

落とし込み板壁の性能評価

戸田 正彦 平間 昭光*¹ 佐藤 司*¹ 野田 康信

Performance of Wood Siding Wall Filled in Frame

Masahiko TODA Akimitsu HIRAMA Tsukasa SATO Yasunobu NODA

Racking tests of three type wood siding walls filled in frame (WSF) were conducted and the performance as a shear wall was evaluated.

- 1) The initial stiffness of a WSF was lower than that of a nailed plywood wall, but the ductility was greatly higher than that.
- 2) The initial stiffness of a vertically arranged WSF was higher than that of a horizontally arranged WSF. But the shear wall multiplier of a vertically arranged was not higher. On the other hand, all performances of the plywood wall filled in frame were higher than those of the WSF.
- 3) Applications of the formula for stiffness and yield load of WSF to the vertically arranged WSF and the plywood wall were successful for calculations of initial stiffness. But the calculation of yield load was only effective when the yield mode was properly estimated.

Key words: shear wall, racking test, dowel, wood-based panel
耐力壁, 面内せん断試験, だぼ, 木質パネル

落とし込み板壁の面内せん断試験を行い、耐力壁としての性能評価を行った。

- 1) いずれの落とし込み板壁も、合板張り大壁より初期剛性は小さかったが、靱性は大きく上回っており、非常にねばり強い変形性能が認められた。
- 2) 落とし込み板を縦に配置することによって、初期剛性は横に配置した場合を上回ったが、壁倍率は変わらなかった。また、合板を落とし込んだ場合には、すべての性能値が板壁よりも大きかった。
- 3) 板を縦に配置した場合および合板を使用した場合において「落とし込み板壁の剛性・耐力算定式」の適用を試みた。その結果、初期剛性は実験値と概ね一致していたが、降伏耐力は、破壊形態を適切に推定できた場合に有効に算定できた。

1. はじめに

優良な住宅ストックの形成や建設廃棄物の排出量削減などを目的とした「長寿命木造住宅整備指針」が平成14年に国土交通省によって策定されるなど、

近年、木造住宅の長寿命化への要求が高まりつつある。土塗り壁や面格子壁、落とし込み板壁などの伝統的な木造軸組構法は、部材の腐朽の抑制、可変性に富んだ空間の実現など、木造住宅の長寿命化を図

る上で参考にすべき点が多くあるが、構造耐力上の性能が必ずしも明確になっていない。このため、前記指針の策定の中で伝統的構法の構造耐力上の性能検証実験を行い、標準的な仕様と壁倍率が建設省告示第1100号に追加された。

これらの状況をふまえ、本研究では、接着剤を使用せずにだぼを用いたリユースが可能な木質系パネルの実用性・有効性を検討するため、北海道産材で構成される落とし込み板壁を作製し、面内せん断試験を行った。また、耐力壁としての性能を評価するとともに、「落とし込み板壁の剛性・耐力算定式」¹⁾を適用し、実験値との整合性を検討した。

なお、本研究の一部は日本建築学会大会（2004年8月、札幌）で発表した。

2. 試験体

試験体に使用した軸組材はトドマツ(105×105mm)、落とし込み板はカラマツ(30×90×805mm)、面材はカラマツ合板(厚さ28mm, 15mm)、だぼはミズナラ(10×80mm)である。試験体の寸法は、標準試験体寸法(幅1,820mm, 高さ2,730mm)の1/2程度とした。

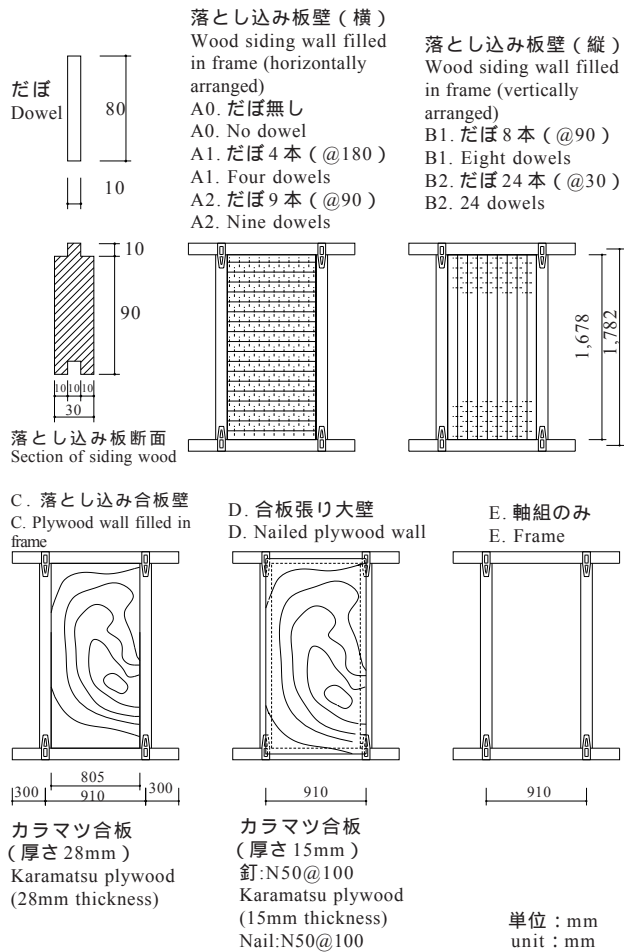
落とし込み板壁の仕様は、板を横配置した一般的なものに加えて、板を縦配置したものも作製した。板は軸組に落とし込む前にあらかじめだぼを打ち込んで組み合わせ、パネル化したあとに裁断し寸法を調整することによって、軸組とパネルとのクリアランスを無視できる程度とした。比較のため、落とし込み合板壁、合板張り大壁および軸組単体での試験を行った。いずれの落とし込み壁も釘による軸材への固定は行っていない。なお柱頭柱脚部はほぼ(30×60×50mm)およびZマーク同等金物(ホールドプレート)によって接合されている。試験体数は各条件とも1体である。

試験体の仕様を第1図に示す。

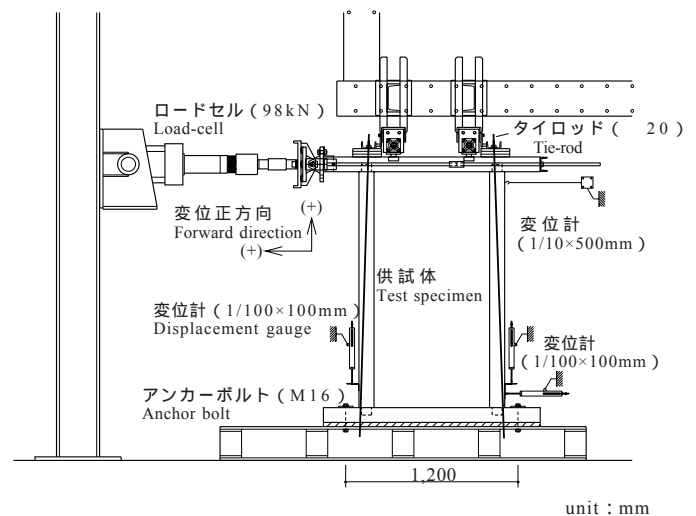
3. 試験方法

耐力壁の面内せん断試験および評価は、(財)日本住宅・木材技術センターが示す方法²⁾に準じて行った。加力方法は正負交番繰り返し加力とし、最大荷重に達したあと、最大荷重の80%の荷重に低下する

まで加力するか、試験体の真の変形角が1/15rad以上になるまで加力した。試験方法を第2図に示す。



第1図 試験体の仕様
Fig. 1. Specifications of specimens.



第2図 面内せん断試験方法
Fig. 2. Method of racking test.

第1表 面内せん断試験結果

Table 1. Results of racking tests.

No.	P_{max}	K	$P_{1/150}$	P_y	$0.2P_u/D_s$	N
A0	5.10	131.0	1.62	2.68	<u>1.54</u>	0.86
A1	14.08	358.3	<u>2.96</u>	7.78	5.64	1.66
A2	15.71	314.0	<u>3.22</u>	8.80	5.26	1.81
B1	10.10	514.1	3.95	5.35	<u>3.21</u>	1.80
B2	17.75	600.7	<u>5.24</u>	9.72	7.98	2.94
C	17.65	934.4	<u>7.20</u>	10.59	8.79	4.04
D	8.98	1313.3	6.99	4.98	<u>3.82</u>	2.14
E	2.24	48.1	<u>0.51</u>	1.34	0.87	0.29

凡例) No.: 第1図参照, P_{max} : 最大荷重 (kN), K : 初期剛性 (kN/rad), $P_{1/150}$: 変形角が 1/150rad 時の荷重 (kN), P_y : 降伏荷重 (kN), P_u : 終局荷重 (kN), D_s : 構造特性係数, N : 壁倍率
注) 下線は壁倍率の算出に使用した値

Legend) No.: See Fig. 1, P_{max} : Maximum Load, K : Initial stiffness, $P_{1/150}$: Load at the deformation angle 1/150rad., P_y : Yield load, P_u : Ultimate load, D_s : Structural characterization factor, N : Shear wall multiplier

Note) Underlined values used to calculate N

4. 結果

試験結果を第1表, 第3図に示す。

落とし込み板壁はいずれも合板張り大壁に比べて初期剛性は小さいが, 1/15rad (=0.0667) に至っても大きな荷重の低下は認められず, 靱性が大きいことが確認された。また, 得られた壁倍率は, 告示で示されている「0.6」を上回っているが, これは試験体が標準寸法よりも小さいために軸組自体の剛性の寄与率が大きくなったことが原因として挙げられる。

落とし込み板を縦に配置することによって横の場合よりも初期剛性を高めることができたが, ほぼ同じだば本数の場合 (A2 と B1) で比較すると壁倍率は同程度であった。

なお, 合板を落とし込んだ場合は, 剛性, 耐力とも板壁を上回っており, 壁倍率も最も大きい値となった。

5. 考察

「落とし込み板壁の剛性・降伏耐力の算定式」¹⁾ に基づき剛性および降伏耐力を計算した。

5.1 板壁の初期剛性

通常は水平力を負担しないものとして扱う軸組自体の初期剛性および壁倍率が本試験では無視できないため, 壁体の剛性の計算に関しては軸組の剛性も考慮して実験値との比較を行った。この場合, 落とし込み板壁の剛性は以下の式で計算される²⁾。

$$K = K_f + K_w \tag{1}$$

$$\frac{1}{K_w} = \frac{1}{K_d} + \frac{1}{K_s} + \frac{1}{K_a} + \frac{1}{K_c} + \frac{1}{K_b} \tag{2}$$

ここで

K : 落とし込み板壁の剛性

K_f : 軸組要素による剛性

K_w : 軸組内要素による剛性

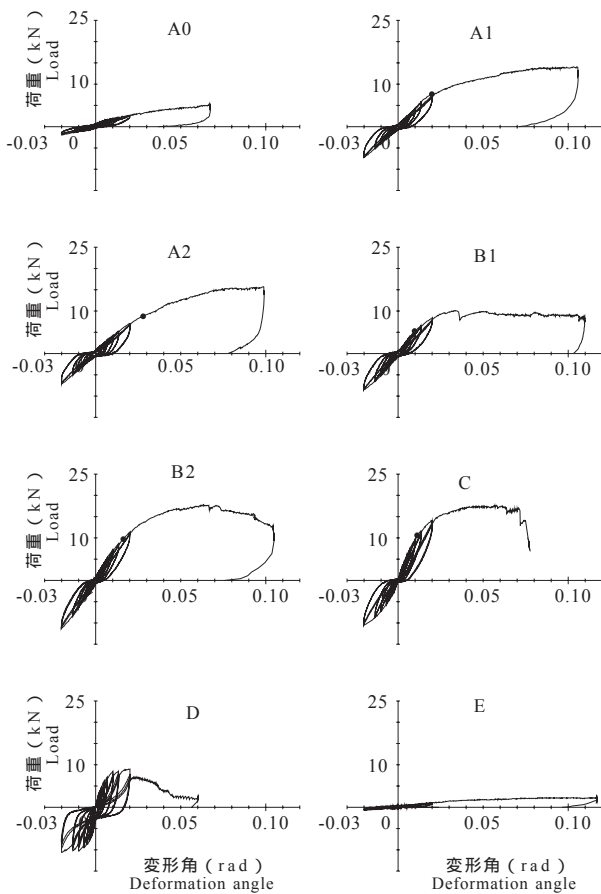
K_d : だばのせん断による剛性

K_s : 板材のせん断による剛性

K_a : 板の圧縮筋かいゾーンの縮みによる剛性

K_c : 板端部の柱へのめり込みによる剛性

K_b : 板端部の横架材へのめり込みによる剛性



第3図 荷重 - 変形角の関係曲線

Fig. 3. Curves of relation between load and deformation angle.

注) A0 ~ E: 第1図参照

Note) A0 ~ E: See Fig.1

K_f は今回の試験体Eの実験値を用いた。 K_w を構成する各要素の K の算出方法については文献¹⁾に詳しく示されている。

ここでは、板の方向を縦にした場合および合板を用いた場合に考慮すべき箇所についてのみ言及する。

5.1.1 K_s

板材のせん断弾性係数 G は繊維平行方向のヤング係数 $E_{//}$ の 1/15 とした。また合板の G は既往の実験値³⁾を用いた。

5.1.2 K_a

対角方向の圧縮剛性は、板を変断面筋かいとみなし、対角方向のヤング係数 E を $E = 1/50 \cdot E_{//}$ と仮定して、ハンキンソン式を用いて計算した。ここで第4図に示すように $\tan \theta = H/L$ であり、 E は繊維直角方向の、 $E_{//}$ は平行方向のヤング係数である。これより、横配置の場合は

$$E_{\theta} = \frac{E_{//} \cdot E_{\perp}}{E_{//} \sin^2 \theta + E_{\perp} \cos^2 \theta} = \frac{E_{//}}{50 \sin^2 \theta + \cos^2 \theta} \quad (3)$$

また、縦配置の場合は

$$E_{\theta} = \frac{E_{//}}{\sin^2 \theta + 50 \cos^2 \theta} \quad (4)$$

となる。なお、板材の $E_{//}$ は縦振動法で測定した値を用いた。

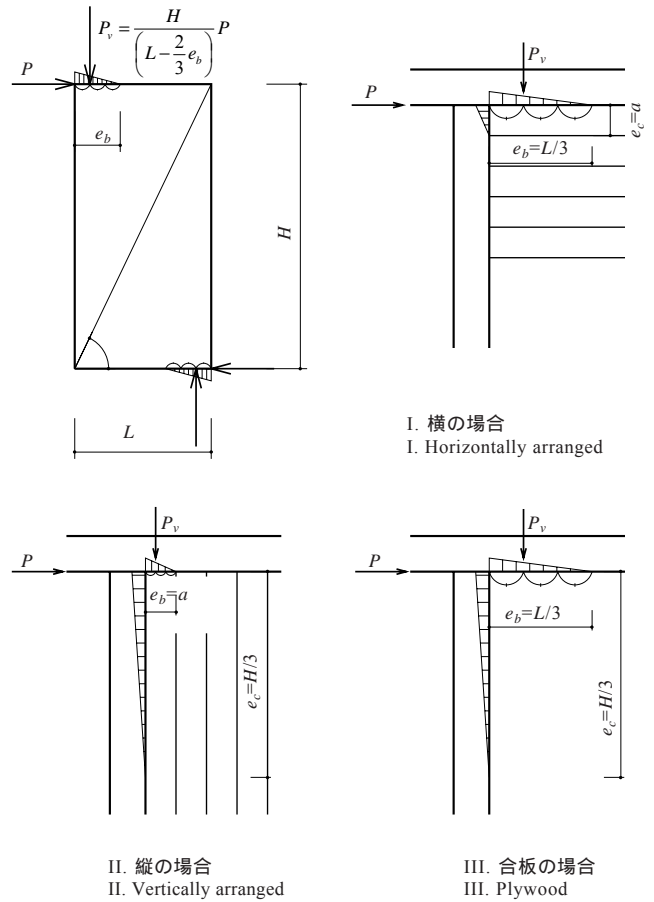
また、合板の場合は、単板の繊維直角方向のヤング係数を繊維平行方向のヤング係数 $E_{v//}$ の 1/50 と仮定し、各方向の単板の占める断面積 $A_{//}$ 、 A_{\perp} を考慮して以下の式で計算した。

$$E_{\theta} = \frac{E_{v//}}{(A_{//} + A_{\perp})} \left(\frac{A_{//}}{50 \sin^2 \theta + \cos^2 \theta} + \frac{A_{\perp}}{\sin^2 \theta + 50 \cos^2 \theta} \right) \quad (5)$$

ここで、単板の $E_{v//}$ は、棒状に切り取った試験体を用いて縦振動法で測定した合板のヤング係数から計算した。

5.1.3 K_c, K_b

板端部の柱および横架材へのめり込みによる剛性は、解説書¹⁾では板を横に配置した場合の板壁の計算方



第4図 めり込み範囲

Fig. 4. Partial compressive area.

注) P : 荷重, P_v : 鉛直方向に発生する荷重, H : 試験体せい, L : 試験体幅, e_b : 板端部の横架材へのめり込み範囲, e_c : 板端部の柱材へのめり込み範囲

Note) P : Load, P_v : Vertical load from P , H : Height of specimen, L : Width of specimen, e_b : Embedding area of beam or sill by edge of siding wood, e_c : Embedding area of column by edge of siding wood

法が示されており、第4図Iに示すように、横架材に三角形変位めり込みを生じる範囲 (e_b) を板長さの 1/3、柱材での範囲 (e_c) を板幅と仮定している⁴⁾。また横架材でのめり込み荷重は、回転モーメントの釣り合いとめり込み範囲を考慮して計算されている。

本研究では、縦に配置した場合の三角形変位めり込み範囲は、 e_b を板幅、 e_c を板長さの 1/3 (第4図II) と仮定した。また合板の場合は e_b を合板幅の 1/3、 e_c を合板長さの 1/3 (第4図III) と仮定した。横架材へのめり込み荷重 P_v は、回転モーメントの釣り合いおよびめり込み範囲を考慮すると $HP / (L - 2e_b/3)$ となる。軸組材の E は、試験体と同じロットの材料の全面横圧縮試験による値を用いた。

5.1.4 K_d

だばによるせん断剛性 K_d は、板幅を a 、だば 1 本のせん断剛性を k_d 、だば本数を n_d とすると

$$K_d = a k_d n_d$$

となる。

なお、板を横に配置した場合にだばが負担するせん断力を P とすると、縦の場合は回転モーメントの釣り合いから $P \cdot H/L$ となる。

k_d およびだば 1 本の降伏耐力 P_y はだば接合部のせん断試験を行って求めた。

5.1.5 計算結果

各 K を算出するに当たって使用した構成材料の性能値を第 2 表に示す。

K_w および各要素の K の計算値を第 3 表に示す。

板を縦に配置することによって、横の場合よりも E が大きくなり、筋かいとしての剛性 K_a が 4 倍に

第 2 表 試験材料の性能値
Table 2. Properties of member.

k_d	2.13(kN/mm)	$E_{//}$	11.4(kN/mm ²)
P_y	6.96(kN)	$E_{v//}$	11.1(kN/mm ²)
G	0.76(kN/mm ²)	G_{PW}	0.56(kN/mm ²)

凡例) k_d : だば 1 本のせん断剛性, P_y : だば 1 本の降伏耐力, G : 板材のせん断弾性係数 (=1/15 $E_{//}$), $E_{//}$: 板材の繊維方向ヤング係数, $E_{v//}$: 単板の繊維方向ヤング係数, G_{PW} : 合板のせん断弾性係数

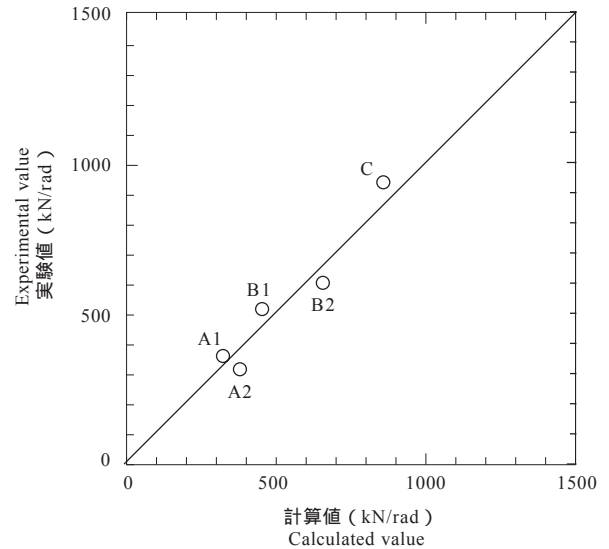
Legend) k_d : Stiffness of the dowel, P_y : Yield load of the dowel, G : Modulus of shearing elasticity of wood (=1/15 $E_{//}$), $E_{//}$: Modulus of elasticity of wood parallel to the grain, $E_{v//}$: Modulus of elasticity of veneer parallel to the grain, G_{PW} : Modulus of shearing elasticity of plywood

第 3 表 各要素のせん断剛性
Table 3. Shearing stiffness of components.

unit: 10⁶N/rad

No.	K_f	K_w	K_d	K_s	K_a	K_c	K_b
A1	0.08	0.25	0.77	18.4	0.45	7.44	3.97
A2		0.31	1.73				
B1		0.38	0.74		1.80	46.2	1.59
B2		0.58	2.21				
C		0.78	()		12.6	1.09	44.7

凡例) (1), (2) 式参照
Legend) K_f : Stiffness of frame; K_w : Stiffness of infill; K_d : Stiffness of dowel shearing; K_s : Stiffness of siding wood shearing; K_a : Stiffness of compressive brace zone; K_c : Stiffness of bearing of siding wood edge into column; K_b : Stiffness of bearing of siding wood edge into beam or sill



第 5 図 初期剛性の計算値と実験値との関係
Fig. 5. Relationship between experimental value and calculated value of initial stiffness.

なっている。また、柱材へのめり込み剛性 K_c も、めり込み範囲が大きくなったために約 6 倍に増加している。

この板壁の初期剛性の計算値と実験値との関係を第 5 図に示す。

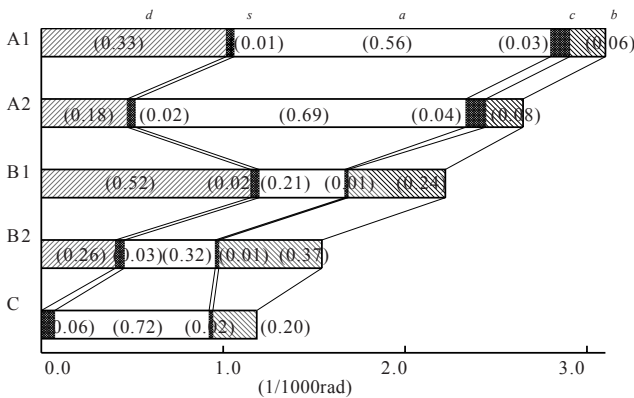
いずれも実験値と計算値とはおおむね一致しており、剛性算定式は落とし込み壁全般に適用可能と考えられる。

1kN の荷重が加わったときの变形角および各要素の变形分担率を第 6 図に示す。

だばの本数を増やすことによってだば变形による分担率が小さくなっているのが分かる。また、ほぼ同じだば本数である A2 と B1 とで比較すると、板を縦に配置することによって筋かいの圧縮による分担率が 0.69 から 0.21 へ、逆にだばのせん断が 0.18 から 0.52 へ変化しており、板の配置によって分担率が大きく異なることが明らかとなった。

一方、合板の場合は、だばの变形がないために、筋かいの圧縮による变形が 0.72 を占めている。

なお、試験体 A0 ではだばがないために計算上は $K_w=0$ となり、軸組のみの試験体 E と同じ剛性になるはずであるが、実験では 80kN/rad 程度の剛性の増加が認められている。これは板材同士の摩擦による剛性への影響であると考えられる。



第 6 図 変形角と変形分担率

Fig. 6. Deformation angle and sharing ratio.

凡例) d : だばのせん断による変形分担率, s : 板材のせん断による変形分担率, a : 板の圧縮筋かいゾーンの縮みによる変形分担率, c : 板端部の柱へのめり込みによる変形分担率, b : 板端部の横架材へのめり込みによる変形分担率, () の数値: 変形分担率
 Legend) d : Ratio of deformation () by dowel shearing, s : by shearing of siding wood, a : by compression of brace zone, c : by bearing of siding wood edge into column, b : by bearing of siding wood edge into beam or sill, value in (): Sharing of deformation

5.2 板壁の降伏耐力

算定式¹⁾では、だばが降伏する場合と、板の端部が圧縮破壊に至る場合の 2 通りのうち小さい方を板壁の降伏耐力としている。

本研究では、軸組による荷重負担を考慮しているため、各要素の降伏耐力に軸組内要素の剛性負担率の逆数 (K/K_w) を乗じたものを降伏耐力とした。

5.2.1 だばが降伏するときの耐力

だば 1 本の降伏せん断耐力を P_y とすると、だばの降伏荷重 P_{yd} は

$$P_{yd} = n_d \cdot P_y \quad (6)$$

となる。初期剛性の計算と同様に、縦配置の場合にはだばが負担するせん断力が横配置とは異なることを考慮した。

5.2.2 板の端部が圧縮破壊に至るときの耐力

算定式¹⁾では、板の圧縮筋かいゾーンの上下 5% 端部領域が全塑性圧縮に達するときの耐力としている。板材の対角方向の強度 F は、小試験片による繊維平行方向および直角方向の圧縮実験値を用いてハンキンソン式から計算した。また合板の場合は、 0° , 45° , 90° 方向の小試験片の圧縮実験値を用いて、単板の構成を考慮してハンキンソン式から計算した。

第 4 表 降伏耐力の実験値と計算値

Table 4. Experimental values and calculated values of yield load.

No.	計算値	
	実験値	計算値
	Experimental value	Calculated value
	P_{yexp}	P_{yd} P_{ya}
A1	7.78	<u>9.1</u> 13.0
A2	8.80	19.6 <u>12.5</u>
B1	5.35	<u>8.0</u> 43.1
B2	9.72	<u>22.7</u> 40.6
C	10.59	- <u>41.0</u>

凡例) P_{yexp} : 実験値 (kN), P_{yd} : だばの降伏荷重 (kN), P_{ya} : 圧縮ゾーンの降伏耐力 (kN)
 注) 下線は降伏耐力となる値
 Legend) P_{yexp} : Experimental value, P_{yd} : Dowel yield load, P_{ya} : Compressive yield load
 Note) Underlined values are yield loads

5.2.3 降伏耐力の計算結果

計算結果を第 4 表に示す。

板を横に配置した板壁では実験値の 1.5 倍以下の計算値が得られた。また縦の場合も、だばが 8 本 (B1) の場合は同様の値であった。しかし 24 本 (B2) のときは、柱脚部の金物の破断によって終局耐力が決定されたために、降伏耐力をだばの降伏荷重から推定した計算値のほうが実験値の 2 倍を超える値となっている。同様に金物が破壊した合板の場合も、合板の圧縮破壊によって推定された降伏耐力が、実験値の 4 倍程度と非常に大きくなっている。したがって、降伏耐力の算出は、破壊形態を適切に推定することが重要であると考えられる。

6. おわりに

本実験で検討した落とし込み板壁の壁倍率は、ほとんどが各構成要素の降伏耐力ではなく、初期剛性によって決定されている。このように伝統的構法による耐力壁は、変形に対して粘り強い性能を持つが、初期剛性が小さいために、壁倍率は釘と面材を用いた大壁や接着パネル壁よりも低く評価されているのが現状である。しかし、木造住宅の長寿命化の可能性や部材の再利用の容易性、木材が多く露出することによって得られる精神的な安らぎなど、伝統的構法には他の構法では得難いメリットが数多く存在している。これらの潜在している能力を發揮する

ためにも、今後は加工・施工精度を高めて初期剛性の向上を図ることが求められる。

文 献

- 1) (財)日本住宅・木材技術センター：“土塗壁・面格子壁・落とし込み板壁の壁倍率に係る技術解説書”，土塗壁等告示に係る技術解説書作成編集委員会(2004)
- 2) (財)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”，(財)日本住宅・木材技術センター(2004)

- 3) 大橋義徳ほか3名：第52回日本木材学会大会研究発表要旨集，196(2002)
- 4) 稲山正弘，村上雅英，竹村雅行：日本建築学会大会学術講演梗概集(北陸)，383(2002)

- 性能部 構造性能科 -
- * 1 : 性能部 性能開発科 -
(原稿受理：04.09.21)