

スチールハウス耐力壁の静的・動的特性の比較と ハイブリッド型制振装置の開発

脇田健裕*, 片岡靖夫**, 曾田五月也**

Comparison of Static and Dynamic Property of the Bearing Walls for Steel Framed Houses and Development of Hybrid Damper

Takehiro WAKITA, Yasuo KATAOKA* and Satsuya SODA**

Abstract: First, the purpose of this study is to compare static and dynamic property of bearing walls usually used for steel framed houses using the result of static load tests and shaking table tests. In addition to this, the hybrid damper using a viscoelastic material and steel sheets is proposed. As this result, it turned out that this damper has high performance of damping capacity and deformability compared with the bearing walls usually used for steel framed houses.

Keywords : *Steel framed house, Damping property, Visco-elastic material, Shaking table test*

1. はじめに

スチールハウスは板厚 1.0mm 程度の薄板軽量形鋼の枠材に、構造用合板等の耐力面材をドリルねじ接合した耐力壁を使用する枠組み壁工法の一つであり、主に 3 階建て以下の住宅等に適用されてきた建築構法である。スチールハウスの利点としてはローコストで耐久性が高く、また環境負荷の低いこと等が挙げられるが、在来木造などに比べ内部減衰が低く躯体が軽量であることから、微小振動を励起・伝播しやすく、交通振動や上階の歩行振動が問題となることなどが弱点として指摘される。また、地震等による大振幅域の振動に対しては、スチールハウス耐力壁の特徴である進行スリップ型の復元力特性は、構造体の塑性変形により消費できるエネルギー量が低いため、繰り返しの振動を受けた場合に変形が進行して、過大な残留変形が発生する可能性がある。さらに、このスチールハウス構法の適用範囲を 5 階建て程度まで拡大することも検討されており、そのためには構造体のエネルギー吸収性能を高めることが不可欠である。そこで、本研究ではスチールハウスの居住性、及び地震時の安全性の向上を目的とする。本報では現状用いられているスチールハウス耐力壁の基本的な力学特性と減衰性能を静的・動的試験により明らかにした上で、薄板鋼板と粘弾性粘体を利用し小振幅から大振幅まで性能を発揮するハイブリッド型のスチールハウス用制振装置の提案と、その基本的な性能を実験により明らかにすることを目的とする。

* 中部大学工学部建築学科 助教 ** 中部大学工学部建築学科 教授

*** 早稲田大学創造理工学部建築学科 教授

2. 試験体

試験体は図1に示すように、スチールハウス用耐力壁として一般的に用いられる、構造用合板(板厚 9.5mm)を面材として試験体(以下合板)、石膏ボード(板厚 12.5mm)を面材とした試験体(以下石膏ボード)、合板、石膏ボードを両面の面材とした試験体(以下両面面材)の他、スチールハウス用制振壁として2枚の薄板鋼板(板厚 0.8mm)の間にブチルゴム系粘弾性体(厚 2.5mm)を挿入し一体化した面材を用いた試験体(以下 HB ダンパー)の4種類とした。この制振装置は小中振幅時では斜めスリットの入った中央部の鋼板がせん断座屈することにより張力場を形成し、2枚の薄鋼板にそれぞれしわが発生する。これにより2枚の鋼板間に挿入されている粘弾性体がせん断変形することにより粘性減衰が発生する。また中大振幅時では周辺部のくの字型スリット部分が塑性変形することによる履歴減衰を発揮する。以上2つの異なるエネルギー吸収能力発揮機構を併せ持つハイブリッド型の制振装置である。

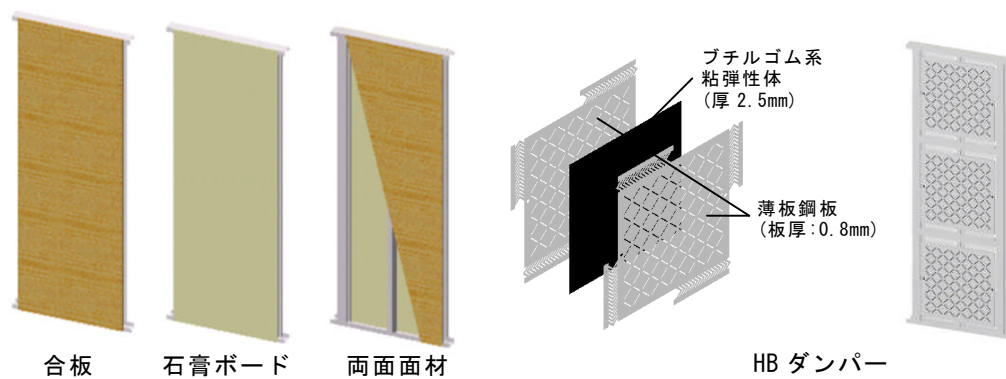


図1 試験体

3. 静的加力試験

3.1. 試験概要

本試験では各試験体の静的力学的特性を検討することを目的にスチールハウス耐力壁の標準的な試験方法¹⁾に基づき、正負交番水平静加力試験(鉛直荷重無載荷)を行った。図2に試験システムを示す。正弦波を用いて 1/450～1/17.5 (rad)までのそれぞれの振幅で3回ずつ繰り返し加力した。

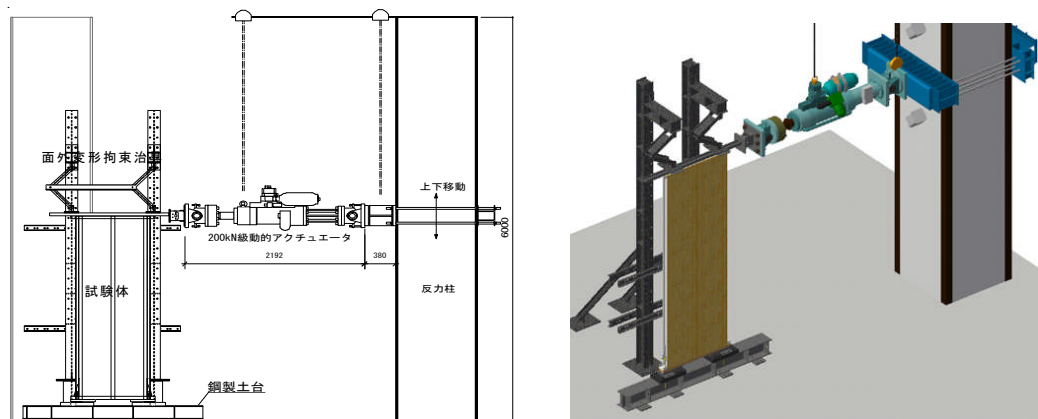


図2 静的加力試験システム図

3. 2. 試験結果

3. 2. 1. 荷重変形関係

各試験体の荷重変形関係を図3に示す。合板、石膏ボードの荷重変形関係では 1/30rad 加振時に急激に耐力低下していること、また強いスリップ型の復元力特性であることが分かる。また、各変形角時の 2 ループ以降にループ面積が大きく低下していることが分かる。両面面材は合板と石膏ボードの荷重変形関係の足し合わせにほぼ対応しているが、1/30rad 以降の耐力低下に違いがみられる。HB ダンパーは合板が 1/30rad 加力時に最大耐力を発揮した後、急激に耐力低下するのに比べ、1/120rad 加力時に最大耐力を示した後、若干の耐力低下をしつつ最終変形角時まで耐力を保っている。また 2 ループ目以降のループ面積の低下も少ないことが分かる。表1は各試験体の荷重変形関係の包絡線から設計用特性値を算出¹⁾した結果である。合板、石膏ボードに比べ HB ダンパーは剛性、塑性率が高いため、構造特性係数 D_s が低い値となり設計で用いる上で有利となる。

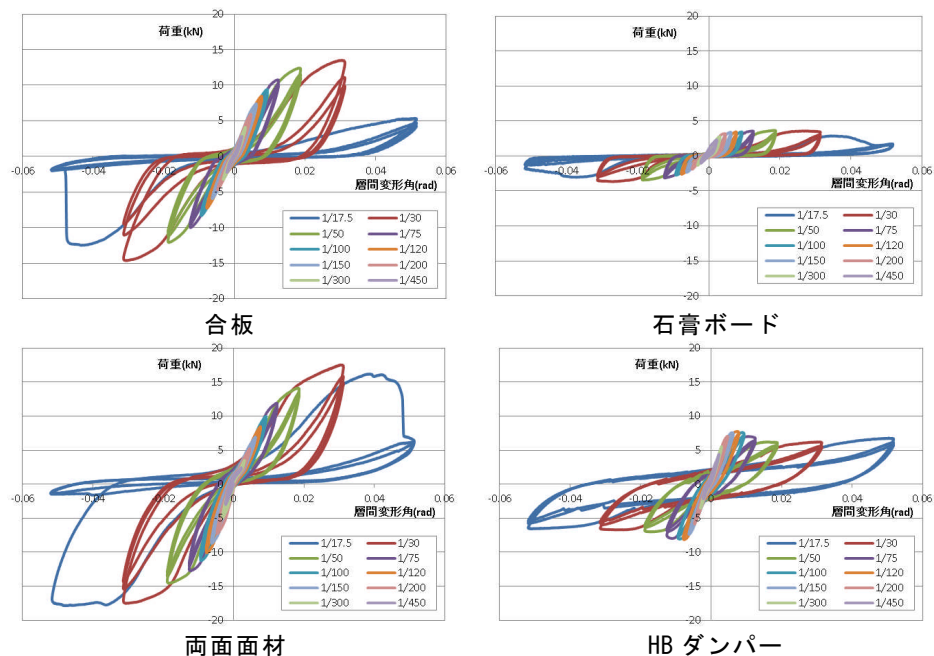


図3 荷重変形関係

表1 設計用特性値一覧

特性値	合板	石膏ボード	両面面材	HB ダンパー
最大耐力 P_{max} (kN)	14.05	3.66	17.67	7.95
最大耐力時変形角	0.03	0.02	0.04	0.01
降伏耐力 P_y (kN)	8.04	2.14	10.33	4.21
降伏変形角 R_y (rad)	0.008	0.004	0.008	0.003
終局耐力 P_u (kN)	12.76	3.39	16.32	7.31
終局変形角 R_u (rad)	0.04	0.04	0.05	0.05
降伏点変形角 R_v (rad)	0.013	0.006	0.013	0.005
剛性 (KN/rad)	1035	873	1251	1669
塑性率 μ	3.39	9.23	3.80	11.76
構造特性係数 D_s	0.42	0.28	0.39	0.22
$P_u \cdot (0.2/D_s)$ (kN)	6.12	2.72	8.37	6.88
2/3 P_{max} (kN)	9.37	2.44	11.78	5.30
1/120rad. 時の耐力 (kN)	8.34	3.02	10.17	7.93
短期許容せん断耐力 (kN)	6.12	1.92	8.37	4.21

4. 振動台実験

4.1. 試験概要

各試験体を用いた振動台実験を行った。試験システムを図4に示す。本試験では静的試験と同じ平面耐力壁を振動台上に設置し、試験体上部の枠材と鋼製梁とを治具を介して高力ボルトで固定する。この鋼製梁は試験体の四周に設置した面外拘束フレームと平行クランク機構を介して接続されており、鋼製梁が面外、回転方向に変形するのを拘束する役割を担っている。また、この鋼製梁の上部に載荷する錘の質量は試験体の耐力値に応じて変更した。各試験体に設置した上部質量と、短期許容せん断耐力に対する層せん断力係数を表2に示す。

試験は兵庫県南部地震神戸海洋気象台観測波南北成分(以下、神戸波)をそれぞれ 25kine(Lv1), 50kine(Lv2), 原波に基準化し加振を行い、各試験波の前後には white noise 波(最大加速度 30gal)による加振を行い試験体の固有振動数、減衰定数の推移を同定した。

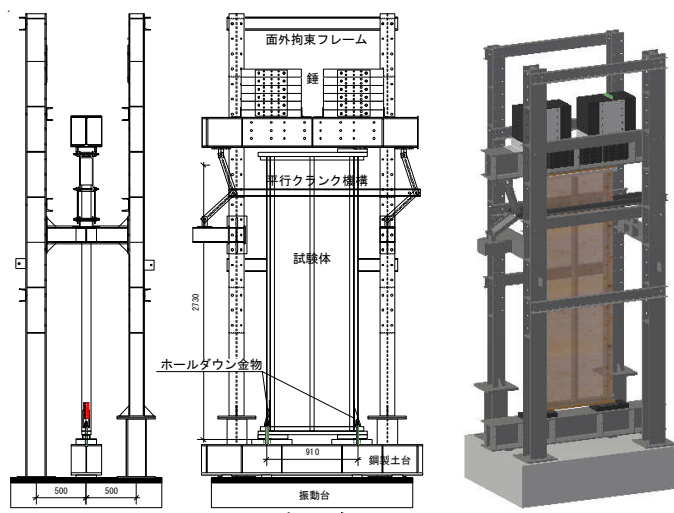


図4 振動台実験システム図

表2 試験体上部質量と層せん断力係数

試験体	上部質量 (t)	層せん断力 係数
合板	1.31	0.48
石膏ボード	0.46	0.42
両面面材	1.77	0.48
HB ダンパー	1.09	0.39

4.2. 試験結果

図5に神戸波(Lv1, Lv2, 原波)加振時の各試験体の荷重変形と、静的試験での荷重変形関係(黒点線)を重ね合わせた結果を示す。HB ダンパーについては1回目の原波加振時に変形が少なかったため続けて2回目の加振を行った結果も重ねている。復元力特性は各試験体とも静的試験と概ね同様の傾向を示しているが、耐力値は2割程度振動台実験結果の方が大きくなっていることが分かる。速度依存型の粘性抵抗要素による荷重の上昇分であると考えられる。図6は white noise 波加振により同定した固有周期と試験体上部質量から算出した等価剛性 K_{eq} (式(1))の推移である。各試験体とも試験体の損傷に従い等価剛性が低下していることが分かる。また、HB ダンパーの等価剛性が比較的低い値を示していることが分かる。図7は応答倍率から同定した減衰定数の推移である。加振前の比較では HB ダンパーの減衰定数は10%を超えて高い値となっていることが分かる。HB ダンパー以外の試験体では試験体の損傷に従い減衰定数が上昇しているが、HB ダンパーの減衰定数は若干減少していることが分かる。HB ダンパーの小振幅時の粘性減衰要素は中央部粘弾性体の変形によるものであるが、試験体の変形が進むにつれ周辺部のくの字型スリット部の剛性が低下し、中央部のせん断座屈しわが減少したため、これに伴い粘弾性体によるエネルギー吸収も減少したものと考えられる。

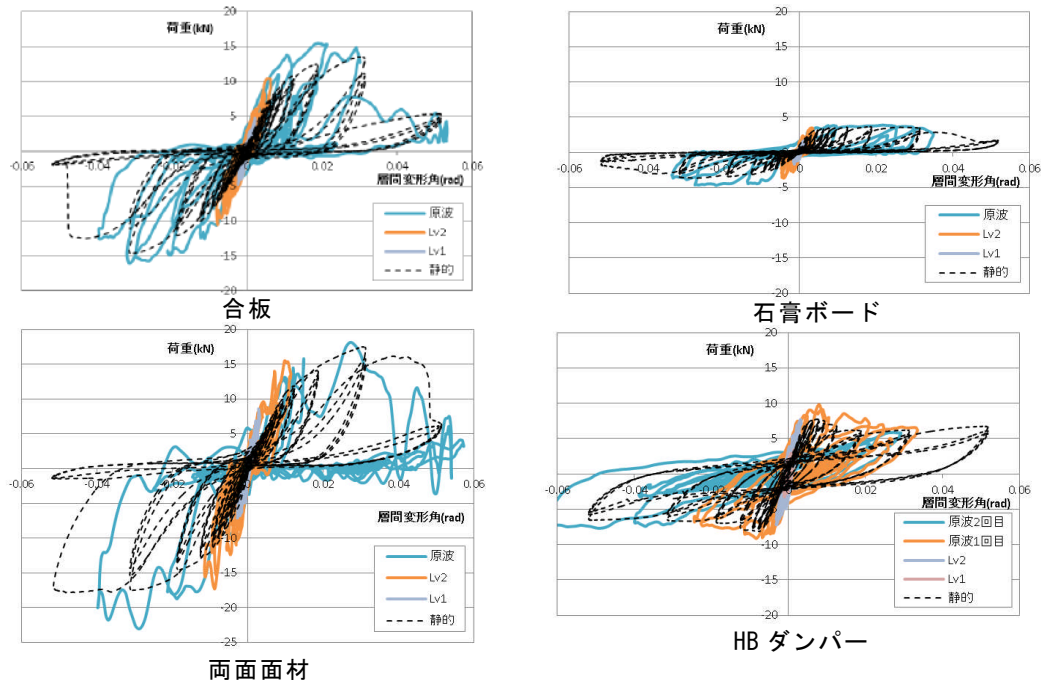


図5 振動台実験荷重変形関係(静的重ね合わせ)

$$K_{eq} = \frac{4\pi^2 \times m}{Td^2 \times (1-h^2)} \quad \dots \text{式(1)}$$

m : 試験体上部質量(t)

Td : 減衰固有周期(sec)

h : 減衰定数 z

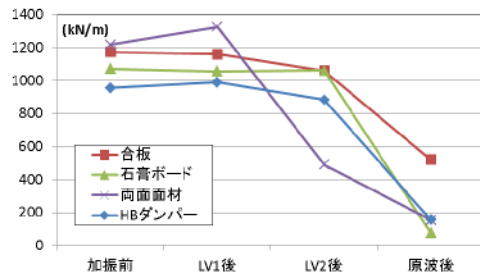


図6 等価剛性変化

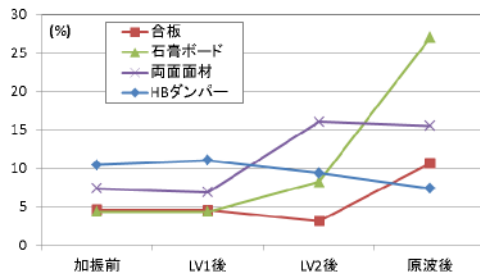


図7 減衰定数変化

5. まとめ

スチールハウス耐力壁とハイブリッド型制振装置を設置した試験体の静的・動的試験により、ハイブリッド型制振装置の変形能力及びエネルギー吸収能力における優位性を確認した。今後本制振装置の各エネルギー吸収機構の定量的な評価と解析的検討を行っていきたい。

謝辞

本研究は中部大学総合工学研究所 平成23年度の萌芽部門の援助を受け遂行されたものであり、ここに謝意を表します。

参考文献

- 1) (社)日本鉄鋼連盟:薄板軽量形鋼造建築物設計の手引き, 2002