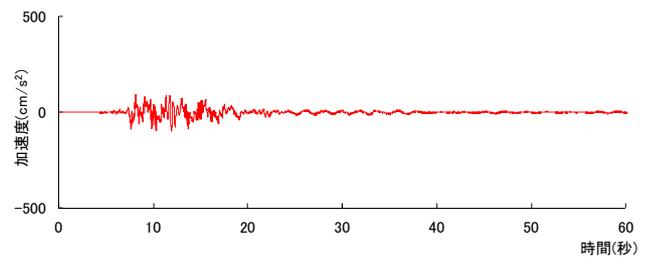
表2 揺れを再現する階

地震波	集合住宅 RC造 [18階建て]	事務所 S造 [8階建て]
神戸波	3階	5階
筑波波	14階	5階

以下に時刻歴応答解析結果の揺れを再現する階における床応答波形を示す。

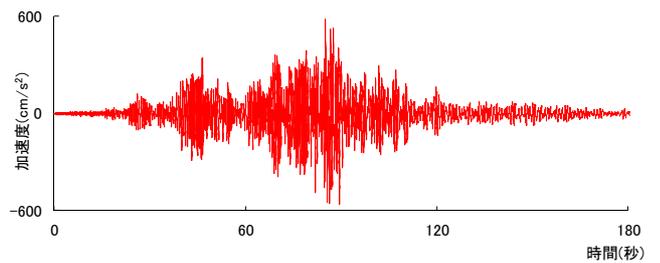


(a) 非免震 3階床レベル

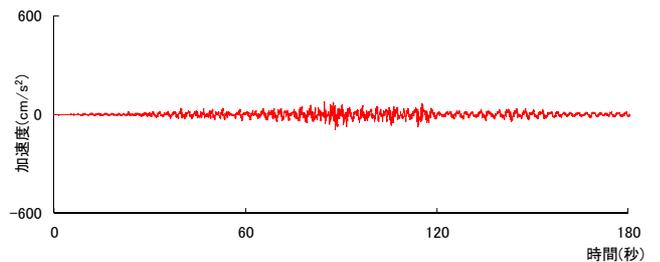


(b) 免震 3階床レベル

図2 18階建てRC造集合住宅床応答（神戸波）

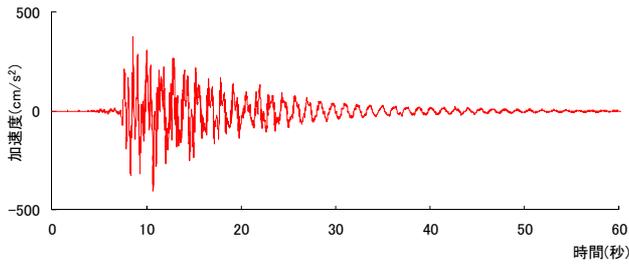


(a) 非免震 14階床レベル

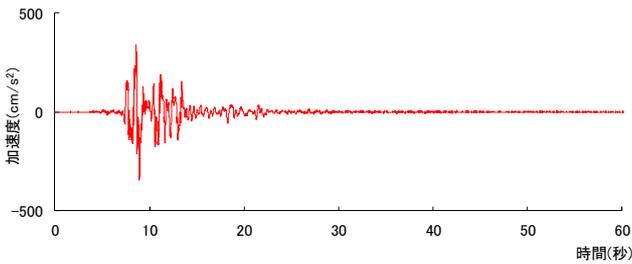


(b) 免震 14階床レベル

図3 18階建てRC造集合住宅床応答（筑波波）

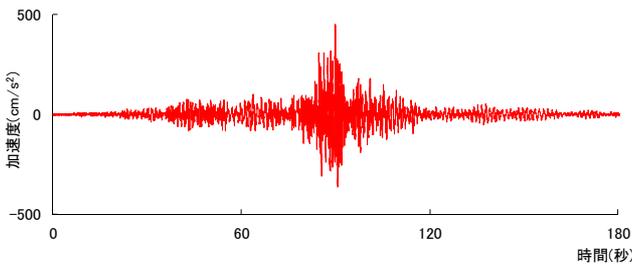


(a) 非制振 5階床レベル

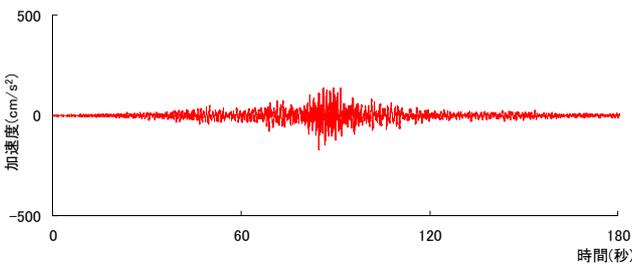


(b) 制振 5階床レベル

図4 8階建てS造事務所床応答(神戸波)



(a) 非制振 5階床レベル



(b) 制振 5階床レベル

図5 8階建てS造事務所床応答(筑波波)

4. 免震・制振の効果

免震と非免震、制振と非制振の揺れの違いをフロア震度にて比較する。

免震と非免震の応答最大加速度を比較すると、神戸波で約35%に減少、筑波波で約16%に減少しており、フロア震度に換算すると神戸波では非免震6.1→免震4.9、筑波波では非免震6.1→免震4.5に低減され、免震構法の採用により、地震波によらず什器の転倒等による損傷に対して大きな効果があることがわかる。

一方、制振と非制振の応答最大加速度を比較すると、神戸波で約80%に減少、筑波波で約43%に減少しており、フロア震度に換算すると神戸波では非制振5.8→制振5.8と効果は見られないが、筑波波では非制振5.9→制振5.0となり、一定の効果があることがわかる。また、時刻歴応答波形を見ると揺れが収束するまでの時間が短くなっており、減衰による応答低減効果が大きいことがわかる。

表3 免震・非免震の揺れの比較

地震波		(地表面)	非免震	免震
神戸波	再現階		3階	3階
	最大加速度	818 cm/s ²	469 cm/s ²	164 cm/s ²
	計測震度	6.4	6.1	4.9
	震度階級	震度6強	震度6強	震度5弱
筑波波	再現階		14階	14階
	最大加速度	592 cm/s ²	583 cm/s ²	93 cm/s ²
	計測震度	5.8	6.1	4.5
	震度階級	震度6弱	震度6強	震度5弱

表4 制振・非制振の揺れの比較

地震波		(地表面)	非制振	制振
神戸波	再現階		5階	5階
	最大加速度	473 cm/s ²	402 cm/s ²	368 cm/s ²
	計測震度	5.9	5.8	5.8
	震度階級	震度6弱	震度6弱	震度6弱
筑波波	再現階		5階	5階
	最大加速度	296 cm/s ²	453 cm/s ²	197 cm/s ²
	計測震度	5.2	5.9	5.0
	震度階級	震度5強	震度6弱	震度5強

5. 実験結果

家具の転倒状況は、写真3からも明らかなように、免震と非免震の相違が顕著である。一方、制振では、免震ほど顕著ではないが、非制振に比べると「がたつき」や移動が少なくなる結果となった。

また、パルス的な入力に対応する数秒間だけの揺れが顕著な神戸波では、電車が走り出す時のように、同じ方向に一気に転倒・落下が生じた(準静的モードの転倒)。一方で、強い揺れが何度か繰り返す筑波波では、家具の揺れの成長と不規則な床応答とが組み合わさって徐々に転倒が生じた(ロッキングモードの転倒)。

内陸直下型と呼ばれる地震動と海洋型遠距離地震動の違いが家具の挙動にもあらわれていると考えられる。



写真3 <免震・非免震>最大応答時(神戸波)



写真4 <制振・非制振>最大応答時(筑波波)



写真5 <非免震>での転倒経過(神戸波)13秒経過時



(1) 38秒経過時



(2) 45秒経過時



(3) 52秒経過時

写真6 <非免震>での転倒経過(筑波波)

6. おわりに

免震構造や制振構造は、一般の耐震構造に比べ、高い耐震性能をもつことは周知されている。今回、地震時の建物床の再現試験を行い、地震時の什器転倒等の二次被害の防止に対しても、免震構造や制振構造の採用が有効であることが確認された。特に免震構造は、兵庫県南部地震のような内陸型地震に対しても有効な構造形式であることが、現実の什器や家具の挙動を見ることによって実感することができた。

建物の耐震性能の重要性や免震構造の高い安全性を理解しやすい形で紹介する目的としても、今回の実験結果を役立てたいと考えている。