

# 3 階建て免震住宅の実大振動実験

## その1 実験概要

3 階建て免震住宅 実大振動実験 長周期地震動  
主軸 1 軸波 免震層の偏心

### 1. はじめに

昨年の建築基準法の免震用告示の改定に伴い、戸建て免震普及のための条件は更に整いつつある。また、一方では長周期帯域に相当のエネルギーをもつ地震動（以下、長周期地震動）が観測されてきており、超高層ビル、免震建築物や石油タンクなど長周期構造物への影響が懸念されている。特に戸建て免震住宅の場合は小規模であるため敷地の制約があり、こうした長周期地震動に対する応答を把握しておくことは重要である。本報では長周期地震動に対する応答性状を確認することを主目的として行った実大の振動台実験について報告する。加えて直下型を含めた入力波の特性の違い、2 階建て 3 階建てによる上部架構の階数の違いによる応答特性の確認、免震層の偏心率を大きくした場合の応答及び評価の考察も行っている。また、免震層の応答を計算する際に、立体モデルとして各成分を含んだ地震動を用いた時刻歴応答解析により、精度が高い結果が得られると考えられる。しかしながら戸建て住宅でこのような解析を個別に行うことは少なく、1 自由度モデルによって NS 成分、EW 成分を用いた計算をそれぞれ行い、応答の大きい方を当該建物の応答値としていることが多い。主軸 1 軸入力と水平 2 軸入力又は 3 軸入力での応答比較から、1 自由度モデル + 主軸 1 軸入力波による時刻歴応答解析を実設計に用いることが可能かの考察を行っている。

### 2. 加振方法

加振は大林組技術研究所 3 次元振動台にて行った。表 1 にその諸元を示す。尚、既報の実験<sup>1)</sup>では、加速度により振動台を制御したが、3 秒以降の長周期成分の不足が認められたため、今回は変位制御として長周期領域を目標波に合わせた。図 1 には長周期成分を持った地震動入力における、加速度制御の場合と変位制御の場合の架台位置計測波の擬似速度応答スペクトルの比較例を示す。

表 1 振動台諸元

	加速度 cm/s <sup>2</sup>	速度 cm/s	変位 cm
水平	3000	200	± 60
鉛直	1000	100	± 20

積載質量 50 t  
テーブル寸法 5m × 5m  
加振周波数 DC ~ 50 Hz

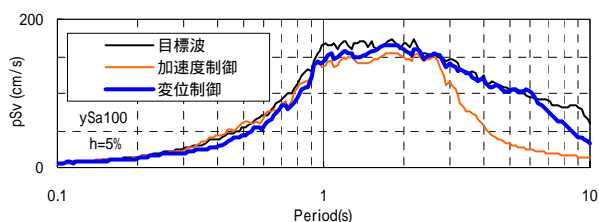


図 1 振動台の制御法による入力波比較例

正会員	桐山 伸一 <sup>*1</sup>	同	中田 信治 <sup>*1</sup>
同	飯田 秀年 <sup>*2</sup>	同	山本 健史 <sup>*3</sup>
同	花井 勉 <sup>*2</sup>	同	福和 伸夫 <sup>*3</sup>

### 3. 試験体

免震周期と上部架構周期が近接した場合の挙動をみる為、上部架構は住宅としては剛性の低い 3 階建て鉄骨ラーメン構造とした。柱材は角型鋼管、梁材は H 型鋼を用いた。平面寸法は 4.27m × 5.49m、免震層を含めた建物高さは 9.16m、アスペクト比は 2.15 である。2 階南面および北面には、幅 2.44m、出寸法 0.915m のカンチバルコニーを設けている。床には ALC 厚 100mm、外壁には ALC 厚 75mm、内装壁には石膏ボード厚 12mm を用いている。本実験では 3 階床までの施工を終えた時点（2 階建ての状態）での加振も行っているが、1 階床梁までを含めた総重量は 2 階建ての状態では約 210kN、3 階建ての状態では約 296kN である。尚、3 階建て時には 1 階、2 階床に積載荷重として 600N/m<sup>2</sup> 相当のおもりが含まれている。図 2 に実験状況を、図 3 に実験概要と 1 階平面図を示す。



図 2 実験状況

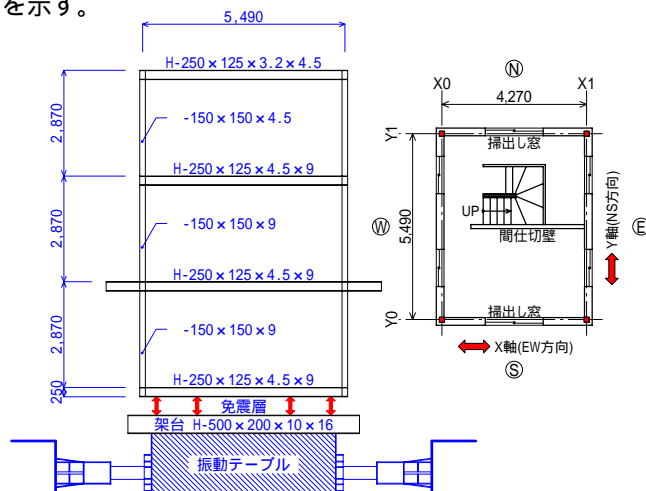


図 3 実験概要と 1 階平面図

免震層の構成は、すべり支承を用いたものと転がり支承を用いたものの 2 種類について実験を行った。いずれも建築基準法告示波に対し、免震層応答変位が 30cm 程度に収まる様に、等価周期 3 秒、減衰定数 20% を目標に構成して

いる。両支承共、柱下に4基、積層ゴムはいずれの場合も3基設置し、免震層変位が30cmの時の等価周期 $T_s$ はすべり支承で2.76秒、転がり支承で3.13秒である。又、転がり支承には減衰材として減衰こま（戸建て用ダンパー）を各方向2基ずつ配置した。尚、フェイルセーフとして免震層変位が約33cmとなった場合に作動を開始するワイヤー型ストッパーを設置している。表2に免震層の概要を示す。図4に周期3秒、最大加速度 $100\text{cm/s}^2$ の正弦波入力時の免震層特性を、図5に免震装置の写真を示す。

表2 免震層の概要

支承材	復元材	減衰材	$T_s$	heq
すべり×4 $\mu=0.042$	積層ゴム×3 $K=115.5\text{ kN/m}$		2.76 s	0.179
転がり×4 $\mu=0.0063$	積層ゴム×3 $K=115.5\text{ kN/m}$	減衰こま×2 容量20 kN	3.13 s	0.203

$T_s$  及び heq は免震層変位が30cmの時の等価周期および等価減衰定数

4. 入力地震動の概要

主要な入力地震動の一覧を表3に示す。短周期型の地震動として、神戸波、長周期型の地震動として、三の丸波、静岡波、柔らかい第2種地盤と第3種地盤の告示波、主要動の後に現れる定常的長周期波が被害をもたらしたとされる苦小牧波を採用した。 $1300\text{cm/s}^2$ 以上の大きな加速度が記録された小千谷波も加えている。尚、地震動の名称中「\_P」および「\_N」とあるのは、地震動の水平2成分(NS, EW)の速度オービットが最大となる方向成分を\_P（本報では「主軸」と称する）及びその直交成分を\_Nで示している。また、水平1軸入力の他に、三の丸では水平2軸、小千谷では3軸の加振も行った。図6に主要な入力地震動のトリパタイトを示す。三の丸は3秒付近が卓越し、免震建物にとってはかなり厳しい地震動である。

〔謝辞〕  
実験に際し、地震動データを提供して頂いた、愛知県設計用入力地震動研究協議会、港湾地域強震観測、気象庁、K-NET、その他関係機関に感謝いたします。

〔参考文献〕

- 1) 桐山・他(2002)：実大振動実験による戸建て免震住宅の装置別応答性状比較 その1)～6)、日本建築学会大会学術講演梗概集, pp583-594

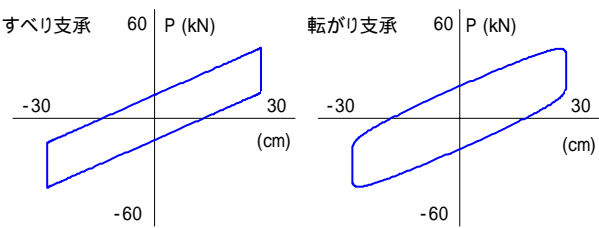


図4 免震層特性



すべり支承

積層ゴム



転がり支承・減衰こま

ストッパー

図5 免震装置

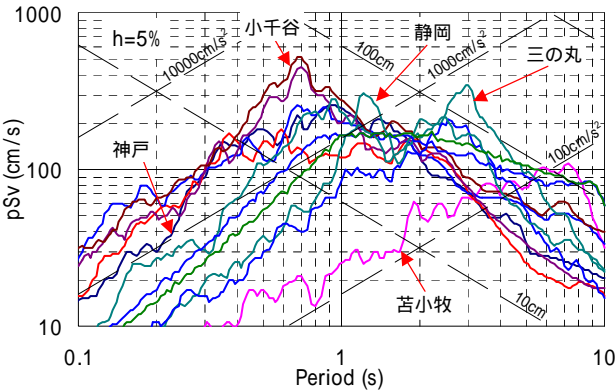


図6 主要な入力地震動のトリパタイト

表3 主要な入力地震動の一覧

名 称		A max ( $\text{cm/s}^2$ )	V max ( $\text{cm/s}$ )	D max ( $\text{cm}$ )	備 考
総称	成分別				
神戸	Kobe_NS	818.0	93.4	19.0	1995年兵庫県南部地震・旧神戸海洋気象台観測波・NS成分
苦小牧	Toma_P	90.1	37.1	26.4	2003年十勝沖地震・苦小牧観測波 <sup>(*)1</sup> ・主軸成分
JMA 小千谷	J_Oji_NS	779.2	68.0	14.6	2004年新潟県中越地震・小千谷観測波 <sup>(*)2</sup> ・NS成分
	J_Oji_EW	897.6	81.9	25.4	同・EW成分
	J_Oji_UD	730.8	23.3	8.43	同・UD成分
K-NET 小千谷	K_Oji_NS	1147.4	98.7	17.7	2004年新潟県中越地震・小千谷観測波 <sup>(*)3</sup> ・NS成分
	K_Oji_EW	1307.9	126.0	28.0	同・EW成分
	K_Oji_UD	820.2	27.5	8.92	同・UD成分
三の丸	San_P	203.7	71.8	27.3	想定新東海地震・名古屋市三の丸地区想定波 <sup>(*)4</sup> ・主軸成分
	San_N	167.0	55.5	19.0	同・主軸と直交する成分
静岡	Shizu_P	443.0	108.3	30.7	想定東海地震・静岡市想定波(3次元メッシュコード 52383360)・主軸成分 <sup>(*)5</sup>
告示波	ySa075	432.8	67.3	32.8	Taft 1952 EW 位相告示波・弾性地盤周期0.75秒
	ySa100	364.1	67.7	37.0	同・弾性地盤周期1.00秒

Vmax および Dmax は、加速度をフィルター処理(ローカット 0.1Hz, ハイカット 30Hz)・数値積分の結果、<sup>(\*)1</sup>港湾地域強震観測、<sup>(\*)2</sup>気象庁、<sup>(\*)3</sup>K-NET、<sup>(\*)4</sup>宮腰・他(2005)：名古屋市三の丸地区における耐震改修用の基盤地震動の作成、日本地震工学会年次大会、<sup>(\*)5</sup>中央防災会議(2004)

\*1 旭化成ホームズ

\*2 日本システム設計

\*3 名古屋大学大学院環境学研究所

\*1 Asahi Kasei Homes Co.

\*2 Nihon System Sekkei Co.

\*3 Grad.School of Environmental Studies,Nagoya Univ.