

## O-5 カトリック北一条教会における耐力壁の評価

(北大院農) ○片山知実、富高亮介、澤田圭、平井卓郎

### 1 はじめに

カトリック北一条教会は1916年建設の木造一部石造りの建物で、2008年に札幌市景観資産に指定された歴史ある建物である。この教会で昨年耐震改修が行われた。外壁は下見板張り壁(ドイツ下見)、内壁は木摺り漆喰塗り壁であるが、建築基準法ではこの壁種の壁倍率は定められていないため、両面木張り壁(0.98×2=1.96kN/m=壁倍率1.0)と仮定して耐震改修の計算は行われた。壁に関する改修は、教会の外壁を剥がし柱等の傷んだ部材を新規部材と交換。次に柱頭・柱脚の接合部をコーナー金物(タナカ製コンパクトコーナー)で補強。最後に、傷んだドイツ下見を新規にスギのドイツ下見と交換し、木ねじ(東日本パワーファスニング製ネダノットND-5-70)で打ち付けた。尚、今回の耐震改修は現行建築法規の定める耐震性能を満たすべく行ったものではなく、教会の歴史的・意匠的価値を損なわない範囲で大地震時の倒壊防止を目標に行われた。

本研究では耐震改修後の木摺り漆喰塗り壁・下見板張り壁の実際の性能について実験的に確認を行った。

### 2 試験方法

#### 2.1 試験体

試験体は以下の6種、計14体とした。

1. 下見板張り壁：3体
2. 下地を木張りとして下塗りを施した木張り漆喰塗り壁(以下、下塗り壁)：3体
3. 下地を木張りとして中塗りまで行った木張り漆喰塗り壁(以下、中塗り壁)：3体
4. 下塗り後下げおを打ち付けた上に中塗りまで施した木摺り漆喰塗り壁：1体
5. 片面を下見板張り壁、もう片面を中塗り壁とした両面張り壁：3体
6. 面材壁 N50 釘 150mm 間隔：1体(比較用試験体)

試験体の概要を図1、表1に示す。木張り漆喰塗り壁は塗り厚の違いによる性質の違い、下げおの役割を確認するため3種類作成した。漆喰の生石灰、すき、ノリ、骨材の種類や配合の割合は下塗り、中塗り、上塗りで本来異なるが、本実験では全ての工程で丸京石灰の「しっくいなか塗り」を使用した。また、漆喰の実際の塗り厚は不明であるため建築工事標準仕様書 JASS15 左官工事に示されている木張り漆喰塗り壁の最も薄い塗り厚 12mm に従い、下塗

3.0mm、鹿子ずり 1.5mm、中塗り 6.0mm とした。養生期間は下塗り、鹿子ずり・中塗りでそれぞれ1週間とした。下げおも JASS15 左官工事に従い打ち付けた(図2)。下見板のビスの種類とビスの間隔、木張りの小幅板の幅と間隔、柱・土台・梁・間柱のコーナー金物は耐震改修後と同様にした。

教会の外壁は幅 200mm(あいじゃくりの重なり部分の幅は除く)のスギのドイツ下見板であるが、試験では幅 180mm のスギ板を 20mm の間隔をあけて配置した。実際はあいじゃくりの重なり部分の摩擦等が効くと考えられるが、試験では実際より低い安全側の値が出るので問題ないとした。

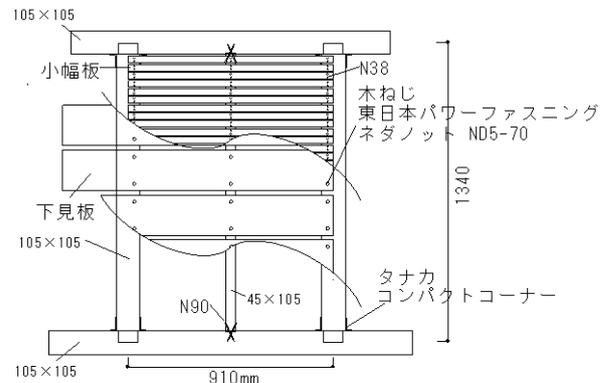


図1 試験体

表1 各試験体の平均比重

	軸組み トドマツ	下見板 スギ	小幅板 トドマツ
下見板1	0.38	0.34	—
下見板2	0.41	0.36	—
下見板3	0.45	0.39	—
下塗り1	0.38	—	0.44
下塗り2	0.41	—	0.44
下塗り3	0.46	—	0.44
中塗り1	0.39	—	0.40
中塗り2	0.41	—	0.40
中塗り3	0.47	—	0.40
両面張り1	0.39	0.34	0.43
両面張り2	0.41	0.36	0.38
両面張り3	0.46	0.39	0.38
下げお	0.39	—	0.43
面材	0.41	—	—

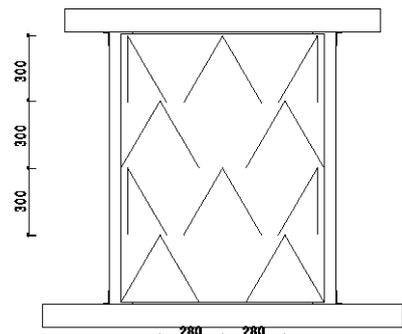


図2 下げお打ち

## 2.2 試験方法

無載荷の正負交番繰り返し加力で 1/450、1/300、1/200、1/150、1/100、1/75、1/50、1/30rad の各段階で 3 回繰り返し加力後、加力点側への一方向単調加力を行った。また、振れ止めを設置し加力方向以外への壁の動きを防止した。両面張り 3 体のうち 2 体（両面張り 2、3）はタイロッドを装着した。

## 3 試験結果

### 3.1 下見板張り壁

代表的な荷重-変形角曲線の例を図 3 に示す。6 種の試験体の中では一番剛性は低いが、1/10rad まで荷重は増え続け、荷重の増加が止まった後も高い耐力を維持し続けており、粘り強い壁であることが分かった。

### 3.2 木ずり漆喰塗り壁 下塗り

初期剛性は高く、1/100rad 程度で一旦 10% 程度の荷重が低下し、その後また増加した（図 3 (b)）。この荷重の低下は、変形角の増加に伴い漆喰が損傷したためである。剥離した漆喰は、ほぼ木ずり表面の漆喰のみで、木ずりの間の漆喰は残っていた。漆喰の剥離後も下見板張りと同様に最後まで荷重は伸び続け、粘り強い壁であることが分かった。

### 3.3 木ずり漆喰塗り壁 中塗り

初期剛性は下塗りよりも高く、面材張り並みであった。1/150~1/100rad で 50~60% 程度の荷重が低下し、その後また増加した（図 3 (b)）。この荷重の低下は、変形角の増加に伴いほぼ全ての漆喰が下地から剥離したためである。そして、全ての試験体で 1/30rad で全漆喰が一度に剥落した。この剥落した漆喰も、ほぼ木ずり表面の漆喰のみで、木ずりの小幅度板間の漆喰は残っていた。1/150~1/100rad 以降は、ほぼ木ずりとその間の漆喰のみの耐力である。それでも、最後まで荷重は増え続け、粘り強い壁であることが分かった。本実験中に最大荷重を迎えたものはなかったが、小幅度板の間に漆喰が入り込むことによって摩擦が効き、最大荷重を迎えた後も一定期間高い耐力を維持し続けるのではないかと考えられる。

### 3.4 両面張り壁

両面張りの最初の剛性は中塗りと同程度であり、変形角の増加に伴い漆喰の損傷が進み一旦耐力は低下したが、その後また増加した（図 3 (b)）。この耐力低下時の耐力・その後の耐力共に中塗りの耐力をやや上回っていた。また、下見板と中塗りを単純に加算したような荷重-変形曲線は得られなかった。両面張りには下見板・中塗りそれぞれの性質が大きく異なる為、加力した際に均等に荷重が分配されていないと考えられる。最初の荷重低下が見られるまでの剛性は中塗りと同面張りはほぼ等しいので最初は中

塗りの方に力がかかり、荷重の低下後つまり漆喰が剥離した後は木ずり（漆喰の下地）と下見板に荷重が分散していると考えられる。

### 3.5 下げお打ち

下げお打ちは漆喰の剥落を防ぐ効果はあるが、強度の増加にはつながらなかった。

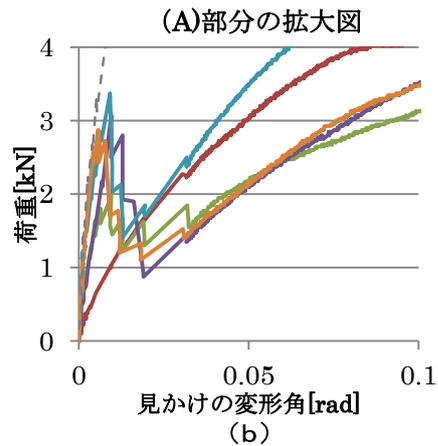
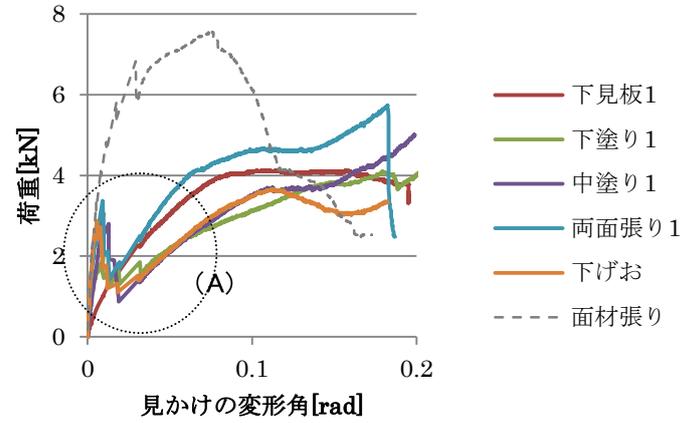


図3 代表的な荷重-変形曲線

### 3.6 壁倍率

下見板、下塗り、中塗り、両面張りについて完全弾塑性モデル置換による一般的な壁倍率評価<sup>2)</sup>を行った（表 2）。その際に、荷重変形曲線の特徴点抽出自動化ツール Pick Point（軽部、森林総研）を使用した。特定変形角はタイロッド装着のもの（両面張り 2、3）は真のせん断変形角 1/150rad、その他のものは見かけのせん断変形角 1/120rad で算出した。各壁倍率は特定変形時により決定され、両面張り 1.28 と耐震改修時に想定した 1.0 を上回る結果となった。

しかし、中塗り、両面張りでは漆喰の剥離により 50% 程度の耐力の低下が見られ、適正な降伏耐力  $P_y$ ・終局耐力  $P_u$ ・構造特性係数  $D_s$  を求められなかった。その荷重-変形曲線と完全弾塑性モデルの例を図 4 に示す。そこで中塗り、両面張りにおいて一

且荷重が最低まで低下した点より上の荷重（図6の破線部）を除いた荷重-変形曲線（図5の実線）を作成した。加工後のグラフは図5の破線部を除いただけであり危険側の結果は出ないので、これから壁倍率を算出した。これにより求められた壁倍率は中塗り0.53、両面張り0.92であり、両方とも特定変形時によって決定された（表3）。

この評価法では両面張りは耐震改修時の想定1.0を満たしていない。しかし、 $P_{max}$ に対して十分な安

全率があるので倒壊の危険性は低い。また、教会の聖堂ということで多少大きな変形が生じても一般の建築物のように家具など転倒による危険性は低い。さらに、現在定められている木張り壁の壁倍率0.5という値は1/60radの性能による値である<sup>3)</sup>ので今回使用した見かけの変形角1/120rad、真の変形角1/150radの性能は本来保障されているものではない。従って、多少変形が大きくなるが、倒壊の危険性は低く安全であると言える。

表2 壁倍率

	下見板			下塗り			中塗り			両面張り		
	Ave	短期基準せん断耐力	壁倍率									
$P_y$	2.38	2.21		3.17	2.61		3.21	3.16		5.58	4.62	
$P_u*0.2/D_s$	2.03	1.87		2.16	1.71		3.87	2.82		4.12	3.41	
$2/3*P_{max}$	3.13	2.96		3.59	3.18		3.43	3.38		6.17	5.17	
特定変形時	0.98	0.93	0.52	1.69	1.60	0.90	2.76	2.61	1.46	2.60	2.29	1.28

※特定変形時：見かけの変形角1/120rad時の荷重、タイロッド装着の両面張り2、3は真のせん断変形角1/150rad時の荷重  
壁倍率=短期基準せん断耐力/1.96/0.91

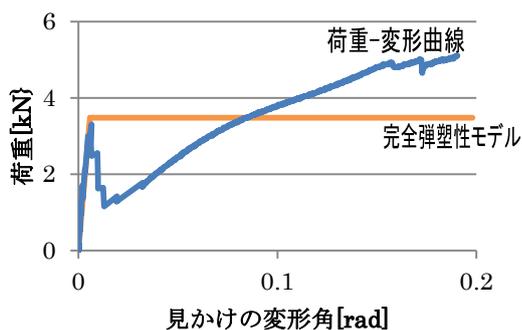


図4 不適切な評価の例(中塗り3)

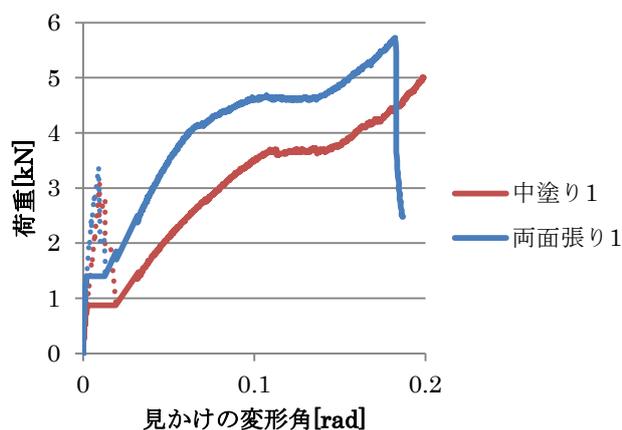


図5 加工後の代表的な荷重変形曲線

表3 グラフ加工後の壁倍率

	中塗り			両面		
	Ave	短期基準せん断耐力	壁倍率	Ave	短期基準せん断耐力	壁倍率
$P_y$	5.63	3.56		4.56	4.21	
$P_u*0.2/D_s$	1.16	0.96		2.52	2.28	
$2/3*P_{max}$	3.43	3.38		6.17	5.17	
特定変形時	1.00	0.94	0.53	1.82	1.64	0.92

### 3.7 漆喰

上塗りを省いたものであっても漆喰壁にある程度強度は期待できることが分かった。本試験では、下塗りにも中塗り用の漆喰を用いた。下塗り用の漆喰は中塗り用に比べ、硬度・曲げ強度を増加させるすさの割合が多く、硬度を増加させる骨材（砂）の割合が少ない。中村伸<sup>4)</sup>による下塗り用と中塗り用を比較すると、曲げ強度が約1.5~1.9倍、硬度が約0.77~0.97倍と、硬度に大きな変化はないが曲げ強度が増加している。さらに、漆喰の硬度・曲げ強度

は材齢とともに増加すると言われている。養生期間1週間ずつの本実験と比較して、実際の教会の壁の剛性はより高くなるのではないかと。

### 3.8 実大壁

本実験では壁高さを1340mmとしたが、実際の壁高さは3422mmである。この壁高さが、実際の壁倍率にどう影響するかを見ていく。

下見板張りでは、全体の仕事を  $U$ 、全接合部の仕事量とを  $U_j$  とすると、

$$U = \frac{P \times \delta}{2} = \frac{Ph\theta}{2}$$

$$U_j = 6n \times \frac{f \times s}{2} = 6n \times \frac{fr\theta}{2} = 3nfr\theta$$

$P$ : 壁にかかるせん断力

$\delta$ : 壁の水平変位

$h$ : 壁高さ

$\theta$ : 真のせん断変形角

$s$ : 木ねじのすべり量

$f$ : 木ねじにかかるせん断力

$r$ : 回転中心から木ねじまでの距離

$n$ : 下見板枚数

下見板 1 枚当たりの木ねじ数: 柱数  $\times$  柱 1 本  
当たりの木ねじ数 =  $3 \times 2 = 6$

全体の木ねじ数:  $6n$

となり、全体の仕事量と各接合部の仕事量の和は等しいので。

$$U = U_j$$

$$\frac{Ph\theta}{2} = 3nfr\theta$$

$$P = \frac{3nfr}{2h}$$

となる (図 6)。板の枚数  $n$  と壁高  $h$  さは比例しているの  
で、下見板張り壁は壁高さが変化しても強度に変化はない。実際の教会の壁は試験体と比較して壁高さは約 2.6 倍、板の枚数は 3 倍となっているので、 $P$  に若干の差は生じるが試験体の耐力と実大の耐力はほぼ等しいと言える。

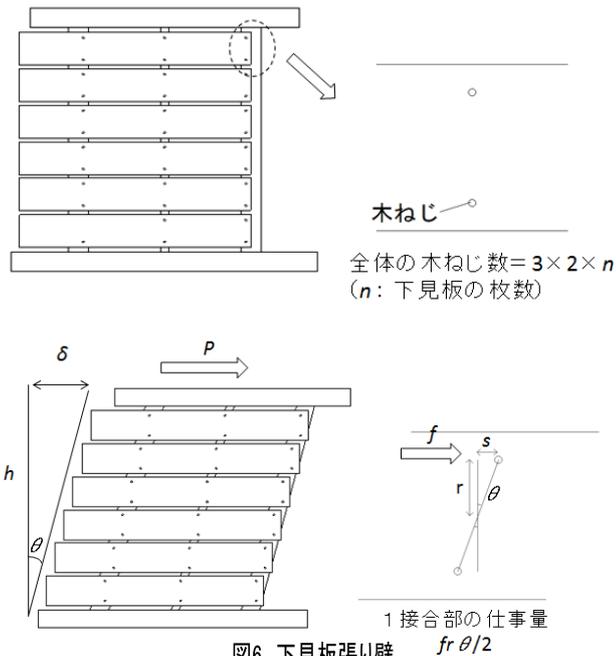


図6 下見板張り壁

木ずり漆喰塗り壁では、漆喰が剥離する前は面材壁に近いと考えられる。面材耐力壁は高さによる耐力の違いはあまりないと言われている<sup>5)</sup>。さらに、漆喰剥離後は木ずり壁として考えられる。木ずり壁は高さによる耐力の違いはないが、木ずりの間に漆喰が残っているため摩擦が生じ若干耐力は上がると思われる。よって木ずり漆喰塗り壁も試験体と実大の耐力はほぼ等しいと言える。

#### 4 まとめ

実験により下見板張り壁と木ずり漆喰塗り壁を合わせた耐力壁の壁倍率は 3.6 壁倍率で行った 2 種類の算出方法で 1.28、0.92 が得られた。実際のカトリック北一条教会では、漆喰・小幅板間の摩擦、下見板の摩擦、材齢を重ねた漆喰の強度により今回求められた壁倍率よりも若干高いと予想されるため、耐震改修時に想定された壁倍率 1.0 をほぼ満たしていることが確かめられた。今回の改修は大地震の倒壊防止を目標として行われていることを考えると、安全性は高いことが分かった。

#### 5 参考文献

- 1) 富高亮介・片山知実・平井卓郎・澤田圭: 日本木材学会北海道支部講演集第 43 号, 12-15 (2011)
- 2) 日本住宅・木材技術センター: 木造軸組み工法住宅の許容応力度設計 (2008 年版), 4-5 (2008)
- 3) 日本建築学会編: 木質系耐力壁形式構造に関する Q&A, 564-574 (2011)
- 4) 中村伸: 日本建築学会研究報告 (8), 156-159 (1950)
- 5) 平井卓郎・張沛文・入江康孝・若島嘉朗: 木材学会誌 45(2), 120-129 (1999)
- 6) 田邊平學・後藤一雄・菊田守雄: 交番水平加力を受くる木造有壁 (大壁) の実験, 建築学会論文集 (13), 210-219 (1939)
- 7) 田邊平學・勝田千利・後藤一雄: 交番水平加力を受くる木造有壁 (真壁) の実験, 建築学会論文集 (10), 建築学会論文集 (9), 130-139 (1938)
- 8) 藪原鉄之助: 左官実用百科宝典, ヤブ原出版部 (1952)
- 9) 平井卓郎・宮澤健二・小松幸平: 木質構造 [第三版], 東洋書店 (2009)