

実大木構造物・実大集成梁の強度試験（1）

- 製造および剛性試験 -

木材部 材料科，乾燥科
試験部 製材試験科，合板試験科

従来工法で木構造物をつくる場合，部材を互にはめ合わせ，釘，ボルト，金属製ガセットプレートなどで接合する小屋組工法では，部材の接合効率が低いと考えられ，材料の切捨ロスが大きく，建築生産性が劣り，しかも，部材そのものは節，目切れ，割れなどの欠点とともに含水率が高いのが普通であり，剛性も強度もわからないために十分な構造計算がなされず，ことに強度的な面で高い評価がなされていないことが問題点として挙げられる。

しかし，適正含水率まで乾燥され剛性が測定されたラミナによって構成した集成材による部材では，構造物の剛性計算が可能であり，また，その最大耐力が推定できるので，設計計算によって部材断面の大きさをきめることができ，ことに，ガセットプレートに合板を用い釘打ち圧縮法により接着剤で部材に接着する合板ガセット接着法の応用による山形ラーメン，フイクトラスなどの工法や異樹種構成複集成材などの研究開発は，軽量形鋼などの木材産業界への侵蝕を阻止しうる可塑性があって，ともに構造材料としての木材の高い評価のもとに建築産業にむすびつく木材産業の発展に役立ちうると考えられる。

これらの観点から，当场では，木質系構造用複合材料の製造技術に係る技術指導施設設置事業として，通産省中小企業庁より，昭和43年度技術指導施設費補助金の交付を受け堅型油圧材料試験機（上部ラム20t，下部ラム100t）を購入設置した。

1. まえがき

試験の目的は，合板ガセット接合による実大木造山形ラーメン，実大木造トラス，ならびに実大複集成材などの強度性能を明らかにするために，強度の高いミズナラ材を面材に用いたミズナラ - エゾマツ複集成材，エゾマツ単一集成材，ミズナラ単一集成材の剛性および許容応力度の検討をすること。実大木構造物については，合板ガセット接着法による集成材トラス，合板ガセット接着法による集成材二鉸節山形ラーメン，在来工法による木造トラスなどについて剛性および破壊試験をおこない，在来工法との材料消費量を比較し（剛性／重量，剛性／容積），設計予測計算の信頼性を確かめ，工法上の改良点を見出し，破損発展の形式の材料的な見地からの観察をおこない，集成材を用いた新しい建築工法による構造材料としての実用化を図るための問題点を究明しようとする

ものである。

試験体の製造については，本年1月以来，実大木構造物として合板ガセット接着法による木造トラス試験体（エゾマツ6層集成材，部材断面は6×12cm，ガセットは，シナ5プライ9mm厚合板，ミズナラ5プライ9mm厚合板，レゾルシノール樹脂接着剤による釘圧縮接着，試験体はスパン9m，勾配30°のフイクトラス），木造山形ラーメン試験体（エゾマツ10層集成材，部材断面は10×20cm，ガセットは，シナ7プライ15mm厚合板，レゾルシノール樹脂接着剤による釘圧縮接着，試験体はスパン9m，屋根勾配30°の両脚ピンの二鉸節山形ラーメン）を，実大集成材として，強度の高いミズナラを面材に用いたミズナラ - エゾマツ複集成材，エゾマツ単一集成材，ミズナラ単一集成材（ともに巾15cm，材せい130cm，材長500cm

の15層集成材)の製造を, 当场試験部と木材部の共同研究として次のように分担して実施した。

原木調査	試験部	製材試験科
製材試験	"	"
重量, 含水率測定	木材部	材料科
ラミナ1次選別	"	"
乾燥試験	"	乾燥科
乾燥にともなう欠点調査	"	"
重量, 節径比測定	"	材料科
ヤング係数測定	"	"
ヤング係数計算	"	"
ラミナ2次選別および組	"	"
合せ		
スカーフ切削および接着	試験部	製材試験科
試験		
切削加工試験	"	"
ラミナ測定および3次選別	"	"
集成接着試験	"	"
ガセット用合板製造	"	合板試験科
(ステージ用合板製造)		
集成材仕上げ加工	"	製材試験科
部材加工	木材部	木材部各科
ステージ製作	"	"
トラス, ラーメン組立	"	"

2. 試験体の設計

2.1 設計荷重

北海道では, 冬季間の積雪荷重が最も大きな荷重となり, 旭川地方の平地における最大積雪量が150cmと見做されることから, この数値を根拠としておこなった荷重計算の手順は次のとおりであり, 骨組1体の設計荷重は3600kgとなった。

荷重計算

最大積雪: 150 (cm)

長期最大積雪: $150 \times 0.7 = 105$ (cm)

勾配30°の屋根上の積雪: $105 \times 0.75 = 79$ (cm)

積雪荷重: $0.79 \times 0.25 = 200$ (kg/m²) …… (1)

骨組荷重: 10 + スパン長

= $10 + 9 = 19$ (kg/m²) …… (2)

長期荷重: (1) + (2) = $200 + 19 = 219$ (kg/m²)

骨組の負担面積: スパン長 × 骨組間隔

$$9 \times 0.9 = 8.1 \text{ (m}^2\text{)}$$

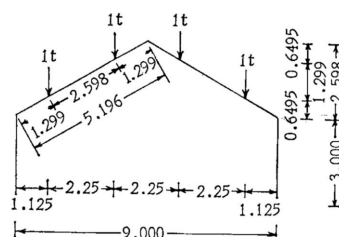
骨組1体の負担長期荷重: $219 \times 8.1 = 1800$ (kg)

同短期換算値 (設計荷重): $1800 \times 2 = 3600$ (kg)

2.2 設計計算と部材寸法の設定

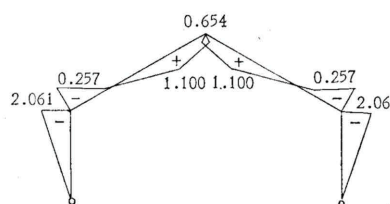
2.2.1 二鉸銃節山形ラーメン

設計計算は第1図のように荷重がかかるものとして計算した。

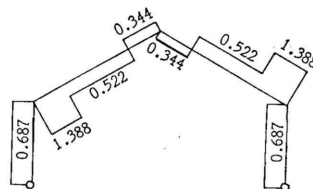


第1図 荷重図 (長さ: m)

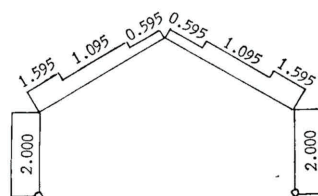
1) 曲げモーメント, せん断力, 軸力
EI一定の場合の各図を第2図, 第3図, 第4図に示した。



第2図 曲げモーメント図 (t·m)



第3図 せん断力図 (t)



第4図 軸力図 (t)

2) 部材寸法の設定

最大曲げモーメントを次式に代入し断面寸法を求めた。

$$Z = M/\delta$$

$$Z = \text{断面係数} = \frac{bh^2}{6} \quad (\text{cm}^3)$$

M = 最大曲げモーメント

$$= 2.061 \times 0.9$$

$$= 1.8549 \quad (\text{t} \cdot \text{m})$$

$$= 1.8549 \times 105 \quad (\text{kg} \cdot \text{cm})$$

$$= \text{短期曲げ許容応力度} = fb = 270 \quad (\text{kg} / \text{cm}^2)$$

(上級構造材の1.5倍)

h = 2b とすると

$$b^3 = \frac{3 \times 1.8549}{2 \times 270} = 1030$$

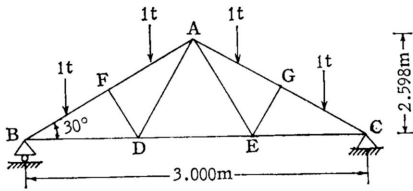
よって b = 10.1 (cm)

h = 20.2 (cm)

これより断面寸法を10×20 (cm) とした。

2.2.2 ファイントラス

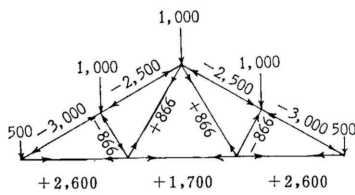
設計計算は第5図のように荷重がかかるものとして計算した。



第5図 荷重図

1) 軸方向力 (一次応力) : P

荷重は第6図のように節点にかかるとする。



第6図 一次応力図(t)

2) 曲げモーメント (荷重による)

合掌材BF, FA, AG, GCの荷重作用点の曲げモーメントは次のようになる。

i. 節点をピンと考えると

$$M = \frac{P \ell}{4} = \frac{1,000 \times \frac{900}{4}}{4} = 56.25 \times 10^3 (\text{kg} \cdot \text{cm})$$

ii. 節点を剛と考えると

$$M = \frac{P \ell}{8} = \frac{1,000 \times \frac{900}{4}}{8} = 28.125 \times 10^3 (\text{kg} \cdot \text{cm})$$

3) 部材寸法の設定

最大応力部材BF, GCの軸方向力および曲げモーメントを次式に代入し, 断面寸法を求めた。

$$\frac{P}{A \times fc \text{ (or } ft)} + \frac{M}{Z \times fb} \leq 1$$

設計荷重3600kg, 節点を剛と考えるとBF, GC部材の場合

$$P = 2.7 \times 10^3 \quad (\text{kg})$$

$$M = 25.3125 \times 10^3 \quad (\text{kg} \cdot \text{cm})$$

$$fc = 160 \text{ kg} / \text{cm}^2 \quad (\text{エゾマツ上級材短期許容圧縮応力度})$$

$$fb = 270 \text{ kg} / \text{cm}^2 \quad (\text{エゾマツ上級材短期許容曲げ応力度の1.5倍})$$

$$A = bh = 6.00 \times h \quad (\text{断面積})$$

$$Z = \frac{bh^2}{6} = \frac{6.00}{6} \times h^2 = h^2 \quad (\text{断面係数})$$

と仮定して,

$$\frac{2.7 \times 10^3}{6 \times 160 \times h} + \frac{25.3125 \times 10^3}{270 \times h^2} = 1$$

$$h^2 - 2.8125h - 93.75 = 0$$

これを解いて h = 11.15

これより部材断面をb×h = 6×12 (cm) とした。

2.2.3 合板ガセットによる接合部の設計

接合に用いる合板ガセットの寸法はつぎのようにして設計した。

1) 接着面積の検討

母材と合板ガセットとの接着面積 (A) がこの接着部分に働く軸力 (N), せん断力 () およびその図心に関するモーメント (M) に対するせん断応力について充分かどうかを検討する。

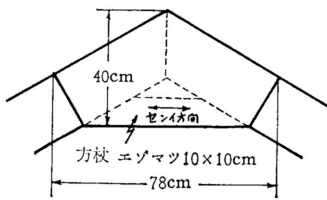
$$\frac{N+V}{A} + \frac{Mr}{Ip} \leq fr \quad (\text{or } fg)$$

ここで, rは接着面積内の図心より最も離れた位置までの距離, Ipは断面極二次モーメントである。許

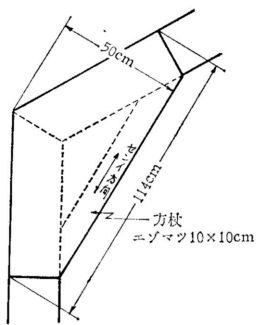
容せん断応力として、 $f_r = 25/3$ (kg/cm^2) (シナ合板のローリングシア一強さの1/3) および、 $f_g = 50/3$ (kg/cm^2) (シナ合板と母材との接着力の1/3) を用い、上式を満足する接着面積Aを求めた。

2) ガセット板の耐力の検討

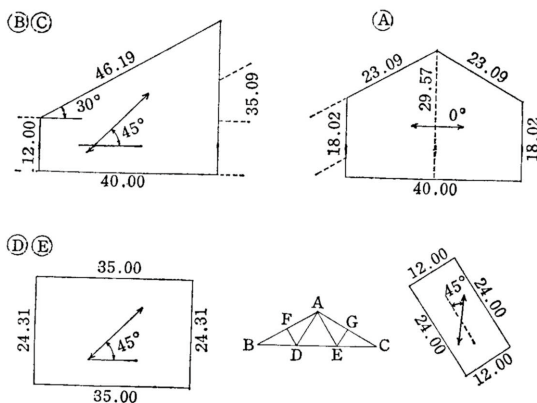
前項が満足されるとき、ガセット板の耐力が荷重によって生ずる軸方向力、モーメントおよびせん断力に対して充分かどうか検討する。山形ラーメンのばあいは腰部ガセットに対する曲げモーメントが、トラスのばあいは合掌尻ガセットに対するせん断力が支配的となる。



第7図 頂部ガセット



第8図 腰部ガセット



第9図 フィンクトラスガセット (単位cm)

山形ラーメンのばあいは、腰部ガセットは予備試験において、ガセット表板の繊維方向の最大長90cm、同直角方向の中央長43.5cmの12mm厚のラワン合板を用いたが、最大曲げモーメント3,072t・mで、ガセット板に曲げ破壊が生じた。このため、本試験体に対しては設計荷重3.6t (このときの曲げモーメント1.855t・m) の3倍に耐えうるよう、ガセット板の最大断面における断面係数を約2倍にし、第7~9図のような寸法とした。

トラスのばあいは合掌尻において、

$$2t \times l \geq \frac{V}{f_s}$$

によって、ガセットの長さlが決められる。ここで、tは合板の厚さ(9mm)、 f_s はせん断力(合掌材と陸梁間)、 f_{sl} は許容せん断応力度で、シナ合板のばあいは0°および90°方向のパネルせん断強さ100kg/cm²、45°方向の同170kg/cm²の1/3をとった。

3) ガセット板の座屈に対する検討

前記2項が満足されるとき、ガセット板の母材が接着されていない自由側面に座屈が生ずるかどうかを検討し、方杖(Stiffener)が必要かどうかをきめる。

山形ラーメンのばあいは座屈することが明らかであるので、10cm×10cmのエゾマツ材を方杖として用いたが、トラスのばあいはガセットの自由側面の長さが短かく、座屈のおそれがないと考えられるので、方杖を用いなかった。

3. 試験体の製造

3.1 集成材の製造

試験計画にもとづいて試作した構造用集成材の内訳を第1表に示す。

本試験ではラミナの長さはエゾマツ3.7m、ミズナラ3.0mを基準寸法として、短尺材は使用しないこととし、仕上り厚さはすべて20mmとした。また、ラミナの縦接合は、表層用はスカーフ比10:1、中層用は6:1とした。

集成材の製造はラミナ原板の製材から集成材の仕上げまで、当場の試験工場においておこな

第1表 試作構造用集成材

集成材の用途		集成材寸法		積層数 (枚)	製造数量 (本)	備考
		断面 (cm)	長さ (m)			
フイックトラス	陸梁	12×12	10	6	2	エゾマツ 集成後断面 6×12に挽割
	合掌	〃	6	〃	4	
	斜材	〃	3.5	〃	6	
	柱	12×14	3.5	7	4	
山形ラーメン	合掌	10×20	6	10	8	〃
	柱	〃	3.5	〃	〃	
集成梁	複合	15×30	5	15	1	エゾマツ 11層, ミズナラ 4層
	エゾマツ	〃	〃	〃	〃	
	ミズナラ	〃	〃	〃	〃	

た。以下製造工程の順を追って報告する。

3.1.1 ラミナ原板の製材

ラミナの仕上り断面は20mm×100, 120, および150mmの三種類であるが、これに対する原板の挽立て寸法は乾燥による収縮, 狂い, および鉋削量などを考慮して延べ寸を付けなければならない。今回は今後, 集成材の工業的生産技術に関する試験研究をおこなう場合の指針をうるための予備試験として, かなり余裕をもった延べ寸を付け, 第2表の寸法で採材する

第2表 ラミナ原板の製材寸法

樹種	仕上り断面寸法 (mm)	製材断面寸法 (mm)
エゾマツ	20×100	24×120
〃	20×120	24×150
〃	20×150	24×180
ミズナラ	20×120	26×180
〃	20×150	26×210

ことにした。

原木の径級および等級別にラミナの製材歩止りについて試験した。ラミナの採材基準は下記の通りとし, ラミナ採材に適しない部分からは一般材を木取った。

(1) 節の大きさは生節, 死節にかかわらず, 採材幅が15cm以上の場合は長径5cm以下, 12cmのものは長径3cm以下とする。

(2) 腐れ, 変色などの欠点の著しくないもの

各供試原木グループ別の製材形量歩止りを第3表に示す。

製材品の形量歩止りはエゾマツおよびミズナラとも, ほぼ道産材として標準的な歩止りである。ラミナ原板の歩止りは, 原木の径級および品等が上位のものほど高くなっている。また, 採材したラミナを農林規格によって等級格付けをおこなうと, エゾマツの場合

第3表 供試原木および材種別形量歩止り

グループ	原木					形量歩止り (%)							
	樹種	径級	品等	本数	材積	ラミナ	板	小巾板	正割	平割	正角	短材	計
1	エゾマツ	30~38	I, II	10	4.328	35.2(24.3)	10.2	7.2	5.5	5.8	5.6	2.5	72.0
2	〃	〃	III	15	6.477	22.9(14.2)	16.9	6.9	8.7	3.4	9.9	1.4	70.1
3	〃	40~48	I, II	10	6.979	39.1(21.2)	8.0	4.6	7.1	4.1	6.9	3.2	73.0
4	〃	〃	III	15	10.071	29.6(18.1)	21.2	6.0	6.7	3.5	6.5	3.2	72.0
5	ミズナラ	30~38	I, II	10	3.531	24.9(24.0)	15.5	4.2	6.9	10.7	—	0.5	62.7
6	〃	〃	III	10	3.574	19.1(17.8)	16.5	3.5	7.9	13.7	—	1.2	61.9
7	〃	40~48	I, II	10	5.569	35.8	14.2	3.5	3.4	8.5	—	0.7	66.1
8	〃	〃	III	10	5.780	24.9	13.3	6.3	4.1	9.6	—	0.8	59.0

() 内数字: 次項一次選別後のラミナ歩止り

には上小節、小節および並1等品が、ミズナラの場合には特等、1等および2等品がその主体を占めていた。

3.1.2 ラミナの一次選別

前項のラミナ製材試験によって採材されたラミナ用原板を、さらに下記の選別基準にしたがって、厳密に選別した。

(1) 集成材の仕上り寸法に対して最大節径比50%以

下、集中節径比70%以下とする。

(2) “あて” は材面に対して50%以下とする。

(3) 腐れ、もめ、変色やにつぼ、入皮を含まないこと。

(4) 乾燥、切削、接着の過程で支障を生ずると考えられるような欠点を含まないこと。

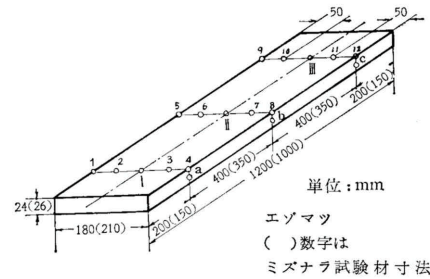
以上の基準にしたがって原板の一次選別をおこなった結果を第4、5表に示す。

第4表 ラミナ原板の一次選別結果

樹種	調査枚数	合格枚数	合格率(%)	不合格ラミナの欠点別枚数								計
				節	あて	割れ	曲り	歩切れ	腐れ	変色	その他	
エゾマツ	1,182	782	66.1	121	83	44	48	74	26	2	2	400
ミズナラ	273	230	84.2	6	0	17	2	8	2	5	3	43

第5表 農林規格別の一次選別合格率

エゾマツ		ミズナラ	
等級	合格率(%)	等級	合格率(%)
上小節	82	特等	100
小節	86	1等	100
1等	76	2等	100
2等	33	3等	80
3等	5		



測定点
 厚さ方向収縮率 {側端部 1, 4, 5, 8, 9, 12
 {中央部 2, 3, 6, 7, 10, 11
 幅方向収縮率 a, b, c
 幅反り I, II, III

第10図 試験材の寸法および測定点

基準寸法に対してマイナスを認めない厳しい選別をおこなったため、歩切れによる不合格ラミナが不合格品の約20%を占めた。集成材製造にあたって、ラミナ原板寸法に対し、農林規格許容範囲内のマイナスを認めるかどうかは今後の検討課題である。

第5表のエゾマツの結果は供試原木1~4グループ、ミズナラは5~6グループの平均値である。

前記ラミナ選別基準を農林規格と対応すれば、エゾマツでは並1等以上、ミズナラでは3等以上より採材することが望ましい。

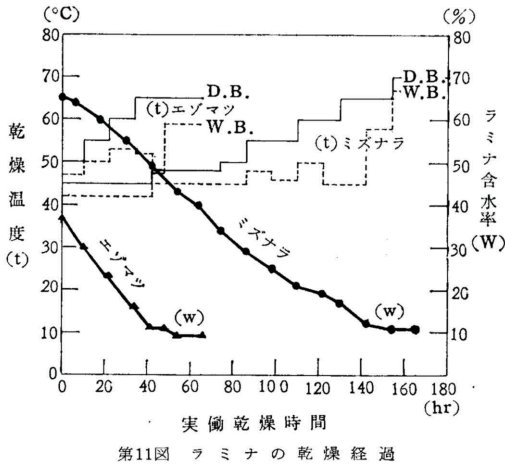
3.1.3 ラミナの乾燥

一次選別に合格したラミナは、試験実施時期が1~2月の厳冬期であったため、予備乾燥をおこなうことなく、直ちに内部送風機型乾燥室で人工乾燥をおこない各種乾燥特性の測定をおこなった。なお、含水率、収縮率、水分傾斜などの測定用として、第10図に示す鉋

削仕上げした試験材を各樹種25枚ずつ乾燥した。栈木間隔はエゾマツでは45cm、ミズナラでは35cmとし、栈木は2.5×3.0cmのものを使用した。

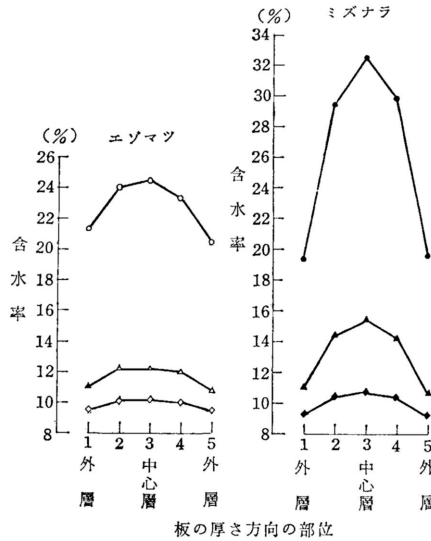
仕上り含水率は12±2%を目標とし、標準的なスケジュールよりも一段緩やかな条件を採用し、1日12時間の間歇運転により乾燥した。第11図に乾燥温度条件および乾燥経過を図示した。全乾燥時間はエゾマツ168時間、ミズナラ402時間であり、このうち実働運転時間はそれぞれ66時間および166時間である。

エゾマツは19時間コンディショニングをおこない、仕上り平均含水率9.7%、ミズナラはイコーライジン



第11図 ラミナの乾燥経過

各樹種の試験材それぞれ5枚について、木口から10cm入ったところから長さ3cmの試験片を採取し、これらを厚さ方向に5等分して、全乾法により厚さ方向の水分傾斜を測定した。測定結果を第13図に示す。

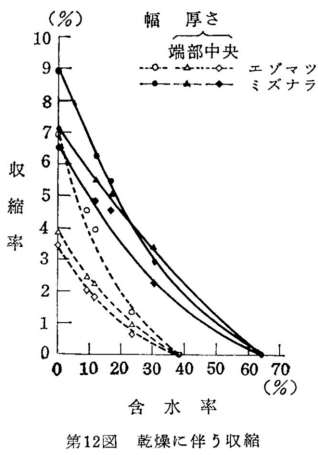


第13図 材中の水分傾斜

グおよびコンディショニングをそれぞれ12時間おこなって、平均含水率11.4%に仕上がった。

1) 乾燥による収縮

エゾマツおよびミズナラ試験材各10枚について、幅方向の収縮（測定点a, b, cの平均）および厚さ方向の収縮（側端部測定点1, 4, 5, 8, 9, 12, 中央部測定点2, 3, 6, 7, 10, 11の平均）経過を第12図に示した。なお測定には精度1/20mmのノギスを用いた。



第12図 乾燥に伴う収縮

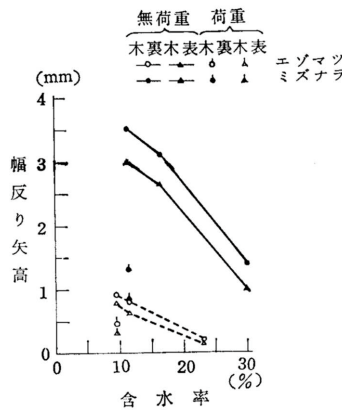
乾燥仕上り時における収縮率は、厚さ方向ではエゾマツ約2%、ミズナラ約5%であり、また幅方向の収縮率はそれぞれ約4.5%および約6%であった。

2) 水分傾斜

乾燥仕上り時において、エゾマツでは約1%、ミズナラでは約1.5%の水分傾斜であった。

3) 乾燥に伴う幅反り

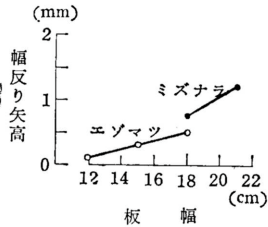
第10図の試験材による測定結果を第14図に示す。これは無荷重状態および積みのほぼ中央部に積み込んで荷重をかけて乾燥した試験材各10枚の平均値であ



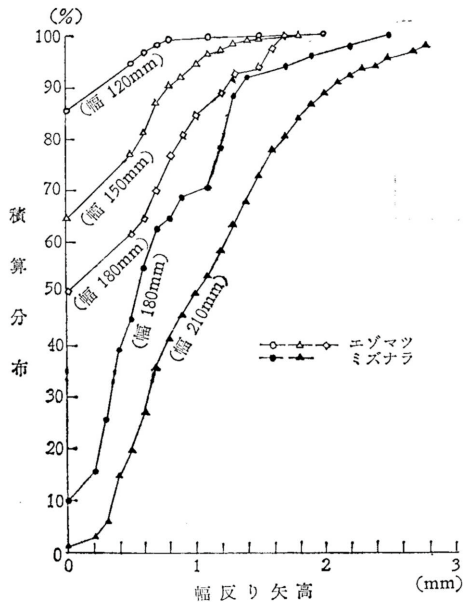
第14図 乾燥に伴う幅反り

る。測定は精度1/100mmダイヤルゲージ付きカップゲージを用い、木表側および木裏側において各3点（測定点、
、
）おこなった。なおスパンはエゾマツ16cm、ミズナラ19cmである。

荷重の効果は顕著であり、荷重をかけることによって、無荷重状態での乾燥仕上り時の反り平均矢高を、エゾマツでは約50%、ミズナラでは約70%減ずることができる。



第15図 板幅と幅反り



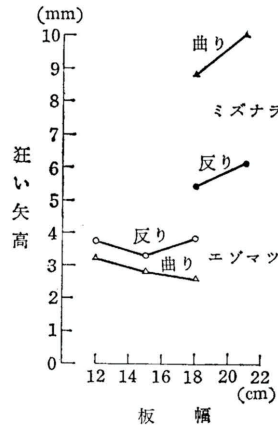
第16図 幅反り量の積算分布

第15図は乾燥材全数について、材面に平滑な定規をわたし、くぼみを隙間ゲージで測定した結果である。板幅に比例して反り矢高は増加する。また第16図は樹種および板幅別の反り矢高の出現頻度である。

4) 乾燥に伴う長さ方向の狂い

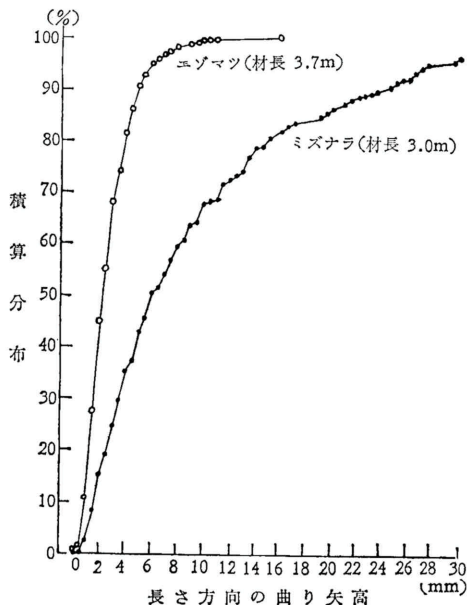
乾燥材全数について長さ方向の反りおよび曲りを測

定した結果を第17図に示す。エゾマツは長さ3.7m、ミズナラは長さ3.0mの全長に水糸を張り、狂いの最大矢高を測定した。



第17図 板幅と長さ方向の狂い

板幅別による狂い量には差程顕著な差異が認められないので、樹種別に曲り矢高の平均出現頻度を求め第18図に示した。累積分布90%のとき、長さ方向の曲り矢高はエゾマツ5mm、ミズナラ24mmである。したがって、乾燥原板の幅ぎめをおこなう際に、仕上り幅に対してエゾマツは10mm、ミズナラは48mmの延べ

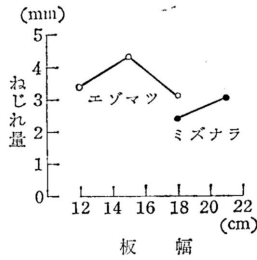


第18図 長さ方向曲り量の積算分布

寸があれば、約90%の乾燥原板歩止りが期待されることになる。また、95%歩止りを期待するには、それぞれ12mmおよび55mmの延べ寸が必要である。(製材寸法は上記数値に乾燥による収縮量が加算される。)

5) 乾燥に伴うねじれ

平滑な台上に測定材をおき、一方の木口を台上に密着させ、他方の木口が盤面から離れた距離を測定し、これをねじれ量とした。乾燥材全数について測定した平均値を第19図に示す。



第19図 板幅とねじれ

エゾマツのねじれ量の方がミズナラよりも少々大きい。これは材長の相異のほか、節の出現個数なども影響しているものであろうと考えられる。

6) ラミナの二次選別

乾燥をおえた材料は、乾燥による狂い、割れなどに着目して二次選別をおこなった。この際とくに客観的な選別基準は設けず、乾燥による欠点発生が顕著で、

爾後の集成材加工に支障を生ずるであろうと考えられるものを除いた。

二次選別の結果を第6表に示す。

3.1.4 ラミナのヤング率の測定および組合せ

二次選別に合格したラミナは、スパン3m、3等分点2点荷重方式によりヤング率を測定した。すなわち、重錘によりエゾマツラミナには2kgづつ10kgまで、ミズナララミナには4kgづつ20kgまで荷重を加え、荷重点間中央80cmの撓みをダイヤルゲージで測定し、次式によりヤング係数(E)を算出した。

$$E = \frac{p a m^2}{16 \delta I}$$

ここで、P=荷重 (kg)

a=100 (cm)

m=80 (cm)

= 荷重pのときの撓み量 (cm)

= 断面二次モーメント = $bh^3 / 12$ (cm⁴)

測定結果を第7表に示す。

ヤング率の測定結果は一般的なバラツキの範囲内にあり、とくに異常な数値のものは存在しなかったので、全数合格とした。

これらラミナの組合せは、全集成材がほぼ均一なヤング率をもったものとなるよう、ラミナのヤング率によって断面構成をおこなった。すなわち、中立軸に対して対象にほぼ同一ヤング率をもったラミナを配置し、最外層にはヤング率の大きなラミナを、中立軸に向かって順次ヤング率の低いラミナを配列するようにした。

3.1.5 ラミナの縦接合

組合せの決ったラミナ原板は仕上り寸法に対して、厚さ約1.7mm、幅約10mmの延べ寸を残して鉋削加工

第6表 ラミナ原板の二次選別結果

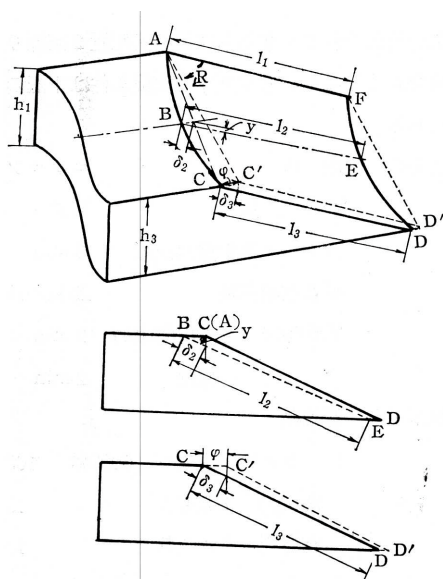
樹種	材幅 (cm)	合格率 (%)
エゾマツ	12	88.3
ク	15	92.3
ク	18	100.0
ミズナラ	18	81.7
ク	21	80.0

第7表 ラミナの比重、ヤング係数および節径比

樹種	材幅 (cm)	測定数量 (枚)	比重			ヤング係数			節径比		
			最大	最小	平均	最大	最小	平均	最大	最小	平均
エゾマツ	12	363	0.57	0.36	0.43	183	81	123	0.72	0	0.25
ク	15	252	0.55	0.35	0.43	186	86	128	0.78	0	0.27
ク	18	99	0.53	0.37	0.43	154	74	120	0.58	0	0.23
ミズナラ	18	40	0.80	0.59	0.70	183	80	133	0.41	0	0.05
ク	21	147	0.82	0.53	0.71	202	74	135	0.50	0	0.04



写真1 スカーフソー



面 ABCDE : スカーフ切削面
面 AC'D'F : 理想的なスカーフ切削面
第 20 図 スカーフ切削精度測定

被削材はエアシリンダーにより可動定盤に固定される。鋸断面は接着に十分なアラサ精度の平滑面がえられている。

切削面の精度を第20図に示すようにして測定した。すなわち、AF面を定規側に接して切削をおこなった場合にえられた切削面をA B C D E F, 理想的なスカーフ面をAC D Fとし、鋸断によって内部応力が解放されることなどによって生ずるスカーフ面の反りおよび直角度, 平均スカーフ比を次のようにして求めた。

$$\lambda = \sqrt{(\ell)^2 - (\bar{h})^2} / \bar{h} \quad ($$

= 平均スカーフ比

= スカーフの傾斜角

$$l = (l_1 + l_2 + l_3) / 3$$

l_1, l_2, l_3 は実測値

$$h = (h_1 + h_3) / 2$$

h_1, h_3 は実測値

$$y = (1/2) \cdot l_2 \cdot \sin 2\theta_2$$

y = スカーフ面の反り矢高

l_2 = 実測値

$$= l_3 \cdot \cos \theta_3$$

= 直角度のずれ

l_3 = 実測値

測定結果を第8表に示す。これは厚さ22mm, 幅110mmのエゾマツ試験材を用いて, スカーフ設定比6:1および10:1に切削したときの測定結果である。

第 8 表 スカーフ切削精度の測定結果

スカーフ比 (λ)			反り矢高 (y) [mm]			直角度のずれ (φ) [mm]		
最大値	最小値	平均値	最大値	最小値	平均値	最大値	最小値	平均値
5.84	5.59	5.77	0.25	-0.11	0.09	1.82	0.00	0.74
10.37	9.75	10.07	0.14	0.00	0.03	2.49	0.00	1.08

し, 所定の長さにスカーフ縦接合をおこなった。スカーフ比は最外層ラミナ10:1, その他は6:1である。

1) スカーフ切削

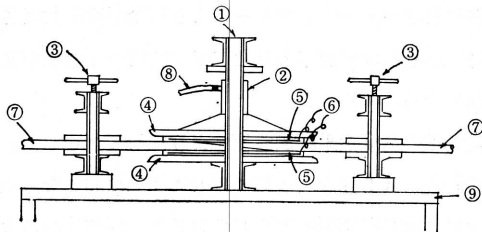
ラミナのスカーフ切削は写真1のスカーフソーでおこなった。鋸は直径660mm, 鋸厚3mm, 挽幅4mm, 歯数120枚のハードチップソーを用いた。鋸の回転数は1800 r.p.m. 5.5kw の電動機で駆動される。スカーフ比は1/6~1/10まで鋸軸の傾斜角度によって調整できる。

り, 繰り返し数はそれぞれ20である。

以上の測定結果から, ラミナのスカーフ切削は, 充分満足のゆく精度でおこなわれたものと思われる。

2) スカーフ接合時の重ね量の検討

ラミナのスカーフ接着は第21図および写真2に示すような圧締治具を用い, 高周波加熱によりおこな



スカーフ圧縮部
ポータブル油圧ラム
ラミナ固定用ネジクランプ
上下圧縮板
高周波電極板をはさんだ当板
高周波発振機
ラミナ
油圧ポンプへ
台

第21図 ラミナ縦接合用治具

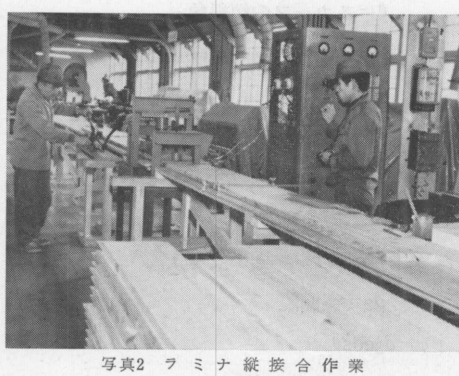
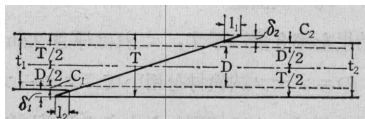


写真2 ラミナ縦接合作業



T: スカーフ部の厚さ
t₁, t₂: ラミナの厚さ
l₁, l₂: スカーフ部の厚さ方向重ね代
l₁, l₂: スカーフ部の水平方向の重ね代
c₁, c₂: 仕上げ切削時の削り代
D: 仕上げ圧さ

第22図 ラミナ重ね量の検討

た。この場合、スカーフ接着面は第22図に示すように、若干オーバーラップさせておかなければ、スカーフ接着面に対して十分な圧縮圧力が作用しない。

そこで、スカーフ重ね代(l_1, l_2)あるいは水平重ね量(l_1, l_2)の所要量を求めるための予備実験をおこなった。ラミナ厚さ22mm、スカーフ比5.80のエゾマツ試験材を圧縮治具により圧縮圧力15kg/cm²に圧縮し、このときの t_1, t_2 およびTの値を測定して、

l_1 (or l_2) = T - t₁ (or t₂) の値がマイナスとならない重ね量を求めた。

実験の結果、水平重ね距離3mm(重ね代0.52mm)以上のときに、この値はマイナスにならなかった。

したがって、スカーフ接着後のラミナ仕上げ切削代(c)を片面0.5mmとすれば、スカーフ接着前のラミナ厚さには、0.52mm + 2 × 0.5mm = 1.52mm以上の延べ寸を付けておかなければならないことになる。

3) スカーフ接着条件の検討

スカーフ接着条件を選定するため、接着剤および圧縮圧力をそれぞれ3水準えらび、二元配置2回繰り返し実験をおこなった。とりあげた実験条件は下記のとおりである。

固定条件	樹種	エゾマツ
	スカーフ比	5.80
	スカーフ水平重ね距離	3mm
	接着剤塗布量	200g / m ²
	圧縮時間 高周波印加	5min
	放置	2min

実験因子

接着剤			
1. プリオーフエン	6000 #	100部	
硬化剤	TD473	15部	
充填剤	クルミ粉	10部	
2. プリオーフエン	6000 #	100部	
硬化剤	TD473	15部	
充填剤	小麦粉	10部	
3. プライアミン		100部	
硬化剤		2部	
レゾルシン		15部	
充填剤	大豆粉	10部	
水		10部	

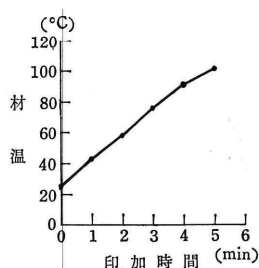
圧縮圧力

15, 10, 5kg/cm²

圧縮圧力はスカーフ接着面にオーバーラップ部分を含めた面積を圧縮面積として計算した。

圧縮中の材温上昇の一例を第23図に示す。

スカーフ接着後、中央集中荷重により接合部の曲げ破壊係数を測定し、非接合部の破壊係数に対する継手



第23図 高周波印加時間と材温の変化

第9表 接着条件と継手有効率

圧縮圧力	接 着 剤		
	1.	2.	3.
15kg/cm ²	1.16	1.24	0.94
	1.13	1.09	0.93
10kg/cm ²	0.69	0.90	1.11
	0.75	0.94	0.69
5kg/cm ²	0.62	0.74	0.76
	0.99	1.02	0.56

有効率を求めた。実験結果を第9表に示す。なお、非接合部のラミナ曲げ破壊係数はヤソグ係数からの推定値である。

分散分析の結果は圧縮圧力のみ5%水準で有意であり、接着剤の種類および交互作用はいずれも有意ではなかった。また、圧縮圧力水準は 15kg/cm²と10、5 kg/cm²との間には有意であるが、10kg/cm²と5kg/cm²との間には差が認められなかった。

充填剤としてクルミ粉を用いると接着剤の粘度が高くなり、作業性が悪いので下記の条件を採用してラミナのスクーフ接着作業を実施した。

接着剤

レゾルシノール樹脂 (プライオーフェン 6000) 100部

硬化剤 TD473 15部

充填剤 小麦粉 10部

圧縮圧力

エゾマツ 10kg/cm²

ミズナラ 15kg/cm²

その他の条件は前記実験のときの固定条件による。

3.1.6. ラミナの集成接着

スクーフ接合により所定長さに整えたラミナは鉋削仕上げをおこない、所定の厚さに集成接着した。

ラミナの接着剤塗布はスプレッター (写真3) によりおこない、第24図および写真4の圧縮治具を用いて集成した。すなわち、L金具 を1m間隔に並べ、これに枕木 を正しく固定し、集成されるラミナ を当板 にはさんでのせ、圧縮ブロック と圧縮ボルト で圧縮する。このときラミナが相互にずれるのを防ぐため、側面に当板 をあてて枕木に仮圧縮をおこなった。圧縮圧力はトルクレンチにより調節した。

接着条件は下記によった。

接着剤

尿素メラミン共縮合樹脂 (プライアンミ P - 364 - B) 100部

硬化剤 1部

充填剤 小麦粉 20部

塗布量 200g/m²

圧縮圧力

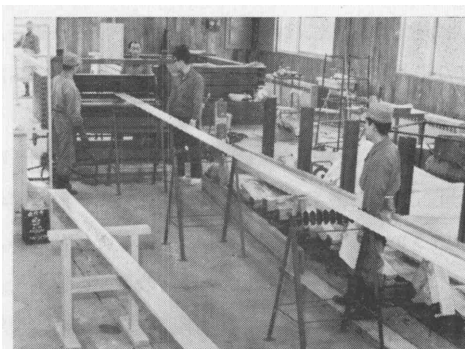
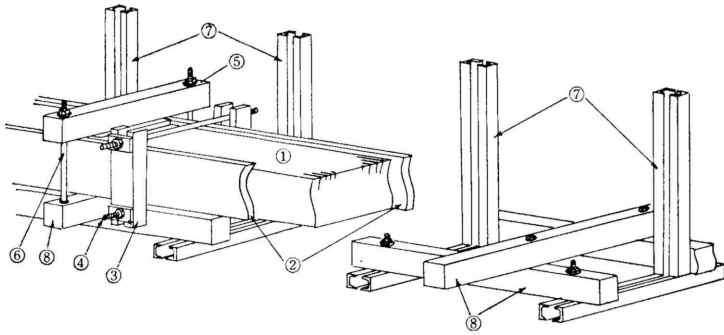


写真3 ラミナ接着剤塗布作業



写真4 ラミナの集成接着作業



集成材
当板
圧縮用ブロック
" ボルト
側面用当板
側面圧縮用ボルト
L金具
枕木
第24図 集成横着用圧縮治具

標準偏差0.5mmであった。この厚み誤差を集成後に両面から修正するためには、最外層ラミナを $1/2(1\text{mm} + 3 \times 0.5\text{mm}) = 1.25\text{mm}$ だけ厚くしておくことが必要である。

3.2 ガセット用合板の製造

フィンクトラスおよび山形ラーメンの設計計画にもとづき、ガセット用に製造

エゾマツ単一構成	10kg / cm ²
ミズナラ単一および複合構成	12kg / cm ²
圧縮時間	16時間
圧縮温度	約25

3.1.7. 集成材の仕上げ加工

集成接着をおえた集成材は圧縮中にラミナのずれ、あるいはラミナ寸法精度のバラツキにより、積層断面形状は所定の寸法には仕上がらないので、プレナーなどにより更に仕上げ加工をおこなわなければならない。

集成後のラミナ相互のずれについて、長さ方向に50cm間隔で、最大ずれ量を測定した結果、最大値の平均約3mm、標準偏差1.3mmであった。したがって、本装置によって集成した集成材の側面を削削仕上げをおこない、削り残しのある集成材の本数を約10%にとどめようとするためには、 $3\text{mm} + 3 \times 1.3\text{mm} = 6.9\text{mm}$ だけ、仕上り幅より広いラミナを集成しなければならないと推定される。

また、積層集成面の左右の厚み差を長さ方向に50cm間隔で測定した結果、最大厚み差の平均約1mm、

した合板の種類および構成を第10表に示す。

合板の製造条件は下記のとおりである。

原木：シナノキ	気乾比重	0.47 ~ 0.52
ミズナラ	"	0.68 ~ 0.79
レッドラワン	"	0.49 ~ 0.62

原木煮沸：

煮沸槽温度昼間95，夜間は通気を停止し、シナノキ24時間、ミズナラ・ラワンは48時間煮沸

単板切削刃口条件：

水平距離	剥き出し厚さの88 ~ 90%
垂直距離	剥き出し厚さの36 ~ 43%
刃物角度	20° 30
逃げ角	-5 ~ -20

単板乾燥：

熱風横循環式5セクション3段ロールドライヤーにより、温度144 ~ 152 で仕上り含水率8%以下に乾燥

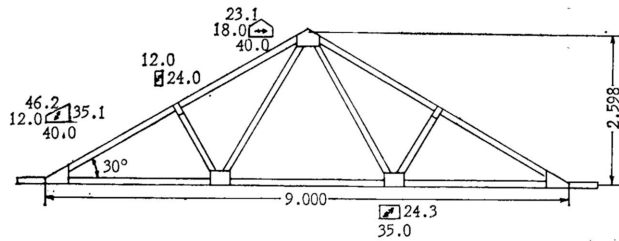
接着条件：

接着剤 水溶性フェノール樹脂（日本ライヒ製）

第10表 ガセット用合板の種類と構成

用途	樹種		厚さ (mm)	プライ数	単板構成 (生単板厚さ)
	表	裏			
フィンクトラス	シナノキ	シナノキ	9	5	1.64 + 2.55 + 1.64 + 2.55 + 1.64 = 10.02mm 縦横構成比 4.92 : 5.10
	ミズナラ	ラワン	9	5	
山形ラーメン	シナノキ	シナノキ	15	7	2.10 + 2.80 + 2.10 + 2.80 + 2.10 + 2.80 + 2.10 = 16.80mm 縦横構成比 8.40 : 8.40
	ミズナラ	ラワン	15	7	

硬化剤 TD - 683 100部
 充填剤 小麦粉 10部
 塗布量 350 ~ 400g / m²
 冷 圧 12kg / cm² , 2時間
 熱 圧 10kg / cm² , 135 ~ 140
 厚さ1mmにつき1分間



第25図 フイントラス試験体

第11表 単板のうらわれ

樹種	単板厚さ (mm)	うらわれ深さ (%)	うらわれ密度 (本/cm)
シナノキ	1.64	35.2	6
〃	2.10	—	—
〃	2.55	62.8	5
〃	2.80	—	—
ミズナラ	1.64	54.9	8
〃	2.10	66.5	5
ラワン	1.64	69.3	8
〃	2.10	71.0	6
〃	2.55	57.7	8
〃	2.80	49.6	8

母材はエゾマツ6層集成材，断面寸法は6 × 12cm，ガセットは，シナおよびナラ - ラワン5プライ 9mm厚合板である。なお，母材と合板ガセットとの接合は，山形ラーメンと同様，釘接着法でその試験体は第25図に示した。

試験体重量は，ナラ合板ガセットの場合1体の重量は95.0kgと94.6kg，シナ合板ガセットの場合1体の重量は92.3kgと91.8kgである。

供試単板のうらわれ測定結果を第11表に示す。

3.3. 試験体の組立て

3.3.1. 二鉸節山形ラーメン

試験体の母材は，尿素メラミン共縮合樹脂接着剤による断面寸法10 × 20cmのエゾマツ10層集成材で，プレーンスカートにより，レゾルシノール樹脂接着剤を用いて縦継ぎをおこなっており，スカートの傾斜比は最外層は10 : 1，内層は6 : 1である。

ガセットは，フェノール樹脂接着剤によるシナ7プライ15mm厚合板とナララワン7プライ15mm厚合

板で合板ガセットと母材は，レゾルシノール樹脂接着剤で釘接着法により接合した。

この場合の釘負担面積は 15 cm² / 本で，釘の大きさは普通丸釘JIS - N45を用いた。

なお，試験体1体の重量は，シナ合板ガセットの場合165.7 kgと163.9kgである。ナラ合板ガセットの場合は169.9kgである。

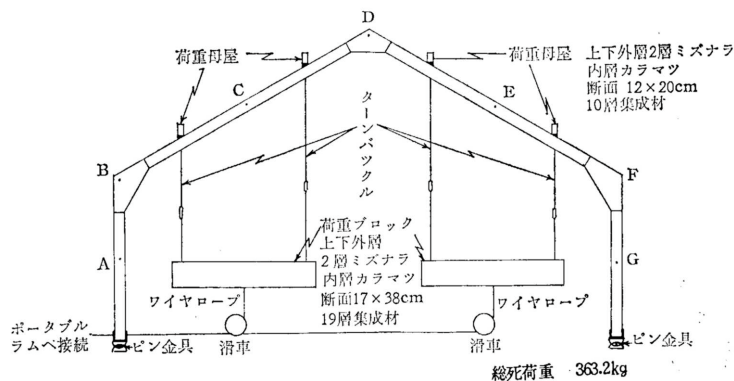
3.3.2. フイントラス

4. 剛性試験 (公開試験)

4.1. 二鉸節山形ラーメン

4.1.1. 試験方法

第26図のように，ピン支点金具に組立てた山形ラーメン2体を1組として90cm間隔で建てて荷重点に母屋をかけ，これをとおして，東京衡機KK製構造物負荷試験装置 (5t，油圧ジャッキ2個使用) により，前項2.1によって計算された骨組1体の負担する長期荷重の短期換算値を設計荷重として3600kgまで連続的



第26図 試験装置

に荷重をかけ変位を測定した。

変位測定位置は、1体について7ヶ所（2体で14ヶ所）、垂直変位は頂点DおよびC、Eの部位で、水平変位は、垂直材と斜材の交点B、Fおよび垂直材の中央A、Gの部位である。A、G部位は、精度1/100mmの4ヶのダイヤルゲージで、その他の部位は、1mm目盛のスケール10ヶを用いて、それらの変位を望遠鏡によって測定した。

4.1.2. 二鉸節山形ラーメンの変位量

山形ラーメンの測定位置別変位量は第12表のとおりである。いずれの部位も、実測値は計算値より小さく、ことに測定位置Fの実測値と計算値との差が特に大きい結果となった。しかし、このデータは、最終的データではなく、実験方法の不備によるものかどうかなど、計算値と実測値の適合性の検討は今後の試験に俟たねばならないと考えられるが、ともかく、3600kg以上の荷重に耐えうることが認められた。

第12表 変 位 量

測定位置	変位の方向	変位量 mm/100kg		
		実測値	計算値	変/計
A	水 平	0.72	0.79	0.91
B	斜 材	0.81	1.03	0.79
C	垂 直	0.86	1.13	0.76
D	斜 材	1.33	1.75	0.76
E	斜 材	0.87	1.13	0.77
F	水 平	0.65	1.03	0.63
G	斜 材	0.66	0.79	0.84

註) 2体の平均値を掲げた。

4.2. 実大集成梁

4.2.1. 集成梁の重量，寸法

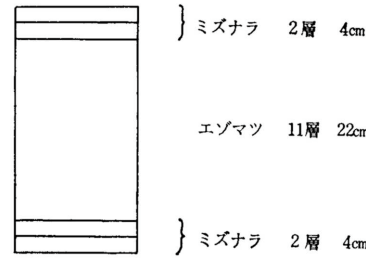
集成梁は尿素メラミン共縮合樹脂接着剤を用いた断面寸法15×30cmの15層集成材でプレーンスカーフにより、レゾルシノール樹脂接着剤で縦継ぎを行なって

第13表 集 成 梁 の 重 量 ， 寸 法

集成梁の種類	重量 W(kg)	材 幅 B(cm)	材せい H(cm)	断面二次モーメント I(cm ⁴)	断面係数 Z(cm ³)	比 重 R u
ミズナラ エゾマツ 複合	114.7	15.02	30.15	34304	2276	0.503
エゾマツ単一	100.2	15.02	30.10	34134	2268	0.443
ミズナラ単一	155.3	15.04	30.21	34556	2288	0.683

おり、スカーフの傾斜比は、最外層は10：1、内層は6：1である。

なお、製造された集成梁の重量，寸法，断面二次モーメント，断面係数，比重は第13表のとおりであり、ミズナラ - エゾマツ複合梁の断面構成は第27図のとおりである。



第27図 ミズナラ-エゾマツ複合梁の断面構成

4.2.2. 試験方法と結果

東京衡機K製型油圧材料試験機により、スパン450cm、3等分点2点荷重方式によって荷重をかけ、ダイヤルゲージを用いて、スパン(L)中央と荷重点間(1)中央でたわみを測定した。

強度の高いミズナラを面材としたミズナラ - エゾマツ複合梁では、8000kgまで荷重をかけたたわみを測定した結果、荷重撓み曲線は直線域内にあり、この結果を木構造設計基準の短期許容応力度に換算すると270kg/cm²となった。このことは、針葉樹上級構造材 類の曲げ短期許容応力度180kg/cm²の1.5倍となるが、面材にミズナラを用いた複合梁(異樹種構成集成材)の強度的なメリットについての確実な結論は今後の試験に俟たねばならない。

なお、エゾマツ単一集成梁、ミズナラ単一集成梁のヤング係数は第14表のようであって、計算値と実測値が極めてよく合致することが認められた。

5. おわりに

以上において、本年7月17日に行なった公開試験までの概要をとりまとめた。

北海道大学農学部林産学科木材加工学教室において昭和39年以来、合板ガセット接着法による構

第14表 集成梁のヤング係数 (t/cm²)

集成梁の種類	計算値 E _{cal}	実測値		EL/E _{cal}	Et/E _{cal}
		EL	EI		
エゾマツ単一	130	130	137	1.00	1.05
ミズナラ単一	124	126	136	1.02	1.10
ミズナラ-エゾマツ複合	131	122	133	0.93	1.02

造接手効率に関する研究が行なわれ、合板ガセット構造接手工法が極めて有効な方法であることが実証されているが、これらの研究成果をもとにして行なった今回の実大木構造物による試験でも効果の大きいことが明らかに確認され、構造材料としての木材に対する認識や現場接着に対する認識を新たにせねばならぬことに役立つ資料が得られた。

なお今後は、母材の伸縮、垂直、水平荷重による変

位、破壊強さなど更に綿密な測定を進め、必要な資料を整えてゆく予定である。

謝 辞

本試験において設計、試験体の取付け、治具調整、および予備試験などにご指導ご援助をいただいた北海道大学農学部林産学科木材加工学教室の沢田稔教授、宮島寛助教授、その他教官、大学院生各位、農林省林業試験場強度研究室近藤孝一技官、公開試験の際、ご指導をいただいた明治大学工学部建築学科杉山英夫教授、試験体の組立て、剛性試験における測定に協力された当场員各位に対し厚く謝意を表します。

(原稿受理 44.9.30)