木質壁パネルの強度性能*

山井良三郎**

Studies on the Structural Performance of Wood Based Wall Panels

by

Ryozaburo YAMAI

(The Government Forest Experiment Station, Tokyo)

Tests were carried out to examine the influence of the construction variables on the structural performance of load-bearing wall panels used in prefabricated wooden houses.

Six types of framings were constructed of spruce wood (Fig. 1), and the framing members were cut out for each section, 4.5 by 7 cm, except for the bottom members, which were each 7 by 7 cm (Fig. 2). The skin materials of 6 mm lauan plywood were jointed on both sides or on one side of the framing according to the type of the specimens.

In Figs. 4, 5 and 8 the schemata of loading specimens are shown respectively. The bending tests were carried on over the span of 220 cm with the load applied at each quarter point. The racking tests were performed without installation of the tie rods as of ASTM standard. The loading was repeated with increased load till a certain specific stage was reached and still continued evenly to the failure of the material (Fig. 7). The compression tests were performed of the specimens, except specimens SR₁, with the load applied on their center line of thickness of the specimens, using the knife edges on both their ends as equipment. The specimens SR₁ were tested in accordance with ASTM standard. The results of these tests are summarized as follows:

In the bending tests the ratio of the observed flexural rigidity to what was calculated is various with the arrangement of framing members, the method of plywood-timber joints and the form of stressed skin construction (Tables I, III and IV). This fact shows that the effective breadth of the skin has considerable effect on the flexural resistance of the panel.

In the racking tests on glued and nail-glued specimens without opening it is shown that the racking load is little affected by the difference in the framing construction, so long as the deformation at the upper end is horizontally equal to 1/100 of the height of panel ($P_{1/100}$ kg/m) (Table II). The racking resistance of nailed specimens is weaker than that of glued specimens (Tables II, III and Fig. 7).

In the racking tests of specimens with opening the position of the opening makes larger difference to the racking resistance than the opening ratio does (Table III and Fig. 3). The glued specimens (SRC, ERD, SRG) being equipped with powerful plywood skin and reinforced frame around the opening, show but little decrease in the racking resistance.

In the compression tests it is shown that the buckling load increases so far as there is increase in the vertical members of framing. The value of the buckling load calculated by Euler's formula for the pin end column, substituting the observed flexural rigidity, is in good agreement with what was observed, though with a few exceptions (Table IV).

(Received Aug. 24, 1971)

1 緒 言

最近の木質系工業化住宅では、工場生産方式による構造部品の利用が著しく増加し、その合理的な設計と性能評価が重要な問題となっている。しかし、これらの部品の性能は、その使用状態における構成部材や接合部の力学的挙動が必ずしも明確にされていないため、

解析的手法によって予想することが困難な場合が多い。したがって、現状では個々の設計に応じた実物を試作し、その試験結果から性能を判定しているが、その場合も既病対症的な資料にとどまり、製造基準¹⁾の確立や性能評価の標準化に有効な系統的資料の蓄積はきわめて少ない。

筆者は当场における“建築用木材の部材化に関する試験研究”の一環として、耐力壁となる合板パネルを

* 原稿受理 昭和46年8月24日

** 農林省林業試験場 東京都目黒区下目黒

対象に、主としてその下地となる骨組材の構成および骨組材と表面材の接合方法がパネルの曲げ、せん断、圧縮の諸性能におよぼす影響を実験的に検討してきたので、その結果の一部を報告する。

2 試料および実験方法

2・1 試料

試験体のみかけの寸法は幅を 90 cm、高さを 240 cm、厚さを両面合板張りの場合 8.2 cm、片面合板張りの場合 7.6 cm とした。骨組材の樹種はスプルスで、その断面は下枠を 7×7 cm、その他を 4.5×7 cm に統一した。表面材はいずれも厚さ 6 mm (1.5+3.0+1.5 mm) のラワン²⁾の 1 類合板である。

これらを各種のパネルに構成する前に、すべて曲げヤング係数を測定し、1 個のパネルにおいて、縦方向の骨組材(縦枠、縦棧)のヤング係数がほぼ均等であること、また表裏面の合板のヤング係数がほぼ均等であることを条件に配置した。

骨組構成は Fig. 1 に示した 6 種類で、A, S, B, は縦棧型、C, D は横棧型、E は格子型と通称されている。

Fig. 1. Types of framing.

Fig. 2. Panel details.

Fig. 3. Types of panel with opening.

(x mark expresses each piece of plywood)

る。周囲の枠材相互および棧木が枠材に接する部分には、Fig. 2 に示したように N90 の普通釘 2 本を外周から打込んだ。なお、格子型の骨組で縦棧と横棧が交わる部分は、縦棧を 2 cm、横棧を 5 cm 切欠いて接合し、N25 の普通釘 1 本で留めた。

表面材と骨組材との接合には、レゾルシノール樹脂接着剤を用いて圧縮した場合 (R)、普通釘を打った場合 (N)、上記接着剤塗布のうえ、N25 の普通釘を約 7.5 cm 間隔に打って接着した場合 (NR) とがある。なお、釘打ちパネルについては、Fig. 3 に示した開口部をもつ一連の実験の場合のみ、N38 の普通釘を約 15 cm 間隔に打ったが、その他の場合はすべて N25 の普通釘を約 7.5 cm 間隔に打った。

2・2 実験方法

この実験はつぎの 3 つのシリーズに大別される。

- (1) 無開口パネルを対象に同一試験体で曲げ剛性試験、せん断試験、曲げ破壊試験の順に行なったもの(曲げ剛性試験終了後曲げ破壊試験を行なったものをふくむ)。
- (2) 開口パネルを対象に曲げ剛性試験終了後せん断試験を行なったもの。
- (3) 無開口パネルを対象に曲げ剛性試験終了後圧縮試験を行なったもの。

2・2・1 曲げ試験 Fig. 4 に示したように、スパンを 220 cm とし、4 分点に 2 点荷重方式で線荷重を加えた。

2・2・2 せん断試験 Fig. 5 および 6 に示したよ

Fig. 4. Bending test.

Fig. 5. Racking test.

Fig. 6. Panel connection to base (steel plate).

うに、剛な荷重枠の下台に設置した鋼製板上に試験体を直立させ、その下枠と鋼製板を直径 13 mm の引張ボルト（座金寸法、50×50×6 mm）2 本で緊結し、試験体の頂部に能力 4 ton（2 ton 切替可能）の油圧試験機で水平荷重を加えた。

負荷の要領は、Fig. 7 に示したように残留変位を測定するため、ある荷重階までは片振りの増加繰返し方式を採用し、その後は連続的に荷重を加えた。

Fig. 7. Load-deformation diagrams for specimens subjected to racking test.

2・2・3 圧縮試験 Fig. 8 に示したように、両端にナイフエッジを持つ圧縮装置を試作し、試験体の厚さの幾何学的中心とナイフエッジの線とが一致するようにセット（座屈長=256 cm）して加圧した。なお、SR_I の試験体については ASTM の試験法にしたがって、圧縮装置の下盤を水平に支持し、その上に試験体を直立させ、上端部をその厚さの 1/3 の線に沿って加圧した（1/6 偏心）。

負荷の要領はある荷重階まで増加繰返し方式を採用し、その後は連続的に荷重を加えて破壊させた。

Fig. 8. Compression test.

Table I. Results of bending tests on wall panels without opening.

Type of specimens		Flexural rigidity (kg·cm ²)			Ratio $\frac{EI_L}{EI_o}$	Moment (kg·cm)		Ratio $\frac{M_p}{M_{max}}$	Number of specimens
		Calculated value EI_o	Observed value EI_L^{*4} EI_l^{*5}			Proportional limit M_p	Maximum M_{max}		
Mark	Skin	$\times 10^6$	$\times 10^6$	$\times 10^6$		$\times 10^3$	$\times 10^3$		
A R *1	Double	264	173	184	0 66	101	169	0 61	3*6
S R	Double	250	155	166	0 62	73	135	0 54	3*6
B R	Double	234	125	137	0 53	41	104	0 40	3*6
C R	Double	233	96	110	0 43	47	87	0 53	3*6
D R	Double	223	90	103	0 40	33	84	0 39	3*6
E R	Double	236	149	166	0 63	74	124	0 60	3*6
S N *2	Double	248	100	115	0 40	—	105	—	1
D N	Double	229	58	74	0 25	—	53	—	1
E N	Double	241	105	102	0 44	—	78	—	1
SNR*3	Double	252	149	163	0 59	72	143	0 50	1
DNR	Double	224	93	104	0 42	33	85	0 39	1
ENR	Double	240	150	163	0 62	78	133	0 59	1

*1 R Gluing with resorcinol resin adhesive

*2 N Nailing with N25 common wire nails spaced 7 5cm

*3 NR Nail-gluing (R+N)

*4 L Span=220cm

*5 l Distance between loading points=110cm (G L=50cm)

*6 The values of moment were measured after racking test except one specimen

Table II Results of racking tests on wall panels without opening

Type of specimens		Panel No	Racking load ^{*1}		Ratio $\frac{P_{1/100}}{P_{max}}$
			$P_{1/100}^{*2}$ (kg/m)	P_{max} (kg/m)	
A R	Double	1	1 670	2 890	0 58
		2	1 730	2 110	0 82
S R	Double	1	1 340	2 055	0 65
		2	1 600	3 220	0 50
B R	Double	1	1 380	1 800	0 77
		2	—	835	—
C R	Double	1	—	1 110	—
		2	1 230	1 700	0 72
D R	Double	1	1 260	2 010	0 63
		2	900	1 910	0 47
E R	Double	1	—	945	—
		2	1 290	1 555	0 83
S N	Double	1	550	665	0 83
D N	Double	1	485	550	0 88
E N	Double	1	670	700	0 96
SNR	Double	1	1 160	1 445	0 80
DNR	Double	1	1 210	2 000	0 61
ENR	Double	1	1 730	2 500	0 69

*1 The values are expressed by kg per meter of panel breadth.

*2 Load when horizontal deformation at upper end=1/100 of height.

3 試験結果と考察

無開口パネルの曲げ試験結果を Table I, そのせん断試験結果を Table II, 開口パネルの曲げ剛性とせん断試験結果を Table III, 無開口パネルの曲げ剛性と圧縮試験結果を Table IV に総括して示した。

3・1 曲げ性能

パネルの曲げ剛性をスパンに平行な縦方向の骨組材と表面材の曲げ剛性の和と考え、次式

$$EI_{\text{panel}} = EI_{\text{frame}} + EI_{\text{plywood}}$$

により計算値 EI_o を求め、これと全スパンに関する実測値 EI_L との比 (EI_L/EI_o) を検討した。なお、開口パネルの場合はスパン方向に連続していない縦椀および開口部の幅に相当する部分の合板はすべて計算の対象外とした。

この比を無開口パネルについてみれば、接着パネル (R, NR) は釘打ちパネル (N) より大きく、縦椀型 (A, S, B) は横椀型 (C, D) より大きい。縦椀型では縦椀の本数が増加するほど、また、横椀型では横椀の本数が増加するほどやや大きくなる傾向がみられる。両面パネルは片面パネルより小さい。

開口パネルについては、試験体の個数および計算方法に問題はあるが、開口比が 1/6 の SRB と SRC とではほぼ等しく、SRF はそれらよりやや小さく、SRG はそれらよりやや大きい。また、開口比が 1/9 の ERD および END ではスパン方向の両側の合板が切断されていない方がやや大きい。なお、両側の縦椀まで達する横スリットのある SRE の値が非常に大きいのは、縦椀 2 本のみで計算値を求めたためである。

Table III. Results of flexural rigidity and racking load of wall panels with opening.

Type of specimens		Opening ratio to total area	Flexural rigidity (kg·cm ²)			Ratio	Racking load (kg/m)		Ratio	Number of specimens
			Calculated value	Observed value			$P_{1/100}$	$P_{\max}$		
Mark	Skin			EI_o^{*3}	EI_L	EI_t			$\frac{EI_L}{EI_o}$	
SR _D ^{*1}	Double	0	286 ×10 ⁶	183 ×10 ⁶	206 ×10 ⁶	0.64	1250	1600	0.78	3
SR _S	Single	0	151	118	123	0.78	841	935	0.90	3
SRA	Double	1/3	194	142	154	0.72	559	907	0.63	3
SRB	Double	1/6	218	150	164	0.69	1126	1133	0.99	1
SRC	Double	1/6	205	137	155	0.67	1211	1611	0.75	1
ERD _I	Double	1/9	207	124	133	0.61	1044	1222	0.85	1
ERD _{II}	Double	1/9	212	148	156	0.70	1256	1833	0.69	1
SRE	Double	1/3	34	41	36	1.20	356	661	0.51	3
SRF	Double	1/6	141	85	82	0.60	944	1389	0.68	1
SRG	Double	1/6	139	103	116	0.75	1120	1463	0.76	3
SN ^{*2}	Double	0	287	110	124	0.41	455	507	0.90	3
SNC	Double	1/6	206	113	136	0.55	421	622	0.68	1
END _I	Double	1/9	208	84	96	0.40	386	456	0.85	1
END _{II}	Double	1/9	210	104	118	0.50	351	478	0.73	1
SNG	Double	1/6	136	54	63	0.39	368	461	0.80	1

*1 R Gluing with resorcinol resin adhesive

*2 N Nailing with N38 common wire nails spaced 15 cm

*3 Plywoods corresponding to breadth of opening and discontinuous vertical members parallel to span were not included in calculation.

Table IV. Results of flexural rigidity and buckling load of wall panels without opening.

Type of specimens		Flexural rigidity (kg·cm ²)		Ratio $\frac{EI_L}{EI_0}$	Buckling load (kg)		Ratio $\frac{P_{max}}{P_0}$	Number of specimens
		Calculated value EI_0	Observed value EI_L		Calculated value ^{*3} P_0	Observed value P_{max}		
Mark	Skin	$\times 10^6$	$\times 10^6$		$\times 10^3$	$\times 10^3$		
AR ^{*1}	Double	282	177	0.63	26.7	25.3	0.95	3
SR	Double	262	163	0.62	24.5	21.1	0.86	3
BR	Double	245	130	0.53	19.6	16.0	0.85	3
CR	Double	226	99	0.44	15.0	14.7	0.98	3
DR	Double	230	92	0.40	13.9	11.4	0.82	3
ER	Double	264	156	0.59	22.8	21.5	0.92	3
SN ^{*2}	Double	264	115	0.44	17.4	18.4	1.05	3
DN	Double	228	65	0.28	9.7	10.4	1.08	3
EN	Double	265	114	0.43	17.3	17.1	0.99	3
SR _I	Double	281	171	0.61	27.5 ^{*4}	23.2	0.85	3
SR _{II}	Single	142	106	0.75	15.9 ^{*5}	12.4	0.78	3

*1 R: Gluing with resorcinol resin adhesive

*2 N Nailing with N25 common wire nails spaced 7.5 cm

*3 Observed value of EI_L were substituted in Euler's formula.

*4 Loads were applied along a line of one third the thickness by ASTM method, but the correction due to eccentric moment was not calculated.

*5 Loads were applied at the center of thickness, but the correction due to eccentricity of neutral axis was not calculated.

これらのことは、パネルの曲げ剛性が構成部材の単体としての力学的性状以外に、パネルの断面構成および骨組材と表面材の接合条件などに支配されている証左であり、それらに応じた合板の有効幅の評価方法が重要な課題であると考ええる。

無開口パネルの最大曲げモーメントについては、曲

げ剛性とほぼ同様の傾向がみられる。その破損状況は比例限度付近（釘打ちパネルでは不明確）で、合板が鞍形状に変形しはじめ、さらに変形がすすむと圧縮側の合板が局部的にはく離や座屈を示し、最終的には合板および骨組材の引張破壊がおきる。

3・2 せん断性能

せん断性能としては、頂部の水平変位が高さの 1/100 に当たるときの荷重および最大荷重をパネルのみかけの幅 90 cm で除した値を $P_{1/100}$ (kg/m), P_{max} (kg/m) として表示した。

無開口パネルについて述べれば、接着パネル (R, NR) はせん断剛性、1/100 ラジアン耐力および最大耐力が大きいが、破壊に達するまでの変形量が比較的小さく、1/100 ラジアンまで変形しないうちに破壊するものも散見された。1/100 ラジアン耐力におよぼす骨組構成の影響は必ずしも明確でないが、平均的にみれば縦棧型の方が横棧型よりすぐれている。なお、Table III の両面接着パネル SR_D と片面接着パネル SR_S をくらべれば、片面パネルはかなり性能が劣る。釘打ちパネルは Fig. 7 の例からも明らかなように、接着パネルにくらべて、比例限度が低く (やや不明確)、最大耐力も小さいが、粘りに富む点が特徴的である。また、残留変位がきわめて大きい。

この試験方法は ASTM の方法と異なり、試験体のはね上りを拘束するタイロッドがないため、加力点直下のアンカーボルトをパネルを介して引抜くような荷重条件に近似している。したがって、破損はその付近に集中し、接着パネルではボルト孔の近傍における下枠の割れが大部分であったが、このほか、合板と下枠の接着部のせん断破損や座金のめり込みなども観察された。また、釘打ちパネルでは釘の変形と釘頭の合板へのめり込みが顕著であった。

つぎに、開口パネルについて述べれば、そのせん断性能は開口比の大小よりも、開口部の位置に影響されている。すなわち、開口部の周辺に応力外皮となる合板をもっている SRC, ERD, SRG は無開口パネル SR_D にくらべてそれほど性能低下が認められないが、両側の縦枠まで横スリットをもつ SRE の性能低下は著しく、上下枠まで縦スリットをもつ SRA がこれについている。なお、SRA の 1/100 ラジアンの値を合板の実際の幅 (60 cm) で除した値は 839 kg/m となり無開口の SR_D の約 2/3 に相当している。また開口比が 1/6 の SRF と SRG をくらべれば SRF の方がやや弱い。

木造住宅の設計ではせん断性能がもっとも重視されているが、骨組のせん断剛性、合板のすじかい効果、隅角部のガセット効果、パネルと基礎あるいは土台との接合条件が関連しているため、それらの解析は必ずしも単純ではない。今後さらに検討を加える必要がある。このほか、連続的に接合したパネルや大型パネルのせん断性能の評価も重要な課題と考える。

3・3 圧縮性能

圧縮性能については、最大荷重を座屈荷重と見なし表示した。無開口パネルの座屈荷重は接着パネルの方が釘打ちパネルより大きく、また、縦棧および横棧が多いほど大きな傾向がみられる。

つぎに、一般に用いられている両端ピン条件の Euler 式

$$P_K = \pi^2 EI / l_k^2$$

に、曲げ剛性の実測値 EI_L を代入して座屈荷重の計算値 (P_0) を求め、これと実測値 (P_{max}) とを比較した。両者の値は接着パネルも釘打ちパネルもかなりよく近似しており、この程度の細長比の場合は曲げ剛性の実測値から座屈荷重をほぼ推定できる見とおしを得た。なお、Table IV の SR_I および SR_{II} の計算値は、いずれも偏心による補正をせずに Euler 式で計算した値である。今後さらに細長比を小さくした場合の検討が必要である。

4 結 言

木質系住宅の耐力壁として多用されている合板パネルを対象に、その骨組構成および骨組材と表面材の接合方法などが、曲げ、せん断、圧縮の諸性能におよぼす影響について実験的に検討した。主なる結果を要約すればおおよそつぎのとおりである。

(1) パネルの曲げ剛性は構成部材の単体としての力学的性質以外に、パネルの断面構成および表面材と骨組材の接合条件などによって支配されていることを実験的に明らかにし、表面材の有効幅の評価方法が重要な課題であることを強調した。

(2) 無開口パネルのせん断試験を行ない、接着パネルのせん断性能が釘打ちパネルよりすぐれていること、両者のせん断性状がきわめて対照的であることを明らかにした。また、パネルのせん断性能は骨組構成の差異よりも、脚部の合板と骨組材の接合方法やパネルと基礎などの緊結方法に支配されることを指摘した。

(3) 各種の開口部をもつパネルのせん断試験を行ない、そのせん断性能は開口比の大小よりも開口部の位置に支配されることを明らかにした。すなわち、枠の周辺まで大きな開口部のあるパネルのせん断性能は著しく低下するが、開口部の周囲に応力外皮となる合板がある場合の性能低下はあまり顕著でない。

(4) 両端にナイフエッジをもつ装置で無開口パネルの圧縮試験を行ない、その座屈荷重が Euler 式に曲げ剛性の実測値を代入することによりほぼ推定できる見通しを得た。なお、細長比をさらに小さくした場合の検討が必要である。

終わりに、この実験を行なうにあたり、当場木材部強度研究室の近藤孝一、中井 孝、金谷紀行、平嶋義彦の諸氏の協力を得たことに対し厚く感謝いたします。

(昭和43年4月3日 第18回日本木材学会大会, 昭和43年7月15日 第19回日本木材学会大会, 昭和45年9月6日 第20回日本木材学会大会講演会にて講演)

参 考 文 献

- 1) 杉山英男, 鈴木克臣, 日本建築学会論文報告集, 173, 1 (1970).
- 2) ASTM Designation: E 72-61 (1961).
- 3) Amana, E. J., and L. G. Booth, J. Inst. Wood Science, 4, 1, 43 (1967).
- 4) Amana, E. J., and L. G. Booth, J. Inst. Wood Science, 4, 2, 19 (1968).