

# 壁面に部分的な開口部を有する木造面材耐力壁の耐震性能

# SEISMIC PERFORMANCE OF WOODEN SHEAR WALLS WITH PANEL OPENING

井戸田秀樹 — \* 1 山崎 和浩 — \* 2  
花井 勉 — \* 3 川端 寛文 — \* 4  
石井 渉 — \* 5 山田 耕司 — \* 6

Hideki IDOTA  
Tsutomu HANAI  
Wataru ISHII

Kazuhiro YAMAZAKI  
Hirofumi KAWABATA  
Koji YAMADA

キーワード：  
在来軸組工法，面材耐力壁，耐震改修，面材開口，低コスト

Keywords:  
Conventional post and beam wooden house, Shear panel, Seismic reinforcement, Panel opening, Low-cost

In order to achieve the reasonable and economic aseismic reinforcement for old wooden houses, it is very important to clarify the seismic performance of the quake-resistant shear walls with opening in structural plywood. The purpose of this paper is to evaluate strength and stiffness of the wooden shear walls with panel opening. Twenty three types of test specimens with various shapes of opening on the structural plywood are employed as a load-bearing tests under cyclic loads. Based on the experimental results, the paper proposes the useful evaluation sheets for an economical aseismic reinforcement.

## 1. はじめに

在来軸組工法で一般的に用いられる面材耐力壁は、構造用合板が柱、梁、土台などの軸材に釘で隙間なく接合されていることを前提としてその性能が定められている。したがって、壁面に部分的な開口部を有する壁は原則として耐力壁とみなすことができない。しかし、耐震改修の現場では換気扇やエアコンのダクトなど、ある程度の開口を持つ壁を補強対象にせざるを得ない場合や、コスト低減のために施工手間を省き、天井や床の解体をせず、構造用合板を部分的に施工する場合も多い。そのため、より合理的な耐震改修工事の実現には、これらの工法を積極的に使用できる情報を提供していくことが重要である。

本報告は、面材が不完全な形で施工される木造面材耐力壁の性能評価実験を行い、より合理的かつ経済的な耐震改修工事の促進に貢献できる技術情報の提供を行うことが目的である。

## 2. 実験概要

### 2.1 面材が不完全に施工される事例

実験計画の立案にあたっては、現実に耐震改修現場で問題となっている事例を適切に反映させることが重要である。そこで、建築士あるいは設計士を対象としたヒアリング調査を行い、耐震改修工事の現場で面材が不完全な形で施工される場合として、下記のような事例の存在を確認した。

a) 合理的かつ経済的な補強のため、天井や床を撤去せずに室内側から壁面を補強することにより面材が梁および土台と接合されておらず、壁面の上下に開口を有するもの。

- b) 設備配管、換気扇等の壁面貫通により面材に開口部を有するもの。  
c) 柱端部の接合金物の存在、あるいは補強対象壁面に直交するはりや土台の存在により、隅角部に面材の欠損を有するもの。  
d) 壁内の設備配管等の存在により、補強のための面材を胴縁などで軸材から浮かせて設置するため、面材が柱、はり、土台に直接接合されていないもの。  
e) 補強壁面が入隅部分の両側に存在するため大壁タイプの面材補強が困難なもの。  
f) 補強対象となる壁面内に土壁が存在し、面材の開口部分周辺に裏桟が取り付けられないもの。

### 2.2 試験体概要

前節のような事例の存在を考慮し、本報告では表1および図1、図2に示すような試験体を用意した。

**Mタイプ試験体**：面材の上下が梁および土台に達しておらず、事例 a) あるいは c) に対応する試験体である。面材の上下に存在する開口部の大きさをパラメータとし、M-1～M-8の8タイプを計画した。一般的な床位置と天井高さを考慮すると、床と天井を撤去せずに施工した場合の事例がM-1試験体に対応している。また、M-4試験体は、押入の内部から補強をする場合を想定したものであり、中段と天袋棚位置に開口を存在させた。なお、面材と土台あるいは梁の間の応力伝達を目的とし、土台や梁に数本の軸材を釘打ちしてかさ上げし、面材と梁や土台との応力伝達を可能にした施工も比較的多く実施されている。M-6試験体はこのような場合に対応した試験体である。M-7試験体は事例 d) に対応した試験体である。また事例 f) の

本稿の一部は、参考文献<sup>1)-3)</sup>にて発表している。

\*1 名古屋工業大学大学院社会工学専攻 教授・工博  
(〒466-8555 名古屋市昭和区御器所町)

\*2 名古屋工業大学大学院社会工学専攻 博士前期課程

\*3 ㈱えびす建築研究所 代表取締役・工博

\*4 名古屋大学災害対策室スーパーバイザー 博士(工学)

\*5 日本システム設計

\*6 豊田工業高等専門学校 准教授・博士(工学)

<sup>1)</sup> Professor, Nagoya Institute of Technology, Dr.Eng.

<sup>2)</sup> Graduate Student, Nagoya Institute of Technology, .

<sup>3)</sup> President, Ebisu Building Laboratory Co., Dr.Eng.

<sup>4)</sup> Supervisor, Disaster Management Office, Nagoya University, Dr.Eng.

<sup>5)</sup> Nihon System Sekkei

<sup>6)</sup> Assoc. Professor, Toyota National Collage of Technology, Dr.Eng.

表 1 試験体一覧

試験体	試験体仕様	構造用合板補強仕様		土壁	面材 面材比 $\alpha$	備考	試験体数	
		厚(mm)	釘ピッチ(mm)					
B	基本タイプ	9	150	×	1.00		3	
M-1	面材が内 及び土台に 取り付けな いタイプ	9	150	×	0.81	天井、床を撤去せずに施工	3	
M-1a		12	100	×	0.81	天井、床を撤去せずに施工(裏棧なし)	1	
M-2		9	150	×	0.67	面材1枚で施工	1	
M-3		9	150	×	0.37	同上	1	
M-4		9	150	×	0.66	押入の内壁面に施工	3	
M-4a		12	100	×	0.66	押入の内壁面に施工(裏棧なし)	1	
M-5		9	150	×	0.07	面材1枚を土台だけに連続	1	
M-6		9	150	×	0.81	土台と梁を面材までかさ上げ かさ上げ材: 45×90mm, N90釘	3	
M-7		9	150	×	1.00	胴縁+面材 胴縁: 半貫φ150mm	1	
M-8a		12	100	×	0.67	面材1枚(裏棧なし)	1	
R-1		面材に凹 の穴がある タイプ	9	150	×	0.93	柱染隅角部に矩形孔	1
R-2			9	150	×	0.94	換気扇仕様	3
R-2a			12	100	×	0.94	換気扇仕様(裏棧なし)	1
R-3	9		150	×	0.94	柱との接合部分に矩形孔	1	
R-4	9		150	×	0.90	軸材から離れた位置に矩形孔	1	
R-4a	9		150	×	0.90	軸材から離れた位置に矩形孔(裏棧なし)	1	
R-5	9		150	×	0.90	軸材に接した位置に矩形孔	1	
R-5a	9		150	×	0.90	軸材に接した位置に矩形孔(裏棧なし)	1	
R-6	9		150	×	0.80	軸材から離れた位置に複数の矩形孔	1	
R-6a	9		150	×	0.80	軸材から離れた位置に複数の矩形孔(裏棧なし)	1	
C-1	面材に円形 の穴がある タイプ	9	150	×	1.00	設備配管用の孔(孔周りの裏棧なし)	3	
C-2		9	150	×	0.95	柱材に接する位置に円形孔	1	
C-3		9	150	×	0.89	面材中央に円形孔	1	
C-4		9	150	×	0.89	面材角部に円形孔	1	
S-1	真壁仕様	12	100	○	0.82	天井、床を撤去せずに施工	1	
S-2		12	100	○	0.63	長押下に構造用合板1枚を施工 アルミアングル 10mm×50mm, t=1.5mm	1	
S-3		12	100	○	0.51	長押の内壁面に施工(天袋あり) 土壁厚70mm, 軸材+貫15mm×100mm	1	
S-4		12	100	○	0.71	長押の内壁面に施工(天袋なし)	1	

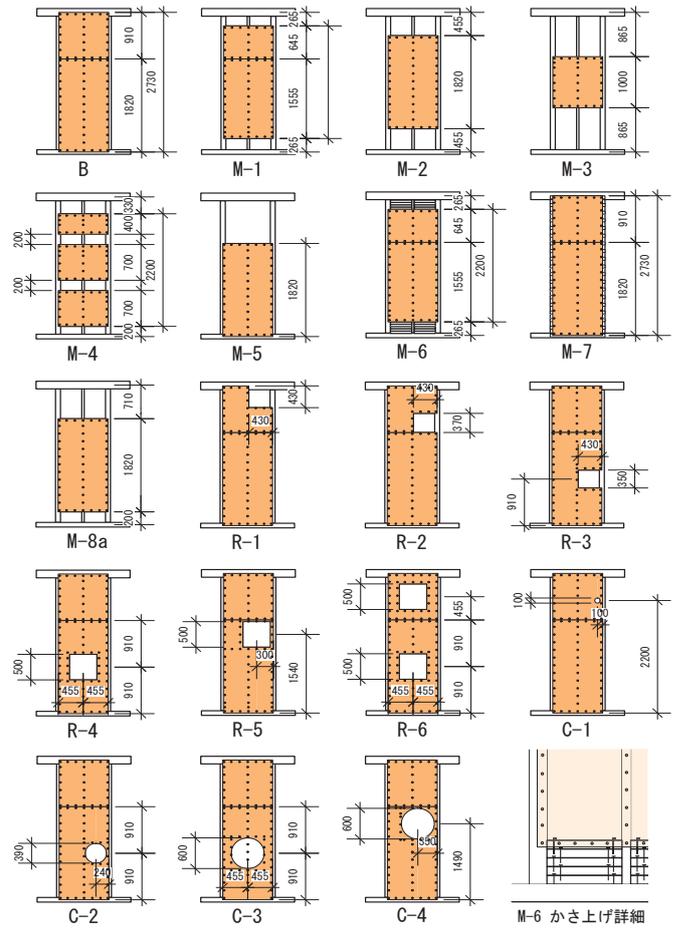


図 1 試験体概要

ように裏棧を施工できない場合の試験体も用意した。これらの試験体は末尾に a をつけて表示した。

**Rタイプ試験体**：面材に矩形の開口部を有する試験体である。矩形の開口部を正方形に固定し、その大きさと位置をパラメータとした。事例 b) のような換気扇を対象とした試験体は R-2 試験体である。R-2 試験体の開口径は 370mm 角であるため、開口の大きさは一回り大きい 500mm 角を限度とした。ところで、面材を切り欠いて開口を設けた場合、開口部の形状に合わせて面材の裏側から棧を施工する機会が多い。この棧は面材と軸材両方に釘打ちされているため、軸材と面材間の応力伝達能力を有する。そこで、この裏棧の存在の影響を観察するため、開口部周りに裏棧のない試験体も用意した。これらの試験体は M タイプ試験体と同様に末尾に a をつけて表示した。

**Cタイプ試験体**：面材に円形の開口部を有する試験体であり、Rタイプ試験体の開口部形状を円形にしたものである。開口部の大きさと位置に応じて 4 タイプの試験体を計画した。なお、C-1 試験体はエアコンダクト貫通を想定したものである。

**Sタイプ試験体**：事例 e), f) を想定して、土壁を施工したまま面材補強を施した試験体<sup>3)</sup>であり、柱間に構造用合板を落とし込んで真壁仕様のまま合板補強を可能にした試験体を用意した。図 3 のように土壁表面と柱面とのちり部分にアルミアングルをビス止めし、面材を固定することで、面材と柱軸材との応力伝達を可能にしている。アルミアングルは 9mm×50mm, t=1.5mm のものを木ビス L=32mm で柱に斜め打ちし、そこに木タッピングビス L=30mm で合板を留めた。なお、アルミアングルの材質は A6063 系の型材 (JIS H4100) であり、一般

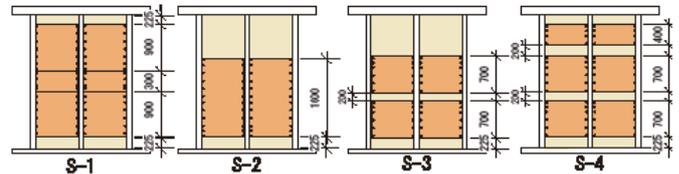


図 2 土壁試験体概要

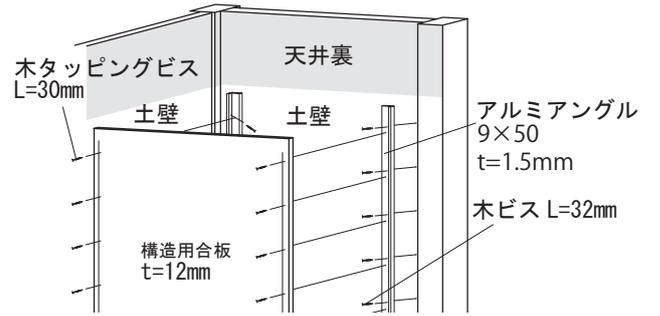


図 3 アルミアングル納まり

的なホームセンター等に流通しているアルミ型材の材質はほぼこの規格である。

**Bタイプ試験体**：面材に開口を有さない一般的な面材補強仕様の試験体である。

いずれの試験体も軸材の樹種は土台がヒノキ、柱と梁はスギである。試験体の壁長さは M, R, C, B タイプ試験体は 910mm, S タイプ試験体は 1,820mm, 断面は土台、および柱が 105mm×105mm, 梁が 105mm×210mm である。補強用の面材には、厚さ 9mm の構造用合板を

使用し、釘はN50釘を150mmピッチで軸材および裏棧に手打ちで打ち込んだ。なお、事例f)を想定した裏棧のないMタイプ試験体およびR-2a試験体では、構造用合板は厚さ12mm、面材釘ピッチを100mmとした。

### 2.3 実験方法

荷重には、図4に示すような装置を用いた。土台をアンカーボルトで鋼製の土台に固定し、梁端部をオイルジャッキで水平に荷重した。試験体の境界条件はホールダウン金物を用いた柱脚固定式である。荷重プログラムは同一変位繰返し数3回の漸増繰返し荷重<sup>4)</sup>とした。なお、Sタイプ試験体については、土壁だけの試験体にあらかじめ1/10radまでの漸増繰返し荷重を経験させ、損傷した土壁に合板補強を施した上での荷重を行った。構造用合板設置前の土壁の剥落はほとんど見られないが、土壁の荷重履歴は進行スリップ型であり、補強後の性能に与える土壁の影響はほとんど無視できるものと考えられる。

## 3. 実験結果

### 3.1 全体概要

実験結果を図5～図7、および表2に示す。以下、各タイプごとに考察する。なお、表2中の壁強さ倍率は文献<sup>4)</sup>に従い、終局加力を行った側（今回の場合は正荷重側）の荷重変形曲線の包絡線より求めた。全体的に正荷重側の方がわずかに高めの耐力となるが、すべての試験体において、負荷側とに大きな差は見られなかった。

**Mタイプ試験体**：図5にMタイプ試験体の荷重変形関係を示す。Mタイプ試験体ではBタイプ試験体の面材面積に対する試験体の面材面積（以下、面材面積比） $\alpha$ の低下に伴って剛性、耐力ともに低下し、M-3試験体では最大耐力がM-1試験体の半分程度まで低下した。裏棧のない影響は顕著で、裏棧ありに比べ壁強さ倍率は0.55～0.88倍であった。破壊性状はいずれの試験体も面材釘の抜けあるいは頭抜けであった。繰返し荷重による釘の破断はほとんど観察されなかった。また、同様に面材の面外座屈も観察されなかった。

M-6試験体は、かさ上げ材によって梁および土台から面材への応力伝達が十分になされており、Bタイプ試験体とほぼ同じ壁強さ倍率が確認できた。

**Rタイプ試験体**：図6にRタイプ試験体の荷重変形関係を示す。Mタイプ試験体が面材面積比 $\alpha$ の低下に伴い耐力が低下したのに対し、Rタイプ試験体では面材面積比 $\alpha$ による耐力低下はほとんど観察されなかった。Rタイプ試験体においても裏棧がないことによる性能低下が見られたが、Mタイプ試験体に比べると低下の割合は小さい。壁強さ倍率は0.77～0.99倍であった。破壊性状はMタイプ試験体と同様に面材釘の抜け、あるいは頭抜けであった。一部の試験体では面材の隅角部の割れが観測された。また、裏棧を設けた試験体では面材の面外座屈は観測されなかったが、裏棧を設けなかった試験体では、最大耐力を迎える前に開口部周辺での面材の面外座屈が観測された。

**Cタイプ試験体**：いずれの試験体もBタイプ試験体との差は認められず、開口による性能の低下は観測されなかった。

**Sタイプ試験体**：図7にSタイプ試験体の荷重変形関係を示す。Sタイプ試験体では面材自体が柱材を拘束する効果も加わり、比較的

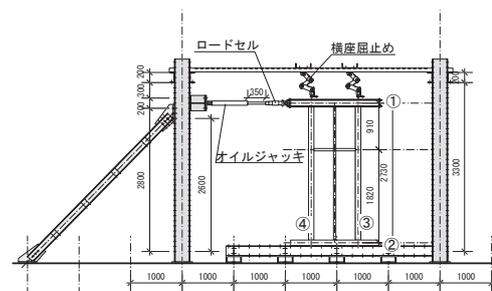


図4 実験装置図

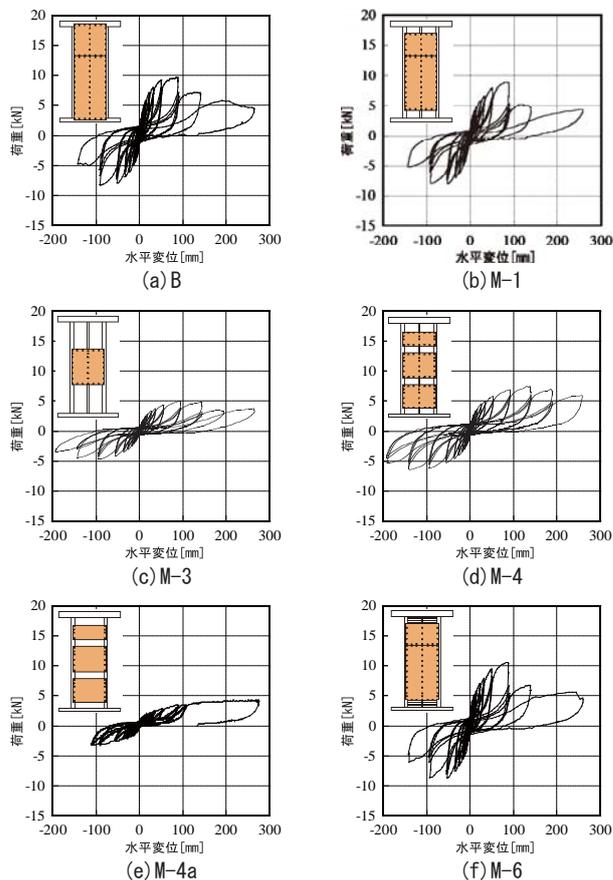


図5 荷重変形関係 (Mタイプ)

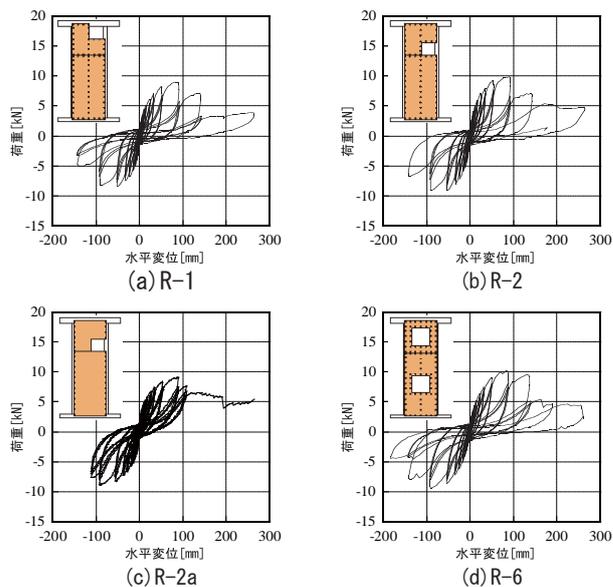


図6 荷重変形関係 (Rタイプ)

表 2 実験結果

試験体名	P <sub>y</sub> [kN]	P <sub>u</sub> [kN]	P <sub>max</sub> [kN]	基準剛性 [kN/mm]	μ	D <sub>s</sub>	基本耐力 (kN)	壁強さ倍率 (kN/m)	r
B	5.02 (0.84)	8.36 (0.69)	9.47 (1.29)	1083 (298)	6.41 (1.31)	0.293 (0.035)	5.02 (0.84)	5.52 (0.93)	
M-1	4.80 (0.43)	8.13 (0.66)	9.27 (0.66)	880 (126)	4.93 (0.35)	0.336 (0.014)	4.80 (0.43)	5.28 (0.48)	
M-1a	4.23	6.30	7.25	528	5.24	0.325	4.23	4.65	0.88
M-2	3.75	6.30	7.25	756	5.00	0.333	3.75	4.12	
M-3	2.85	4.38	5.00	440	6.18	0.297	2.85	3.13	
M-4	3.73 (0.32)	6.46 (0.44)	7.25 (0.42)	542 (33)	5.65 (0.18)	0.312 (0.005)	3.73 (0.32)	4.10 (0.35)	
M-4a	2.05	3.37	4.03	291	5.24	0.325	2.05	2.25	0.55
M-5	4.20	6.79	7.84	541	4.39	0.359	4.20	4.62	
M-6	5.27 (0.48)	8.96 (0.08)	10.38 (0.50)	1138 (91)	6.67 (1.90)	0.288 (0.041)	5.27 (0.48)	5.79 (0.52)	
M-7	5.24	8.98	10.19	797	4.83	0.340	5.24	5.76	
M-8a	4.58	2.71	5.49	369	5.04	0.332	2.71	2.98	
R-1	4.43	7.75	9.01	1207	8.07	0.257	4.43	4.87	
R-2	5.00 (0.40)	8.38 (0.61)	9.57 (0.58)	1167 (172)	6.41 (1.13)	0.292 (0.028)	5.00 (0.40)	5.50 (0.44)	
R-2a	7.95	5.00	9.11	779	5.72	0.309	5.00	4.95	0.90
R-3	4.50	8.02	9.31	1248	6.86	0.280	4.50	4.95	
R-4	5.53	9.73	10.87	1013	5.90	0.304	5.53	6.08	
R-4a	5.24	8.62	10.19	923	4.50	0.354	5.24	5.76	0.95
R-5	5.13	8.46	9.40	917	6.00	0.302	5.13	5.64	
R-5a	5.65	8.65	10.28	1215	6.44	0.290	5.65	5.99	0.99
R-6	5.39	9.10	10.19	819	4.89	0.337	5.39	5.92	
R-6a	5.51	7.59	9.99	945	4.25	0.365	4.16	4.57	0.77
C-1	5.23 (0.13)	8.89 (0.12)	9.93 (0.21)	1461 (132)	6.73 (0.53)	0.284 (0.012)	5.23 (0.13)	5.74 (0.15)	
C-2	5.22	8.56	9.89	1117	5.06	0.331	5.22	5.74	
C-3	5.93	9.88	11.75	1166	5.05	0.331	5.93	6.52	
C-4	5.52	8.82	10.58	920	4.80	0.341	5.52	6.07	
S-1	9.35	15.90	18.51	467	4.21	0.367	8.66	4.76	
S-2	5.87	11.60	12.60	523	4.20	0.367	5.87	3.23	
S-3	6.19	9.20	11.30	276	3.64	0.399	4.61	2.53	
S-4	6.60	10.70	12.24	283	3.21	0.430	4.98	2.74	

・3体載荷した試験体については上段は3体の平均値、下段( )は標準偏差を表す。  
 ・r: 裏棧ありに対する裏棧なしの壁強さ倍率の比率

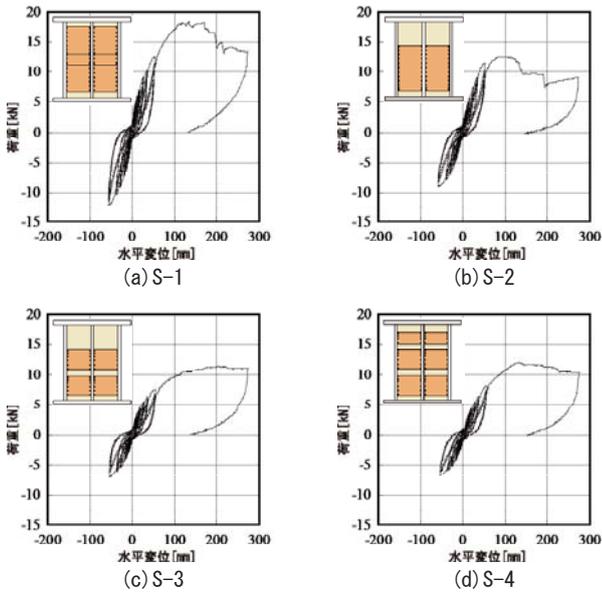


図 7 荷重変形関係 (Sタイプ)

高い剛性と耐力が得られた。破壊性状は、せん断変形に伴って合板が面外屈曲し、アルミアングルを柱材に留めつけているビスが抜けて耐力低下に至った。破壊した土壁補強面材の性能を低下させるような現象は観測されなかった。

#### 4. 壁強さ倍率および剛性の評価

前章で示した実験結果に基づき、本章では面材に部分的な開口を有する耐力壁の壁強さ倍率と剛性を評価する。

**Mタイプ試験体**: 図8はMタイプ試験体について、表2で示した壁強さ倍率と面材面積比αとの関係を示したものである。図中黒塗りのプロットは開口部周辺に裏棧を施工した試験体、白抜きのプロットは裏棧のない試験体である。面材面積比αが0.8を下回るあたりから壁強さ倍率も低下しており、裏棧のない試験体の低下率はより大きいことがわかる。これらの結果を踏まえ、次式を提案する。なお、壁強さ倍率は下限値を、剛性は平均的な値を与える。

##### 裏棧あり

$$\text{壁強さ倍率} = \begin{cases} 4.16 & (0.8 \leq \alpha < 1.0) \\ 5.2 \alpha & (0.3 \leq \alpha < 0.8) \end{cases} \dots (1)$$

$$\text{剛性} = \begin{cases} 800 & (0.8 \leq \alpha < 1.0) \\ 800 \alpha + 160 & (0.3 \leq \alpha < 0.8) \end{cases} \dots (2)$$

##### 裏棧なし

$$\text{壁強さ倍率} = \begin{cases} 2.5 & (0.8 \leq \alpha < 1.0) \\ 5.2 \alpha - 1.56 & (0.3 \leq \alpha < 0.8) \end{cases} \dots (3)$$

$$\text{剛性} = \begin{cases} 500 & (0.8 \leq \alpha < 1.0) \\ 1000 \alpha - 300 & (0.3 \leq \alpha < 0.8) \end{cases} \dots (4)$$

(1) ~ (4) の各式と実験結果との対応は図8に示すとおりである。

**Rタイプ試験体**: 図9はRタイプ試験体の壁強さ倍率と剛性を面材面積比αの関係で示したものである。Mタイプ試験体に見られた面材面積比αの減少に伴う壁強さ倍率と剛性の低下はほとんど見られないが、面材の開口部が面材の端部にあり、軸材と接合されていない部分が存在するR-1 ~ R-3試験体ではやや壁強さ倍率が低下した。

一方、剛性については裏棧を設けた試験体の剛性は開口部の位置に関わらず基本となるBタイプ試験体よりもかなり高い値が観測された。これは、裏棧がある程度の応力伝達の役割を担っているためと考えられる。裏棧がない場合には壁強さ倍率と同様に剛性の低下が見られた。これらのことから、面材に矩形の開口部を有する耐力壁では、開口部が面材の端部に存在する場合と裏棧が設けられていない場合について壁強さ倍率と剛性の低下を考慮する必要がある。

**Cタイプ試験体**: Cタイプ試験体では裏棧の応力伝達能力が高く、面材面積比αの低下に伴う耐力の低下は観測されなかった。

**Sタイプ試験体**: 図10はSタイプ試験体の壁強さ倍率および剛性と面材面積比αとの関係を示したものである。Sタイプ試験体はいずれも裏棧が施工されていないため、Mタイプ試験体と同様、面材面積比αの減少に伴って壁強さ倍率と剛性の低下が観測された。実験値との対応から、Mタイプ試験体と同様に考え、次式のような評価式を提案する。

$$\text{壁強さ倍率} = \begin{cases} 4.00 & (0.8 < \alpha < 1.0) \\ 20 \alpha - 12 & (0.6 \leq \alpha \leq 0.8) \end{cases} \dots (5)$$

$$\text{剛性} = 1000 \alpha - 300 \quad (0.6 \leq \alpha < 1.0) \dots (6)$$

図中の実線は上記(5)(6)式を表す。

#### 5. 実用化に向けた仕様と評価シートの提案

##### 5.1 部分開口の取り扱いの基本方針

前章までの評価をもとに、実際の現場での耐震改修に必要な部分開口合板補強の技術仕様と評価シートを提案する。実際の耐震改修工事では実建物の状況に応じた自由度の高い対応が必要であり、そのためには前章で評価した実験結果の適応範囲をさまざまな仕様について明確にする必要がある。そこで、部分開口の取り扱いの基本方針として、図11に示すような運用方針を提案する。なお、ここで

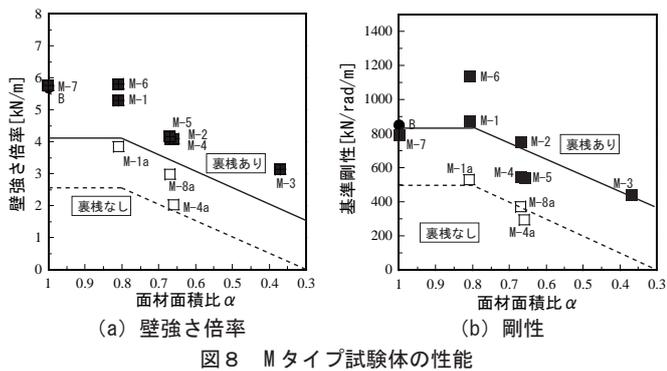


図8 Mタイプ試験体の性能

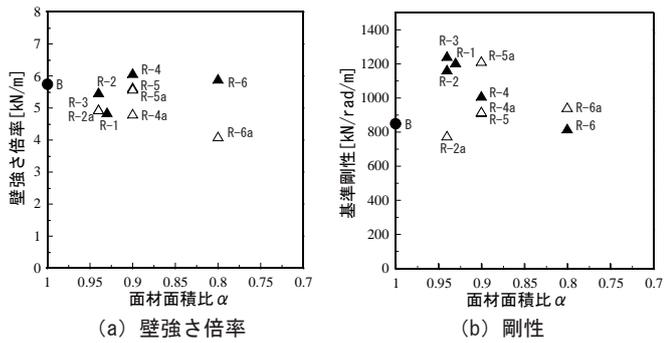


図9 Rタイプ試験体の性能

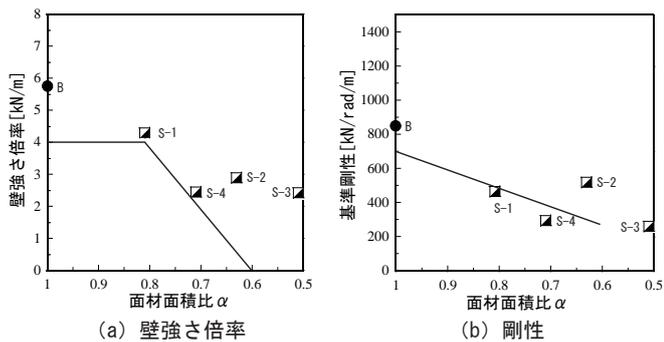


図10 Sタイプ試験体の性能

区画とは柱、間柱、梁および裏棧に囲まれた範囲を指す。

1) 開口部の大きさの制限

実験結果から、図11(a)に示すように各区画内における直径100mm以下の単独の円形孔、あるいはそれに含まれる大きさの孔は開口と見なさないものとする。一方、長辺の長さが500mm以下の矩形孔に対しては、3章のRタイプ試験体の評価を適応するものとする。ただし、開口部が面材の縁端部にある場合には後述する4)の規定を適応する。

2) みなし開口

開口の四辺に裏棧が施工されていない場合には、その開口が存在する区画全体を開口とみなす。図11(b)の場合、面材に存在する2つの矩形孔はいずれも四辺に裏棧が施工されていないため、それぞれの孔が存在する区画全体が開口と見なされる。したがって、下側の矩形孔はみなし開口の長辺が500mmを超え、この壁は耐力壁とは評価されない。

3) 開口部が複数個ある場合

同じ区画内に開口が複数個存在する場合は、包絡形をみなし開口

とする。図11(c)の場合は、それぞれの開口は100mmの円形孔だが同区画に2個存在するのでそれらを包絡した矩形がみなし開口となる。また、開口が間柱を切欠いている場合には、切欠かれた間柱は無視して区画を考えるものとする。なお、みなし開口部の長辺が500mmを超える場合には耐力壁とは評価されない。

4) 切欠きがある場合

切欠きとは、部分開口が面材の縁端部にあり面材が接合されていない軸材部分が存在するような部分をいう。M-1～M-5試験体、およびR-1～R-3試験体がそれに該当する。これらの試験体では、いずれも壁強さ倍率、剛性ともに開口による低下が観測されている。そこで、図11(d)に示すように、面材の開口部が切欠きである場合は、開口部両側の面材は存在しないものと仮定してMタイプ試験体で提案した評価式(1)～(4)式を適用するものとする。

5.2 耐震補強工法の評価シートの提案

4章で示した評価と前節の基本方針に従い、一般的な耐震補強工事で用いられるであろういくつかの仕様について、図12に示すような評価シートを提案する。運用のし易さを考慮し、それぞれの壁強さ倍率は基準となる構造用合板を用いた耐力壁の値 $5.20\text{kN/m}^2$ に低減係数 $\gamma$ を乗ずる形で表現した。低減係数 $\gamma$ は基本的には $5.20\text{kN/m}^2$ と(1)、(3)、(5)式との比率に基づき与えるが、実験データの試験体数とばらつきを考慮し、一部の仕様では(1)、(3)、(5)式よりも小さめの値になるよう設定した。また、剛性は実験平均値と概ね対応する値を記載した。

1) 上下あきタイプ(図12(a)(b))：天井、床を解体することなく、仕上げ復旧の手間とコストを削減した補強方法である。面材面積比 $\alpha$ を規定するため、天井部分と床下部分の開口高さの合計を370mm以下とした。間柱が存在し、裏棧を施工している場合は低減係数 $\gamma=0.8$ である。壁体内に土壁や設備配管が存在し、裏棧の施工ができない場合は低減係数 $\gamma=0.7$ とする。ただし、この場合は実験試験体の仕様と整合させるため、構造用合板は厚さ12mm以上、面材釘ピッチは100mm以下とする。

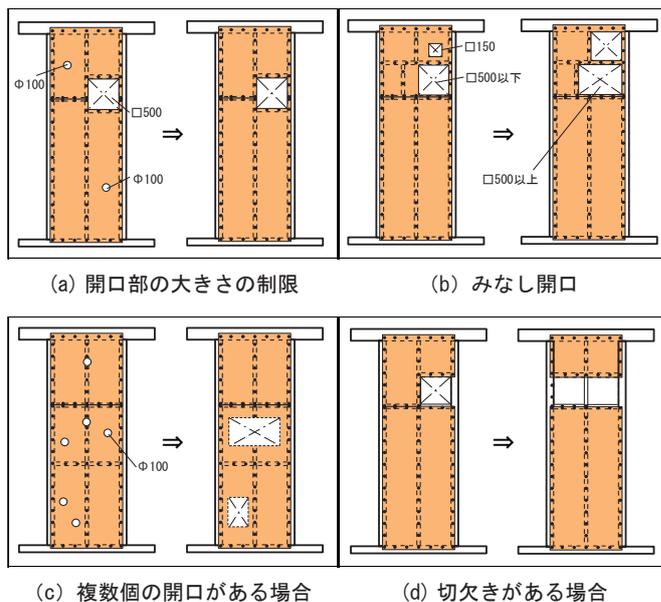


図11 開口部の考え方の基本方針

2) 押し入れタイプ (図 12(c) (d)): 押し入れ内部の壁面に対し、天井、床、枕棚、天袋を解体することなく補強が可能であり、仕上げの復旧もほとんど必要ないことから、きわめて合理的な補強方法である。上下あきタイプと同様、面材面積比を規定するため、4つの開口高さに対して図中に示すような規定を設けた。裏棧が施工される場合、低減係数  $\gamma = 0.6$  であり、裏棧がない場合には  $\gamma = 0.35$  となる。裏棧

のない場合の構造用合板の厚さと面材釘のピッチの規定は上下あきタイプと同様である。

3) かさ上げタイプ (図 12(e)): M-6 試験体に対応するもので、天井と床の解体はしないが、土台と梁に同幅の角材を落とし込み、釘またはビスで固定してかさ上げしていき、床および天井から出た部分に面材を接続する方法である。柱に挟まれたかさ上げ材の拘束の効果が大きく、実験結果から低減なしで使うことができる。

4) 換気扇タイプ (図 12(f)): 換気扇などによる開口部を想定した補強方法である。開口部の長辺が 500mm 以下で切欠きがなく、開口部周辺に裏棧が施工してあれば低減の必要はない。図に示す開口部は面材端部に存在するため切欠きとなっており、低減係数  $\gamma = 0.7$  となる。

5) 真壁タイプ (図 12(g) (h)): 入り隅の両壁面を耐震補強できる工法である。上下あき、押し入れの両タイプについて実験結果に基づき、それぞれ図のような低減係数を提示した。

## 6. 結論

面材に開口部を有する在来軸組工法耐力壁の性能評価実験を行い、耐震改修工法の提案をした。本研究で得られた結論は以下のとおりである。

- 1) いずれの試験体も破壊性状は面材釘 (またはビス) の抜け、あるいは頭抜けである。釘の破断はほとんど見られなかった。また、一部の面材で、開口部隅角部での面材の割れが観測されたが、裏棧を施工した試験体では面材の破壊や面外座屈は観測されなかった。
- 2) 各タイプの試験体に対し、面材面積比や裏棧の有無に応じて壁強さ倍率、剛性を規定する考え方を示した。また、それぞれの適応範囲を明確にした。
- 3) 一般的に用いられると考えられるいくつかの基本的な仕様については低減係数  $\gamma$  を定め、合理的な耐震補強工法の評価シートを提案した。

## 謝辞

本実験は、愛知建築地震災害軽減システム研究協議会の活動の一環として実施した。貴重なご意見を賜った関係者各位に感謝申し上げます。

## 参考文献

- 1) 城殿準一郎, 井戸田秀樹, 山崎和浩: 面材に開口部を有する木造耐力壁の耐震性能に関する実験的研究 その1 実験概要および実験結果, 日本建築学会東海支部研究報告集, 第46号, 2008.2, pp.209-212
- 2) 山崎和浩, 井戸田秀樹, 城殿準一郎: 面材に開口部を有する木造耐力壁の耐震性能に関する実験的研究 その2 耐震性能評価, 日本建築学会東海支部研究報告集, 第46号, 2008.2, pp.213-216
- 3) 荒木 智, 井戸田秀樹, 山田耕司: 木造住宅の超簡易耐震補強方法の提案, 日本建築学会東海支部研究報告集, 第44号, pp.305-308, 2006.2.
- 4) 在来軸組木造住宅の許容応力度設計法, 日本住宅・木材技術センター, 2001.
- 5) 木造住宅の耐震診断と補強方法・木造住宅の耐震精密診断と補強方法 (改訂版), 財団法人 日本建築防災協会, 2004.

↓ 2行の空白が必要 (下記最終行が入るため)

↑ 最終版下原稿提出後に本会が添付する本会で組み直す

部分開口 : $a + b \leq 370\text{mm}$	部分開口 : $a + b \leq 370\text{mm}$
低減係数 : $\gamma = 0.8$	低減係数 : $\gamma = 0.7$
壁強さ倍率 : $5.20 \times 0.8 = 4.16$ [kN/m]	壁強さ倍率 : $5.20 \times 0.7 = 3.64$ [kN/m]
剛性 : 730 [kN/rad/m]	剛性 : 500 [kN/rad/m]

(a) 上下あき\_裏棧あり

(b) 上下あき\_裏棧なし

部分開口 : $a + b \leq 370\text{mm}, c + d \leq 400\text{mm}$	部分開口 : $a + b \leq 370\text{mm}, c + d \leq 400\text{mm}$
低減係数 : $\gamma = 0.6$	低減係数 : $\gamma = 0.35$
壁強さ倍率 : $5.20 \times 0.6 = 3.12$ [kN/m]	壁強さ倍率 : $5.20 \times 0.35 = 1.82$ [kN/m]
剛性 : 700 [kN/rad/m]	剛性 : 400 [kN/rad/m]

(c) 押し入れ\_裏棧あり

(d) 押し入れ\_裏棧なし

部分開口 : $a + b \leq 370\text{mm}$	部分開口 : 370mm以下
低減係数 : $\gamma = 1.0$	低減係数 : $\gamma = 0.9$
壁強さ倍率 : $5.20 \times 1.0 = 5.12$ [kN/m]	壁強さ倍率 : $5.20 \times 0.9 = 4.68$ [kN/m]
剛性 : 730 [kN/rad/m]	剛性 : 730 [kN/rad/m]

(e) かさ上げ

(f) 換気扇

部分開口 : $a + b \leq 370\text{mm}$	部分開口 : $a + b \leq 370\text{mm}, c + d \leq 400\text{mm}$
低減係数 : $\gamma = 0.6$	低減係数 : $\gamma = 0.3$
壁強さ倍率 : $5.20 \times 0.6 = 3.12$ [kN/m]	壁強さ倍率 : $5.20 \times 0.3 = 1.56$ [kN/m]
剛性 : 400 [kN/rad/m]	剛性 : 200 [kN/rad/m]

(g) 上下あき\_真壁仕様

(h) 押し入れ\_真壁仕様

図 12 部分開口面材耐力壁の評価シート