

大林ハウス・ギャングネイル継手の強度試験

竹本 靖 一之瀬 幸雄
(大林ハウジング株式会社)
古屋 則之 永井 英一
(同上)

Strength Tests of Gang Nail-Joints for Ohbayashi Houses

Yasushi Takemoto Yukio Ichinose
Noriyuki Furuya Eiichi Nagai

Abstract

“Ohbayashi Houses” are prefabricated wooden panel houses manufactured and sold by a new company, “Ohbayashi Housing, Ltd.” In the factory, it was decided to adopt the toothed steel plate “Gang Nail” for assembling both roof and floor trusses. This connecting method has long been popular in some countries such as U.S.A., U.K. and Australia. However, it was the first time this method would actually be used in Japan. In order to obtain available data for designing trusses, two test programs were carried out. These were tensile tests of connection models and loading tests of full-scaled truss models. The test results are presented and discussed in this paper.

概要

大林ハウジング株式会社が製造・販売する木質系プレハブ住宅「大林ハウス」では、屋根および床トラスを、鉄板打抜きくぎ「ギャングネイル」で組立てている。この接合法を採用するに当たって、日本建築センターの構造審査を受けるため、樹種と継手形式を変えたギャングネイル継手試験と、実大トラス模型の載荷試験を行なった。その結果、ネイル自身の強度特性および、それをを用いたトラスの耐力と破壊の性状について、設計上有用なデータを得ることができた。

1. まえがき

大型パネルを壁とする木質プレハブ住宅大林ハウスでは、屋根あるいは2階床にも、木製トラスと合板の組合せからなる大型プレハブユニットを用いている。

このトラスの製作工程を合理化するために、欧米諸国ではすでに広く普及しているが、わが国では未知と言える、鉄板打抜きくぎ、商品名ギャングネイルを、部材の接合部に採用することとした。これは、図-1に見るように、薄鉄板を、くしの歯状に打抜き、1枚の板でガセットプレートと、多数のくぎを兼ねるようにしたものである。ただし、くぎのように打込むのではなく、油圧などで接合部の木材に静かに圧入するようになっている。

この継手工法を技術導入するに際して、わが国で常用する木材に対応した、同継手の強度特性を知るため

に、2種類の試験すなわち、樹種と継手形式を変数とした、継手部分のみの引張試験、および、ギャングネイルで組立てた実大のトラス模型の曲げ載荷試験を行うこととした。この結果は、日本建築センターに提出され、すでに構造審査に合格している。

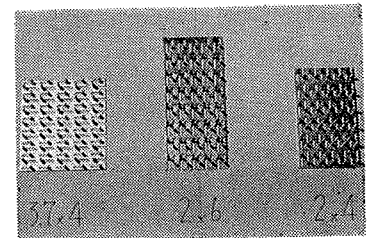


図-1 ギャングネイル

2. ギャングネイル継手試験

2.1. 供試体

2.1.1. 種類 対象とした木材は、表-1に掲げた6種類である。継手形式は、木材のせんい方向、ギャ

ングネイルの歯の方向、ネイルのサイズ、およびネイル応力の種類のそれぞれについて組合せた11種類で、いずれも引張りタイプの試験に適するよう、供試体の形状を考慮してある(図-3)。同一の種類についてすべて4体ずつ製作、うち3体を試験した。

2.1.2. 木材の性質 どの供試体についても、同一種類3体は、同じ角材(厚さ35, 巾100, 120および, 170, 長さ4000mmの製材)から切り出し、同時に材料試験用の供試片をとり出して、含水率, 全乾比重, 圧縮強度およびヤング係数の測定を行った。それらの結果を、樹種別にまとめて、表-1に掲げてある。

樹種	産地	含水率%	全乾比重	圧縮強度 kg/cm ²	ヤング係数 10 ⁴ kg/cm ²
米マツ	北アメリカ	25~33	.43~.58	230~409	8.0
米トガ	北アメリカ	25~37	.35~.51	211~373	13.4
エゾマツ	ソビエト	25~33	.37~.47	262~355	12.4
欧州赤マツ	ソビエト	25~30	.40~.49	198~315	10.6
スプルースA	北アメリカ	25~35	.35~.46	221~317	9.9
スプルースB	アラスカ	25~30	.33~.41	186~302	13.6

表-1 木材の性質

2.1.3. ギャングネイル 使用したギャングネイルはオーストラリアA.B.C社製で、#18軟鋼板(厚さ1.23mm)を図-1のように打抜き加工し、垂鉛メッキしたものである。ネイルの一部を拡大して図-2に示す。サイズは、今後常用が予定されている2×4", 2×6", 4×3.7"の3種とした。

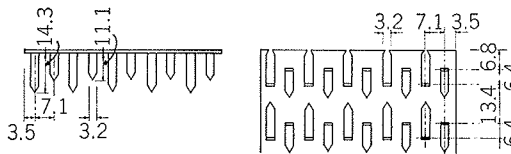
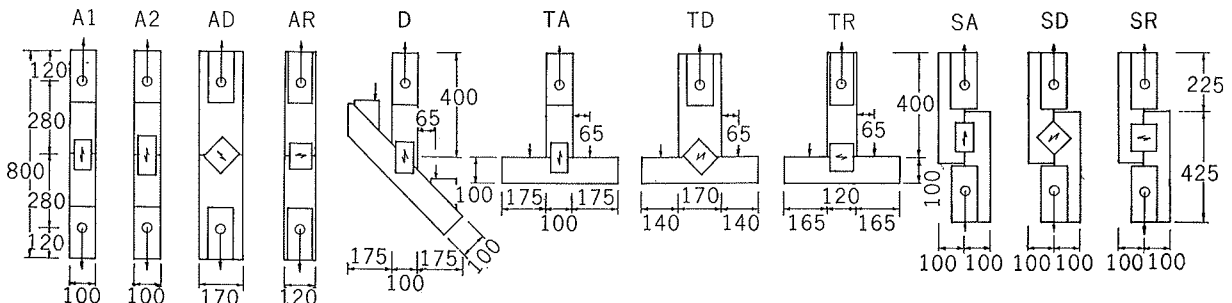


図-2 ギャングネイルの詳細



記号	A1	A2	AD	AR	D	TA	TD	TR	SA	SD	SR
応力方向 に対し	木材せんい 0°	木材せんい 0°	木材せんい 0°	木材せんい 0°	0°/45°	0°/90°	0°/90°	0°/90°	0°	0°	0°
ギャング ネイル	引張 2×4"	引張 2×6"	引張 4×3.7"	引張 4×3.7"	引張 2×4"	引張 2×4"	引張 4×3.7"	引張 4×3.7"	せん断 2×4"	せん断 4×3.7"	せん断 4×3.7"

図-3 継手試験供試体

2.1.4. 製作方法 製作手順は、以下の通り:

- 主材を人工乾燥し、含水率25%とする。
- 規定の断面寸法に仕上げる。
- 木取りする。その1例を図-4に示す。
- 端部把み代部分に補強合板を貼り孔をあける。
- ギャングネイルを両面から圧入する。油圧プレス
の最大圧力は 30kg/cm² とした。
- 製作直後の重量(ネイルとも)を記録しておく。

製作後、供試体は恒温恒湿室で、試験当日まで保存した。その間の含水率変化は、試験直前に計量して、製作直後の重量との比較により推定したが、全供試体について、±0.8%の範囲に止まった。

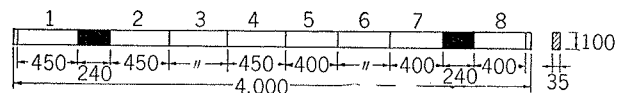


図-4 木取りの方法

2.2. 試験方法

2.2.1. 荷重装置 鋼製治具にセットした供試体をジャッキ(ロードセル荷重制御)で上下から引張る方式とした(図-5)。AおよびSタイプでは、供試体上下の孔にさし込んだピンにより、DとTでは下方のみローラーを介して荷重を伝えさせた(図-6)。

変形は、供試体の左右もしくは表裏にダイヤルゲージ(1/100mm目盛)をとりつけて測定した。

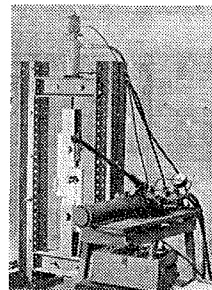


図-5 荷重装置

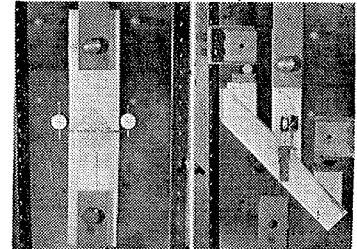


図-6 荷重状況

2.2.2. 載荷サイクル 各3体の供試体のうち、2体は単調増加荷重(100kgずつ)とし、1体のみ、くり返し荷重とした。すなわち、A1, A2, AD型は750, 1500, 2250, 3000kgをピークとした150kgずつの漸増くり返しとし、他の場合は、125kgずつで500, 1000, 1500, 2000kgをピークにとった。

2.3. 試験の経過と結果

2.3.1. 経過 荷重と変形の関係は、どのタイプでも、ほとんど直線部分が見られない。接合部の開き、あるいはずれが、ギャングネイルの歯の抜け出し、もしくは網状プレートの複雑な塑性変形によるため、と思われる。したがって、くり返し荷重による残留変形は、ピークの低い範囲でも顕著である。荷重増加に従って、明瞭な降伏状態が見られないまま変形は増大していくが、開きが5mm程度に達しても、急激な荷重低下はない(図-7)。

破壊のモードは、継手の形式によってそれぞれ違っている。大別すると、ネイルの歯がプレートの先端附近(接合面から遠い部分)から順に、抜け出してくるもの(ネイル抜け出し型-A, AD, TR, SD, SA)、ネイルのプレート部分がひきちぎれてくるもの(プレート破断型-AR)、ネイルプレートがせん断破壊するもの(プレートせん断型-SR)、ネイルの破損以前に、木材がプレート先端附近で割れ、断面の小さくなった木材部分の曲げ破壊に至るもの(木材割れ曲げ破壊型-D, TA, TD)となるが、大部分は、これらの現象が最終破壊までに、ミックスして出ている。破壊モードの代表例を図-8に示す。

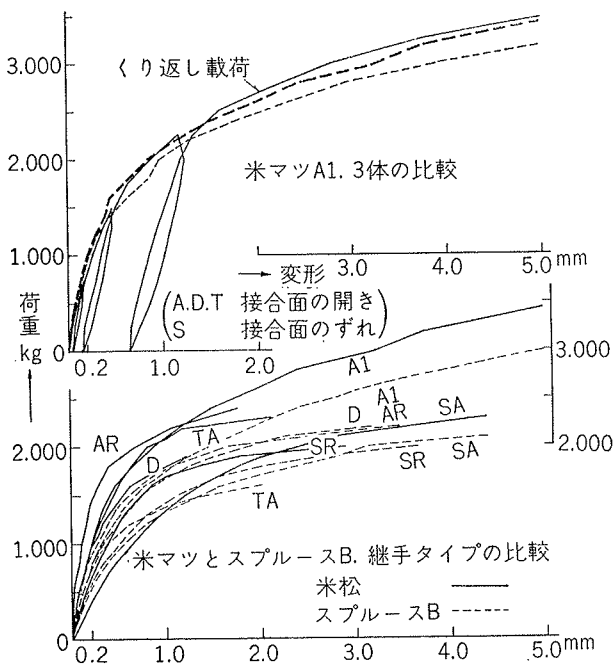


図-7 荷重と接合部変形の関係

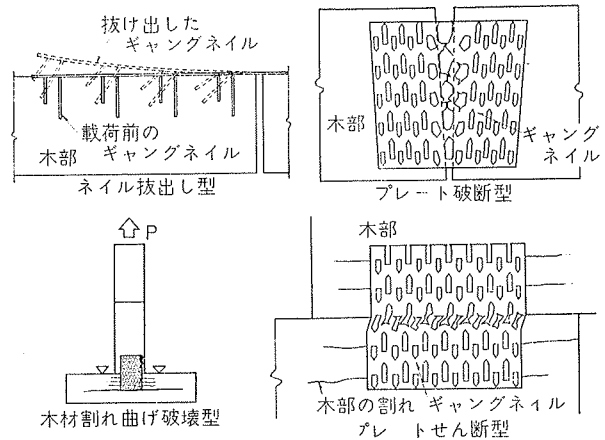


図-8 継手の破壊モード

2.3.2. 結果 樹種別の試験結果を表-2に示す。

表中の値は、供試体3体のうちの、それぞれ最大値(変形)および、最小値(荷重と応力度)である。

ギャングネイルの有効面積は、実際のプレート面積から、木材接合面より両側へ、せんい方向の場合13mm、直角方向の場合6.5mmのそれぞれ巾を無効としてさし引いたものである。

2.4. 考察

2.4.1. 荷重くり返しの影響 供試体各3体のうち1体のみ、3~4回の漸増くり返し載荷としたが、その最大強度が、他の2体よりも低い値を示したのは、全66ケース中26のみで、影響はなかったといえる。

2.4.2. プレートサイズと強度 プレートのサイズのみを変えたA1とA2の最大荷重時応力度を比べると、A2が10%内外低くなっていて、ネイル継手の強度がプレートサイズに比例しないことを示しているが、実用上は、サイズの使用範囲を限定すれば、その比例関係を仮定することも許されよう。

2.4.3. ネイルの角度 木材せんいとネイル歯のなす角度0°の場合の強度に対する45°および90°の値の比を表-3に示す(図-3参照)。一部の例外を除き、一般に角度が増すと、強度が下がっている。

タイプ	角度	米マツ	米トガ	エゾマツ	欧州赤マツ	スプルースA	スプルースB
A	45°	1.02	.98	.90	.98	1.29	1.23
	90°	.71	.61	.93	.77	.93	.82
T	45°	.75	1.14	1.00	.91	.88	.90
	90°	.58	1.04	.83	.77	.74	.92
S	45°	.83	.87	.97	.75	.75	.74
	90°	.66	.63	.86	.64	.71	.63

表-3 ネイル角度と強度低下

2.4.4. ネイルプレートの形状 プレートの強度で継手の耐力が決まる場合、プレート幅を増やすことが、補強法として有効である(AR)。木材の割れで決まる場合は、プレートの奥行を深くするのがよい(T)。

米マツ

供試体	ギャングネイル		変形 mm		荷重 kg		応力度 kg/cm ²		破壊の状況
	実サイズ cm	有効面積 cm ²	↓Pmax.	↓Pmax.	変形0.2mm	Pmax.	変形0.2mm	↓Pmax.	
A 1	7.1×11.9	66.0	.21	2.17	820	3200	12.4	12.1	ネイル抜け出し
A 2	7.1×15.8	93.7	.19	1.78	950	3700	10.2	9.9	プレート破断 ネイル抜け出し
A D	9.9×10.7	69.2	.11	.76	1140	2800	16.4	10.1	ネイル抜け出し
A R	"	80.2	.07	.42	1330	2250	16.5	7.0	プレート破断
D	7.1×11.9	68.6	.11	.58	780	1900	11.3	6.9	木材割れ
T A	"	70.6	.10	.65	660	1700	9.4	6.0	"
T D	9.9×10.7	78.6	.04	.35	940	1400	12.0	4.5	"
T R	"	86.6	.05	.29	900	1200	10.4	3.5	"
S A	7.1×11.9	69.0	.30	1.62	410	2250	5.9	8.2	ネイル抜け出し プレートせん断
S D	9.9×10.7	88.0	.25	1.51	500	2375	5.7	6.8	"
S R	"	92.0	.14	.73	670	1875	7.3	5.1	プレートせん断

米トガ

供試体	ギャングネイル		変形 mm		荷重 kg		応力度 kg/cm ²		破壊の状況
	実サイズ cm	有効面積 cm ²	↓Pmax.	↓Pmax.	変形0.2mm	Pmax.	変形0.2mm	↓Pmax.	
A 1	7.1×11.9	66.0	.21	2.35	760	3200	11.5	12.1	ネイル抜け出し
A 2	7.1×15.8	93.7	.22	1.53	880	3600	9.4	9.6	"
A D	9.9×10.7	69.2	.14	.97	850	2600	12.3	9.4	"
A R	"	80.2	.11	1.04	650	1875	8.1	5.9	プレート破断
D	7.1×11.9	68.6	.11	.77	760	1700	11.1	6.2	木材割れ
T A	"	70.6	.10	.58	580	1400	8.2	5.0	"
T D	9.9×10.7	78.6	.09	.48	795	1800	10.1	5.7	"
T R	"	86.6	.09	.56	815	1800	9.4	5.2	"
S A	7.1×11.9	69.0	.21	1.20	575	2250	8.3	8.2	プレートせん断
S D	9.9×10.7	88.0	.14	1.02	820	2500	9.3	7.1	"
S R	"	92.0	.19	.84	495	1900	5.4	5.2	"

エゾマツ

供試体	ギャングネイル		変形 mm		荷重 kg		応力度 kg/cm ²		破壊の状況
	実サイズ cm	有効面積 cm ²	↓Pmax.	↓Pmax.	変形0.2mm	Pmax.	変形0.2mm	↓Pmax.	
A 1	7.1×11.9	66.0	.15	1.84	720	2250	10.9	8.6	ネイル抜け出し
A 2	7.1×15.8	93.7	.21	2.26	730	3000	7.8	8.0	"
A D	9.9×10.7	69.2	.11	.69	795	2200	11.5	7.2	"
A R	"	80.2	.07	.62	1200	2375	15.0	7.4	プレート破断
D	7.1×11.9	68.6	.15	1.05	570	1500	8.3	5.5	木材割れ
T A	"	70.6	.10	.62	545	1125	7.7	4.0	"
T D	9.9×10.7	78.6	.09	.45	575	1250	7.3	4.0	"
T R	"	86.6	.08	.54	500	1125	5.8	3.3	"
S A	7.1×11.9	69.0	.43	1.98	260	1625	3.8	5.9	プレートせん断
S D	9.9×10.7	88.0	.29	1.69	395	2000	4.5	5.7	"
S R	"	92.0	.26	1.34	405	1875	4.4	5.1	"

欧州赤マツ

供試体	ギャングネイル		変形 mm		荷重 kg		応力度 kg/cm ²		破壊の状況
	実サイズ cm	有効面積 cm ²	↓Pmax.	↓Pmax.	変形0.2mm	Pmax.	変形0.2mm	↓Pmax.	
A 1	7.1×11.9	66.0	.14	1.47	900	2850	13.6	10.8	ネイル抜け出し
A 2	7.1×15.8	93.7	.19	1.69	940	3600	10.0	9.6	"
A D	9.9×10.7	69.2	.10	.64	1100	2600	15.9	9.4	"
A R	"	80.2	.10	.74	1040	2500	13.0	7.8	プレート破断
D	7.1×11.9	68.6	.12	.77	775	1625	11.3	5.9	木材割れ
T A	"	70.6	.09	.42	785	1500	11.1	5.3	"
T D	9.9×10.7	78.6	.06	.28	950	1500	12.1	4.8	"
T R	"	86.6	.08	.33	730	1400	8.4	4.1	"
S A	7.1×11.9	69.0	.13	1.14	710	2200	10.3	8.0	プレートせん断
S D	9.9×10.7	88.0	.16	1.17	600	2100	6.8	6.0	"
S R	"	92.0	.16	1.10	560	1875	6.1	5.1	"

スブルース(A)

供試体	ギャングネイル		変形 mm		荷重 kg		応力度 kg/cm ²		破壊の状況
	実サイズ cm	有効面積 cm ²	↓Pmax.	↓Pmax.	変形0.2mm	Pmax.	変形0.2mm	↓Pmax.	
A 1	7.1×11.9	66.0	.21	2.48	640	2500	9.7	9.5	ネイル抜け出し
A 2	7.1×15.8	93.7	.24	2.76	685	3000	7.3	8.0	"
A D	9.9×10.7	69.2	.14	.99	940	2850	13.6	10.3	"
A R	"	80.2	.10	.82	1040	2375	13.0	7.4	プレート破断
D	7.1×11.9	68.6	.11	.71	630	1600	9.2	5.8	木材割れ
T A	"	70.6	.12	.77	450	1200	6.4	4.3	"
T D	9.9×10.7	78.6	.08	.45	620	1200	7.9	3.8	"
T R	"	86.6	.11	.51	580	1100	6.7	3.2	"
S A	7.1×11.9	69.0	.23	1.17	470	2100	6.8	7.6	プレートせん断
S D	9.9×10.7	88.0	.18	1.22	530	2000	6.0	5.7	"
S R	"	92.0	.22	2.32	580	2000	6.3	5.4	"

スブルース(B)

供試体	ギャングネイル		変形 mm		荷重 kg		応力度 kg/cm ²		破壊の状況
	実サイズ cm	有効面積 cm ²	↓Pmax.	↓Pmax.	変形0.2mm	Pmax.	変形0.2mm	↓Pmax.	
A 1	7.1×11.9	66.0	.21	2.20	710	2400	10.7	9.1	ネイル抜け出し
A 2	7.1×15.8	93.7	.23	2.28	750	3150	8.0	8.4	"
A D	9.9×10.7	69.2	.12	.76	1040	2850	15.0	10.3	"
A R	"	80.2	.11	.84	865	2200	10.8	6.9	プレート破断
D	7.1×11.9	68.6	.12	1.05	685	2000	10.0	7.3	木材割れ
T A	"	70.6	.10	.77	655	1400	9.3	5.0	"
T D	9.9×10.7	78.6	.07	.41	685	1400	8.7	4.5	"
T R	"	86.6	.08	.56	500	1600	5.8	4.6	"
S A	7.1×11.9	69.0	.22	1.55	460	2000	6.7	7.3	プレートせん断
S D	9.9×10.7	88.0	.23	1.39	420	1900	4.8	5.4	"
S R	"	92.0	.20	1.19	460	1700	5.0	4.6	"

表一 継手試験結果一覧

3. トラス試験

3.1. 供試体

トラス供試体は、図一9に示す3種類とした。いずれも、大林ハウスに多用される実大スパンである。載荷時の安定性のため、トラス2枚を50cm間隔で並べて、上下面を合板で連結した。使用木材は赤マツで、断面寸法は合掌と陸ばりが4×9、斜材が4×5cmである。部材接点の両側から#18ギャングネイルを、油圧

プレスで圧入した。各接点のプレートサイズと貼り方は、ABC社の設計規準によった(図一10)。

3.2. 試験方法

図一9に示すように、3体とも単純ばりとして集中荷重(漸増くり返し)により試験を行った。いずれも陸ばり中央または節点でのたわみ、および合掌と陸ばりとのずれを、ダイヤルゲージで測定した。また、各部材の中央部にストレインゲージを貼り、ひずみを測定した。

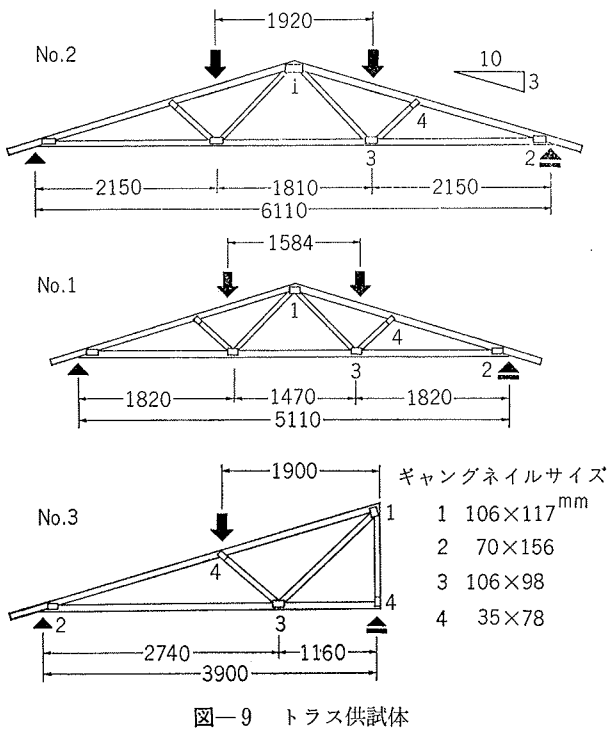


図-9 トラス供試体

3.3. 経過と結果

トラス No. 1 では、 $P=650\text{ kg}$ (1.6Ws—短期荷重) で、合掌尻のずれが 0.7 mm となった。第3サイクルの $P=2000\text{ kg}$ でそのずれが 2.5 mm に達し、以後変形(ネイルの抜け出し)が急速に進み始めたので $P=2500\text{ kg}$ で 載荷を終えた(図-11)。

No. 2 の場合、 $P=1800\text{ kg}$ (3.6Ws) で陸ばり材端の、ふしによる断面欠損部分が破断し、試験を中止したが、合掌尻を始め、各節点に異常はなかった。

No. 3 の場合、 $P=2000\text{ kg}$ (8.7Ws) に至っても、部材・節点に異常なく、試験を終了した。

以上の結果を、表-4 に示す。表中、たわみの計算値は、合掌と陸ばりを連続ばり、その他の節点をすべてピンとしたトラス計算値で、材料試験から得た木材のヤング係数を用いている。

3.4. 考察

各トラスとも、たわみは、計算値より相当大きい。部材の応力状態は、ひずみの測定によれば、計算値とよく一致しているので、この誤差は主として、各節点特に合掌尻での部材同志のずれ(ネイルの抜け出し、せん断変形)によるものであろう。ただし、短期設計荷重の3倍程度までは、ギャングネイルに目視できるような異常は発生せず、たわみも計算値の50%増し程度なので、この継手方法が、他の工法に比較して特に不利とは言えず、実用上に問題はないものと思われる。

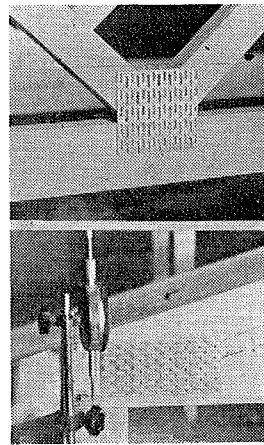


図-10 トラス節点

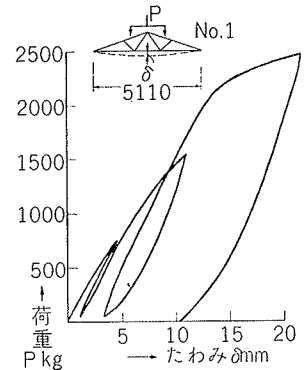


図-11 荷重—変形曲線

トラス		たわみ mm			最大荷重 kg	最終状況
		短期荷重時	2×短期	3×短期		
No. 1	実験値	2.05	4.95	8.50	2400	合掌尻のネイルが抜け始める(荷重上昇可能)
	計算値	1.70	3.65	5.50		
	実/計	1.21	1.36	1.55		
No. 2	実験値	3.50	9.50	14.9	1800	陸ばり端の欠陥部が破断 ネイル異常なし
	計算値	3.05	6.48	9.95		
	実/計	1.15	1.46	1.50		
No. 3	実験値	0.20	0.80	1.50	2000	各部異常なし ほとんど弾性範囲
	計算値	0.30	0.70	1.05		
	実/計	0.67	1.14	1.43		

表-4 トラス試験結果

4. まとめ

(1) ギャングネイル継手の強度は、樹種、木材せんり方向、ネイル方向、ネイルプレート応力の種類によって、それぞれ異なるので、その強度評価は、それらの要因別になされなければならないが、実際には、それらを適当に整理統合すればよい。

(2) 継手の強度は、ネイルプレートの大きさに比例はしないが、実用上はそれを仮定して、許容応力度を決めてよい。その値は、強度に対する安全率、および変形制限を考慮して、設計的に決めればよい。ただしネイルプレートのたてよこの辺長は、破壊のモードを考慮して、最適寸法としなければならない。

(3) ギャングネイルによって組立てたトラスは、構造的に満足すべき挙動を示す。

謝辞 本試験の計画について、林業試験所山井博士および、明治大学杉山教授にご教示を賜わり、また、供試体製作には、内外木材㈱の皆様のご協力をいただきました。ここに厚くお礼を申し上げます。

参考文献 G.F. Readon: Properties of joints in messmate stringybark formed by punched tooth metal plate connectors. Laboratory report-1 '66