

木質プレハブ住宅用パネルの強度的性質 (1)

- 曲げ剛性およびせん断剛性と強度について -

丸山 武 伊藤 勝彦
宮野 博

1. まえがき

近年、住宅部品を工場生産し、それを現場で組み立てる、いわゆるプレハブ住宅が盛んに建てられているが、とりわけ、部材をパネル化させたパネル構法による住宅が多く建てられている。云うまでもなく、これらのパネルは骨組材で厚みをもたせ、合板等の表面材を接合して剛性をもたせた構造で、材料的に極めて合理的な方法と考えられるが、その強度的性質に関する報告は少なく、¹⁾、²⁾、³⁾ パネルに対する骨組材および表面材の耐力分担等の説明はなお不充分である。実際に設計する場合にはパネルと横架材や布基礎との緊結方法が最大の問題になる⁴⁾ことを考えると、最終的には実際の緊結方法で実物大パネルについて試験を行ない、その剛性および耐力を確認することが必要となる。

本試験はこの種の木質プレハブ住宅用で、特に積雪寒冷地向けのパネル設計の基礎資料を得る目的で各種のパネルを試作し、その強度的性状について実験的に検討を行なったものである。パネルの種類は外壁(水平力と垂直力を負担)および内壁(垂直力のみ負担)で、それぞれの負担条件に対応する試験を行なった。今回はその第1報として曲げ剛性およびせん断性能についての結果を報告する。この報告の一部は第21回日本木材学会大会において発表した。

2. 試験体

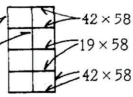
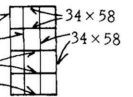
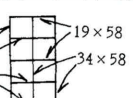
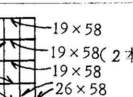
2.1 骨組材

パネルの骨組材には全て北海道浦幌産50年生カラマツ(平均胸高直径54cm)の製材品を含水率13%程度に人工乾燥させて使用した。所要断面に仕上げた長尺材(237.3~242.5cm)293本について測定した曲げヤング係数の平均値は88(範囲56~138)×103kg/cm²であった。各様式および断面寸法は第1~2表に示す通りである。縦材は長手方向に通しで、その間に横材を短尺で入れた。外壁パネルの縦枠の外側には軸が

第1表 外壁パネルの種類

試験体番号	型式	積木の構成および断面寸法 (mm)	表面材	
SA I -1~3 CA I -1~3	A I		3ply 4mm ラワン合板 両面張り	
SB I -1~3 CB I -1~3	B I			
SD I -1~6 CD I -1~6	D I			
SD II -1~3 CD II -1~3	D II			
SE III -1~3 CE III -1~3	E III			
SD' I -1~3 CD' I -1~3	D' I (4)			3ply 4mm ラワン合板 片面張り
SD' I -4~6 CD' I -4~6	D' I (7)			3ply 7mm カラマツ合板 片面張り
SD' I -7~9 CD' I -7~9	D' I (9)			5ply 9mm ラワン合板 片面張り

第2表 内壁パネルの種類

試験体番号	型式	材木の構成および断面寸法 (mm)	表面材
CP-1~3	P		一面: 3ply4mm ラワン合板 他面: 9mm石膏 ボード
CQ-1~3	Q		
CR-1~3	R		
CS-1~3	S		

び実大試験による曲げヤング係数, 試験終了後に同一の合板からの小型矩形板のプレートせん断試験で求めたせん断弾性係数を第3表に示す。

2.3 接合方法

骨組材はステーブルで仮組みし, 外壁パネルの場合には骨組材に接着剤を塗布し, 合板を釘で仮止め後, コールドプレスで圧縮した。その際の接着条件は次の通りである。

接着剤: 尿素樹脂接着剤(大日本インキP364B)

増量剤: 尿素100部に対し小麦粉20部, 水20部

硬化剤: 塩化アンモニウム2%

塗布量: 40~50g/(30×30)cm²

圧縮圧は約10kg/cm², 圧縮時間は24~30時間, 温度は室温である。内壁パネルの場合には接着剤は用いず, N-36の釘を10cm間隔で打ち付ける方法によった。

ルトを通すための直径25mmの半円をくり抜いてある。他と比較して特殊な型式であるE型はパネルの内部への断熱材マットの充填作業を容易にするための一つの試みとして, 縦と横の材木の厚さを框材の1/2とし, 縦材の上に横材を置き並べたものである。

2.2 表面材

各パネルに用いた表面材は第1~2表に示したとおりである。合板の単板構成は4mmラワン合板が0.75+2.8+0.75(mm), 7mmカラマツ合板が2.5+2.5+2.5(mm), 9mmラワン合板が1+2.5+2.5+2.5+1(mm)で, いずれも当場の試作品である。外壁および内壁パネルの大きさは91cm×242.5cmであり, 用いた合板は91cm×182cmであるので, 継ぎ目部分が横材の位置に来るように1枚とその1/3を使用した。横材を入れてないB型では合板を予めスカーフジョイントによって縦接合して使用した。石膏ボードは市販のもので, 大きさは91cm×247cmであったのでそのまま使用した。これらの表面材の比重および

3. 試験の方法

3.1 曲げ剛性試験

組み立てられた全パネルについて比例限度内における曲げ剛性試験を行なった。スパンを180cmにとり単純支持3等分点2点荷重方式により負荷し, スパン中央での撓みをダイヤルゲージで読み取った。使用した試験機はオルゼン型万能試験機(能力2t)である。

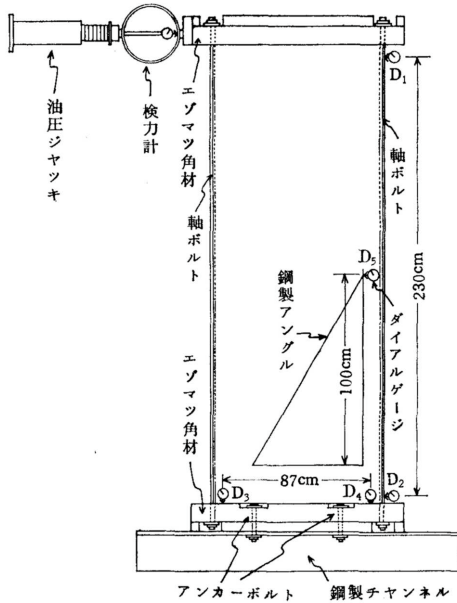
3.2 水平せん断試験

外壁パネルのうち, 記号がSとあるものについて第1図に示すような方法で水平せん断試験を行なった。パネルの上下にそれぞれ10cm×10cmの角材を添え

て両側で直径13mmの軸ボルトで締め付けて地面と水平にし, 土台にあたる角材を直径21mmのアンカー

第3表 表面材の比重および弾性係数

表面材	厚さ (mm)	比 重			曲げヤング係数 (10 ⁸ kg/cm ²)			せん断弾性係数 (10 ⁸ kg/cm ²)		
		最小	平均	最大	最小	平均	最大	最小	平均	最大
ラワン合板	4	0.59	0.62	0.63	76	101	152	7.5	7.9	8.9
ラワン合板	9	0.46	0.53	0.60	80	86	92	6.1	6.6	7.0
カラマツ合板	7	0.57	0.60	0.62	85	96	110	7.5	9.1	11.0
石膏ボード	9	0.69	0.74	0.76	26	32	36	—	—	—

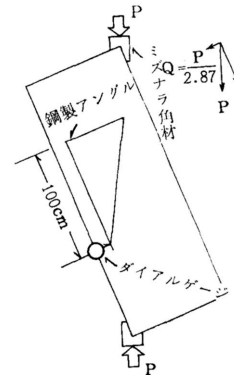


第1図 水平せん断試験方法

ボルトで鋼製チャンネルに固定した。その際使用した座金の寸法は全て80mm × 80mm × 4.2mmであり、ボルト締めトルクは250~300kg・cmとした。そのように固定された試験体の頂部の角材の木口面の一方から油圧ジャッキにより検力計を介して水平荷重を加えた。変形の測定は第1図に示すような位置でダイヤルゲージで読み取った。すなわち、 D_1 と D_2 によりパネル全体の水平変位を、 D_3 と D_4 によりパネル全体の垂直変位を、 D_5 により100cm区間でのパネル自体の水平変位をそれぞれ求めた。荷荷方法は先ずパネル全体の水平変位が $1/100\text{rad}$ になるまで加力して零に戻し、次に同じく $1/60\text{rad}$ まで加力して零に戻した。この方法による試験では変形が $1/60\text{rad}$ 以上になると、それ以後の変形がボルトの伸びや座金の曲りや土台や桁へのメリ込みに支配され、荷重がほとんど増加することなく変形のみが進行してしまうので(第3図参照)この試験は $1/60\text{rad}$ 変形付近で終了させ、次の対角線圧縮せん断試験を行なった。

3.3 対角線圧縮せん断試験

第2図に示すようにパネルの隅角部に15cm × 10cmの角材を添えて対角線を軸にして破壊に至るまで圧縮荷重を加えた。変形の測定は鋼製アングルを用いてダ



第2図 対角線圧縮試験方法

イアルゲージでパネルの長辺100cm区間でのせん断変形を読み取った。使用した試験機は東京衡機製油圧式縦型材料試験機(能力100t)である。片面張りの場合は捩れを起してしまうのでこの試験は行なわなかった。

4. 結果と考察

4.1 曲げ剛性試験結果

曲げ剛性試験の結果を紙面の都合上、各平均値で第4表に示す。ここで計算値として示す値は、表面材の曲げ剛性試験で求めたヤング係数から、ラワンの場合 $E_T/E_L = 0.030^{(5)}$ 、カラマツの場合 $E_T/E_L = 0.042$ と仮定して各構成単板のヤング係数を推定し、それらと骨組材とが完全結合された多層複合梁としての値 $^{(6)}$ である。ここで E_L は単板の繊維方向でのヤング係数、 E_T はそれの直角方向でのヤング係数であり、カラマツの E_T/E_L は同一の合板の小型曲げ試験結果から計

第4表 外壁および内壁パネルの曲げ剛性試験結果

パネルの種類	型式	試験体数	曲げ剛性EI (10^6kgcm^2)		実測値 計算値
			計算値	実測値	
外 壁	A I	6	145	113	0.78
	B I	6	145	113	0.78
	D I	12	141	108	0.77
	D II	6	163	129	0.79
	D' I (4)	6	94	71	0.76
	D' I (7)	6	124	94	0.76
	D' I (9)	6	152	108	0.71
	E III	6	120	66	0.55
	内 壁	P	3	57	27
Q		3	59	34	0.58
R		3	53	22	0.42
S		3	54	26	0.48

算で求めた⁷⁾平均値である。これらのパネルの曲げ剛性はせん断影響を考慮してないので相対的な比較として考えると、実測値と計算値の比はA, B, D型ではほぼ同値の76%前後で、それらの間の有意差は認められない。D型より幅の広い積木を使用したD型でもほぼ同値である。特殊な積木型式のE型は55%と、かなり低い値となっている。片面張りでは4mmおよび7mmでD型と同様の76%前後、9mmで幾分低くなって71%であった。釘打ちのみである内壁パネルは何れも低い効率で、0.42~0.58の範囲であった。

4.2 水平せん断試験結果

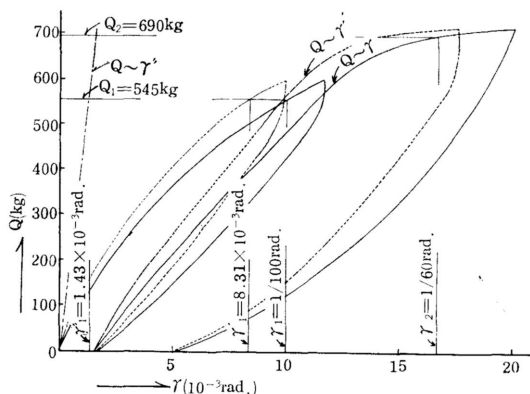
外壁パネルについて行なった水平加力によるせん断試験の結果を第5表に示す。また、荷重(Q)~変形()図の1例を第3図に示す。短期許容耐力とされている1/100rad・変形での水平荷重値Q₁を各試験体についてみると、その範囲は460~675kgで、積木型式の違いでの差異は明らかでなく、片面張りも両面張りに劣らない耐力を示した。1/60rad・変形でのせん断耐力Q₂も同様な傾向で、Q₂/Q₁の値は1.24~1.43であった。Q₁のときのパネル構造体の垂直変位(回転角) γ_1 とパネル自体の水平変位 γ_1'' との和は概ね1/100rad・に等しいが、このうち80~90%は γ_1 によって決定されてい

る。両面張りの場合の平均値は83~88%と、あまり差がみられない。片面張りになるとかなり違ってきて、4mm合板で75%程度であり、相対的なパネル自体のせん断変形 γ_1'' は両面張りの約2倍となっている。7mmカラマツ合板では93%もの回転を示し、9mm合板では88%で、4mm両面張りの値とよく類似している。これらの γ_1'' からパネル全厚についてのみかけのせん断弾性係数(G_p)と、合板厚さについてのみかけのせん断弾性係数(G_f)を計算してみると、G_pに

第5表 水平せん断試験結果

試験体No.	Q ₁	Q ₂	Q ₂ /Q ₁	γ_1'	γ_1''	G _p	G _f	γ_{o1}	γ_{o2}
SAI-1	545	690	1.27	8.31	1.43	419	5.2	1.76	4.72
-2	488	632	1.30	8.83	1.34	400	5.0	2.04	5.40
-3	515	650	1.26	8.91	1.13	501	6.3	—	—
平均	516	657	1.27	8.68	1.30	440	5.5	1.90	5.06
SB I-1	507	690	1.36	8.82	1.39	401	5.0	1.17	4.26
-2	530	655	1.24	8.12	1.57	371	4.6	1.90	3.78
-3	465	617	1.33	9.16	1.19	429	5.4	1.64	4.66
平均	501	654	1.31	8.70	1.38	400	5.0	1.57	4.23
SD I-1	565	790	1.40	8.54	1.63	381	4.8	1.22	4.24
-2	590	825	1.40	8.33	1.51	429	5.4	1.39	4.15
-3	570	765	1.34	8.08	1.82	344	4.3	1.09	4.57
-4	605	800	1.32	8.75	1.19	559	7.0	1.11	3.67
-5	675	845	1.25	7.99	1.65	450	5.6	1.33	5.30
-6	615	790	1.28	8.19	1.61	420	5.3	1.46	4.57
平均	603	803	1.33	8.31	1.57	431	5.4	1.27	4.42
SD II-1	620	770	1.24	8.60	1.28	532	6.7	1.20	4.48
-2	475	680	1.43	9.04	0.93	561	7.0	1.89	4.61
-3	515	680	1.32	8.54	1.32	429	5.4	1.13	4.39
平均	537	710	1.33	8.73	1.18	507	6.3	1.41	4.49
SE I-1	560	770	1.38	8.59	1.67	368	4.6	1.07	3.72
-2	570	805	1.41	8.25	1.54	407	5.1	1.04	3.83
-3	580	745	1.28	7.83	1.92	332	4.2	1.24	3.72
平均	570	773	1.35	8.22	1.71	379	4.6	1.12	3.76
SD' I-1	488	685	1.40	7.26	2.21	253	6.1	1.04	3.33
-2	520	690	1.33	7.41	2.85	209	5.0	1.25	3.76
-3	525	730	1.39	7.46	2.31	260	6.2	0.81	3.51
平均	511	702	1.37	7.38	2.46	241	5.8	1.03	3.53
SD' I-4	470	645	1.37	9.80	0.71	742	10.4	1.64	2.90
-5	460	650	1.41	9.26	0.52	992	13.9	1.30	3.74
-6	600	780	1.30	9.38	0.93	723	10.1	2.10	3.91
平均	510	692	1.36	9.48	0.72	819	11.5	1.68	3.52
SD' I-7	590	780	1.32	8.32	1.58	406	5.0	1.47	4.83
-8	580	740	1.28	9.08	0.97	651	8.0	1.93	4.92
-9	585	735	1.26	9.07	1.23	517	6.3	1.57	4.10
平均	585	752	1.28	8.82	1.26	525	6.4	1.66	4.62

(注) Q₁: =1/100rad・時のせん断力(kg)
 Q₂: =1/60rad・時のせん断力(kg)
 γ_1 : Q₁の時のパネルの回転角(10⁻³rad.)
 γ_1'' : Q₁の時のパネル自体の水平変形角(10⁻³rad.)
 G_p: パネル全厚についてのみかけのせん断弾性係数(kg/cm²)
 G_f: パネルの合板厚さについてのみかけのせん断弾性係数(103kg/cm²)
 γ_{o1} : Q₁ 0のときのパネルの残留回転角(10⁻³rad.)
 γ_{o2} : Q₂ 0のときのパネルの残留回転角(10⁻³rad.)



第3図 荷重～変形曲線 (SAI - 1)

については両面張りの場合で400～500kg/cm²で、D型がわずかに大きい。片面張りでは4mmが両面のほぼ半分で、7mmカラマツ合板では819kg/cm²と最高の値を示し、9mmで525kg/cm²であった。次にGfをみると、4mmと9mmのラワン合板でそれぞれ5.4×10³、6.4×10³kg/cm²、7mmカラマツ合板

で11.5×10³kg/cm²であった。同一の合板からの小型矩形板でのプレートせん断によるG(第3表参照)と比較すると、4mmラワンのGfは平均値で30%程低く、7mmカラマツでは逆に26%程高く、9mmラワンではほぼ等しい。何れにしても本実験で使用した道産カラマツ合板のせん断剛性はかなり高く、今後この種の合板の構造的利用の可能性は極めて有望であると思われる。次に、Q₁まで加力して零に戻したときの残留水平変位(α₁)と、さらにQ₂まで加力して零に戻したときの残留水平変位(α₂)はそれぞれ0.8～2.1(×10⁻³rad.)、2.9～

5.4(×10⁻³rad.)であり、バラツキはかなり大きい。これらに関しては時間的因子を考慮しておらず、厳密なデータとしては不備であるので参考値にとどめる。

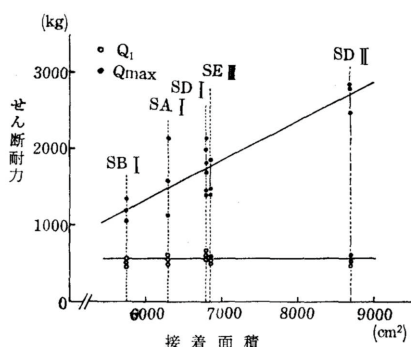
4.3 対角線圧縮せん断試験結果

両面張りについてのみ行なった対角線方向の圧縮によるせん断試験の結果を第6表に示す。Q_e～eから求めたみかけのせん断弾性係数G_eは前述のG_pより大きい。これは圧縮荷重のパネルに対する水平分力が必ずしも計算分力に一致していないこと等に起因するのであろう。比例限荷重Q_eと最大荷重Q_{max}の比は0.67～0.96の範囲で、比例限を過ぎて以後のネバリが少なく、かなり急激に破壊した。破壊の形態がほとんど骨組材と合板との接着層のはく離であったので、比例限を過ぎて以後このように急激に破壊したものと思われる。Q_{max}のみをみるとパネルの型式によってかなりの差異がある。そこでこのQ_{max}を骨組材と合板

第6表 対角線圧縮せん断試験結果

試験体No.	Q _e	γ _e	G _e	Q _{max}	Q _e /Q _{max}	Q _{max} /Q ₁
SAI-1						
—1	1132	2.52	492	1575	0.72	2.9
—2	783	1.47	585	1130	0.69	2.3
—3	1743	3.92	488	2143	0.81	4.2
平均			521	1616	0.74	3.1
SBI-1						
—1	958	2.24	469	1352	0.71	2.7
—2	870	1.89	506	1056	0.82	2.0
—3	1045	2.25	510	1206	0.86	2.6
平均			495	1205	0.80	2.4
SDI-1						
—1	1045	2.25	510	1410	0.74	2.5
—2	1568	4.17	413	1990	0.79	3.4
—3	1132	2.42	514	1430	0.79	2.5
—4	1743	3.89	492	1812	0.96	3.0
—5	1917	4.40	478	2150	0.89	3.2
—6	1132	2.62	474	1690	0.67	2.7
平均			480	1747	0.80	2.9
SDII-1						
—1	2180	4.62	518	2860	0.76	4.6
—2	2350	6.04	427	2475	0.95	5.2
—3	2265	4.80	518	2815	0.80	5.5
平均			487	2717	0.83	5.1
SEI-1						
—1	—	—	—	1470	—	2.6
—2	1655	4.08	445	1840	0.90	3.2
—3	1045	2.85	403	1383	0.76	2.4
平均			424	1564	0.83	2.7

(注) Q_e : 比例限せん断力 (kg)
 γ_e : 比例限せん断変位 (10⁻³rad.)
 G_e : Q_e～eから求めたパネルのみかけのせん断弾性係数 (kg/cm²)
 Q_{max} : 最大せん断力 (kg)
 Q₁ : 水平加力試験における1/100rad. 変形時のせん断力 (kg)



第4図 せん断耐力と合板の接着面積との関係

との接着面積に関連させて、それらの関係を図示すると第4図のようになる。前述の1/100rad.でのせん断力 Q_1 では接着面積による変動がほとんどみられないが、 Q_{max} ではバラツキは大きい。接着面積の増加に従って急激に上昇する傾向がうかがえる。次に、 Q_{max}/Q_1 をみてみると、SD が最高の5倍で非常に高い値を示し、他の型でも2~4倍となっている。実際の設計での安全率の考え方では1.5~2倍と云われているので、この試験に用いたパネルの安全率はかなり高いことになる。

5. むすび

以上木質パネルの曲げ剛性およびせん断性能について述べてきたが、本試験の結果を総括すると次のようになる。

1) 接着接合の外壁パネルの曲げ剛性の実測値は、特殊な型式であるE型を除いて、完全結合された多層複合梁の単純曲げとしての計算値の70~80%であった。又、釘打ち接合の内壁パネルでは50%程度であった。

2) 外壁パネルの水平加力試験による1/100rad.変形時の耐力は約600kg/mで、椽木型式の違いや両面片面による差異はほとんどみられなかった。又、この1/100rad.変形のうち、両面張りでは85%程度がパネルの回転によるもので、椽木型式や寸法にほとんど無関係で、片面張りの場合には4mm合板で75%、7mmで93%、9mmで87%と、合板の種類によって差があった。

3) 対角線圧縮せん断による破壊はほとんどが椽木と合板との接着層はく離によるもので、比例限を過ぎて以後かなり急激な破壊を起した。又、最大荷重は椽木と合板との接着面積が大きいほど高い値を示した。

4) Q_{max} と Q_1 の比は何れのパネルも大きな値を示したが、この試験で用いた軸ボルトによる緊結方法で設計する場合にはB1型あたりで十分であると思われる。

おわりに、この試験を行なうに当たり、終始ご協力いただいた北海道立寒地建築研究所林勝朗氏に深く感謝の意を表わす。

文献

- 1) 山井良三郎ほか：第18回日本木材学会大会研究発表要旨集 P. 103 (1968)，第19回大会要旨集，P. 110 (1969)，第20回大会要旨集，P. 101 (1970)
- 2) 葛生直正，大熊幹章：木材誌，16，10 (1970)
- 3) 杉山英男，鈴木克臣：建築学会論文集，173 (1970)
- 4) 杉山英男：木材工業，25，10 (1970)
- 5) 高見勇：林試研報，208，(1968)
- 6) 沢田稔：北大農学部木材加工学教室数講義資料
- 7) 沢田稔，近藤孝一，畑健一：木材誌，5，131 (1959)

- 木材部 強度科 -
(原稿受理 46.7.16)