

近代木造建築に用いられる下見板張り壁の面内せん断試験

木質構造 耐力壁	近代木造建築 下見板	面内せん断試験 壁倍率	準会員 小川 俊樹*1 正会員 金澤 寛*3	正会員 光井 周平*2 非会員 牛坂 淳二*4
-------------	---------------	----------------	---------------------------	----------------------------

1. 緒言

近年、近代木造建築は歴史的な評価を受け、文化財としての価値が高まっている。その一方で、建てられてから長い年月が経過したことによる耐震性能の不足や建物の老朽化などの課題があり、建物を保存するためには耐震診断・耐震補強が必要とされる。既存の建物の耐震性能を評価する際に、一般的に使用される耐震診断法<sup>1)</sup>において下見板張り壁の壁基準耐力は記載されておらず、耐震性能の有無を含めて適切に評価されていないのが現状である。文献 2)によれば、幕末から昭和初期にかけて建設された近代木造建築のうち、外壁に下見板を用いたものが最も多いとされている。しかしながら、耐震診断時に下見板張り壁の耐力は一般には考慮されず、耐震性能が過小評価となって、過度な耐震補強が必要とされている可能性がある。

既往の研究<sup>3)</sup>においては、下見板張りの壁には 0.5 倍程度の壁倍率が見込まれるとされているが、縮小モデルを用いた実験であるため、実大サイズでの耐震性能は明らかになっていない。そこで、本研究では下見板張りを用いた壁の面内せん断試験を行い、下見板張り壁の力学的挙動の解明、壁基準耐力・壁倍率の評価を行うことを目的とする。

2. 試験体の概要および実験方法

試験体の概要および各部材の断面寸法を図 1 に示す。なお、これらの寸法は文献 4)に記載の「筋かい耐力壁の面内せん断試験方法」に準じており、柱頭は短ほぞ N90 ぐき 2 本打ち+羽子板ボルト締め、柱脚は短ほぞ N90 ぐき 2 本打ち+引き寄せ金物締めとした。短ほぞの寸法は、深さ 50mm、厚さ 30mm、幅 85mm としている。柱への下見板の釘止めの位置を図 2 に示す。下見板および釘の配置については、広島県江田島市に残る木造洋館である海友舎(旧江田島海軍下士卒集会所)<sup>9)</sup>の現地調査に基づき決定した。下見板は長さ 910mm のものを 16 枚使用し、重ね幅は 20mm として柱に釘止めした。

この試験体における水平載荷時の変形の仕方を考えたとき、それぞれの下見板を固定する釘が壁の変形を拘束する働きをすると考えられる。外力を受けて柱が傾斜する場合に、下見板は水平に保たれるものとするれば、試験体のせん断変形に伴って釘が変形する。そのため今回の

実験では、打ち込み長の異なる 2 種類の釘 N50 と N65 を用いた試験体の性能の比較を行い、釘長さが耐力に及ぼす影響について実験的に検証を行うため、試験体は下見板の釘止めに N50 を用いた試験体(シリーズ A)と N65 を用いた試験体(シリーズ B)をそれぞれ 3 体ずつ作製した。また、参考のために下見板を張っていない試験体(C)を 1 体作製した。樹種は柱・土台・間柱及び下見板にスギ、梁にペイマツを用いた。

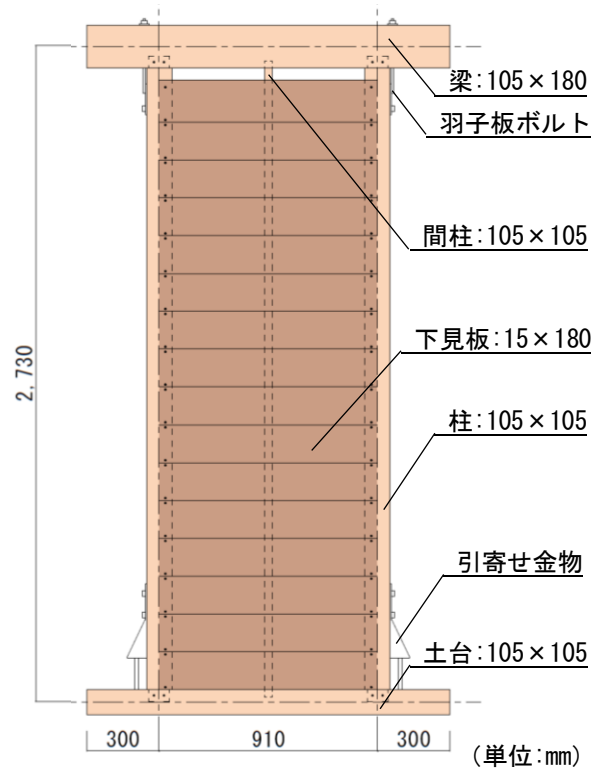


図 1 試験体の概要

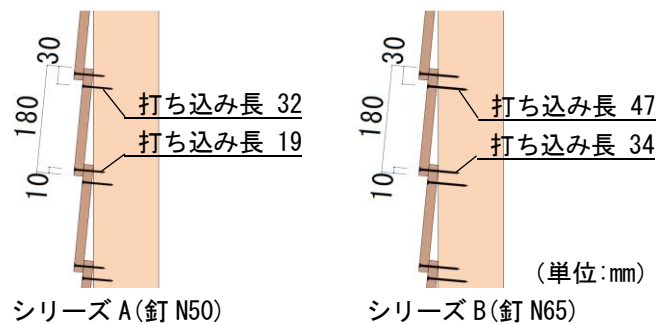


図 2 下見板断面と釘の位置

実験装置及び変位計の設置位置を図 3 に示す。実験は柱脚固定式もしくはタイロッド式とすることが文献 4) で規定されているが、今回は柱脚固定式を採用した。加力は梁に取り付けた油圧ジャッキにより手で水平方向に漸増振幅繰返し载荷を行った。各サイクルの目標変形角は、後述する見かけのせん断変形角が±1/450, 1/300, 1/200, 1/150, 1/100, 1/75, 1/50(rad)とし、各サイクル 3 回ずつ繰り返した。最大荷重に達した後、最大荷重の 80% の荷重に低下するか、もしくは試験体の変形角が +1/15(rad) に達するまで加力を行った。

変位の測定は図 3 に示す 4 箇所で行った。これら 4 つの変位により次のような変形角が得られる。

- ・見かけのせん断変形角  $\gamma$ (rad) :  
変位計①と変位計②の変位量の差を変位計間の鉛直距離(2730mm)で除した値。
- ・脚部の回転角  $\theta$ (rad) :  
変位計③と変位計④の変位量の差を変位計間の水平距離(910mm)で除した値。

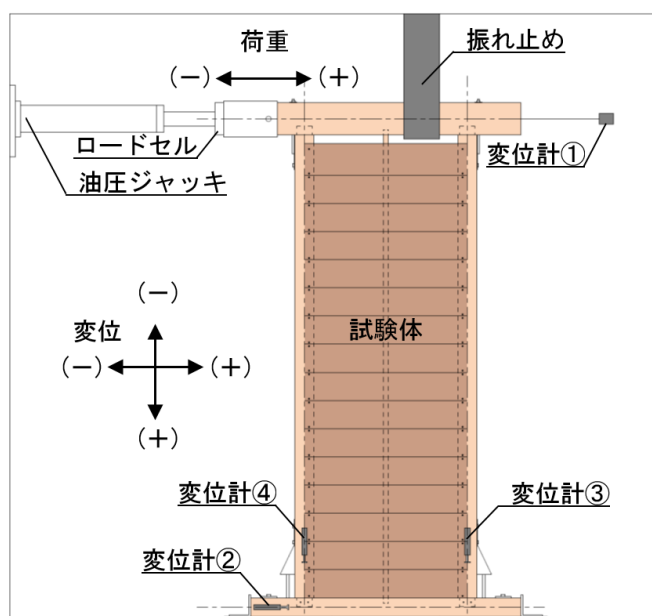


図 3 実験装置及び変位計の設置位置

### 3. 実験結果および考察

実験により得られた各試験体の実験結果を表 1 に示す。表を見ると、最大耐力の変形角はすべての試験体において +1/15(rad) の時となり、+1/15(rad) まで耐力の低下は見られなかった。シリーズ A に比べてシリーズ B では最大耐力は平均値で約 15% 高い結果となり、降伏耐力については約 10% 高い結果となった。

試験体 C と比較すると、最大耐力は、シリーズ A で 2.2 倍となり、シリーズ B で 2.7 倍となった。さらに、初期剛性については 3.5 倍程度に向上していることが分かる。

表 1 実験結果

試験体名	最大荷重時		降伏耐力時			
	最大耐力 (kN)	変形角 (rad)	降伏耐力 (kN)	降伏変形角 (rad)	初期剛性 (kN/rad)	
A	A-01	4.41	0.067	2.05	0.016	125.44
	A-02	5.16	0.065	2.41	0.013	191.88
	A-03	3.93	0.065	1.91	0.010	192.05
	平均	4.50	0.066	2.13	0.013	163.88
B	B-01	5.71	0.066	2.62	0.013	204.93
	B-02	5.38	0.066	2.34	0.013	176.09
	B-03	5.38	0.065	2.46	0.020	125.75
	平均	5.49	0.065	2.47	0.015	162.59
C	2.04	0.065	1.00	0.021	47.02	

荷重と変形角の関係を図 4 から図 6 にそれぞれ示す。また、包絡線を図 7 と図 8 示す。

荷重—変形角関係のグラフから、1/50(rad) 時の荷重において正負で最大で 0.5(kN) 程度の差がみられた。試験体は左右対称に作製したが、試験体にねじれが生じていたことや、金物の締め付けの具合、下見板の釘止めの精度などが要因となり、このような差が発生したものと推測される。

実験終了後、試験体を観察したところ、下見板の釘打ち部分から数カ所に割れが確認できた。また、下見板の下側を止める釘はせん断変形量大きいことと、打ち込み量が小さいことが影響し、釘の抜けも確認できた。変形によって発生する下見板の割れや釘の抜けが試験体の耐力に影響を及ぼすものと考えられる。

また、荷重—変形角関係の包絡線からシリーズ A、シリーズ B ともに荷重は最大変形角 +1/15(rad) まで増え続けており、粘り強く耐える壁であった。

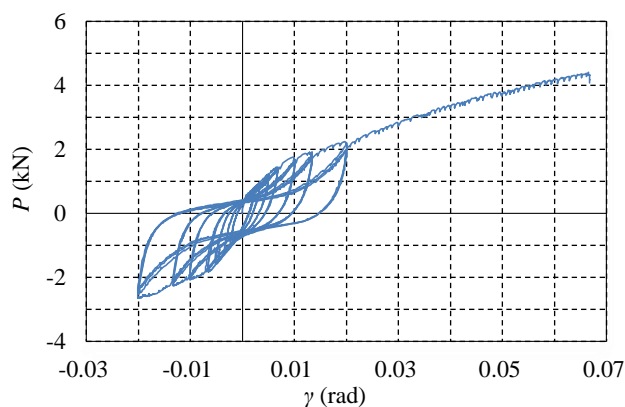


図 4 荷重—変形角関係 (シリーズ A-01)

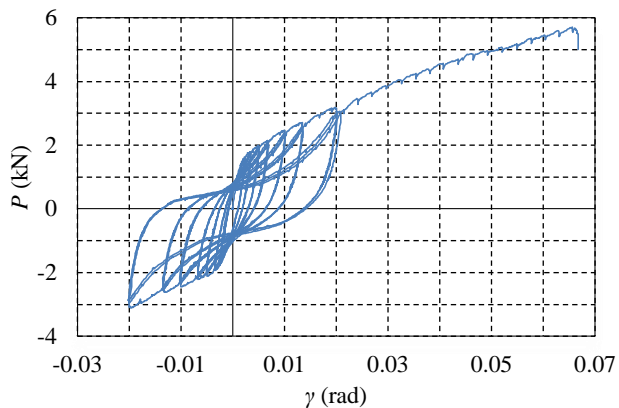


図5 荷重—変形角関係 (シリーズ B-01)

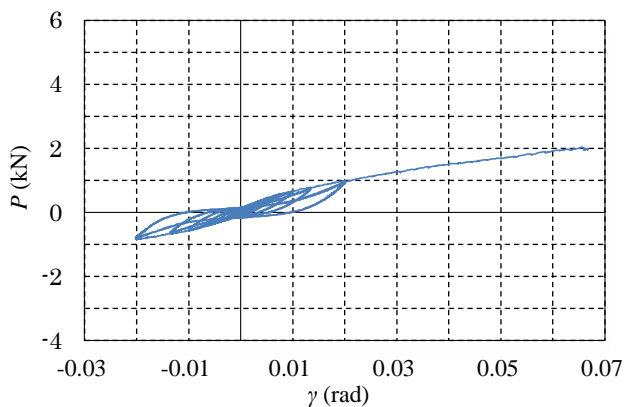


図6 荷重—変形角関係 (シリーズ C)

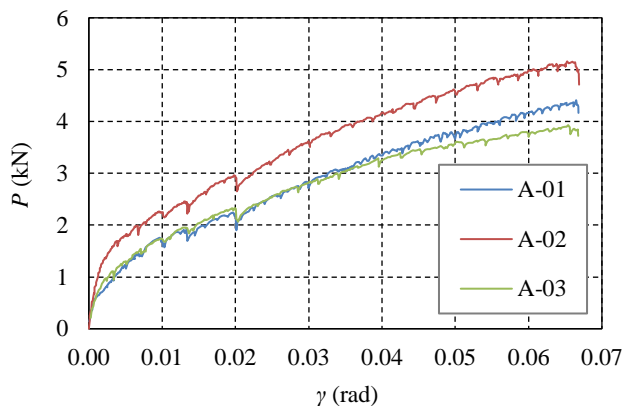


図7 荷重—変形角関係の包絡線 (シリーズ A)

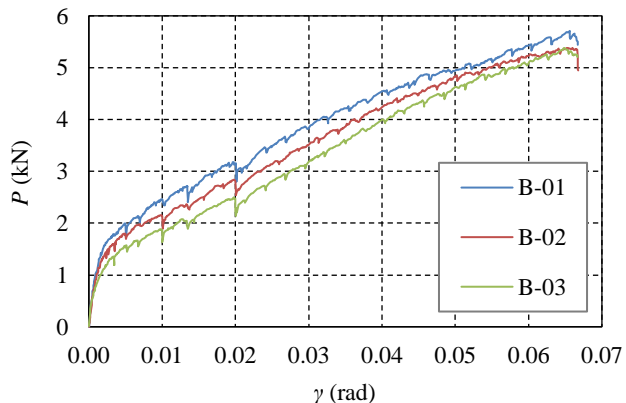


図8 荷重—変形角関係の包絡線 (シリーズ B)

表2 壁倍率の算定 (シリーズ A)

試験体名	$P_y$ (kN)	$P_u \times (0.2 \sqrt{2\mu-1})$ (kN)	$2/3P_{max}$ (kN)	$P_R$ (1/120rad) (kN)
A-01	2.06	—	2.93	1.57
A-02	2.41	—	3.41	2.13
A-03	1.91	—	2.59	1.62
平均値	2.13	—	2.98	1.77
標準偏差	0.21	—	0.34	0.25
変動係数	0.10	—	0.11	0.14
ばらつき係数	0.95	—	0.95	0.93
$P_a$	2.03	—	2.82	1.65
壁倍率	0.9			

表3 壁倍率の算定 (シリーズ B)

試験体名	$P_y$ (kN)	$P_u \times (0.2 \sqrt{2\mu-1})$ (kN)	$2/3P_{max}$ (kN)	$P_R$ (1/120rad) (kN)
B-01	2.68	—	3.79	2.31
B-02	2.35	—	3.57	2.07
B-03	2.50	—	3.57	1.78
平均値	2.51	—	3.64	2.05
標準偏差	0.14	—	0.10	0.22
変動係数	0.05	—	0.03	0.11
ばらつき係数	0.97	—	0.99	0.95
$P_a$	2.44	—	3.59	1.95
壁倍率	1.0			

シリーズ A, B の壁倍率を表 2 と表 3 に示す。なお、壁倍率については文献 4) に記載の通り図 9 に示すような手順で求めた。

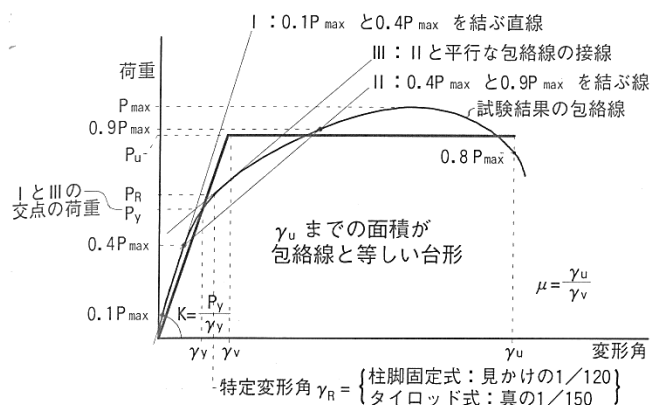


図9 包絡線から  $P_y$ ,  $P_u$  を求める方法<sup>3)</sup>

短期基準耐力  $P_0$  は(1.a)式から(1.d)式までに掲げる耐力について、それぞれ 3 体の試験結果の平均値にばらつき係数を乗じて算出した数値のうち最小の値とする。ばらつき係数は母集団の分布形を正規分布とみなし、統計的処理に基づく信頼水準 75% の 50% 下側許容限界値をもとに(2)式より求める。壁倍率として算出された数値は、0.5 から 5.0 までの範囲内の数値とし、小数第 2 桁を切り捨てることとする。

$$\cdot \text{短期基準耐力 } P_0 = \min \begin{cases} \text{降伏耐力 } P_y \cdots \cdots (1.a) \\ \text{終局耐力 } P_u \times 0.2\sqrt{2\mu-1} \cdots (1.b) \\ \text{最大耐力 } P_{max} \times \frac{2}{3} \cdots \cdots (1.c) \\ \text{特定変形角時の耐力 } P_R \cdots \cdots (1.d) \end{cases}$$

$$\cdot \text{ばらつき係数} = 1 - CV \cdot k \cdots \cdots (2)$$

CV: 変動係数  
k: 試験体数に依存する係数(n=3 の場合 0.471)

$$\cdot \text{短期許容せん断耐力 } P_a = P_0 \times \alpha \cdots \cdots (3)$$

$\alpha$ : 耐久性, 使用環境, 施工性の影響などを勘案して定める低減係数

$$\therefore \text{壁倍率} = \frac{P_a}{\text{壁長} \times 1.96[\text{kN/m}]} \cdots \cdots (4)$$

壁倍率の算定において 4 つの値から求めるが、終局耐力(1.b)式については、実験において変形角が+1/15(rad)に達するまでに最大荷重の 80% の荷重に低下しなかったため、今回は考慮していない。

シリーズ A とシリーズ B において、短期基準耐力  $P_0$  は特定変形角 1/120(rad)時の耐力  $P_R$  が最小値となり、壁倍率が算定された。このことから、初期剛性の低さが壁倍率の決定要因となっていることが分かる。壁倍率はシリーズ A で 0.9 倍、シリーズ B で 1.0 倍となった。

耐震診断時の壁量計算に用いる壁基準耐力については、シリーズ A が 1.8(kN/m)、シリーズ B が 2.1(kN/m)となった。文献 1) の診断法に記載されている壁基準耐力の中で、下見板張り壁の今回の実験結果と同等の耐力を持つ壁としては、住宅等の外壁材として利用される窯業系サイディングの 1.7(kN/m) や木ずり下地モルタル塗りの 2.2(kN/m) が挙げられる。

#### 4. 結 び

本報では、下見板張り壁の力学的挙動の解明、壁基準

耐力・壁倍率の定量的な評価を行うことによって耐震性能を明らかにすることを目的として、釘止めに打ち込み長の異なる 2 種類の釘 N50 と N65 を用いた試験体の比較を行って、釘長さが耐力に及ぼす影響について検証した結果について報告した。

得られた主要な知見は、以下の通りに要約される。

- 釘止めに N50 を使用した試験体に比べて N65 を使用した試験体で、最大耐力は平均値で約 15% 高い結果となり、降伏耐力については約 10% 高い結果となった。
- 筋かい壁と比較して、1/15(rad)まで変形しても耐力低下は見られず、粘り強く耐える壁であるという傾向がみられた。
- 下見板張り壁において N50 を使用した試験体で壁倍率 0.9 倍、N65 を使用した試験体で壁倍率 1.0 倍となり、既往の研究結果よりも高い壁倍率となった。

今回の結果を踏まえ、近代木造建築の適切な耐震性で評価を行うため、釘の配置、本数等の仕様が異なる場合の壁倍率や耐力に及ぼす影響について引き続き検討を行う。また、近代木造建築においては、建てられた時代の影響により、接合部を補強する金物等が使用されていない場合もあるため、建物の状態を再現した試験体での実験を実施する必要がある。

#### 謝 辞

本報に示した実験の実施に際しては、呉工業高等専門学校建築学科 5 年の山下大智君、瀧口将史君、松下菜緒さんの多大な協力を得た。ここに記して感謝の意を表す。

#### 参考文献

- 1) 日本建築防災協会編：2012 年改訂版 木造住宅の耐震診断と補強方法 指針と解説編, 2012
- 2) 松本直之, 佐藤利昭, 藤田香織：近代木造建築における外周壁構法の研究 その 1 構成要素の分析及び構造性能の実験的検証, 日本建築学会関東支部研究報告集 I, pp.485-488, 2012.3
- 3) 片山知実, 佐々木義久, 平井卓郎：西洋下見板貼り耐力壁のせん断性能評価, 日本木材学会北海道支部講演集, 第 45 号, pp23-26, 2013.11 および 片山知実：西洋下見板を使用した歴史的木造建築物の耐震補強, pp3-57, 2013
- 4) 日本住宅・木材技術センター：木造軸組工法住宅の許容応力度設計(2008 年版), pp60-62, 2008.12
- 5) 光井周平, 松本慎也, 谷村仰仕：江田島・海友舎の耐震性調査, 日本建築学会中国支部研究報告集, 第 38 号, pp.269-272, 2015.3

\*1 呉工業高等専門学校専攻科プロジェクトデザイン工学専攻 専攻科生  
\*2 呉工業高等専門学校建築学分野 助教・博士(工学)  
\*3 広島文化学園大学 准教授・博士(工学)  
\*4 呉工業高等専門学校技術センター 技術職員

\*1 Advanced Course Student, National Institute of Tech., Kure College  
\*2 Assistant Prof., National Institute of Tech., Kure College, Dr. Eng.  
\*3 Associate Prof., Hiroshima Bunka Gakuen Univ., Dr. Eng.  
\*4 Technical Staff, Tech. Center, National Institute of Tech., Kure College