

震動台による既存木造住宅の耐震性能検証実験 その7 木造免震住宅の想定外入力実験

正会員 平野 茂*¹ 正会員 三宅 辰哉*²
 正会員 花井 勉*³ 正会員 五十田 博*⁴
 正会員 箕輪 親宏*⁵ 正会員 藤田 聡*⁶

木造免震住宅 振動台実験 想定外地震動

1. はじめに

E-ディフェンス(兵庫県三木市)で行われた、設計の想定を上回る地震動による木造免震住宅の応答性状確認実験の概要を報告する。

2. 試験体

2.1 上部建屋

上部建屋の全景を写真1に示す。本建屋は本実験に先立って耐震状態で震動台実験に供されており、1/30rad程度の最大層間変形を経験しているが、補修を施さずに本実験に用いた。構成部材の公称重量および試験体設置時のクレーンによる計測重量に基づく上部建屋各階の推計重量は次のようになった。1階床レベル153.8kN 2階床レベル181.7kN 軒レベル86.2kN

2.2 免震装置

免震層は、滑り支承、積層ゴム支承、ダンパー、ストッパーの4種類の免震装置で構成した。基礎に相当する鋼製免震架台と免震装置の配置を図1に示す。なお、標準状態では滑り支承、積層ゴム支承のみであり、ダンパー、ストッパーは想定外入力による過大応答変位を抑制する目的で設置している。各免震装置の仕様を以下に述べる。

滑り支承：本装置は写真2に示すように、スライダ板とスライダ束によって構成され、鉛直荷重支持材、および摩擦抵抗による減衰材として機能する。本装置の平均摩擦係数は、試験により平均値が0.0645と確認されている。また別途行われた試験により面圧および速度が高いほど摩擦係数が低下する傾向があることが確認されている。

積層ゴム支承：本装置には写真3に示すような、高減衰ゴム材料による積層ゴムを用いた。本装置は水平パネおよび減衰材として機能し、鉛直荷重は支持しない。設計限界変形は35cmであるが、静的水平せん断試験による破断変形量は74cm程度となっている。別途行われた試験により本装置の設計限界以下の変形領域における等価減衰定数は0.172と確認されている。

ダンパー：本装置には写真4に示すRDT(Rotary Damping Tube)

を用いる。速度が150～200kineのとき減衰力は1基当たり20kN程度である。

ストッパー：本装置には図2のようにステンレスワイヤリングを用いた。引張試験による本装置の荷重変形関係を図3に示す。設計限界耐力は30kNと設定されているが、試験による破断荷重は83kN程度となっている。

3. 入力波

免震建物にとって建築基準法で想定される地震動による応答変位を上回る応答をもたらすと考えられる地震動を含め、図4に示す7種類の地震動を入力地震動として選定した。免震層の最大応答変位が生じる方向に相当する速度主軸成分¹⁾を震動台Y方向に、その直交方向成分を震動台X方向に入力した。震動台は変位制御とし、変位データは加速度の積分値とした。その際に変位データの発散を防ぐために速度波形を基準とした中立軸補正を行った。また、震動台・油圧系の限界性能を考慮して入力波の縮小率を設定した。図4は縮小後の変位応答スペクトルである。

4. 実験結果

標準状態加振(No.4～10)：

速度主軸成分を入力した震動台Y方向について、表1・No.4～8では免震層の最大応答変位は概ね積層ゴム支承の設計限界変形(35cm)以下である。免震層の層せん断力係数は0.19以下となっており、ほぼ設計どおりの免震性能が確認された。

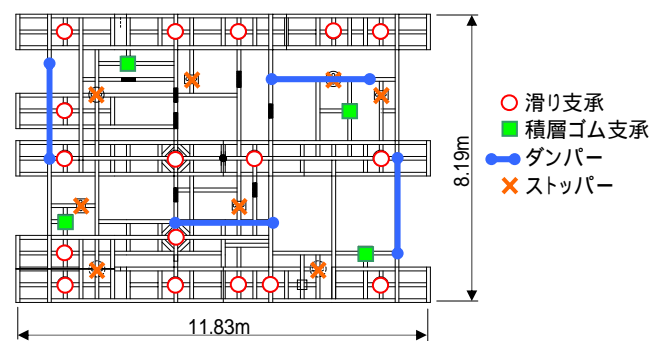


図1 免震架台と免震装置の配置



写真1 試験体全景

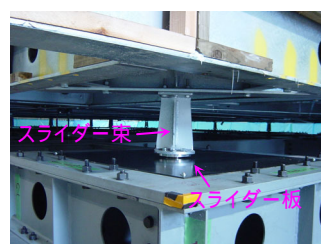


写真2 滑り支承

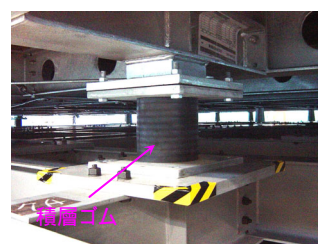


写真3 積層ゴム支承

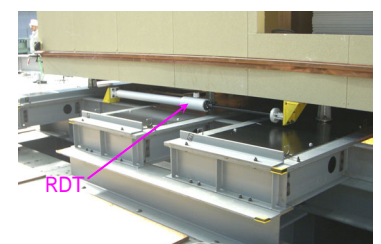


写真4 ダンパー

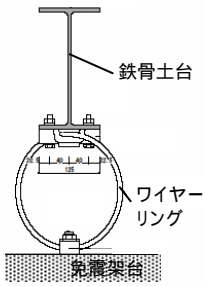


図2 ストッパーの構成

No.9,10では免震層の層間変位が積層ゴム支承の設計限界変形を大きく上回ったが、静的試験による積層ゴム支承の破断変形量(74cm程度)には達せず、全ての免震装置について性能を損なうような損傷は確認されなかった。

震動台Y方向について、No.5,9の加振について各階の層せん断力-層間変位曲線を図5に示す。同図には滑り支承の摩擦係数を0.06とし、静的試験による積層ゴム支承の荷重変形関係を用いて得られる静的特性を併記した。

静的特性は震動台実験値の包絡線にほぼ一致している。
ダンパー付き加振(No.1~3)：震動台Y方向について、ダンパーの有無による免震層の層せん断力-層間変位曲線の比較を図6に示す。浜松S1およびJMA川口による加振のいずれもダンパー設置により免震層の最大応答変位は減少しているが、免震層最大応答変位の低減率は浜松S1による加振では44%、JMA川口による加振では84%となっており、応答が大きいほど抑制効果が低下している。

ストッパー付き加振(No.11,12)：震動台Y方向について、ストッパー有無による応答の比較を図7に示す。浜松S1による加振ではストッパーは想定どおりに機能し、変形抑制効果が認められた。JMA川口による加振ではストッパーのワイヤーが破断し、免震層の最大変位はストッパーが無い場合とほぼ同じであった。図7にはストッパーワイヤーの静的引張試験結果から推定される破断耐力 Q_{sb} を併記した。震動台実験による

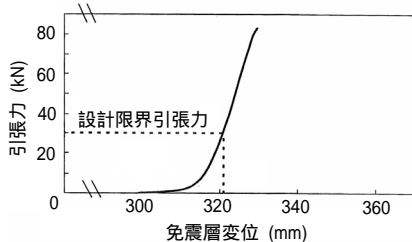


図3 ストッパーの静的試験結果

表1 最大応答値(震動台Y方向)

変位抑制装置		No.	入力波	免震層		1階		2階	
D	S			d	C	d	C	d	C
有り	無し	1	浜松S1	14.9	0.21	1.87	0.20	1.42	0.41
		2	静岡S1	28.3	0.25	1.68	0.27	1.40	0.39
		3	JMA川口	52.4	0.39	2.49	0.29	1.45	0.47
無し	無し	4	JMA神戸	15.4	0.15	1.37	0.44	1.12	0.31
		5	浜松S1	34.0	0.19	1.58	0.20	1.13	0.26
		6	静岡S1	36.1	0.19	1.39	0.20	1.14	0.23
		7	Kocaeli	14.7	0.15	1.39	0.17	1.14	0.25
		8	TCU067	19.2	0.14	1.21	0.16	0.86	0.23
		9	JMA川口	62.2	0.41	2.58	0.47	1.66	0.55
		10	JR鷹取	63.8	0.35	2.31	0.40	1.40	0.46
		12	JMA川口	60.8	1.35		1.25		1.26
無し	有り	11	浜松S1	30.8	0.42		0.48		0.48
		12	JMA川口	60.8	1.35		1.25		1.26

D: ダンパー, S: ストッパー, d: 層間変位(cm), C: 層せん断力係数

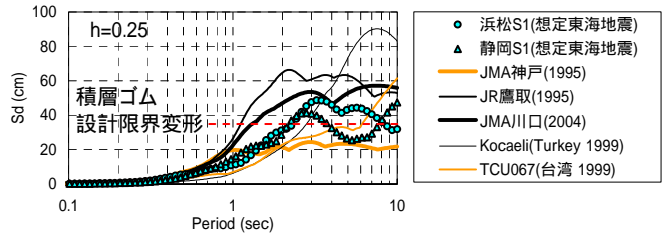


図4 入力波の変位応答スペクトル(速度主軸成分)

最大層せん断力はこの静的破断耐力にほぼ一致している。なお、いずれの加振においても上部建屋の損傷の進展は認められなかった。

5. まとめ

想定外入力に対して免震装置に性能低下の要因となる損傷は生じなかった。ダンパーおよびストッパーによる変位抑制を試みたが十分な効果は得られなかった。

謝辞 本研究は大大特の一環として行った。議論に参加いただいた各位にこの場を借りて感謝します。

参考文献

- 1) 平野, 三宅, 深堀, 花井, 坂本: 実大振動実験に基づく木造免震住宅の地震応答評価手法に関する研究, その1 実験結果ならびに1質点系振動モデルを用いた解析的考察, 日本建築学会構造系論文集, No.529, pp.65-72, 2000.3

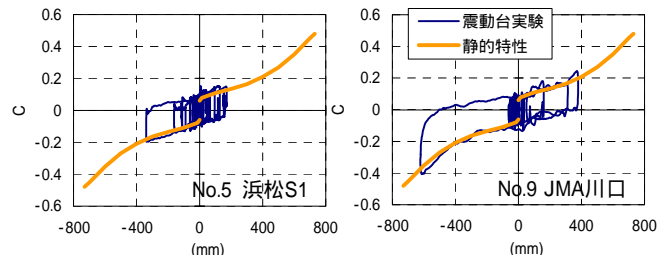


図5 標準状態加振と静的特性の比較

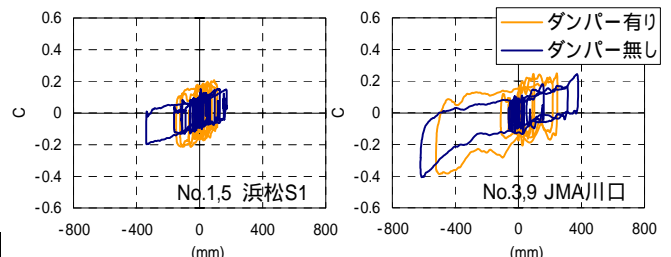


図5 標準状態加振とダンパー付き加振の比較

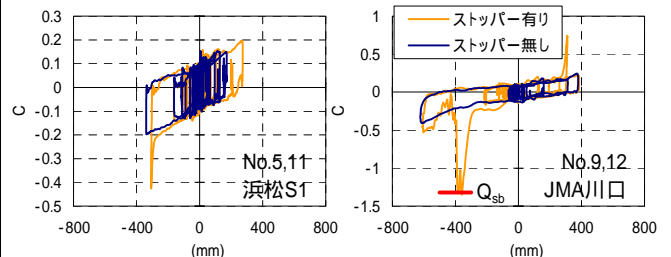


図7 標準状態加振とストッパー付き加振の比較

*1 一条工務店特建設計部 次長・博士(農学)
 *2 日本システム設計 代表取締役・博士(工学)
 *3 日本システム設計 常務取締役・博士(工学)
 *4 信州大学工学部 助教授・博士(工学)
 *5 防災科学技術研究所 流動研究員・博士(工学)
 *6 東京電機大学工学部機械工学科 教授・工博

*1 Deputy Manager, Ichijo Housing Co.,Ltd., Dr. Agr.
 *2 President, Nihon System Sekkei Architects & Engineers Co., Dr. Eng.
 *3 Director, Nihon System Sekkei Architects & Engineers Co., Dr. Eng.
 *4 Associate Professor, Department of Engineering, Shinshu University, Dr. Eng.
 *5 Scientific Research Advisor, NIED, Dr. Eng.
 *6 Professor, Department of Engineering, Tokyo Denki University, Dr. Eng.