

ガラス制震壁に関する開発 (木造住宅用ガラス制震壁の静的載荷実験)

寺井 雅和*1, 佐藤 孝典*2, 福原 実苗*2, 松永 智也*2, 吉岡 智和*3

Research and Development for Seismic Control Wall in Glass Panel (Static Test of Seismic Control Wall in Glass Panel for Wooden House)

Masakazu TERAI*1, Takanori SATO*2, Minae FUKUHARA*2,
Tomoya MATSUNAGA*2 and Tomokazu YOSHIOKA*3

Glass is a fragile material and so, did not be used as structural material for buildings. However, if it is possible to avoid the stress concentration by seismic force, glass could be enough to structure material. In this paper, a new seismic control wall in glass panel was developed to improve the earthquake resistant performance of wooden house. The lower side of the seismic control wall is fixed to the lower floor of the beam in the seismic screw, and by interposing a friction damper sliding in a horizontal displacement between the upper side of the wall and the beam of upper floors, seismic force that exceeds the glass strength does not enter into the wall. By this mechanism, it is possible to use the glass wall with the open feeling and the appearance to the outer walls of building. To evaluate the earthquake resistant performance of the seismic control wall in glass panel, horizontal cyclic static loading tests has been carried out. As a result, it was confirmed that the specimen with glass thickness 24mm have a wall magnification of 4.2.

Keywords: Glass, Seismic Control Wall, Thermoplastic Adhesives, Friction Damper, Wall Magnification

1. はじめに

従来から、ガラスは割れ易く危険なものとして扱われ、建物の構造部材には成り得なかった。カーテンウォールにおいてもガラスは逃げを取って地震力が入らないように設置されるのが現状である。しかしながら、ガラスにある一定以上の地震力が作用しないように制御することが出来れば、構造部材に成り得る。

表1に構造材料の特性値を示すように、ガラスは、鋼材と比べてヤング係数で約1/3倍、曲げ引張強度で約1/5倍、コンクリートと比べてヤング係数で約3.5倍、曲げ引張強度で約16倍もあり、応力集中を回避すれば構造部材に十分成り得る。

表1. 構造材料の比較

	ガラス	鋼材	コンクリート
ヤング係数(N/mm ²)	71,600	210,000	20,000
圧縮強度(N/mm ²)	1,100	240	30
曲げ引張強度(N/mm ²)	49	240	3
線膨張係数(×10 ⁻⁶)	9	10	10
比重(g/cm ³)	2.5	7.9	2.3

これまで、住友建設(株)^①、(株)大林組、東京工業大学グループ^②は、ガラス周囲に粘弾性ダンパーを用いてガラス制震壁を開発しているが、実構造では、相対速度が小さいので制震力があまり期待できなかつたり、逆に過大相対速度によりガラスを破損させる可能性があつたりし

原稿受付 2015年5月8日

*1 近畿大学工学部 建築学科 准教授 (〒739-2116 東広島市高屋うめの辺1番)

E-mail terai@hiro.kindai.ac.jp

*2 アイディールブレン株式会社 (〒101-0063 東京都千代田区神田淡路町2-105 ワテラスアネックス1301)

E-mail sato@ibrain.jp

*3 九州大学大学院 准教授 (〒815-8540 福岡市南区塩原4-9-1)

E-mail tomokazu@design.kyushu-u.ac.jp

連絡先: 寺井雅和 (研究代表者)

て、本格的な実用化には至っていないのが現状である。

ガラス制震壁の最大の問題は「ガラスが割れ易い」ことであり、①ガラス強度以上の過大な地震力が入力しないようにすること、②地震力がガラスに応力集中することなくスムーズに応力伝達するようにすること、③直射日光に対する長期耐久性をクリアしていること、の3点の課題を解決する必要がある。

① 既に開発済みのアルミニウムと鋼板による摩擦ダンパー^③を介在させることによって、確実にガラス強度以上の地震力が作用しないようにすることができ、同時に微小変位段階から地震エネルギーを吸収することもできる。

② 硬いガラスの外周4辺に鋼製枠材を柔らかい熱可塑性接着剤で一体化させる。そうすれば、建物とのボルト接合が可能となる。

③ 熱可塑性接着剤は、もともと直射日光（紫外線）に曝されることを前提としたものを選んでいる。

本研究では、木造住宅用に開発したガラス制震壁について、ガラス板厚、側辺の座屈補強の有無を変えて静的繰返し載荷実験を行い、壁倍率2.5を目指す。

2. 木造住宅用ガラス制震壁の仕組み

ガラス制震壁の下辺は下階の梁に耐震ねじで固定され、上辺と上階の梁との間に水平変位で滑る摩擦ダンパーを介在させて、ガラス強度以上の地震力が作用しないようにする。この仕組みにより、開放感や美観を備えた構造壁を外周壁に用いることができる。近年の断熱仕様を考慮して室内側の壁もガラス壁とするが、柱とガラスはクリアランスを設けるか、構面をずらして分離されており、実構造においてはガラスが可動出来るような雨仕舞いが必要になる。

2.1 試験体概要

木造住宅用の場合は、四号建物としての壁倍率認定が取得できるように独立壁とする。認定取得のためには、層間変位で約200mm可動できるようにする必要がある。そのため、大変形の軌跡を考慮して、上辺の摩擦ダンパーの長孔は円弧状となる。ただし、層間変位で約200mmも可動できるような雨仕舞いについては、今後の課題である。

本実験の試験体は、図1に立面図、断面図を示すような木造建築の外壁として、柱間にガラス壁を1枚取り付けたものである。表2に各部材の概要を示す。ガラス上部には、長穴を開けたメッキ板をアルミ板2枚で表と裏から挟み、皿バネを介してボルト数本で圧着した2面摩擦ダンパーを取り付けている（写真1）。水平力がダンパーの圧着に達すると、図2に示すようにアルミ板が摺

動し、摩擦ダンパーがエネルギーを吸収する仕組みである。ガラス下辺は亜鉛メッキ板で土台に固定してある。ガラスと亜鉛メッキ板は、熱可塑性接着剤を用いて接着している。

試験体は、表2に示すように、3種類のガラス厚さと側辺の座屈補強の有無をパラメーターとし、計6体を製作し実験した。

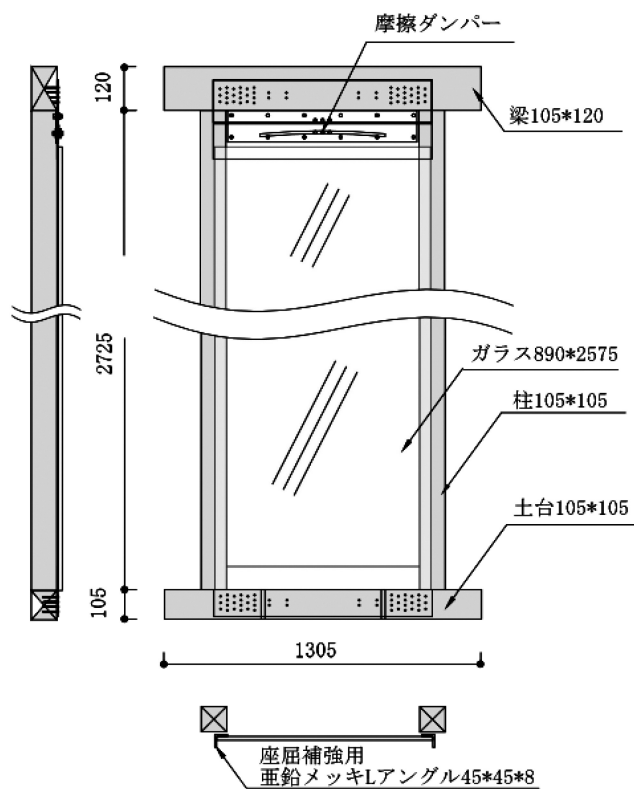


図1. 試験体詳細

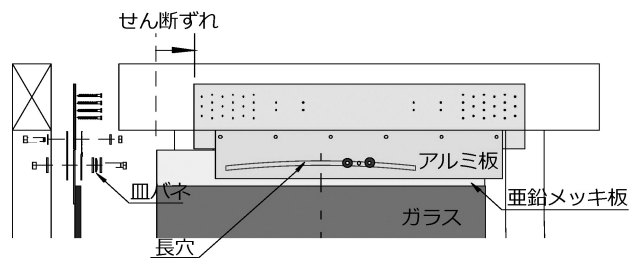


図2. ダンパー部分概略図

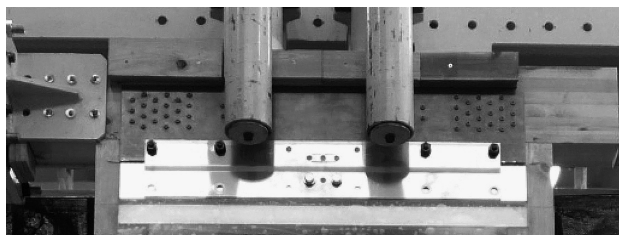


写真1. 摩擦ダンパー部

表 2. 試験体概要

試験体名	柱	梁	土台	ガラス板厚	座屈補強の有無
16PN	105×105 オウシュウアカマツ E95-F315	105×120 オウシュウアカマツ E105-F300	105×105 オウシュウアカマツ E95-F315	16mm	無
16PA					有
24PN				24mm	無
24PA					有
38PN				38mm	無
38PA					有

2.2 実験方法

試験体の柱脚を加力装置に緊結する。実験は、図3に示すように、無載荷式で、静的な水平加力面内せん断試験を行った。写真2に試験風景を示す。層間変位角 1/300, 1/200, 1/150, 1/100, 1/75, 1/50, 1/30rad. を目標に水平方向に3回押し引きを繰り返し、試験体が破壊するまでの水平荷重（壁せん断力；kN）と層間変位（mm）を測定した。荷重測定は、ロードセルで行い、変位測定は梁材と土台の水平方向変位を変位計で行った。

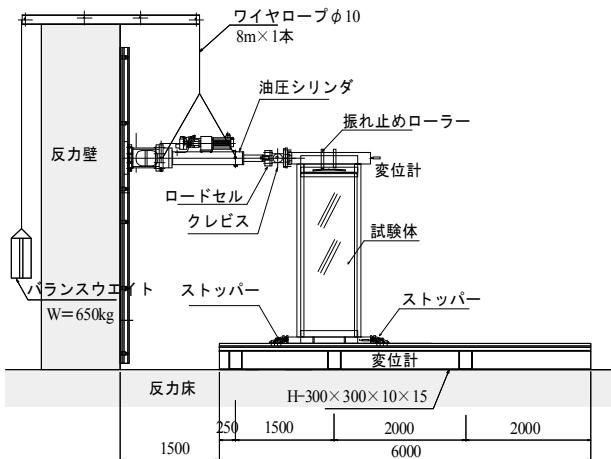


図 3. 加力装置図

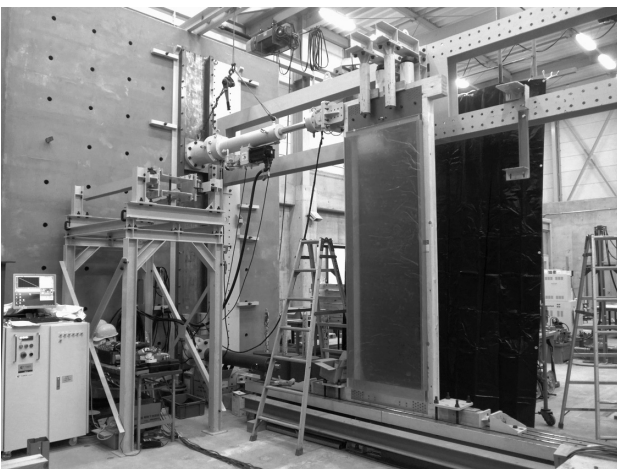


写真2. 加力・制御装置



写真 3. ガラス割れ（16PA）

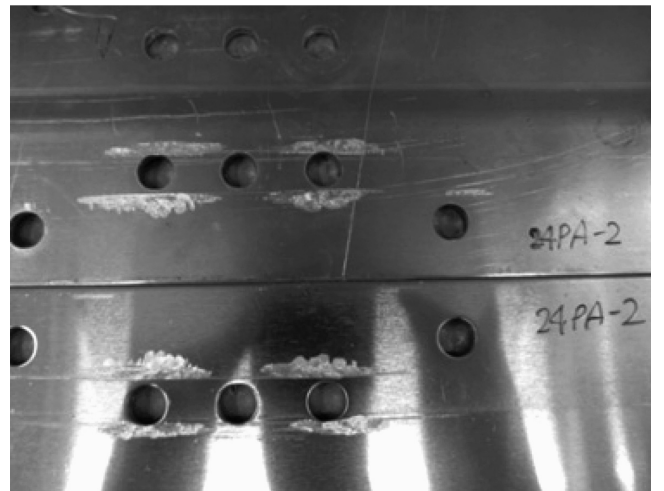


写真 4. アルミの摺動面

3. 実験結果と考察

3.1 荷重－変形関係

図 4, 5 に、壁せん断力－層間変位関係を示す。図 4 は座屈補強がない3体、図 5 は補強がある3体である。グラフ縦軸は壁せん断力とし、横軸の層間変位は試験体の上梁と土台に設置した変位計の相対変位として測定した。

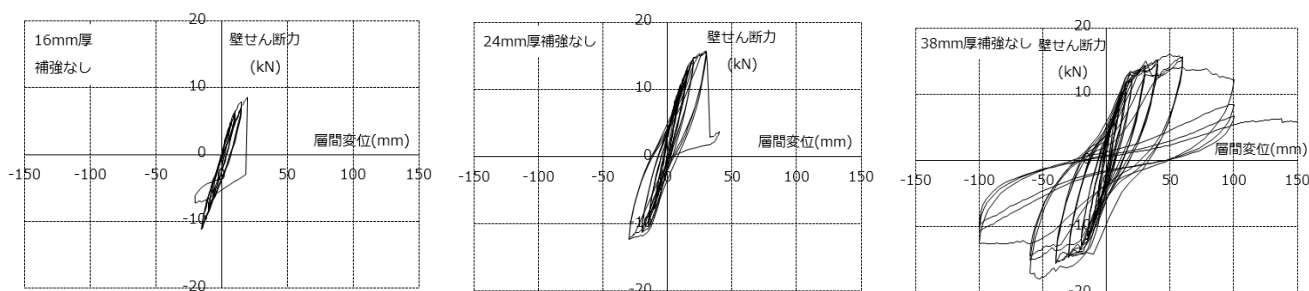


図 4. 荷重-変形関係（座屈補強なし，左から板厚 16mm，24mm，38mm）

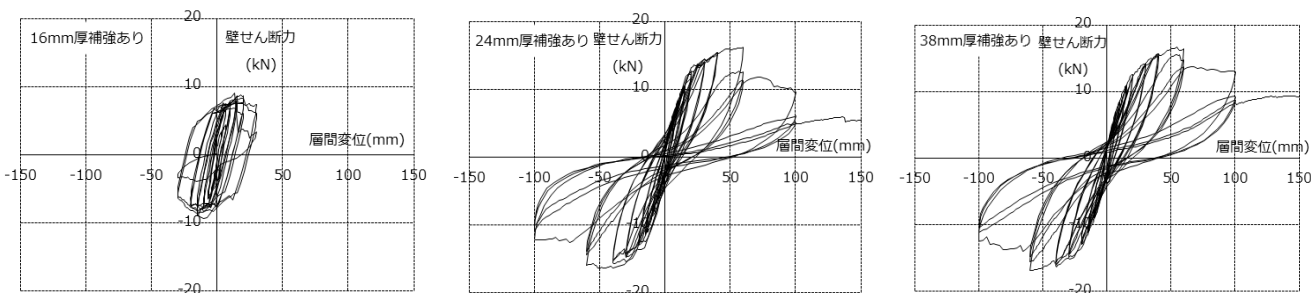


図 5. 荷重-変形関係（座屈補強あり，左から板厚 16mm，24mm，38mm）

表 3. 各評価項目と壁倍率算出結果

試験体名	評価項目(単位;kN)					短期基準せん断耐力 P_0 (単位;kN)	壁倍率
	P_{max}	P_y	$P_u \times (0.2/D_s)$	$P_{max} \times 2/3$	$P_{1/120}$		
16PN	10.12	5.71	4.83	6.75	10.12	4.83	2.77
16PA	7.44	4.42	2.35	4.96	7.44	2.35	1.35
24PN	15.09	7.24	6.15	10.06	14.50	6.15	3.53
24PA	16.21	9.36	7.44	10.81	12.60	7.44	4.27
38PN	15.67	9.82	8.38	10.45	12.71	8.38	4.80
38PA	16.44	9.62	9.16	10.96	13.34	9.16	5.25

ガラス厚さ 16mm の 2 体と、24mm の座屈補強がない試験体の計 3 体は、小変形時にガラスが割れた。ガラスが割れた試験体は、いずれもガラス下部で曲げ変形に伴う応力集中によるものと思われる（写真 3）。

実験後にアルミ板の内側（摺動面）を撮ったのが写真 4 であるが、ボルトで圧着されている部分が擦れて、アルミが金属流動していることがわかる。

3.2 ガラス板厚の違い

図 5 の 3 体を比較すると、16mm 厚の試験体は、載荷初期からガラスが水平力に耐え切れず割れた。24、38mm 厚の試験体は、せん断変形角 $1/150\text{rad}$ 頃からダンパーがすべりだしたが、このときの荷重値はともに約 13kN で、ボルト張力の設定値とほぼ同じであった。以上より、ガラスが薄いとダンパーの所定耐力に達する前にガラスが破壊するため、24mm 以上の厚みが必要であ

ることがわかった。

3.3 座屈補強の影響

図 4、5 を比較すると、補強がある 24mm 厚試験体はガラスが割れなかったが、補強がない場合は早期にガラスが割れてしまった。これは、ガラスの局部ひずみによって座屈が起こってしまったためと考えられる。したがって、ガラス 24mm 厚では座屈補強の L アングルが座屈防止には必要であることがわかる。一方、38mm までガラスが厚くなると、座屈補強があっても無くてもガラスが割れることはなかった。

3.4 壁倍率

壁倍率は、補遺に示す手順に沿って 4 つの数値を計算し、その最小値に耐力低減係数 α などを乗じた数値と定義される。それぞれの試験体の 4 指標値と壁倍率を表 3 に示す。

短期許容せん断耐力 P_a は、 $P_a = P_0 \times \alpha$ で求めるが、本報告では $\alpha = 1$ として P_a を求めた。次に、試験体有効長さ $L (=2,935\text{mm})$ とし、次式 (1) により壁倍率を算定する。

$$\text{壁倍率} = P_a \times (1/1.96) \times (1/L) \quad (1)$$

ガラス厚さ 16mm の試験体は小変形でガラスが割れてしまうので実用的ではなく、24mm 程度の厚さが適切とすると、座屈補強がある試験体で 4.2 の壁倍率を有している耐力壁と評価できる。

4. まとめ

本研究は、在来木造軸組建築で耐力壁として想定したガラス制震壁の実用化を目的として、摩擦ダンパー部に皿バネを使用した試験体の加力実験を行った。実験結果を考察し、壁倍率を計算した結果、ガラス厚さ 24mm (座屈補強あり) の試験体は、4.2 の壁倍率を有していることが確認できた。

謝辞

本開発は (独) 新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) における平成 25 年度課題設定型産業技術開発費助成金によるものである。また、本実験の実施にあたり、本学工学部建築学科 松本慎也准教授の協力を得た。ここに感謝いたします。

参考文献

- (1) 江頭他：ガラス制震壁の開発，日本建築学会大会学術講演梗概集（中国），pp.1063-1064, 1999.9
- (2) 山中他：ガラスと粘弾性体を用いた透明制振壁に関する研究，日本建築学会大会学術講演梗概集（関東），pp.849-850, 2001.9
- (3) 寺井他：ゴムワッシャーを用いた高力ボルト摩擦すべりダンパーに関する研究，日本建築学会構造系論文集第 614 号，pp.107-114, 2007.4
- (4) 日本建築学会：木質構造設計基準・同解説，日本建築学会，1995
- (5) (財) 日本建築総合研究所：木造の耐力壁及びその壁倍率性能試験・価業務方法書，(財) 日本建築総合研究所，2001

補遺

木質構造設計基準・同解説^④に示されている，国土交通大臣による指定性能評価機関^⑤において行われている方法を示す。

1. 短期基準せん断耐力の算定

短期基準せん断耐力 P_0 は、下記の(a)~(d)で求めた耐力

の平均値に、それぞれのばらつき係数*を乗じて算出した値のうち最も小さい値とする。なお、降伏耐力 P_y ，終局耐力 P_u ，構造特性係数 D_s 等は下記の“補遺 2. 完全弾塑性モデルによる降伏耐力，終局耐力等の求め方”による。

- (a) 降伏耐力 P_y
- (b) 終局耐力 $P_u \times (0.2/D_s)$
- (c) 最大荷重 P_{max} の 2/3
- (d) 特定変形時の耐力 (柱脚固定式：見かけのせん断変形角 1/120rad.)

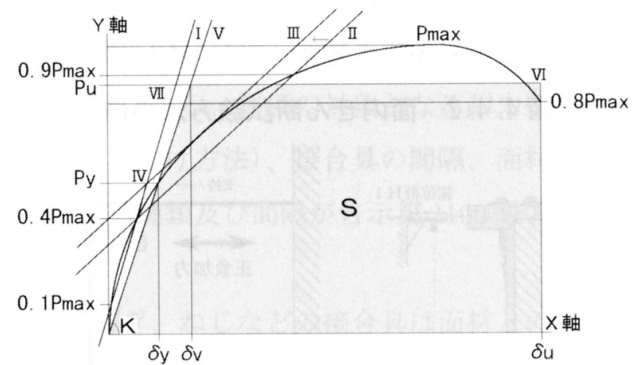
※ばらつき係数：母集団の分布系を正規分布とみなし，統計的処理に基づく信頼水準の 75% の 50% 下側許容限界値をもとに次式により求める。

$$\text{ばらつき係数} = 1 - C_v \times K$$

ただし、 C_v ：変動係数

K ：定数 0.471 ($n=3$)

なお、本報告書においては、ばらつき係数は 1.0 を採用する。



補遺図. 特性値の算定方法

2. 完全弾塑性モデルによる降伏耐力・終局耐力等の求め方

降伏耐力 P_y ，降伏変位 δ_y ，終局耐力 P_u ，終局変位 δ_u ，剛性 K ，塑性率 μ 及び構造特性係数 D_s の算定は、枠組壁工法の試験評価法で提案されている。

包絡線は、計測した荷重・変形曲線の終局加力を行った側の最初の荷重変形曲線より求める。

- (1) 包絡線上の 0.1 P_{max} と 0.4 P_{max} を結ぶ第 I 直線を引く。
- (2) 包絡線上の 0.4 P_{max} と 0.9 P_{max} を結ぶ第 II 直線を引く。
- (3) 包絡線に接するまで第 II 直線を平行移動し、これを第 III 直線とする。
- (4) 第 I 直線と第 III 直線の交点の荷重を降伏耐力 P_y とし、この点から X 軸に平行に第 IV 直線を引く。

- (5) 第IV直線と包絡線との交点の変位を降伏変位 δ_y とする.
- (6) 原点と (δ_y, P_y) を結ぶ直線を第V直線とし, それを初期剛性 K と定める.
- (7) 最大荷重後の $0.8P_{max}$ 荷重低下域の包絡線上の変位を終局変位 δ_u と定める.
- (8) 包絡線と X 軸及び δ_u で囲まれる面積を S とする.
- (9) 第V直線と δ_u と X 軸及び X 軸に平行な直線で囲まれる台形的面積が S と等しくなるように X 軸に平行な第VI直線を引く.
- (10) 第V直線と第VI直線との交点の荷重を完全弾塑性モデルの終局耐力 P_u と定め, そのときの変位を完全弾塑性モデルの降伏点変位 δ_v とする.
- (11) 塑性率 $\mu = (\delta_u / \delta_v)$ とする.
- (12) 構造特性係数 D_s は, 塑性率 μ を用い, $D_s = 1 / \sqrt{2\mu - 1}$ とする.