

集成材に関する研究（第2報） 彎曲集成材の製造およびその 材質試験について

集成材研究班⁽¹⁾

目 次

1. まえがき.....	2
2. 製造条件.....	3
2.1. 原料挽板の加工.....	3
2.2. 最小安全曲率半径.....	6
2.3. 彎曲集成材の断面構成.....	11
2.4. 接着加工.....	18
3. 彎曲集成材性能試験.....	36
3.1. 接着性能試験.....	36
3.2. 強度性能試験.....	37
4. 3 鉸節アーチ構造試験.....	63
4.1. 試験方法.....	63
4.2. 試験結果.....	63
5. むすび.....	71
6. 摘 要.....	72
文 献.....	73
Résumé.....	74
Plate	1~10

(1) 木材部

1. ま え が き

この報告は昭和 32 年度農林水産業技術振興費によつて新規研究項目としてみとめられた「集成材実用化試験」にたいする成果をとりまとめたものである。本研究を計画したのは、わが国における木材の最も重要な用途は、建築材料その他の構造部材であるが、これらに使用できる材料は、年々減少の傾向にあるため、これが対策を樹立する見とおしを求めんがためである。

今後の森林事情を考えると、従来のような大径木をうることは困難となり、丸太からえられた素材のままで構造部材とすることも至難になるものと思われる。これに対処する方法は集成材以外にみちはなく、むしろこの方が材料としては均質であり、しかも任意の寸法、形状に作成できる特徴をもち、はるかにすぐれたものといふことができる。欧米の諸外国においては、すでに数十年も前からこの技術は研究され、十分なる資料のもとに実用の域に達しているが、わが国では、まだその道なお遠しといわなければならない。もちろん、集成材を作成するのに最も肝要な接着技術が列国におとつているということではなく、集成材を構造部材として利用する場合、その設計に必要な資料もなければ、このような構造物にたいして荷重試験が行われたこともなく、集成材とくに彎曲集成材にたいする強度的資料が皆無の状態であるため、これが発展の道がとざされていたためと思われる。ここにおいて、彎曲集成材を試作し、この強度的性能を試験するとともに、構造物としての剛性試験、さらに破壊試験まで行い、その間でできうるかぎりの資料をとり、今後の集成材構造物設計にたいする示唆を求めんとした。本研究を計画したゆえんはここにある。

本研究では建築材料として有力な樹種であるアカマツ材を選定し、集成材としての強度性能を解析することのできるように、原木から採材をなし、そのひき板を材質によつて区分して集成材の構成を決めるとともに、彎曲集成材の作成に関する技術は、すでに報告した通直集成材の製造基準を参考とし、さらに、接着剤の選定、スカーフ接着など多くの問題については、すべて予備実験の結果によつて解決した。しかし、これらの製作技術についても今後ひきつづき研究をすすめ、その基準を確立せんとすることはもちろんである。

彎曲集成材構造物の試験は、林業試験場のみにては実施できるものではないので、建設省建築研究所および日本建築学会構造標準委員会木構造分科会、集成材小委員会の協力をえて、計画され、実施された。この委員会できめられた形状・寸法の彎曲集成材 8 本を製作し、すべてについて剛性試験を行い、さらに彎曲部に補強をなし、その効果を検討した。これらのうち 4 本だけは建築研究所へ運び、2 連の 3 鉸節アーチ構造に組み立て、構造物としての剛性試験および破壊試験を行つたのである。この試験はわが国でははじめてのものであり、多くの資料がえられたとともに、これによつて彎曲集成材が木構造材料としてきわめてすぐれ、十分の信頼感をもつて設計、利用できることが立証されたと称しても過言ではない。このことは今後の発展を期待することができるとともに、これら設計に要する資料の完備に一層の努力を払わなければならない。

この試験の実施に御協力をえた建築研究所ならびに建築学会集成材小委員会につつしんで感謝の意を表する。

なお、この研究は原木の製材から、所定の彎曲集成材を作成し、その性能試験にいたるまでの各工程は、それぞれつぎの研究室が担当したことを付記する。

製 材

製材研究室

挽板の乾燥	乾燥研究室
挽板の加工，スカーフ切削および彎曲集成材の仕上げ加工	加工研究室
スカーフおよび挽板の接着および接着性能試験	接着研究室
曲率半径，断面構成，挽板および集成材の強度性能試験	強度研究室

2. 製造条件

2.1. 原料挽板の加工

2.1.1. 製材，乾燥および加工

（a）製材

製材原木は東京営林局水戸営林署管内に産出したアカマツ丸太，末口1尺上，長さ14尺の1等材25本（総石数48.69石）を使用し，当該製材研究室で厚さ約4寸の盤に採材したのち厚さ約6分の挽板に小割りした。

（b）乾燥

挽板の乾燥には乾燥研究室の約20石入り蒸気加熱式 I. F. 型乾燥室を用いた。乾燥は2回にわけ，いずれも昼間のみの間けつ運転でおこなった。第1回は製材後約3日間天然乾燥し，その初期含水率は50～70%，乾燥初期に生蒸気の噴射を約1時間おこない，室内条件を D. T. 60°C, W. T. 57°C まで上昇させ，Fig 2. 1. スケジュールにより乾燥を開始した。乾燥日数は約5日間，乾燥終末温度条件は D. T. 80°C, W. T. 54°C であつた。また乾燥終了後に D. T. 80°C, W. T. 76°C の条件にて約3時間調湿処理を行い，仕上り含水率を8.5～10%として乾燥を終了した。

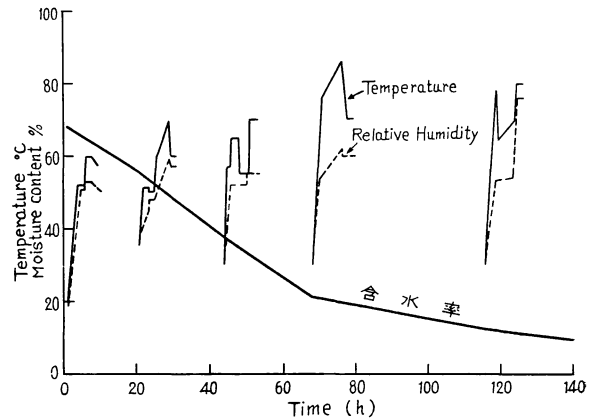


Fig. 2.1. 乾燥スケジュール
Drying schedules of red pines (25 cm thick)

第2回は天然乾燥を約10日間おこない，初期含水率は35～50%であり，ほぼ第1回と同様のスケジュールをもつて乾燥をすすめ，約4日間で乾燥を終了した。

（c）挽板の加工

挽板の性状と集成材の断面構成の組合せを考慮し，乾燥した挽板を横切りして，長さ4m, 2m, 1mの材，それぞれ10枚，308枚，238枚をえた。

さらに次工程のスカーフ接着加工の精度を高めるため乾燥材の面および側面の粗仕上げを行つた。

i) 面加工

材面の粗仕上げには24in. 一面ブレンダー（7.5HP かん胴直径125mm, 6,000r.p.m. 刃数4，切削角56°，刃角45°）を使用した。

乾燥後の挽板の厚さが17～19mmであつたので，予定仕上り厚さを17mmとし，両面ともに0.4～0.8mmの削り代で鉋削した。

Table 2.1. 挽板の加工精度
Process-uniformity of laminae

	厚 さ T	巾 W
測定値の範囲 (mm) Range	14.80~15.50	106.50~116.50
平 均 値 (mm) Ave.	15.06	113.68
標 準 偏 差 (±mm) S. D.	0.03	0.70
偏 位 係 数 (%) C. V.	0.19	0.61
測 定 個 数 Measuring points	945	945

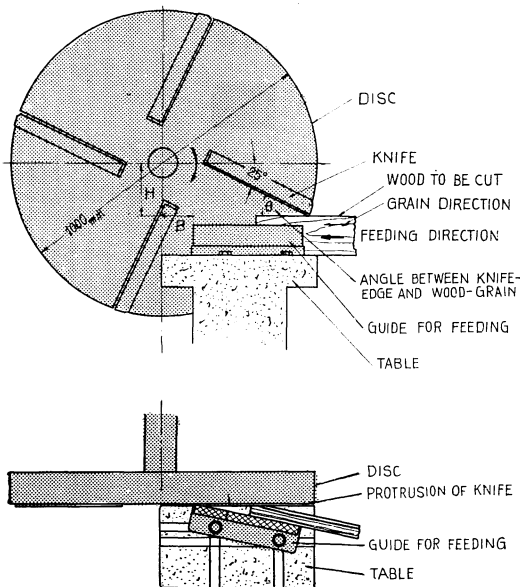


Fig. 2.2. ディスク型スカフカッター
View of disc type scarf cutter

2.2. における θ), 切削角および口金面と刃先との距離を選定することにより避けられる。これらの諸条件に関する若干の予備実験を実施した結果、アカマツ乾燥材に対しては次の切削条件を選定した。

被削材の繊維斜行角 (θ) : かなな刃先の材への切込み初めにおいて 20° , 切削終了時において 90° (Fig. 1 において $H=30\text{ cm}$, $B=20\text{ cm}$)。

切削角 : 35° 。

口金面と刃先との距離 : 粗削りに対し $0.60\sim0.70\text{ mm}$, 仕上げ削りに対し $0.15\sim0.25\text{ mm}$ 。あるいはディスク外周においては $0.60\sim0.70\text{ mm}$, 内周においては $0.15\sim0.25\text{ mm}$ 。

作業は工程管理上, 粗削り切削を行って後, 仕上げ切削に移る工程と, 1 通しの切削において仕上げる工程とを組み合わせた。検査工程を設け, スカフ先端厚 0.65 mm 以上の削り残しのあるもの, 先端部分の欠損したもの, スカフ底辺長が $202\sim208\text{ mm}$ の範囲外のものとは再切削した。

iii) 加工精度 : 製品のスカフ比率・仕上げ精度は次のようであつた。

(1) スカフ底辺長の平均値は 205 mm , その標準偏差 1.1 mm 。

ブレンダー切削面にたびたび生ずる板の長さの両端にあらわれるしやくれは, 送りロールおよび材押え装置を十分調整することにより, 避けることができた。

切削後の仕上り厚さは $17.2\pm0.2\text{ mm}$, 多少の削り残しのある材もあつたが作業目的によりこれを許容した。

ii) 側面加工

単式リブソー (9.5 IP , 12 in , 19 B. W. G まるのこ $3,600\text{ r. p. m.}$, 送り速度 12 m/min) により, 挽板片側の側面耳ずりを行つた。

仕上り幅の加工精度を Table 2.1. に示した。

2.1.2 スカフ接着加工

(a) スカフ切削

挽板のジョイントすべき一端あるいは両端を $1:12$ の比にスカフ切削した。使用機械および作業要領は次のとおりであつた。

i) 使用機械 : 菊川鉄工所製ディスク型スカフカッター (Fig. 2.2.), ディスク直径 1 m , スピンドル回転数 550 r. p. m. , 3 IP , 手送り方式。

ii) 作業要領 : 本型式スカフカッターは被削材のスカフ先端が尖鋭に仕上がらず欠損しやすい欠陥がある。この欠陥は切削条件, とくにかなな刃先線に対する被削材の繊維斜行角 (Fig.

(2) 全切削枚数のうち、スカフ先端が欠損しやすく切削困難であるが仕上げ可能なもの 3.5%，仕上げ不可能にして手かんな仕上げを必要とするもの 3.5%を生じた。比重が軽く目切れのある材に切削困難なものが多かった。大多数は作業能率の点から先端を多少削り残した。先端厚の平均値 0.31 mm。

(3) 板厚平均値を 17.2 mm としスカフ先端厚を考慮に入れ計算すると、スカフ比率の平均値は 1:12.1。

(4) スカフ面が曲面を呈するものも生じたが、その程度は軽微にして、幅方向では 11 cm に対し最大矢高 0.5 mm 以下、長さ方向では 20 cm に対し中央矢高 0.5 mm 以下。

(b) スカーフ接着

接着剤の調合

レゾルシノール樹脂	6000	容量比
硬化剤	6002	100
		20

(日本ライヒホルド化学工業株式会社製)

スカーフカッターで切削した面上記の接着剤をはけで両面塗布し（塗布量 = 35 g/f²），Phot. 2.1.～2.3.に示すように圧縮治具2組を用いて接着の際に生じやすいズレ、曲りを防いだ。このために、互にスカーフ接着される部分を合わせてその中央部に径 7.6 mm の孔をあけ、これに 7.8 mm のダボを打ち込んだ。この径を用いたのは予備実験の結果にもとづいてきめたものである。

また、スカーフ圧縮のさいはこのダボを中心にしてズレるおそれがあるので、Phot. 2.3. で示したように側圧治具によつてこれを防いだ。

圧縮圧力はトルクレンチによつて、できるだけ 10 kg/cm² とし、室温（23～31.5°C）で接着剤が硬化するまで放置した。

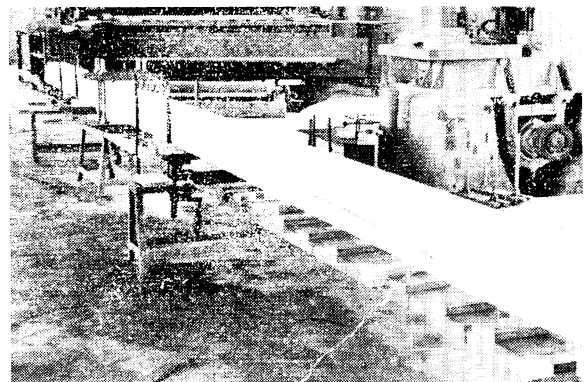
なお、スカーフ接着面 832 枚の含水率をシーメンス含水率計で（押当式の電極を使用）測定したが、その結果は最大 16.5%，最小 9.0%，平均は 13% であ



Phot. 2.1. 接着剤の塗布
Spreading of glue



Phot. 2.2. スカーフ接着
Assembling of scarf joints



Phot. 2.3. スカーフジョイント治具
Jigs for scarf joints

つた。

(c) スカフ接着したラミナの面仕上げ加工

3～6枚の挽板をスカフ接着したラミナ（挽板をスカフ接着して集成材のメンバーとなつたものをラミナという）を 24 in 一面プレーナー（前出）により面仕上げした。

予定仕上げ厚は 15 mm 1回の削り代を 0.5 mm とし、送り速度 7 m/min で表裏おのおの 2 回ずつ通した。

仕上げ面のナイフマークの幅は 1.0～1.5 mm (1 in 長におけるナイフマークの平均個数 21.3) で、ナイフマークの肉眼判定が困難となる程度の仕上げ面とした。仕上げ後のラミナの加工精度は Table 2.1. に示すとおりである。なお仕上げ厚さおよび幅の測定は、ラミナ 189 枚について長さの中央断面および中央から 1 m および 3 m の断面について、ノギス (0.05 mm 読み) を用いて行つた。Table 2.1. に示した厚さの精度はプレーナー加工の良否により、幅の精度はリツピングの良否により定まるものである。

なお、上記測定のほかにスカフ接着部の中央および両端、両端より外側にそれぞれ 10 cm の位置における板厚を測定し、スカフ接着部分の削りむらの有無を調べたが、Table 2.1. とほぼ同程度の精度がえられ、スカフ接着部分に特別の厚さむらは見られなかつた。

2.2. 最小安全曲率半径

彎曲集成材を製造するさいに挽板に破損を生ぜしめないで曲げうる限界、いいかえれば、最小安全曲率半径を実用的に決定しておかなければならない。挽板に節、目切れその他の力学的な意味での有害な欠点があれば、その曲率半径はおもに使用材料のヤング係数 (E) と挽板の厚さ (t) とによつて支配される。

この関係は材料の曲げ比例限度内では理論上、次式によつてかきあらわすことができる。

$$\rho = \frac{t}{2\varepsilon} = \frac{Et}{2\sigma} \quad \dots\dots\dots (2.1)$$

ここに、

σ = 曲げ比例限度内応力、E = ヤング係数、t = 挽板厚、 $\varepsilon = \sigma$ に対応するセニイ歪、 ρ = 曲率半径

しかし、この式ではその曲率半径が過小にでる傾向があるとして、その曲げ比例限度における曲率半径をつぎのように補正した研究¹⁰⁾がある。

$$R_i = \frac{0.75 Et}{\sigma_p} \quad \dots\dots\dots (2.2)$$

ただし、 R_i = 曲げ比例限度における曲率半径 (in.) σ_p = 曲げ比例限度応力度

また、この同じ研究のなかで FINNORN と RAPAVI らはこのような曲率半径では実用上経済的にあわないといどの薄い板厚を必要とするために、さらに厚い板の使用をゆるすような関係式をもとめ、これを実用式としている。

$$R_s = 2 R_x - \frac{R_x^2}{R} \quad \dots\dots\dots (2.3)$$

R_s = 安全曲率半径 R_x = 破壊時の最大曲率半径 R = 平均比例限度曲率半径

いま、 $R_x = m R_s$; $R = n R_s$ とおくと、上式から、

$$n = \frac{m^2}{2m-1}$$

をうる。

したがって、 $0.5 < m < 1 < n$ なる関係がみとめられ、 R_s を R_e と R のあいだでとつていことがわかる。ただし、実さいには Table 2.2.¹⁾ の値よりも大きくなる次式をあたえている。

$$\left. \begin{array}{l} \text{White oak: } R_s = 116t - 6 \\ \text{Douglas-fir: } R_s = 126t + 10 \\ \text{African mahogany: } R_s = 124t + 10 \end{array} \right\} (2.4)$$

ただし、(2.4) 式は $1 \sim 1/4$ (in.) のあいだで実験的にきめられたものである。なお、West Coast Lumbermen's Association 発行の Douglasfir に関する標準仕様書³⁾では $t/R_s \leq 1/125$ と定めている。

しかし、これらの安全曲率半径のきめ方はすべて個々の樹種について実際にいろいろ曲率を変えて実験した結果からえられたものであつて、やや一般性にとぼしい感がある。

また、上述の例などでは R および R_e を実験的にもとめているが、このさい、 R は比較的容易にもとめられるとおもわれるが、 R_e の値ははなはだ不安定なものである。なぜなら、曲げの破壊応力に近い塑性域では、クリープ影響が相当にあるから R_e の値の判定には時間的な条件による相違があり、確実性が乏しくなるからである。

このような直接の曲げ試験からもとめるかわりに、使用材料の一般的な力学上の性質を用いて推定する方法をとつた。

すなわち、圧縮における ε_{oc} ($\varepsilon_{oc} = \sigma_c/E$; “最大比例短縮度”¹⁾²⁾) と引張と圧縮との強度比 r ($r = \sigma_t/\sigma_c$) の関係から計算的にもとめられる曲げにおける ε_b ($\varepsilon_b = \sigma_b/E$) との幾何平均をとつて、これを最小安全曲率半径に達したときの平均セニ歪と仮定した (沢田)。

$$\varepsilon_s = \sqrt{\varepsilon_o \cdot \varepsilon_b} \dots\dots\dots (2.5)$$

ただし、

$$\varepsilon_s = t/2\rho_s$$

= 最小安全曲率半径 ρ_s のときの板厚 t に関する平均セニ歪

$$\varepsilon_o = \varepsilon_{oc} = \sigma_c/E$$

= 最大比例短縮度 (仮想歪) (σ_c = 圧縮強度; E = ヤング係数)

$$\varepsilon_b = \sigma_b/E = \text{曲げにおける縦セニの最大比例変形度} \left(\sigma_b = \frac{3r-1}{r+1} \cdot \sigma_c; r = \sigma_t/\sigma_c; \sigma_t = \text{引張強度} \right)$$

さらに、

$$\varepsilon_b = \frac{3r-1}{r+1} \cdot \frac{\sigma_c}{E} = \frac{3r-1}{r+1} \cdot \varepsilon_o \dots\dots\dots (2.6)$$

の関係をもとめれば、

$$\begin{aligned} \varepsilon_s &= \varepsilon_o \sqrt{\frac{3r-1}{r+1}} \\ &= \varepsilon_o \cdot \varphi \dots\dots\dots (2.7) \end{aligned}$$

Table 2.2. 挽板の最小曲率半径 (インチ)
Minimum Bending Radii in Inches
 t = thickness of lamina R = bending radius

Thickness of Lamina (inch)	Douglas fir		Yellgw pine		Oak	
	R	t/R	R	t/R	R	t/R
1/4	31	1/124	25	1/100	18	1/72
5/16	41	1/131	31	1/99	24	1/77
3/8	51	1/136	37	1/99	30	1/80
7/16	63	1/144	43	1/98	36	1/82
1/2	74	1/148	50	1/100	43	1/86
5/8	98	1/157	63	1/101	58	1/93
3/4	125	1/167	78	1/104	73	1/97
13/16	137	1/169	82	1/101	79	1/97
1	176	1/176	100	1/100	95	1/95
1 1/4	230	1/184	125	1/100	120	1/96
1 1/2	290	1/193	150	1/100	145	1/97
1 5/8	325	1/200	164	1/101	160	1/99
2	410	1/205	200	1/100	190	1/95

$$\rho_s = \frac{t}{2\varepsilon_s}$$

$$= \frac{t}{2\varepsilon_o\varphi} \dots\dots\dots (2.8)$$

となり、 ε_o および r は樹種と材質によつてある個有の値をとるとみられるから¹²⁾、同一の樹種と材質のものに関しては、その最小安全曲率半径 ρ_s はおもに板厚によつて支配されることになる。

2.2.1. 原料挽板の基礎材質

この試験に供した原料挽板から切りとつた試験体（無欠点）によつてその基礎材質の試験をおこなつた。その木取法ならびに試験体の寸法は Fig. 2.3. にしめすとおりである。また、この試験に用いた試

験機は強度研究室 恒温 恒湿実験室 (20°C; 75%) 備付の 10ton アムスラー式引張型試験機で能力を 2,000 kg に切り換えたものと能力 1,000 kg オルゼン式材料試験機で、引張と圧縮における変形量の測定はすべて mirror-extensometer によつた。

Table 2.3. に使用原木別の平均値をかかげてある。この材料は平均的にはアカマツとして通常のものとおもわれるが、個々の数値では、その比重範囲 0.40~0.60 のものが全測定数

Table 2.3. 使用挽板
Basic properties of the test materials

T. W. No.	u	R_n	E_t	E_r	σ_t	σ_c	τ	ε_{ot}
	%	g/cm ³	10 ³ kg/cm ²	10 ³ kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	σ_t/E_t
01	14.2	0.57	117	107	1019	426	107	0.0087
02	13.2	0.54	116	122	1243	439	107	0.0107
03	15.9	0.54	100	107	1117	384	106	0.0112
04	13.1	0.55	103	115	1071	401	110	0.0104
05	14.2	0.48	93	95	766	341	100	0.0082
06	15.1	0.49	123	121	1250	399	100	0.0102
07	13.6	0.52	87	90	926	350	106	0.0106
08	13.9	0.45	77	76	803	312	87	0.0105
09	13.8	0.59	112	105	969	379	110	0.0095
10	16.4	0.55	122	105	1109	368	103	0.0091
11	14.0	0.55	95	123	1073	419	118	0.0113
12	14.1	0.58	127	121	1217	448	114	0.0096
A	14.3	0.53	103	107	1031	384	106	0.0100
±Δ%	6.8	7.6	14.8	13.1	14.8	10.3	7.1	9.4

T. W.=Test wood; u=moisture content; R_n =Sp. G. at test; E_t =Young's modulus in strength; τ =Shearing strength; b=Width of annual rings; s=Width of summer-wood;

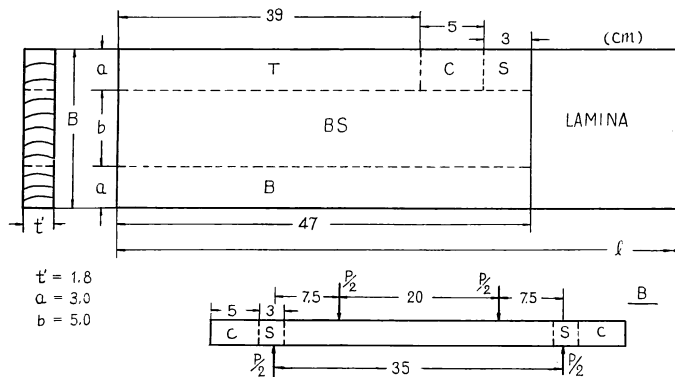


Fig. 2.3. 挽板から強度試験体の採取
Strength specimens cutting diagram from a lamina and bending test method

T=tension specimen (JIS Z 2112)
C=compression specimen (1.8×2.0×5)
S=shear specimen (1.8×2.0×3)
B=bending specimen (two-point loading)
BS=bending specimen (scarf joint test)

の約83%をしめ、0.39以下のもの(0.37以下はあらわれていない)は約6%, 0.61以上のもの(0.69以上はあらわれていない)は約11%となつている。使用挽板のセニ走向については、一般にやや目切れがつよく、原木状態での木理の旋回性がうかがわれる。

2.2.2. 最小安全曲率半径 (ρ_s) の決定

さきにのべた理由から (2.8) 式を用いて計算したものが Table 2.4. にしめす値である。平均値的には $\rho_s = t/2\varepsilon_0\varphi$ によつてもとめられるが、 ε_0 および r の値は少なくとも $\pm 10\%$ のバラツキはまぬがれない。したがつて、 ρ_s の値より 10% 増した ρ_s' が実さい上では安全曲率半径となるわけである。

なお、実用上は概数値を用いるのが妥当と考え安全のうえからすべて端数切上げによる $\bar{\rho}_s$ をもとめた。

ここで、 $\bar{\rho}_s$ の平均値は 170 cm となつているが、個々の原木については 150~180 cm のあいだにバラツキしていることから、この材料全体としては 180 cm をとるのが最も安全であるという結論になつた。したがつて、このアカマツの最小安全曲率半径は板厚 $t=1.5$ cm のものでは約 180 cm と判断した。なお、 $t/\bar{\rho}_s$ の値としては 1/120 ということになる。

つぎに、この曲率半径の安全性をたしかめるための試験をおこなつた。

2.2.3. 予定安全曲率半径の検定と初応力 (initial stress) の推定

の基礎材質 (アカマツ)
(laminas-Akamatsu)

ε_{oc} σ_c/E_c	r σ_t/σ_c	q σ_c/τ	Specimens			b mm	s mm	ϕ_a %
			T	C	S			
0.0040	2.39	3.98	22	20	41	2.1	0.6	32
0.0036	2.83	4.10	37	62	69	2.0	0.6	31
0.0036	2.91	3.62	50	95	83	2.3	0.6	27
0.0035	2.67	3.65	37	80	77	1.9	0.6	31
0.0036	2.25	3.41	23	43	43	2.1	0.4	23
0.0033	3.13	3.99	45	83	81	1.8	0.5	27
0.0039	2.65	3.30	33	65	67	1.9	0.6	31
0.0041	2.57	3.59	88	105	181	2.5	0.5	21
0.0036	2.56	3.45	36	73	69	2.4	0.8	34
0.0035	3.01	3.57	25	52	46	3.2	0.7	27
0.0034	2.56	3.55	18	59	29	1.5	0.5	32
0.0037	2.72	3.93	32	60	51	1.7	0.6	33
0.0037 6.2	2.69 9.0	3.68 6.7	(446)	(797)	(837)	2.2 18.2	0.6 16.7	28 13.9

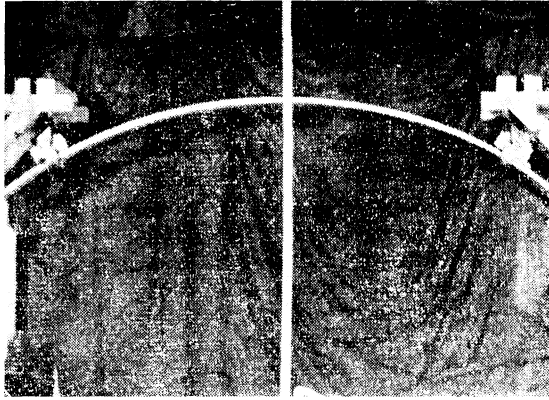
tension; E_c =Young's modulus in compression; σ_t =Tensile strength; σ_c =Compressive strength; ϕ_a =Percentage of summerwood in the cross-section of specimens.

Table 2.4. 使用挽板の最小安全曲率半径
Minimum safe bending radii for curved laminates

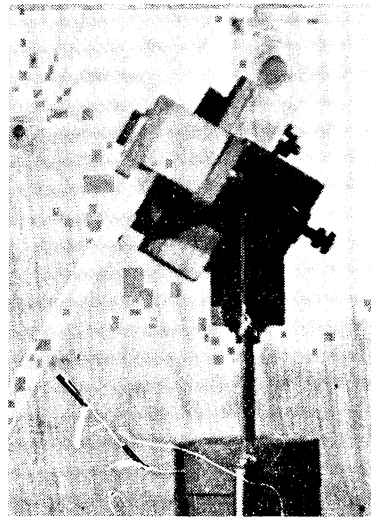
T. W. No.	ε_0 σ_c/E	r σ_t/σ_c	φ $\sqrt{\frac{3r-1}{r+1}}$	ρ_s $t/2\varepsilon_0\varphi$	ρ_s' $1.1\rho_s$	$\bar{\rho}_s$ cm
01	0.0040	2.39	1.350	139	153	160
02	0.0036	2.83	1.398	149	164	170
03	0.0036	2.91	1.405	148	163	170
04	0.0035	2.67	1.383	155	171	180
05	0.0036	2.25	1.331	157	173	180
06	0.0033	3.13	1.435	159	175	180
07	0.0039	2.65	1.380	139	153	160
08	0.0041	2.57	1.371	134	147	150
09	0.0036	2.56	1.370	152	167	170
10	0.0035	3.01	1.415	152	167	170
11	0.0034	2.56	1.370	161	177	180
12	0.0037	2.72	1.388	146	161	170
A $\pm \Delta\%$	0.0037 6.2	2.69 9.0	1.385	149	164	170

$t=1.5$ cm; $\bar{\rho}_s$ =round numbers of ρ_s'

ρ_s' =Minimum safe bending radii



Phot. 2.4.1. 試片中央の撓み
Deflection at the center part of specimen



Phot. 2.4.2. 端部死荷重
Dead weight at the end

Phot. 2.4. 最小安全曲率半径決定試験
Test method for minimum safe bending radii

Phot. 2.4. にその試験装置をしめしたが、試験挽板はスカフ接着 (1/12) をした長さ約 7 m のラミナである。

のちに、彎曲集成材に組み合わせるラミナの全部についてこの検定をおこなった。その結果は、189 枚の試験で約 10 枚のものが、いちじるしい節あとの目切れによつて破損したほか、すべて損傷のない状態で予定曲率を保ちうる事が明らかになった。

また、その初応力の推定については、次式によつてもとめることができる。

Table 2.5. 彎曲集成材における
Strength and related properties of each lamination in

I	b mm	S mm	ϕ_a %	u %	R_u g/cm ³	σ_c kg/cm ²	E_t 10 ³ kg/cm ²	E_L 10 ³ kg/cm ²	σ_{bp} kg/cm ²
1	2.8	0.6	26	14.5	0.54	355	105	145	435
2	1.3	0.5	33	14.0	0.58	434	154	138	534
3	2.0	0.5	30	14.5	0.53	425	144	130	479
4	1.8	0.6	31	14.0	0.56	450	146	131	515
5	1.8	0.5	30	12.5	0.50	414	137	116	449
6	2.5	0.6	24	14.0	0.52	373	98	90	290
7	2.6	0.8	27	13.5	0.52	340	106	98	400
8	1.9	0.4	25	14.0	0.39	242	82	73	266
9	1.2	0.3	29	16.0	0.56	375	145	129	439
10	2.0	0.6	31	13.5	0.55	434	143	135	487
11	1.4	0.4	32	14.0	0.54	363	114	125	390
12	1.8	0.6	33	13.5	0.55	383	116	108	404
13	2.7	0.8	32	15.0	0.58	388	126	113	430
A	2.0	0.6	29	14.0	0.54	383	124	118	425
±Δ%	25.4	24.5	10.2	5.8	8.8	13.6	16.8	18.2	17.9

b=width of annual rings; S=width of summerwood; ϕ_a =percentage of summerwood in
E=Young's modulus; σ_{bp} =bending stress at P. L.; σ_{bf} =bending stress at failed point
perature; H=relative humidity; suffix;

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{b0} &= \varepsilon_{b0} \cdot E \\ &= \frac{t \cdot E}{2 \rho_0} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2.9)$$

ここに、 σ_{b0} =初応力 ρ_0 =あたえられた曲率半径 t =挽板厚 E =ヤング係数

たとえば、 $t=1.5 \text{ cm}$; $E=100,000 \text{ kg/cm}^2$; $\rho_0=180 \text{ cm}$ ならば、 $\sigma_{b0}=417 \text{ kg/cm}^2$ となるわけである。

なお、曲率半径の検定試験から直接に σ_{b0} をもとめるばあいには、各曲率半径に対応する中央矢高 y と、加えた曲げ応力との関係からもとめることができる。

いま、任意の y と曲げ応力 σ との関係を直線的とみなすと、 $\sigma/y=\phi$ として、予定の曲率半径 ρ_0 に対応する矢高を y_0 とすれば（ここにいう矢高は撓をあらわしている）、

$$\sigma_{b0} = \phi \cdot y_0 \dots\dots\dots (2.10)$$

となる。

2.3. 彎曲集成材の断面構成

さきに試験によつてもとめた挽板の基礎材質試験の結果と、これと同時に試験した無欠点曲げ試験片の2点荷重方式によつてもとめた曲げ性能とから長挽板の曲げ性能を平均的に計算した。これによつて、できるかぎり同等な剛性と強さをもつように長挽板の組み合わせをおこなつたわけである。

彎曲集成材の横断面でのこれを構成する長挽板の番号を彎曲凸側から順に付し凹側最外部の挽板を13とした（Fig. 2.4.）。

2.3.1. 彎曲集成材を構成する挽板の材質

長挽板の平均材質に関してその横断面内での材質分布を Table 2.5. にしめた。

なお、この構成で挽板13枚の平均値でその彎曲集成材の基

断面構成挽板の性質

the cross-section of glued laminated curved wood

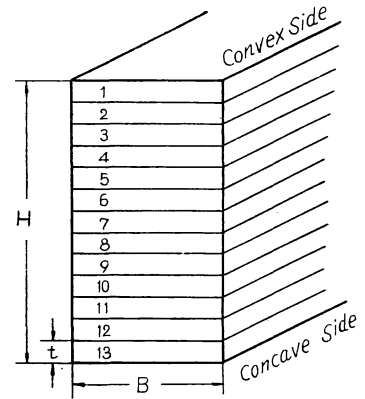


Fig. 2.4. 彎曲集成材の横断面
Cross-section of test glued laminated curved wood

σ_{bf} kg/cm^2	σ_b kg/cm^2	γ_p σ_{bp}/σ_b	γ_f σ_{bf}/σ_b	ε_p σ_{bp}/E_L	ε_f σ_{bf}/E_L	ε_b σ_b/E_L	L_v $\text{kg/cm}^2 \text{ min.}$	T $\sim^\circ\text{C}$	H $\%$
833	887	0.49	0.94	0.0030	0.0057	0.0061	127	28	76
755	875	0.61	0.86	0.0039	0.0055	0.0063	135	28	79
741	835	0.57	0.89	0.0037	0.0057	0.0064	142	26	76
748	884	0.58	0.85	0.0039	0.0057	0.0067	127	30	78
674	681	0.66	0.99	0.0039	0.0058	0.0059	121	28	80
505	596	0.49	0.85	0.0032	0.0056	0.0066	104	25	85
504	674	0.59	0.75	0.0041	0.0051	0.0069	126	26	79
402	485	0.55	0.83	0.0036	0.0055	0.0066	94	25	84
595	836	0.53	0.71	0.0034	0.0046	0.0065	130	25	76
791	816	0.60	0.97	0.0036	0.0059	0.0060	165	30	74
586	698	0.56	0.84	0.0031	0.0047	0.0056	139	27	76
630	762	0.53	0.83	0.0037	0.0058	0.0071	122	29	78
688	772	0.56	0.89	0.0038	0.0051	0.0068	145	26	77
650	754	0.56	0.86	0.0036	0.0055	0.0064	137	28	78
19.1	15.5	8.2	9.5	9.1	7.9	6.5	13.9	6.7	4.0

cross-section; u =moisture content; R_u =specific gravity at test; σ_c =compressive strength; of the outermost compression side; σ_b =bending strength; L_v =loading speed; T =tem-
L=span; l =distance between two point loads

Table 2.5.

II	b mm	S mm	ϕ_a %	u %	R_u g/cm ³	σ_c kg/cm ²	E_t 10 ³ kg/cm ²	E_L 10 ³ kg/cm ²	σ_{hp} kg/cm ²
1	1.1	0.3	38	12.5	0.53	382	123	112	459
2	2.7	0.9	31	13.0	0.57	403	127	118	451
3	1.7	0.6	28	13.5	0.57	456	153	134	489
4	3.6	0.8	21	14.5	0.44	266	99	89	304
5	1.8	0.6	24	13.5	0.49	322	77	77	305
6	1.8	0.4	22	15.0	0.46	284	110	101	359
7	2.2	0.8	37	13.0	0.55	347	109	99	364
8	3.4	0.5	15	15.0	0.44	264	81	72	285
9	2.0	0.6	31	15.5	0.58	408	145	132	429
10	2.1	0.6	28	15.0	0.53	340	100	90	305
11	1.8	0.6	34	15.5	0.57	404	132	122	509
12	1.6	0.4	24	14.0	0.47	350	115	105	385
13	1.9	0.5	27	14.5	0.53	418	142	127	482
A	2.1	0.6	28	14.5	0.52	357	116	105	394
±Δ%	32.4	27.7	22.6	7.0	9.6	16.7	21.3	19.6	20.1

III	b mm	S mm	ϕ_a %	u %	R_u g/cm ³	σ_c kg/cm ²	E_t 10 ³ kg/cm ²	E_L 10 ³ kg/cm ²	σ_{hp} kg/cm ²
1	1.3	0.5	34	13.5	0.56	328	162	142	529
2	2.5	0.7	25	15.0	0.53	374	115	105	387
3	1.1	0.4	30	15.5	0.59	379	138	124	454
4	1.8	0.5	28	14.0	0.50	326	96	90	358
5	2.6	0.8	25	15.0	0.57	356	113	112	414
6	3.2	0.9	26	15.0	0.55	333	79	76	365
7	3.0	0.8	27	15.5	0.49	350	108	99	355
8	2.2	0.5	26	14.0	0.44	271	95	84	299
9	2.8	0.8	27	16.0	0.56	400	129	114	417
10	3.1	0.6	19	15.0	0.48	305	118	100	352
11	2.3	0.8	34	15.5	0.59	329	116	105	430
12	2.2	0.6	28	14.5	0.49	355	122	109	408
13	1.8	0.6	28	14.0	0.58	360	128	116	409
A	2.3	0.6	27	15.0	0.53	351	117	105	399
±Δ%	27.7	26.0	13.9	5.0	8.8	9.7	17.9	17.1	12.8

IV	b mm	S mm	ϕ_a %	u %	R_u g/cm ³	σ_c kg/cm ²	E_t 10 ³ kg/cm ²	E_L 10 ³ kg/cm ²	σ_{hp} kg/cm ²
1	2.1	0.4	24	16.0	0.54	391	146	128	449
2	2.0	0.5	26	14.0	0.55	382	122	111	421
3	1.3	0.4	32	12.5	0.51	395	115	106	391
4	2.2	0.7	30	14.5	0.53	364	119	109	411
5	2.3	0.6	25	13.5	0.46	340	103	94	381
6	2.3	0.4	22	14.5	0.49	348	127	116	417
7	3.4	0.7	19	14.0	0.51	290	85	76	298
8	3.9	0.5	21	13.5	0.42	258	64	62	233
9	2.7	0.6	36	12.5	0.50	398	109	103	406
10	2.8	0.6	23	15.0	0.46	322	121	109	407
11	1.4	0.4	28	14.5	0.55	384	110	103	387
12	2.2	0.6	25	16.0	0.52	347	123	112	373
13	1.4	0.4	28	13.5	0.50	356	110	101	402
A	2.3	0.6	26	14.5	0.50	352	112	102	393
±Δ%	31.8	22.7	17.4	7.7	7.4	10.9	17.9	17.2	14.4

(Continued)

σ_{bf} kg/cm^2	σ_b kg/cm^2	γ_p σ_{bp}/σ_b	γ_f σ_{bf}/σ_b	ε_p σ_{bp}/E_L	ε_f σ_{bf}/E_L	ε_b σ_b/E_L	L_v $kg/cm^2 \text{ min.}$	T $\sim^\circ C$	H %
644	780	0.59	0.83	0.0041	0.0058	0.0070	133	31	75
695	811	0.56	0.86	0.0038	0.0059	0.0069	121	32	72
703	819	0.60	0.86	0.0037	0.0052	0.0061	143	31	86
466	546	0.56	0.85	0.0034	0.0052	0.0061	102	26	83
545	599	0.51	0.91	0.0040	0.0071	0.0078	125	25	86
521	654	0.55	0.80	0.0036	0.0052	0.0065	119	27	75
561	712	0.51	0.79	0.0037	0.0057	0.0072	116	24	85
439	520	0.55	0.84	0.0040	0.0061	0.0072	113	23	84
622	769	0.56	0.81	0.0033	0.0047	0.0058	136	26	71
536	653	0.47	0.82	0.0034	0.0060	0.0073	104	25	83
729	845	0.60	0.86	0.0042	0.0060	0.0069	135	25	81
571	726	0.53	0.79	0.0037	0.0054	0.0069	121	24	85
619	816	0.59	0.76	0.0038	0.0059	0.0064	133	25	84
588	712	0.55	0.83	0.0037	0.0057	0.0068	123	26	81
14.8	14.7	6.9	4.6	7.4	10.0	7.1	9.6	11.0	6.5

σ_{bf} kg/cm^2	σ_b kg/cm^2	γ_p σ_{bp}/σ_b	γ_f σ_{bf}/σ_b	ε_p σ_{bp}/E_L	ε_f σ_{bf}/E_L	ε_b σ_b/E_L	L_v $kg/cm^2 \text{ min.}$	T $\sim^\circ C$	H %
690	902	0.59	0.76	0.0037	0.0049	0.0064	126	26	78
575	709	0.55	0.81	0.0037	0.0055	0.0067	107	27	74
565	720	0.63	0.78	0.0037	0.0046	0.0058	128	25	75
531	634	0.57	0.84	0.0040	0.0059	0.0070	116	25	85
617	708	0.58	0.87	0.0037	0.0055	0.0063	113	23	87
478	576	0.63	0.83	0.0048	0.0063	0.0076	127	28	74
551	680	0.52	0.81	0.0036	0.0056	0.0069	109	25	85
456	558	0.54	0.82	0.0036	0.0054	0.0066	97	27	79
640	744	0.56	0.86	0.0037	0.0056	0.0065	132	23	86
533	649	0.54	0.82	0.0035	0.0053	0.0065	122	25	82
668	750	0.57	0.89	0.0041	0.0064	0.0071	105	26	81
609	708	0.58	0.86	0.0037	0.0056	0.0065	136	26	78
668	752	0.54	0.89	0.0035	0.0058	0.0065	105	27	82
593	699	0.57	0.83	0.0038	0.0056	0.0066	117	26	80
12.4	11.9	5.7	4.6	8.8	8.4	6.4	10.6	5.7	5.5

σ_{bf} kg/cm^2	σ_b kg/cm^2	γ_p σ_{bp}/σ_b	γ_f σ_{bf}/σ_b	ε_p σ_{bp}/E_L	ε_f σ_{bf}/E_L	ε_b σ_b/E_L	L_v $kg/cm^2 \text{ min.}$	T $\sim^\circ C$	H %
622	800	0.56	0.78	0.0035	0.0049	0.0063	120	24	85
620	714	0.59	0.87	0.0038	0.0056	0.0064	134	24	83
574	719	0.54	0.80	0.0037	0.0054	0.0068	115	29	74
641	743	0.55	0.86	0.0040	0.0059	0.0068	129	26	76
563	666	0.57	0.85	0.0041	0.0060	0.0071	115	26	83
575	717	0.58	0.80	0.0036	0.0050	0.0062	119	25	82
447	565	0.53	0.79	0.0039	0.0059	0.0074	111	27	77
395	454	0.51	0.87	0.0038	0.0064	0.0073	112	24	82
560	679	0.60	0.83	0.0039	0.0054	0.0066	136	28	79
570	697	0.58	0.82	0.0037	0.0052	0.0064	122	24	86
560	752	0.51	0.74	0.0038	0.0054	0.0073	126	31	72
534	661	0.56	0.81	0.0033	0.0048	0.0059	132	25	81
573	842	0.48	0.68	0.0040	0.0057	0.0083	129	27	81
556	693	0.55	0.81	0.0038	0.0055	0.0068	123	26	80
11.8	13.8	6.2	6.4	5.6	8.2	9.1	6.7	8.1	5.1

Table 2.5.

V	b mm	S mm	ϕ_a %	u %	R_u g/cm ³	σ_c kg/cm ²	E_t 10 ³ kg/cm ²	E_L 10 ³ kg/cm ²	σ_{bp} kg/cm ²
1	2.4	0.7	24	14.0	0.54	385	136	121	458
2	2.5	0.7	32	14.5	0.58	409	170	115	407
3	3.1	0.8	29	16.5	0.54	362	107	100	413
4	1.6	0.5	35	15.0	0.57	359	118	108	375
5	3.5	0.9	30	15.5	0.56	346	108	100	351
6	2.9	0.4	18	13.5	0.40	297	106	85	317
7	2.4	0.7	28	13.0	0.52	404	130	118	444
8	3.4	0.9	26	14.0	0.54	346	128	90	376
9	2.3	0.4	23	16.0	0.56	396	133	119	438
10	3.2	0.5	20	14.5	0.46	300	84	78	327
11	2.2	0.7	31	15.0	0.57	355	134	121	438
12	2.8	0.4	21	15.0	0.50	352	107	101	378
13	1.4	0.4	30	14.5	0.58	476	143	131	516
A	2.6	0.6	27	14.5	0.53	368	125	106	403
$\pm\Delta\%$	23.8	30.7	18.4	6.6	9.5	12.6	16.7	14.4	13.8

VI	b mm	S mm	ϕ_a %	u %	R_u g/cm ³	σ_c kg/cm ²	E_t 10 ³ kg/cm ²	E_L 10 ³ kg/cm ²	σ_{bp} kg/cm ²
1	1.6	0.5	31	13.5	0.54	396	133	120	456
2	1.1	0.4	34	13.0	0.56	402	145	129	502
3	1.7	0.5	29	14.5	0.53	381	103	97	403
4	3.2	0.8	24	14.0	0.44	296	107	100	323
5	1.5	0.5	33	14.0	0.54	444	137	127	473
6	2.9	0.8	27	14.5	0.54	354	103	97	395
7	1.5	0.5	29	13.0	0.47	296	88	82	308
8	1.9	0.5	26	13.5	0.56	374	145	130	456
9	1.0	0.3	26	14.0	0.50	403	132	118	420
10	2.3	0.7	28	14.5	0.52	346	112	100	452
11	1.3	0.4	26	16.5	0.51	359	122	109	399
12	1.9	0.6	31	15.0	0.61	364	106	97	391
13	2.1	0.8	24	17.0	0.61	516	179	161	533
A	1.8	0.6	28	14.5	0.53	379	125	113	424
$\pm\Delta\%$	34.9	27.3	11.1	8.1	8.8	14.9	18.8	17.7	14.8

VII	b mm	S mm	ϕ_a %	u %	R_u g/cm ³	σ_c kg/cm ²	E_t 10 ³ kg/cm ²	E_L 10 ³ kg/cm ²	σ_{bp} kg/cm ²
1	2.1	0.8	37	13.0	0.62	398	112	105	408
2	1.3	0.3	28	13.0	0.48	346	129	116	386
3	3.6	1.0	28	15.5	0.58	410	141	126	450
4	2.5	0.5	21	14.5	0.46	312	105	97	374
5	1.4	0.4	29	15.5	0.54	358	141	123	416
6	2.9	0.6	22	15.0	0.48	310	98	90	362
7	2.3	0.7	30	13.0	0.54	458	133	119	424
8	2.6	0.5	25	12.5	0.56	336	101	96	385
9	4.3	1.5	37	17.0	0.57	386	148	141	408
10	2.4	0.5	19	15.0	0.40	273	77	91	307
11	2.9	1.0	34	14.5	0.60	384	67	106	380
12	1.5	0.6	34	13.0	0.57	485	144	141	604
13	2.1	0.9	40	13.0	0.63	423	122	114	452
A	2.5	0.7	30	14.5	0.54	375	116	112	412
$\pm\Delta\%$	33.1	44.4	21.3	9.4	12.1	15.6	21.6	15.5	16.3

(Continued)

σ_{bf} kg/cm^2	σ_b kg/cm^2	γ_p σ_{bp}/σ_b	γ_f σ_{bf}/σ_b	ε_p σ_{bp}/E_L	ε_f σ_{bf}/E_L	ε_b σ_b/E_L	L_v $kg/cm^2 \text{ min.}$	T $\sim^\circ C$	H %
688	791	0.58	0.87	0.0038	0.0057	0.0065	134	26	81
651	761	0.54	0.86	0.0035	0.0057	0.0066	103	27	79
615	717	0.57	0.86	0.0041	0.0062	0.0072	177	26	82
585	693	0.54	0.85	0.0035	0.0054	0.0064	91	28	78
566	696	0.50	0.81	0.0035	0.0057	0.0070	96	27	77
460	567	0.56	0.81	0.0037	0.0054	0.0067	127	25	83
694	780	0.57	0.89	0.0038	0.0059	0.0066	128	27	81
(572)	617	0.61	0.93	0.0042	0.0064	0.0069	121	27	75
571	700	0.63	0.82	0.0037	0.0048	0.0059	133	25	76
488	579	0.56	0.84	0.0042	0.0063	0.0074	126	25	74
685	791	0.55	0.87	0.0036	0.0057	0.0065	122	27	79
571	700	0.54	0.82	0.0037	0.0057	0.0069	124	26	85
738	829	0.62	0.89	0.0039	0.0056	0.0063	147	32	70
606	709	0.57	0.86	0.0038	0.0057	0.0067	125	27	78
13.2	11.1	6.2	4.0	6.4	7.1	5.7	17.0	6.6	4.5

σ_{bf} kg/cm^2	σ_b kg/cm^2	γ_p σ_{bp}/σ_b	γ_f σ_{bf}/σ_b	ε_p σ_{bp}/E_L	ε_f σ_{bf}/E_L	ε_b σ_b/E_L	L_v $kg/cm^2 \text{ min.}$	T $\sim^\circ C$	H %
685	837	0.55	0.82	0.0038	0.0057	0.0070	122	25	83
757	877	0.57	0.86	0.0039	0.0059	0.0068	128	31	75
602	701	0.57	0.86	0.0042	0.0062	0.0072	133	26	76
481	588	0.55	0.82	0.0032	0.0048	0.0059	101	27	81
757	831	0.57	0.91	0.0037	0.0060	0.0065	148	32	68
573	685	0.58	0.84	0.0041	0.0059	0.0071	111	27	79
487	578	0.53	0.84	0.0038	0.0059	0.0071	123	27	71
658	746	0.61	0.88	0.0035	0.0051	0.0057	136	25	79
645	768	0.55	0.84	0.0036	0.0055	0.0065	128	24	85
556	689	0.66	0.81	0.0045	0.0056	0.0069	101	25	81
566	752	0.53	0.75	0.0037	0.0052	0.0069	113	23	88
630	699	0.56	0.90	0.0040	0.0065	0.0072	108	24	79
857	1002	0.53	0.86	0.0033	0.0053	0.0062	134	24	85
635	750	0.57	0.85	0.0038	0.0057	0.0067	122	26	79
16.2	14.9	6.1	4.7	9.1	8.0	7.1	11.3	10.0	6.9

σ_{bf} kg/cm^2	σ_b kg/cm^2	γ_p σ_{bp}/σ_b	γ_f σ_{bf}/σ_b	ε_p σ_{bp}/E_L	ε_f σ_{bf}/E_L	ε_b σ_b/E_L	L_v $kg/cm^2 \text{ min.}$	T $\sim^\circ C$	H %
671	810	0.50	0.83	0.0039	0.0064	0.0077	135	31	71
491	684	0.56	0.72	0.0033	0.0042	0.0059	135	25	79
676	726	0.62	0.93	0.0036	0.0054	0.0058	140	25	75
542	659	0.57	0.82	0.0039	0.0056	0.0068	121	26	76
560	685	0.61	0.82	0.0034	0.0046	0.0056	117	25	79
498	618	0.59	0.81	0.0040	0.0055	0.0069	110	25	81
685	801	0.53	0.86	0.0036	0.0058	0.0067	128	24	86
556	679	0.57	0.82	0.0040	0.0058	0.0071	110	27	78
594	785	0.52	0.76	0.0029	0.0042	0.0056	113	23	86
450	562	0.55	0.80	0.0034	0.0049	0.0062	105	25	83
580	733	0.52	0.79	0.0036	0.0055	0.0069	100	25	82
868	984	0.61	0.88	0.0043	0.0062	0.0070	143	32	71
731	870	0.52	0.84	0.0040	0.0064	0.0076	113	30	80
608	738	0.56	0.82	0.0037	0.0054	0.0066	121	26	79
18.2	14.6	6.8	6.1	9.8	13.4	10.4	11.2	10.5	5.3

Table 2.5.

VIII	b	S	ϕ_a	u	R_u	σ_c	E_I	E_L	σ_{bp}
	mm	mm	%	%	g/cm ³	kg/cm ²	10 ³ kg/cm ²	10 ³ kg/cm ²	kg/cm ²
1	2.4	0.7	31	15.0	0.62	406	154	136	475
2	1.8	0.5	30	15.0	0.54	363	117	107	403
3	2.3	0.7	21	13.0	0.51	345	109	97	363
4	1.9	0.4	22	14.5	0.47	336	118	105	361
5	1.8	0.7	36	13.5	0.58	428	144	131	498
6	2.2	0.5	24	14.0	0.47	461	117	89	339
7	2.6	0.5	21	15.0	0.45	289	94	87	320
8	2.0	0.7	31	14.0	0.58	352	123	113	406
9	2.4	0.9	37	16.5	0.52	396	131	120	436
10	2.6	0.6	26	14.0	0.47	342	104	97	389
11	1.2	0.4	30	16.5	0.57	375	151	135	475
12	2.6	0.8	33	14.0	0.59	395	132	118	401
13	1.4	0.4	29	14.5	0.51	395	133	124	466
A	2.2	0.6	29	14.0	0.53	376	125	112	410
±Δ%	20.5	26.2	17.9	8.2	10.0	11.5	13.8	13.7	13.7

Table 2.6. E_B と $E_{B'}$ の比較
Comparisons of E_B and $E_{B'}$

L. B. No.	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
E_B	124	113	113	108	112	119	115	121	106
$E_{B'}$	118	105	105	102	106	113	112	115	111
$E_{B'}/E_B$	0.95	0.93	0.93	0.94	0.95	0.95	0.97	0.95	1.05

 E_B =Young's modulus from eq. (1.3.3) (10^3 kg/cm²) $E_{B'}$ = " (mean value) (")

礎材質を表現することはあくまで便宜的手段であるが、ヤング係数に関する正かくな計算値とこの単なる算術平均値とを比較すれば Table 2.6. のようになって、だいたい一致することがわかる。よつて、この試験では、とくべつのばあい以外はすべて、この単純な算術平均値を用いることとした。ただし、彎曲集成材の曲げ剛性に関しては、挽板相互の合成ヤング係数を使用することにした。

Table 2.7. 彎曲集成材の横断面を構成する
Initial stresses (σ_{bo}) and bending strength (σ_b) in the

I	σ_{bo}	σ_b	$\frac{\sigma_{bo}}{\sigma_b}$	II	σ_{bo}	σ_b	$\frac{\sigma_{bo}}{\sigma_b}$	III	σ_{bo}	σ_b	$\frac{\sigma_{bo}}{\sigma_b}$	IV	σ_{bo}	σ_b	$\frac{\sigma_{bo}}{\sigma_b}$
	kg/cm ²	kg/cm ²			kg/cm ²	kg/cm ²			kg/cm ²	kg/cm ²			kg/cm ²	kg/cm ²	
1	551	887	0.62	1	531	780	0.68	1	583	902	0.65	1	516	800	0.65
2	483	875	0.55	2	570	811	0.70	2	475	709	0.67	2	476	714	0.67
3	566	835	0.68	3	482	819	0.59	3	467	720	0.65	3	503	719	0.70
4	435	884	0.49	4	388	546	0.71	4	367	634	0.58	4	400	743	0.54
5	440	681	0.65	5	383	599	0.64	5	407	708	0.58	5	381	666	0.57
6	315	596	0.53	6	314	654	0.48	6	347	576	0.60	6	351	717	0.49
7	363	674	0.54	7	365	712	0.51	7	394	680	0.58	7	376	565	0.67
8	320	485	0.66	8	264	520	0.51	8	313	558	0.56	8	291	454	0.64
9	468	836	0.56	9	523	769	0.68	9	492	744	0.66	9	483	679	0.71
10	472	816	0.58	10	361	653	0.55	10	422	649	0.65	10	393	697	0.56
11	548	698	0.78	11	570	845	0.67	11	534	750	0.71	11	558	752	0.74
12	480	762	0.63	12	450	726	0.62	12	435	708	0.61	12	465	661	0.70
13	528	772	0.68	13	576	816	0.71	13	559	752	0.74	13	623	842	0.74
A	459	754	0.61	A	444	712	0.62	A	446	699	0.63	A	447	693	0.64

(Continued)

σ_{bf} kg/cm ²	σ_b kg/cm ²	γ_p σ_{bp}/σ_b	γ_f σ_{bf}/σ_b	ϵ_p σ_{bp}/E_L	ϵ_f σ_{bf}/E_L	ϵ_b σ_b/E_L	L_v kg/cm ² min.	T ~°C	H %
706	820	0.58	0.86	0.0035	0.0052	0.0060	115	24	83
666	753	0.53	0.88	0.0038	0.0062	0.0070	115	26	75
543	665	0.55	0.82	0.0037	0.0056	0.0059	128	26	84
545	642	0.56	0.85	0.0034	0.0052	0.0061	126	24	90
722	888	0.56	0.81	0.0038	0.0055	0.0068	128	29	79
497	608	0.56	0.82	0.0038	0.0056	0.0068	123	25	82
426	545	0.59	0.78	0.0037	0.0049	0.0063	103	26	85
587	738	0.55	0.80	0.0036	0.0052	0.0065	109	29	75
672	759	0.57	0.89	0.0036	0.0056	0.0063	103	26	80
579	634	0.61	0.91	0.0040	0.0060	0.0065	124	25	83
603	747	0.64	0.81	0.0035	0.0045	0.0055	123	26	70
651	742	0.54	0.88	0.0034	0.0055	0.0053	106	29	74
705	819	0.57	0.86	0.0037	0.0057	0.0066	123	31	73
608	720	0.57	0.84	0.0037	0.0054	0.0064	119	27	79
13.6	13.1	5.0	4.6	4.7	8.0	6.3	7.2	7.9	7.0

いま、この合成された見掛けのヤング係数を E_B とすると、

$$E_B I_B = \sum E_n I_n \dots\dots\dots (2.11)$$

ただし、

 I_B = 彎曲集成材の断面2次モーメント E_n = 横断面中央の挽板を E_1 とし、これより外側に向つて番号を付すので n 番目の板のヤング係数
つぎに、中央挽板の断面2次モーメントを I_1 とすれば、

$$I_n = I\{12(n-1)^2 + 1\}$$

$$= I_1 \cdot \alpha \dots\dots\dots (2.12)$$

したがつて、この n の値は、はじめに断面構成できめた1~13の挽板番号に対してつぎの関係をもつことになる。

挽板の構成番号	n
1 と 13	7

各挽板の初応力 (σ_{bo}) と曲げ強度 (σ_b)
each lamination of the glued laminated curved wood.

V	σ_{bo} kg/cm ²	σ_b kg/cm ²	$\frac{\sigma_{bo}}{\sigma_b}$	VI	σ_{bo} kg/cm ²	σ_b kg/cm ²	$\frac{\sigma_{bo}}{\sigma_b}$	VII	σ_{bo} kg/cm ²	σ_b kg/cm ²	$\frac{\sigma_{bo}}{\sigma_b}$	VIII	σ_{bo} kg/cm ²	σ_b kg/cm ²	$\frac{\sigma_{bo}}{\sigma_b}$
1	528	791	0.67	1	570	837	0.68	1	553	810	0.68	1	556	820	0.68
2	438	761	0.58	2	539	877	0.62	2	431	684	0.63	2	524	753	0.70
3	480	717	0.67	3	441	701	0.63	3	489	726	0.67	3	493	665	0.74
4	421	693	0.61	4	381	588	0.65	4	360	659	0.55	4	411	642	0.64
5	440	696	0.63	5	467	831	0.56	5	507	685	0.74	5	471	888	0.53
6	307	567	0.54	6	343	685	0.50	6	347	618	0.56	6	355	608	0.58
7	375	780	0.48	7	373	578	0.65	7	383	801	0.48	7	405	545	0.74
8	321	617	0.52	8	541	746	0.73	8	345	679	0.51	8	356	738	0.48
9	470	700	0.67	9	585	768	0.76	9	452	785	0.58	9	467	759	0.62
10	351	579	0.61	10	323	689	0.47	10	396	562	0.70	10	385	634	0.61
11	553	791	0.70	11	561	752	0.75	11	550	733	0.75	11	530	747	0.71
12	448	700	0.64	12	455	699	0.65	12	412	984	0.42	12	464	742	0.63
13	620	829	0.75	13	569	1002	0.57	13	677	870	0.78	13	613	819	0.75
A	442	709	0.62	A	473	750	0.63	A	454	738	0.62	A	464	720	0.65

2 と 12		6
3 と 11		5
4 と 10		4
5 と 9		3
6 と 8		2
7		1

ゆえに、

$$\begin{aligned}
 E_R I_R = I_1 \{ & E_7 + 13(E_6 + E_8) + 49(E_5 + E_9) \\
 & + 109(E_4 + E_{10}) + 193(E_3 + E_{11}) \\
 & + 301(E_2 + E_{12}) + 433(E_1 + E_{13}) \} \\
 I_1 = & \frac{bt^3}{12} \dots\dots\dots (2.13)
 \end{aligned}$$

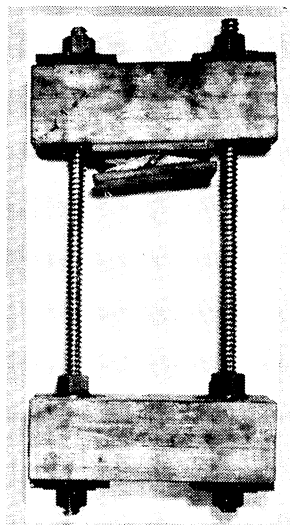
b = 挽板幅 (集成材の幅) t = 挽板厚

2.3.2. 彎曲集成材の彎曲中央断面における初応力 (σ_{b0})

(2.10) 式を用いて断面内構成挽板に加えられた製造時の初応力は Table 2.7. のように予想される。この表からわかるように、初応力と最大曲げ応力 σ_b との比率は 8 本の彎曲集成材に関して大よそ 0.63 (0.61~0.65) でいとみられるようである。

ただし、これはあくまで製造時における瞬間応力であつて、接着圧縮等の加工操作を経過するにつれてしだいに応力の緩和が起るものと考えられるので、終局的に内応力として残留するものがいくらになるかということはわからない。このことについては、なお慎重な実験によつて検討する必要がある。したがつて上の表は、加工時の条件としての一応の目安をあてるにすぎないことはいふまでもない。

2.4. 接着加工



Phot. 2.5.
接着圧縮用ネジクランプ
Screw clamp used for
laminating

集成材の製造において最も肝要なことは接着の完全である。このためには、ここに使用したアカマツにたいしては、検討を要する問題点、すなわち接着剤の選定、接着加工条件の決定などがあるので、まずこれらに関する予備試験を行い、これらの条件をまとめたのち所定の彎曲集成材を作成した。

2.4.1. 接着に関する予備試験

(a) 試験材の調整

この予備試験に用いた材料は彎曲集成材の作成に用いる乾燥した挽板の中からえらんだ。この材料の寸法は厚さ約 15 mm, 幅 100 mm で、節・目切れなどの欠点のないものをえらび、これを木口面の年輪角度によつて板目・まさ目・追まさの 3 グループに分け、長さ約 150 mm に切り、20°C, 65% の恒温・恒湿室の中に 1 週間以上放置して、含水率を 12~13% に調整した。これらのなかから、試験をする条件ごとに、それぞれ比重および木目の同じものをえらび、これらを接着すべき試験片とした。

この試験片に次項に示す接着剤を用いて 2~3 層の試験材を作成した

が、この場合に用いた各試験片は条件試験の因子ごとにそれぞれなるべく比重・木目などの同じものを選んだ。

なお、接着操作においては、常に接着剤をビーカー、乳鉢などで調整し接着時の温湿度、塗付量（刷毛塗、両面塗付）、堆積時間、硬化条件などを測定し、圧締操作は Phot. 2.5. に示すネジクランプによりトルクレンチにて圧力を調整した。

（b）接着剤の選定試験

アカマツは多量の天然含有樹脂を有し、接着剤のウェットイングに支障を生じ、接着障害をおこす懸念があるので、まず使用すべき接着剤を選定するとともに、その接着工程中に、なんらかの特殊処理を行うように考慮しなければならないことも予想されたのでこれについて予備試験を行つた。

集成材用接着剤としては、カゼイングルー、尿素樹脂、レゾルシノール樹脂、およびフェノール樹脂などが代表的なものと考えられるので、これらについて試験を行つた。

i) 試験した接着剤

(1) カゼイングルー 内海化学工業（株）製カゼイン木材接着剤（JIS-K6803）で、次の割合で水を加えよく攪拌して十分糊状にしてから接着した。

カゼイングルー（粉末）	100
水	250

(2) 尿素樹脂接着剤 東洋高圧工業（株）製ユーロイド #120 を使用し、硬化剤は塩化アンモン 10% 水溶液を樹脂液に対して 10% 重量添加して使用した。同接着剤の詳細は林業試験場研究報告 No. 67 に示してある。

(3) レゾルシノール樹脂接着剤 日本ライヒホルド化学工業（株）製プライオーフェン #6000 および #6002 を使用した。同接着剤の詳細は林業試験場研究報告 No. 101 に示してある。

(4) フェノール樹脂接着剤 SPA 38 という名称で試験的に調整され、樹脂液に強酸性硬化剤を添加して常温で硬化させる接着剤である。たとえば、住友ベークライト（株）PA 511、日本ライヒホルド（株）プライオーフェン 5023 等と、同じ形式に属するものである。使用法は、樹脂液に対して硬化剤 10% を添加し、ひき板面に塗付してからオープン堆積時間をおき、塗付された接着剤の粘度が上つたときに、ふたたび接着剤を塗り加え圧締操作を行つた。

ii) 接着性能試験の方法と結果の判定基準

接着性能試験は、次に示す初期接着性試験と接着耐久性試験によつた。また、接着された試験材の長さは 150 mm であるが、これを 2 分してそれぞれ初期接着性試験、接着耐久性試験に供した。

(1) 初期接着性試験

試験法 ASTMD 805-52 に準拠するブロック剪断試験により、この詳細は林試研究報告第 101 号⁸⁾ 137 頁に示してあるので略す。

判定基準 初期接着力の判定は、剪断接着力と木部破断率によることとしたが、前者は一般にその比重と直線的な関係にあり、後者は針葉樹グループのような比較的低比重の材にあつては高率を示すことが報告されている⁹⁾。また、この剪断試験法は ASTM に採用されるまでに数十年を要しており、欧州における 1900 年当初からの針葉樹集成材建築物の実用成績と ASTMD 805-52 による試験成績との関連性を究明した報告^{4) 6)} は数多く存在する。したがつて、これら資料にもとづいて、初期接着力の判定基準を次

のとおりとした。

剪断力....この試験で扱ったアカマツ挽板の比重は 0.40~0.65 の範囲にわたっているので、試験をする項目ごとに、常になるべく同じ比重の供試片を用いるようにつとめた。しかし、いくら同じ比重材でも材料本来の性質にもとづいて剪断力にはばらつきがあるので、ただこの値の比較値（ある標準条件の剪断力にたいする比、すなわち強度比）、強度比（百分率）だけで初期接着性の良否を判定することは妥当でない。剪断力値の強度比はむしろ参考資料として、次の木部破断率を考慮しなければならない。

木部破断率....この数値が接着性能を判定する上に、より直接的な基準であることはいうまでもない。すでに外国で行われている標準的な破断率を参考として、ここでは木部破断率 75% 以上を接着良好と判定することとした。

(2) 接着耐久性試験

試験法 ASTM D 1101—53 に準拠するもので、その詳細は林試研究報告第 101 号 138 頁に記してあるので略すが、注水・乾燥の処理を 3 回繰り返し、試験片の木口に生じた剝離率を測定した。

判定基準 アメリカにおいてこの ASTM D 1101—53 が標準試験法となるまでに行われた数多くの外装用集成材暴露試験、実用試験および促進試験などの結果にもとづいて⁷⁾、ここでは剝離率 10% 以下を接着耐久良好と判定することとした。

iii) 試験結果

接着条件と接着試験の結果を Table 2.8. に示した。この結果を前項の判定基準によつてまとめてみると Table 2.9. のごとくなる。

これらの結果から、尿素樹脂は良好とはいいがたく、フェノール樹脂でも木部破断率では接着良好と判断されるが、剪断力は明らかに低く、剝離率もきわめて不良といわなければならない。これにたいし、カゼイン、レゾルシノール樹脂はともに満足すべき接着性能をもっているものと認められた。

もちろん、ここにえた程度の結果から接着剤そのもののアカマツ材接着にたいする優劣を決定することはできなく、たとえ尿素、フェノール樹脂でも、接着工程中になんらかの方法を講ずれば接着性能をより高めることができると考えられる。

以上の結果からはカゼインを選定してもよいのであるが、この試験で作られる集成材を、将来長く暴露試験を行う関係もあつて、ここではレゾルシノール樹脂を選定することにした。

なお、レゾルシノール樹脂が樹脂の多いアカマツ材にたいしても接着のすぐれた原因について、次のように推定を下している。

レゾルシノール樹脂中の成分には、アカマツ材中に含まれる樹脂分と親和性をもつものがあるものと考えてその検討を試みた。

島津製分光光度計を用いて、

- (1) レゾルシン
- (2) レゾルシノール樹脂単体
- (3) アカマツ材中の樹脂成分であるアビエチン酸
- (4) レゾルシノール樹脂とアビエチン酸との混合物をただちにアルコールに溶解したもの
- (5) 前記 (4) の混合物をレゾルシノール樹脂の硬化温度の 40°C において、24 時間加熱処理後、アルコールに溶解したもの

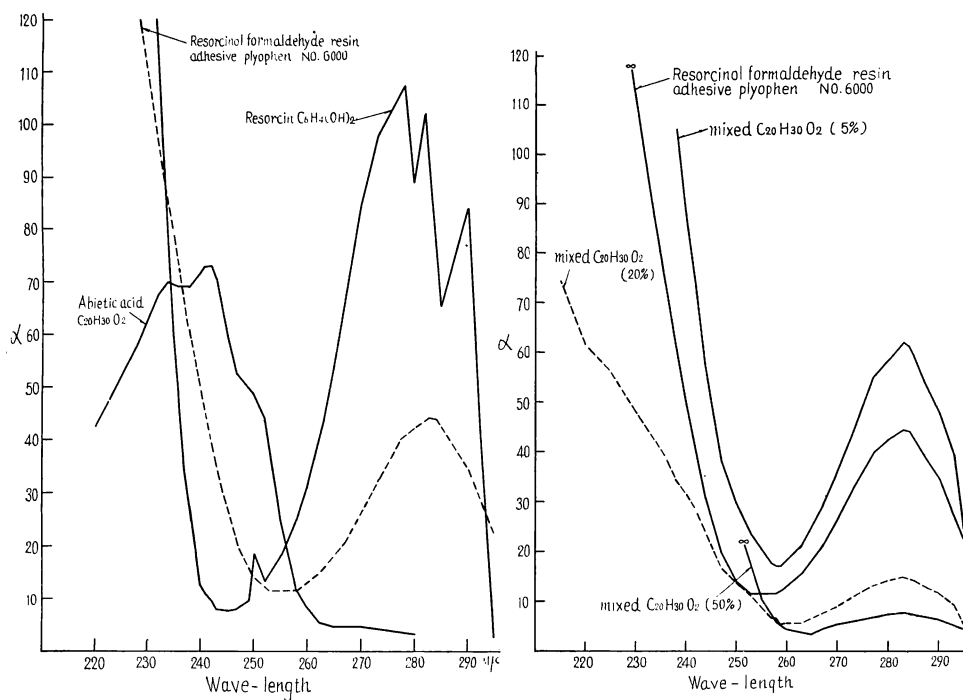
Table 2.8. 各接着剤の接着条件と接着試験結果
 Gluing conditions and results on gluing faculty tests (for selecting glues)

板の性状 Conditions of laminations	接着剤 glues		カゼイン グ ル ー Casein glue	尿素樹脂 Urea resin	レゾルシノール 樹 脂 Resorcinol resin	フェノール 樹 脂 Phenol resin
	測定時比重 Specific gravity		0.51±0.06 (44 枚)	同	同	同
	木 目 Grain		*F=20 枚 H=12 枚 V=10 枚	同	同	同
接 着 条 件 Gluing conditions	含水率 Moisture content	平 衡 Equivalent 水分計 M. meter (%)	12~13	同	同	同
	接着時の温度 Temp. at the time of gluing	Dry temp.(°C)	27.0	31.0	27.0	25.0
		Wet temp.(°C)	25.0	25.0	25.0	22.0
接 着 条 件 Gluing conditions	塗 付 量 Spread of glue (g/ft ²)		31	32	22	36
	堆 積 時 間 Assembly time (closed) (min)		12~13	18~21	19~21	56~79
	圧 縮 圧 力 Gluing pressure (kg/cm ²)		9	9	9	9
	硬 化 条 件 Curing condition		D≐40°C W≐34°C 17hr.	常温硬化 Room temp. setting D≐31°C { D≐26°C W≐25°C { W≐22°C	D≐40°C W≐34°C 17hr.	D≐30°C W≐26°C 22hr.
接着性能試験 Results on gluing faculty tests	剪 断 力 Shear strength (kg/cm ²)		91±14	80±17	91±6	63±16
	木 部 破 断 率 Wood failure (%)		93 (15~100)	74 (20~100)	96 (80~100)	92 (50~100)
	含 水 率 Moisture content (%)		14.0±1.0	12.8±0.9	12.6±1.4	
	測 定 個 数 Number of testing		44	44	44	44
	試験時温度 Temp.	Dry temp.(°C)	23.0	18.0	25.0	24.0
		Wet temp.(°C)	21.5	15.0	22.0	22.0
	剝 離 率 Percent. of delam. (%)		—	—	0.2 (0~3)	66 (13~100)
	試験片の 比 重 Specific gravity	比 重 Sp.	—	—	0.51±0.07	0.51±0.07
		含 水 率 Moisture content	—	—	13.4±1.1	11.8±0.6
	測 定 個 数 Number of testing		—	—	22	22

*F=板目 Flat grain H=追桁 Half vertical grain V=柾目 Vertical grain

Table 2.9. 各接着剤による比較値
 Effect of each glues on wood failure and strength ratio

接 着 剤 Glues	木部破断率判定基準 に合格した百分率 Wood failure (%)	強 度 比 (%) Strength ratio
カゼイングルー Casein glue	98	100
尿 素 樹 脂 Urea resin	73	88
レゾルシノール Resorcinol	100	100
フェノール樹脂 Phenol resin	93	69



A. レゾルシン、レゾルシノール樹脂および
アビエチン酸の紫外線吸収特性
Spectral infra-violet curve of resorcin,
resorcinol formaldehyde resin adhesive
and abietic acid

$$\left(\alpha = \frac{\text{Absorbance}}{(\text{Gram in 1l}) \times \text{cell coefficient}} \right)$$

B. レゾルシノール樹脂および同樹脂にアビエチン
酸 5%, 20%, 50% 添加した時の紫外線吸収特性
Spectral infra-violet curve of resorcinol
formaldehyde resin adhesive and its
contained 5, 20 and 50% of abietic acid

Fig. 2.5. 紫外線吸収特性 Spectral infra-violet curve

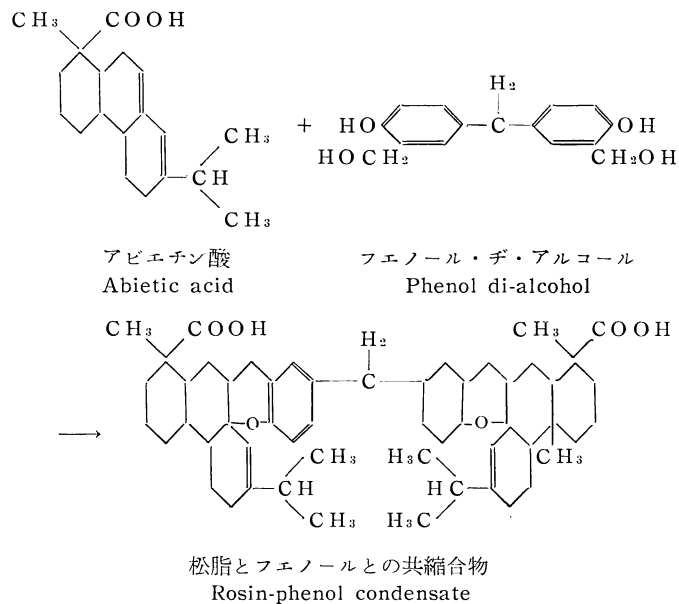
(6) 前記 (4) の混合物を 140°C において、3 時間加熱処理後、アルコールに溶解したものなどの 0.1g/l 溶液の紫外線吸収曲線をそれぞれ求めた結果は Fig. 2.5. のとおりである。この紫外線吸収の状態から次の点が明らかとなった。

① アビエチン酸の吸収極大が波長 $242\text{m}\mu$ 付近にあるのに、レゾルシノール樹脂にアビエチン酸を 5 ~ 50% 添加しても、その波長 $242\text{m}\mu$ には吸収極大が現われず、レゾルシノール樹脂の極大より現われない。この点からアビエチン酸の 2 重結合のところに、レゾルシノール樹脂が結合したものと考えられる。

② Fig. 2.5.B. に示すようにレゾルシノール樹脂にアビエチン酸を 5% 添加したもののみは、明らかに指示計器の読みが高く、結合が顕著に行われているものと思われる。

③ 温度に関係なく各割合の吸収曲線が一致しているのは、レゾルシノール樹脂およびアビエチン酸がアルコール溶液で常温で反応することを示していると思われる。

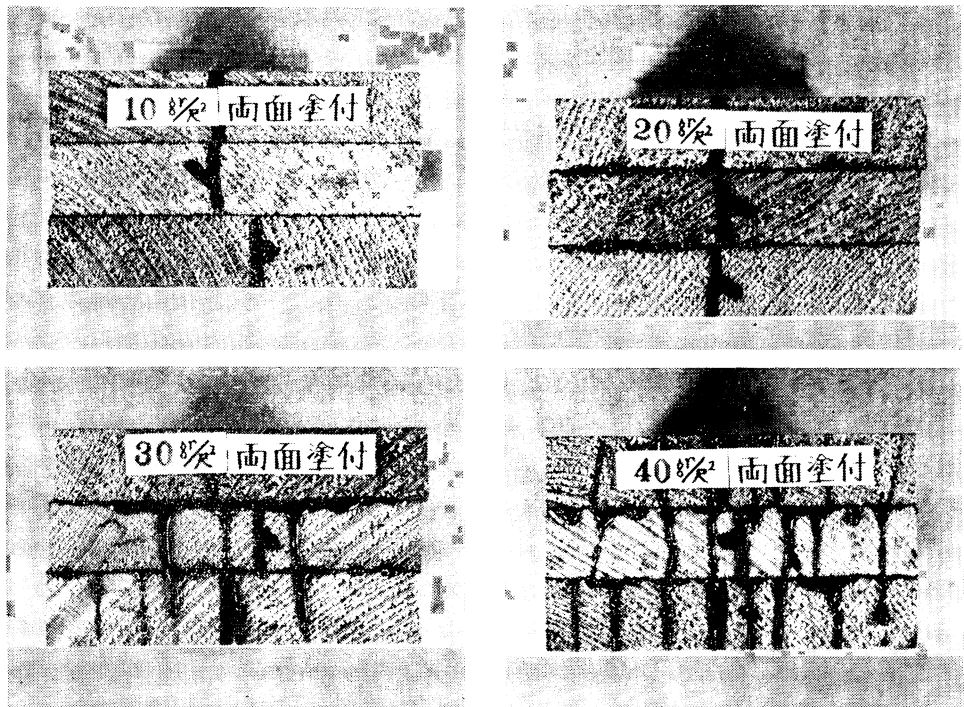
このような結果を推定するのは、POWERS⁵⁾ がフェノール樹脂とアビエチン酸との間に次のような反応をしていると、フェノールアルコールにアビエチン酸を添加した際の粘度上昇、融点上昇から推定していることを参考としたものである。



(c) レゾルシノール樹脂にたいする接着工程上の条件試験

集成材接着工程上問題になる条件の主たるものは、塗付量、堆積時間、圧縮圧力、硬化条件の4要素と考えられるので、これら各要素について試験した。

(i) 塗付量 彎曲集成材の製造試験には、ドクターロールをもつたひき板用のスプレッダーを使用



Phot. 2.6. 塗付量と接着剤のはみ出した状態
Glue squeezed out from glue line

Table 2.10. 塗付量別の接着性能試験結果
 Gluing conditions and results on gluing faculty tests of laminated wood
 (for investigating spread of glue)

		塗 付 量 Spread of glue (g/ft ²)	10	15	20	30	40	片 面 Single 30
挽板の性状 Conditions of laminations	測定時比重 Specific gravity	0.47±0.05 (9 枚)	同	同	同	同	同	同
	木 目 Grain	H*	同	同	同	同	同	同
	含水率 Moisture content	平 衡 (%) Equivalent 水分計 (%) M. meter	12~13	同	同	同	同	同
			8.7±1.0	8.8±1.0	8.6±1.0	9.0±1.2	9.0±1.2	8.9±1.3
接着条件 Gluing conditions	接着時の温度 Temp. at the time of gluing	Dry temp. (°C)	19.0	同	同	同	同	同
		Wet temp. (°C)	16.0	同	同	同	同	同
	堆 積 時 間 Assembly time (closed) (min)		30	20	23	20	19	21
	圧 縮 圧 力 Gluing pressure (kg/cm ²)		10	10	10	10	10	10
接着性能試験 Results on gluing faculty tests	硬化条件 Curing condition	D=40°C W=36°C 4hr. 後放冷 17hr.	同	同	同	同	同	同
	剪断力 (kg/cm ²) Shear strength		96±8	98±8	87±8	88±9	93±9	75±13
	木部破断率 (%) Wood failure		93 (65~100)	93 (80~100)	93 (60~100)	90 (40~100)	90 (65~100)	92 (75~100)
	含水率 (%) Moisture content		11.9±0.8	12.0±0.9	11.9±0.8	11.9±1.0	12.5±0.9	12.3±0.9
剥離試験 Delamination test	測定個数 Number of testing		12	7	12	12	12	12
	試験時温度 Temp.	Dry temp. (°C)	25.0	25.0	25.0	27.0	27.0	28.5
		Wet temp. (°C)	20.0	20.0	20.0	23.5	23.5	23.0
	剥離率 (%) Percent. of delam.		1,0,0	0,1	0,1,0	1,0,0	0,0,2	0,0,1
剥離試験 Delamination test	試験片の比重 Specific gravity	比 重 Sp.	0.41, 0.48, 0.50	0.49, 0.51	0.41, 0.51, 0.50	0.41, 0.49, 0.50	0.43, 0.48, 0.51	0.44, 0.50, 0.51
	含水率 (%) Moisture content		12, 12, 12	11, 12	11, 11, 12	11, 13, 12	11, 12, 12	11, 11, 13
	測定個数 Number of testing		3	2	3	3	3	3

*H=追証 Half vertical grain

することにしたので、塗付量の範囲はかなり小さく調整しうる見込であつたが、塗付量の範囲をどの程度まで大きくとれるかをしらべるために、試験を行つた。なお、塗付方法は両面塗付とし、片面塗付との比較試験もあわせ行い、接着条件と接着試験結果を Phot 2.6. および Table 2.10. に示した。

この結果をみると、木部破断率と剥離率は、すべてがきわめて接着良好で優秀な性能を示しているが、剪断接着力は多少のばらつきが認められた。しかし総合的にみると両面塗付において、10~40 g/ft² の間では接着性能上の相違はほとんど認められない。したがつて、レゾルシノール樹脂接着剤では、適正仕上り精度の挽板を使用する場合、小規模実験室的な試験において、少量塗付でも接着剤が均等に塗付されておれば接着性能に影響しないことが明らかになつた。

(ii) 堆積時間 集成材の圧縮は長大で彎曲形状のものが多く、本試験においても長さ約 6 m, 断面

約 10 cm×20 cm の彎曲形状であるので、クランプ締め作業にかなりの時間を要することが予想される。したがって堆積時間の接着性能に及ぼす影響をしらべ、その許容限界をあらかじめ把握しておく必要を認めたので、次の試験を行った。

堆積時間として、0分、20分、40分、60分および80分の5条件をとり、乾球 25°C、湿球 21°C の恒温恒湿室内にて挽板、接着剤およびその他の接着材料をすべて 25°C に平衡せしめておき接着作業もすべてこの室内にて行い、挽板に接着剤を塗付し堆積してからそれぞれ上記の所定時間だけ放置して、10 kg/cm² 圧力を加えて圧縮した。これらの接着条件と接着試験結果を Table 2.11. に示した。これをまとめると Table 2.12. のごとくなる。

剥離率 堆積時間 0分～60 分では、すべての結果きわめて良好であるが、80 分においては、3 個の試験片中、1 個だけは不良であった。

Table 2.11. 堆積時間別接着試験結果
Gluing conditions and results on gluing faculty tests of laminated wood
(for investigating assembly time)

		堆積時間別 Assembly time	0	20	40	60	80
挽板の性状 Conditions of laminations	測定時比重 Specific gravity		0.48±0.03 (9 枚)	同	同	同	同
	木目 Grain		*H	同	同	同	同
	含水率 Moisture content	平衡 (%) Equivalent	12~13	同	同	同	同
		水分計 (%) M. meter	9.6±0.5	9.4±0.5	9.3±0.5	9.7±0.5	9.3±0.5
接着条件 Gluing conditions	接着時の温度 Temp. at the time of gluing	Dry temp. (°C)	24.0	同	同	同	同
		Wet temp. (°C)	21.0	同	同	同	同
	塗付量 (g/ft ²) Spread of glue		23	22	24	29	24
	圧縮圧力 (kg/cm ²) Gluing pressure		10	10	10	10	10
	硬化条件 Curing condition		D=43°C W=38°C 17hr.	同	同	同	同
接着性能試験 Results on gluing faculty tests	剪断試験 Block shear test	剪断力 (kg/cm ²) Shear strength	97±8	94±9	100±12	98±14	92±10
		木部破断率 (%) Wood failure	96 (80~100)	97 (90~100)	98 (95~100)	97 (85~100)	83 (60~95)
		含水率 (%) Moisture content	12.6±0.7	12.5±0.7	12.2±0.5	12.7±0.5	12.5±0.8
		測定個数 Number of testing	12	12	12	12	12
	試験時温度 Temp.	Dry temp. (°C)	22.5	22.0	22.0	22.0	22.0
		Wet temp. (°C)	20.5	19.5	19.5	19.5	19.5
	剥離試験 Delamination test	剥離率 (%) Percent. of delam.	1,0,1	0,0,0	0,0,1	3,0,0	7,14,3
		比重 Sp.	0.45,0.47,0.50	0.46,0.47,0.51	0.45,0.47,0.54	0.46,0.48,0.54	0.46,0.47,0.51
	試験片の比重 Specific gravity	含水率 (%) Moisture content	11, 12, 12	13, 12, 11	12, 12, 11	13, 12, 11	13, 12, 12
		測定数 Number of testing	3	3	3	3	3

*H = 追証 Half vertical grain

Table 2.12. 堆積時間による比較値
Effect of assembly time on wood failure and strength ratio

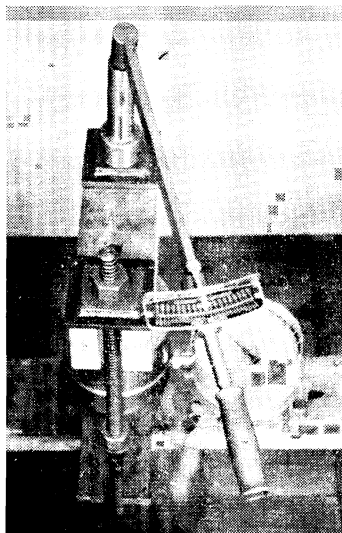
堆 積 時 間 Assembly time (min)	木部破断率判定基準に 合格した百分率 Wood failure (%)	剪断力強度比 Strength ratio (%)
0	100	100
20	100	97
40	100	103
60	100	101
80	75	95

剪断力は堆積時間 0 分の値を基準とした。

Shear strength, based on assembly time 0 minute.

以上の結果をみると、室温 25℃ において、0 分～60 分の堆積時間は安全許容限界内にあるが、80 分になると、やや性能が劣つてくることが認められた。堆積時間は、作業室内温度の影響が大きいので、年間を通じての基準をきめることは困難であるが、気温 30℃ をこえる夏季などは、接着剤自体を冷却して

おき、作業中の接着剤平均温度を 25℃ 程度に保つよう考慮し、圧縮作業を 60 分以内に終わらせるように作業基準をきめればよいことを知つた。



Phot. 2.7.

ネジクランプ圧力測定試験
Pressure test on screw clamp

(iii) 圧縮圧力 集成材の接着圧縮方式は通常ボルト形式のネジクランプを採用し、圧力調整にはトルクレンチを用いるが一般にネジクランプはその形式や仕上精度、さらに、その手入れ状況等によつて、かなりのばらつきがあると考えられる。したがつて、まず、彎曲集成材の製造に使用するネジクランプ 70 個について、圧縮圧力の精度を試験してみた。すなわち、Phot. 2.7. に示すように圧縮圧力を実測するために、容量 5 ton のコンプレッションメーターを使用し、容量 1800 kg-cm のトルクレンチを用いて、それぞれ 200, 400 および 600 kg-cm に対応する圧縮力を求め、圧力のばらつきを調べた。その結果を Table 2.13. に示した。これをみると、圧縮圧力はかなり広範囲にばらついていることが認められる。通常、1 クランプのうけもつ接着面積は 150 cm²～250 cm² 程度であ

Table 2.13. ネジクランプ圧縮圧力の精度 (トルクレンチを用いた場合)
Distributions of pressure operated with screw clamps
(at the time of using a torque wrench)

トルクレンチの読み Measuring with the torque wrench (kg-cm)	200	400	600
締付圧力 clamping pressure			
平 均 値 (kg) Average	783	1635	2365
標 準 偏 差 (kg) Standard deviation	121	196	278
変 化 係 数 (%) Coefficient of variation	15	12	18

るから、たとえば 10 kg/cm^2 の接着圧縮力を目標に操作する場合は、1 クランプあたりの総圧縮力が約 $1.5 \sim 2.5 \text{ ton}$ となり、この範囲でのばらつきは Table 2.13. のとおり変化係数で約 15% あることになる。したがって、 10 kg/cm^2 で圧縮しても実際には約 $8.5 \sim 11.5 \text{ kg/cm}^2$ 程度の圧力を加えていることになり、クランプごとの最大値、最小値をとれば、ばらつきはさらにはなはだしい。このため、もし接着圧縮力とその接着性能にいちじるしく影響するものであるとすれば、あらかじめクランプごとにその特性を測定しておき、各クランプに対応するトルクをそれぞれ加えるというような複雑な圧縮工程をしなければならぬことになる。これらの点を究明するために接着圧縮力と接着性能との関係について次のような試験を行つてみた。

圧力条件として、2.5, 5.0, 10.0, 15.0 および 20.0 kg/cm^2 の5条件をとり、十分に検定されたねじクランプを用いて、それぞれ、所定圧力を加えた。接着条件および接着性能試験結果を Table 2.14. に示

Table 2.14. 圧縮圧力別の接着性能試験結果
Gluing conditions and results on gluing faculty tests of laminated wood
(for investigating gluing pressure)

		圧縮圧力 Gluing pressure (kg/cm^2)	2.5	5.0	10.0	15.0	20.0
挽板の性状 Conditions of laminations	測定時比重 Specific gravity		0.54 ± 0.01 (15枚)	同	同	同	同
	木目 grain		*H=15枚	同	同	同	同
	含水率 Moisture content	平衡 (%) Equivalent	12~13	同	同	同	同
		水分計 (%) M. meter	9.4 ± 0.9	9.7 ± 0.9	9.6 ± 0.9	9.3 ± 0.9	9.6 ± 0.9
接着条件 Gluing conditions	接着時の温度 Temp. at the time of gluing	Dry temp. ($^{\circ}\text{C}$)	23.0	23.0	23.0	23.0	23.0
		Wet temp. ($^{\circ}\text{C}$)	16.5	16.5	16.5	16.5	16.5
	塗付量 Spread of glue	(g/ft^2)	29	35	27	25	23
	堆積時間 Assembly time (closed)	(min)	22	22	22	25	26
	硬化条件 Curing condition		D $\Rightarrow 40^{\circ}\text{C}$, W $\Rightarrow 35^{\circ}\text{C}$ 20hr.	D $\Rightarrow 40^{\circ}\text{C}$, W $\Rightarrow 35^{\circ}\text{C}$ 20hr.	D $\Rightarrow 40^{\circ}\text{C}$, W $\Rightarrow 35^{\circ}\text{C}$ 20hr.	D $\Rightarrow 40^{\circ}\text{C}$, W $\Rightarrow 35^{\circ}\text{C}$ 20hr.	D $\Rightarrow 40^{\circ}\text{C}$, W $\Rightarrow 35^{\circ}\text{C}$ 20hr.
接着性能試験 Results on gluing faculty tests	剪断力 Shear strength	(kg/cm^2)	104 ± 10	100 ± 9	100 ± 9	104 ± 11	98 ± 10
	木部破断率 (%) Wood failure		96 (60~100)	98 (75~100)	98 (85~100)	99 (90~100)	96 (55~100)
	含水率 (%) Moisture content		12.6 ± 0.8	12.8 ± 0.8	12.6 ± 0.7	12.4 ± 0.7	12.7 ± 0.7
	測定個数 Number of testing		20	20	20	20	20
	試験時温度 Temp.	Dry temp. ($^{\circ}\text{C}$)	24.5	20.5	20.5	20.5	20.5
		Wet temp. ($^{\circ}\text{C}$)	20.0	18.0	18.0	19.0	19.5
	剝離率 (%) Percent. of delam.		0.2 (0~1)	0 (0~0)	0.4 (0~1)	0.6 (0~1)	0.6 (0~1)
	比重 Sp.		0.54 ± 0.02	0.54 ± 0.02	0.54 ± 0.02	0.55 ± 0.02	0.54 ± 0.02
	試験片の比重 Specific gravity	含水率 (%) Moisture content	12.6 ± 0.5	12.6 ± 0.5	12.6 ± 0.5	12.2 ± 0.4	12.8 ± 0.4
	測定数 Number of testing		5	5	5	5	5

*H=追柁 Half vertical grain

Table 2.15. 圧縮圧力による比較値
Effect of gluing pressure on wood failure and strength ratio

圧 縮 圧 力 Gluing pressure (kg/cm^2)	木部破断率判定基準に 合格した百分率 Wood failure (%)	強 度 比 Strength ratio (%)
2.5	95	104
5.0	100	100
10.0	100	100
15.0	100	104
20.0	90	98

した。この結果から木部破断率の判定基準に合格率および剪断力の強度比(圧力 10 kg/cm^2 を基準にして)を求めると Table 2.15. のごとくであり、剝離率もまたいずれの圧力でも接着きわめて良好であつた。

これらの結果から、小試片に均等な圧力が加わる場合には、圧縮力は、 $2.5 \text{ kg/cm}^2 \sim 20.0 \text{ kg/cm}^2$ の範囲では、いずれも接着きわめて良好なことが認められた。しかし、長尺の集成材を圧縮するときには、前述のクランプ自体の精度と、クランプ間隔にもとづく部分的な圧力ムラ等が避けられないので、操作の安全を考慮して、 $5 \text{ kg/cm}^2 \sim 15 \text{ kg/cm}^2$ 程度の範囲を標準とすべきであるとみなし、トルクレンチの調整をすべて約 10 kg/cm^2 に合わせた。

(iv) 硬化条件 熱硬化性の合成樹脂接着剤は、集成材接着加工工程の中で硬化条件が顕著に影響する。この形式に属する樹脂接着剤はいずれも、常温 ($20 \sim 30^\circ\text{C}$) ないし中間温 ($30 \sim 100^\circ\text{C}$) の加熱条件を必要とするが、常温硬化性の樹脂でも中間温範囲の加熱を行つて樹脂硬化を促進した方が接着工程の回転を円滑にし、また接着性能上にもより確実な好結果を得られる場合が多い。また、ときとして、常温硬化性接着剤として市販されている接着剤の中にも中間温を採用しなければ十分な接着性能を期待できない接着剤もある。

ここに対象とするレゾルシノール樹脂接着剤は常温硬化性の形式に属するが、上記のような観点からアカマツ挽板にたいするレゾルシノール樹脂接着剤の硬化条件を検討してみた。

実際の集成材製造工程において保温あるいは加熱する場合、湿度を調節しながら比較的簡単に加熱する温度は $40 \sim 50^\circ\text{C}$ 未満である。この程度であれば普通の蒸気圧で簡単なスチーム処理をすることによつて達せられるが、 60°C 以上になると装置の運転調整がきわめて複雑になるので、加熱の限界温度を 40°C にきめ、工程上の問題をあわせ考慮し、次の4条件について試験した。

A. 圧縮後、温度約 25°C 、関係湿度約 65% の室内に翌日まで放置してから、クランプを解除する。

B. 圧縮後、温度約 40°C 、関係湿度約 70% の室内に入れ翌日まで加熱処理を継続してからクランプを解除する。

C. 圧縮後、温度約 40°C 、関係湿度約 70% の室内に入れ、約3時間加熱し、その後翌日まで常温で放冷してからクランプを解除する。

D. 圧縮後、温度約 40°C 、関係湿度約 70% の室内に入れ、3時間加熱した後に直ちにクランプを解除する。

このときの接着条件および接着試験結果を Table 2.16. に示した。

この結果から木部破断率の判定基準に合格した百分率 (%) および条件Aにたいする剪断接着力の強度比 (%) を求めると Table 2.17. のとおりであり、剝離率はいずれも接着きわめて良好であつた。

Table 2.16. 硬化条件別の接着試験結果
Gluing conditions and results on gluing faculty tests
(for investigating curing condition)

挽板の性状 Conditions of laminations	硬化条件 Curing condition		*A	B	C	D
	測定時比重 Specific gravity	木目	0.47±0.02 (18枚)	同	同	同
	含水率 Moisture content	平衡 (%) Equivalent 水分計 (%) M. meter	**F = 4枚 V = 4枚 H = 10枚 12~13	同	同	同
	接着時の温度 Temp. at the time of gluing	Dry temp. (°C)	26.0	29.5	27.0	27.0
	塗付量 (g/ft ²) Spread of glue	堆積時間 (min) Assembly time (closed)	24	35	25	25
接着条件 Gluing conditions	圧縮圧力 (kg/cm ²) Gluing pressure		9	9	9	9
	剪断力 (kg/cm ²) Shear strength		95±10	100±11	95±8	95±8
	木部破断率 (%) Wood failure		92 (70~100)	97 (80~100)	92 (50~100)	95 (80~100)
	含水率 (%) Moisture content		12.8±0.7	11.6±0.7	12.2±0.6	12.7±0.7
	測定個数 Number of testing		18	18	18	18
接着性能試験 Results on gluing faculty tests	試験時温度 Temp.	Dry temp. (°C)	27.0	26.5	32.0	32.0
		Wet temp. (°C)	24.5	22.0	28.0	28.0
	剝離率 (%) Percent. of delam.	比重 Sp.	1.4 (0~5)	0.8 (0~3)	0.6 (0~2)	1.1 (0~6)
	試験片の比重 Specific gravity	含水率 (%) Moisture content	0.48±0.02	0.48±0.02	0.48±0.02	0.48±0.02
	測定数 Number of testing		9	9	9	9

*A = Clamping over night at the condition (Dry temp. 25°C, R. H. 65%)

B = Clamping over night at the condition (Dry temp. 40°C, R. H. 70%)

C = Clamping over night at room temp. after heating at the condition (Dry temp. 40°C, R. H. 70%)

D = Clamping for three hour at the condition (Dry temp. 40°C, R. H. 70%)

**F = 柎目 Flat grain, V = 柎目 Vertical grain, H = 追柎 Half vertical grain

Table 2.17. 硬化条件による比較値
Effect of curing condition on wood failure and strength ratio

条件 Curing condition	木部破断率の判定基準に 合格した百分率 Wood failure (%)	強度比 Strength ratio (%)
A	94	100
B	100	105
C	94	100
D	100	100

これから A, B, C, D の各条件のうち、いずれでも十分満足すべき接着性能の得られることが明らかになった。したがって、実際の作業工程ならびに工場（応用研究室）内温度 25°C 以下でも適正硬化が行いえるように、ボイラーその他の付帯条件をもあわせて考慮して、B の硬化条件をとることとした。

以上の結果にもとづき、製造基準の案を要約してみると Table 2.18. のごとくである。

Table 2.18. レゾルシノール樹脂のアカマツにたいする標準接着条件
Standard gluing conditions of Akamatsu laminated wood glued with resorcinol resin

	塗付量 Spread of glue (g/ft ²)	堆積時間 Assembly time at °C (min.)	圧縮圧力 Gluing pressure (kg/cm ²)	硬化条件 Curing conditions
実験室的試験における許容範囲 Allowable range at the time of laboratory tests	10~40	0~60	2.5~20.0	常温硬化 Room temp. setting
標準接着条件 Standard gluing conditions	20~30	0~60	5.0~15.0	常温硬化 Room temp. setting

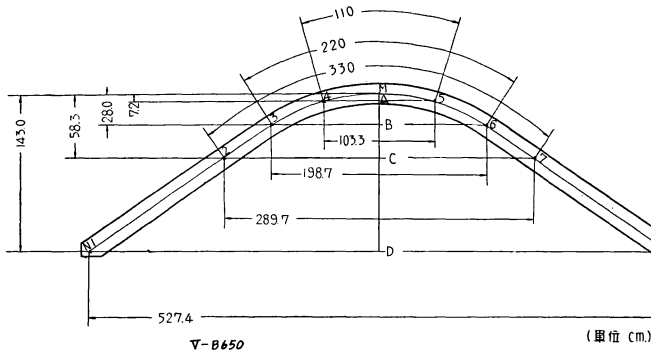
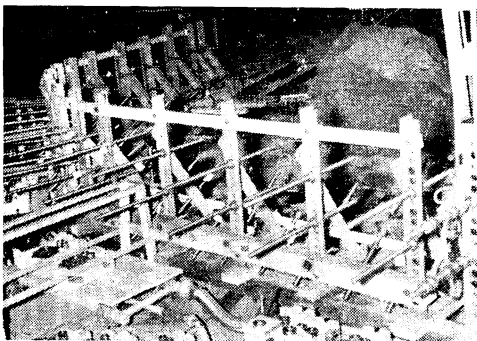


Fig. 2.6. 彎曲集成材の形状と寸法
Form and dimensions of test glued laminated curved specimen

を補うために、その凸面側にそれぞれ所定枚数の挽板を第2次、第3次接着によつて、Fig. 2.13. に示す形状のものを積層接着した。

(b) 彎曲集成材製造装置



Phot. 2.8. 集成材曲梁圧縮装置
Equipments used for manufacturing curved laminated beams

2.4.2. 彎曲集成材の接着

加工

(a) 彎曲集成材の形状・寸法

この断面は幅 10 cm, 高さ 20 cm (ラミナ接着層 13 枚), その形状は Fig. 2.6. に示すごとく, 彎曲部の曲率半径は 180 cm で, その両端は直線をなしており, その直線部の延長交叉角度はほぼ 110° である。なお, 彎曲部の強度

この試験に用いた製造装置のうちとくに治具などの特殊なものについてのみ記しておく。

(i) 治具の構築

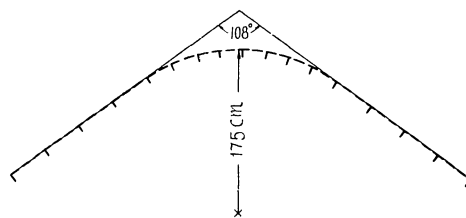


Fig. 2.7. 治具の設置位置
Setting of jig

応用研究室の床面に埋設されたレールに、アカマツ 4 寸角材をボルトにて固定し、この上に Phot. 2. 8. のように鋼製 L 型支柱を立て、彎曲部が所定曲率半径と所定こう配になるように、製造時の「跳ねもどり」を推定して Fig. 2. 7. に示す位置に治具の構築を行った。

(ii) 彎曲具

接着剤を塗付した挽板を重ね、これらを治具に沿って彎曲させるには挽板を 2～3 枚ずつ人力によって行った。この場合、Phot. 2. 9. に示すような止め金具を治具の両端部に配置してあらかじめ積層挽板を治具に仮止めしてからクランプにより正規の圧力を加えて完全に治具に密着させた。

(iii) クランプおよびクランプ間隔

接着圧縮に使用したクランプは林試研報第 101 号, p. 135 に示すネジクランプである。これらを Phot. 2. 10. のとおり鋼鉄製 L 型支柱に固定し、圧縮盤にはブナ集成角材と広面積鋼製角型座金を使用した。なお圧縮圧力の調整にはトルクレンチを用い、当て板は 15 mm 厚ブナ長尺挽板にレゾルシノール系合成樹脂塗装を施して用いた。

接着圧縮時のクランプ間隔は、予備試験の経験により彎曲部を密にし、1 クランプのうけもつ圧縮力を直線部分の 1/2 として圧力分散の均等化をはかった。

(iv) 加熱装置

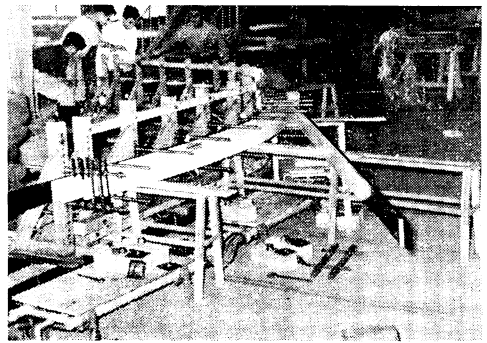
レゾルシノール樹脂接着剤の硬化条件は中間温加熱を行うこととし、Phot. 2. 11. に示す肋骨状のパイプヒーターをフレキシブルパイプにて連結し、同ヒーターの中央部に別系列のスチーミングパイプを配置して加熱時の湿度を調整することとした。なお加熱中の保温は、断熱材料を入れた蒲団状のマットを治具の上に被覆して行った。

(c) 等断面彎曲集成材の接着

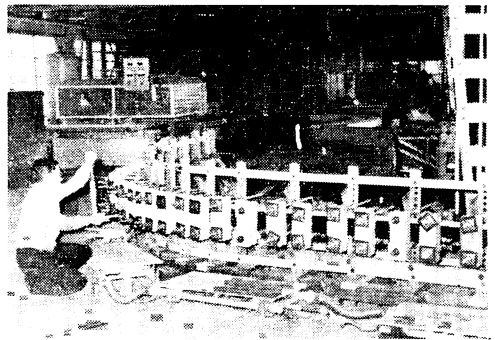
(i) 接着操作

使用した接着剤および接着条件上の基準等はすべて、予備試験の結果によつたが、この場合の接着経歴を明らかにするため次の測定を行った。

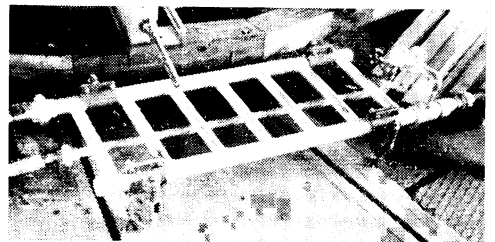
a. 接着時の挽板含水率 シーメンス含水率計を



Phot. 2. 9. ラミナを治具に沿わせる方法
Method for pulling the laminations to the shape of the jig



Phot. 2. 10. トルクレンチによる圧縮圧力の調整
Gluing-pressure-controlling with a torque wrench



Phot. 2. 11. 集成材加熱用パイプヒーター
Pipe heater for laminated assemblies

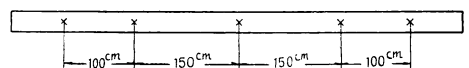


Fig. 2. 8. ラミナの含水率測定位置
Measuring points of moisture content of each laminae

使用し、各ラミナについて Fig. 2.8. に示す位置の含水率を測定した。

b. 接着時の温湿度 接着時の温湿度を測定した。

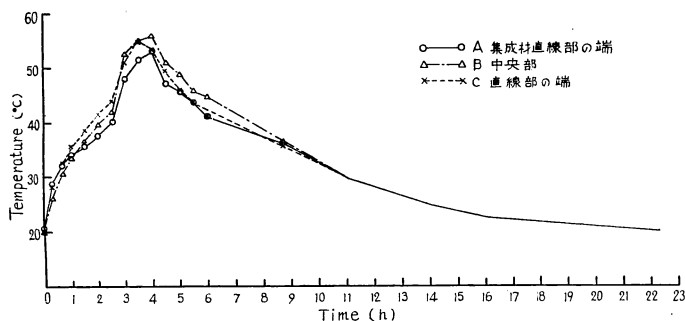


Fig. 2.9. キャンパス内温度ムラ
Temperature at (A), (B), (C) within canvas

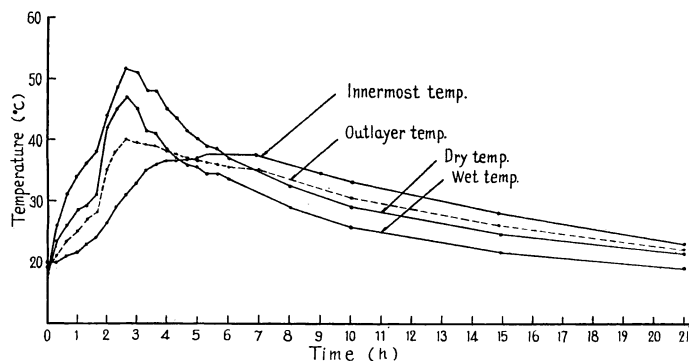


Fig. 2.10. 集成材の接着硬化条件 (No. V)
Curing condition of glued laminated wood (No. V)

c. 塗付量 塗付方法は
両面塗付とし、長さ約2尺の
テスト用挽板について、ドク
ターロールの搾りをきめてか
ら、ラミナの接着剤塗付作業
を行い、彎曲集成材1本分の
全ラミナについて、塗付前後
の重量差を測定計算し、単位
面積当りの塗付量を算出し
た。

d. 堆積時間 接着剤塗付開始より、積層物に所定圧力をかけ終るまでの時間を測定した。

e. 圧縮圧力 スパーナ
ーを用いてネジクランプを締め、積層のラミナを治具にほぼ固定してから、中央部のクランプを始点とし、それぞれ左右両外側に向つて、クラン

Table 2.19. 集成材曲梁の接着加工条件
Gluing conditions of curved laminated beams

[illegible]

(d) 補強部の接着

彎曲部の補強接着については、各種の方法が考えられ、そのレポートもいくつか見受けられる。この試験では、彎曲集成材の弾性試験を行う手順にしたがつて接着工程をすすめた関係で、その内容は一般的方法とは称しがたいが、この試験で行った順序を記すと以下のとおりである。

(i) 被接着材面のサンディング仕上

等断面の彎曲集成材は側面削加工をし、弾性試験を行つたので、測定具をはりつけたパラフィンやその他のよごれを生じ、そのままの状態では接着に不適当な状況を呈しているのて、接着に先だつて、サンドペーパー仕上げを行つた。このため、あらかじめサンディング処理が接着性能におよぼす影響について簡単な予備試験を試みた。

この結果、接着される面にサンダー処理を行うには、まず粒度の荒い #60 ペーパーでよくサンディングし、次に粒度の細かい #150 ペーパーで磨き仕上げを行えばよいことを見い出したので、このように実施した。

(ii) 2次接着

2次接着操作では彎曲部に Fig. 2.13. に示すように挽板3枚で高さ約 45 mm の補助部材を接着した (Phot. 2.12.)。

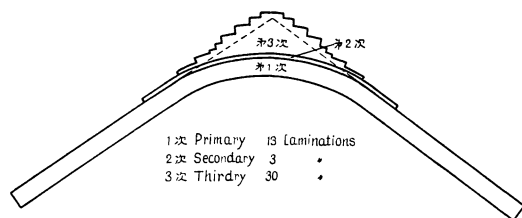
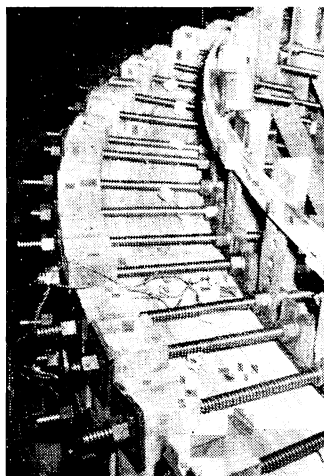


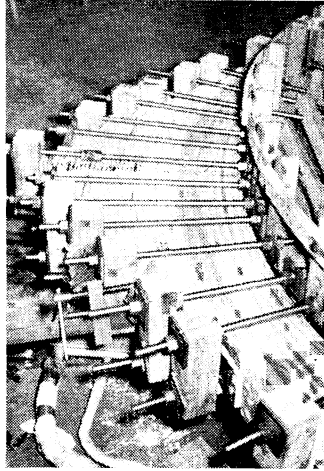
Fig. 2.13. 2次および3次の接着
Secondary and thirdry laminating



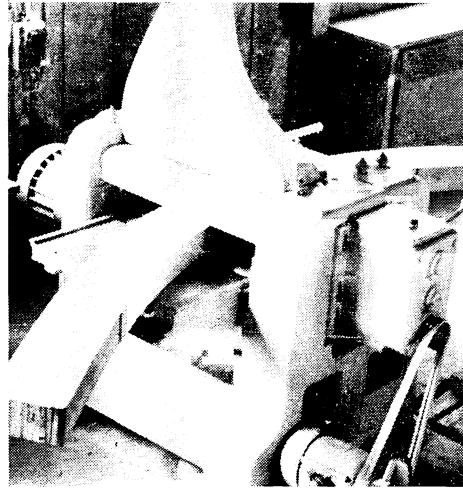
Phot. 2.12. 曲梁の2次補強接着
Secondary fortified laminating

Table 2.21. 補強接着の条件
gluing conditions of secondary laminating

	2 次 接 着		3 次接着
	V	VI	V
挽板の含水率 (水分計) Moisture content of strips (M. meter)	9.2±0.7 (9 pt.)	11.7±1.7 (9 pt.)	8.8±0.9 (35 pt.)
接 着 時 の 温 度 Temp. at the time of gluing			
Dry temp.	18.5	17.0	14.0
Wet temp.	14.5	14.0	10.5
塗 付 量 (g/ft²) Spread of glue	29	25	38
堆 積 時 間 (min) Assembly time	21	31	55
圧 縮 圧 力 (kg/cm²) Gluing pressure	10~20	10~20	10~20
硬 化 条 件 Curing conditions	1 次接着に準じ中間温硬化 Intermediate temp. setting		中間温硬化 do.



Phot. 2.13. 曲梁の3次補強接着
Thirdry fortified laminating



Phot. 2.14. プレーナーにて側面仕上げの状況
View of planing operation on the side
surface of laminated wood with planer

このときの接着条件はすべて1次接着に準じ Table 2.21. のとおりである。

(iii) 3次接着操作

2次接着をした集成材の上に、さらに挽板 30 枚で高さ 450 mm の補強を行つた。このときの接着操作は Phot. 2.13. に示すとおりで、接着条件はすべて、1次および2次接着に準じ Table 2.21. のとおり行つた。

(e) 彎曲集成材の側面仕上げ加工

集成材側面における個々のラミナの凹凸を除くため、24 in プレーナー（前出）を使用し面仕上げを行つた（Phot. 2.14. 参照）。

作業要領は下記のとおりである。

1) 送り 3.5 m/min, 1回の削り代 0.5~1.5 mm, 予定削り厚さ 100 mm。

2) 機械の両側には補助送りテーブルを設けて切削中における材の傾斜を防ぎ、また両側におのおの3人を配置し材の送りが彎曲部に達したときは、材の一方にかたよつた力を与えぬように注意しながら徐々に材を手廻しした。

Table 2.22. 集成材の加工精度
Process-uniformity of laminated woods

	B	H	R
	<i>mm</i>	<i>mm</i>	<i>°</i>
測定値の範囲 Range	98.65~101.60	194.25~196.75	89.7~90.2
平均値 Ave.	100.12	195.36	90.0
標準偏差 S.D.	±0.39	±0.42	±0.67
偏位係数 C.V.	0.39	0.22	%
測定数 Measuring points	158	149	316

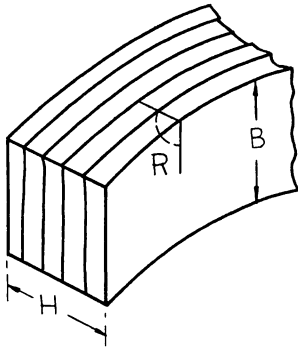


Fig. 2.14.

3) 機械の送りロールおよび材押え圧力をできるだけ少なくし、彎曲部の廻転切削が容易となるよう調整した。

切削後の集成材の加工精度は Table 2.22. のとおりである。これらの測定は、集成材の長さの中央を含む9等分断面について Fig. 2.14. における厚さ(H)および幅(B)をそれぞれの両側より、また4隅の直角度をノギス(0.05 mm 読み)および測角器(0.5° 読み)により行つた。B および R の精度はプレーナー加工の良否により、Hの精度は主として接着操作の良否により定まるものである。

3. 彎曲集成材性能試験

3.1. 接着性能試験

3.1.1. 試験方法

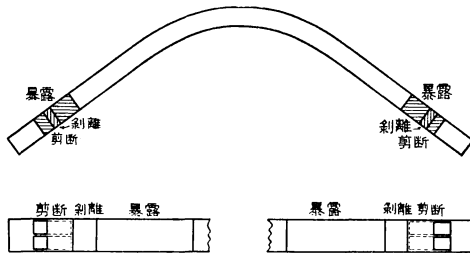


Fig. 3.1. 試験片採取位置
Cutting diagram of test specimens

作成した彎曲集成材の V, VI, VII および VIII たいし、それぞれ Fig. 3.1. に示した位置からブロック剪断試験片と接着耐久性試験片とをとり、すでに 2.4.1. (ii) でのべた方法によつて接着力と耐久性とを試験した。

3.1.2. 試験結果

これらの試験結果を Table 3.1. および Phot. 3.1.・3.2. (Plate 1) に示した。これらの結果から前と同じ方法で木部破断率と剪断力(集成材

Table 3.1. 集成材曲梁の接着試験結果
Gluing properties of curved laminated beams

Number of beams		V	VI	VII	VIII
接 着 性 能 試 験 Results on gluing faculty tests 剪断試験 Block shear test 剝離試験 Delamination test	剪断力 (kg/cm^2) Shear strength	107±16	107±16	109±15	109±15
	木部破断率 (%) Wood failure	93 (50~100)	92 (35~100)	94 (50~100)	91 (50~100)
	含水率 (%) Moisture content	13.5±0.8	13.5±0.7	12.8±0.7	12.8±0.9
	測定個数 Number of testing	48	48	48	48
	試験時温度 Temp.				
	Dry temp. (°C)	11.0	13.0	15.0	15.0
	Wet temp. (°C)	10.0	12.0	13.0	12.0
	剝離率 (%) Percent. of delam.	0, 1	0, 0	0, 1	1, 0
	比重 Sp. gravity	0.56, 0.56	0.53, 0.55	0.54, 0.54	0.56, 0.55
	試験片の比重 Specific gravity				
	含水率 (%) Moisture content	13.6, 13.1	13.6, 13.6	13.4, 13.1	13.2, 13.1

Table 3.2. 各ビームによる比較値
Wood failure and strength ratio of each beams

番 号 Number	木部破断率の判定基準に 合格した百分率 Wood failure (%)	剪断力強度比 Strength ratio (%)
ビーム Beam V	96	100
〃 VI	96	100
〃 VII	96	102
〃 VIII	85	102

Vを基準とする）とを判定すると Table 3.2. のごとくであり、剝離率はいずれも 1% 未満の値を示し、接着耐久力はきわめて優秀であつた。したがつてここで用いた接着条件はアカマツ材に対して適当なものであつたといふことができる。

またクランプをといたときのはねもどりにについては前述のように、これに関係する因子が多いために、理論的実験的に普遍的な資料を求めることはむずかしい。この試験においても、予備試験の結果から、およその見当をつけて、はねもどり後の曲率がちょうど所定寸度になるような現場操作を行つたが、その結果は Table 2.20. に示したとおりで、予想よりも小さかつた。したがつて、実際問題としては、それはど注意をする必要もないといえよう。

3.2. 強度性能試験

製作された各彎曲集成材について、それぞれ梁試験と柱試験における彎曲剛性および強度をしらべた。なお、参考として彎曲中央部の凸側に添板補強をほどこしたばあいの剛性と強度にあたえる影響についても検討した。

3.2.1. 試験方法

梁試験は Fig. 3.2-a, Phot. 3.3. (Plate 2) にしめすように、両端支持自由として水平反力のない状態でおこない、柱試験は Fig. 3.2-b, Phot. 3.4. (Plate 3) のように両端末をナイフ・エッジとして 1 方向回転自由なピン条件とした。

さらに、試験材が少数にかぎられているうえ、このうちの 4 本を 3 鉸節アーチ 2 連に組み立てる必要から、これらについては梁試験による剛性のみをしらべ、他は Table 3.3. のような試験順序をとつて、構造試験

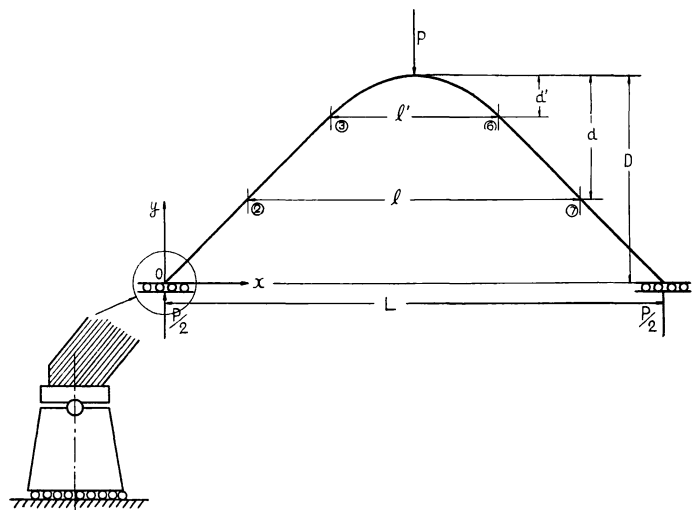


Fig. 3.2-a 梁試験方法
Method of bending test

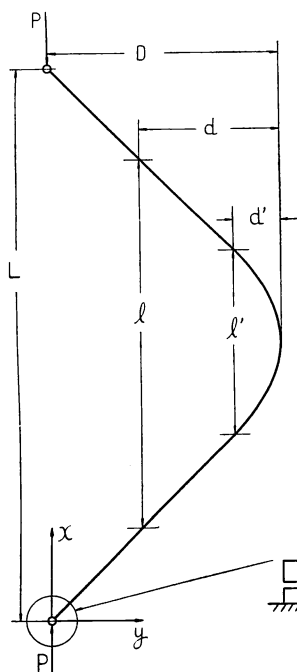


Fig. 3.2-b 柱試験方法
Method of end thrust test

で破損した 2 本以外のものについて梁試験および柱試験での剛性をしらべたうえ、このいずれか一方の試験で破壊せしめた。

いま、梁試験 = B ; 柱試験 = C とし、さらに、彎曲中央部の添板補強については Fig. 2.13. に示したように挽板 3 枚接着したものを“S 補強”，このうえにさらに 3 角形を補強したものを“D 補強”と呼ぶことにする。

なお、剛性試験では大よそ比例的な変形域で 5 回の繰返し（負荷⇄除荷）をおこない、破壊試験のばあいも少なくとも 3 回の繰返しののちに破壊にいたらしめた。

また、Table 3.3. の B または C のあとの数字は、これら彎曲集成材の凸側外皮の弧長を cm 単位であらわしたものである。

使用した試験機は強度研究室備付の 100 ton (20 ton) 能力木材強度試験機で、その Sub-capacity 20 ton を 2~10 ton に切り換えてつかつた。

(1) 撓の測定法

Fig. 3.2-a および Fig. 3.2-b の座標軸 x, y についてそれぞれ荷重方向と平行な方向の撓を垂直撓、これと直角方向の撓を水平撓と呼ぶことにする。なお、撓は試験体の各測点に関して Dial gage ($10^{-3}cm$) を用いて測定したが、破壊試験のさいは物差 ($10^{-1}cm$) を用いた。

(2) 歪ゲージによる断面内歪分布の測定

これは新興通信 K.K. 製の DS 6-R 型動歪測定装置を用い（6 素子，5 点切換器 2 台使用），歪ゲージは S 4（ゲージ長 60 mm；幅 0.5 mm；120 Ω ）で、各挽板の接着層に近接してハリツケた（Plate 4；Phot. 3.5.）。そのハリツケ位置は Fig. 3.3. のとおりである。

なお、この測定は断面に垂直な方向のセンイ歪と、平行方向の放射歪（Radial strain）に関しておこなわれたものである。

Table 3.3. 試験の進め方
Test-planning (elastic and strength)

L. C. B. No.	Test →					
	1	2	3	4	5	6
I	B 650 →	Three-hinged arch test			→ C 460	→ B 460*
II	B 650 →	} Breakdown				
III	B 650 →					
IV	B 650 →	}			→ C 460	→ B 460*
V	B 650 →	B 600 →	BS 600 →	BS 460 →	BD 460 →	CD 460*
VI	B 630 →	B 600 →	BS 600 →	BS 460 →	CS 460*	
VII	B 600 →	B 460 →	C 460*			
VIII	B 600 →	B 460 →	C 460*			
IX	B 320 →	C 320*				

*Strength test B = Bending test C = End-thrust test

3.2.2. 彎曲集成材の曲げ剛性に関する計算

この彎曲集成材は中央部が曲線で両端部分は直線になつてゐる。そこで、この全長に関する曲線を連続曲線とし、その中心線および撓み曲線が変形の前後を通じてともに正弦曲線であらわしうと仮定すれば、

部材の中心線に関する曲線式は、

$$y_0 = D \sin \frac{\pi x}{L} \quad \dots (3.1)$$

また、撓曲線式は、

$$y_1 = \delta = a \sin \frac{\pi x}{L} \quad \dots (3.2)$$

いま、 V = 変形のエネルギー； ρ = 曲率半径； E = ヤング係数； I = 断面2次モーメント； M = 外力のモーメント； δ = 梁試験の垂直撓または柱試験の水平撓； λ = 梁試験の水平撓または柱試験の垂直撓とすると、つぎの諸関係が成立する。

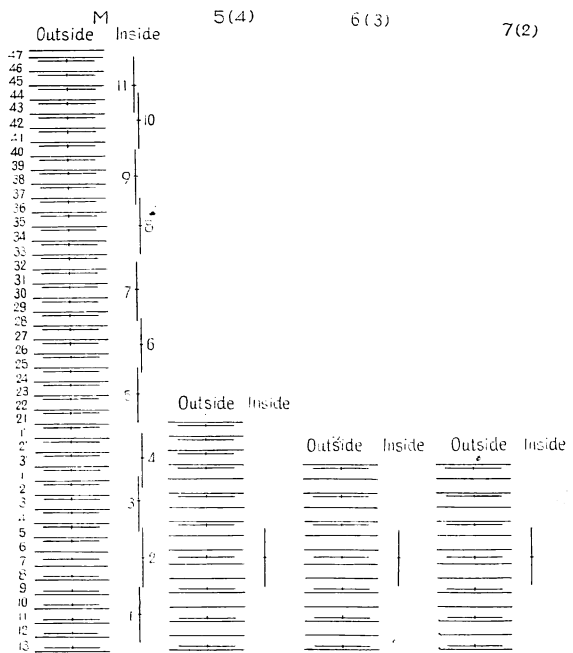


Fig. 3.3. ストレンゲージの貼付け方
Location of strain gages

$$V = \frac{EI}{2} \int_0^L \left(\frac{d^2 y}{dx^2} \right)^2 dx \quad \dots (3.3)$$

$$\lambda = \pm (\lambda_1 - \lambda_0) \quad \dots (3.4)$$

ただし、正号は梁試験、負号は柱試験

$$\lambda_0 = \frac{1}{2} \int_0^L \left(\frac{dy}{dx} \right)^2 dx \quad \dots (3.5)$$

$$\lambda_1 = \frac{1}{2} \int_0^L \left[\frac{d(y_0 \pm y_1)}{dx} \right]^2 dx \quad \dots (3.6)$$

ただし、正号は柱試験、負号は梁試験、これらに、エネルギー法を適用して、

dV = 変形による全エネルギー増分

$$= \frac{\partial V}{\partial a} \cdot da = d\delta \cdot P + d\lambda \cdot T \quad \dots (3.7)$$

P = 梁試験における垂直撓 δ を直接生ぜしめる荷重

T = 柱試験における垂直撓を直接生ぜしめる荷重

ここで、(2.2.7) 式は梁・柱両試験において、水平荷重と垂直荷重とが同時に作用したばあいを一般的にしめたものである。したがつて、本試験のばあい、梁試験では右辺第1項のみであり、また柱試験では同第2項のみとなる。つぎに、(3.7) 式により、撓曲線式の定値 a がきめられる。

$$\text{ただし、} \quad d\delta = \frac{\partial \delta}{\partial a} \cdot da; \quad d\lambda = -\frac{\partial \lambda}{\partial a} \cdot da$$

いま、梁試験において、原点にとつた1つの支点から距離Cのところの荷重Pによつて生ずる撓に関し、そのエネルギー増分の平衡に関する一般条件として次式があたえられる。

$$dV = \frac{EI\pi^4}{2L^3} a \cdot da = P \cdot \sin \frac{\pi c}{L} da + T \cdot \frac{\pi^2}{2L} (a+D) da \quad \dots\dots\dots (3.8)$$

$$\therefore a = \frac{2PL^3 \sin \frac{\pi c}{L} + TD\pi^2 L^2}{EI\pi^4 - T\pi^2 L^2} \quad \dots\dots\dots (3.9)$$

この試験では、 $c=L/2$ であるから、

$$a = \frac{2PL^3 + TD\pi^2 L^2}{EI\pi^4 - T\pi^2 L^2} \quad \dots\dots\dots (3.10)$$

また、梁試験では、 $T=0$ 、

$$\therefore a = \frac{2PL^3}{EI\pi^4} \quad \dots\dots\dots (3.11)$$

また、柱試験では、 $P=0$ 、

$$\therefore a = \frac{TDL^2}{EI\pi^2 - TL^2} \quad \dots\dots\dots (3.12)$$

以上の諸式を用いて、両試験における水平および垂直撓をもとめると、

(1) 梁試験における撓式

A) 水平撓 $=\delta_x=\lambda=\Delta x$

$$\delta_x = \left\{ \left(1 - \frac{2x}{L} \right) - \frac{1}{\pi} \sin \frac{2\pi x}{L} \right\} \cdot \Delta x_{Lr} \quad \dots\dots\dots (3.13)$$

$$\Delta x_{Lr} = \frac{PL^3}{EI\pi^2} \left(D - \frac{PL^3}{EI\pi^4} \right) \quad \dots\dots\dots (3.14)$$

$$\left. \begin{aligned} \Delta x_{Lr} &= \left\{ -\frac{l}{L} - \frac{1}{\pi} \sin \frac{\pi l}{L} \right\} \cdot \Delta x_{Lr} \\ x &= \frac{1}{2}(L-l) \text{ を代入} \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots (3.15)$$

B) 垂直撓 $=\delta_y=\Delta y$

$$\delta_y = \Delta y_{Dr} \sin \frac{\pi x}{L} \quad \dots\dots\dots (3.16)$$

$$\Delta y_{Dr} = \frac{2PL^3}{EI\pi^4} \quad \dots\dots\dots (3.17)$$

$$\left. \begin{aligned} \Delta y_{Dr} &= \Delta y_{Dr} \cdot \sin \frac{\pi l_0}{L} \\ \text{ただし, } 2l_0 &= L-l; x=l_0 \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots (3.18)$$

(2) 柱試験における撓式

A) 垂直撓 $=\delta_x=\lambda=\Delta x$

$$\delta_x = \left\{ \left(1 - \frac{2x}{L} \right) - \frac{1}{\pi} \sin \frac{2\pi x}{L} \right\} \Delta x_{Lr} \quad \dots\dots\dots (3.19)$$

$$\left. \begin{aligned} \Delta x_{Lr} &= \frac{PD^2\pi^2 L(2EI\pi^2 - PL^2)}{4(EI\pi^2 - PL^2)^2} \\ \text{ただし, } T &\text{を } P \text{ でおきかえたもの} \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots (3.20)$$

$$\left. \begin{aligned} \Delta x_{lr} &= \left\{ \frac{l}{L} - \frac{1}{\pi} \sin \frac{\pi l}{L} \right\} \Delta x_{Lr} \\ x &= \frac{1}{2}(L-l) \text{ として} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (3.21)$$

B) 水平撓 $= \delta_y = \Delta y$

$$\delta_y = \Delta y_{Dr} \sin \frac{\pi x}{L} \dots\dots\dots (3.22)$$

$$\Delta y_{Dr} = \frac{PDL^2}{EI\pi^2 - PL^2} \dots\dots\dots (3.23)$$

$$\left. \begin{aligned} \Delta y_{dr} &= \Delta y_{Dr} \cdot \sin \frac{\pi l_0}{L} \\ (2l_0 &= L-l) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (3.24)$$

$$\Delta y_{dr'} = \Delta y_{Dr} \left(1 - \sin \frac{\pi l_0}{L} \right) \dots\dots\dots (3.24a)$$

3.2.3. 柱試験（曲率を増大する方向の曲げモーメントをうけるばあい）における破壊荷重と最大曲げモーメントの計算

(1) 製造時において挽板に生ずる初歪による最大曲げ応力度の低減

いま, σ_b' = 彎曲材の曲げ破壊係数

σ_b = 原料挽板の平均曲げ破壊係数

t = 挽板 1 枚の厚さ

n = 同積層数

ρ = 彎曲材の彎曲中央部凹側外皮挽板の曲率半径

として,

$$\sigma_b' = (1 - \alpha) \sigma_b \dots\dots\dots (3.25)$$

ここに, α はその低減度をあらわす。

i) アメリカおよびカナダで使用している低減度の算出式⁹⁾¹¹⁾

これは, 彎曲集成材の断面中央挽板の曲率によつてその挽板にあたえられた初歪の大きさによる低減度をしめした実験式である。

$$\alpha = 2000 \left(-\frac{t}{\rho_e} \right)^2 \dots\dots\dots (3.26)$$

ここに, ρ_e = 部材断面中央挽板の曲率半径

$$= \rho + \frac{t}{2}(n-1)$$

この式のもつている問題点は, 実験的事実としてはややデータが不足であるとみられること（文献11の10～20 頁, 49～52 頁）, 樹種と材質による差異を全くみとめていないこと, および初歪の影響に関する限界条件をしめしていないことなどがあげられる。

したがつて, これらの点を実験的に解析究明することが, その低減度を推定するうえで欠くことのできないものであるとおもわれる。

ii) 低減度に関する 1 つの仮説（沢田）

最大曲率を有する挽板の初歪がその材料の最大比例短縮度(ϵ_{oc})の $1/2$ に達するまでは低減度 $=0$ で、その後、その挽板の初歪が増大するにしたがつて低減度は直線的に増大し、かつ、最小曲率の挽板の初歪がその挽板の平均破壊歪に達して低減度 $=1$ となる。

この仮説の根拠となる点は、樹種と材質によつて低減度が異なるべきであること、挽板に生じた初歪が ϵ_{oc} の $1/2$ 以下では材料の力学的性質がほとんどそこなわれないであろうと考えたこと、さらに、この初歪をこえてからの低減度を直線的とみなしたのは、おそらく実さいのばあいよりも過大な低減度となるとおもわれるが、その方が設計上安全であると考えたことによるものであり、単純ではあるが、一応初歪の限界条件もふくめて考えた。だが、正しくは製造過程における応力緩和、内応力によるセーイのクリープ歪など 2 次的な条件の変異が予想されるので、十分な実験的検討を必要とする。

ところで、この仮定によつて低減度の算出式をもとめると、

$$\left. \begin{aligned} \alpha &= \frac{\beta}{2-\beta} \left\{ \frac{1}{\epsilon_{oc}} \left(\frac{t}{\rho} \right) - 1 \right\} \\ &= \frac{\beta}{2-\beta} (2\gamma - 1) \\ \beta &= \frac{4}{(r+1)^2} - (n-1) \left(\frac{t}{\rho_0} \right) \\ &= \frac{4}{(r+1)^2} - 2(n-1)\epsilon_{oc} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (3.27)$$

$\gamma = \rho_0/\rho$; ρ_0 = 曲げにおける平均セーイ歪が ϵ_{oc} となるときの曲率半径

$r = \sigma_t/\sigma_c$; σ_t = 引張強度; σ_c = 圧縮強度; $\epsilon_{oc} = \sigma_c/E$

つきに、この両式による低減度 α の計算例をしめす。

まず、使用挽板の基礎材質と条件についてはこれまでにのべた結果から、

アカマツの気乾材; $t=1.5\text{ cm}$; $n=13$; $\rho_c=189.75\text{ cm}$; $\rho=180.75\text{ cm}$; $\rho_0=214\text{ cm}$; $\epsilon_{oc}=0.0037$;

Table 3.4. 梁試験における
Comparisons of observed and calculated

T. L. No.	Vertical deflection Δy (per load $P=100\text{ kg}$)								
	Δy_D 10^{-3} cm	Δy_{Dr} 10^{-3} cm	$\frac{\Delta y_D}{\Delta y_{Dr}}$	Δy_d 10^{-3} cm	Δy_{dr} 10^{-3} cm	$\frac{\Delta y_d}{\Delta y_{dr}}$	$\Delta y_{d'}$ 10^{-3} cm	$\Delta y_{d'r}$ 10^{-3} cm	$\frac{\Delta y_{d'}}{\Delta y_{d'r}}$
I-B 650	406	390	1.04	141	137	1.03			
II-B 650	428	432	0.99	148	151	0.98			
III-B 650	420	430	0.98	145	150	0.97			
IV-B 650	442	450	0.98	153	157	0.97			
V-B 650	438	432	1.01	143	151	0.95			
VI-B 630	363	370	0.98	140	137	1.02			
V-B 600	344	340	1.01	126	138	0.91			
VI-B 600	330	320	1.03	124	129	0.96			
VII-B 600	334	336	0.99	126	135	0.93			
VIII-B 600	329	318	1.03	127	128	0.99			
I-B 460	141	139	1.01	92	90	1.02	50	46	1.09
IV-B 460	151	158	0.96	100	103	0.97	53	52	1.02
VII-B 460	146	150	0.97	89	92	0.97			
VIII-B 460	146	142	1.03	96	88	1.09			
IX-B 320	71	77	0.92	44	40	1.10			
Mean $\pm \Delta\%$			0.99 3.2			0.99 5.2			1.06

$$\Delta y_{dr} = \Delta y_D \left(1 - \sin \frac{\pi l_2'}{L} \right); \quad l_2' = \frac{1}{2} (L - l_2); \quad \Delta y_{d'r} = \Delta y_{dr} \left(1 - \sin \frac{\pi l_3'}{L} \right); \quad l_3' = \frac{1}{2} (L - l_3)$$

$$r = 2.7;$$

$$(3.26) \text{ 式から} \quad \alpha \doteq 0.125$$

$$(3.27) \text{ 式から} \quad \alpha \doteq 0.154$$

をうる。

(2) 破壊荷重および最大曲げモーメントの計算推定 このばあい荷重によつて水平撓が生じ、曲げモーメントはしだいに大きくなつてゆくが、その荷重と水平撓とが破壊点まで直線的であると仮定すれば、次式によつて破壊荷重を計算することができる。なお、この仮定は、この柱条件では当然軸圧縮力が作用することになるが、それを省略して考えるためにとられたものである。ただし、この条件仮定は本試験のようになら元彎曲の大きなばあいにも適用されるものとする。

$$P_{Mr} = \sigma_b' W / y \quad \dots\dots\dots (3.28)$$

ただし、

P_{Mr} = 破壊荷重の計算値； W = 断面係数； $y = D + \Delta y_{Dr}$ ； $\sigma_b' = (1 - \alpha)\sigma_b$ で計算曲げ破壊係数；

D = 元彎曲の矢高； Δy_{Dr} = 破壊荷重の計算値に対応する水平撓

として、

$$P_{Mr} = \frac{1}{\frac{D}{\sigma_b' \cdot W} + \frac{L^2}{EI\pi^2}} \quad \dots\dots\dots (3.29)$$

なお、このばあい、最大曲げモーメントの計算値を元彎曲の矢高に関してもとめると、

$$M_{mr} = P_{Mr} \times D \quad \dots\dots\dots (3.30)$$

3.2.4. 試験結果

(a) 剛性試験

撓の実測値と計算値の比較
deflections in bending tests

Horizontal deflection Δx (per load $P=100 \text{ kg}$)								
Δx_L 10^{-3} cm	Δx_{Lr} 10^{-3} cm	$\frac{\Delta x_L}{\Delta x_{Lr}}$	Δx_I 10^{-3} cm	Δx_{Ir} 10^{-3} cm	$\frac{\Delta x_I}{\Delta x_{Ir}}$	$\Delta x_I'$ 10^{-3} cm	$\Delta x_{Ir}'$ 10^{-3} cm	$\frac{\Delta x_I'}{\Delta x_{Ir}'}$
504	522	0.97	158	122	1.29			
540	577	0.94	176	134	1.31			
532	573	0.93	172	134	1.28			
550	600	0.92	170	139	1.22			
544	576	0.95	156	135	1.15			
464	490	0.95	140	124	1.13			
418	442	0.95	144	127	1.13			
406	418	0.97	148	120	1.23			
406	438	0.93	140	126	1.11			
402	414	0.97	156	120	1.30			
157	162	0.97	95	92	1.03	36	35	1.03
170	186	0.91	100	106	0.94	37	35	1.06
164	175	0.94	100	99	1.01			
166	166	1.00	104	95	1.09			
72	77	0.94	34	32	1.06			
		0.95			1.15			1.05
		2.4			9.7			

Table 3.5. 柱試験における撓の実測値と計算値の比較
Comparisons of observed and calculated deflections in end thrust tests

T. L. No.	Horizontal deflection Δy (per load $P=100kg$)												
	Δy_D	Δy_s	Δy_{Ds}	Δy_{Dr}	Δy_D	Δy_s	Δy_{Ds}	Δy_d	Δy_{dr}	$\frac{\Delta y_d}{\Delta y_{dr}}$	$\Delta y_{d'}$	$\Delta y_{d'r}$	$\frac{\Delta y_{d'}}{\Delta y_{d'r}}$
	$10^{-3}cm$	$10^{-3}cm$	$10^{-3}cm$	$10^{-3}cm$	Δy_{Dr}	Δy_{Dr}	Δy_{Dr}	$10^{-3}cm$	$10^{-3}cm$	Δy_{dr}	$10^{-3}cm$	$10^{-3}cm$	$\Delta y_{d'r}$
I-C 460	190			192	0.99			79	84	0.94	134	138	0.97
IV-C 460	207			220	0.94			85	96	0.89	143	158	0.91
VII-C 460	201	205	203	207	0.97	0.99	0.98	93	90	1.03			
VIII-C 460	205	204	204	196	1.05	1.04	1.04	94	86	1.09			
IX-C 320	88			95	0.93			61	54	1.13			
Mean					0.98	1.02	1.01			1.02			0.94
$\pm \Delta\%$					4.4					8.8			

T. L. No.	Vertical deflection Δx (per load $P=100kg$)												
	Δx_L	Δx_s	Δx_{Ls}	Δx_{Lr}	Δx_L	Δx_s	Δx_{Ls}	Δx_l	Δx_{lr}	$\frac{\Delta x_l}{\Delta x_{lr}}$	$\Delta x_{l'}$	$\Delta x_{l'r}$	$\frac{\Delta x_{l'}}{\Delta x_{l'r}}$
	$10^{-3}cm$	$10^{-3}cm$	$10^{-3}cm$	$10^{-3}cm$	Δx_{Lr}	Δx_{Lr}	Δx_{Lr}	$10^{-3}cm$	$10^{-3}cm$	Δx_{lr}	$10^{-3}cm$	$10^{-3}cm$	$\Delta x_{l'r}$
I-C 460	225			206	1.09			117	96	1.22	40	36	1.11
IV-C 460	222			237	0.94			125	110	1.14	45	41	1.10
VII-C 460	222	210	216	222	1.00	0.95	0.97	124	103	1.20			
VIII-C 460	228	220	224	211	1.08	1.04	1.06	127	98	1.30			
IX-C 320	86			86	1.00			33	27	1.22			
Mean					1.02	0.99	1.02			1.22			1.11
$\pm \Delta\%$					5.5					4.1			

Table 3.6. 曲げモーメント 100 kgm 当りの撓における実測値と計算値
Observed and calculated deflection per 100 kgm bending moment

	T. L. No.	Δy_d	Δy_{dr}	$\frac{\Delta y_d}{\Delta y_{dr}}$	Δx_l	Δx_{lr}	$\frac{\Delta x_l}{\Delta x_{lr}}$	C/B			
		$10^{-3}cm$	$10^{-3}cm$	Δy_{dr}	$10^{-3}cm$	$10^{-3}cm$	Δx_{lr}	Δy_d	Δy_{dr}	Δx_l	Δx_{lr}
Static bending	I-B 650	107	104	1.03	120	93	1.29				
	II-B 650	112	114	0.98	133	102	1.30				
	III-B 650	110	114	0.97	130	102	1.28				
	IV-B 650	116	119	0.97	129	105	1.23				
	V-B 650	108	114	0.95	118	102	1.16				
	VI-B 630	109	107	1.02	109	97	1.12				
	V-B 600	103	113	0.91	118	104	1.14				
	VI-B 600	102	106	0.96	121	99	1.22				
	VII-B 600	103	111	0.93	115	103	1.12				
	VIII-B 600	104	105	0.99	128	99	1.29				
	I-B 460	99	97	1.02	102	99	1.03				
	IV-B 460	107	110	0.97	107	114	0.94				
	VII-B 460	95	99	0.96	107	106	1.01				
	VIII-B 460	103	94	1.10	112	102	1.10				
End thrust	M	106	108	0.98	118	102	1.16	1.21	1.21	1.19	1.14
	$\pm \Delta\%$	4.7	5.6	4.7	7.9	4.6	9.5				
	I-C 460	126	123	1.03	133	109	1.22	1.27	1.27	1.30	1.10
	IV-C 460	139	141	0.99	142	125	1.14	1.30	1.28	1.33	1.10
	VII-C 460	123	133	0.92	141	117	1.21	1.30	1.34	1.32	1.10
	VIII-C 460	126	125	1.01	144	111	1.30	1.22	1.33	1.29	1.09
	M	128	131	0.98	140	116	1.22	1.27	1.30	1.31	1.10

$$\Delta y_{dr} = \Delta y_D \left(1 - \sin \frac{\pi l_2'}{L}\right); \quad l_2' = \frac{1}{2}(L - l_2); \quad \Delta x_{lr} = \left\{ \frac{l_2}{L} - \frac{1}{\pi} \sin \frac{\pi l_2}{L} \right\} \cdot \Delta x_{Lr}$$

M=Mean value; B=Bending test; C=End-thrust test

(i) 梁試験および柱試験における撓 等断面彎曲集成材の梁試験における中央集中荷重 $P=100\text{ kg}$ 当りの垂直および水平撓の実測値と計算値を Table 3.4. に、また、柱試験における撓の実測値と計算値を Table 3.5. にかかげた。

表中、添字 L および D のあるものは試験材の全長に関するものであり、 l, d, l', d' はそれぞれ彎曲中央部分の 2—7 点間と 3—6 点間の撓をあらわしている。また、添字 r のあるものが計算値である。

その結果は(実測値)/(計算値)の値でもわかるように、全体として計算値と実測値とはよく一致している。なお、2—7 区間 (l, d) の Δx が、やや実測値の方が大きくでているが、これには測定における誤りも若干ふくまれているものとおもわれる。この区間について Phot. 3.1., 3.2. (Plate 1) のような測定をしたのは I と IV の (460) 試験体のみで他のものは測点を 2 と 7 とで別個におこなつたために、かなり測定の精度を落したものとみられる。しかし、多少、この曲線形(試験体の)に対する正弦曲線仮定による必然的な相違もでているようである。

なお、モーメント 100 kgm 当りの撓としてしめたものが Table 3.6. である。これは、2—7 点における撓をあらわしている。

その彎曲材の中央 l 区間についての垂直、水平撓であつて、梁試験のばあいと柱試験のばあいとは相異なり、弧長 460 cm のものでは(柱試験の撓) $\div 1.3$ (梁試験の撓)とみられる。これに対し、弧長のながいものでは平均して、(柱試験撓) $\div 1.2$ (梁試験撓)となつてゐる。

また、梁試験では、その弧長の大小によらず、ほとんど同等な撓をしめしていることから、ここに用いた 8 本の試験材は剛性からみて、ほぼ同等のものであると判断することができるようである。

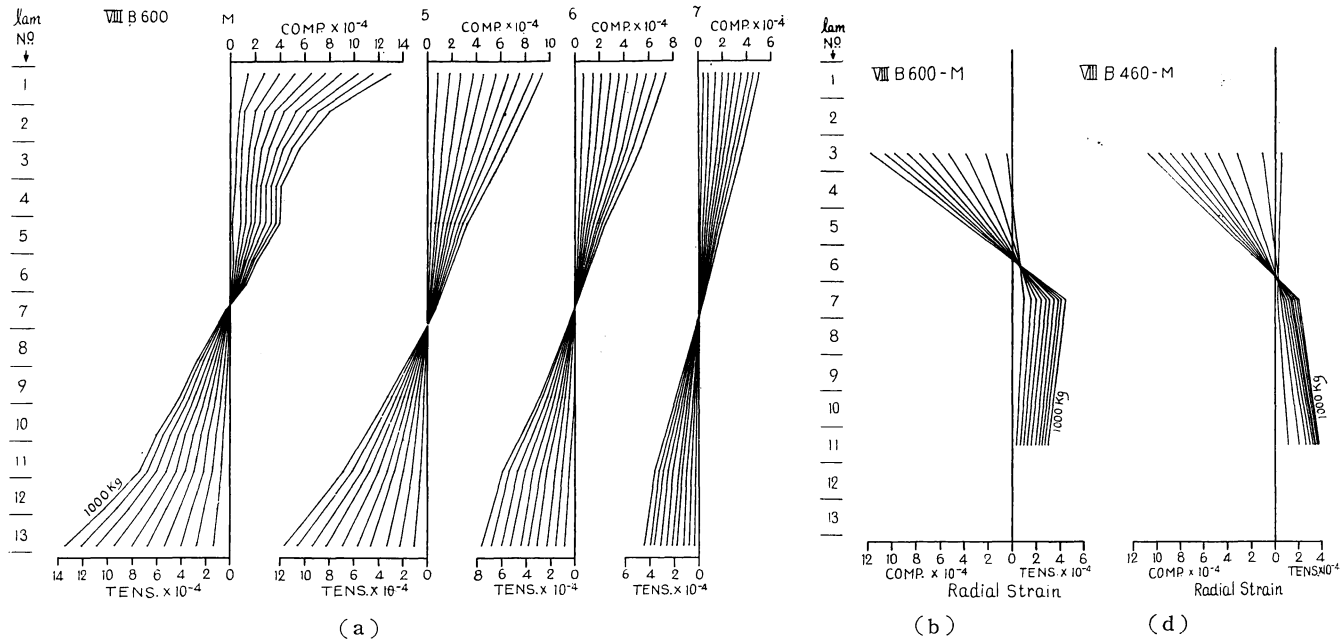
(ii) 梁試験および柱試験における横断面内のセニ歪分布と放射応力 (Radial stress)

弾性試験のばあいは、梁試験では 100 kg 刻みで $1,000\text{ kg}$ まで、柱試験では 200 kg 刻みで、 $2,000\text{ kg}$ まで荷重を加え、各荷重階に対応する各位置の歪ゲージの読みを測定した。柱による破壊試験のばあいは破壊荷重近くでは 100 kg 刻みで測定をおこなつたが、図には 200 kg 刻みの読みが記録されている。

補強しない梁および柱の横断面、すなわち、M, 5(4), 6(3), 7(2) におけるセニ歪の分布を Fig. 3.4., Fig. 3.5. の a および Fig. 3.6. の a, b にしめす。どのばあいもセニ歪の変化はほぼ直線的であるが、梁試験の荷重点直下にあたる M 点の圧縮側では、やや不規則なばあいがみられる。なお、中立軸の位置はどの断面位置に対してもほぼ中心軸付近に存在することがうかがわれる。

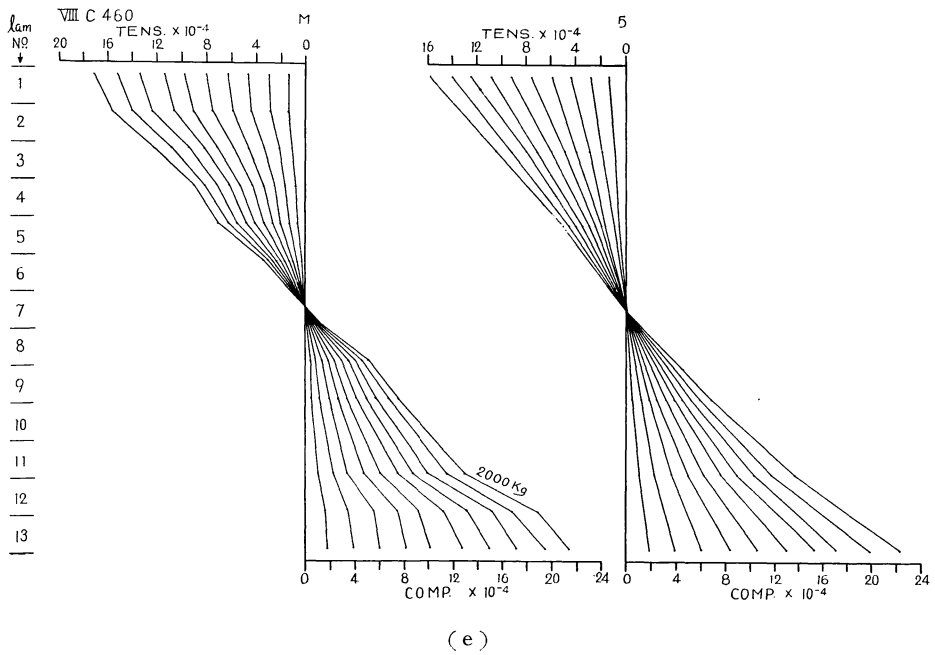
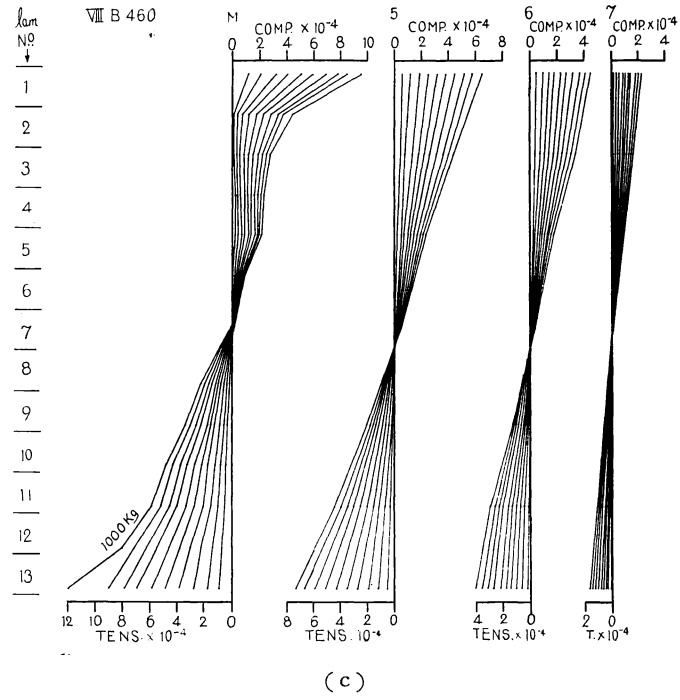
S 補強のばあいを Fig. 3.5. の b, c, d, e および Fig. 3.6. の c, d にしめた。S 補強部のセニ歪を測定した位置は M および 4 の点である。歪の変化は無補強のばあいと同様にほぼ直線的であるが、中立軸の位置は梁試験ではやや圧縮側に、柱試験ではやや引張側に移動する傾向をしめしている。

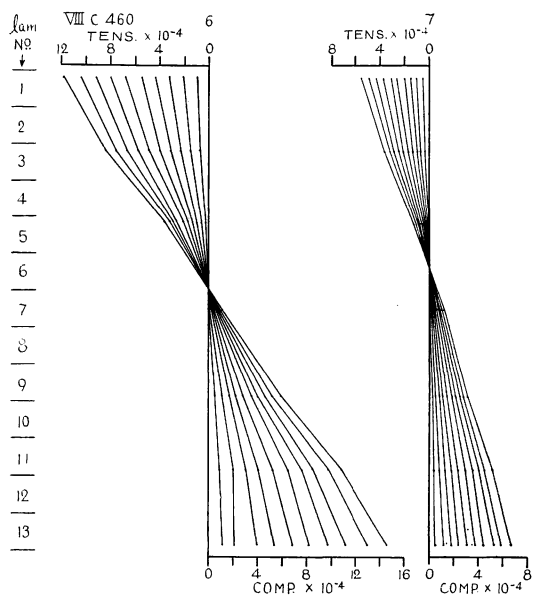
D 補強のばあいを Fig. 3.6. の e, f にしめた。このばあいの試験体はわずか 1 本のみであり、補強部のセニ歪の変化は M 点のみで測定したにすぎないが、その歪分布はきわめて特異である。すなわち、梁試験ではセニ歪が 0 になる点が 2 カ所 (M-3 および M-36 の板) あられ、かつ荷重点直下の板 (M-46) にはきわめて大きな引張歪が生じてゐる。なお放射歪の分布をみても極大値をしめす引張歪の山が 2 つあらわれている。このような現象が 3 角形の補強部をもつ彎曲集成材の正常な歪分布であるかどうか、またこのような歪分布がいかなる力学的機構によつて生ずるものかいまのところわからない。今後補強条件と関連して検討すべきことがらであろう。とにかく、荷重点における部分圧縮的な接触応力の影響がその一因となつてゐるようにもおもわれる。M-13 から M-46 にいたる間の全圧縮歪の占める面



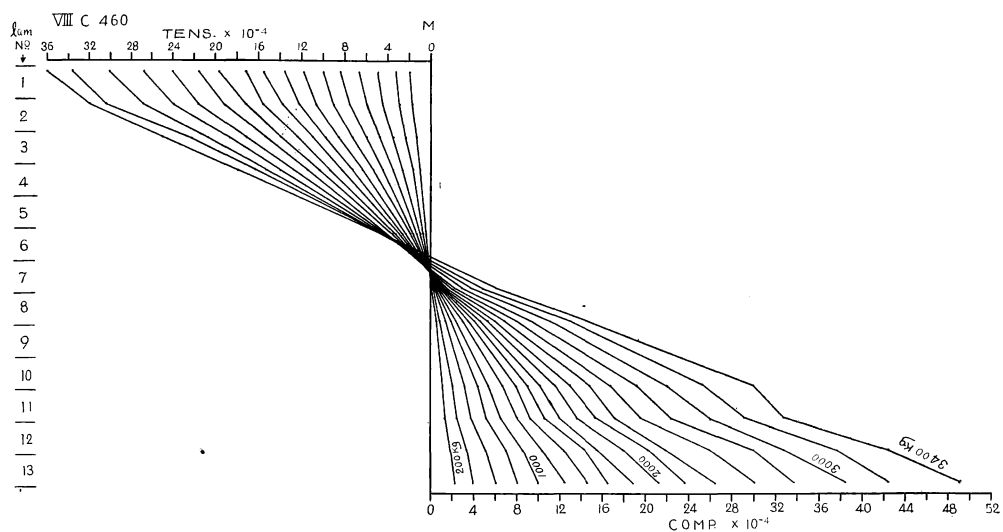
- a. VIII-B 600 $P=1,000\text{ kg}$ $\Delta P=100\text{ kg}$ (F. S.) b. VIII-B 600-M $P=1,000\text{ kg}$ $\Delta P=100\text{ kg}$ (R. S.)
c. VIII-B 460 $P=1,000\text{ kg}$ $\Delta P=100\text{ kg}$ (F. S.) d. VIII-B 460-M $P=1,000\text{ kg}$ $\Delta P=100\text{ kg}$ (R. S.)
e. VIII-C 460 $P=2,000\text{ kg}$ $\Delta P=200\text{ kg}$ (F. S.) f. VIII-C 460-M $P=3,400\text{ kg}$ $\Delta P=200\text{ kg}$ (F. S.)
g. VIII-C 460-M $P=3,400\text{ kg}$ $\Delta P=200\text{ kg}$ (R. S.)

Fig. 3.4. T. L. No. VIII におけるセ イ 歪 および放射歪 の分布
Distribution of fiber strains and radial strains

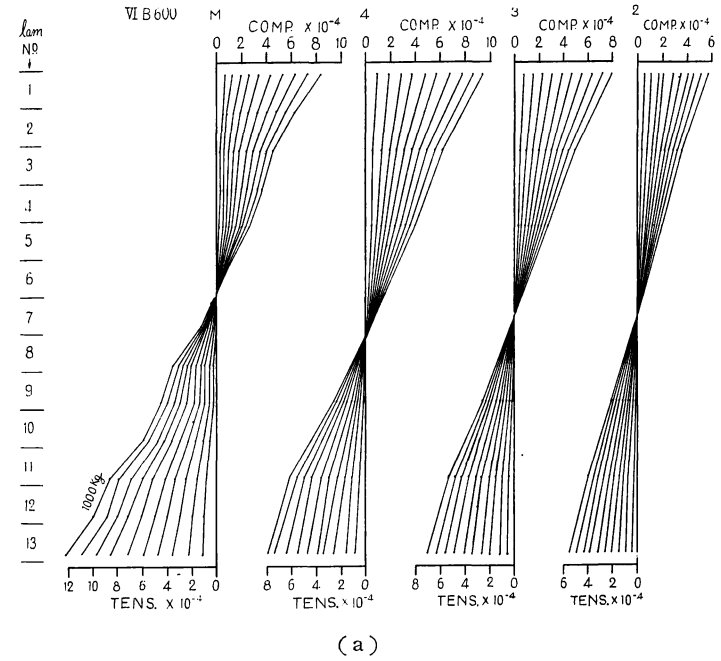
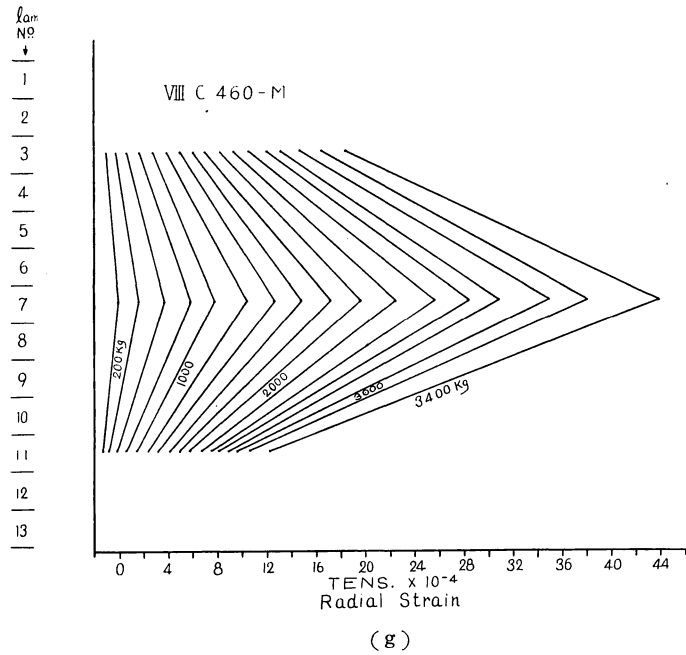




(e) つづき

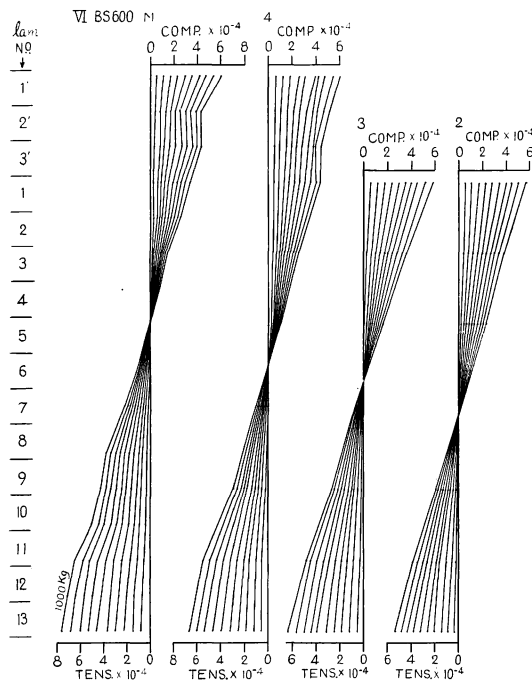


(f)

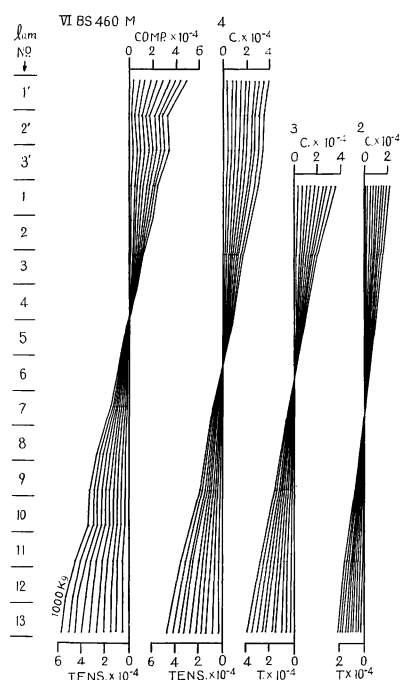


- a : VI-B 600 P=1,000 kg $\Delta P=100$ kg (F. S.)
 b : VI-BS 600 P=1,000 kg $\Delta P=100$ kg (F. S.)
 c : VI-BS 460 P=1,000 kg $\Delta P=100$ kg (F. S.)
 d : VI-CS 460 P=2,000 kg $\Delta P=200$ kg (F. S.)
 e : VI-CS 460-M P=4,400 kg $\Delta P=200$ kg (F. S.)

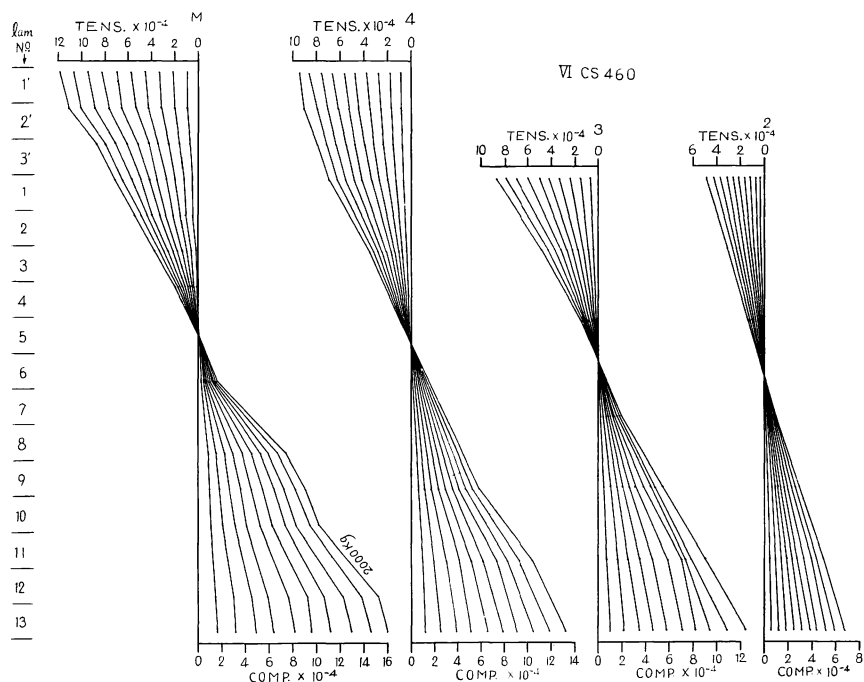
Fig. 3.5. T. L. No. VI におけるセニイ歪の分布
 Distribution of fiber strains in T. L. No. VI



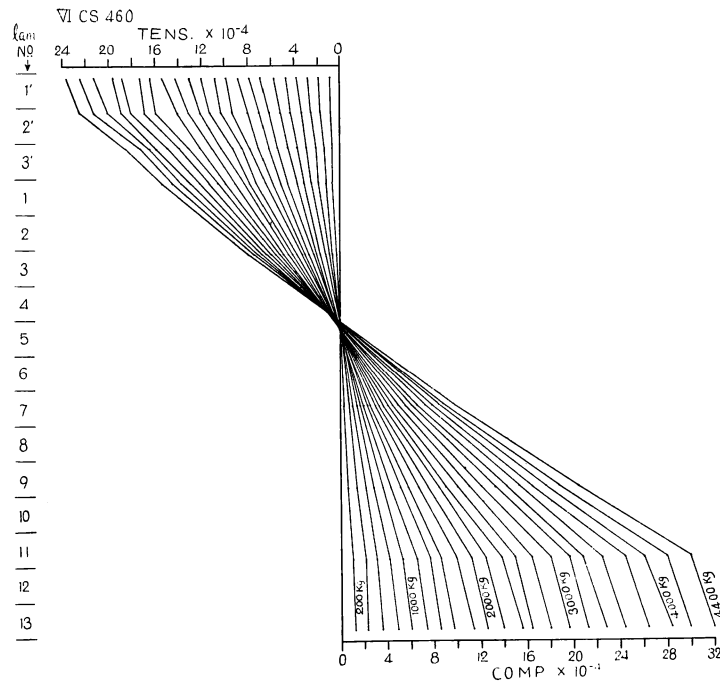
(b)



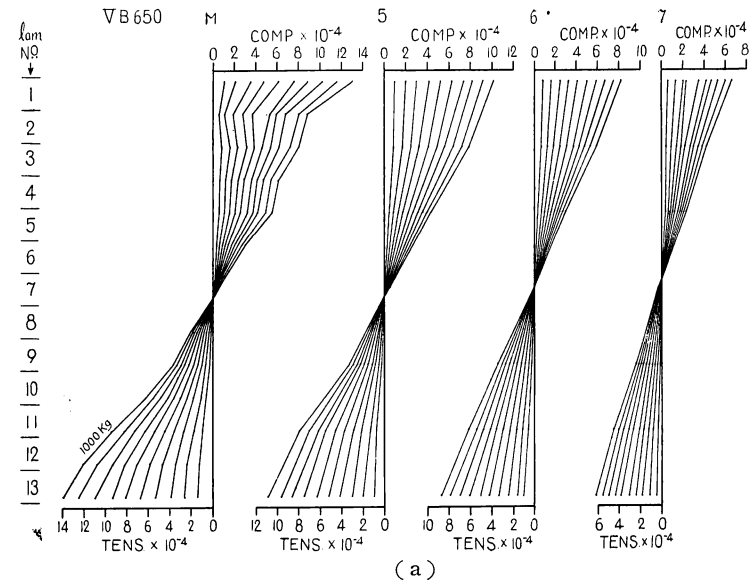
(c)



(d)



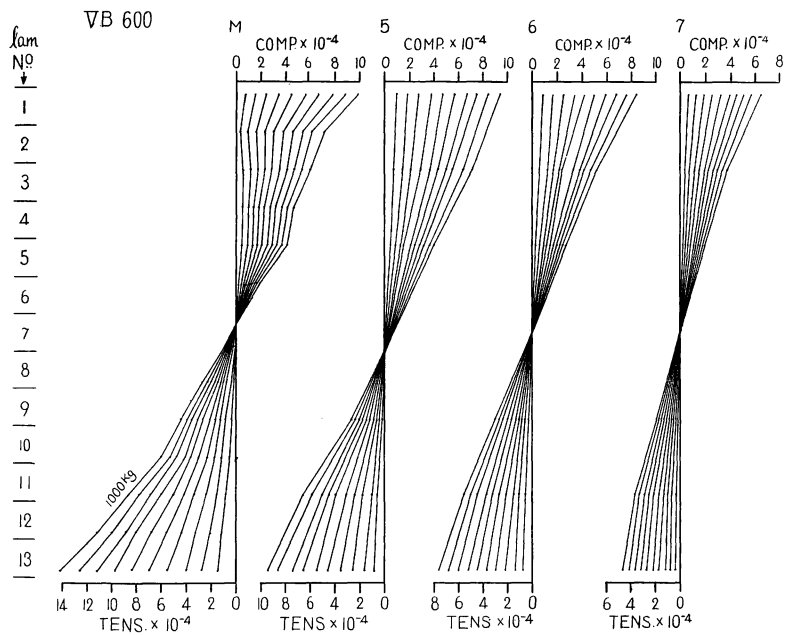
(e)



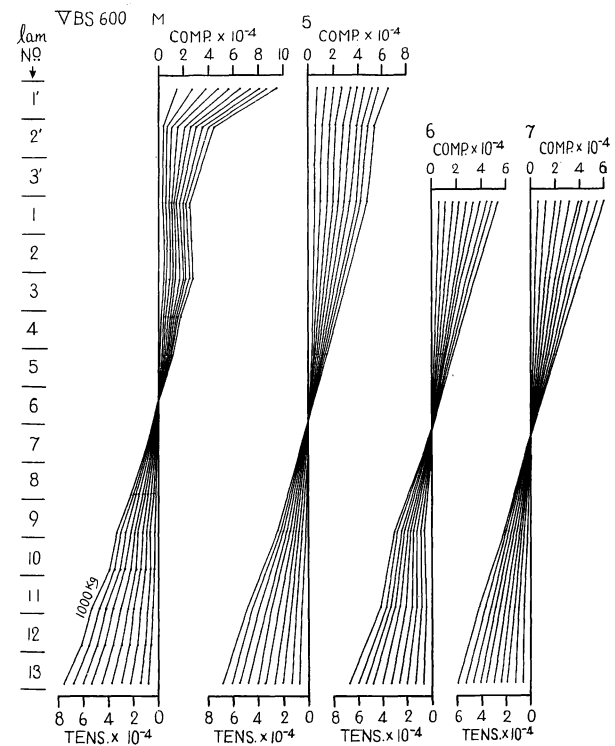
(a)

- | | | |
|---------------|------------|-----------------------------------|
| a. V-B 650 | P=1,000 kg | $\Delta P=100$ kg (F.S.) |
| b. V-B 600 | P=1,000 kg | $\Delta P=100$ kg (F.S.) |
| c. V-BS 600 | P=1,000 kg | $\Delta P=100$ kg (F.S.) |
| d. V-BS 460 | P=1,000 kg | $\Delta P=1,000$ kg (F.S.) |
| e. V-BD 460 | P=1,000 kg | $\Delta P=1,000$ kg (F.S. & R.S.) |
| f. V-CD 460-M | P=2,000 kg | $\Delta P=200$ kg (F.S. & R.S.) |

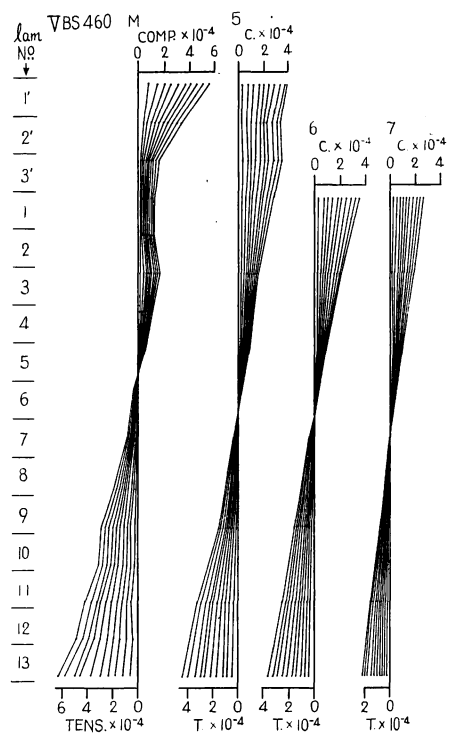
Fig. 3.6. T.L. No. V におけるセンイ歪と放射歪の分布
Distribution of fiber strains and radial strains



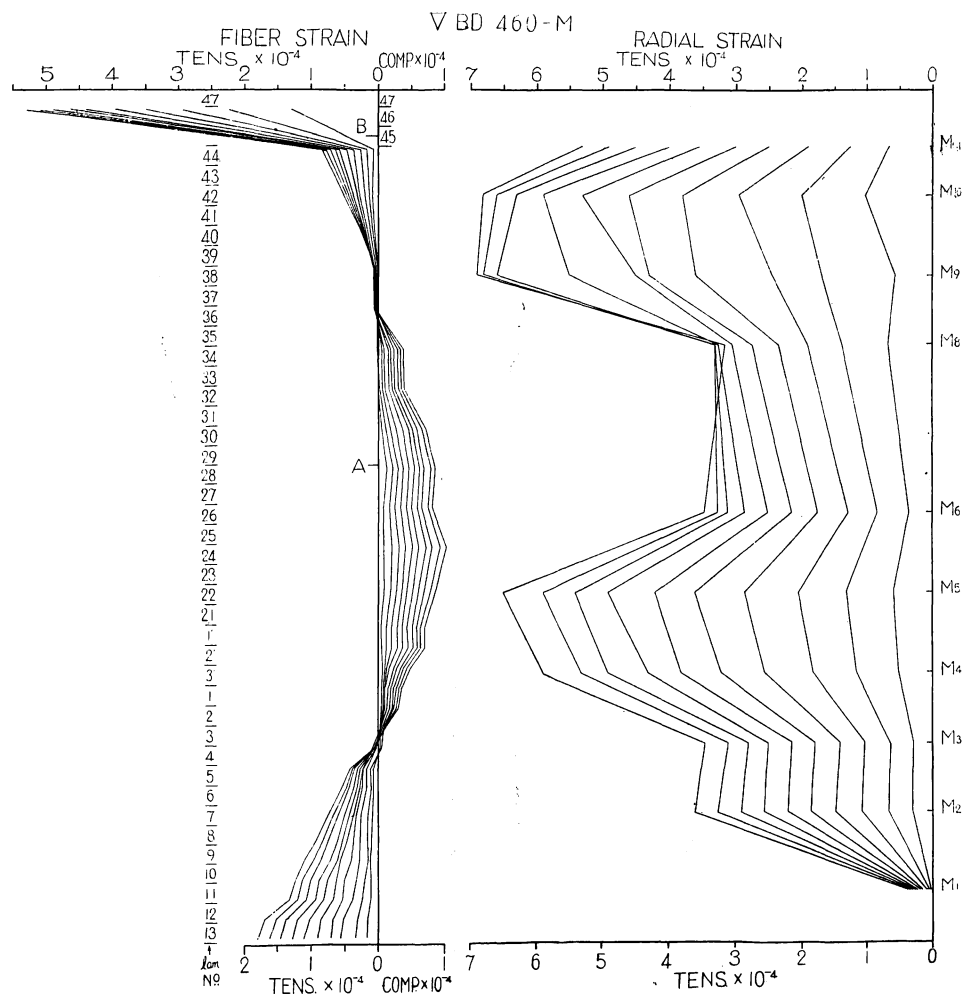
(b)



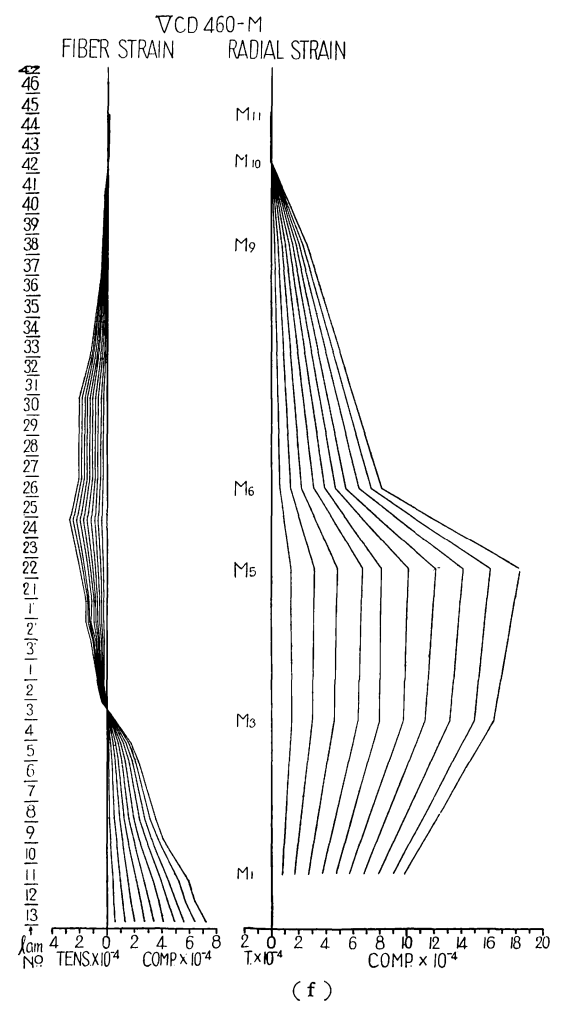
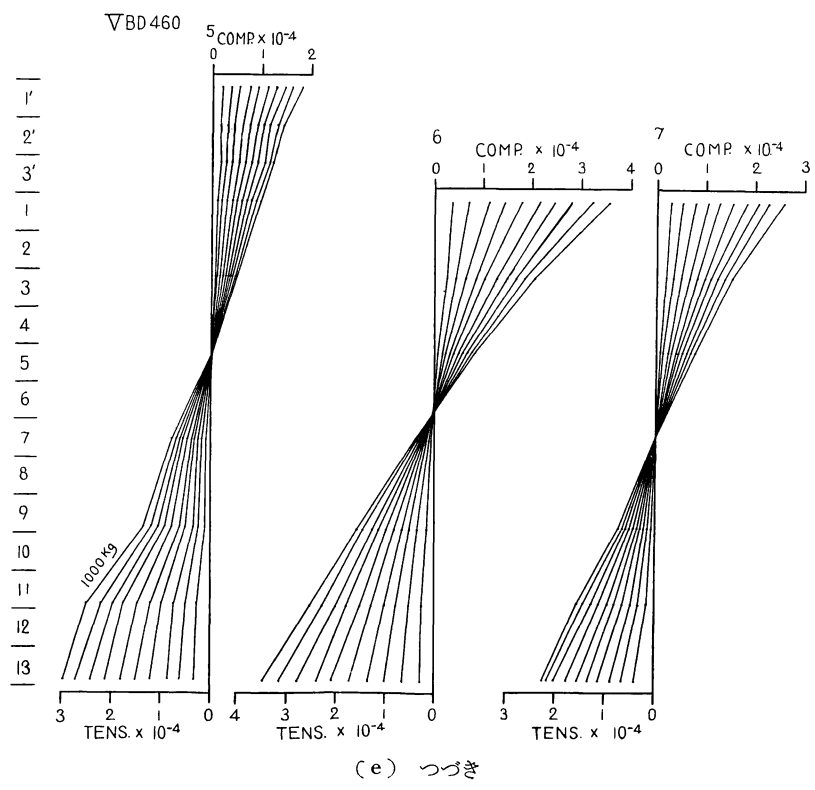
(c)



(d)



(e)



積 A_c と全引張歪のそれ A_T との比 A_T/A_c は荷重 1000 kg で約 1.34 となつてゐるが、下部の引張歪面積に等しい圧縮歪面積は A 点 (M-29 と M-30 との間) までであり、残りの圧縮歪面積に等しい引張歪面積は B 点 (M-45 の中央) までである。

柱試験のばあい、中立軸の位置は M-3 付近にあつて 3 角補強部の頂部にゆくにしたがつて引張センシ歪は低減しほとんど 0 となつてゐる。なお、放射歪は圧縮であり、引張センシ歪が最大の付近で最大値をしめしている。

また、 A_T/A_c の値は荷重 2000 kg においては約 0.95 であるが、破壊荷重 5050 kg では約 0.89 となつてゐる。

つぎに、各試験における M, 5(4), 6(3), 7(2) の断面位置での圧縮歪と引張歪のそれぞれの面積を計算し、 A_T/A_c の値をもとめると Table 3.7. のようになる。

補強しない弾性試験のばあい、ほぼ 1.05 であるが、柱試験のばあいの M 断面についてのみ、弾性試験と破壊試験との比較をすると、前者が 0.87 であるのに対し、後者は 0.73 となり、破壊にちかづくとき中立軸は引張側に移動することがわかる (Fig. 3. 4.)。

S 補強では、 A_T/A_c の値は梁のばあいでは約 1.2、柱では 0.65、D 補強では、梁で 1.73、柱で 0.54 と

Table 3.7. 引張歪面積と圧縮歪面積の比
Ratios of tension strain area to compression strain area

T. L. No.	Compression area					Tension area					A_T/A_c
	M	5(4)	6(3)	7(2)	Total	M	5(4)	6(3)	7(2)	Total	
I B 650	4375	5053	4300	3188	16916	6704	4917	4059	3088	18768	1.11
II B 650	5223	5298	4534	3291	18346	6313	5453	4216	2631	18613	1.02
III B 650	5645	4533	4500	2797	17475	7013	2357	4417	3340	17127	0.98
IV B 650	5349	4767	4054	2854	17024	7421	5694	4589	3710	21414	1.26
V B 650	5726	5378	4011	2940	18055	6105	5013	4225	3090	18433	1.02
V B 600	4266	4816	3714	2756	15552	6178	3984	3749	2449	16360	1.05
VI B 630	3653	4725	3563	2498	14439	5809	3945	3699	2444	15897	1.10
VI B 600	3334	4706	3579	2554	14173	5882	3779	3485	2740	15886	1.21
VII B 600	5185	4736	4007	2884	16812	5769	4952	3322	2406	16449	0.98
VII B 460	3334	3168	2632	1390	10524	4488	3080	1763	771	10102	0.96
VIII B 600	4658	4433	3496	2417	15004	5596	4836	3869	2440	16741	1.12
VIII B 460	2695	3068	2201	1045	9009	4625	3231	1906	833	10595	1.18
VII C 460	9764	9004	6808	3790	29366	9356	6842	6596	3464	26258	0.89
VIII C 460	9950	9714	7464	3798	30926	8450	7090	5316	2223	23079	0.75
V BS 600	3521	4441	2320	2708	12990	3926	3402	3295	2897	13520	1.04
V BS 460	2015	2664	1409	1244	7332	3210	2219	1896	1054	8379	1.14
VI BS 600	3210	3831	2411	2719	12171	5295	3918	3451	2586	15250	1.25
VI BS 460	2281	2691	1304	1118	7394	3824	2646	2082	1094	9646	1.31
VI CS 460	9185	7768	6697	3526	27176	6455	6029	3164	2000	17648	0.65
V BD 460	1964	899	1378	1080	4321	2624	1892	1867	1072	7455	1.73
V CD 460	5781	6372	7102	4292	23547	5474	2050	2873	2250	12647	0.54
V CD 460*	9087					8126					0.89
VI CS 460*	23990					13650					0.57
VII C 460*	13919					11505					0.83
VIII C 460*	26130					16150					0.62
V CD 460**	5780					5474					0.95
VI CS 460**	9185					6455					0.70
VII C 460**	9764					9356					0.96
VIII C 460**	9950					8450					0.85

* Strain area at station M in ultimate strength tests

** " 2000 kg load

Table 3.8. 梁試験における繊維応力と歪の関係
Fiber stress-strain relation in bending tests

Position T. L. No.	Estimated fiber stress per load P=100kg			Estimated fiber strain per load P=100kg			Observed fiber strain per load P=100kg			$K_L = \frac{\epsilon_{Le}}{\epsilon_{Ls}}$		
	M-13 kg/cm ²	5-13 kg/cm ²	6-13 kg/cm ²	M-13 × 10 ⁻⁶	5-13 × 10 ⁻⁶	6-13 × 10 ⁻⁶	M-13 × 10 ⁻⁶	5-13 × 10 ⁻⁶	6-13 × 10 ⁻⁶	M-13	5-13	6-13
I-B 650	20.7	16.6	12.9	167	134	104	138	100	73	1.21	1.34	1.42
II-B 650	20.7	16.7	12.9	184	148	114	138	110	82	1.33	1.34	1.39
III-B 650	20.8	16.7	12.9	184	148	114	150	92	102	1.22	1.60	1.12
IV-B 650	20.6	16.6	12.9	191	154	109	148	122	92	1.29	1.26	1.19
V-B 650	20.7	16.6	12.9	184	149	115	140	108	86	1.32	1.37	1.34
VI-B 630	20.1	16.0	12.3	168	135	103	112	75	75	1.50	1.79	1.37
V-B 600	19.1	15.0	12.3	170	134	101	142	94	76	1.20	1.43	1.32
VI-B 600	19.1	15.1	11.3	161	127	95	122	79	70	1.31	1.60	1.36
VII-B 600	19.3	15.2	11.4	168	131	99	116	94	78	1.44	1.39	1.27
VIII-B 600	18.9	15.2	11.4	159	126	94	134	116	76	1.19	1.08	1.24
VII-B 460	14.7	10.7	6.9	128	93	60	100	63	45	1.28	1.47	1.32
VIII-B 460	14.7	10.6	6.9	121	88	57	120	74	41	1.01	1.19	1.38
Mean ±Δ%										1.28 13.2	1.41 6.5	1.31 9.5

なっている。つまり、このような補強のばあいは梁試験では引張歪の面積が大きく、柱試験では圧縮歪の面積が大きい傾向がみられる。

つぎに、梁試験における M, 5(4), 6(3) の各断面位置につき、荷重 100 kg あたりのセンイ応力 σ_{Le} (kg/cm²) を計算し、Table 2.6. の平均ヤング係数 $E_B = E_{L0}$ を用いて、これに応ずるセンイ歪 $\epsilon_{Le}(10^{-6})$ を推定し、これを歪ゲージによる実測値 ϵ_{Ls} (引張側の歪) との比 $\epsilon_{Le}/\epsilon_{Ls} = K_L$ をもとめると Table 3.8. のようになる。

すなわち、

$$\frac{\sigma_{Le}}{E_{L0}} = \epsilon_{Le} = K_L \cdot \epsilon_{Ls} \div 1.33 \epsilon_{Ls}$$

となり、歪ゲージによる実測歪はやや小さい結果をしめしている。

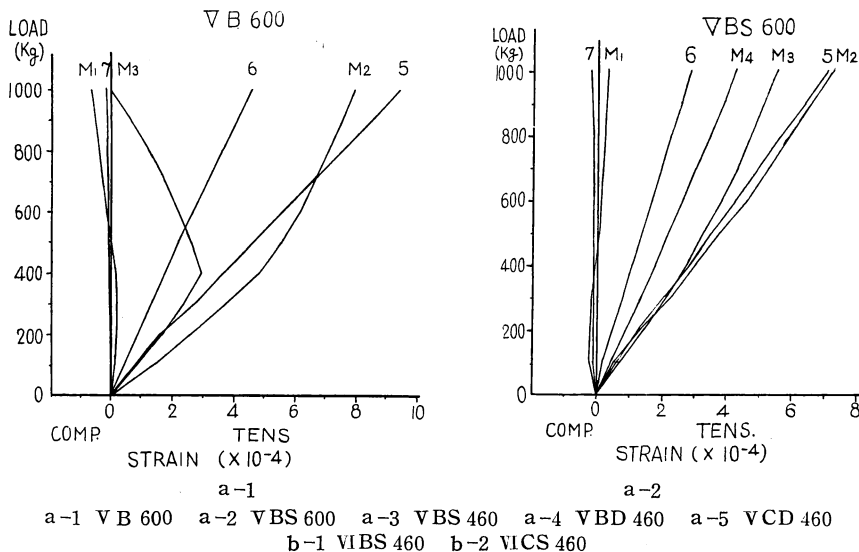
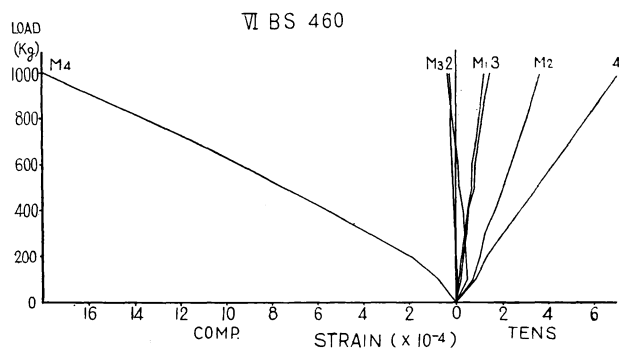
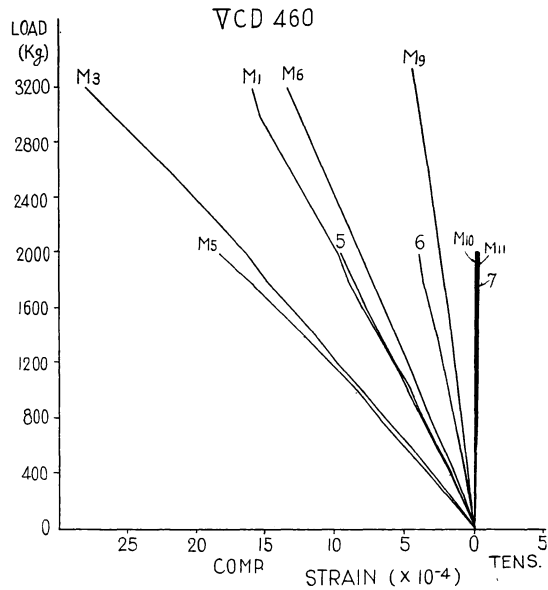
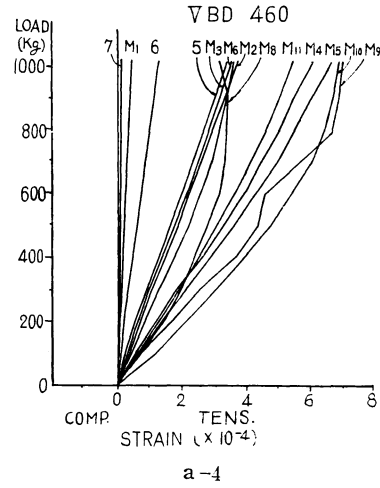
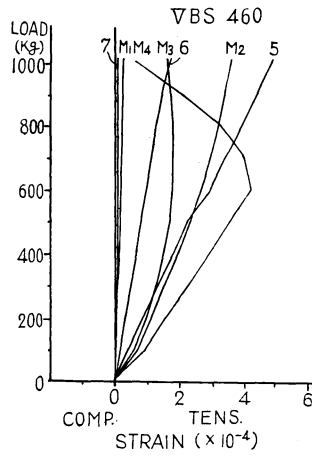
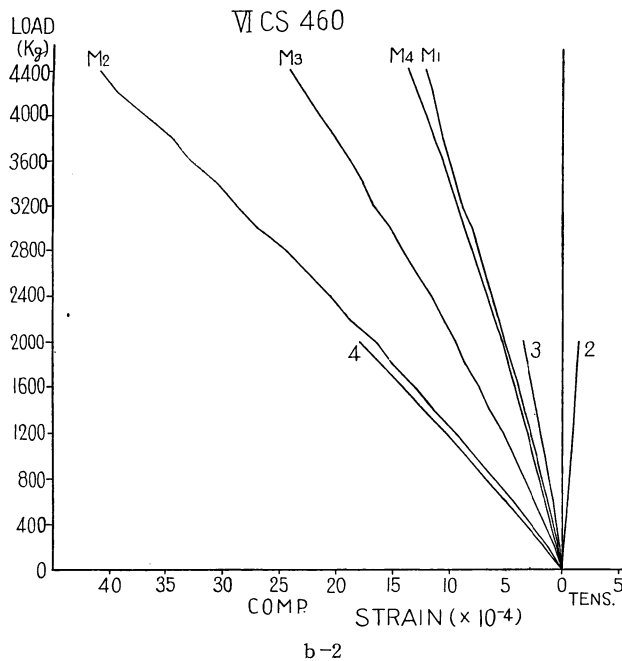


Fig. 3.7. 放射歪の分布 Distribution of radial strains





梁および柱試験における放射歪の分布を Fig. 3.7. にしめた。

放射応力および歪は梁試験のばあいには引張となり（曲率を減少する方向の曲げモーメントをうけたばあい）、柱試験のばあいは圧縮となる（曲率を増大させる方向のモーメントをうけたばあい）、しかし、この梁試験では中央 M 断面位置では荷重点のメリ込み影響をうけ、その荷重点直下の M₃ の歪は圧縮を生ずるばあいが多く、たとえ最初のうちは引張歪であつても荷重が増加するにつれて、その値を減少してゆく傾向がみられる。M₂ でも Table 3.9. にみられるごとく数値的な安定性は少ない。

いま、荷重 100 kg に対する M, 5(4), 6(3) の各断面中央における放射応力 σ_{Re} を計算し、この値と歪ゲージによる放射歪 ϵ_{Rs} から部材のヤング係数 E_{Re} を推定し Table 3.9. にしめた。M₂ の ϵ_{Rs} からもとめたヤング係数はきわめて不規則で分散も大きい。5 の ϵ_{Rs} からもとめたものは、6 の ϵ_{Rs} からもとめたヤング係数より若干高い値をしめている。

同様に柱試験における σ_{Re} および ϵ_{Rs} からヤング係数 E_{Re} をもとめ同表にしめた。

Table 3.9. 梁および柱試験における放射応力と歪の関係
Radial stress-strain relation in bending and end thrust tests

T. L. No.	Position	Estimated radial stress per load P=100kg σ_{Re}			Observed radial strain per load P=100kg ϵ_{Rs}			Estimated Young's modulus E_{Re}			$\frac{\epsilon_{Rs}}{\epsilon_{Ls}} = K'$		
		M ₂	5	6	M ₂	5	6	M ₂	5	6	M ₂	5	6
		kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	$\times 10^{-6}$	$\times 10^{-6}$	$\times 10^{-6}$	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²			
I	B 650	0.53	0.43	0.33	241	84	54	2.2	5.1	6.1	1.75	0.84	0.74
II	B 650	0.53	0.43	0.33	30	78	39	18.0	5.5	8.5	0.22	0.77	0.48
III	B 650	0.53	0.43	0.33	122	122	68	4.4	3.5	4.9	0.83	1.33	0.67
IV	B 650	0.53	0.43	0.33	77	100	50	6.9	4.3	6.6	0.52	0.80	0.54
V	B 650	0.53	0.43	0.33	49	112	56	10.7	3.8	5.9	0.35	1.04	0.65
VI	B 630	0.52	0.41	0.32	61	120	44	8.4	3.4	7.1	0.55	1.60	0.59
V	B 600	0.49	0.39	0.29	48	94	46	10.2	4.1	6.2	0.34	1.00	0.61
VI	B 600	0.49	0.39	0.29	57	106	39	8.6	3.7	7.5	0.47	1.34	0.56
VII	B 600	0.49	0.39	0.29	32	76	24	15.6	5.1	12.5	0.28	0.81	0.31
VIII	B 600	0.49	0.39	0.29	35	76	46	14.1	5.1	6.4	0.26	0.66	0.61
VII	B 460	0.38	0.27	0.18	—	48	14	—	5.7	13.0	—	0.75	0.31
VIII	B 460	0.38	0.27	0.18	13	54	29	2.8	5.1	6.0	0.11	0.73	0.71
VII	C 460	0.36*	0.33*	0.27*	80*	71*	21*	4.5*	4.7*	12.7*	(0.52)	(0.97)	(0.57)
VIII	C 460	0.36*	0.33*	0.27*	108*	73*	45*	3.3*	4.5*	5.9*			

*: Compression (): Mean of K'

ところで、この試験に用いたアカマツの横方向のヤング係数はまだ実測していないので十分な検討はできないが、さきにもとめた鹿児島産のアカマツの横方向のヤング係数をみると、柁目方向で約 $13,000 \text{ kg/cm}^2$ ；板目方向で約 $6,700 \text{ kg/cm}^2$ 、これらと 45° をなす追柁方向で約 $1,200 \text{ kg/cm}^2$ であつたことから推定すると、ほぼ妥当な数値であるようにおもわれる（上記アカマツのセンイ方向のヤング係数は約 $133,000 \text{ kg/cm}^2$ ）。

なお、放射応力は次式¹⁰⁾

$$\sigma_{Re} = \frac{3M}{2rbH^3}(H^2 - 4Z^2)$$

M = モーメント； r = 曲率半径 190 cm ； $b = 10 \text{ cm}$ ； $H = 19.5 \text{ cm}$ ；

$Z = 6 \text{ cm}$ (M_2 より M_3 , M_1 までの距離)

で計算されるので、 M_3 , M_1 における放射歪は M_2 の歪の約 0.60 程度とみつめられる。

また、柱試験のばあいの各断面の曲げモーメントは次式¹¹⁾であたえられる。

$$M = -P\left(y + r' \frac{L^2 - 4x^2}{L^2}\right)$$

式中、 y = 荷重 P に対する測点の撓 cm ； $r' = 88.2 \text{ cm}$ ； $L = 405 \text{ cm}$ ； $x_5 = 51.5 \text{ cm}$ ； $x_6 = 99.5 \text{ cm}$

において計算されるが、5 および 6 の y がもとめられていないので、正当な直接的な評価はできないけれども、これらの値は非常に小さいとみられるので、5, 6 の歪は M_2 の歪の約 0.94 および 0.76 ていどと概算される。

Table 3.10. 柱試験における放射歪
Observed radial strains in end thrust tests

T. L. No.		M_3	M_2	M_1	5	6
VII C 460	ϵ_{Rs}	71.0	80.0	6.0	71.0	21.0
	ratio	0.89	1.00	0.08	0.89	0.26
	E_{Rs}	3.04	4.48	35.9	4.69	12.7
VIII C 460	ϵ_{Rs}	51.0	108.0	39.0	73.0	45.0
	ratio	0.47	1.00	0.36	0.68	0.42
	E_{Rs}	4.33	3.32	5.52	4.52	5.93

しかし、実測歪は Table 3.10. にしめすごとくこれらの計算値とかなりことなつている。

また、 ϵ_{Rs} と ϵ_{Ls} の比 $\epsilon_{Rs}/\epsilon_{Ls} = K'$ の値を M_2 , 5, 6 についてもとめると、前者 Table 3.9. のようになつている。 M_2 , 5 ではかなり分散しているが、6 では比較的安定しているようにみうけられ、その値は約 0.57 となつている。したがつて、放射応力とセンイ応力との間につぎの関係があることとなる。

$$\sigma_{Re} = \frac{K'}{K_L} \frac{E_{R0}}{E_{L0}} \sigma_{Le}$$

(b) 破壊試験

(i) 柱試験における破壊荷重の実測値と計算値 このばあい、初応力による低減度 α については前述の値（使用挽板の基礎材質からとめたもの）を用いて計算したが、これらを一括して Table 3.11. にしめす。

その結果を要約してのべると、実測値は計算値の 80~90% となつている。VII の試験材はとくにややいちじるしい挽板の目切れがあつて計算値との比較にはあまりふさわしくない。もつとも、VIII の方でも若干の表面板の目切れが引張破損に影響していることはあきらかだが、この方は大よそ妥当な結果とおもわれる。

また、その実測値と計算値との比較では、このばあいは、アメリカ式によるものも、仮設的な考え方に

Table 3.11. 柱試験における最大荷重と最大曲げモーメントの実測値と計算値

Observed and computed maximum load and maximum bending moment in end thrust tests

T. L. No.	VII-C 460	VIII-C 460	II-C 460	III-C 460
E	10^3 kg/cm^2	115	121	113
W	cm^3	633	634	635
I	cm^4	6171	6189	6215
L	cm	405	405	405
D	cm	88.2	88.2	88.2
σ_b	kg/cm^2	738	720	699
σ_{b1}	kg/cm^2	646	630	612
σ_{b2}	kg/cm^2	624	609	591
M	kgm	4670	4570	4350
M_1	kgm	4090	4000	3810
M_2	kgm	3950	3860	3680
P	kg	3250	3600	
P_1	kg	4175	4100	3920
P_2	kg	4045	3970	3790
P/P_1		0.78	0.88	
P/P_2		0.80	0.91	
M'	kgm	3000	3335	
M'_1	kgm	3915	3825	
M'_2	kgm	3780	3700	
M'/M'_1		0.77	0.87	
M'/M'_2		0.79	0.90	
M''	kgm	2865	3175	
M''_1	kgm	3680	3615	3460
M''_2	kgm	3565	3500	3500
M''/M''_1		0.78	0.88	
M''/M''_2		0.80	0.91	

 σ_b = Measured strength in bending σ_{b1} = Computed reduced strength = $\sigma_b \times 0.875$ ($\alpha = 0.125$) σ_{b2} = " = $\sigma_b \times 0.846$ ($\alpha = 0.154$)

P = Observed load; P_1 = Computed load by eq. (2.2.29); P_2 = Computed ($\alpha = 0.154$); $M = \sigma_b W$; $M_1 = \sigma_{b1} W$; $M_2 = \sigma_{b2} W$; $M' = P(D + \Delta y_D)$; $M'_1 = P_1(D + \Delta y_{D1})$; $M'_2 = P_2(D + \Delta y_{D2})$; $M'' = PD$; $M''_1 = P_1 D$; $M''_2 = P_2 D$

他の欠点影響が 10% をこえていたのかもしれない。これらのことについては今後実証する必要がある。

さらに、3 鉸節アーチに組立てたばあい、その引張側のアーチ部材となる II と III について、その破壊モーメントを推定するために、同表の中に計算値をかき加えてある。これによると、もし、目切れその他の欠点影響がつよくはたらかないとすれば、その予想される最大モーメントは 3,300~3,500 kgm と計算される。無論このうち条件の最もよくないばあいについて推定すれば 3,300~3,400 kgm といことになるわけである。しかるに、この材とほとんど同等と考えられる VIII が約 3,200 kgm で破壊していることを考えると、予想の範囲は 3,200~3,400 kgm ということになる。だから、平均的に 3,300 kgm を予想して、この誤差が $\pm 100 \text{ kgm}$ あるものと考えたことにした。

なお、荷重—撓曲線の例として Fig. 3.8. に VIII の曲線をしめしておく。

(ii) 梁試験における破壊荷重の計算値と実測値 このばあいは、彎曲部の曲率を減少させる方向のモーメントを加えたときにあたるが、柱試験ほどには初応力の影響をうけないようにおもわれる。したが

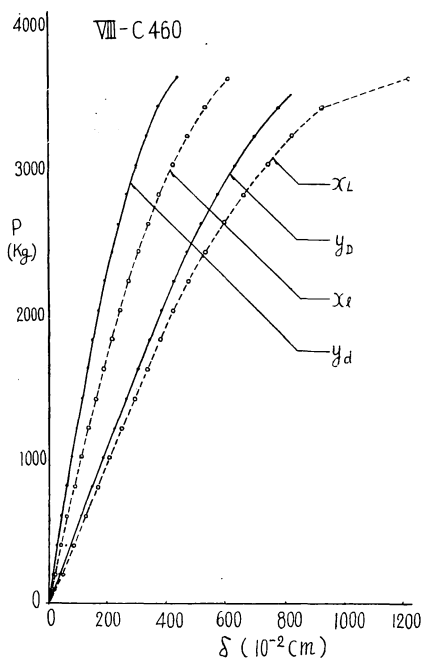


Fig. 3.8. 柱試験における荷重—撓曲線 Load-deflection curves in end-thrust test of test specimen VIII-C 460

よる算出式もほとんどかわらない。したがって、このばあいの実測値は、初歪の影響として考えられる低減よりも、さらに目切れその他の材料条件による低減が約 10% といどはあるものと判断される。これは、あくまで、数値的な判断としてのべたのであつて、正しくは初応力の影響のみであるかもしれないし、または、その

Table 3.12. 梁試験における最大曲げモーメントの実測値と計算値の比較
Comparisons of observed and computed maximum bending moment in static bending test

T. L. No.	E 10^{-3} kg/cm^2	σ_b kg/cm^2	W cm^3	I cm^4	L cm	M kgm	P_M kg	M_o kgm	σ_{bo} kg/cm^2	$\frac{M_o}{M}$
I-B 460	124	754	638	6232	373	4810	5000	4660	730	0.97
IV-B 460	108	693	639	6245	373	4430	4380	4085	640	0.92

E = Young's modulus of the test material (laminae)

σ_b = Bending strength

σ_{bo} = Observed bending strength of the glued laminated arch

W = Section modulus; I = Moment of inertia; L = Span; $M = \sigma_b \cdot W$; P_M = Observed maximum load; $M_o = 1/4 P_M \cdot L$

つてここで扱う計算値は直線梁のときと同様にした。ただし、いうまでもなく、もしも、彎曲部凹側外皮挽板に Compression failures が出るほどの高い初応力をあたえたばあいは明らかに強度低減をしめすはずであるが、これについては、今後の実験的検討にまっほかはない。

今回の条件では、Table 3.12. にしめたようにほとんどみるべき低減もなく、多少の欠点影響はあつても予想に大きな誤りをきたすほどのことはないようである。

参考として、IV のアーチの各測点における水平撓（x）と垂直撓（y）と荷重との曲線を Fig. 3.9. にしめす。測点（3—6）の x_i' と y_i' とは、若干ズレるが他のものは水平と垂直とでよく一致した曲線関係をとっていることが分る。

(c) 試験部材の彎曲部中央凸側に添材をおこなつたばあいの補強効果

前にのべた2種の補強についてその効果をたしかめるためにつぎの順序で試験をおこなつた。

i) まず、等断面材の剛性を試験（梁）してから第1次の補強（S）をほどこし、

ii) S 補強材2本（V, VI）のうち、1本（VI）は梁剛性試験ののち柱剛性試験を経て柱破壊試験により破壊せしめ、

iii) 残りの1本（V）はS補強材としての梁剛性試験後、さらに第2次の補強（D）を加えて、梁剛性試験、柱剛性試験をへて、柱破壊試験によつて破壊せしめた。

iv) その結果については、等断面のばあいを1として、補強のあるときの性能を比較したことは前述のとおりである。

(c. 1) 剛性におよぼす影響 いま、その剛性にあたえる影響を、同一のモーメントを加えたばあい

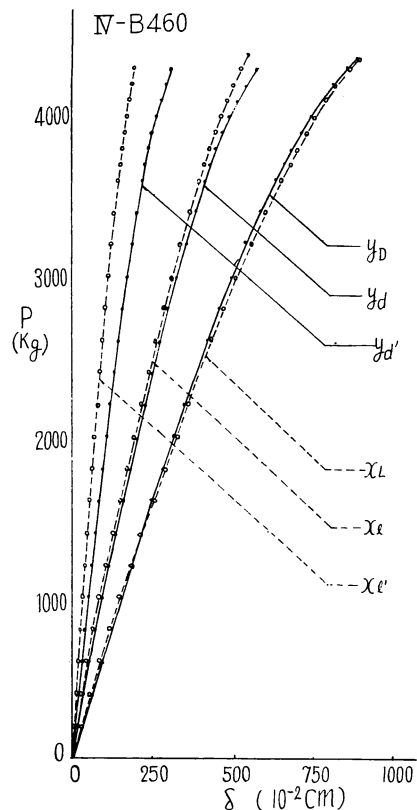


Fig. 3.9. 梁試験における荷重—撓曲線
Load-deflection curves in bending test of test specimen IV-B 460

Table 3.13. S補強とD補強における剛性の増加
Increasing of bending rigidity in the laminated
timber having the additional member S or D

	Bending (B)			End-thrust (C)			$\bar{A}$
	Δx_L ($P=100kg$)	Δy_D per ($P=100kg$)	A_1	Δx_L ($P=100kg$)	Δy_D per ($P=100kg$)	A_2	
δ_0/δ_S	1.59	1.62	1.61	1.63	1.51	1.57	1.59
δ_0/δ_D	2.38	2.66	2.52	2.41	2.21	2.31	2.42

$A_1, A_2 = \text{Mean value}; \bar{A} = (A_1 + A_2)/2$

$\delta_0 = \text{Deflection of the laminated arch having no additional member}$

$\delta_S = \text{Deflection of the laminated arch having the additional member S.}$

$\delta_D = \text{Deflection of the laminated arch having the additional member D.}$

Table 3.14. 柱試験におけるS補強材とD補強材における破壊荷重の実測値と等断面材としての破壊荷重の計算値

Observed maximum load of the arch having additional member S or D and computed maximum load of the arch having no additional member in end thrust test

T. L. No.	VI- C S 460	V- C D 460
E	$10^3 kg/cm^2$	119
W	cm^3	638
I	cm^4	6234
L	cm	405
D	cm	88.2
σ_b	kg/cm^2	750
σ_{b1}	kg/cm^2	656
σ_{b2}	kg/cm^2	634
M_1	kgm	4185
M_2	kgm	4045
P_1	kg	4285
P_2	kg	4160
P_r	$0.88P_1$	3770
P_r'	$0.91P_2$	3785
P_M	kg	4800
P_M/P_r	1.27	1.42
P_M/P_r'	1.27	1.41

$P_M = \text{Max. load observed.}$

The other: see Table 2.2.5.

れるようである。

なおこれらの破壊形態を Phot. 3.6, 3.7 (Plate 5~7) にしめしたが、接着層から破壊された形跡は全くみとめられなかった。

の撓みによつてみると、 $\delta_0 =$ 等断面材の撓、 $\delta_S =$ S 補強をほどこした材の撓、 $\delta_D =$ D 補強をほどこした材の撓をそれぞれあらわすものとして Table 3.13. のようになる。

すなわち、S補強のものでは約 60%, D 補強のもので約 140% ていど等断面材のものより高い剛性をしめす。むろん、この増加率は、補強したことによる断面 2 次モーメント (I) の増大を無視しているので正しい意味での比較とはならないが、一応、添材効果の目安となるもので、この添材の量的な増加と加工操作の問題とを考慮して判断すればよい。

なお、S補強では、この材の全長にわたつて約 3.5cm 厚の板を添材としてはりつけたときに等しく、また、D 補強では同様の方法で約 7cm 厚の添材をはりつけたときに等しくなる。

(c. 2) 柱試験における破壊荷重によぼす影響 V (D補強) と VI (S補強) の 2 本についてその補強材を柱試験によつて破壊せしめたのであるが、剛性試験のときのように、等断面材の性能を決定することが直接にはできない。

したがつて、Table 3.7. の VIII の結果を参考としてその等断面条件における破壊荷重の推定をおこない、これと補強材の破壊荷重の実測値とを比較することにした。

その結果は Table 3.14. にしめすとおりである。

これによると、S補強のばあいでも約 27%, D補強では約 40% の破壊荷重の増大がみこま

4. 3 鉸節アーチ構造試験

この試験において製造した集成材の部材としての強度性能は、3.2. にのべたごとくほぼ明らかとなつたので、この彎曲集成材の4本(I, II, III, IV)をそれぞれ2本ずつ2組の3鉸節アーチに組み立て、これに固定荷重と水平荷重を加えてその剛性および破壊荷重を実測した。

4.1. 試験方法

この試験に用いた試験装置は Fig. 4.1. ならびに Phot. 4.1. (Plate 8) にしめすとおりである。

試験ははじめに固定荷重 $3,000\text{ kg}$ (石綿スレート波板 $=32.5\text{ kg/m}^2$; 母屋 $=7.5\text{ kg/m}^2$; アーチ $=7.0\text{ kg/m}^2$; センイ板打上天井 $=15.0\text{ kg/m}^2$ を想定して合計 62.0 kg/m^2 としたので、母屋1本当りの荷重は $149\text{ kg} \approx 150\text{ kg}$, 全設計固定荷重は $3,000\text{ kg}$ となる)をトーナメント荷重積載方式(荷重はコンクリート・シリンダーおよび鉄塊)によつて加え、負荷と除荷を5回以上繰り返した。

水平荷重は風荷重を想定したもので、その設計風荷重は 560 kg (風速 60 m/sec の場合に相当する)であるが、前述した部材試験の結果からは最大荷重 $2,000\text{ kg}$ を推定することができた。

なおこのさいとくに部材の剛性試験結果と対応させるために、(2)―(7) 間の撓みを直接ダイヤルゲージにて測定し (Phot. 4.1.7.) 各荷重時において部材に作用した曲げモーメントを推定した。

4.2. 試験結果*

4.2.1. 剛性と破壊試験結果

固定荷重における荷重—撓曲線は Fig. 4.2. のとおりで、頭頂部の変位は平均約 1.8 cm となつている。また水平荷重における荷重—撓曲線は Fig. 4.3.~4.6. のとおりで最大水平荷重 $1,950\text{ kg}$ に対する最大水平変位は約 24.9 cm で、破壊は最大モーメントの位置に完全な木部破壊として生じている (Phot. 4.2.)。

4.2.2. 部材の撓から推定した曲げモーメント

部材の撓 (x_l) の実測値から、固定荷重 $1,000\text{ kg}$ あたりの平均撓、(5回の繰返し試験)を Δx_{lv} とし、全固定荷重 $3,000\text{ kg}$ のときの平均撓を x_{lv} としてもとめ、部材試験の結果から判断される 100 kgm の曲げモーメント当りの平均撓 Δx_{lv} とから垂直荷重 $3,000\text{ kg}$ に対応する各部材の曲げモーメント M_v 、さらに同様にして水平荷重 $1,950\text{ kg}$ (このとき、Bアーチの引張側部材 III が引張破壊を生じた)に対応する曲げモーメントを計算した。その結果は Table 4.1. にしめすとおりである。

Table 4.1. 3鉸節アーチ構造試験における部材の曲げモーメント
Bending moment of each member in the structur at test of the three
hinged wooden arch

T. L. No.	Vertical load $V=3000\text{ kg}$				Horizontal load $H=1950\text{ kg}$				M
	Δx_{lv} 10^{-3} cm	x_{lv} 10^{-3} cm	Δx_{lv} 10^{-3} cm	M_v kgm	Δx_{lh} 10^{-3} cm	x_{lh} 10^{-3} cm	Δx_{lh} 10^{-3} cm	M_h kgm	$M_v + M_h$ kgm
C	I	155	465	133	350	171	3335	120	-2430
	IV	165	495	142	348	167	3255	129	-2172
	II	170	510	140	364	192	3750	140	2680
T	III*	155	465	140	332	208	4055	140	2895
									3227

C = Compression side; T = Tension side; M = Bending moment; Δx_l = Unit deflection per 100 kgm moment; Δx_{lv} = Unit deflection per $1,000\text{ kg}$ load V; Δx_{lh} = Unit deflection per 100 kg load H; x_l = Total deflection.

* failed at first.

* この試験結果の詳細は別途日本建築学会集成材小委員会において発表の予定である。

この表によると、破損を生じたアーチ部材 III では $3,227 \text{ kgm}$ の曲げモーメントとなり、はじめに予想した $3,300 \text{ kgm}$ によく一致している。

なお、Fig. 4.3.～4.6. に各部材の破壊までの荷重—撓 (x_i) 曲線をかかげた。いずれもかなり正常な変形をしめしたものと考えられる。

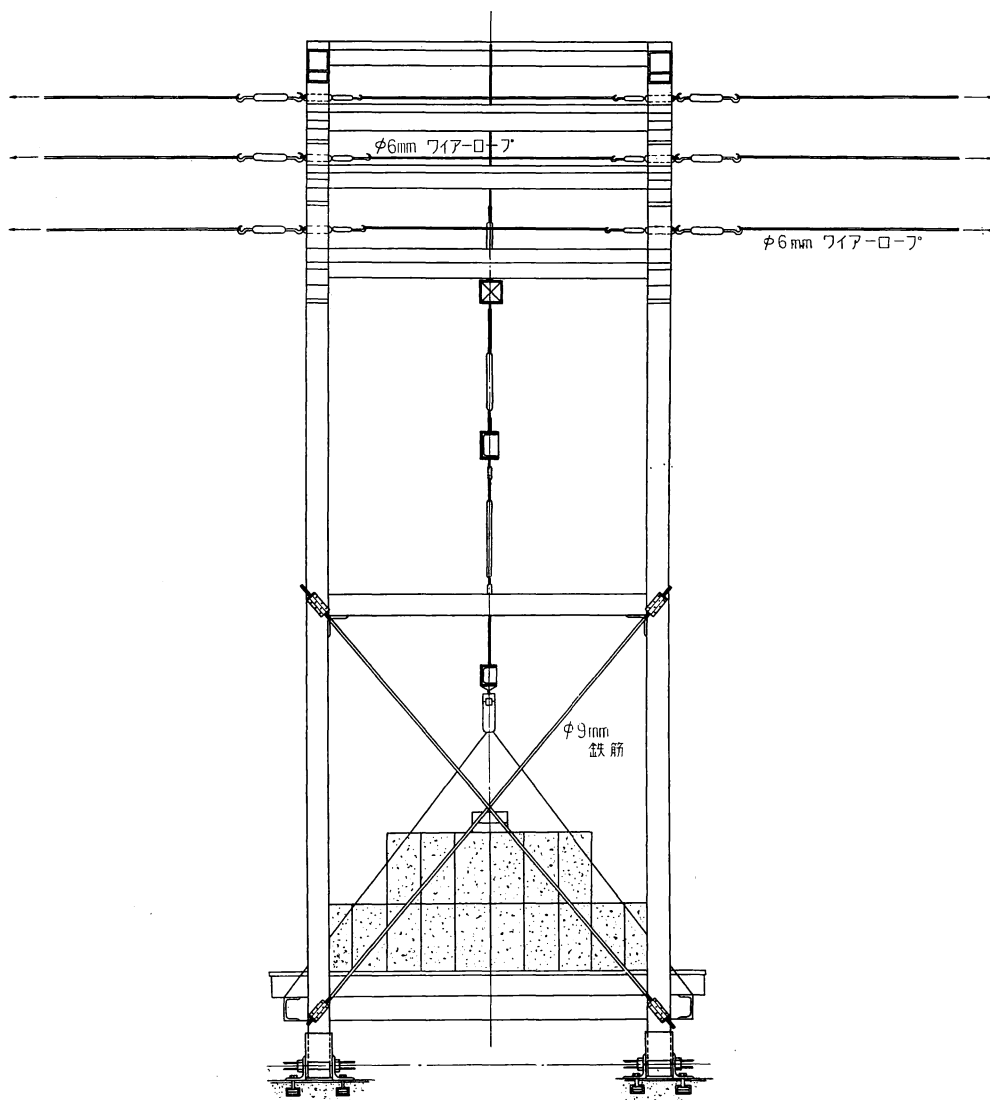


Fig. 4.1-1 実験装置側面図
Side view of testing apparatus

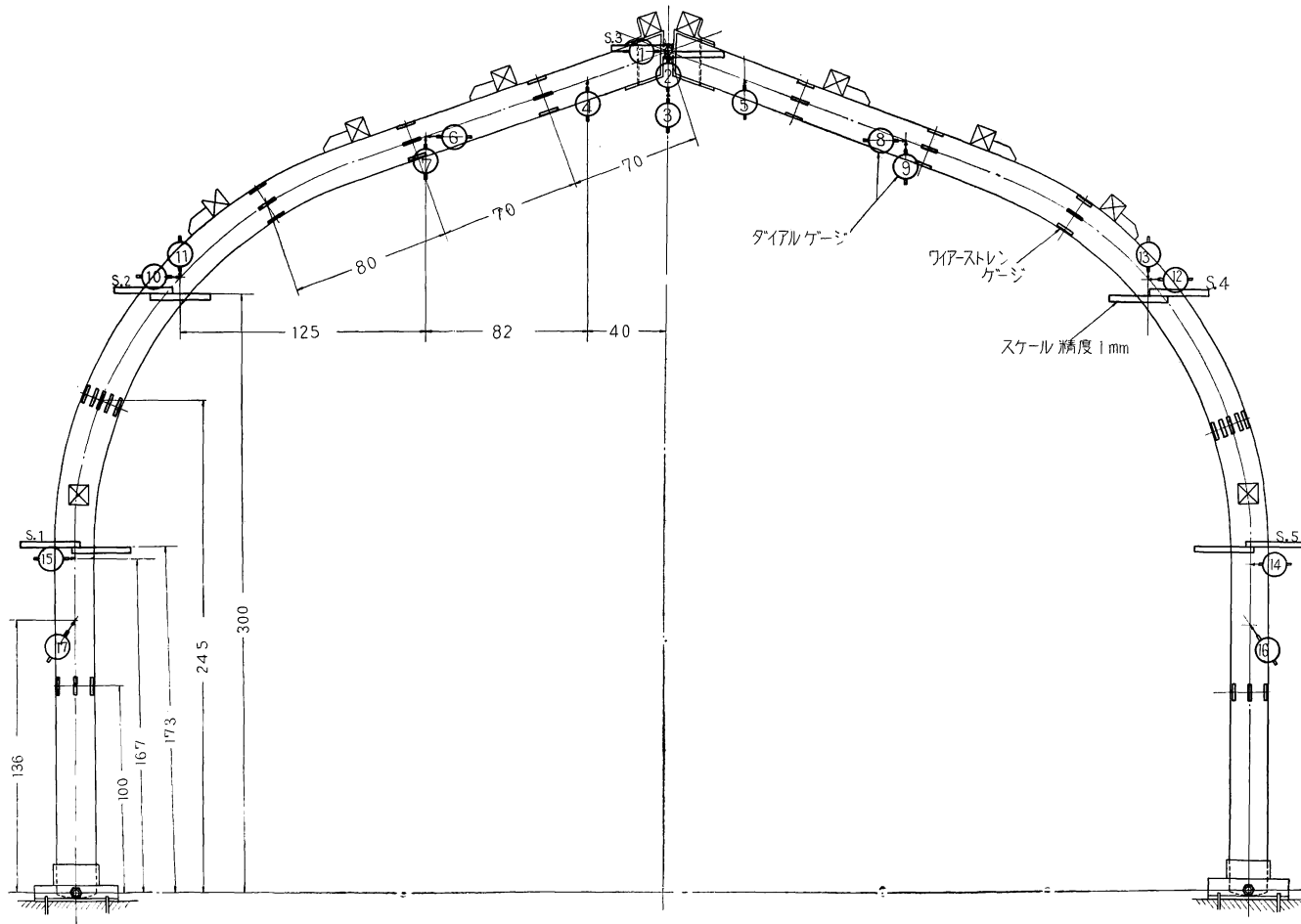


Fig. 4.1-3 ダイヤルゲージおよびストレーンゲージ取付位置 Aアーチ
Location of dial gages and strain gages at A arch

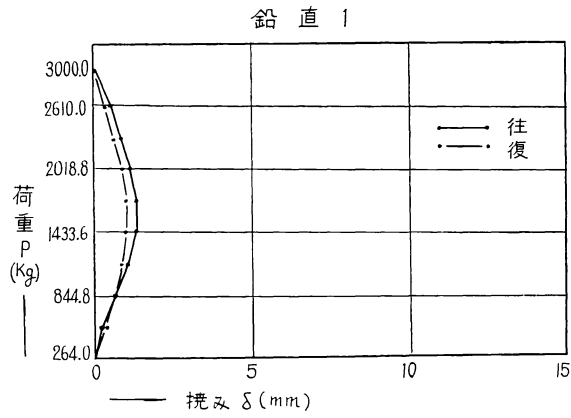


Fig. 4.2-1

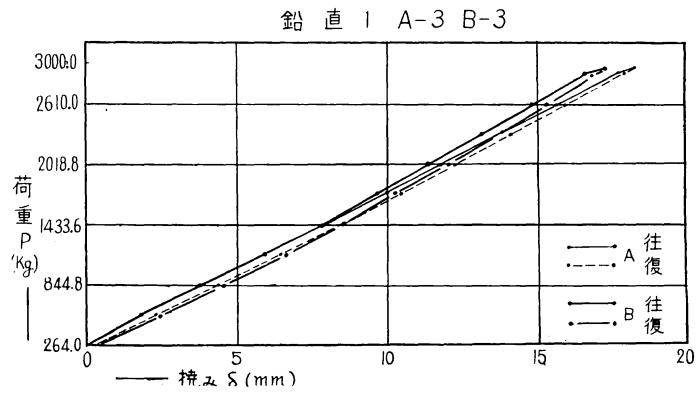


Fig. 4.2-2

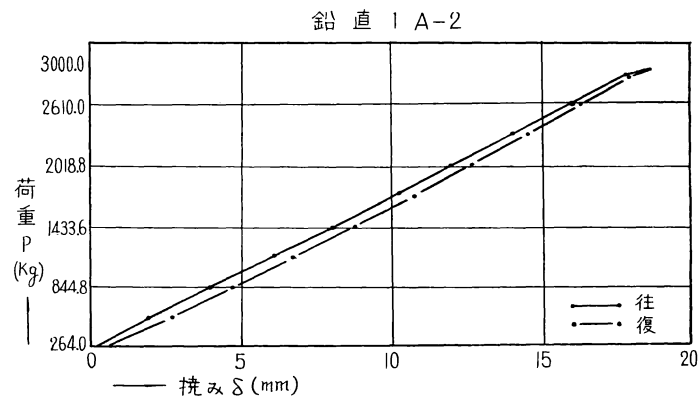


Fig. 4.2-3

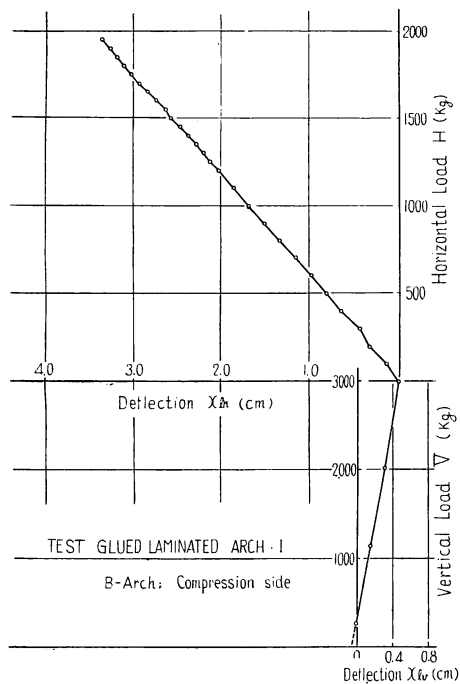


Fig. 4.3.

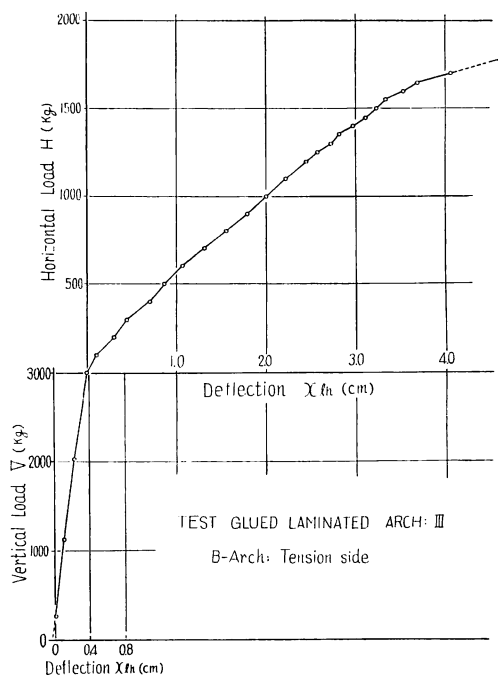


Fig. 4.4.

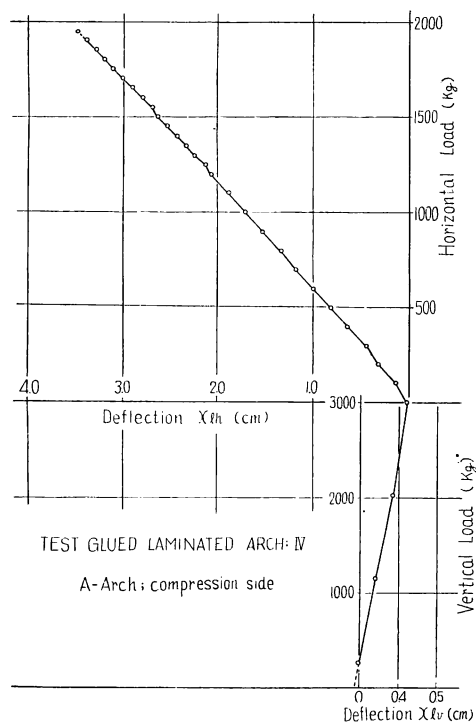


Fig. 4.5.

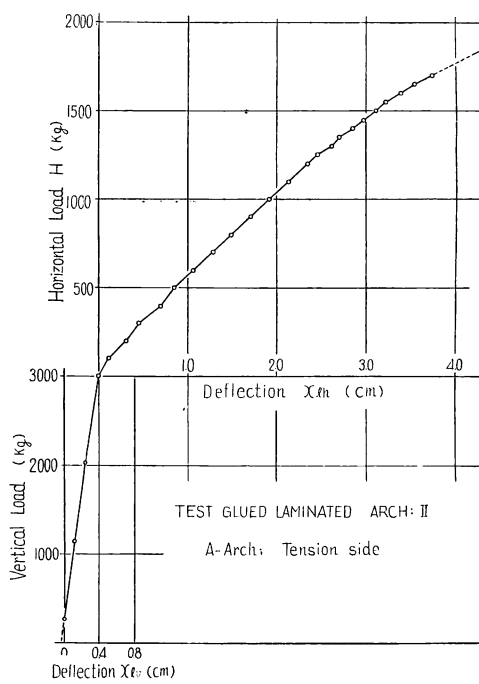


Fig. 4.6.

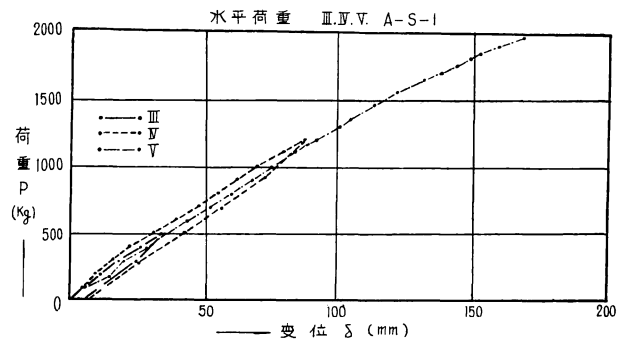


Fig. 4.7-1

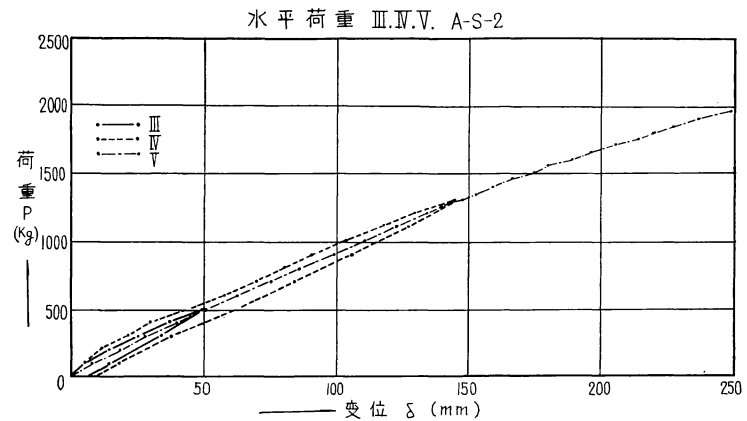


Fig. 4.7-2

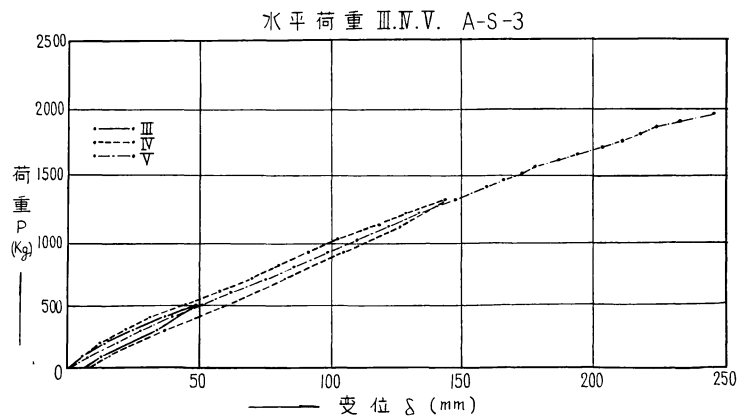


Fig. 4.7-3

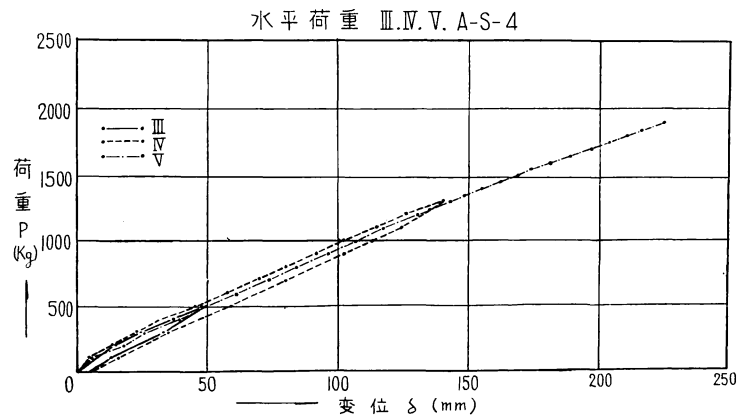


Fig. 4.7-4

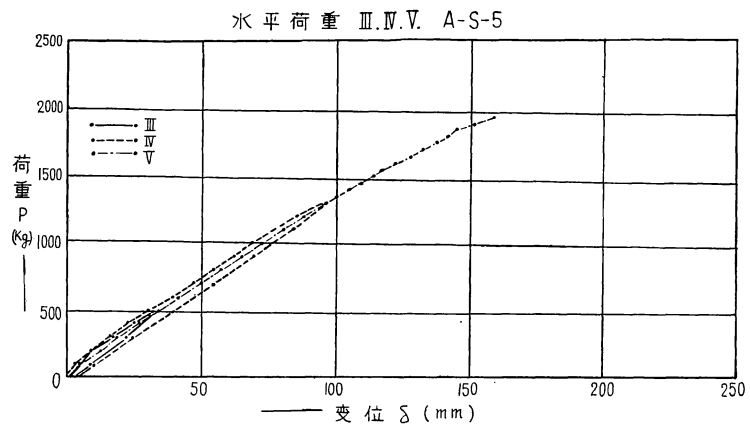


Fig. 4.7-5

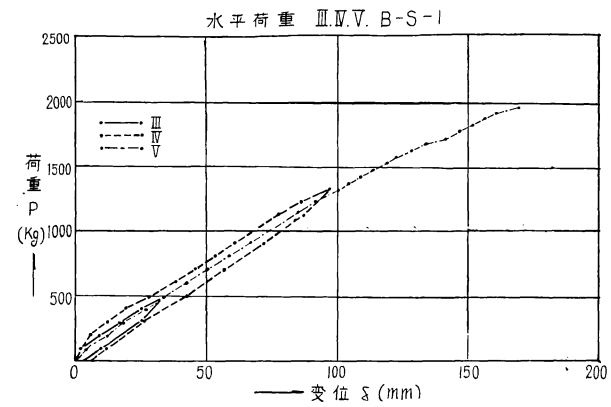


Fig. 4.8-1

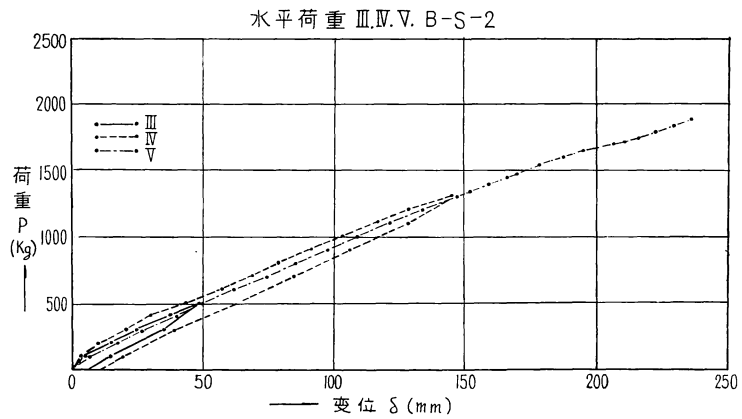


Fig. 4.8-2

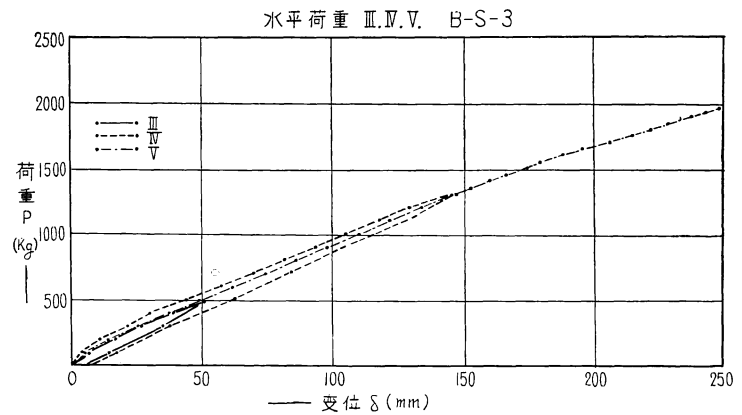


Fig. 4.8-3

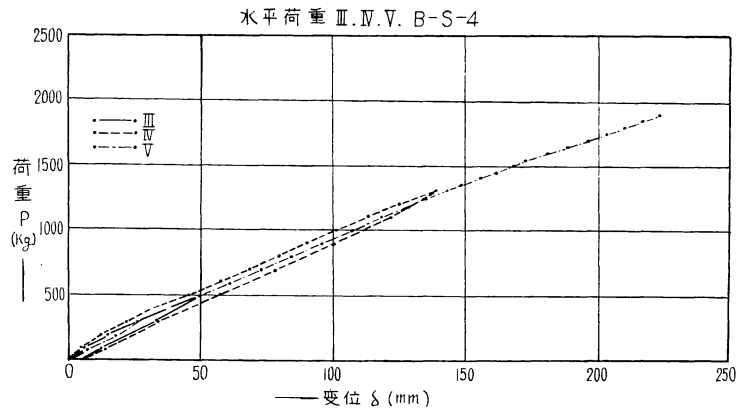


Fig. 4.8-4

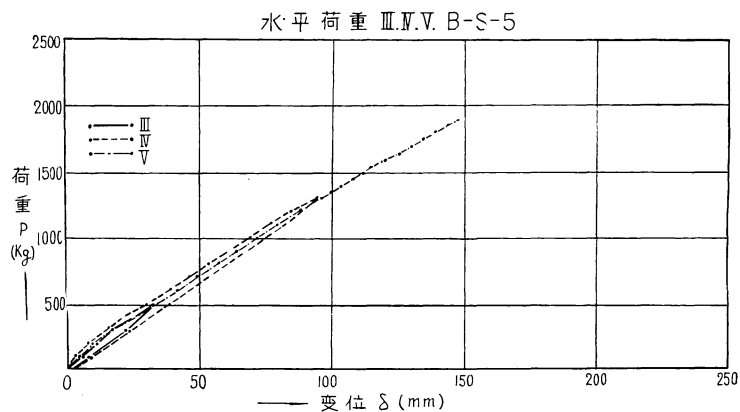


Fig. 4.8-5

5. む す び

以上のべてきた彎曲集成材の製造および性能試験の結果を、次のようにむすぶことができる。

1. 接着の困難とみなされていたアカマツ材にはレゾルシノール樹脂およびカゼイングルーが最適であることを見い出した。
2. アカマツ材に含有するアビエチン酸とレゾルシノール樹脂との間には化学結合が存在することが紫外線吸収スペクトルの結果から推定される。
3. 接着に関する予備試験において決定した塗付量、堆積時間、圧縮圧力、硬化条件を用いて、ラミナ 13 枚を接着して断面の幅 10 cm、高さ 20 cm、長さ約 6 m、曲率 1.8 m の彎曲集成材を作製し、その初期接着性能は予備試験の結果と全く一致したので、実験室的試験の工場規模への応用性について確信をえた（なお接着耐久性については試験中である）。
4. 「はねもどり」はきわめて少ないが、治具設定に当り考慮する必要がある。
5. この試験における製造条件のもとでは、原料挽板の強度性能から、彎曲集成材の剛性と強度とを理論的に推定することのできる見とおしをえた。

6. スカーフ接手のために、この彎曲集成材の剛性や強度が低減されることはないものと思われる。

7. この集成材の程度の曲率では、とくに「曲り材」としての条件を適用しなくても、実用的な程度でその剛性を計算することができる。

8. 3 鉸節アーチ構造試験の結果では、その剛性と破壊荷重とをかなり正しく推定することの見とおしをえた。

これらのことから、従来木構造においては、その剛性や強度を推定することなどは、ほとんど及びもつかなかつたのであるが、この集成材構造を用いることによつて、きわめて明るい見とおしをもつことができるものと思われる。このことは、少なくとも木材を構造部材として利用するかぎり、重要な意義があり、この試験が将来の集成材構造の発展にたいし、1つの基盤となりうることを確信するものである。

しかし、この彎曲集成材の製造条件にしても、これを利用するための強度的資料にしても、まだわが国では皆無の状態であるので、これらの作成に努めなければならない。これを実施するのはわれわれの急務である。

本試験を実施した経験によつて今後解決しなければならないと思われる問題点を次ぎに列挙しておく。

1. 集成材に使用する樹種を選定し、これらにたいする製造基準の確立、とくに、現場に即応した条件の発見、用途に応じた接着剤の選定とその使用法の決定。

2. 最小安全曲率半径の材質の見地からの定義とその実用値の決定法（本研究において一応の仮説的取扱いをしたが、その正否をもあわせて実証すべきである）。

3. 彎曲集成材横断面構成挽板の初応力による剛性および強度等の低減度に関する実用算出式の決定（これについても本研究においてある仮説をたてたが、その正否を検討しなければならない）。

4. とくに、彎曲集成材の彎曲部における初応力の緩和についての実験的検討。

5. 深くて曲率のかなり大きな彎曲集成材にあつては、その放射応力の影響はとくに縦横の引張強度にいちじるしい異方性をもつ針葉樹などのばあいにも重要である。

6. 原料挽板の強度等級区分方式と、異等級材の組合せによる集成材の強度等級のあらわれ方と評価方法を確かめること。

7. 集成材クリープ限度の決定、その主要なものは曲げクリープ限度とメリ込みクリープ限度である。

8. 集成材相互間の接合条件と接合方法を検討し、その接手有効率をもとめること。

9. とくに彎曲集成材の彎曲中央部における添材加工方法とこれによる剛性および強度の増加率を実験的に検討すること。

6. 摘 要

この研究は彎曲集成材を試作して強度的性能を求め、建築研究所と建築学会木構造分科会の集成材小委員会の協力のもとに、これを用いた2連の3鉸節アーチ構造としての剛性および破壊試験を行い、これらに関する資料を作成して、今後における集成材利用の見とおしをうるために行つたものである。

彎曲集成材にはアカマツ材を用い、原木から挽板、乾燥、加工の工程をへ、レゾルシノール樹脂接着剤を用いて彎曲接着して作成したが、この間予備実験によつて製造条件を求めた。その主なものは次のとおりである。

1. アカマツ材にはカゼイングルーとレゾルシノール樹脂とが適当であつた。この試験では、試作され

た集成材を今後も暴露試験するため、レゾルシノール樹脂を用い、これにたいする接着上の条件を求めた。

2. これらの諸条件は実験室内で求めたものであるが、これを断面 $10\text{ cm} \times 20\text{ cm}$ の長さ約 6 m の彎曲集成材作成のために適用して試作し、接着性能を試験した結果はきわめて良好であつた。これによつて実験室の成果を製造技術に適用しうることを見いだした。

3. 彎曲集成材を作るときの「はねもどり」は僅少で、実用的にはほとんど問題にならない程度であつた。

また、この彎曲集成材の強度試験を実施した結果、集成材を構成する挽板の強度性能をすれば、彎曲集成材の剛性と強度とをほぼ推定しうる見とおしをもつことができた。

さらに、4本の彎曲集成材を建築研究所において2連式3鉸節アーチ構造物に組み立て、構造物としての剛性と破壊試験とを実施したが、その結果は計算値とほぼ一致した。

このことは十分の信頼性をもつて木構造の設計ができることを意味すると考えられる。

文 献

- 1) DIETZ, A. G. H.: Engineering Laminates, (1949)
- 2) 堀岡邦典: 材質改良に関する研究 (第6報), 接着に関与する木材の性質, 林業試験場報告, 89, (1956) p. 105~150
- 3) 堀岡邦典・堀池 清・野口美保子: 材質改良に関する研究 (第3報), 木材の接着機構について (その1), 林業試験場報告, 89, (1956) p. 1~55
- 4) KNOUSS, A. C., SELBO, M. L.: Laminating of structural wood products by gluing. No. D 1635 F. P. L. (1948)
- 5) POWERS, P. O.: Rosin-Modified phenolic Resins, I. E. C. 43, 8, (1951)
- 6) O. E. E. C.: Laminated Timber. (1956)
- 7) SELBO, M. L.: Results of accelerated tests and long-term exposures on glue joints in laminated beams, No. D 1729 Oct. (1948).
- 8) 集成材研究班: 集成材に関する研究 (第1報), 通直集成材の製造およびその材質試験について, 林業試験場報告, 101, (1957) p. 101~176
- 9) West Coast Lumbermen's Association: Standard Specifications for the Design and Fabrication of Structural Glued Laminated Lumber, Douglas-fir. (1951)
- 10) FINNORN, William J. & RAPAVI, Andrew: Safe Bending Radii for Curved Laminates, For. Prod. J. 10, 437, (1956)
- 11) WILSON, T. R. C.: The Glued Laminated Wooden Arch, U. S. A. Tech. Bul. No. 691 (1939)
- 12) 沢田 稔: 木材の強度特性に関する研究, 林業試験場報告, 108, (1958)

Research in Laminated Wood Report II
On the fabrication and properties in respect to its strength and
adhesion of curved laminated wood

The Laminated Wood Research Group

This study was conducted for the purpose of obtaining experimental data of the mechanical properties of curved laminated wood which is the most useful among the materials used in housebuilding, and also that of the mechanical test of the three hinge construction using curved laminated wood, in cooperation with the Building Research Institute.

The investigation is deemed necessary, as basic data available for designing the arch-construction using curved laminated wood has not yet been obtained, since only a few arch-constructions using curved laminated woods have so far been built.

The curved laminated woods used in the mechanical test were made in the pilot plant of the Wood Technology Division of this station, cooperating with members of several laboratories charged with each of the processes of manufacturing the laminated wood, after some preliminary experiment for the purpose of selecting the adhesive to be used, and finding out the adequate conditions for gluing.

The outline of this study is roughly described in the following.

Species used

Akamatsu (*Pinus densiflora* S. et Z.) was used, because this is the most suitable species as the material for building houses in our country, and further, we have the problem of resin trouble to be solved, in order to develop the technique of fabricating laminated wood of Akamatsu.

Preparation of lumber for laminating

The standing trees of Akamatsu in the pine forest in Ibaragi prefecture were selected in preparation for this study, and the logs of the standing trees selected were transported to our laboratory and sawn into mostly flat boards (*cm* in thickness, *cm* in width). These boards were dried to the moisture content of 8.5~10% in the kiln as in the schedule shown in Fig. 2. 1. and surfaced by a planer. The accuracy of the thickness and width of the boards is given in Table 2. 1.

In order to prepare the lamina for laminating wood of 6 *m* long, most of the boards were plain scarf-cut at the end of them in the shape of 1: 12 by means of the machine shown in Fig. 2. 2 and glued at the scarf-cut end using the jigs shown in Fig. 2. 3, after striking a dowel into the center of scarf-cut part to prevent slipping, as shown in Fig. 2. 2.

Minimum safe bending radius of each lamina

The minimum safe bending radius to which the dry, clear, straight grained, scarf-jointed lamina can be bent without injury was calculated from the equation. The limit of safe bending radius in this lamina was about 1,800 *mm*, and this was confirmed with the tests of bending for each lamina using the test method as shown in Fig. 2. 4. The minimum safe bending radius obtained in this test and the basic properties of the

boards used are given in Table 2. 2 and 2. 3 respectively.

Preliminary experiments for adhesion

1) **Selection of adhesive** Akamatsu species is likely to cause resin trouble at adhesion, because of the large amount of natural resin it contains. Experiments were carried out for selecting the adhesion suitable for Akamatsu. The adhesions used in the experiment were casein, urea-formaldehyde resin, phenol-formaldehyde resin and resorcinol-formaldehyde resin, and the results obtained are given in Table 2. 8. This shows that casein-glue joints and resorcinol-formaldehyde resin joints are excellent, while the others are poor. In this case, resorcinol-formaldehyde resins were selected for fabrication of the curved laminated woods with the intention of keeping the laminated wood made here in exposure test as long as possible. It was thought that the suitability of resorcinol resin for Akamatsu is most likely due to the fact that the abietic acid contained in Akamatsu combines chemically to resorcinol-formaldehyde resin adhesive as shown in Fig. 2. 5.

2) **Conditions for adhesion by resorcinol resin** Various tests were conducted in the laboratory to determine the best conditions in the factors affecting the adhesion faculty, such as rate of spreading, assembly time, clamping pressure and curing process. The results obtained are shown in Table 2. 8~2.16. From these results, the adequate conditions for gluing operation were selected as shown in Table 2. 17.

Fabrication of curved laminated woods

The normal form and the dimension of the curved laminated wood fabricated are shown in Fig. 2, 6. Eight curved laminated woods of the normal form which is the uniform cross section were fabricated using the equipments shown in Photo. 2. 5, 2. 8 and 2. 11. On two of these laminated woods were glued the additional members, after finishing the rigidity test within the elastic range, as shown in Fig. 2. 12 (which were called addition S) for the purpose of obtaining the experimental data on the effect of the additional members on the strength properties. One of them was tested on the strength properties and destroyed, the other was glued to the other additional members shown in Fig. 2. 13, after finishing the rigidity test (call addition D).

While the fabricating operations were performed, the following items were measured and recorded. These are, a) moisture content of each lamination, b) rate of spreading, c) assembly time, d) clamping pressure with a torque wrench, e) curing time and temperature and f) dry and wet bulb temperature at the time of adhesion. A sample of the details recorded are shown in Table 2. 18.

The curved laminated woods are likely to spring back after being taken out from the jigs to which the lamination lay-out were clamped at the time of adhesion. The amount of spring-back was measured and the results obtained are shown in Table 2.19. From this result, it was found that the amount of spring-back was not so large as to be considered.

Tests of adhesion quality of curved laminated woods

The adhesion qualities of the laminated wood were tested by the dry block shear test....initial property of adhesion....and delamination test, the test pieces being cut from the edges of both sides of the wood. The dry block shear test was performed by ASTM D-805-53 and the delamination test by ASTM D-1101-55, which are the same methods as reported). Table 3. 1, Photo. 3. 1 and 3. 2 show these results,

From these results, it was recognized that the quality of adhesion of the curved laminated woods fabricated here was excellent.

Strength tests of curved laminated wood

The tests on the strength properties of the curved laminated wood were carried out in as far as possible the same conditions. The tests were 'transverse test' and 'endthrust test' as shown in Fig. 3. 2, Phot. 3. 3 and 3. 4.

In the case of transverse tests, the vertical deflections at the measuring points of a test member were computed by the equations (3.16) and (3.17), and the horizontal deflections by the equations (3.13) and (3.14).

In the endthrust tests, the vertical deflections of a test member were computed by the equations (3.19) and (3.20), and the horizontal deflections by the equations (3.22) and (3.23).

These computations were based on the assumption that the deflection curve could be represented as a sine curve as in the equation (3.1) and (3.2).

The agreement, in this case, between the computed and the observed deflection was satisfactory, as shown in Table 3. 4 to 3. 6.

The radial stresses at the center or the other points of test members were observed by the electric strain-meter as shown in Fig. 3. 3 and Phot. 3. 5. The strain-distribution curves are represented as in Fig. 3.4 to 3.7, Fig. 3.8 and 3.9 show the load-deflection curves of both transverse and endthrust tests of the curved laminated wood.

In the strength tests, the effect of initial stress in curved portions of the test members does not appear as to be clear, but in the endthrust test the strength was considerably affected by the curvature.

The curvature factor in this case was assumed to be represented as in the equation (3.27), but the equation has not yet been compared with experimental results.

In the transverse test, the curvature effect was not so great.

The strength and rigidity tests of the curved laminated members, having the additional member S or D, were carried out. The test results were obtained as in Table 3.13 and 3.14.

The effect of these additional members in the bending rigidity appears to be considerably great, but in the strength it appears to be not so.

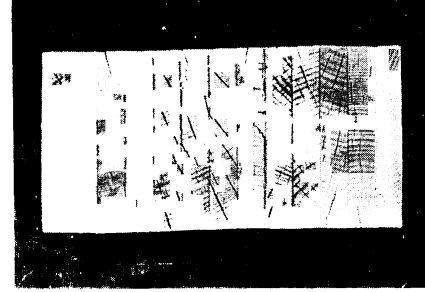
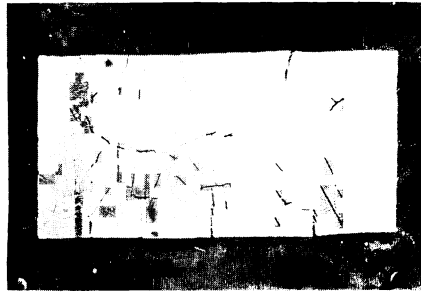
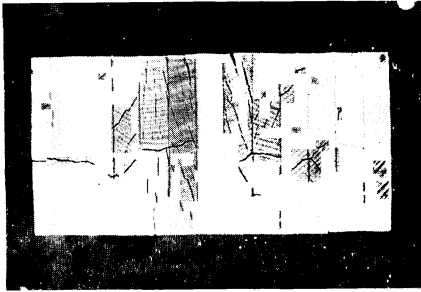
Structural test of the two three-hinged arches

For structural tests the two three-hinged arches were constructed of the four curved members which were experimented on for the bending rigidity above-mentioned. The structural test methods and equipments used are shown in Fig. 4.1 and Phot. 4.1. The vertical deflection was measured loading the vertical weights until the load reached 3,000 kg, and also the horizontal deflection was measured loading the horizontal weights under the vertical weight load of 3,000 kg. This testing construction is planned so as to be destroyed at horizontal load of 2,000 kg.

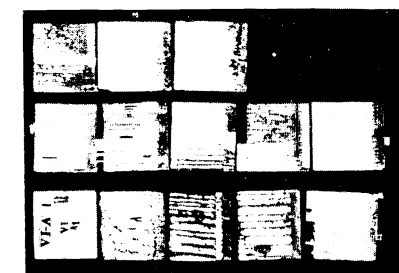
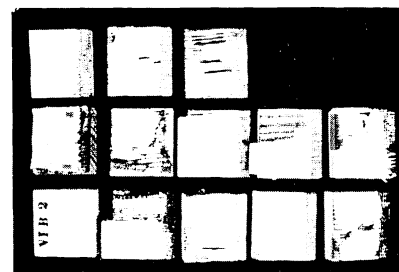
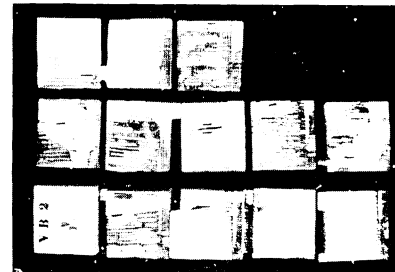
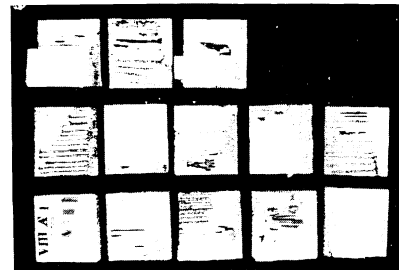
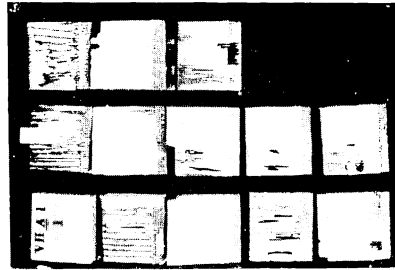
The load-deflection curves obtained at the various points of this construction are shown in Fig. 4.3~4.8. Table 4.1 shows the bending moment used in the members.

The vertical and horizontal deflections in various points of the test arches were calculated in application of the results obtained at the rigidity tests of the curved laminated members. The agreement between the calculated and observed deflection was satisfactory.

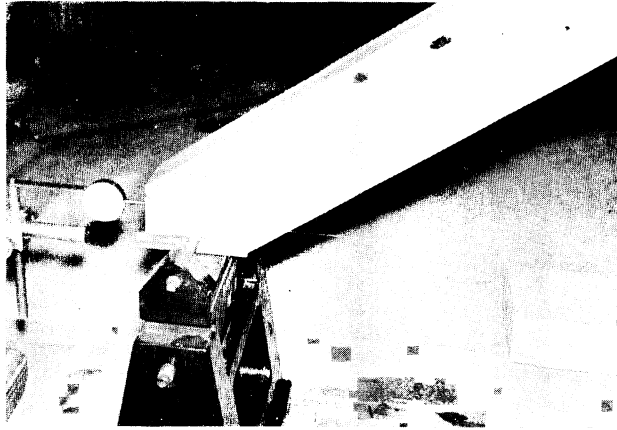
Finally, the three-hinged arch construction was destroyed at the horizontal weight of 1,950 kg. This observed strength agreed quite well with the calculated values using the curved member's results. Phot. 4.2 shows an aspect of the failure destroyed by structural test.



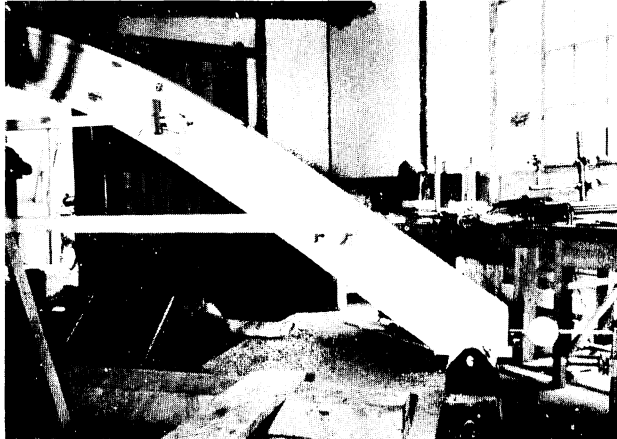
Phot 3.2. 剝離試験片
Specimens after delamination testing



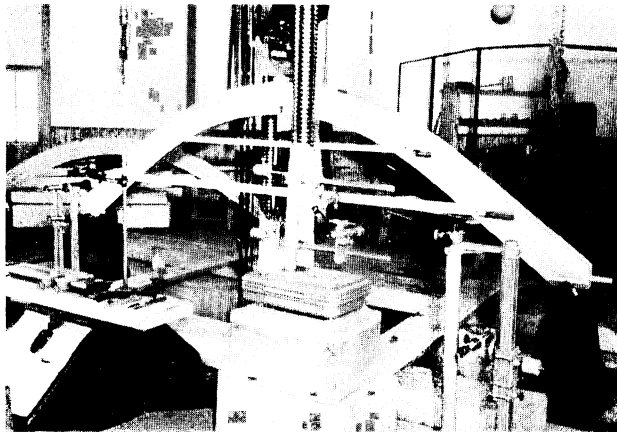
Phot. 3.1. 木部破断の状況
Appearance of wood failure of specimens after block shear testing



1. 端部支持点 (自由) End support (free)



2. 撓測定法 Measurement method of deflections

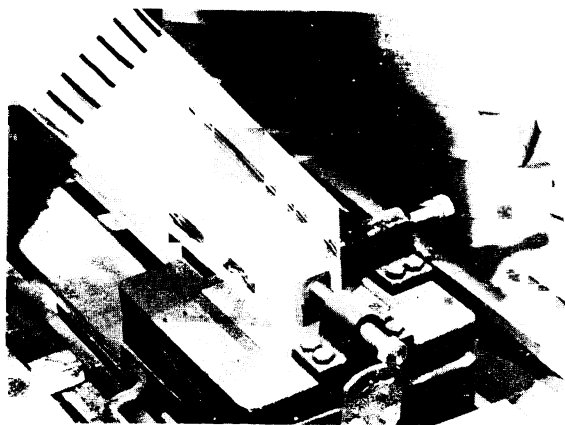


3. 梁試験装置 Bending test apparatus

Phot. 3.3. 梁試験装置
Bending test apparatus

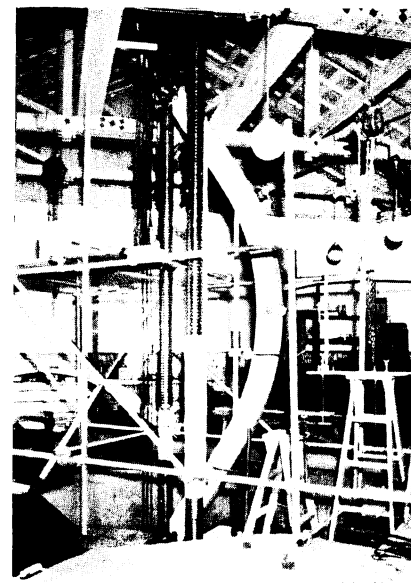


1. 頂部 (ナイフ・エッジ)
Top (knife edge)

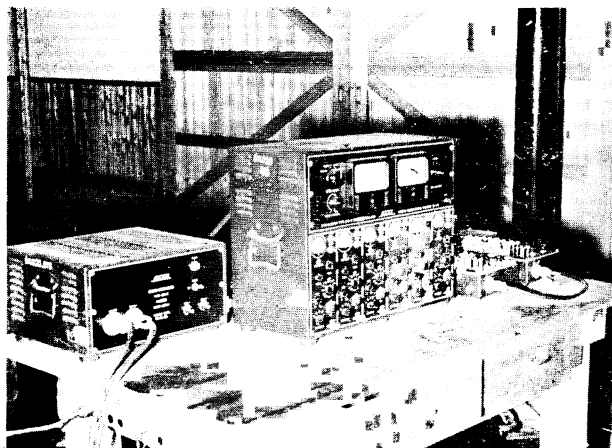


2. 基部 (ナイフ・エッジ)
Bottom (knife edge)

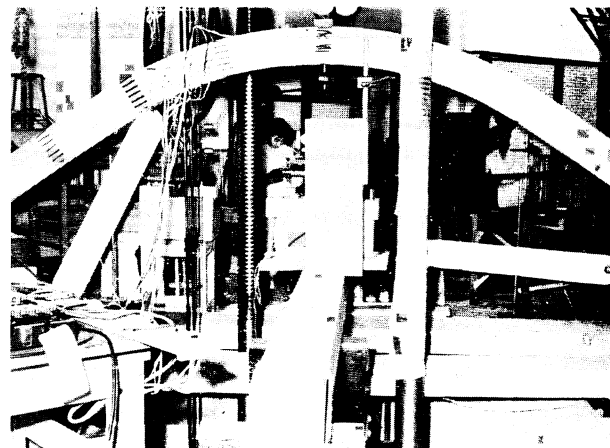
Phot. 3.4. 柱試験装置
End thrust test apparatus



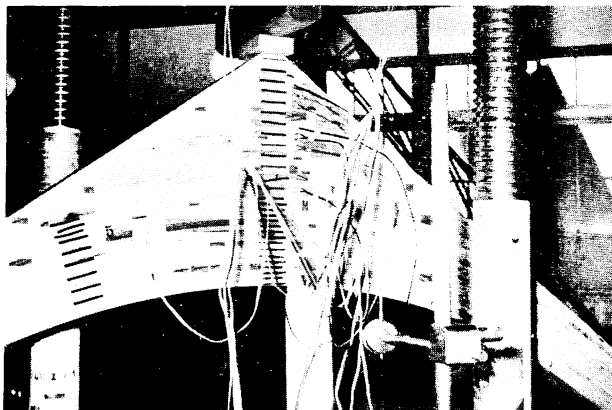
3. 撓測定法
Measurement method of deflections



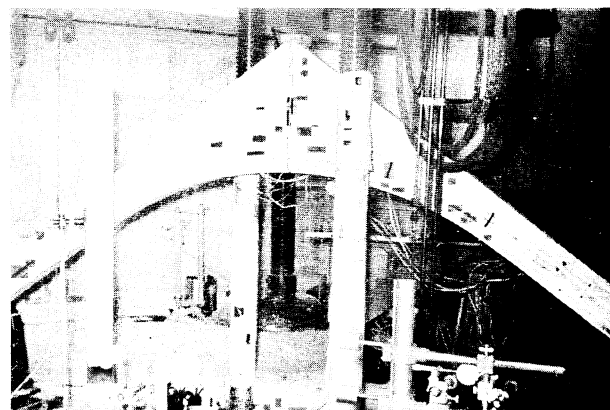
1. ストレンメーター
Elastic strain meter (DS 6-R)



2. 梁試験におけるストレンゲージの位置
Strain gauges at the face of bending test specimen

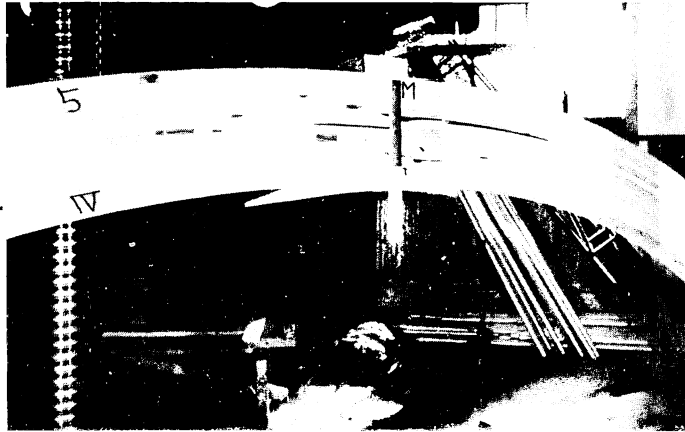


3. D補強材のセンイ歪の測定
Measurement of fiber strain at the center
of D-arch (V-BD 460)

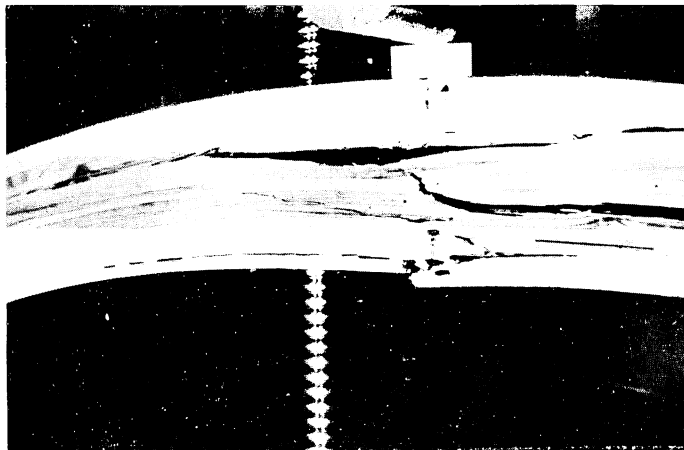


4. 放射歪の測定
Measurement of radial strain at the center
of D-arch (V-BD 460)

Phot. 3.5. 歪ゲージによる測定法 (DS 6-R)
Measurement method with elastic strain meter (DS6-R)



IV-B 460



I-B 460

Phot. 3.6. 梁試験における破損形態
Type of failure in static bending test

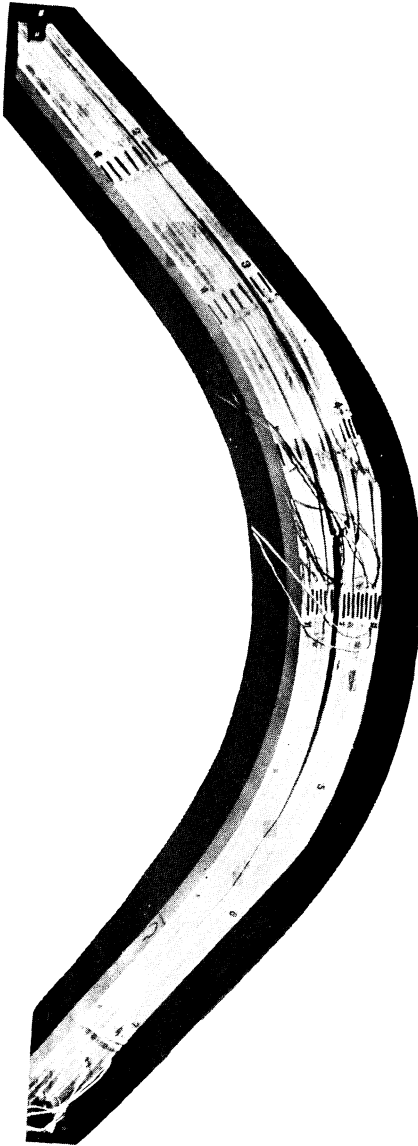


1. (VIII-C 460)

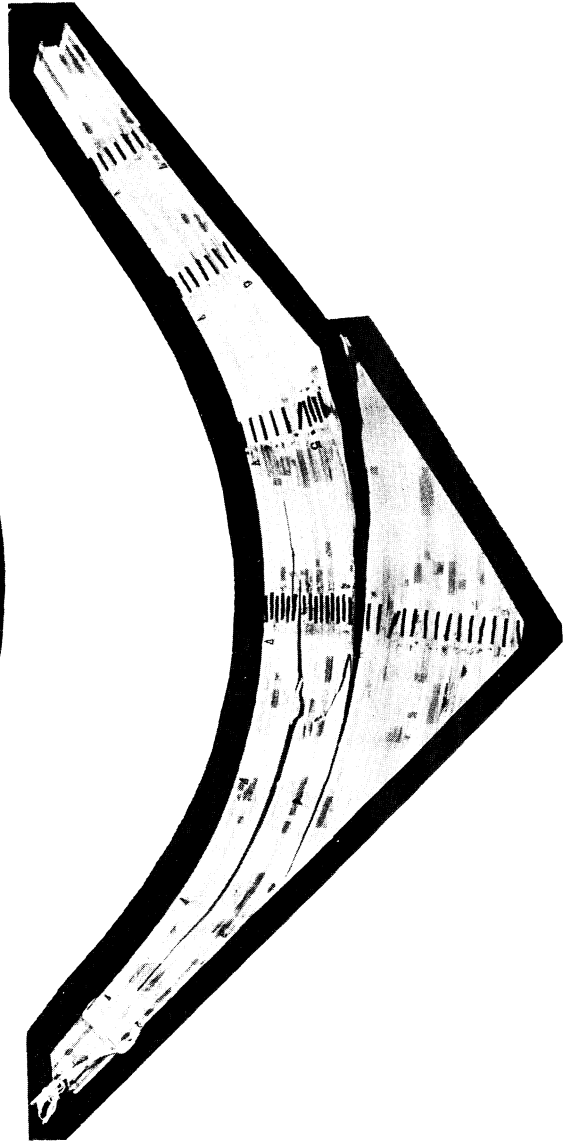
Phot. 3.7. 柱試験における破壊形態
Types of failures in end
thrust tests.

1. VIII-C 460
2. VII-C 460
3. VI-C S 460
4. V-C D 460

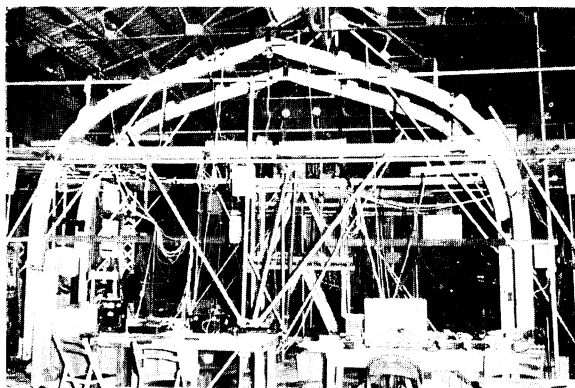
2. (VII-C 460)



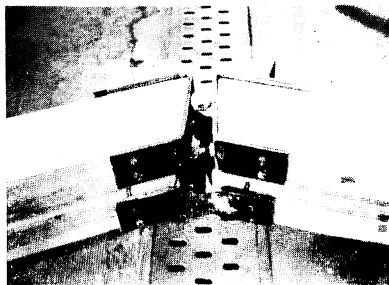
3. (VI-C S 460)



4. (V-C D 460)



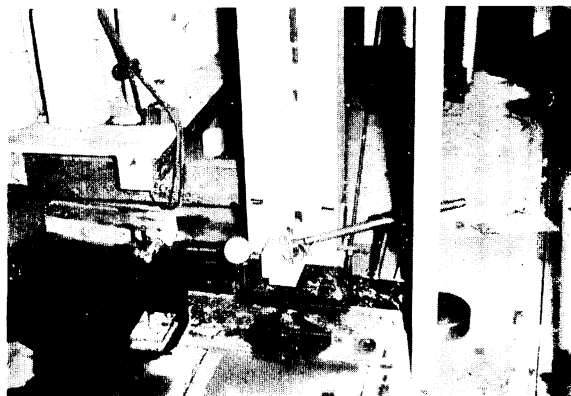
1. 3鉸節アーチ
Three-hinged wooden arches



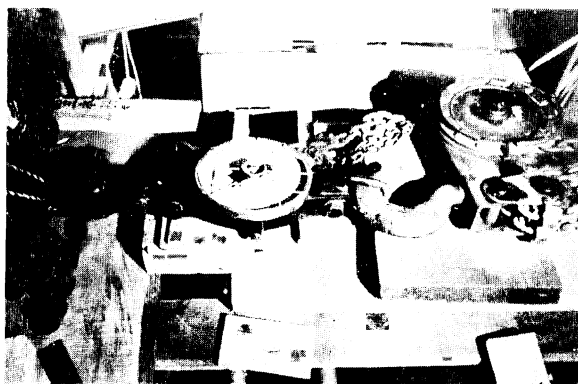
2. 頂部のヒンジ
Hinge at the top



3. 基部のヒンジ
Hinge at the bottom

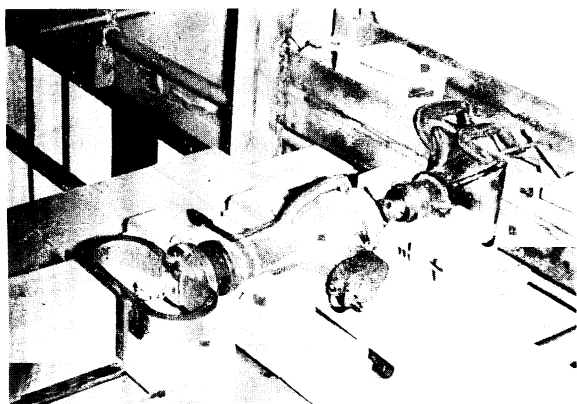


4. 基部のヒンジ
Hinge at the bottom

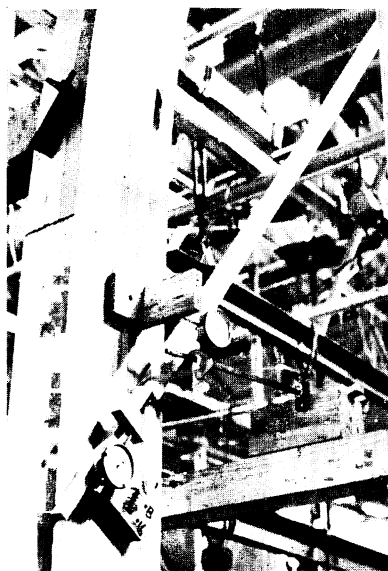


5. 張力計 (水平荷重用)
Tension meter (for horizontal force)

Phot. 4.1. 3鉸節アーチ構造試験
Structural test of three-hinged wooden arch



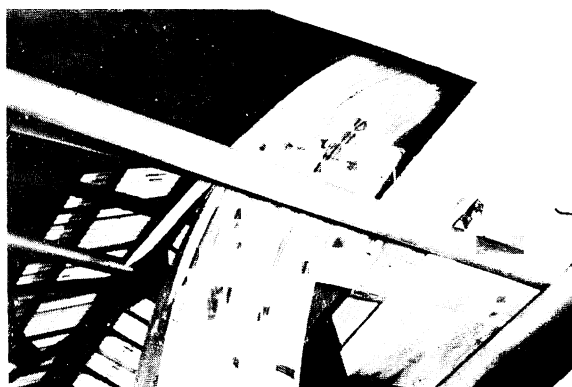
6. 圧力計（水平荷重用）
Compression meter (for horizontal force)



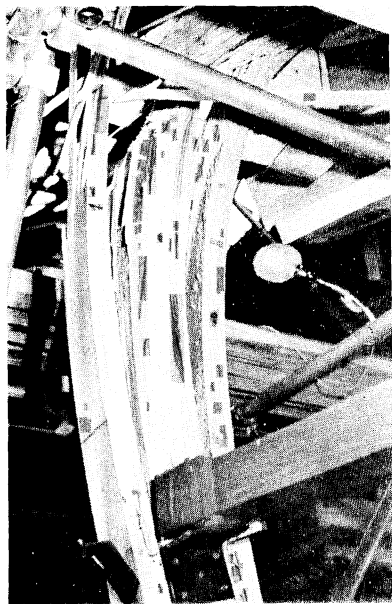
7. アーチにおける撓測定法
Measurement method of deflections at
the one side of arch



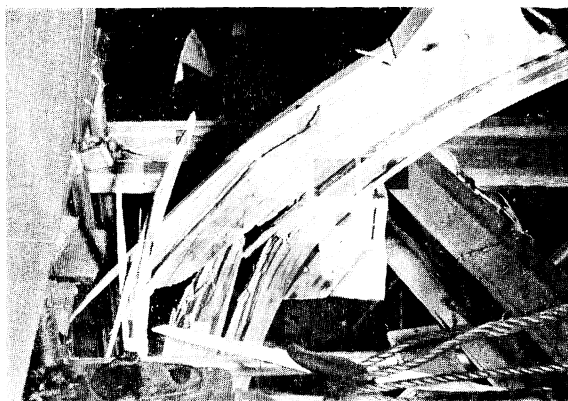
1. 初期破損
Initial failure



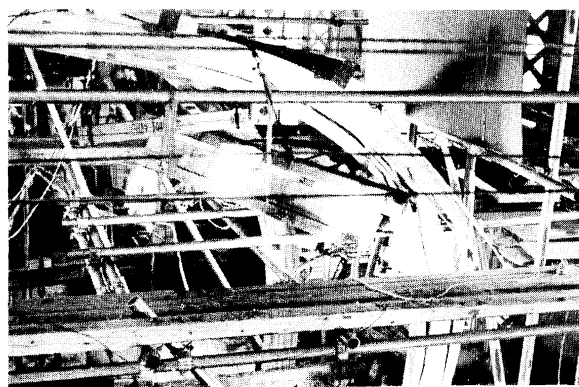
2. 破損の発達
Development of failure
Phot. 4.2. アーチの破損状況
Development of failure at the arch



3. 完全破損
Complete failure



4. 完全破損
Complete failure



5. 完全破損
Complete failure