

大林ハウス木質系プレハブパネルの強度試験

竹本 靖
古屋 則之

概要

当社では、内外木材株式会社と共同で、大型パネルを用いた木質系プレハブ独立住宅を開発したが、これの発売に当たって日本建築センターの構造審査を受けるため、実大パネルを中心とした一連の強度試験を行なった。

その結果、全体的な安全性を確かめるとともに、ディテール設計上のいくつかのデータを得ることができた。

1. まえがき

ここで対象とする木質系プレハブ住宅、大林ハウスは、枠材の両側にベニヤ合板を接着剤で張りつけ、成型した、1室分の壁を単位とする大型パネルを、現場でボルトなどによって組み立てるもので、柱・はり・筋かいなどの軸組みからなる在来の木構造とは、全く異なる一体式の壁構造である。

このため、建物自重、積雪、地震、風によって建物を受ける荷重と変形に対し、この構造が通常の木構造と同等以上の構造的安全性を有するかどうか、が問題になる。そこで、実際の建物と同様な材料・工法によって製作した主要構造部材の若干部分を取り出し、一連の強度試験を実施することとした。

試験内容は、パネル構成材の材料試験、柱部分およびはり部分の曲げ試験、大型壁パネルの面内せん断試験からなっている。

2. 材料試験

2.1. 試験方法と結果

プレハブパネルを構成するラワン合板（3プライ・厚4mm）の力学特性を知るため、ASTM規格を参考とした図-2のような試験片を作成して、それぞれ引張り（図-3）または圧縮試験を行なった。

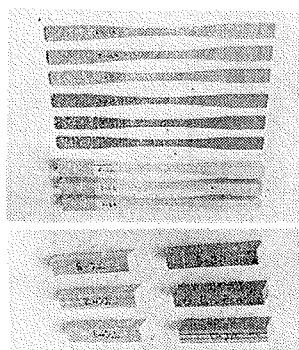


図-2 材料試験片

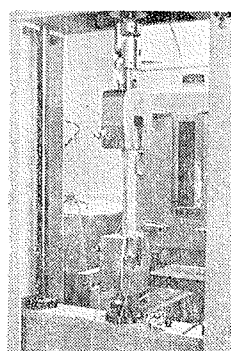


図-3 引張り試験

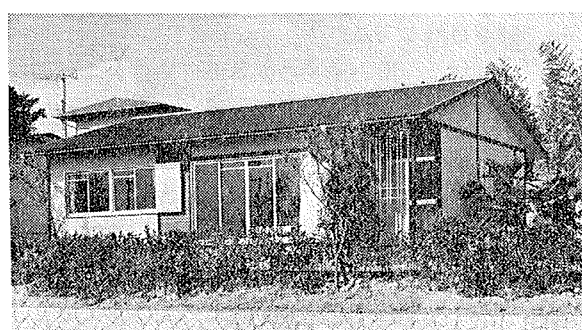


図-1 大林ハウス

合板の圧縮試験片は、座屈防止のため、3枚を接着剤で張り合わせたものである。

試験結果を、表-1に示す。

材種	試験種類	繊維方向	試験片記号	測定部分実測寸法 ^{mm}	最大荷重 ^{kg}	最大応力度 ^{kg/cm²}	弾性係数 ^{10⁴ kg/cm²}
枠材	引張	たて	TT-1	5.0×10.2	587	1150	12.7
			TT-2	5.2×10.2	543	1025	13.5
			TT-3	5.1×10.1	810	1575	14.9
			平均			1250	13.7
米ツガ	圧縮	たて	TC-1	14.5×20.5	1510	508	11.6
			TC-2	14.6×20.5	1640	548	9.9
			TC-3	14.6×20.6	1620	539	9.9
			平均			532	10.5
ラワン合板3プライ厚4mm	引張	たて	VT-V1	4.2×12.6	170	321	4.91
			VT-V2	4.1×12.9	121	229	5.58
			VT-V3	4.2×12.4	195	374	4.89
			平均			308	5.13
	よこ	VT-H1	3.9×13.0	432	852	9.86	
		VT-H2	3.9×12.5	422	865	10.04	
		VT-H3	3.8×12.9	419	855	8.67	
平均			857	9.52			
圧縮	たて	VC-1	12.7×25.4	940	291	3.67	
		VC-2	12.7×25.4	910	282	3.39	
		VC-3	12.7×25.5	925	285	3.44	
		平均			286	3.50	

表-1 材料試験結果

2.2. 考察

杵材ミツガの弾性係数は、引張りと圧縮でかなり異なった値となったが、各種載荷試験に対する変形計算には、そのまま使うこととし、曲げについては、両者の平均値をとることとした。合板の場合、表層の繊維に対する角度（平行および直角）で、弾性係数が強度とともに著しく違っている。これも、計算には無補正で使ったが、45°方向に対しては、次式で換算した。

$$E(45^\circ) = \sqrt{\frac{E(0^\circ)^2 + E(90^\circ)^2}{2}}$$

3. 部材曲げ試験

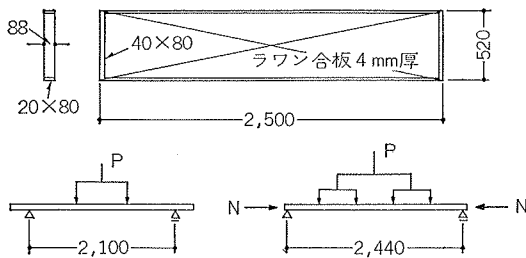
3.1. 試験目的と方法

3.1.1. 柱材 壁パネルの面外曲げ剛性および曲げと軸力を受けたときの耐力を知るため、最小幅の柱相当部分を取り出し、図一4に示す載荷試験を行なった。

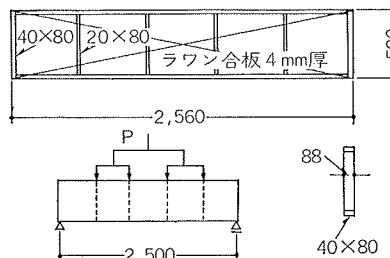
供試体の杵材（ミツガ）は、波釘と洋釘で組み立て、その両面に合板（ラワン3プライ4mm）を接着剤で張りつけている。まず3等分点に鋼材をおもりとした低荷重をかけ、たわみを測定、次に5等分点におもりによる一定荷重をかけた状態で、ジャッキを用いて軸方向圧縮力を与え、破壊させた。たわみはダイヤルゲージ、ひずみはワイヤーストレインゲージで測定した。

3.1.2. はり材 開口つきパネルのはり相当部分の耐力を知るため、面内曲げ試験（図一5）を行なった。

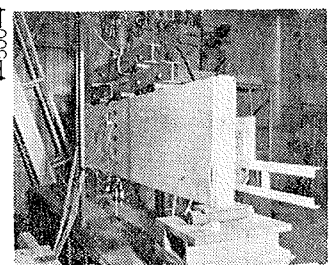
この場合、杵材・合板とも、釘の代わりに、エアタッカー（ホッチギス状、長さ25mm）を用いた。載荷は5等分点（たて棧位置）で、ジャッキによる。



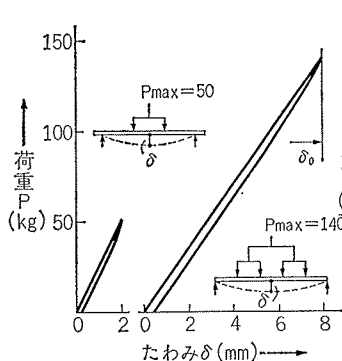
図一4 柱材、曲げ圧縮試験



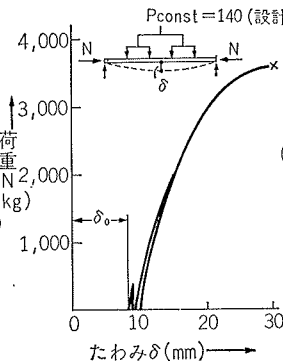
図一5 はり材曲げ試験



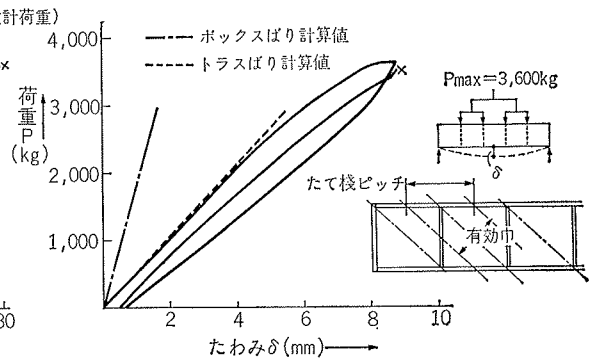
図一9 はりの破壊



図一6 P-δ 曲線



図一7 N-δ 曲線



図一8 はり P-δ 曲線

3.2. 結果と考察

3.2.1. 柱材 低荷重曲げ試験および、曲げ一定圧縮試験の、荷重-たわみ曲線を、図一6、7に示す。

前者と、後者の純曲げ段階（P=140kgまで）から供試体の見かけの面外曲げ剛性を算出すると、両者ともよく一致して、EI=4.0×10⁷kg・cm²となる。

一方、材料試験で得た弾性係数を用いて、この断面の曲げ剛性式を立て、上の値に等しいとおいてフランジ合板の有効幅Bを逆算すると、B B=16cmとなり、これは、b+35t（b：杵材幅、t：合板厚）に相当する。曲げ載荷140kgを与えたまま、軸方向力Nを加えた試験では、N=1,000kgで合板が部分的に剝離し、1,300kgから上層合板の面外局部座屈が始まった。結局、3,600kgで上層合板中央部の全面剝離により破壊した。この最大耐力をオイラーの座屈式に入れ、最終有効幅を計算すると、b+10tになる。

3.2.2. はり材 はり材面内曲げ試験の荷重-たわみ曲線を、図一8に示す。このグラフには、杵材をフランジ、合板をフルウェブとしたボックスばりの計算値（一点鎖線）、たて棧を圧縮材、合板を斜引張り材としたトラスばりの計算値（点線）も記入してある。トラス斜材としての合板有効幅は、図一8に示す値をとっている。グラフから、トラスばり計算値が実験値によく一致していることがわかる。

はり材は、合板の最外端斜材に相当する部分が、荷重P=3,000kgあたりより引張り主応力方向と直角のしわを生じ始め、P=3,600kgにいたって、この部分が杵材から大きく剝離して破壊した（図一9）。

4. 壁パネルせん断試験

4.1. 目的と方法

壁パネルの剛性，耐力，靱性を知るため，開口の大きさを変えた4種類の実大模型について，面内せん断試験を行なった。供試体の構成，種類および加力・測定方法を図-10に示す。

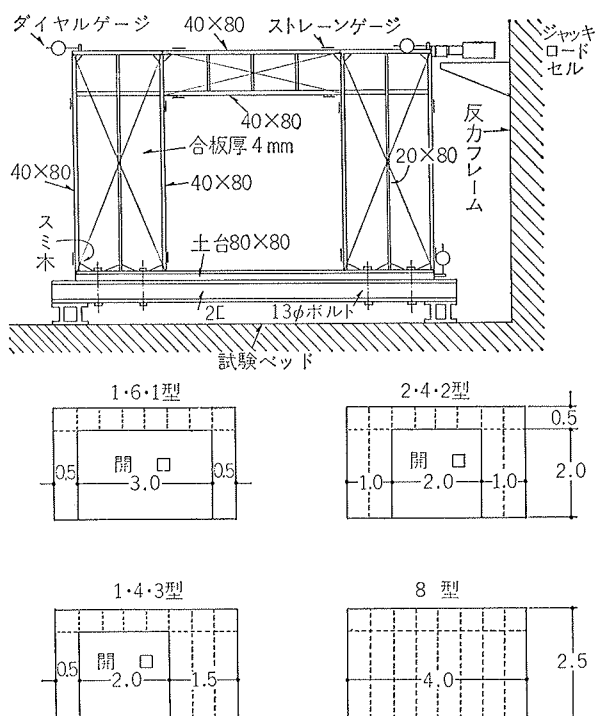


図-10 供試体の種類と載荷方法

4.2. 経過と結果

1.6.1.型パネルは，荷重50kgピッチで漸増繰返しを800kgまで，2.4.2.型は100kgピッチで1200kgまで，1.4.3.型は100kgピッチで1600kgまで，8型は100kgピッチの2200kgまで，とし，その後はそれぞれ破壊まで単調増加させた。各パネルの，荷重—変形曲線を，図-11に示す。また，各パネルの最大耐力

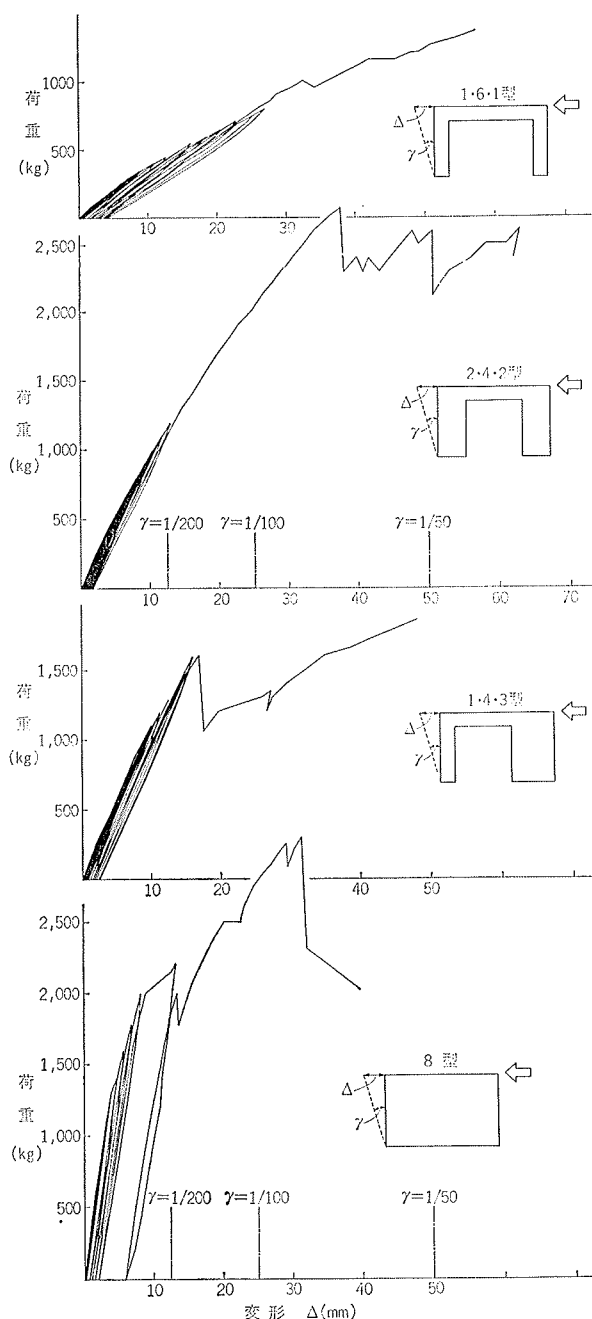


図-11 パネル 荷重—変形曲線

パネル	最大耐力	変形角	破壊形式
1・6・1	1,350 kg	$\frac{1}{44}$	はり端部合板の、しわによる剝離 柱脚部合板の、しわによる剝離、
2・4・2	2,760	$\frac{1}{66}$	引張側アンカーボルトの破損
1・4・3	1,850	$\frac{1}{52}$	載荷側柱脚部合板の、引張による 枠材からの剝離、
8	3,100	$\frac{1}{8}$	同上

表-2 パネルの破壊性状

とそのときの変形角，および破壊の形式を表-2に示す。

4.3. 考察

4.3.1. 門型パネルのラーメン性状 この大型パネル方式では，開口つきパネルに，門型ラーメンとしての働きを期待している。この点を裏づけるため，柱およびはり材端部フランジ面のひずみを測定した。

これら部材両縁ひずみと曲げモーメント，および剛性の間には，次式が成り立つ。

$$\varepsilon_1 + \varepsilon_2 = \frac{M}{EI} \cdot D \quad (D: \text{断面せい})$$

これにより、見かけの剛性を算出し、素材の弾性係数を用いた計算値と比べると、表-3のようになる。

パネル	位置	実験値	計算値	実/計
1・6・1	はり端	左	4.46	0.79
		右		0.94
	柱頭	左	4.88	0.92
		右		1.14
2・4・2	はり端	左	4.46	0.74
		右		0.72
	柱頭	左	21.6	1.11
		右		1.04
1・4・3	はり端	左	4.46	0.99
		右		1.93
	柱頭	左	4.88	1.40
		右		3.66

表-3 柱・はりの剛性(10⁹kg・cm²)

両者が比較的一致している1.6.1.型および2.4.2.型(a/D=4.0および2.0)については、反曲点を適当に選んでラーメン計算できるが、片側に幅1.5mの柱(a/D=1.33)をもつ1.4.3.型では、線材置換は無理のようである。

4.3.2. 剛性 各パネルの同一変形角時の荷重を、柱幅についてグラフ化すると、図-12のようになる。

柱幅が0.5および1mのパネルでは、 $\gamma=1/100$ にいたっても、荷重と柱幅が比例関係にあるが、柱幅が4mの場合、変形が小さい間は、相対的に剛でありながら、変形が進むにつれ剛性が低下し、単位幅当たりの荷重が落ちてくる、ということがわかる。

$\gamma=1/300 \sim 1/200$ の範囲では、どのパネルについても、荷重と柱幅はほぼ比例しているといえる。したが

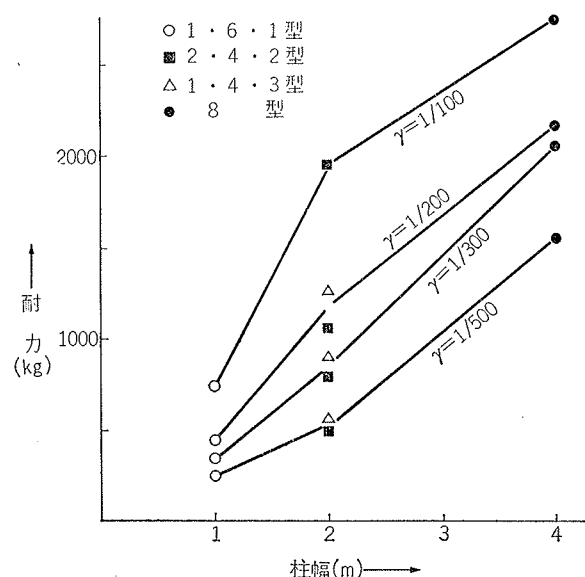


図-12 耐力と柱幅の関係

って、変形をこの程度に押えれば、柱部分単位幅でパネルの設計用耐力をきめることが許されよう。

4.3.3. 設計用耐力 試験結果からパネル単位幅当たりの設計用耐力を決定するに際し、この大パネル方式の剛性が高いという特徴を考慮して、以下の5条件を課することとした。

- (1) 強度: 最大耐力の1/2以内
- (2) 応力度: 枠材最大応力度が許容応力度内
- (3) 比例限: 荷重-変形曲線がほぼ直線の範囲
- (4) 剛性: 変形角が1/200以内
- (5) 靱性: 最大耐力時変形の1/2以内

各パネルについて、図-11から5条件にかなった荷重をとると、表-4のようになる。設計耐力として表の中の最少値をとることにすれば、390kg/mとなり、これは、建築基準法施行令46条の壁倍率にして、3に相当する。

条件	1・6・1型	2・4・2型	1・4・3型	8型
強度	675	1380	925	1550
応力度	700	1300	1600	-
比例限	800	1200	1500	2000
剛性	440	1140	1280	2140
靱性	900	1600	1550	2100
最少値	440	1140	925	1550
kg/m	440	570	460	390

表-4 パネル別耐力

5. 結び

各種試験結果から、大林ハウスの大型パネルについて、以下の結論が得られた。

(1) パネル柱部分の合板有効幅は、設計荷重程度ではかなり大きな値を示すが、座屈耐力の点から、枠材片側で**b=10t**、両側で**b=20t**程度にとるのが望ましい。

(2) はりの計算は、トラス置換が適当である。合板は全幅有効と考えてよい。

(3) 柱幅の狭いパネルは、ラーメンとみなせるが、その限界は、幅1.0m程度である。

(4) 壁長さ(=柱幅)当たりの耐力で、パネルの強度評価をすることは実用上さしつかえない。本試験シリーズのパネルでは、強度、剛性、靱性などの観点から、390kg/mとするのがよい。これは、壁倍率にして3に相当する。

なお、本試験を実施するに当たり、ご指導を賜った農林省林業試験所山井博士および供試体製作等でご助力いただいた内外木材株式会社の皆様に、厚く御礼申し上げます。