

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

集成材研究班⁽¹⁾

目 次

I 緒 言.....	102
II 集成材用挽板の調製.....	103
1. 原木の採集.....	103
2. 挽板の製材木取.....	104
3. 挽板の乾燥.....	105
4. 挽板の鉋加工.....	107
III 集成材の断面構成と接着加工.....	109
1. 挽板の選定.....	109
1.1. 挽板の性状.....	109
1.2. 挽板の強度.....	116
2. 接着加工.....	130
2.1. 接着剤.....	130
2.2. 接着加工.....	133
IV 集成材の性能試験.....	137
1. 接着性能試験.....	137
1.1. ブロック剪断試験.....	137
1.2. 接着耐久性試験.....	138
1.3. 接着性能試験結果の総括.....	143
2. 強度試験.....	145
2.1. 集成材梁の強度試験.....	145
2.2. 集成材梁の強度分析試験.....	150
2.3. 強度試験結果に対する考察.....	160
2.4. 集成材梁の強度試験結果の総括.....	161
V 摘 要.....	161
文 献.....	168
Résumé.....	169

(1) 木材部

I 緒 言

木材の利用上、近年もつとも著しい発達をもたらしたものの一例として接着技術の進歩がある。それによつて、種々の改良木材、たとえば集成材（挽板積層材）、耐水性合板、ランバーコア合板、パーティクルボードなどがあげられる。

この種の発達をもたらした原因のまず第 1 は接着剤の改良である。1925 年に耐湿性のあるカゼイングルーの改良、1935 年には石炭酸系および尿素樹脂接着剤が作られ、さらに 1943 年にはレゾルシノール樹脂接着剤が登場し、またその後の改良によつて常温による接着硬化を可能ならしめ、しかも強い接着耐久性を得ることができるようになったことである。

第 2 は大形優良材の産出が漸次減少して、丸太の径級および品等は必然的に低下し、また天然林材より人工林材へと切換えを余儀なくされている冷厳なる事実に対し、接着により、これらの傾向を克服しようとするためである。

第 3 には木材の需給逼迫に伴つて、木材の高度利用を図るため、挽板を乾燥、切削し、接着集成して、素材に比し反り、割れ、狂いを生ずることを少なくするとともに強度的に信頼性を高め、木材の合理的利用に役だつようしいられてきた。

このような現状と欧米の集成材製造法¹⁾ならびに利用をつぶさに視察調査して帰国された小倉部長の報告にもつぎ、集成材に関する研究の第一段階として、この材料の強度的性能と接着性能とを検討し、集成材を実用化する場合に必要な製造基準および設計資料を作ることを目標として本研究を木材部の共同研究として行つた次第である。

その際に、今日まで海外で行われてきた研究経過をふり出しにもどつて追試することを避け、海外における現行の集成材製造基準²⁾³⁾⁴⁾のつとり、本邦産代表樹種と国内の代表的接着剤との組合せによつて集成材を作製してから、個々の集成材についてその材質試験を行い、集成材の強度と接着性を検討する。

また、この研究においては、集成材用木材を林地における立木の選定採取にまでさかのぼつて検討し、製材木取、挽板の乾燥、挽板の切削加工、挽板の強度チェック、挽板の組合せとデザイン、挽板の集成接着、集成材の材質試験、試験結果の分析検討を行つたもので、従来発表された断片的な研究とことなり、各工程を当時木材部の関係研究室の共同により一貫した立場において研究を進めたものである。

本研究を行うにあつて終始御指導ならびに御援助賜わつた斎藤場長ならびに小倉木材部長に対し衷心より謝意を表するとともに、本研究遂行上協力下さつた木材部関係者に対し厚く感謝する次第である。

この研究を担当した係官の氏名を列記すれば次のとおりである。なお、この研究報告取りまとめの担当者は *印をもつて示す。

集成材担当科長	堀 岡 邦 典*
1. 試験材の選定	沢 田 稔*
	菅 野 襄 作
	山 井 良 三 郎
2. 製材木取	枝 松 信 之*
	菅 野 襄 作
	沢 田 稔

- | | |
|----------------------|---------------------------|
| 3. 挽板乾燥 | 寺 沢 真* |
| | 小 玉 牧 夫 |
| 4. 挽板切削加工 | 中 村 源 一* |
| | 青 山 経 雄 |
| | 斎 藤 真 寿 夫 |
| 5. 加工工程における挽板の測定仕分 | 菅 野 襄 作* |
| 6. 挽板の強度試験 | 沢 田 稔*・辻 完 司・石 川 知 子 |
| | 山 井 良 三 郎・児 玉 芳 郎・近 藤 孝 一 |
| 7. 挽板組合せとデザイン | 沢 田 稔* |
| | 山 井 良 三 郎 |
| 8. 接着直前の挽板測定 | 菅 野 襄 作* |
| 9. 集成接着 | |
| a. 接着剤の性質 | 三 津 川 重 信 |
| b. 集成接着 | 菅 野 襄 作* |
| | 椋 代 純 輔 |
| | 西 原 実 |
| 10. 集成材の材質試験 | |
| a. 試験梁の曲げ試験 | 沢 田 稔*・辻 完 司・石 川 知 子 |
| | 山 井 良 三 郎・児 玉 芳 郎・近 藤 孝 一 |
| b. 試験梁の強度分析試験 | 沢 田 稔*・辻 完 司・石 川 知 子 |
| | 山 井 良 三 郎・児 玉 芳 郎・近 藤 孝 一 |
| c. 剪断接着力試験および接着耐久性試験 | 菅 野 襄 作* |
| | 西 原 実 |

Ⅱ 集成材用挽板の調製

1. 原木の採集

この試験に用いた原木丸太は、強度研究室において実施中の「主要樹種の標準強度試験」のためにとくに林地においてセン木したのから採取した。したがって、各試験木の形質については、充分詳細に調査したが、これに関する事項は別に標準強度試験の結果とともに公表する予定であるので、ここでは概括的な説明にとどめておく。

試験木のうち、トドマツは札幌営林局札幌営林署管内 23 林班（野幌国有林）で、胸高直径 46～67 cm のもの 6 本、エゾマツおよびアカエゾマツは、帯広営林局陸別営林署管内 41 および 47 林班、胸高直径 62～80 cm のエゾマツ 7 本と、55～79 cm のアカエゾマツ 6 本、ミズナラは、同帯広営林局陸別営林署 41 林班で 65～84 cm の胸高直径で 7 本、札幌営林局浦河営林署 18 林班で 76～105 cm 胸高直径のもの 5 本、ヤチダモは、浦河営林署 18 と 19 林班で、胸高直径 59～101 cm のもの 6 本、マカンバは、ヤチダモと同林班で、胸高直径 60～76 cm のもの 6 本を採集、胸高部位から標本円盤を採取し、それより 4 m

長の丸太を 1～3 本玉切つて試験用丸太とした。

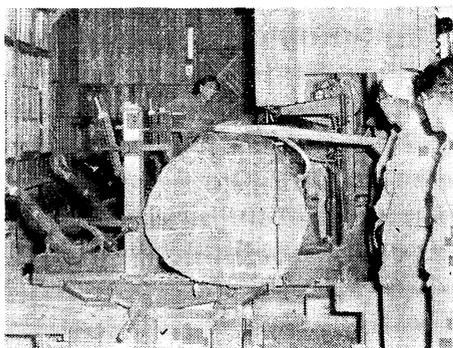
なおブナについては採集の時間に制約を受けているため、秋田営林局生保内営林署から立木処分を受けた秋田木材株式会社の出出材のうちから末口径 48 cm 以上の欠点少なき材を選木し試験に供した。

2. 挽板の製材木取

挽板の製材木取は、当场製材研究室の 42 in 自動送材車付帯鋸機を使用し、木取作業は後述の挽板選定



Phot. 1 集材材用マカバ原木
MAKABA timber used for laminated wood



Phot. 2 挽板の製材木取
Sawing of timber (MIZUNARA, Q₂)

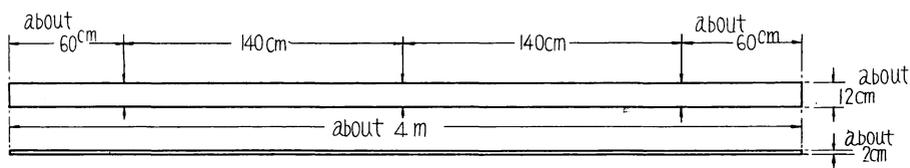


Fig. 1 挽板厚, 巾の測定位置
The measuring points of thickness and width of laminae

Table 1. 製材後の挽板の厚さと巾
Thickness and width of laminae after sawing

Species		MIZU-NARA Q	MIZU-NARA QR	MA-KABA	YACHI-DAMO	TODOMATSU	YEZOMATSU YJ	AKAYEZOMATSU YG
Thickness	Average <i>mm</i>	24.7	25.4	25.3	25.0	25.1	25.3	25.4
	Standard deviation \pm <i>mm</i>	0.8	0.7	0.9	0.7	0.4	0.5	0.8
	Coefficient of variation %	3.24	2.76	3.56	2.80	1.59	1.98	3.15
	Number of measuring	240	62	141	207	63	57	48
Width	Average <i>mm</i>	116	123	117	116	117	121	121
	Standard deviation \pm <i>mm</i>	2	2	3	1	2	2	1
	Coefficient of variation %	1.73	1.63	2.56	0.86	1.71	1.65	0.83
	Number of measuring	240	60	144	213	63	54	40

基準を満足するような挽板を Phot. 1 に示すような原木から歩止りよく木取り得るように欠点部分を逃げ、目切れ材の混入を避ける等の注意をしながら、あらかじめ原木木口に墨付けをし、Phot. 2 に示すように厚さ約 115 mm の板子を採材してから厚さ約 25 mm の挽板を小割りした。Fig. 1 に示す位置において、厚さ 0.05 mm まで、巾 0.1 mm まで測定した結果を示すと Table 1 のとおりである。なお、製材木取の 2, 3 の例を Fig. 2~4 に示した。

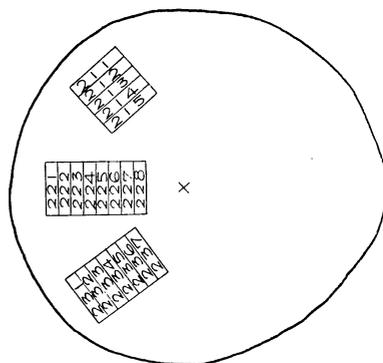


Fig. 2 挽板の採取位置
Conversion of laminae from
log (MIZUNARA, Q2)

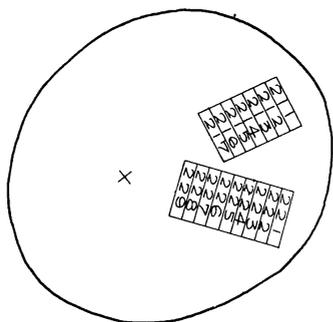


Fig. 3 挽板の採取位置
Conversion of laminae from
log (MAKABA, M2)

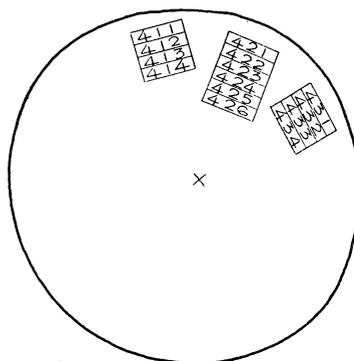


Fig. 4 挽板の採取位置
Conversion of laminae from log
(YEZOMATSU, YJ4)

3. 挽板の乾燥⁵⁾

挽板の乾燥に用いた乾燥室は乾燥研究室にある I. F 型 蒸気加熱人工乾燥室で、約 20 石の容量である。

乾燥材石数に対して乾燥室の容量が大きすぎるため空間部は適当なバツフルで風の通過を防止した。

挽板は (1) ミズナラ (Q), トドマツ, (2) カバ, ヤチダモ, (3) ミズナラ (Q R), エゾマツの 3 回にかけておこなった。乾燥石数, 乾燥日数, 含水率は Table 2 に示すとおりである。

第 1 回の乾燥は Fig. 5 のごとく、まづナラを生材時から直接人工乾燥し、昼間のみの間歇運転ですすみ、末期にいたりトドマツを積み合わせる予定であつたが、2 日目にいたつて操作の手違いからナラ材のうち特定の材に表面割れが生じたので、3 日目は終日蒸煮して救済せんとしたがあまり効果が認められず間歇運転による操作の困難性もあつたので、4 日目より連続運転で乾燥をおこなつた。乾燥 7 日目にいたり、約 6 日間天然乾燥したトドマツを積み合わせ、乾燥末期はふたたび間歇運転をおこない、さきに乾燥したトドマツのみを先に取り出した。

Table 2. 乾燥工程と挽板含水率との関係
Relation between drying-period and moisture-content

Species	Drying volume (koku)	Moisture-content (%)			Drying-period (days)		Remarks
		Before drying	After air drying	After kiln drying	Air drying	Kiln drying	
MIZUNARA Q	6.35	92	—	7.0	0	11	Kiln drying for 4 days was carried out only during office hours
MIZUNARA QR	3.25	84	25	7.5	52	2	
MAKABA	2.38	62	33	8.0	9	3	
YACHIDAMO	3.00	100	55	10.0	9	3	
TODOMATSU	1.88	43	26	10.0	6	3	
YEZOMATSU YJ YG	3.77	—	23	9.0	52	1	

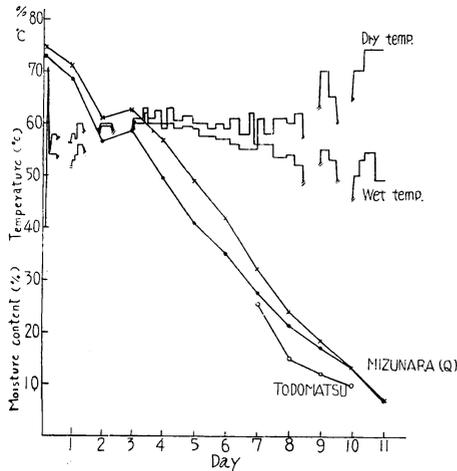


Fig. 5 ミズナラ (トドマツ) 人工乾燥スケジュール
Kiln drying-schedule MIZUNARA (Q), TODOMATSU

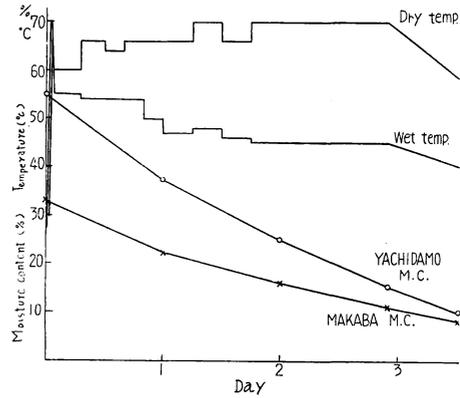


Fig. 6 ヤチダモ, マカバ人工乾燥スケジュール
Kiln drying-schedule YACHIDAMO, MAKABA

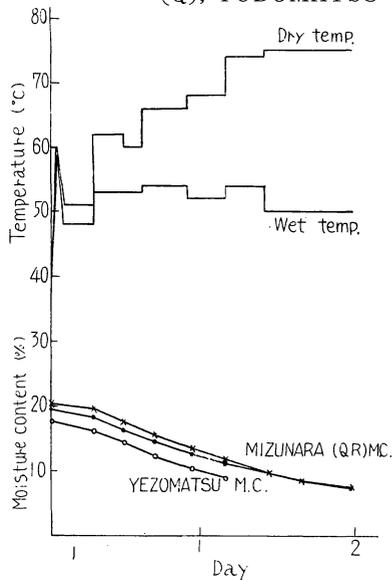


Fig. 7 ミズナラ, エゾマツ人工乾燥スケジュール
Kiln drying-schedule MIZUNARA (QR), YEZOMATSU

第2回はカバ, ヤチダモを9日間天然乾燥し, ある程度含水率を下げてから Fig. 6 のスケジュールで人工乾燥をおこなつた。

第3回はミズナラ (QR), エゾマツをおこなつた。両者とも 52 日間天然乾燥し, その後 Fig. 7 のスケジュールで人工乾燥した。この際エゾマツのみはさきのトドマツと同様乾燥が早く終了したので, ナラ材の乾燥経過中にさきに取り出した。

以上の乾燥仕上り状態については, 第1回ナラ (Q) のうち特定の材をのぞいては総体的に特筆すべき点はなかつたが, 特定の材は巾収縮が2割前後あり狂いもかなり多かつた。この原因について調べるため, 組織および乾燥操作の面から爾後に2, 3の観察, 実験をおこない一応次のような結果を得た。

1. 組織的に (1) 射出髄線の数が多く, 板目方

向における髄線柔細胞の含む割合が多い。(2) 比重は特に高いものでない。

2. 操作の面から (1) 天然乾燥を予備的におこなった場合は収縮が少ない。(2) 乾燥初期に極端に多湿な状態で乾燥すると収縮が多い。

以上の結果から第1回ナラ乾燥操作を批判してみると、柔細胞の多い特種なナラ材が、乾燥初期の高湿条件で柔細胞のつぶれを誘発し、異常収縮を起したものと推察され、正板目木取という特種条件も加わり予知せざる表面割れ、狂い（カツプ）、歩減りが生じたものであろう。

このように考えるとナラ材の乾燥操作にあつては、特種材を事前に選別し、予備乾燥に廻すか、或いは判断が不可能であれば可及的低温度で人工乾燥し、必要以上の高湿度条件はさけるべきと考えられた。

4. 挽板の鉋加工

挽板の面仕上加工に使用した機械は当场加工研究室設備の三方削鉋機械（ウロコ製作所 1936 年製）である（Phot. 3）。本機の主要性能諸元および標準的作業は次に述べるとおりである。

カッターヘッド：直径4 $\frac{1}{2}$ "、廻転数 2,800～

3,800 r.p.m, 刃数 4 枚

切削角：40°

送り速度：20～30 feet/min

原動機：7.5 HP 中間軸より 4" ベルトで駆動

ナイフの取付け調整： $\frac{1}{100}$ mm 可読セツテ

ングゲージを使用し刃先円を可及的正確に

なるよう調整したが、 $\frac{1}{100}$ mm 以下の精度

を得ることは実際作業上困難であつた。

切込量：挽板の切削前の厚さの大小および乾燥による反り・振れ等を考慮し、予備的粗切削においては

切込量を 1.0～1.5 mm、仕上切削においては 0.5 mm 程度とし表裏 4～8 回の切削を実施した。

挽板の面仕上精度について

一般にプレナーの面仕上精度はナイフマーク (knife marks) の時当り数により判定される。これは次式により求められる。

$$\text{Knife marks in inch} = \frac{cn}{12f}$$

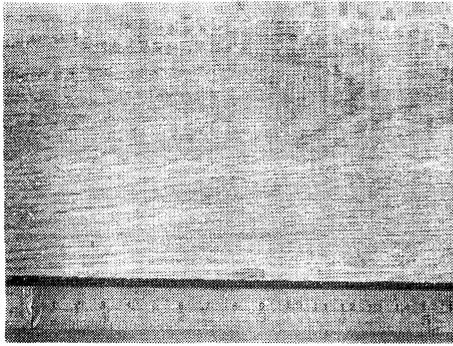
c：ナイフ数 n：廻転数 (r.p.m.) f：送り速度 (feet/min)

使用した機械について計算すればナイフマークの時当り数は約 42 になるはずであるが、測定値は 16～23 の範囲であつて、実際に切削に関与する有効ナイフ数は 4 枚のうち 2 枚だけと考えられる。この原因はカッターセツテングの調整・カッターヘッドの動的バランス・真円度・軸承の精度および振動・切削時のナイフの安定度等が重要な因子であつて、要は機械自体とナイフセツテング操作の精度に支配される。しかしながら、この加工作業で得られたナイフマークの数はプレナー仕上げの実用的標準において上位にあり⁶⁾、接着面としてほぼ満足すべき程度と考えられる。なおナイフマークの深さは次の実用式により計算される⁷⁾。

$$\text{Height of knife marks} = \frac{36f^2}{Dn^2c^3}$$



Phot. 3 挽板の鉋加工
Surfacing of laminae



Phot. 4 ナイフマーク
Knife-marks (MIZUNARA Q)

D : カッターヘッド直径 f, n, c : 前式のとおり

この式で計算すれば、刃数を 2 としても 5 μ 以下であつて木材の細胞構造にもとづく固有の粗さ以下となるから接着作業にはもちろん影響がないとみなして差し支えない (Phot. 4)。

なお、面仕上精度について観察された事項を列記すれば次のようである。

(1) ナラ・ヤチダモはナイフマークが肉眼的に識別し得るが、エゾマツ・トドマツはやや困難である。

(2) 挽板の両端においては切削が深くくいこみ、いわゆるシヤクレを生ずる傾向が認められたので、上下送りローラー・プレツシアバーの調整を繰り返して作業を行い、その程度をなるべく小さくするようにした。

(3) エゾマツ・トドマツの切削面には chip marks⁹⁾、ナラには raised grain, fuzzy grain⁹⁾ が若干みられたが、顕著なものを除き大部分は許容しうる範囲と認められた。

所要仕上厚さは 20 ± 0.25 mm になるように切削作業を行つたが、切削前の挽板の厚さの大小および乾燥作業による狂い、ことに巾反り (cup), 捩れ (twist) のため仕上厚さは Table 3 に示す結果となつた。なお、仕上厚さは 0.05 mm 可読のダイヤルゲージキヤリパーで長さ方向に約 5 点測定した結果である。

Table 3. 挽板の仕上り厚さ
Thickness of laminae after final surfacing

Species	MIZUNARA Q	MIZUNARA QR	MA-KABA	YACHIDAMO	TODOMATSU	YEZOMATSU YJ	AKAYEZOMATSU YG
Thickness average mm	19.91	20.31	20.32	20.40	20.11	21.24	21.19
Standard deviation ± mm	0.13	0.08	0.10	0.07	0.09	0.10	0.07
Coefficient of variation %	0.65	0.39	0.49	0.34	0.45	0.47	0.34
Number of measuring	631	120	95	180	295	114	90

この結果によると仕上厚さの精度は、変異係数で 0.3~0.7 % の範囲であり、絶対値で約 0.1 mm 程度であつた。浦河産ミズナラは巾反りが著しかつたため、厚さの仕上精度は他材に比べ低い結果を示した。

また、各挽板について厚さむら (1 枚の挽板測点の最大厚と最小厚との差) を計算し、供試ビーム製作用挽板について各ビーム構成挽板ごとに表示すると Table 2 のとおりであるが、これらの数字を海外における集成材挽板鉋加工の基準精度厚ムラ 0.4 mm 以下と比較して表示すると Table 4 のとおりである。

Table 4. 挽板厚ムラの精度
Exactness of thickness

Species	Number of laminae	Number of laminae in standard range	Number of laminae out standard range	Percentage of number of laminae in standard range to total number of laminae
MIZUNARA Q	49	43	6	88
MIZUNARA QR	15	15	0	100
MAKABA	15	15	0	100
YACHIDAMO	23	23	0	100
BUNA	15	10	5	67
TODOMATSU	20	20	0	100
YEZOMATSU YJ	10	10	0	100
AKAYEZOMATSU YG	10	10	0	100

Ⅲ 集成材の断面構成と接着加工

1. 挽板の選定

1. 1. 挽板の性状

(1) 原木の製材に始まり、乾燥工程を経過して、挽板の鉋加工に終る集成材用挽板の調製工程において製材後の挽板に、樹種、産地、原木、木取位置を明示する符号と番号をつけ、工程中の適宜の段階において、原木素性に由来する本来の欠点、および 工程中に生じた 加工上の欠点等を基準として挽板を仕分けし、この試験の目的を満足する挽板のみを選定することとし、同時に Table 5 に示す数量の挽板について寸法、重量、含水率、欠点等を測定、観察記録し、供試ビームの接着に使用した挽板がいかなる挽板グループの中から選定されたものであるかを明らかにした。

Table 5. 挽板の仕分選定経過
Selection of laminae

Process	Species	MIZUNARA Q	MIZUNARA QR	MAKABA	YACHIDAMO	TODOMATSU	YEZOMATSU YJ	AKAYEZOMATSU YG
Number of timber		5	7	5	7	5	7	6
Number of sawn laminae		158	68	55	71	41	52	33
Number of measured laminae after sawing		80	62	48	71	21	19	14
Number of measured laminae after drying		80	62	47	71	21	19	14
Number of laminae used for strength test		57	31	16	30	21	17	16
Number of measured laminae after final surfacing		57	17	16	30	20	17	16
Number of glued laminae		50	15	15	30	20	15	15
Number of glued laminated beams		10	3	3	6	4	3	3

ここに、製材から乾燥、鉋加工にわたって、ビーム製作用挽板を選定した基準を工程別に列記すると次のとおりである。

製材木取後の挽板について

a. 木理

板目挽板を選び追桁がかつたものはこれを除外したが、選定に際して木口面における年輪傾斜度等の測定は行わず、作業者の肉眼的な判定に従った。

b. 欠点

節、腐れ、虫喰、欠け、疵、あな、入皮、脂壺、丸身、木口割れまたは目廻り、変色、あて、目切れ等の顕著な欠点あるものは除外した。

c. 心材、辺材

ブナは辺材のみを選定することとしたが、その他の樹種グループについては、特に考慮しなかつた。

乾燥後の挽板について

乾燥中に生じた、巾反り (cup)、ねじれ、割れ等の顕著なものは除外した。

鉋加工後の挽板について

鉋加工によつて生じた、削り残し、前後のまくれ、逆目削り、ローラーあと等の顕著なものはこれを除外した。

当初の計画では鉋加工仕上げの精度を、挽板厚 20.00 mm ± 0.25 mm、挽板の厚ムラ 0.4 mm 以下、ナイフマークの数 20~30/in としたが、この基準内にはならない挽板も採用することとし、集成材ビーム製作に使用した挽板の加工度は Table 8 に示したとおりである。

(2) 製材後の挽板の含水率

この試験に使用した原木は、いずれも、昭和 30 年 2 月下旬に現地において伐倒し、その後、貨車、あるいは船輸送によつて当场に到着後直ちに製材したもので、その間に水中貯木は行われず、したがつて、ここに記載の挽板の含水率は伐倒後雪に覆われた状態で、3~4 カ月を経過した原木からの製材挽板含水率である。

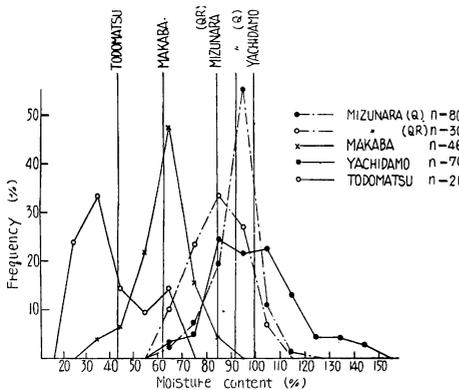


Fig. 8 製材後の挽板含水率

Moisture content of laminae after sawing

$$L = \frac{l_g - l_n}{l_g} \times 100 (\%)$$

ただし、L = 収縮率

l_g = 生材のときの寸法

l_n = 人工乾燥終了後の寸法

面積収縮率

(3) 挽板の収縮率

I. 3 に記載の乾燥工程中 Fig. 7 と同一箇所において、1. と同じ精度で挽板寸法を測定し、次式により、生材から乾燥終了含水率に至る間の、各挽板の収縮率を計算すると、Table 6 のとおりである。

巾および厚さの収縮率

$$L_A = \frac{A_g - A_u}{A_g}$$

ただし、 L_A = 面積収縮率

A_g = 生材のときの挽板断面面積

A_u = 人工乾燥終了後の挽板断面面積

Table 6. 各樹種ごとの挽板収縮率
Shrinkage percentage of each species

		Species	MIZU-NARA	MIZU-NARA	MA-KABA	YACHI-DAMO	TODO-MATSU	YEZO-MATSU	AKA-YEZO-MATSU
			Q	QR				YJ	YG
Tangential	Average	%	11.2	7.0	5.3	6.0	5.6	2.5	2.4
	Standard deviation	±%	2.5	1.2	0.8	1.0	0.8	0.3	0.2
	Coefficient of variation	%	22.3	17.1	15.1	16.7	14.3	12.0	8.3
	Number of measuring		222	29	140	210	63	57	41
Radial	Average	%	6.0	3.8	4.2	4.2	1.1	1.2	1.3
	Standard deviation	±%	1.5	0.8	0.8	1.5	0.5	0.2	0.3
	Coefficient of variation	%	25.0	21.0	19.0	35.7	45.5	16.7	23.0
	Number of measuring		220	29	141	209	62	55	41
Area	Average	%	15.7	10.5	9.2	9.9	6.5	3.5	3.5
	Standard deviation	±%	3.1	1.3	1.3	1.3	0.9	0.6	0.9
	Coefficient of deviation	%	19.7	12.4	14.1	13.1	13.9	17.1	25.7
	Number of measuring		235	29	141	209	63	57	41

(4) 測定時の挽板の比重

乾燥終了後の挽板について、寸法および重量を測定した結果から、比重を計算すると、Table 7および Fig. 9のとおりである。

Table 7. 挽板の測定時比重
Specific gravity of laminae

		Species	MIZU-NARA	MIZU-NARA	MAKA-BA	YACHI-DAMO	TODO-MATSU	YEZO-MATSU	AKA-YEZO-MATSU
			Q	QR				YJ	YG
Average	(g/cm^3)		0.65	0.62	0.69	0.52	0.39	0.41	0.40
Standard deviation	±(g/cm^3)		0.07	0.05	0.01	0.06	0.04	0.03	0.06
Coefficient of variation	(%)		10.8	8.1	1.5	11.5	10.3	7.3	15.0
Number of measuring			80	30	47	70	21	19	14

Table 8. 挽板の含水率,
Moisture content, specific

Species		MIZUNARA														
		Q I			Q II			Q III			Q IV			Q V		
		Ave.	Min.	Max.	Ave.	Min.	Max.	Ave.	Min.	Max.	Ave.	Min.	Max.	Ave.	Min.	Max.
Mo- isture content	by moisture meter method %	10.6	10.3	11.2	11.5	10.2	13.5	10.9	10.2	11.5	10.9	10.5	11.5	11.2	10.7	11.7
	by oven dry method %	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Specific gravity when measured		0.55	0.51	0.61	0.60	0.55	0.65	0.59	0.57	0.61	0.59	0.56	0.61	0.63	0.60	0.65
Percen- tage of shrinkage	Width %	9.2	8.0	11.1	11.9	10.5	13.0	8.9	7.8	9.7	9.6	9.2	10.5	9.9	9.0	10.7
	Thickness %	6.5	5.9	7.1	6.1	5.1	7.9	4.8	3.7	6.0	4.6	4.1	5.4	5.2	4.8	6.0
	Area %	13.9	10.7	17.0	17.9	15.1	20.6	13.1	11.2	14.5	13.6	12.5	15.3	14.6	13.3	15.4
Thickness after final surfacing	Thickness mm	19.71	19.25	19.85	19.26	18.50	19.50	19.83	19.75	19.85	19.76	19.50	19.90	19.76	19.55	19.90
	Difference of thickness mm	0.37	0.10	0.75	0.19	0.10	0.25	0.20	0.15	0.25	0.21	0.15	0.30	0.29	0.20	0.50

Species		MIZUNARA, QR									MAKABA					
		QR I			QR II			QR III			MI			MII		
		Ave.	Min.	Max.	Ave.	Min.	Max.	Ave.	Min.	Max.	Ave.	Min.	Max.	Ave.	Min.	Max.
Mo- isture content	by moisture meter method %	13.2	12.5	14.0	13.4	12.8	14.3	13.4	12.6	13.7	12.4	12.1	13.3	12.2	12.1	12.2
	by oven dry method %	12.2	11.7	12.5	11.9	11.4	12.6	11.9	11.4	12.6	12.1	11.5	12.7	11.9	11.4	12.6
Specific gravity when measured		0.62	0.55	0.65	0.59	0.56	0.65	0.64	0.58	0.69	0.68	0.65	0.71	0.70	0.65	0.72
Percen- tage of shrinkage	Width %	6.1	5.8	6.4	6.6	4.2	9.0	7.2	6.2	8.7	5.7	5.2	6.2	6.0	4.5	7.6
	Thickness %	3.9	3.6	4.2	3.6	3.0	4.0	3.5	2.6	4.9	4.5	3.6	5.1	4.4	3.5	5.6
	Area %	10.0	9.7	10.5	10.3	9.1	11.6	10.4	8.5	13.3	9.8	8.6	10.7	9.9	7.8	11.6
Thickness after final surfacing	Thickness mm	20.27	20.10	20.43	20.17	20.15	20.20	20.20	20.10	20.25	20.22	20.15	20.30	19.92	19.50	20.25
	Difference of thickness mm	0.13	0.05	0.30	0.15	0.10	0.20	0.16	0.10	0.25	0.19	0.10	0.30	0.19	0.15	0.25

Species		BUNA									TODO-					
		B I			B II			B III			A I			A II		
		Ave.	Min.	Max.												
Mo- isture content	by moisture meter method %	13.7	13.3	14.4	15.5	14.1	17.0	14.3	13.5	15.3	10.2	9.8	11.0	10.1	9.0	10.8
	by oven dry method %	11.8	11.4	12.1	12.8	11.4	13.7	12.1	11.6	12.3	—	—	—	—	—	—
Specific gravity when measured		—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.40	0.39	0.42	0.42	0.38	0.47
Percen- tage of shrinkage	Width %	—	—	—	—	—	—	—	—	—	5.5	5.2	5.9	5.8	4.9	6.6
	Thickness %	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1.2	0.8	1.7	1.0	0.8	1.5
	Area %	—	—	—	—	—	—	—	—	—	6.7	6.2	7.0	6.7	5.8	7.6
Thickness after final surfacing	Thickness mm	20.12	19.90	20.45	20.07	19.71	20.35	20.08	19.88	20.32	19.98	19.95	20.00	20.05	19.95	20.30
	Difference of thickness mm	0.35	0.10	0.47	0.37	0.26	0.55	0.24	0.16	0.28	0.14	0.10	0.20	0.13	0.10	0.15

注 QおよびAの挽板に使用せる水分計東芝製誘電率型含水率計

Note Laminae of Q and A group was measured with the electronical type moisture meter (manufactured by Toshiba Co.).

比重, および仕上り厚
gravity and thickness of laminae

Q														
QVI			QVII			QVIII			QIX			QX		
Ave.	Min.	Max.												
11.5	11.0	12.3	11.4	10.0	13.5	12.2	10.0	14.8	13.3	11.7	13.7	11.4	10.7	13.0
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
0.65	0.60	0.68	0.65	0.60	0.71	0.68	0.63	0.75	0.73	0.72	0.75	0.61	0.56	0.66
10.0	7.5	11.8	12.0	10.0	14.6	12.0	9.9	14.0	12.3	10.2	13.7	9.8	8.9	10.6
5.9	5.1	6.3	5.7	4.9	6.7	5.4	4.3	6.3	7.3	5.3	9.2	4.9	4.1	6.0
15.0	12.3	16.9	16.8	14.3	19.4	16.3	13.8	18.7	18.5	14.8	20.2	14.6	12.1	17.7
19.86	19.80	19.90	19.77	19.50	19.90	19.53	19.05	19.80	18.58	18.30	19.10	19.65	19.03	19.90
0.18	0.15	0.20	0.28	0.10	0.60	0.32	0.20	0.60	0.25	0.10	0.40	0.32	0.10	0.77

YACHIDAMO																	
MIII			FI			FII			FIII			FIV			FV		
Ave.	Min.	Max.	Ave.	Min.	Max.	Ave.	Min.	Max.	Ave.	Min.	Max.	Ave.	Min.	Max.	Ave.	Min.	Max.
12.9	12.1	14.4	13.4	13.0	13.7	14.5	13.5	16.7	15.9	13.5	17.5	14.9	14.0	15.8	15.2	14.1	17.2
11.8	11.5	12.6	12.1	11.8	12.4	12.1	11.6	12.6	12.1	11.8	12.4	11.9	11.5	12.3	12.3	12.0	12.6
0.71	0.68	0.72	0.48	0.42	0.50	0.54	0.51	0.57	0.55	0.49	0.60	0.52	0.45	0.58	0.55	0.51	0.62
5.5	4.8	6.1	5.7	5.4	6.5	6.2	5.7	7.4	6.8	6.4	7.7	6.2	5.8	6.6	6.6	6.0	7.7
4.0	3.5	4.7	3.8	3.2	4.5	4.7	4.4	4.9	4.5	4.3	4.8	3.5	3.1	4.0	3.7	3.3	4.0
9.2	8.2	9.8	9.6	8.9	11.1	10.5	10.0	11.9	10.8	10.4	11.6	9.3	8.6	10.3	10.1	9.1	11.0
20.02	19.60	20.30	20.33	20.30	20.40	20.30	20.25	20.35	20.28	20.25	20.30	20.25	20.20	20.30	20.31	20.15	20.40
0.21	0.15	0.39	0.11	0.00	0.20	0.15	0.10	0.20	0.17	0.10	0.25	0.18	0.15	0.25	0.10	0.00	0.25

MATSU						YEZOMATSU						AKAYFZOMATSU					
AIII			AIV			YJI			YJII			YGI			YGII		
Ave.	Min.	Max.	Ave.	Min.	Max.	Ave.	Min.	Max.	Ave.	Min.	Max.	Ave.	Min.	Max.	Ave.	Min.	Max.
8.0	7.6	9.0	9.4	8.3	10.4	11.2	11.0	11.6	11.8	11.6	12.0	10.9	10.7	11.1	12.4	11.9	12.8
—	—	—	—	—	—	12.3	11.7	12.7	12.8	12.0	13.5	12.3	11.7	13.0	12.3	12.0	12.6
0.35	0.33	0.36	0.37	0.33	0.40	0.37	0.37	0.38	0.42	0.40	0.44	0.33	0.31	0.36	0.46	0.43	0.47
5.7	5.0	6.8	5.9	5.0	7.3	2.4	2.3	2.5	2.6	2.3	2.8	2.3	2.0	2.9	2.5	2.1	2.8
0.9	0.6	1.3	1.1	0.9	1.2	1.1	1.0	1.2	1.0	0.5	1.4	1.2	0.7	2.0	1.6	1.2	1.9
6.5	5.6	7.8	6.8	6.0	8.3	3.5	3.4	3.6	3.6	2.7	4.1	3.4	2.7	4.4	3.6	2.6	4.4
19.98	19.95	20.00	20.03	19.95	20.15	21.07	21.00	21.15	21.08	20.95	21.20	20.97	20.35	21.20	21.12	21.10	21.15
0.13	0.10	0.15	0.16	0.10	0.25	0.17	0.10	0.25	0.19	0.10	0.35	0.10	0.05	0.15	0.13	0.05	0.20

QR, M, F, B, YJ および YG の挽板に使用せる水分計はケット電気抵抗型含水率計

Laminae of QR, M, F, B, YJ and YG group was measured with the electrical resistance type moisture meter (Commercial name, Kett),

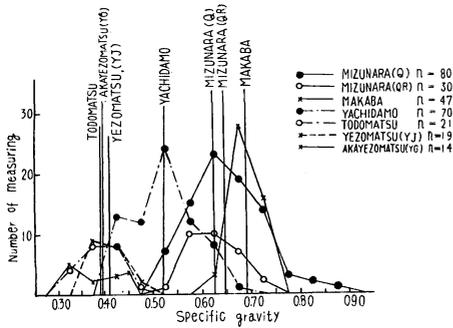


Fig. 9 測定時の挽板の比重

Specific gravity of laminae at measured

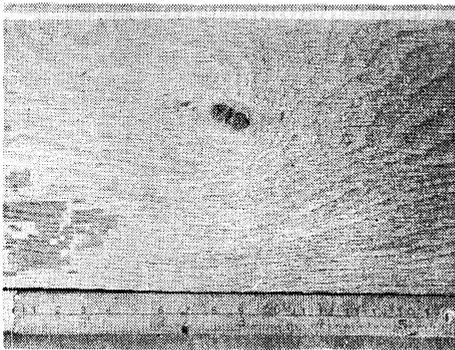
である。

(6) 欠点

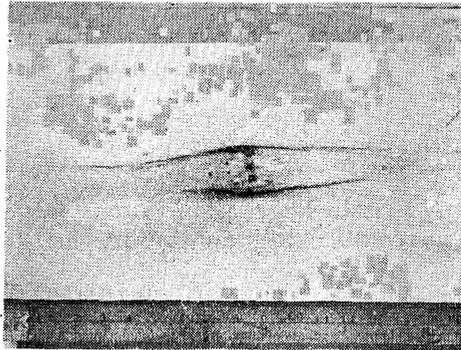
試験用ビームを構成する挽板は、すべて無欠点材であることを目標としたが、長尺物の挽板中に多少の欠点が含まれることは避けられないところであつたので、各挽板について Phot. 5~17 に示すような、入皮、節、ピンホール、変色、乾燥割れ、削り残し、前後のまくれ、逆目削り、ローラーあと、等を観察記録し、これらが強度試験および接着性能試験を遂行する上に障害にならないような位置に配置することとした。

(5) 供試ビーム製作用に選定された挽板

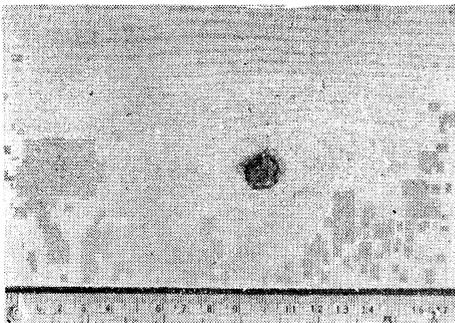
以上の過程を経過し、供試ビーム製作用に選定された挽板は鉋加工終了後の状態で、室温19~22°C、同関係湿度 60~70 %の恒温恒湿の室内に棧積みをして2週間以上放置し、挽板の含有水分を安定させてから、ケットの電極差込型含水率計あるいは東芝製誘電率型含水率計を用いて、各挽板の3箇所において含水率を測定し、これらの結果を比重、収縮率、仕上り厚とともに1表にとりまとめると、Table 8 のとおり



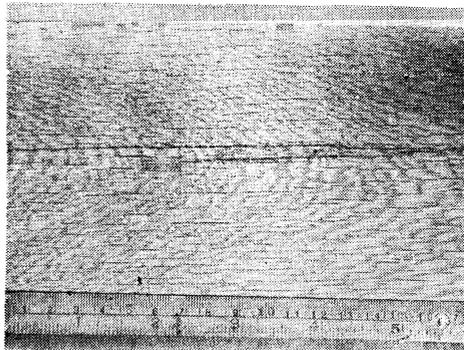
Phot. 5 節
Knot (MIZUNARA Q)



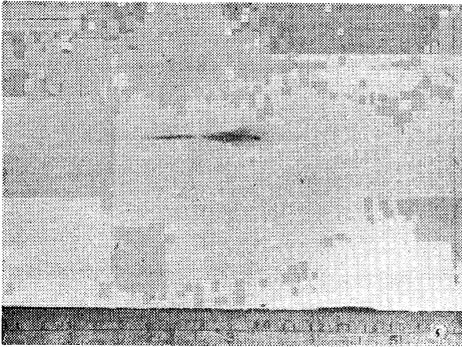
Phot. 6 節
Knot (TODOMATSU)



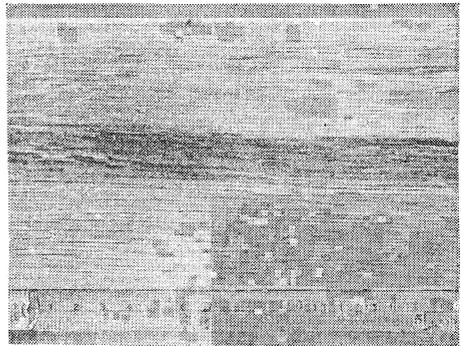
Phot. 7 節
Knot (AKAYEZOMATSU YG)



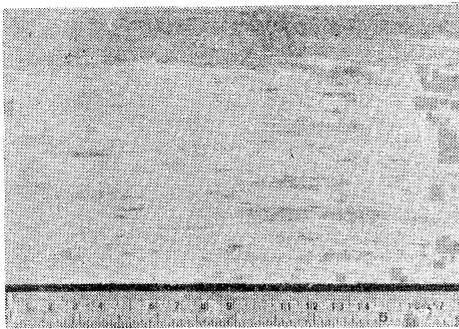
Phot. 8 虫穴
Worm hole (MIZUNARA Q)



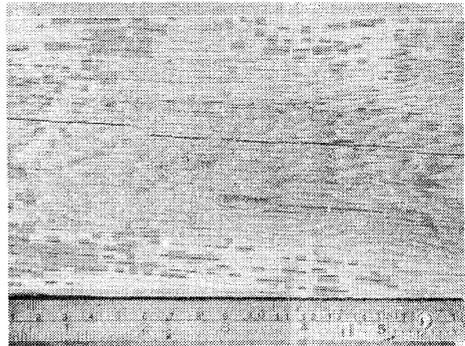
Phot. 9 やにすじ
Pitch line (TODOMATSU)



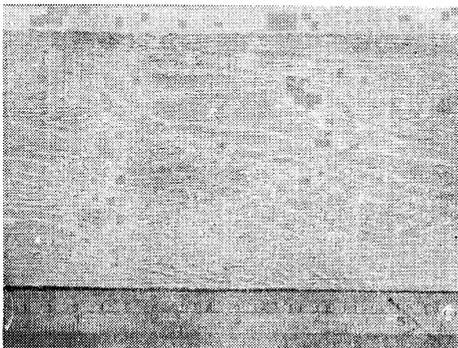
Phot. 10 変色
Discoloration (MIZUNARA Q)



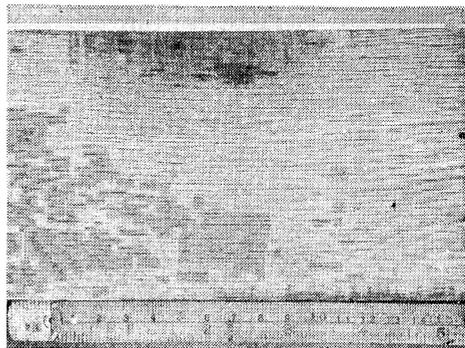
Phot. 11 変色
Discoloration (AKAYEZOMATSU YG)



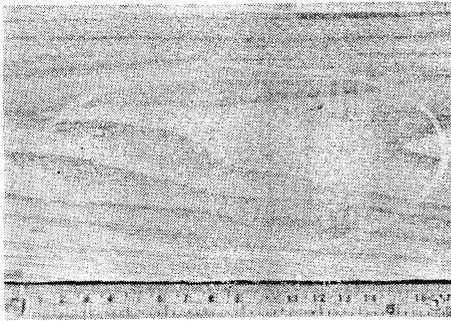
Phot. 12 割れ
Check (MIZUNARA Q)



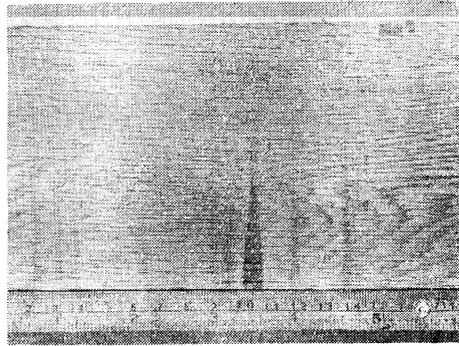
Phot. 13 逆目削り
Bristled grain (MIZUNARA Q)



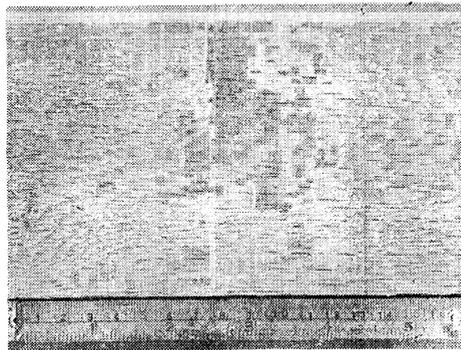
Phot. 14 削り残し
Poor surfacing (MIZUNARA Q)



Phot. 15 削り残し
Poor surfacing (YACHIDAMO)



Phot. 16 ローラーあと
Trace of roller (MIZUNARA Q)



Phot. 17 前後のまくれ End surfacing defect (MIZUNARA Q)

1.2 挽板の強度

挽板の強度的性能から集成材梁の曲げ剛性と強度を推定するためにおこなった。強度的にはほぼ同等の材質をもつ挽板5枚で1本の集成材梁を構成するようにしたので、便宜上、この断面構成によつて挽板強度をとり扱うことにする。つぎに、試験の条件、方法および結果の順にのべる。

(1) 試験の条件

この試験に供した挽板の一端または両端から切りとつた強度試験体について、その平均年輪巾、秋材巾含水率および比重に関する材質条件を Table 9 にしめた。

(i) 年輪巾 (b mm) : トドマツ (A) は、 $2\sim 6.5$ mm のハニイにあり、同材としては通常のものともみられる⁹⁾。

エゾマツおよびアカエゾマツはともに $1.5\sim 4.0$ mm のハニイであるが、アカエゾマツの YG II はややアテ材をふくんでいる。ヤチダモ、ブナおよびマカンバはともに普通な成長のものとおもわれるが、マカンバの M I は若干センチが振れている。ミズナラは、Q (浦河産) も QR (陸別産) も $0.5\sim 2.2$ mm のハニイにあり、いちじるしい材質のパラツキがみこまれるものであつた。

(ii) 秋材巾 (S mm) : 針葉樹ではトドマツもエゾマツも年輪巾とはあまり関係なくかなりきまつた巾をしめた。すなわち、トドマツで約 0.8 mm、エゾマツで約 0.3 mm 程度とみられる。

広葉樹では、散孔材は、ほぼ針葉樹と同様であるが、環孔材では、反対に春材巾の方が一定にちかいよ

Table 9. 挽板の年輪巾 (b), 秋材巾 (s), 含水率 (u) および気乾比重 (R_n)
Width of annual rings (b), width of summer wood (s), moisture content (u)
and specific gravity at test (R_n) of the laminations for each laminated beam

Species	Group	R. Grade	b (mm)			s (mm)			u (%)			R_n (kg/cm ³)		
			A	Max.	Min.	A	Max.	Min.	A	Max.	Min.	A	Max.	Min.
TODO-MATSU	A I	R40	4.4	5.0	4.0	1.0	1.4	0.7	14.2	14.6	13.7	0.40	0.42	0.38
	A II	R40	4.2	4.5	4.0	0.8	1.1	0.5	14.3	14.9	14.0	0.42	0.44	0.36
	A III	R35	3.5	4.5	2.0	0.6	1.1	0.2	14.0	14.9	12.9	0.35	0.37	0.33
	A IV	R40	4.4	6.5	2.5	0.8	1.0	0.4	14.6	16.7	13.2	0.39	0.43	0.33
YEZO-MATSU	YJ I	R40	1.4	1.6	1.2	0.2	0.2	0.2	13.8	14.0	13.6	0.39	0.40	0.37
	YJ II	R40	2.2	3.3	1.3	0.4	0.7	0.2	13.9	14.5	13.0	0.42	0.44	0.41
AKA-YEZO-MATSU	YG I	R35	3.0	3.8	2.2	0.3	0.4	0.3	14.5	15.0	14.0	0.33	0.37	0.31
	YG II	R50	1.6	1.7	1.4	0.4	0.5	0.3	14.3	15.0	13.3	0.49	0.50	0.48
YACHI-DAMO	F I	R50	1.3	1.7	1.1	0.4	0.5	0.3	12.4	12.7	12.2	0.50	0.55	0.44
	F II	R55	1.5	1.7	1.2	0.6	1.0	0.4	12.5	13.4	12.2	0.54	0.60	0.49
	F III	R55	1.7	2.0	1.4	0.9	1.3	0.5	12.3	12.6	12.2	0.53	0.60	0.48
	F IV	R55	1.5	1.9	1.3	0.6	0.9	0.5	12.2	12.5	12.0	0.54	0.58	0.50
	F V	R55	1.7	2.3	1.5	0.9	1.6	0.6	12.2	12.5	11.6	0.57	0.59	0.54
MIZU-NARA	QR I	R65	1.1	1.6	0.7	0.4	0.4	0.3	12.9	13.5	12.6	0.64	0.70	0.60
	QR II	R60	0.8	1.2	0.5	0.4	0.4	0.3	13.1	13.3	12.9	0.60	0.65	0.56
	QR III	R65	0.9	1.9	0.5	0.4	0.5	0.2	12.8	13.1	12.4	0.65	0.68	0.60
MIZU-NARA	Q I	R55	0.5	0.6	0.4	0.2	0.3	0.1	13.4	14.3	11.9	0.54	0.56	0.52
	Q II	R60	0.7	0.8	0.5	0.4	0.5	0.3	12.5	15.3	10.9	0.58	0.63	0.52
	Q III	R60	1.0	1.2	0.9	0.6	0.7	0.4	14.5	15.9	12.6	0.59	0.61	0.55
	Q IV	R60	1.1	1.2	0.9	0.6	0.7	0.5	13.3	16.5	11.6	0.59	0.62	0.57
	Q V	R65	1.5	1.6	1.3	1.0	1.1	0.9	12.1	14.0	11.0	0.65	0.69	0.62
	Q VI	R65	1.4	1.6	1.3	0.9	1.0	0.9	12.1	14.0	11.0	0.65	0.69	0.62
	Q VII	R65	1.3	1.5	1.1	0.8	1.0	0.5	14.2	17.0	10.9	0.67	0.71	0.60
	Q VIII	R70	1.4	1.7	1.0	0.9	1.1	0.6	13.8	16.0	11.1	0.72	0.76	0.69
	Q IX	R75	1.7	2.2	1.2	1.1	1.7	0.4	14.7	15.6	13.4	0.75	0.77	0.74
	Q X	R60	0.8	1.2	0.5	0.4	0.7	0.2	12.5	15.0	10.3	0.61	0.68	0.54
BUNA	B I	R60	1.6	2.4	1.2	0.2	0.2	0.2	12.7	15.4	11.7	0.60	0.61	0.58
	B II	R60	1.5	1.9	0.9	0.2	0.2	0.2	13.0	13.6	12.0	0.61	0.66	0.55
	B III	R65	1.4	1.7	1.2	0.2	0.2	0.2	12.5	13.5	12.2	0.66	0.71	0.60
MA-KABA	M I	R70	3.5	5.1	2.4	—	—	—	13.1	13.3	13.0	0.68	0.70	0.66
	M II	R65	2.8	3.6	2.2	—	—	—	13.0	13.6	12.5	0.67	0.68	0.64
	M III	R70	2.5	3.1	2.1	—	—	—	13.1	14.0	11.6	0.68	0.69	0.65

A=average value; R. G.=sp. G. Grade (比重による分類等級)

うにおもわれた。また、この春材巾では、ヤチダモの方が若干ミズナラより大きく、それぞれ約 0.9 と 0.5 mm をしめた。

(iii) 含水率 (u %) : 平均含水率で比較すると、各挽板グループで 12~15 % のハンイにあつて大差ない。

(iv) 比重 (R_n): 針葉樹では、0.3~0.5, 広葉樹では、0.45~0.77 のハンイをもっている。したがって、相当広い比重分散をしめすものとみられ、とくに、ミズナラについては、0.5~0.75 のハンイの材質をしめして特徴的であつた。

なお、表中、Group としてしめたものは、個々の集成材梁の断面を構成する挽板群。

Table 10. 挽板の縦圧縮試験における荷重速度 (L_v), 温度 (T) および関係湿度 (H).

Loading speed (L_v), temperature (T) and relative humidity (H) in the compression parallel to grain tests of the laminations

Species	Group	R. G.	L_v . ($kg/cm^2 \cdot min$)			T ($^{\circ}C$)			H ($\sim\%$)		
			A	Max.	Min.	A	Max.	Min.	A	Max.	Min.
TODOMATSU	A I	R 40	91	96	88	20	21	20	79	79	79
	A II	R 40	85	97	69	20	22	20	79	84	74
	A III	R 35	86	94	68	24	26	23	68	71	65
	A IV	R 40	81	92	66	23	26	20	72	79	62
YEZOMATSU	YJ I	R 40	40	49	22	30	31	29	78	83	76
	YJ II	R 40	41	50	27	27	30	21	76	80	65
AKAYEZOMATSU	YG I	R 35	51	58	40	29	29	29	75	77	73
	YG II	R 50	53	58	49	30	30	29	73	75	71
YACHIDAMO	F I	R 50	53	55	48	29	30	28	77	82	68
	F II	R 55	55	61	47	29	31	28	73	82	59
	F III	R 55	61	68	56	29	30	28	75	82	68
	F IV	R 55	58	64	52	29	30	28	73	82	65
	F V	R 55	58	61	51	29	30	28	74	82	66
MIZUNARA	QR I	R 65	57	60	54	31	31	29	64	73	58
	QR II	R 60	57	66	54	30	31	29	67	74	61
	QR III	R 65	59	70	51	30	31	28	67	73	60
MIZUNARA	Q I	R 55	65	73	62	31	32	31	64	68	61
	Q II	R 60	75	84	72	29	31	26	70	73	68
	Q III	R 60	75	87	67	29	33	26	70	90	62
	Q IV	R 60	69	75	60	29	33	26	71	90	61
	Q V	R 65	66	74	56	28	31	26	63	70	59
	Q VI	R 65	66	74	56	28	31	26	72	90	62
	Q VII	R 65	70	73	65	29	32	26	67	73	60
	Q VIII	R 70	68	78	44	28	29	27	69	73	66
	Q IX	R 75	75	91	52	30	32	27	64	71	61
	Q X	R 60	60	70	51	30	31	30	67	72	59
BUNA	B I	R 60	60	64	57	29	30	28	75	78	70
	B II	R 60	62	78	54	29	30	28	74	78	68
	B III	N 65	59	66	53	29	29	29	76	78	73
MAKABA	M I	R 70	89	118	60	28	29	28	77	80	75
	M II	R 65	102	113	91	29	29	28	76	80	69
	M III	R 70	104	120	95	28	29	28	77	80	70

A=average value

つぎに、試験時の荷重速度 ($L\dot{\nu}$)、温度 (T) および関係湿度 (H) を Table 10 にしめす。

Table 10 および 11 の R.G. は比重階を 0.05 にとつたばあいの目安としてしめたもので、かりに比重等級とよんでおく。

(2) 試験の方法

集成材を構成しようとする個々の挽板から約 50 cm 長の材片を切り取り（一端または両端より）、Fig. 10 にしめす方法で各試験体を作製した。縦引張試験体の寸法は JIS A 1006 によつた。縦圧縮、セン断および曲げ試験体については、まず、曲げ試験体によつて曲げ剛性と強度試験をおこない、その両端部または一端より縦圧縮とセン断試験体を切り取り強度試験をおこなつた。このばあい、圧縮試験体について年輪巾、秋材巾、比重および含水率等をもとめてこの挽板の材質指標とした。

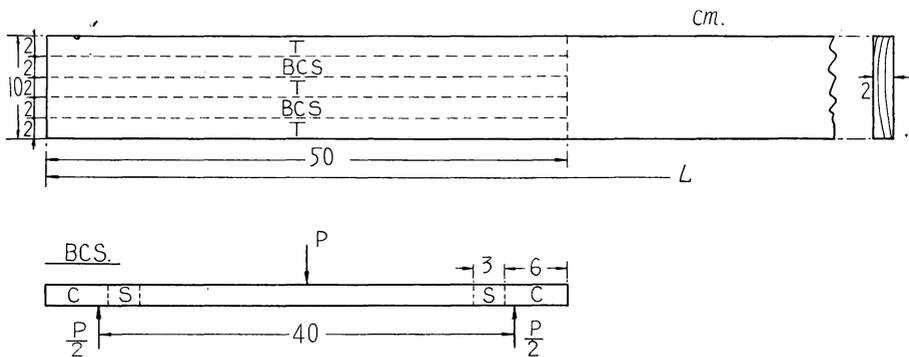


Fig. 10 挽板から強度試験体の採取
Cutting diagram from a lamination.

T=tension specimen C=compression specimen
S=shear specimen BCS=bending specimen

試験機は、それぞれの試験について最大荷重の大きさにマッチした容量のものを用いた。変形量の測定は、従来と同様、引張と圧縮には鏡式 extensometer を用い、曲げではダイヤルゲージ ($10^{-2} mm$) によつた。

(3) 試験結果

挽板の各グループごとのヤング係数 (E) を Table 11 に、また、引張、圧縮およびセン断強度を Table 12 にしめた。

(i) ヤング係数と強度（縦方向）

ヤング係数は、引張と圧縮の両者を測定したので、その数値について比較すると、平均値についても最大値または最小値についても、引張ヤング係数の方がやや圧縮ヤング係数より下廻る傾向をしめたが、ほとんど差がないものと判断される。

強度においては、ミズナラ QR の 2 本が著しく低い引張強度をしめたことが注目されるが、その原因は今のところ明らかでない。

(ii) 強度数値相互間の関係（縦方向）

強度とヤング係数の比のかたちでもとめられる ω および圧縮比例限度力度の圧縮強度に対する比 γ_c を Table 13 に、引張強度と圧縮強度の比 r 、圧縮強度とセン断強度の比 q および計算値の曲げ破壊係

Table 11. 集成材梁を構成する挽板群のヤング係数 (E)
Young's modulus of the laminations for each laminated beam

Species	Group	R. G.	E_t ($10^3 kg/cm^2$)			E_c ($10^3 kg/cm^2$)			E_t/E_c		
			A	Max.	Min.	A	Max.	Min.	A	Max.	Min.
TODOMATSU	A I	R 40	123	140	107	133	140	117	0.93	1.00	0.91
	A II	R 40	116	128	105	125	139	107	0.93	0.92	0.98
	A III	R 35	99	104	92	98	104	92	1.01	1.00	1.00
	A IV	R 40	115	121	105	113	116	106	1.02	1.04	0.99
YEZOMATSU	YJ I	R 40	103	121	86	103	113	87	1.00	1.07	0.99
	YJ II	R 40	119	136	94	111	135	80	1.07	1.01	1.18
AKAYEZOMATSU	YG I	R 35	87	97	79	82	99	72	1.06	0.98	1.10
	YG II	R 50	112	135	77	114	147	75	0.98	0.92	1.03
YACHIDAMO	F I	R 50	78	102	62	85	122	62	0.92	0.84	1.00
	F II	R 55	87	100	78	100	123	88	0.87	0.79	0.89
	F III	R 55	91	109	81	102	113	92	0.89	0.96	0.88
	F IV	R 55	103	115	89	107	115	101	0.96	1.00	0.88
	F V	R 55	106	120	83	114	130	99	0.93	0.92	0.84
MIZUNARA	QR I	R 65	54	64	47	54	62	42	1.00	1.03	1.12
	QR II	R 60	58	68	48	66	77	49	0.88	0.88	0.98
	QR III	R 65	86	102	68	91	107	61	0.95	0.95	1.12
MIZUNARA	Q I	R 55	42	45	39	48	53	44	0.88	0.85	0.89
	Q II	R 60	62	69	58	72	81	66	0.86	0.85	0.88
	Q III	R 60	54	62	43	61	66	59	0.89	0.94	0.73
	Q IV	R 60	67	74	63	78	98	61	0.86	0.76	1.03
	Q V	R 65	64	68	58	74	80	69	0.87	0.85	0.84
	Q VI	R 65	74	86	56	84	94	82	0.88	0.92	0.68
	Q VII	R 65	80	93	71	89	104	75	0.90	0.89	0.95
	Q VIII	R 70	101	116	80	107	121	84	0.94	0.96	0.95
	Q IX	R 75	115	135	93	143	156	131	0.80	0.87	0.71
	Q X	R 60	58	67	48	76	93	58	0.76	0.72	0.83
BUNA	B I	R 60	84	96	69	92	96	88	0.91	1.00	0.78
	B II	R 60	93	107	84	96	104	93	0.97	1.03	0.90
	B III	R 65	116	154	83	119	142	98	0.97	1.08	0.85
MAKABA	M I	R 70	122	130	113	125	153	92	0.98	0.85	1.23
	M II	R 65	139	168	120	141	149	125	0.99	1.13	0.96
	M III	R 70	162	173	150	156	168	136	1.04	1.03	1.10
								\bar{A}	0.93	0.94	0.94
								$\pm \Delta \%$	7.6	10.1	13.8

E_t = Young's modulus in tensile test
 E_c = Young's modulus in compressive test

\bar{A} = average value

$$\pm \Delta \% = \frac{\text{Standard deviation}}{\bar{A}}$$

Table 12. 集成材梁を構成する挽板群の強度（引張= σ_t ; 圧縮= σ_c ; セン断= τ)
Strength of the laminations for each laminated beam

Species	Group	R. G.	σ_t (kg/cm ²)			σ_c (kg/cm ²)			τ (kg/cm ²)		
			A	Max.	Min.	A	Max.	Min.	A	Max.	Min.
TODOMATSU	A I	R 40	1280	1460	1060	360	370	350	90	92	88
	A II	R 40	918	1030	780	365	390	325	92	107	84
	A III	R 35	960	1100	880	317	335	310	78	85	74
	A IV	R 40	1100	1310	900	332	370	285	91	101	76
YEZOMATSU	YJ I	R 40	992	1336	654	284	311	260	91	97	86
	YJ II	R 40	1223	1465	892	324	387	292	100	106	94
AKAYEZOMATSU	YG I	R 35	785	927	690	242	247	228	79	86	75
	YG II	R 50	923	1002	857	378	396	247	96	100	82
YACHIDAMO	F I	R 50	907	1112	761	332	373	276	105	117	88
	F II	R 55	984	1219	776	356	425	313	114	123	105
	F III	R 55	1019	1118	912	355	403	329	113	133	97
	F IV	R 55	1229	1507	810	360	384	335	111	123	101
	F V	R 55	1133	1310	959	378	400	335	111	122	103
MIZUNARA	QR I	R 65	404	611	300	325	353	294	125	139	117
	QR II	R 60	562	666	334	329	385	302	122	127	116
	QR III	R 65	872	1033	645	405	434	359	139	144	135
MIZUNARA	Q I	R 55	546	570	518	271	293	255	113	124	107
	Q II	R 60	763	833	682	341	372	316	124	144	104
	Q III	R 60	673	801	600	345	369	329	129	136	114
	Q IV	R 60	786	973	646	352	394	323	125	130	122
	Q V	R 65	779	916	622	398	409	387	152	156	150
	Q VI	R 65	862	1047	649	415	433	381	155	159	147
	Q VII	R 65	902	981	729	417	470	381	155	177	141
	Q VIII	R 70	1311	1425	1193	490	538	376	161	189	151
	Q IX	R 75	1526	1633	1398	510	554	465	162	191	158
	Q X	R 60	773	918	644	339	360	293	124	145	111
BUNA	B I	R 60	1027	1255	873	384	388	378	129	134	122
	B II	R 60	1051	1367	679	375	409	341	135	141	127
	B III	R 65	1431	1861	675	440	490	410	144	163	129
MAKABA	M I	R 70	1234	1364	1102	455	470	431	174	195	163
	M II	R 65	1288	1657	1020	503	520	483	171	180	158
	M III	R 70	1803	2060	1630	599	743	516	176	186	164

σ_t =tensile strength

σ_c =compressive strength

τ =shearing strength

Table 13. 強度数値相互間の関係
Relation between a strength and the other

Species	Group	R. G.	ω_t ($\sigma_t/E_t\%$)			ω_c ($\sigma_c/E_c\%$)			γ_c (σ_{cp}/σ_c)		
			A	Max.	Min.	A	Max.	Min.	A	Max.	Min.
TODOMATSU	A I	R 40	1.05	1.36	0.89	0.27	0.30	0.26	0.91	0.99	0.84
	A II	R 40	0.79	0.89	0.67	0.29	0.31	0.27	0.88	0.93	0.80
	A III	R 35	0.97	1.06	0.92	0.33	0.37	0.30	0.92	1.00	0.81
	A IV	R 40	0.96	1.08	0.86	0.29	0.32	0.27	0.89	0.91	0.86
YEZOMATSU	YJ I	R 40	0.95	1.14	0.73	0.28	0.32	0.26	0.87	0.93	0.76
	YJ II	R 40	1.02	1.09	0.91	0.30	0.38	0.23	0.84	0.93	0.74
AKAYEZOMATSU	YG I	R 35	0.90	0.99	0.84	0.29	0.31	0.28	0.87	0.90	0.83
	YG II	R 50	0.88	1.19	0.65	0.35	0.46	0.27	0.80	0.91	0.69
YACHIDAMO	F I	R 50	1.18	1.34	1.07	0.40	0.45	0.29	0.62	0.73	0.51
	F II	R 55	1.14	1.26	1.05	0.36	0.42	0.32	0.63	0.71	0.40
	F III	R 55	1.12	1.32	0.93	0.35	0.36	0.31	0.67	0.72	0.62
	F IV	R 55	1.20	1.32	0.78	0.34	0.35	0.32	0.62	0.64	0.57
	F V	R 55	1.08	1.21	0.88	0.34	0.40	0.29	0.70	0.75	0.65
MIZUNARA	QR I	R 65	0.78	1.30	0.58	0.61	0.70	0.52	0.44	0.50	0.40
	QR II	R 60	1.00	1.33	0.53	0.52	0.62	0.40	0.51	0.69	0.39
	QR III	R 65	1.02	1.11	0.95	0.46	0.59	0.39	0.53	0.56	0.46
MIZUNARA	Q I	R 55	1.29	1.32	1.20	0.57	0.62	0.52	0.50	0.60	0.47
	Q II	R 60	1.23	1.38	1.10	0.48	0.53	0.39	0.56	0.60	0.50
	Q III	R 60	1.27	1.57	1.03	0.57	0.62	0.51	0.53	0.58	0.47
	Q IV	R 60	1.18	1.48	1.02	0.47	0.58	0.39	0.60	0.65	0.54
	Q V	R 65	1.27	1.47	1.08	0.55	0.58	0.50	0.54	0.58	0.50
	Q VI	R 65	1.17	1.26	1.00	0.48	0.50	0.46	0.55	0.56	0.51
	Q VII	R 65	1.14	1.30	0.96	0.48	0.53	0.46	0.59	0.65	0.56
	Q VIII	R 70	1.31	1.49	1.20	0.46	0.53	0.44	0.61	0.69	0.57
	Q IX	R 75	1.33	1.50	1.16	0.37	0.42	0.32	0.62	0.68	0.53
	Q X	R 60	1.35	1.61	1.00	0.45	0.51	0.39	0.55	0.60	0.50
BUNA	B I	R 60	1.23	1.41	0.99	0.42	0.44	0.40	0.59	0.68	0.55
	B II	R 60	1.11	1.45	0.81	0.39	0.43	0.38	0.52	0.64	0.39
	B III	R 65	1.22	1.56	0.77	0.38	0.43	0.33	0.67	0.74	0.54
MAKABA	M I	R 70	0.84	0.97	0.73	0.37	0.49	0.31	0.67	0.77	0.59
	M II	R 65	0.92	1.15	0.79	0.36	0.40	0.34	0.75	0.77	0.71
	M III	R 70	1.11	1.22	1.07	0.38	0.44	0.35	0.73	0.79	0.69

σ_{cp} = compressive stress at proportional limit

数と圧縮強度の比を Table 14 にしめた。

ω の値は、引張または圧縮においてえがかれる応力-歪曲線の直線部分を延長して最大応力度(破壊時)に達せしめたときの伸度または短縮度をあらわすものである。この数値の特性的な意味については、こ

Table 14. 強度数値相互間の関係（続）
Relation between a strength and the other (continued)

Species	Group	R.	G.	r (σ_t/σ_c)			q (σ_c/τ)			$\phi \left(\frac{3r-1}{r+1} \right)$		
				A	Max.	Min.	A	Max.	Min.	A	Max.	Min.
TODOMATSU	A I	R	40	3.56	4.20	3.03	4.00	4.15	3.90	2.123	2.230	2.008
	A II	R	40	2.52	2.92	2.11	3.92	4.50	3.45	1.864	1.979	1.714
	A III	R	35	3.04	3.50	2.63	4.07	4.25	3.70	2.001	2.111	1.898
	A IV	R	40	3.32	3.85	2.76	3.67	3.75	3.53	2.074	2.174	1.936
YEZOMATSU	YJ I	R	40	3.45	4.30	2.38	3.12	3.32	2.90	2.101	2.245	1.817
	YJ II	R	40	3.77	4.95	2.93	3.25	3.91	2.86	2.161	2.327	1.982
AKAYEZOMATSU	YG I	R	35	3.24	3.45	3.08	3.05	3.29	2.88	2.057	2.101	2.020
	YG II	R	50	2.45	2.66	2.16	3.99	4.58	3.50	1.841	1.907	1.734
YACHIDAMO	F I	R	50	2.76	3.33	2.16	3.15	3.35	2.97	1.936	2.076	1.734
	F II	R	55	2.82	3.56	2.03	3.15	4.05	2.55	1.953	2.123	1.680
	F III	R	55	2.90	3.34	2.26	3.18	3.41	2.75	1.974	2.079	1.774
	F IV	R	55	3.45	4.24	2.11	3.24	3.50	2.72	2.101	2.235	1.714
	F V	R	55	2.99	3.29	2.56	3.41	3.70	2.75	1.997	2.068	1.877
MIZUNARA	QR I	R	65	1.24	1.91	1.01	2.62	2.90	2.50	1.214	1.621	1.010
	QR II	R	60	1.71	2.10	1.09	2.71	3.03	2.45	1.524	1.710	1.086
	QR III	R	65	2.15	2.48	1.78	2.91	3.22	2.60	1.730	1.850	1.562
MIZUNARA	Q I	R	55	2.02	2.07	1.95	2.40	2.50	2.29	1.675	1.697	1.645
	Q II	R	60	2.25	2.64	1.97	2.78	3.04	2.45	1.770	1.901	1.654
	Q III	R	60	1.97	2.44	1.63	2.68	2.89	2.58	1.654	1.838	1.480
	Q IV	R	60	2.24	2.81	1.85	2.81	3.03	2.53	1.766	1.950	1.597
	Q V	R	65	1.96	2.26	1.52	2.62	2.73	2.56	1.649	1.774	1.413
	Q VI	R	65	2.08	2.42	1.55	2.68	2.78	2.59	1.702	1.830	1.431
	Q VII	R	65	2.17	2.41	1.88	2.69	2.82	2.60	1.738	1.827	1.612
	Q VIII	R	70	2.71	3.18	2.47	3.06	3.49	2.49	1.922	2.043	1.847
	Q IX	R	75	3.01	3.38	2.57	2.97	3.28	2.68	2.003	2.087	1.880
	Q X	R	60	2.28	2.55	1.91	2.75	3.05	2.46	1.782	1.874	1.621
BUNA	B I	R	60	2.68	3.32	2.27	2.97	3.15	2.82	1.913	2.074	1.778
	B II	R	60	2.81	3.59	1.71	2.79	3.22	2.50	1.950	2.129	1.524
	B III	R	65	3.22	4.02	1.62	3.08	3.26	2.70	2.052	2.204	1.474
MAKABA	M I	R	70	2.72	3.16	2.36	2.62	2.80	2.32	1.925	2.039	1.809
	M II	R	65	2.55	3.19	2.06	2.99	3.25	2.77	1.874	2.045	1.693
	M III	R	70	3.05	3.52	2.49	2.58	3.05	2.02	2.012	2.115	1.853

では論じないが樹種、材質をしめす有力な手がかりの一つであることはたしかである。表の平均値についてみれば、 ω_t は大体 1% 内外のものが多く、 ω_c では、針葉樹で 0.3%、広葉樹で 0.4~0.5% 程度とみられる。 γ_c の値は、針葉樹で 0.8~0.9 のハンイが多く、少なくとも 0.7 以上であるが、広葉樹では、0.5~0.7 のものが多い。

rでは、針葉樹で、3.0をこえるものが大部分をしめ、一方広葉樹では、2~3の間に分散している。なお、このばあい広葉樹とくに環孔材のミズナラなどでは、ほとんど圧縮強度と変らぬ引張強度をしめすもの(マカ目材)もあり注目に値する。qの値は比較的安定がよく、針葉樹で3~4、広葉樹で2.5~3.5

Table 15. 曲げヤング係数における推定値 (E_{br}) と実測値 (E_b) との比較
Comparison of computed and measured Young's modulus in bending

Species	Group	R.	G.	E_b ($10^3 kg/cm^2$)			E_{br} ($10^3 kg/cm^2$)			E_b/E_{br}		
				A	Max.	Min.	A	Max.	Min.	A	Max.	Min.
TODOMATSU	A I	R	40	126	133	120	133	140	117	0.95	0.95	1.03
	A II	R	40	123	138	110	125	139	107	0.98	0.99	1.03
	A III	R	35	96	97	94	98	104	92	0.98	0.93	1.02
	A IV	R	40	112	121	97	113	116	106	0.98	1.04	0.92
YEZOMATSU	YJ I	R	40	94	101	89	103	113	87	0.91	0.89	1.02
	YJ II	R	40	103	119	79	111	135	80	0.93	0.88	0.99
AKAYEZOMATSU	YG I	R	35	78	94	65	82	99	72	0.95	0.95	0.90
	YG II	R	50	105	128	75	114	147	75	0.92	0.87	1.00
YACHIDAMO	F I	R	50	74	90	63	85	122	62	0.87	0.74	1.02
	F II	R	55	82	88	71	100	123	88	0.82	0.72	0.81
	F III	R	55	94	115	86	102	113	92	0.92	1.02	0.94
	F IV	R	55	94	111	86	107	115	101	0.88	0.97	0.85
	F V	R	55	111	125	99	114	130	99	0.97	0.96	1.00
MIZUNARA	QR I	R	65	56	62	52	54	62	42	1.04	1.00	1.24
	QR II	R	60	61	70	50	66	77	49	0.92	0.91	1.02
	QR III	R	65	88	96	81	91	107	61	0.97	0.90	1.33
MIZUNARA	Q I	R	55	47	51	43	48	53	44	0.98	0.96	0.98
	Q II	R	60	69	73	60	72	81	66	0.96	0.90	0.91
	Q III	R	60	63	66	59	61	66	59	1.03	1.00	1.00
	Q IV	R	60	78	82	76	78	98	61	1.00	0.84	1.25
	Q V	R	65	79	82	75	74	80	69	1.07	1.03	1.09
	Q VI	R	65	86	90	80	84	94	82	1.02	0.96	0.98
	Q VII	R	65	84	95	71	89	104	75	0.94	0.91	0.95
	Q VIII	R	70	106	115	85	107	121	84	0.99	0.95	1.01
	Q IX	R	75	137	149	115	143	156	131	0.96	0.96	0.88
	Q X	R	60	76	88	65	76	93	58	1.00	0.95	1.12
BUNA	B I	R	60	83	89	77	92	96	88	0.90	0.93	0.88
	B II	R	60	94	105	88	96	104	93	1.01	1.01	0.95
	B III	R	65	117	146	101	119	142	98	0.98	1.03	1.03
MAKABA	*M I	R	70	127	142	121	125	153	92	1.02	0.93	1.32
	M II	R	65	142	160	126	141	149	125	1.01	1.07	1.01
	M III	R	70	153	161	146	156	168	136	0.98	0.96	1.07
									\bar{A}	0.96	0.94	1.02
									$\pm \Delta \%$	5.5	8.0	11.9

E_{br} = computed; E_b = measured

の分散域をもっている。

(iii) 単純強度（引張，圧縮およびせん断）から，曲げ性能を推定すること¹⁰⁾

曲げヤング係数の推定値として圧縮ヤング係数をそのまま用いたが，その結果，この推定値に対する実

Table 16. 曲げ比例限応力度における推定値 (σ_{bpr}) と実測値 (σ_{bp}) との比較
Comparison of computed and measured bending stress at proportional limit

Species	Group	R.	G.	σ_{bp} (kg/cm ²)			σ_{bpr} (kg/cm ²)			σ_{bp}/σ_{bpr}		
				A	Max.	Min.	A	Max.	Min.	A	Max.	Min.
TODOMATSU	A I	R	40	446	488	395	432	444	420	1.03	1.10	0.94
	A II	R	40	468	546	429	438	468	390	1.07	1.17	1.10
	A III	R	35	377	397	338	380	402	372	0.99	0.99	0.91
	A IV	R	40	415	443	361	398	444	342	1.04	1.00	1.06
YEZOMATSU	YJ I	R	40	376	394	357	341	273	312	1.10	1.44	1.14
	YJ II	R	40	419	451	377	389	415	350	1.08	1.09	1.06
AKAYEZOMATSU	YG I	R	35	335	410	283	290	296	269	1.16	1.39	1.05
	YG II	R	50	452	486	392	454	475	296	1.00	1.02	1.32
YACHIDAMO	F I	R	50	301	355	253	398	448	331	0.76	0.79	0.77
	F II	R	55	347	383	329	427	510	376	0.81	0.75	0.88
	F III	R	55	359	379	338	426	484	395	0.84	0.78	0.86
	F IV	R	55	383	418	350	432	461	402	0.89	0.91	0.87
	F V	R	55	453	476	420	454	480	402	1.00	0.99	1.04
MIZUNARA	QR I	R	65	297	344	209	390	424	353	0.75	0.81	0.59
	QR II	R	60	276	376	207	395	462	362	0.70	0.81	0.57
	QR III	R	65	396	451	357	486	521	431	0.82	0.87	0.83
MIZUNARA	Q I	R	55	238	253	196	325	352	306	0.73	0.72	0.64
	Q II	R	60	316	329	290	409	446	379	0.77	0.74	0.77
	Q III	R	60	305	345	270	414	443	395	0.74	0.78	0.68
	Q IV	R	60	357	426	308	422	473	388	0.85	0.90	0.79
	Q V	R	65	378	416	327	478	491	465	0.79	0.85	0.70
	Q VI	R	65	434	494	390	498	520	457	0.87	0.95	0.85
	Q VII	R	65	438	521	366	500	564	457	0.88	0.92	0.80
	Q VIII	R	70	506	553	378	588	645	451	0.86	0.86	0.84
	Q IX	R	75	651	686	604	612	665	558	1.06	1.03	1.08
	Q X	R	60	357	375	346	407	432	352	0.88	0.87	0.98
BUNA	B I	R	60	339	410	277	461	466	455	0.74	0.88	0.61
	B II	R	60	374	413	337	450	491	409	0.83	0.84	0.82
	B III	R	65	447	558	340	528	588	492	0.85	0.95	0.69
MAKABA	M I	R	70	515	547	491	546	564	517	0.94	0.97	0.95
	M II	R	65	646	721	573	604	624	580	1.07	1.16	0.99
	M III	R	70	707	759	621	718	892	619	0.99	0.85	1.00

σ_{bpr} = computed = $1.2\sigma_c$; σ_{bp} = measured

\bar{A}	0.90	0.94	0.88
$\pm \Delta \%$	14.2	17.9	19.9

測値の比は平均 0.96 で、その変化係数±5.5 %をしめた。この関係は、最大値または最小値についてそれぞれ推定値と実測値を比較してもほぼ同様である。

したがつて、ほぼ十分な精度で曲げヤング係数の推定が可能であるとおもわれる。

Table 17. 曲げ破壊係数における推定値 (σ_{br}) と実測値 (σ_b) との比較
Comparison of computed and measured modulus of rupture in bending

Species	Group	R. G.	σ_b (kg/cm^2)			σ_{br} (kg/cm^2)			$\varphi = \sigma_b/\sigma_{br}$			
			A	Max.	Min.	A	Max.	Min.	A	Max.	Min.	
TODOMATSU	A I	R 40	691	765	630	716	790	654	0.97	0.97	0.96	
	A II	R 40	689	775	640	631	708	556	1.09	1.09	1.15	
	A III	R 35	543	580	500	604	651	540	0.90	0.89	0.93	
	A IV	R 40	630	690	560	637	683	541	0.99	1.01	1.04	
YEZOMATSU	YJ I	R 40	643	658	616	542	656	465	1.19	1.00	1.33	
	YJ II	R 40	727	729	725	618	736	495	1.18	0.99	1.47	
AKAYEZOMATSU	YG I	R 35	524	652	491	453	483	411	1.16	1.35	1.20	
	YG II	R 50	792	799	787	609	655	518	1.30	1.22	1.52	
YACHIDAMO	F I	R 50	653	705	610	641	727	534	1.02	0.97	1.14	
	F II	R 55	744	755	735	695	728	629	1.07	1.04	1.17	
	F III	R 55	788	805	775	701	715	676	1.12	1.13	1.15	
	F IV	R 55	828	855	805	757	797	658	1.09	1.07	1.19	
	F V	R 55	903	980	860	755	823	658	1.20	1.19	1.31	
MIZUNARA	QR I	R 65	551	584	534	395	520	300	1.40	1.12	1.78	
	QR II	R 60	654	686	627	501	551	344	1.31	1.25	1.82	
	QR III	R 65	873	899	830	700	772	564	1.25	1.17	1.47	
MIZUNARA	Q I	R 55	491	506	465	454	481	429	1.08	1.05	1.08	
	Q II	R 60	611	624	595	603	626	573	1.01	1.00	1.04	
	Q III	R 60	590	630	530	570	604	537	1.04	1.04	0.99	
	Q IV	R 60	697	725	666	622	676	558	1.12	1.07	1.17	
	Q V	R 65	709	738	684	656	718	578	1.08	1.03	1.18	
	Q VI	R 65	787	822	750	706	793	600	1.11	1.04	1.25	
	Q VII	R 65	775	838	640	724	787	626	1.07	1.06	1.02	
	Q VIII	R 70	931	992	816	941	1017	768	0.99	0.98	1.06	
	Q IX	R 75	1067	1181	1012	1021	1070	971	1.04	1.10	1.04	
	Q X	R 60	715	779	649	603	675	521	1.19	1.15	1.25	
BUNA	B I	R 60	808	849	766	735	784	695	1.10	1.08	1.10	
	B II	R 60	875	897	856	731	850	579	1.20	1.06	1.48	
	B III	R 65	1029	1169	916	903	1062	616	1.14	1.10	1.49	
MAKABA	M I	R 70	1079	1112	1061	876	898	845	1.23	1.24	1.26	
	M II	R 65	1203	1254	1176	943	1064	838	1.28	1.18	1.40	
	M III	R 70	1321	1350	1280	1205	1378	1066	1.10	0.98	1.20	
									\bar{A}	1.13	1.08	1.24
									$\pm \Delta \%$	9.65	9.00	17.5

σ_{br} = computed ; σ_b = measured

曲げ比例限度力は、圧縮強度の 20 %増の値で計算的にもとめたものを推定値にとつたが¹¹⁾、これと実測値との比では、平均 0.90 で変化係数± 14 %をしめた。若干、バラツキはあるが、大体において推定可能とみられる。曲げ破壊係数の推定値は、針葉樹と広葉樹を分けて次式で計算した。

$$\text{針葉樹}^{12)} : \sigma_{br} = \frac{3r - \gamma_c}{r + \gamma_c} \cdot \gamma_c \cdot \sigma_c$$

$$\text{広葉樹} : \sigma_{br} = \frac{3r - 1}{r + 1} \cdot \sigma_c$$

つぎにこの推定値に対する実測値の比をとると、平均 1.13 となり変化係数は± 10% 程度となる。したがつて、実測値の方が約 13 %上廻る結果をしめた。とくに、注目しなければならないのは、ミズナラ QR が著しく推定値をはずれたことであるが、これは、異常に低い引張強度に起因している。何故に、この材が、このような結果になつたかについて今後その原因を検討するつもりである。

以上を総合して、挽板群 32 グループについてその単純強度から曲げ性能を推定することができるものとおもわれる。

(4) 挽板と集成材の強度等級

挽板の強度を個々の数値についてとり扱うことは正しいのであるが、実用上は、はなはだわずらわしいことである。そこで、比較的、かんたんな取扱い方によつて強度等級をきめてみようと考えた。

(i) 木材の強度特性をしめす指標

縦方向の強度特性をしめす指標として、われわれは ω_c , r , q , および γ_c を考える。これらの数値は、比重等に関係せず、樹種、材質によつてほぼ一定値をあたえるものである。そこで、その平均値とみられるものでこれらの値の標準値をきめたのが Table 18 である。

(ii) 等級の増減

また、これらの数値の変化に対する等級の増減については、標準値をしめすばあいを 0 として、Table 19 のようにきめた。

(iii) 標準等級表

さらに、針葉樹と広葉樹とに分けて、圧縮強度 50 kg 階の標準等級表をつくり、これを Table 20 としてかかげた。

Table 18. ω_c , r , q および γ_c の標準値
Standard value of ω_c , r , q , and γ_c

種 別 Wood	ω_c	r	q	γ_c
	σ_c/E_c	σ_t/σ_c	σ_c/τ	σ_{cp}/σ_c
針 葉 樹 Soft wood	0.0035	3.0	4.0	0.85
	0.0033~0.0037	2.8~3.2	3.8~4.2	0.85~0.95
広 葉 樹 Hard wood	0.0045	3.0	3.0	0.60
	0.0043~0.0047	2.8~3.2	2.8~3.2	0.60~0.70

Table 19. 等級の増減
Increasing or decreasing of strength grade by the value of ω_c , r and q

種別 Wood	等級 Grade	ω_c	r	q	綜合判定方式* Judging table fore 'strength grading'
針葉樹 Soft wood	+1	<0.0032	3.3<	<3.7	$\omega_c+r+q \geq +3$ ($\omega_c \geq 0; r \geq 0; q \geq 0$)
	標準等級 Standard 0	0.0033~0.0037	2.8~3.2	3.8~4.2	$0 \leq (\omega_c+r+q) \leq +2$ ($\omega_c \geq -1; r \geq -1; q \geq -1$)
	-1	0.0038~0.0042	2.3~2.7	4.3~4.7	$0 \geq (\omega_c+r+q) \geq -3$ ($\omega_c \geq -2; r \geq -2; q \geq -2$)
	-2	0.0043~0.0047	1.8~2.2	4.8~5.2	$-3 \geq (\omega_c+r+q) \geq -6$ ($\omega_c \geq -3; r \geq -3; q \geq -3$)
	-3	0.0048<	<1.7	5.3<	$-6 \geq (\omega_c+r+q) \geq -9$ ($\omega_c \geq -3; r \geq -3; q \geq -3$)
広葉樹 Hard wood	+1	<0.0042	3.3<	<2.7	同上 (Similar)
	標準等級 Standard 0	0.0043~0.0047	2.8~3.2	2.8~3.2	"
	-1	0.0048~0.0052	2.3~2.7	3.3~3.7	"
	-2	0.0053~0.0057	1.8~2.2	3.8~4.2	"
	-3	0.0058<	<1.7	>4.3	"

Table 20. 標準等級表
Standard strength for strength-graded wood

種別 Wood	等級 C. G.	σ_c kg/cm ²	σ_{cp} kg/cm ²	E kg/cm ²	σ_t kg/cm ²	τ kg/cm ²	σ_b kg/cm ²
針葉樹 Soft wood	C 150	150	130	40,000	450	40	270
	C 200	200	170	55,000	600	50	360
	C 250	250	210	70,000	750	60	450
	C 300	300	250	85,000	900	75	540
	C 350	350	300	100,000	1,050	85	630
	C 400	400	340	115,000	1,200	100	720
	C 450	450	380	130,000	1,350	110	810
	C 500	500	420	145,000	1,500	125	900
	C 550	550	470	155,000	1,650	135	990
	C 600	600	510	170,000	1,800	150	1,080
広葉樹 Hard wood	C 200	200	120	45,000	600	65	400
	C 250	250	150	55,000	750	80	500
	C 300	300	180	65,000	900	100	600
	C 350	350	210	80,000	1,050	115	700
	C 400	400	240	90,000	1,200	130	800
	C 450	450	270	100,000	1,350	150	900
	C 500	500	300	110,000	1,500	165	1,000
	C 550	550	330	120,000	1,650	180	1,100
	C 600	600	360	135,000	1,800	200	1,200
	C 650	650	390	145,000	1,950	215	1,300

Table 21. 強度等級区分をおこなつたものと実測値との比較
Comparison of measured and strength-graded value

Group	Measured strength					Graded Strength					E_c	$\frac{\sigma_t}{\bar{\sigma}_t}$	$\frac{\tau}{\bar{\tau}}$	$\frac{\sigma_b}{\bar{\sigma}_b}$	
	σ_c	E_c	σ_t	τ	σ_b	$\bar{\sigma}_c$	\bar{E}_c	$\bar{\sigma}_t$	$\bar{\tau}$	$\bar{\sigma}_b$	\bar{E}_c	$\bar{\sigma}_t$	$\bar{\tau}$	$\bar{\sigma}_b$	
A I	360	133	1280	90	691	350	100	1050	85	630	1.33	1.22	1.06	1.10	
A II	365	125	918	92	689	350	100	1050	85	630	1.25	0.88	1.08	1.10	
A III	317	98	960	78	543	300	85	900	75	540	1.15	1.07	1.04	1.01	
A IV	332	113	1100	91	630	350	100	1050	85	630	1.13	1.05	1.07	1.00	
YJ I	284	103	992	91	643	300	85	900	75	540	1.21	1.10	1.21	1.19	
YJ II	324	111	1223	100	727	350	100	1050	85	630	1.11	1.17	1.18	1.15	
YG I	242	82	785	79	524	250	70	750	60	450	1.17	1.05	1.32	1.16	
YG II	378	114	923	96	792	350	100	1050	85	630	1.14	0.88	1.13	1.26	
F I	332	85	907	105	653	350	80	1050	115	700	1.06	0.86	0.91	0.93	
F II	356	100	984	114	744	350	80	1050	115	700	1.25	0.94	0.99	1.06	
F III	355	102	1019	113	788	350	80	1050	115	700	1.27	0.97	0.98	1.12	
F IV	360	107	1229	111	828	350	80	1050	115	700	1.34	1.17	0.97	1.18	
F V	378	114	1133	111	903	400	90	1200	130	800	1.27	0.94	0.85	1.13	
QR I	325	54	404	125	551	250	55	750	80	500	0.98	0.54	1.56	1.10	
QR II	329	66	562	122	654	250	55	750	80	500	1.20	0.74	1.53	1.30	
QR III	405	91	872	139	873	350	80	1050	115	700	1.11	0.83	1.21	1.25	
Q I	271	48	546	113	491	200	45	600	65	400	1.07	0.91	1.74	1.23	
Q II	341	74	763	124	611	300	65	900	100	600	1.14	0.85	1.24	1.02	
Q III	345	61	673	129	590	300	65	900	100	600	0.94	0.75	1.29	0.99	
Q IV	352	78	786	125	697	300	65	900	100	600	1.20	0.87	1.25	1.16	
Q V	398	74	779	152	709	350	80	1050	115	700	0.93	0.74	1.32	1.01	
Q VI	415	84	862	155	787	350	80	1050	115	700	1.05	0.82	1.35	1.14	
Q VII	417	89	902	155	775	350	80	1050	115	700	1.11	0.86	1.35	1.11	
Q VIII	490	107	1311	161	931	450	100	1350	150	900	1.07	0.97	1.07	1.03	
Q IX	510	143	1526	162	1067	500	110	1500	165	1000	1.30	1.02	0.98	1.07	
Q X	339	76	773	124	715	300	65	900	100	600	1.17	0.86	1.24	1.19	
B I	384	92	1027	129	808	400	90	1200	130	800	1.02	0.86	0.99	1.01	
B II	375	96	1051	135	875	400	90	1200	130	800	1.07	0.88	1.04	1.09	
B III	440	119	1424	144	1029	450	100	1350	150	900	1.19	1.06	0.96	1.14	
M I	455	125	1234	174	1079	450	100	1350	150	900	1.25	0.91	1.16	1.20	
M II	503	141	1288	171	1203	500	110	1500	165	1000	1.28	0.86	1.04	1.20	
M III	599	156	1803	176	1321	600	135	1800	200	1200	1.15	1.00	0.88	1.09	
											\bar{A}	1.15	0.93	1.15	1.12
											$\pm \Delta \%$	9.1	15.1	17.6	7.8

(iv) 強度等級区分による強度値と実測値との比較

強度等級表を用いて判定した数値を $\bar{\sigma}_c$, \bar{E}_c , $\bar{\sigma}_t$, $\bar{\tau}$, および $\bar{\sigma}_b$ として実測値と比較したのが Table 21 である。これによると引張強度において若干過大な評価になるほかは、だいたいにおいて実測値に近い安全側の値になっている。

そこで、この強度の判定値が、集成材梁の実測値に対してどのような関係にあるかが問題となる。すなわち、この挽板の強度等級がそのまま、集成材の強度等級とみてさしつかえないかどうかを検討しなければならないわけである。このことについては後に論ずる。

なお、圧縮強度を基準等級値にとつたのは、この値が試験的にも最も得やすく、かつ、他の強度値に対して比較のパラッキも少ない(不規則な)傾向があると考えたからである。

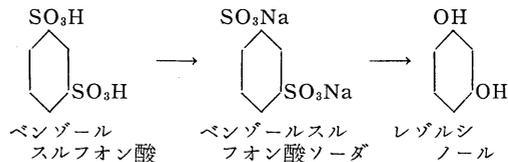
その強度階を 50 kg としたのは、実用上の限度が 50 kg でこれより小さくすることは一般に意味がないとおもわれたからで、もし、場合によつて 100 kg 階とすべきときは、そのようにくることができ

2. 接着加工

2.1. 接着剤

初期接着力試験において、高度の木部破断率を示す接着剤として、尿素樹脂接着剤、石炭酸樹脂接着剤およびレゾルシノール樹脂接着剤のうち、後者が最も信頼性があり、しかも高度の耐水性を有するので、これを用いた。

さて、レゾルシノール樹脂¹³⁾はレゾルシノールとホルマリンとの縮合物の一般の名称である。原料のレゾルシノールは 2 個のフェノール(OH 基を 2 つもつたもの)で、ベンゾール、メタデスルホン酸をアルカリ溶解することにより得られる。



レゾルシノールは普通のフェノールの場合よりもホルマリンとの反応性は著しく激しく、触媒なしに反応する。反応が激しい発熱反応でコントロールがむずかしく、他の合成樹脂の発展に比して遅れて 1943 年によろやく完成したものである。

つぎに、レゾルシノール樹脂を使用時に不足のホルマリンをパラフォルムの形で添加して使用するもので、その反応性は非常にデリケートに樹脂液の pH に影響する。

レゾルシノール樹脂接着剤として、日本ライヒホルド化学工業株式会社製の Plyphen 6000、硬化剤として Plyphen 6002 を用いその性質を測定した結果は Table 22 にかがけるとおりである。

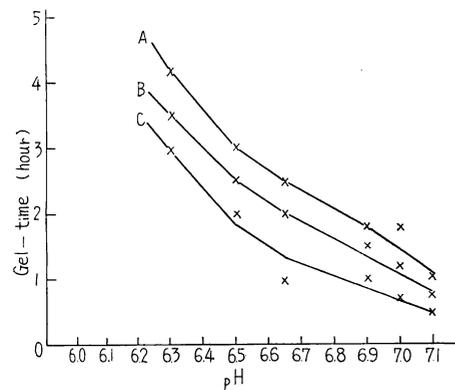


Fig. 11 レゾルシノール樹脂接着剤の pH とゲルタイムとの関係

The relation of pH of adhesive and gel-time

	Plyphen 6000	Plyphen 6002	Alcohol	Water
A	100 parts	20 parts	100 parts	
B	100 "	20 "	67 "	33 parts
C	100 "	30 "	33 "	67 "

Table 22. Plyophen No. 6000 の性質
The properties of resorcinol-formaldehyde resin adhesive (Plyophen 6000)

Properties	Temperature at measured	Pure adhesive or mixed hardner	Measured value
Specific gravity	20°C	Plyophen 6000	1.1285 g/cm^3
"	" "	100 parts (Ply. 6000) 20 " (Ply. 6002)	1.2050 "
"	25 "	Plyophen 6000	1.1255 "
"	" "	100 parts (Ply. 6000) 20 " (Ply. 6002)	1.1160 "
Viscosity	20 "	Plyophen 6000	6.51 pois
"	" "	100 parts (Ply. 6000) 20 " (Ply. 6002)	10.45 "
"	25 "	Plyophen 6000	4.89 "
"	" "	100 parts (Ply. 6000) 20 " (Ply. 6002)	8.88 "
pH	20 "	Plyophen 6000	7.35
	" "	100 parts (Ply. 6000) 20 " (Ply. 6002)	7.80
Resin percentage			57.15 %
Surface tension	20 "	Plyophen 6000	26.93 dyne/cm
	" "	100 parts (Ply. 6000) 20 " (Ply. 6002)	38.59 "

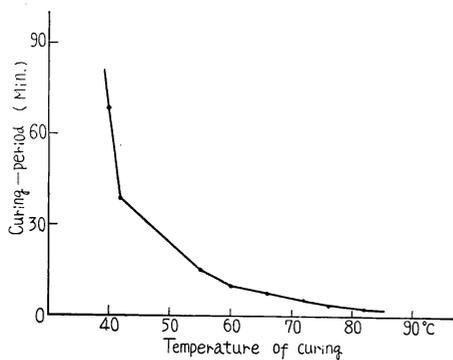


Fig. 12 硬化温度と硬化時間との関係

The relation of temperature of curing and curing period

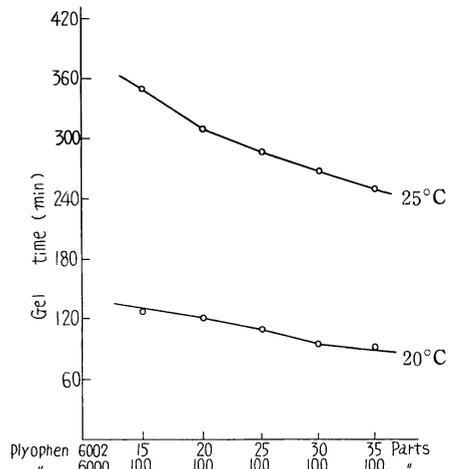


Fig. 13 硬化剤添加量とゲル化時間

The relation of plyophen 6000 added with various content of hardner (Plyophen 6002) and gel-time

Plyophen 6000 は普通触媒と充填剤の混合物である硬化剤を使用時に配合する。中温硬化用の硬化剤として日本ライヒホルド工業株式会社が推奨している Plyophen 6002 を使用した。その添加量は 20% が基準であつて、その場合の硬化温度と硬化時間の関係は Fig. 12 のとおりであり、硬化剤の添加量を変えてゲルタイムを 25°C (A) および 20°C (B) において求めた結果は Fig. 13 のとおりであつた。

この試験に使用を予定された Plyophen 6000, および同 6002 は上述のような性状を備えているが、これら各種の性質の中で、ゲル化に要する時間がきわめて長く、尿素樹脂接着剤等と比較するとき、かなり、はつきりと相違する点があるので、接着硬化工程を加熱によつて促進することの必要性が推測され事前に適正な硬化条件を決定しなければならぬと考えられるので、以下のとおり予備試験を行うこととした。

製作せる供試ビームは 10 cm×10 cm×40 cm, 5 Ply とし、硬化条件を変えて調製される各ビームは同一性状の挽板をもつて構成されるようにするために、すべて正板目挽板とし、各挽板の比重を測定して各 5 枚のグループをそれぞれ 3 組ずつ Table 23 のとおり分類し組み合わせて準備した。

Table 23. 供試ビームを構成する挽板の比重
Specific gravity of sample-beam-laminae

Specific gravity		Room-temperature-setting			40°C-setting			50°C-setting			60°C-setting		
		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
		Average	0.66	0.61	0.57	0.66	0.61	0.57	0.65	0.61	0.57	0.65	0.60
Min.	0.63	0.59	0.54	0.63	0.59	0.55	0.63	0.59	0.55	0.61	0.58	0.52	
Max.	0.69	0.62	0.59	0.72	0.62	0.59	0.71	0.62	0.59	0.67	0.61	0.58	

接着剤の配合、混合攪拌、塗付堆積、圧縮等の接着操作はすべて 2.2. 項と同様の方法を取り、詳細を記すと Table 24 のとおりである。硬化温度は、常温、40°C、50°C、60°C の 4 種類をとり、硬化時間は、3 m ビーム接着時の作業工程の内容と対比して検討し、上記の各温度にて 3 時間加熱し、そのままの状態にて同一室内に放置して翌日、20~22 時間経過後にクランプをはずすこととした。

Table 24. 接着加工条件
Gluing conditions

	Room-temperature-setting	40°C-setting	50°C-setting	60°C-setting
Temperature in gluing-room °C	30.8	30.5	29.4	25.5
Relative humidity in gluing-room %	75	70	73	65
Spread <i>g/ft²</i>	26.0~27.8	26.6~27.8	24.2~27.2	25.4~26.6
Assembly time <i>min.</i>	7~15	7~14	5~13	11~17
Gluing pressure <i>kg/cm²</i>	18	18	18	18

なお、加熱および放置中の室内湿度は乾湿球の温度差を 10°C 以内に維持するようにした。上記のようにして調製を終つたビームは 7 日間以上放置後、ブロック剪断試験片、接着耐久力促進試験片を切りとり、3.1.1. および 3.1.2. と同じ方法で、接着性能を試験し、結果を Table 25 に示した。

Table 25. 硬化温度を異にする集成材の接着性能
Adhesion faculty of laminated wood cured by each setting-temperature

		Room-tempera- ture-setting	40°C-setting	50°C-setting	60°C-setting
Block-shear- test	Shear strength kg/cm^2	101.4±13.5	104.2±9.7	108.2±10.7	120.8±13.5
	Wood failure %	45.8	74.4	86.0	95.0
	Moisture content %	12.9±0.8	13.0±0.8	12.5±1.0	12.0±0.5
	Number of specimens	30	30	30	30
Delami- nation test	Percentage of delamination %	18.2	4.8	7.5	0.5
	Number of specimens	3	3	3	3

2.2. 接着加工

(1) 調製ビームの寸法と挽板準備

調製ビームの寸法は、巾は挽板巾（10～12 cm），厚は約 20 mm 厚挽板 5 枚合わせの厚さ（約 10 cm）長さは 280～290 cm とし、挽板の組み方は木表と木表、木裏と木裏が相対向して接着されるようにし、各挽板について所定の測定を行つてから、あらかじめ挽板の側面に積層順序と接着方向を明示する符号をつけ、1 本分ごとに結束し、含水率が変化しないようにビニールシートに包んで準備した。

(2) 接着剤の調製

処方

Plyophen 6000 100

Plyophen 6002 20

の重量比とした。

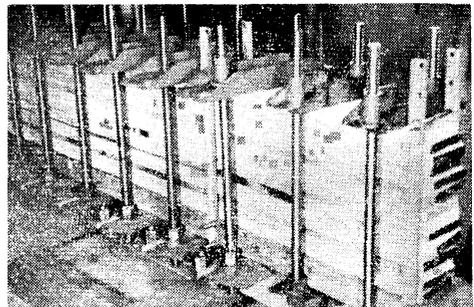
混合攪拌……接着剤の混合攪拌には、5 l 入珐瑯びきビーカーと攪拌棒を用い、まず粉末状硬化剤 6002 の所定の全量をビーカーにとり、つぎに、樹脂液状 6000 の所定量の約 1/3 量を加え攪拌してペースト状によく混和してから残りの全量を加え、ふたたびよく攪拌して配合接着剤を調製した。なお混合攪拌のための所要時間は 15～20 分であつた。

(3) 接着剤の塗付

接着剤の塗付は Phot. 18 に示すように刷毛塗、両面塗付とし、1 接着層当りの塗付量 30 gr/尺²を目



Phot. 18 接着剤の塗付
Glue spreading



Phot. 19 挽板の堆積状況
Assembly of laminae

標として、挽板片面に塗る接着剤量をあらかじめ計算して、各接着面ごとの所要量を小型ピーカーにて秤量しながら塗付し、上皿秤を用いて接着剤塗付前後の挽板重量を測定して、塗付量を調整することとし測定結果を計算して各ビームごとの塗付量を Table 26 に示した。

Table 26. ビームごとの接着加工条件
Gluing conditions

	MIZUNARA Q										MIZUNARA QR			MAKABA		
	Q I	Q II	Q III	Q IV	Q V	Q VI	Q VII	Q VIII	Q IX	Q X	QR I	QR II	QR III	M I	M II	M III
Temperature in gluing-room °C	30.0	30.0	30.0	27.5	27.5	27.5	26.5	26.5	26.5	26.5	31.0	31.0	29.0	29.0	29.0	29.0
Relative humidity in gluing %	80.0	80.0	80.0	75.5	75.5	75.5	74.5	74.5	74.5	74.5	70.0	70.0	65.0	65.0	65.0	65.0
Spread g/ft ²	33.2	30.9	29.4	35.1	32.5	32.0	33.7	34.1	31.3	31.9	28.6	24.5	27.6	30.0	31.6	31.7
Closed assembly time min	23	30	38	36	28	22	50	40	34	27	26	34	43	23	28	34
Pressure kg/cm ²	14	14	14	16	16	16	18	18	18	18	16	16	16	16	16	16
Curing condition	Fig 15	Fig 15	Fig 15	Fig 16	Fig 16	Fig 16	Fig 17	Fig 17	Fig 17	Fig 17	Fig 20	Fig 20	Fig 20	Fig 21	Fig 21	Fig 21

	YACHIDAMO					BUNA			TODOMATS				YEZOMATSU			
	F I	F II	F III	F IV	F V	B I	B II	B III	A I	A II	A III	A IV	YJ I	YJ II	YG I	YG II
Temperature in gluing-room °C	30.5	30.5	31.0	30.5	31.0	29.0	29.0	29.0	25.5	25.5	25.5	25.5	31.5	31.5	31.5	31.5
Relative humidity in gluing %	70.0	70.0	70.0	70.0	70.0	67.0	67.0	67.0	66.0	66.0	66.0	66.0	65.0	65.0	65.0	65.0
Spread g/ft ²	31.3	32.2	27.1	28.3	29.9	31.9	28.9	26.5	30.0	31.2	28.4	29.1	26.4	27.4	23.7	30.2
Closed assembly time min	31	38	50	46	42	22	27	34	46	36	28	18	39	46	55	68
Pressure kg/cm ²	15	15	16	15	16	12	12	12	9	9	9	9	8	8	8	8
Curing condition	Fig 20	Fig 20	Fig 20	Fig 20	Fig 20	Fig 21	Fig 21	Fig 21	Fig 18	Fig 18	Fig 18	Fig 18	Fig 19	Fig 19	Fig 19	Fig 19

(4) 挽板の堆積

接着剤塗付を終った挽板は Phot. 19 に示すように堆積し、ビーム 3~4 本分を同一のクランプ内で圧縮した。ビームごとの堆積時間を Table 26 に示した。

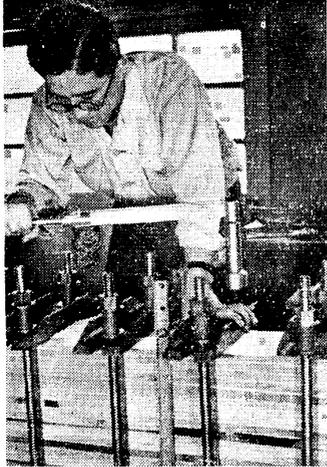
(5) 接着圧縮

接着圧縮は Phot. 19 および Phot. 20 に示すようにボルトナット形式のクランプを使用することとし、木製治具の上に鉄製チャネルを配置して両側のボルトを立て、上部には下部チャネルと対向して同じチャネルを置き、また、ナットの廻転操作を容易にするために、上部坐金の間に高圧管パイプを挿入することとした。

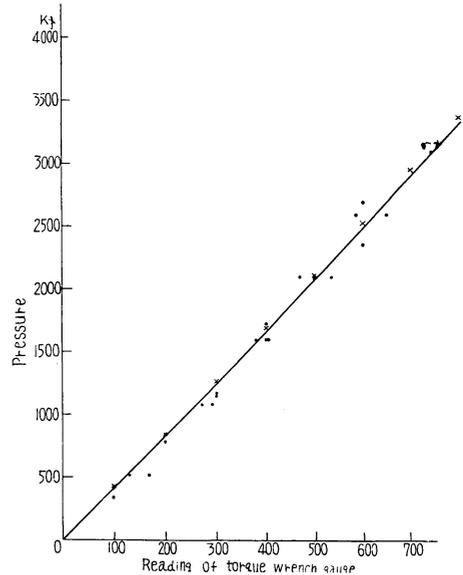
当て板厚とクランプ間隔……当て板は厚さ 20 mm のミズナラ挽板を使用し、クランプ間隔は 10 cm とした。

側圧クランプ……接着剤塗付後の挽板を積層圧縮するとき、積層面に垂直方向の圧力のみを加えると、挽板が両側に亘つて段違い接着を生ずるので、堆積後の挽板積層物を治具クランプ内におさめてから、まず Phot. 19 に示すとおり側圧クランプをかけ、つぎに、垂直方向の圧力を加える操作を行つた。

圧縮圧力の調整……積層圧縮のためのクランプは積層物長さの方向のほぼ中央部から順次両外側にむかつて締めることとし、スパーナーによる一とおりの圧縮終了後、側圧クランプをはずし、Phot. 20 に示すようにトルクレンチを用いて所定の圧縮圧力に調整する。なお、この試験に使用したボルトナツトクランプ1組の圧縮全圧力とトルクレンチの読みとの関係を示すと Fig. 14 のとおりであつて、各ビームの接着圧縮圧力は Table 26 のとおりである。



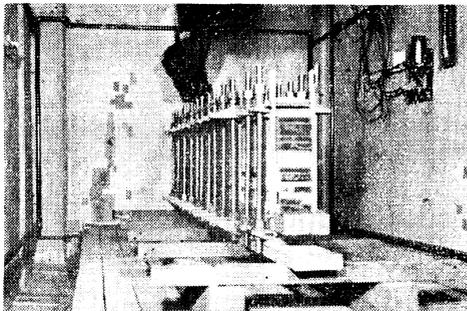
Phot. 20 トルクレンチによる圧縮圧力の調整
Adjustment of pressure by torque wrench



トルクレンチの読み
Fig. 14 圧縮全圧力とトルクレンチの読みとの関係
The relation of pressure and torque wrench gauge

(6) 加熱硬化

圧縮を終了した積層物は Phot. 21 に示すように治具をのせた台車ごと加熱硬化室にいれ、加熱硬化を行つた。加熱硬化室としては乾燥研究室の 20 石入 I F 型乾燥室を使用し、バルブの開閉とファンの切り換えによつて室内温湿度を調整した。これらの加熱硬化条件を示すと Fig. 15~Fig. 21 のとおりである。



Phot. 21 集成材の加熱硬化
Clamped assembly in curing chamber

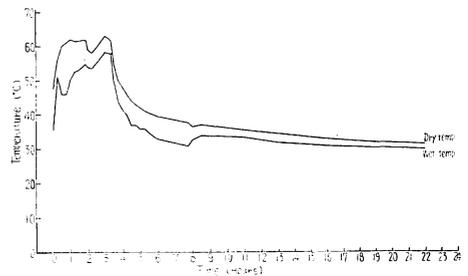


Fig. 15 加熱硬化条件
Dry and Wet temperature in curing chamber (MIZUNARA Q I, Q II, Q III)

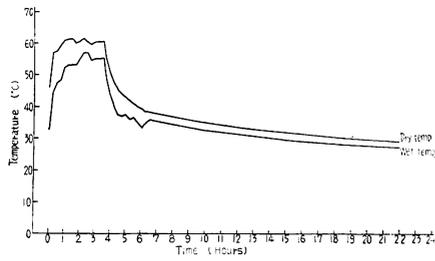


Fig. 16 加熱硬化条件
Dry and Wet temperature in curing chamber (MIZUNARA QIV, QV, QVI)

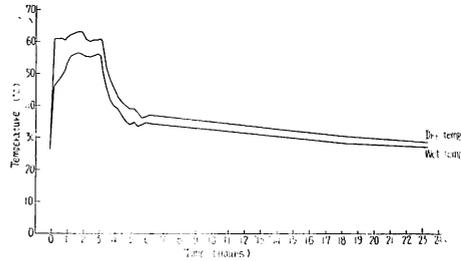


Fig. 17 加熱硬化条件
Dry and Wet temperature in curing chamber (MIZUNARA QVII, QVIII, QIX, QX)

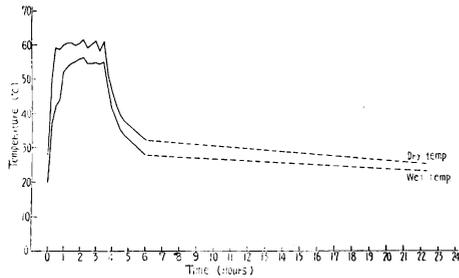


Fig. 18 加熱硬化条件
Dry and Wet temperature in curing chamber (TODOMATSU AI, AII, AIII, AIV)

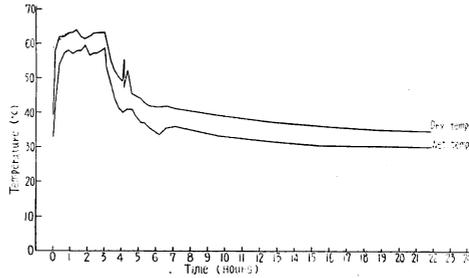


Fig. 19 加熱硬化条件
Dry and Wet temperature in curing chamber (YEZOMATSU YJI, YJII, YGI, YGII)

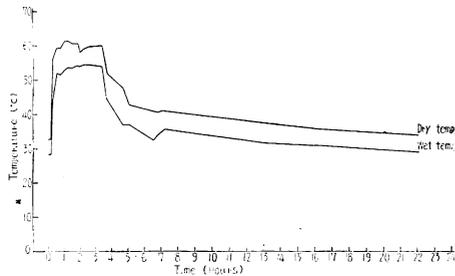


Fig. 20 加熱硬化条件
Dry and Wet temperature in curing chamber (MIZUNARA QR I, QR II, QR III, YACHIDAMO FI, FII, FIII, FIV, FV)

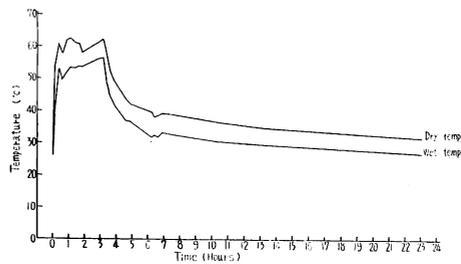


Fig. 21 加熱硬化条件
Dry and Wet temperature in curing chamber (MAKABA MI, MII, MIII, BUNA BI, BII, BIII)

(7) 調製ビームの仕上加工

接着加工の全工程を終了した材料は7日間以上室内に放置してから、接着層からはみだして硬化した接着剤を除去するために、42" 自動送材車付帯鋸機で両側面をうすく挽き落とし、つぎに自動鉋盤で平滑に仕上げ削りをした。

Ⅳ 集成材の性能試験

1. 接着性能試験

1.1. ブロック剪断試験

接着されたビームの初期接着力を試験するために、各ビームから採取された試験片について ASTM D 805-52 に準拠して次の試験を行った。

(1) 試験片の採取位置と形状寸法

各ビームの両端 Fig. 22 に示す位置からそれぞれ Fig. 23 に示す階段状ブロック剪断試験片を Table 1 に示す個数ずつ採取した。

寸法は各挽板の厚さを厚さとし、剪断面の巾は、ビームの寸法と採取方法によつて約 48 mm あるいは約 51 mm とした。

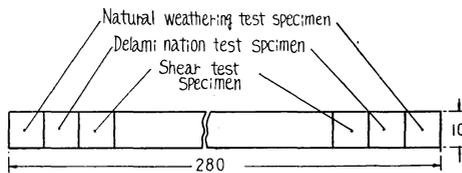


Fig. 22 試験片採取位置
Situation of test specimens

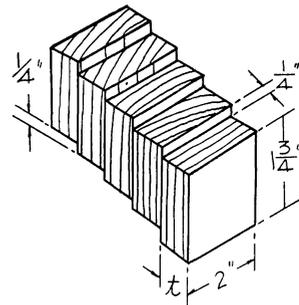


Fig. 23 階段状ブロック剪断試験
Block shear test piece

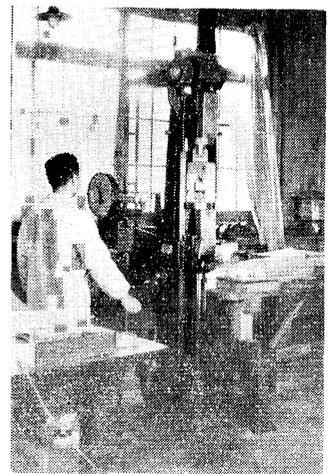
(2) 試験方法

島津製作所製 5 ton 槓桿式材料試験機を用い、Phot. 22 に示すような剪断試験アタッチメントを使用して、荷重が試片の高さ方向に平行で試片の底面に直角にかかるように試片を固定してから荷重を加えた。なお、ミズナラ Q の試片については剪断面と下部支持金具先端との間に 2 mm の間隙をもたせ、その他の試験片についてはこのような間隙なしに試験を行い、荷重速度毎分 40 kg/cm² 以下とし、破壊時の荷重 P として次式により、剪断接着力 τ_a を計算した。

$$\tau_a = \frac{P}{b \times h}$$

ただし、P = 破壊時の荷重、b = 剪断面の巾、h = 剪断面の高さ

なお、破壊後の試験片について、それぞれ木部破断率を視測しまた、全乾法によつて試験時の試験片の含水率を測定計算した。



Phot. 22 ブロック剪断接着力試験
Block shear adhesion test

(3) 試験結果

(i) 剪断接着力

Table 27, および Table 28 に示したように, 試験時の含水率はほぼ一定しており, また, 試験時の温度も試験片ごとに極端な差はないので, Table 28 において, 剪断力を樹種別に大きさの順に並べるとマカンバ>ブナ>ミズナラ QR>ミズナラ Q>ヤチダモ>エゾマツ YJ>エゾマツ YG>トドマツ, となる。これを, おなじく比重の順に並べると, マカンバ>ミズナラ Q>ミズナラ QR>ブナ>ヤチダモ>エゾマツ YJ>エゾマツ YG>トドマツ, となり, 剪断力の大小と比重のそれとが, ミズナラ Q, ミズナラ QR, ブナの間で順序が逆になっているが, その他は比重の大きなものは剪断力も大きくなっている。これらの関係を明示するために, 樹種—比重—剪断接着力の関係を Fig. 24 に示した。

(ii) 木部破断率

Table 28 により樹種と木部破断率との関係をみると, ミズナラ Q, ミズナラ QR, およびマカンバが 88~92 % でほぼ同等の数字を示し, ヤチダモ, ブナ, トドマツ, およびエゾマツが 98~100 % でほとんど 100 % の数字となつているが, 破断の状況は Phot. 23 に示すように樹種によつてそれぞれの特長が認められる。なお, 樹種—比重—木部破断率の関係を示すと Fig. 25 のとおりである。

1.2. 接着耐久性試験

製作ビームの接着耐久性を知るために, 前項プロック剪断試験によつて初期接着力を試験すると同時に長期戸外の自然暴露条件に匹敵する接着耐久力の促進試験を, ASTM D 1101-55 に準拠して行つた。

(1) 試験片の採取位置と形状寸法

試験片の採取位置を Fig. 22 に示した。その寸法は, 断面を製品断面とし, 長さを約 70 mm とした。

(2) 試験片の処理法

Table 27. ビームごとの
The result of adhesion

Species		MIZUNARA Q										MIZUNARA QR			
		Q I	Q II	Q III	Q IV	Q V	Q VI	Q VII	Q VIII	Q IX	Q X	QR I	QR II	QR III	
Block shear test	Average kg/cm^2	117.2	123.8	123.1	134.6	137.8	139.4	133.7	134.3	146.8	109.8	139.3	136.9	148.5	
	Standard deviation $\pm kg/cm^2$	11.9	16.0	10.4	10.5	10.8	10.8	11.0	10.9	7.1	25.8	12.5	13.4	18.5	
	Coefficient of variation %	10.2	12.9	8.5	7.8	7.8	7.8	8.2	8.1	4.8	23.5	9.0	9.8	12.5	
	Wood failure average %	95	98	94	91	89	90	83	82	78	81	85	94	84	
	Moisture content	Average %	12.1	11.4	12.1	11.7	11.7	11.7	11.5	11.7	11.7	12.0	13.2	13.1	12.7
Moisture content	Standard deviation \pm %	0.5	0.6	0.5	0.4	0.3	0.3	0.4	0.3	0.7	0.5	0.3	0.5	0.5	
	Coefficient of variation %	4.1	5.3	4.1	3.4	2.6	2.6	3.5	2.6	6.0	4.2	2.3	3.8	4.0	
	Number of measurement	8	8	8	8	8	8	8	8	8	4	16	16	16	
Delamination test	Percentage of delamination	A %	0	0	0	2.9	5.7	0	1.2	3.4	0	17.3	15.5	5.6	7.0
		B %	0	0	0.6	2.0	0	7.9	3.2	0	2.7	—	12.7	0.9	33.3
Specific gravity		0.58	0.64	0.62	0.65	0.65	0.64	0.68	0.68	0.73	0.62	0.64	0.60	0.66	

注水処理……試験片を金網と隔離棒によつて一定間隔に隔離しながら圧力容器中にならべ、試験片の木口面が容器中の空気あるいは水と完全に接触するようにしてから、容器を密閉し、750 mm 以上の真空中にて1時間排気処理をしたのちに、真空状態を維持しながら容器中に水を充満させ、つぎに、空気圧搾機を用いて、 $4.8 \text{ kg/cm}^2 \sim 5.2 \text{ kg/cm}^2$ の圧力を加え、この状態を2時間持続して、試験片中に水を加圧注入する。しかして、上記の排気処理と加圧処理をもう一度繰り返して行う。

乾燥処理……注水処理によつて飽水状態に達した試験片を恒温恒湿の室内に入れ、試験片相互の間隔を約 3~5 cm 離して、両木口面が風の流れと平行になるように金網上に配置し、吹込み側の空気温湿度条件を、温度 28~29°C、関係湿度 25~30 %に維持し、室内換気扇によつて 1 m/sec 以上の材間風速を与えて 3/4 日間乾燥を行う。

乾湿の繰返し回数……上記の注水処理および乾燥処理を1循環として、同じ操作を3循環合計 12 日間連続繰返して処理する。

測定計算法……接着耐久度の判定は接着層の剝離率によることとし、上記の処理全工程を経過した試験片について、両木口面の接着層の長さとの剝離の長さとの竹製のスケールを用いて 1 mm まで読み次式により剝離率を計算した。

$$Dl = \frac{d_l}{D_t} \times 100 (\%)$$

ただし、Dl=剝離率

d_l = 両木口面に生じた剝離長の合計

D_t = 両木口面接着層長さの合計

(3) 試験結果

接着性能試験結果

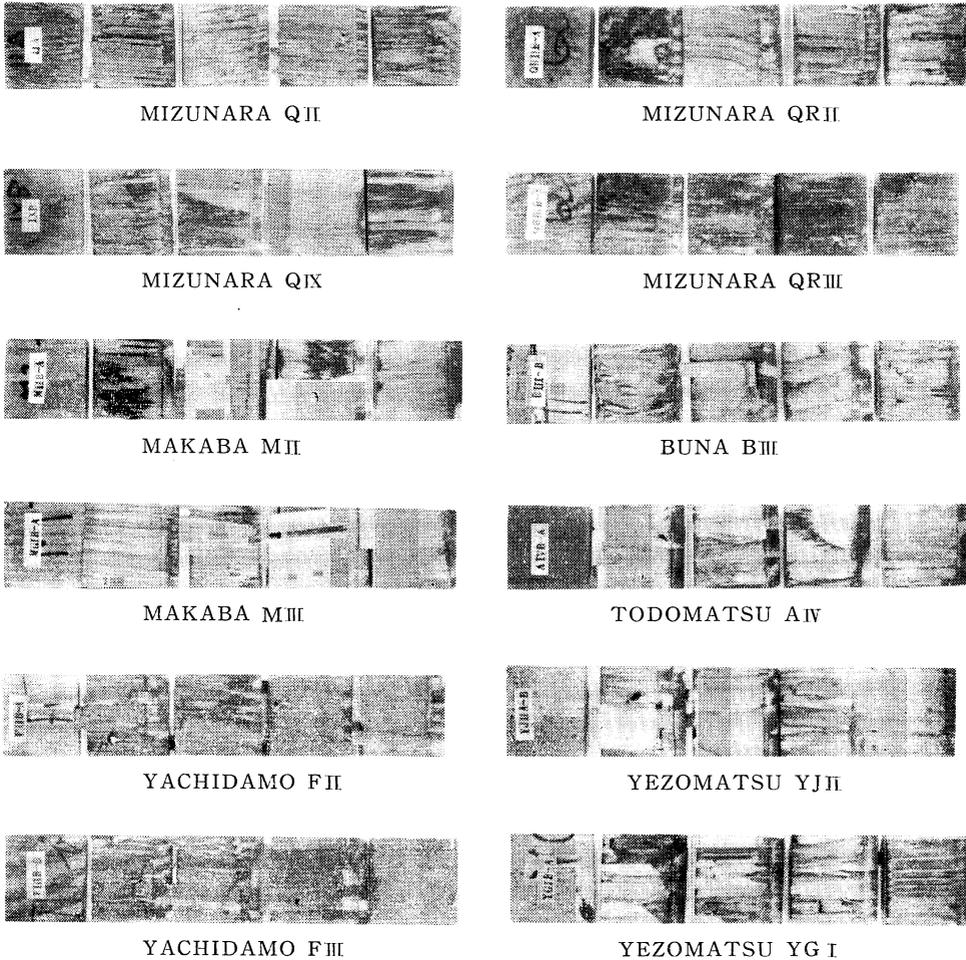
faculty test on each beam

MAKABA					YACHIDAMO					BUNA			TODOMATSU				YEZOMATSU			
MI	MII	MIII	FI	FII	FIII	FIV	FV	BI	BII	BIII	AI	AII	AIII	AIV	YJ I	YJ II	YG I	YG II		
185.2	183.3	181.0	104.5	107.8	113.2	110.2	107.8	151.7	146.3	161.7	84.8	84.6	64.4	77.9	83.9	82.4	72.0	84.5		
28.9	17.6	17.8	13.0	14.6	11.2	13.7	8.7	12.9	9.9	13.3	14.1	11.1	7.7	11.1	5.7	9.1	5.5	11.8		
15.6	9.6	9.8	12.4	13.5	9.9	12.4	8.1	8.5	6.8	8.2	16.6	13.1	12.0	14.2	6.8	11.1	7.6	14.0		
88	94	94	100	100	99	98	100	100	98	99	98	100	100	100	100	99	99	98		
12.6	12.3	12.6	12.8	13.0	13.1	12.8	12.9	12.7	13.3	12.5	13.2	12.9	12.9	12.7	13.3	13.8	13.9	13.5		
0.3	0.3	0.4	0.7	0.7	0.5	0.5	0.4	0.4	0.6	0.4	0.4	0.5	0.5	0.4	0.5	0.3	0.6	0.7		
2.4	2.4	3.2	5.5	5.4	3.8	3.9	3.1	3.1	4.5	3.2	3.0	3.9	3.9	3.2	3.8	2.2	4.3	5.2		
16	16	16	16	16	16	16	16	8	8	8	16	16	16	16	16	16	16	16		
0	0	1.3	0	0	1.2	1.6	0	0	0.6	0	17.2	6.3	11.1	6.4	26.2	3.1	5.2	6.1		
8.3	9.7	3.3	0	0	0	1.7	0	—	—	—	19.2	8.7	7.7	9.3	15.3	4.1	2.1	4.2		
0.68	0.71	0.69	0.48	0.54	0.54	0.54	0.56	0.60	0.61	0.66	0.42	0.42	0.35	0.38	0.39	0.43	0.34	0.47		

剝離率は Table 28 に示されるように、広葉樹では、ヤチダモとブナが 1%以下で最小、ミズナラ Q とマカンバが 5%以下でこれにつき、ミズナラ QR が 13.0%で最も大きかった。また、針葉樹では、アカエゾマツが最小 (4.4%)、クロエゾマツが最大 (12.2%) であつた。一般に広葉樹の剝離が小さく、反対に針葉樹の剝離が大きくなっているのは今回の試験結果のうちで注目すべき点である。したがつて、剝離率と比重との間にも明らかな関係は認められなかつた。

なお、Table 27 において、ミズナラ QX が大きな剝離率 (17.3%) を示しているが、これは挽板端部の鉋加工上の欠点 (前後のマクレ) により生じたものである。また、ミズナラ QR III において、同じビームの両端からそれぞれ、採取した試験片の間に大きな差がある (7.0%と 33.3%) のは不可解であるがその原因は探究できなかつた。

一般に、剝離試験による試験片の破壊状況は樹種により顕著な特徴が認められ、その状況を Phot. 24 に示した。



Phot. 23 木部破断の状況
Appearance of wood failure

Table 28. 樹種ごとの接着性能試験結果
The result of adhesion faculty test on each species

		MIZUNA- RA, Q	MIZUNA- RA, QR	MAKABA	YACHI- DAMO	BUNA	TODO- MATSU	YEZOMA- TSU, YJ	YEZOMA- TSU, YG	
Block shear test	Shear strength	Average kg/cm^2	131.1	141.6	183.2	108.7	153.3	77.9	83.2	78.2
		Standard deviation $\pm kg/cm^2$	48.2	15.5	21.6	12.4	13.3	14.0	7.5	11.1
		Coefficient of variation %	36.7	11.0	11.8	11.4	8.7	18.0	9.0	14.2
	Moisture content	Wood failure, average %	89	88	92	99	98	100	99	99
		Average %	11.7	13.0	12.5	12.9	12.8	12.9	13.6	13.7
		Standard deviation \pm %	0.2	0.5	0.4	0.6	0.5	0.5	0.5	0.7
Delamination test	Coefficient of variation %	1.7	3.8	3.2	4.7	3.9	3.9	3.7	5.1	
	Number of measurement	76	48	48	80	24	64	32	32	
	Percentage of delamination, average %	2.5	13.0	3.8	0.5	0.2	10.7	12.2	4.4	
	Specific gravity, average	0.65	0.63	0.70	0.53	0.62	0.39	0.41	0.40	
		Number of measurement	19	6	6	10	3	8	4	4

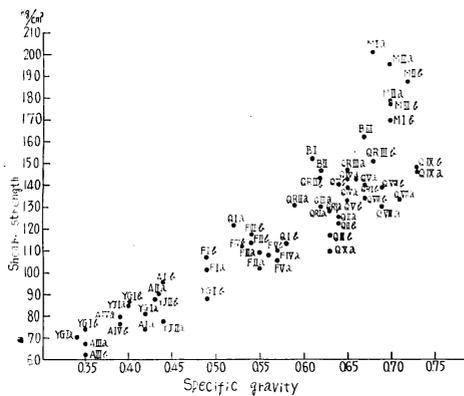


Fig. 24 樹種と接着剪断力と比重との関係
The relation of species, shear strength and specific gravity

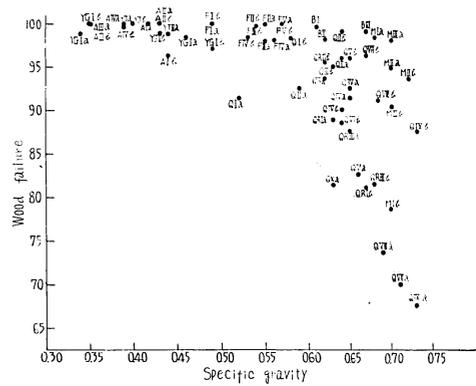
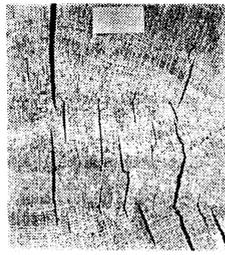


Fig. 25 樹種と木部破断率と比重との関係
The relation of species, wood failure and specific gravity



MIZUNARA, Q I B



MIZUNARA, Q II A



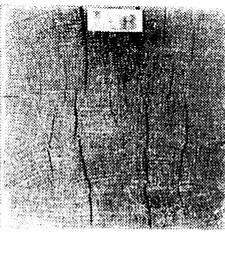
MIZUNARA, Q III B



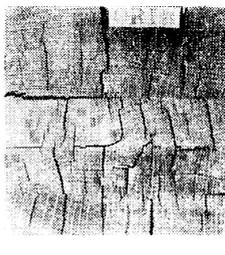
MIZUNARA, Q IV A



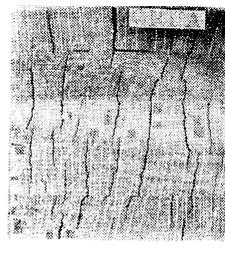
MIZUNARA, Q VIII A



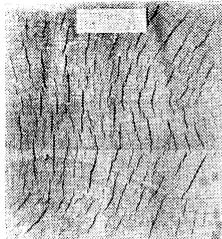
MIZUNARA, Q IX B



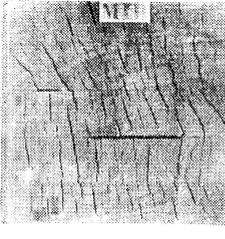
MIZUNARA, Q R I B



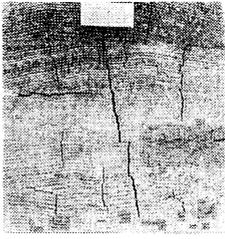
MIZUNARA, Q R II A



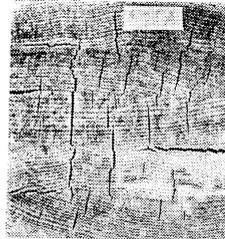
MAKABA, M I B



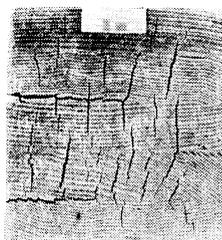
MAKABA, M III A



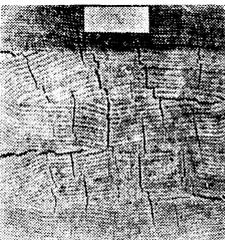
YACHIDAMO, F I A



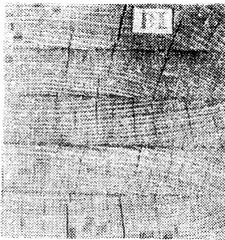
YACHIDAMO, F II A



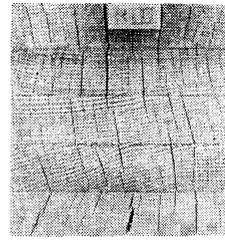
YACHIDAMO, F III A



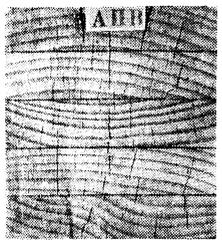
YACHIDAMO, F IV B



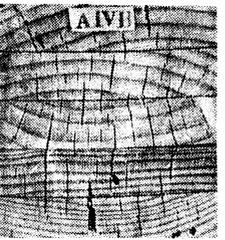
BUNA, B I



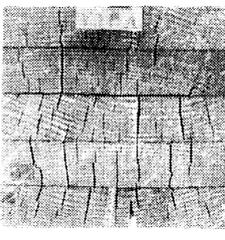
BUNA, B III



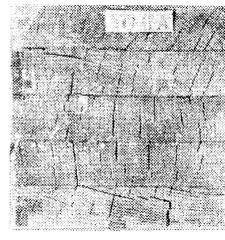
TODOMATSU, A II B



TODOMATSU, A IV B



YEZOMATSU, Y J II A



YEZOMATSU, Y G II A

Phot. 24 剝離試験後の木口面破壊状況
Destructed specimens after delamination test

1.3. 接着性能試験結果の総括

(1) 接着性能試験結果を Phot. 27 および Table 28 に示した。これらの結果は、材料挽板および接着剤、挽板加工度、接着加工条件等との関連において検討考察すべきであるが、今回の試験は海外、特に U. S. A. において行われている集成材の製造基準に準拠し、集成材材料およびその製造工程にできるかぎり完全な方法をとつて、本邦産の樹種と国内生産の接着剤によつて試作された集成材がいかなる性質を有するかを検討し、集成材の本質を究めると同時に国内において集成材の製造基準を確立する上に考慮しなければならない問題点を把握することが目的であつたので、まず、U. S. A. において一般化されている集成材製造基準の諸条件と、今回の試験で採用した条件とを項目ごとに対比すると Table 29 のとおりとなり、そのほとんどが、U. S. A. の基準と同等かあるいはさらに安全な条件と考えられるので、今回の試験結果を FREAS 氏の紹介した U. S. A. における同種接着剤、類似樹種による集成材の接着性能と比較してみると Fig. 26 のとおりである。

Table 29. この試験に採用した集成材調製条件と U. S. A. における集成材製造基準との比較
Comparison laminated wood preparing standard adopted in this test,
with the manufacturing standard recommended in U. S. A.

	挽板の性状 Condition of laminae				挽板組合せ Combination of laminae		接 着 剤 Adhesives		
	含水率 (%) Mois- ture content	鉋加工度 Smoothness after final surfacing		巾反り Cup	木理 Grain	含水率偏差 Moisture content deviation (%)	貯蔵期間 (月) Storage life (month)	可使時間 (時) Pot life (hour)	塗付量 (両面 g/ft ²) Spread double (g/ft ²)
		厚むら Difference in thick- ness(mm)	ナイフマーク Knife-marks (piece/inch)						
Standard in U.S.A.	6~17	0.4>	20~30	$\frac{W}{T} > \frac{h}{96}$	Similar grain	5>	12(26°C)	2~5	23~34
Standard in our test	10~13	0.0~0.77	16~23	No	Similar flat grain	0.6~3.5	2~4	1>	23~35
	接 着 加 工 Factor of adhesion						期間(日) Conditioning (days)		
	作業室温度(°C) Room tem- perature (°C)	堆積時間(分) Assembly time (min)	圧縮圧力 Pressure (kg/cm ²)	当て板厚 Thickness of caul	クランプ間隔 Clamp spacing	接着硬化条件 Curing temperature			
Standard in U.S.A.	25<	50~150	Hard wood 11~18 Soft wood 7~14	Thickness of caul 2 cm	Clamp spacing 18 cm	Room temp. intermediate temp.	1~7		
Standard in our test	25~31	20~70	Hard wood 12~18 Soft wood 8~9	Thickness of caul 2 cm	Clamp spacing 10 cm	60°C Inter- mediate temp.	7<		

この両者は、試験法は同様であるが、使用挽板の性状、特に比重等の記載がないので、的確な比較はできないが、剪断接着力と木部破断率とをあわせ考慮するときは今回の試作集成材が接着性能の点で U. S. A. のそれに遜色のない結果と推定してさしつかえないように考えられる。

しかして、今回の試験で採用された集成材の製作工程は、本邦木材工業分野において、技術水準の高い工場ならばこれを生産工程のなかに組み入れることが不可能なほどに厳密な条件とは考えられないが、よりひろく一般化しやすい集成材の製造工程技術を考えるとき、接着性能に影響を及ぼす諸因子の条件巾を

Phot. 23 に示す QR のように木破率の小さい試験片の破断は、いずれも接着剤フィルムと木材との界面における分子間引力 (F_{ij}) に欠陥を生じている。

(6) 以上は主としてブロック剪断試験による剪断接着力と木部破断率の結果から接着性能を検討したのであるが、今回の試験の成績を、たとえば MIL-W-2038 B (SHIPS), MIL-W-15154 A (SHIPS) 等 U. S. A. 軍需規格のなかにある許容規準と対比してみても、その数字がすべて合格範囲にはいつているので、剪断試験の結果は満足すべき状態と考えてさしつかえないようであるが、ブロック剪断試験と同時にを行った ASTM D 1101-55 による剝離試験により、製品の接着耐久性に関して検討を行うと、次に示す 2～3 の点が明らかになった。

(7) 剝離試験の結果を Table 27 および Table 28 によつてみると、広葉樹グループのなかでミズナラ QR, マカンバMにおいて剝離率の比較的大きな試験片があり、特にミズナラ QR では、上述の MIL の規格で不合格部類にはいる試験片が発見されるのであるが、これらは製造工程上、特に欠陥は認められず (Table 26), また同じミズナラでも Q の組は前述の QX を除き剝離率が小さいので、その理由をはつきり把握することはできないが、Phot. 24 の QR 挽板破損の状況等からみると、挽板の形質が他のグループに比して、あまり良好でないので、挽板本来の性状に起因するのではないかと考えられるが、これらの点についての検討は今後に残された問題である。トドマツ, エゾマツの剝離は Phot. 24 に示すように剝離線の巾と深さは小さいが別離率そのものは Table 28 から明らかなように広葉樹グループに比して割合に大きい。これらはやはりトドマツ, エゾマツという樹種の接着に対する特性の問題として他の針葉樹、たとえばヒノキ, スギ, アカマツ等と対比して今後検討すべき点であるように思う。

(8) 剝離および木材割れの状況は Phot. 24 に示されるとおりであるが、樹種によりその状況が異なる。マカンバとブナでは髓線に沿つて巾の狭いいく筋もの割れが接着層をよこぎつて貫通しており、ミズナラは比較的巾の広い髓線割れが接着層をよこぎるが、その数はあまり多くない。ヤチダモは接着層をよこぎる髓線割れと同時に年輪に沿つた割れを生じ Phot. 24 から明らかなように接着層の近辺に一見剝離と見誤るような木材部分の破断層を生じている。トドマツ, エゾマツの木材部分の割れは密度も巾も広葉樹グループに比して小さいが、髓線割れと同時に年輪に沿つた割れが各所に認められる。

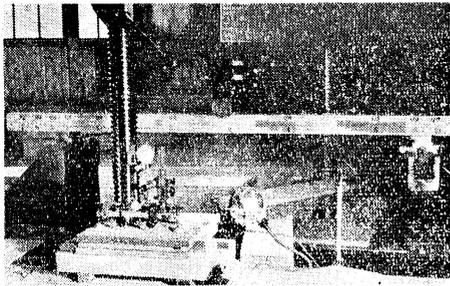
(9) この試験の結果から明らかにされたことの 1 つは、集成材の接着耐久性を初期接着力試験の結果によつて推定することが危険であるということである。すなわち、この試験に使用されたレゾルシノール接着剤は、完全耐水性の最も優秀な部類にはいるべき接着剤である。したがつて、この接着剤で接着された集成材の初期剪断接着力試験において、十分な結果が得られるならば、その接着耐久性もまた信頼するにたるものと推定してさしつかえないようであるが、今回の試験でこの推定が適正であつたのは、ブナ, ヤチダモ, ミズナラ Q, (マカンバ) のみで、ミズナラ QR, トドマツ, エゾマツは剪断接着力試験の結果は良好であるが、剝離試験の結果は必ずしも満足すべきものでない。したがつて、集成材の接着耐久性を的確に判定しようとする場合には、やはり、間接的な初期接着力試験結果からの推定によらず、面倒をいとわずに、直接的な剝離試験を行うべきである。

2. 強度試験

2.1. 集成材梁の強度試験

(1) 試験方法

前述の挽板グループによつて構成した集成材梁の曲げ試験は、個々の挽板試験と同様 Phot. 26 に示す



Phot. 26 集成材梁の曲げ試験
Bending test on laminated beam

とおり中央集中荷重の単純支持梁としておこなつた。したがつて、このばあいのハリタケ (h_0) とスパン (L) との比 h_0/L についても、挽板からの曲げ試験体と同じに $1/20$ になるように、スパンを 200 cm にした。しかし、実際には、ハリタケが正しく 10 cm にならなかつたので、多少の大小はあるが、とくにエイキョウするような差異はない。

使用した材料試験機は、強度研究室備付けの木

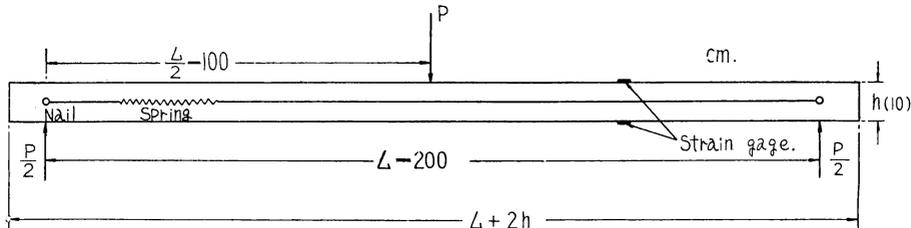


Fig. 27 集成材梁の曲げ試験法
Bending test-method of laminated beam

材強度試験機 (東京衡器 K.K. 製, 能力 100 ton ; Main capacity = 100 ton : Sub-capacity = 20 ton) の Sub-capacity 20 ton を 10 ton または 4 ton に切換えたものである。撓みは、両支点位置で試験梁側面の中央にうちつけたクギに細いピアノ線を張り、試験梁自身の中央側面中心点とのズレではかつた。測定は、ダイヤルゲージを用いたデフレクション・ゲージによる。さらに、ミズナラ Q の集成材梁 10 本については、スパンの $1/4$ の位置で、引張側と圧縮側の縁維歪 (outermost fiber-strain) の発達をしらべるために、歪ゲージをはりつけ、電気抵抗線歪計による測定をおこなつた。

なお、ハリ巾 (b_0)、ハリタケ (h_0)、断面係数 (w) および断面二次モーメント (I)、さらに、このばあいの試験条件である荷重速度 (L_r)、温度 (T) および関係湿度 (H) 等を一括 Table 30 にしめた。

(2) 試験結果

集成材梁の強度試験結果は Table 30 にしめたとおりであるが、これを、前述した挽板から切り取つた曲げ試験体の強度、さらに引張、圧縮およびせん断等の単純な試験から推定した強度、等級区分による判定強度等と比較したものが Table 31 に比のかたちでしめされている。

この結果、表でみられるように (表中、添字 r は引張、圧縮およびせん断試験結果のみで推定計算した値、添字 S は、挽板から切り取つた曲げ試験体での値、添字 L は集成材梁での値、また、 \bar{E}_b , $\bar{\sigma}_{bp}$, $\bar{\sigma}_b$ 等は等級区分したばあいの判定値をしめしている。), いずれの比も、多少のバラツキはあるが、だいたい 1 にちかく、推定が可能であることをしめしているものとおもわれる。

なお、ミズナラ集成材梁 Q の縁維歪の発達を歪ゲージで測定した結果を Fig. 28 にしめた。これによつて、これらの梁の接着は、ほぼ充分なものと推定され、よく結合の効果をあたえているものとおもわれる。また、曲げモーメントの増大にともない、その中立軸の位置が、引張側に移行することもみとめられた。とくに、歪の値を記載しなかつたのは、その絶対値に対する正しい補正ができないため、単に比較値としてとりあつたからである。

Table 30. 集成材梁の試験条件と試験結果
Test conditions and results of glued laminated beams

Species	Group	b_0 cm	h_0 cm	w cm ³	I cm ⁴	M_{max} 10 ³ kg cm	L_v kg/cm ² min	T °C	H %	E_{bL} 10 ³ kg/cm ²	σ_{bPL} kg/cm ²	σ_{bL} kg/cm ²
TODO-MATSU	A I	9.98	10.08	169.0	851.6	226	75	28	68	121	414	669
	A II	10.03	10.11	170.9	864.0	244	60	28	67	126	410	714
	A III	10.03	10.06	169.2	850.7	172	67	28	67	97	325	508
	A IV	10.05	10.10	170.8	862.7	190	59	28	67	100	322	556
YEZOMATSU	YJ I	10.87	10.68	206.5	1102.5	261	55	28	63	101	363	632
	YJ II	11.20	10.68	212.8	1135.7	285	52	29	67	111	447	670
AKAYEZO-MATSU	YG I	10.56	10.68	200.8	1072.1	214	56	28	67	83	274	533
	YG II	10.69	10.89	197.7	1076.2	266	63	28	67	125	430	672
YACHIDAMO	F I	9.90	10.18	170.7	868.6	200	48	26	70	71	372	586
	F II	10.08	10.20	174.7	891.4	220	60	26	70	88	315	630
	F III	9.65	10.22	167.7	856.7	236	46	25	65	97	268	703
	F IV	9.78	10.20	169.5	847.5	262	52	28	67	106	295	773
	F V	9.75	10.23	170.1	869.9	254	60	26	66	101	324	745
MIZUNARA	QR I	9.99	10.15	171.5	871.0	198	79	29	64	56	233	576
	QR II	10.38	10.16	178.5	905.8	250	64	30	67	76	280	701
	QR III	10.23	10.17	176.5	897.9	235	52	29	64	109	425	806
MIZUNARA	Q I	8.90	10.01	148.6	743.9	186	43	20	74	59	370	626
	Q II	8.67	9.65	134.6	649.3	216	33	19	78	87	372	803
	Q III	9.02	10.03	151.2	758.0	183	31	18	68	84	331	605
	Q IV	9.28	10.00	154.7	773.3	230	31	20	65	87	323	744
	Q V	9.30	10.06	156.9	789.0	232	25	20	65	93	383	740
	Q VI	9.22	10.03	154.6	775.3	226	46	17	78	89	324	731
	Q VII	8.26	10.54	152.9	808.3	214	36	17	88	89	425	700
	Q VIII	8.68	9.90	142.0	704.2	256	39	16	77	120	494	903
	Q IX	9.04	9.37	132.2	619.2	309	45	18	83	125	606	1168
	Q X	9.29	9.97	154.0	766.7	258	46	20	70	85	325	838
BUNA	B I	10.17	10.08	172.2	867.6	308	54	26	82	103	407	894
	B II	10.01	10.04	168.2	844.6	256	79	27	78	102	357	768
	B III	9.40	10.08	159.0	800.8	330	83	27	78	131	472	1038
MAKABA	M I	9.30	10.17	160.4	815.8	242	79	29	67	130	405	754
	M II	9.14	10.05	153.9	773.3	280	88	29	67	141	553	910
	M III	9.26	10.12	158.2	800.5	390	131	29	67	159	632	1233

b_0 = width of beam; h_0 = depth of beam

w = section modulus; I = moment of inertia

M_{max} = maximum moment; L_v = loading speed

T = temperature; H = relative humidity

E_{bL} = Young's modulus; σ_{bPL} = bending stress at P. L.

σ_{bL} = modulus of rupture; span = 200 cm

Table 31. 集成材梁の強度における推定値と実測値との比較

Comparison of computed and measured strength in bending of laminated beams

Species	Group	$\frac{E_{bL}}{E_{br}}$	$\frac{E_{bs}}{E_{br}}$	$\frac{\sigma_{bpL}}{\sigma_{bpr}}$	$\frac{\sigma_{bps}}{\sigma_{bpr}}$	$\frac{\sigma_{bL}}{\sigma_{br}}$	$\frac{\sigma_{bs}}{\sigma_{br}}$	$\frac{\sigma_{bL}}{\sigma_{bs}}$	$\frac{E_{bL}}{E_b}$	$\frac{\sigma_{bpL}}{\sigma_{bp}}$	$\frac{\sigma_{bL}}{\sigma_b}$
TODO-MATSU	A I	0.91	0.95	0.96	1.03	0.93	0.97	0.97	1.21	0.99	1.06
	A II	1.01	0.98	0.94	1.07	1.13	1.09	1.04	1.26	0.98	1.13
	A III	0.99	0.98	0.86	0.99	0.84	0.90	0.94	1.14	0.90	0.94
	A IV	0.88	0.99	0.81	1.04	0.88	0.99	0.88	1.00	0.77	0.88
YEZO-MATSU	YJ I	0.98	0.91	1.06	1.10	1.17	1.19	0.98	1.19	1.01	1.17
	YJ II	1.00	0.93	1.15	1.08	1.08	1.18	0.92	1.11	1.06	1.06
AKAYEZO-MATSU	YG I	1.01	0.95	0.95	1.15	1.18	1.16	1.02	1.19	0.91	1.18
	YG II	1.00	0.92	0.95	1.00	1.10	1.30	0.85	1.25	1.02	1.07
A		0.99	0.95	0.96	1.06	1.04	1.10	0.95	1.17	0.96	1.06
±Δ %		6.3	3.0	10.4	4.7	12.1	11.5	6.5	6.8	9.0	9.3
YACHI-DAMO	F I	0.84	0.87	0.78	0.76	0.90	1.02	0.90	0.89	0.89	0.84
	F II	0.88	0.82	0.74	0.81	0.91	1.07	0.85	1.10	0.75	0.90
	F III	0.95	0.92	0.63	0.87	1.00	1.12	0.89	1.21	0.64	1.00
	F IV	0.99	0.88	0.68	0.89	1.02	1.09	0.93	1.32	0.70	1.10
	F V	0.89	0.97	0.71	1.00	0.99	1.20	0.83	1.12	0.68	0.93
MIZU-NARA	QR I	1.04	1.04	0.60	0.76	1.46	1.40	1.05	1.02	0.78	1.15
	QR II	1.15	0.92	0.71	0.70	1.40	1.31	1.07	1.38	0.93	1.40
	QR III	1.20	0.80	0.87	0.81	1.15	1.25	0.92	1.36	1.01	1.15
MIZU-NARA	Q I	1.23	0.98	1.14	0.73	1.38	1.08	1.28	1.31	1.54	1.57
	Q II	1.21	0.96	0.91	0.77	1.33	1.01	1.31	1.34	1.03	1.34
	Q III	1.38	1.03	0.80	0.74	1.06	1.04	1.03	1.29	0.92	1.01
	Q IV	1.12	1.00	0.77	0.85	1.20	1.12	1.07	1.34	0.90	1.24
	Q V	1.26	1.07	0.80	0.79	1.13	1.08	1.04	1.16	0.91	1.06
	Q VI	1.06	1.02	0.65	0.87	1.04	1.11	0.93	1.11	0.77	1.04
	Q VII	1.00	0.94	0.85	0.88	0.97	1.07	0.90	1.11	1.01	1.00
	Q VIII	1.12	0.99	0.84	0.86	0.96	0.99	0.97	1.20	0.91	1.00
	Q IX	0.87	0.96	0.99	1.06	1.14	1.04	1.10	1.24	1.01	1.17
	Q X	1.12	1.00	0.80	0.88	1.39	1.19	1.17	1.31	0.90	1.40
BUNA	B I	1.12	0.90	0.88	0.74	1.22	1.10	1.11	1.15	0.85	1.12
	B II	1.06	0.98	0.79	0.83	1.05	1.20	0.88	1.13	0.74	0.96
	B III	1.10	0.98	0.89	0.85	1.15	1.14	1.01	1.31	0.87	1.15
MAKABA	M I	1.04	1.02	0.74	0.94	0.86	1.23	0.70	1.30	0.75	0.84
	M II	1.00	1.01	0.92	1.07	0.97	1.28	0.76	1.28	0.92	0.91
	M III	1.02	0.98	0.88	0.98	1.02	1.10	0.93	1.18	0.88	1.03
A		1.07	0.96	0.81	0.85	1.11	1.14	0.98	1.21	0.89	1.06
±Δ %		12.4	6.9	14.0	11.0	15.6	8.9	14.8	9.8	19.5	17.2
Ā		1.05	0.96	0.85	0.90	1.09	1.13	0.98	1.20	0.90	1.09
±Δ %		11.7	9.1	15.5	14.0	15.0	9.7	13.3	9.3	17.7	15.2

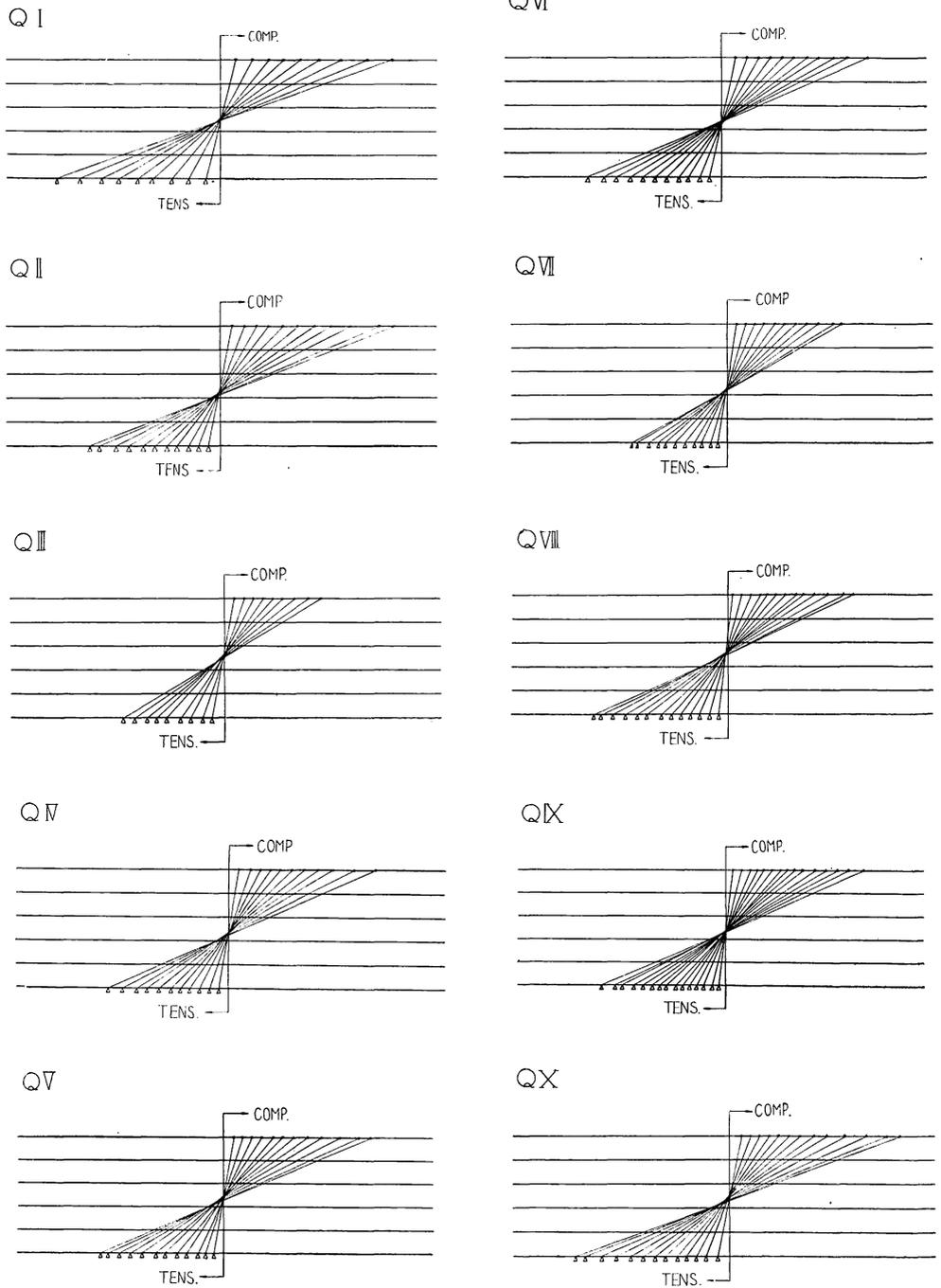


Fig. 28 ミズナラ集成材梁のストレイン・ゲージによる縁維歪の発達
 Development of the outermost fiber-strain in glued laminated beams of Mizunara (Q).
 —by electric strain gage—

2.2. 集成材梁の強度分析試験

接着集成された集成材梁において、その接着層をふくむ部分 (L. G.) とふくまない部分 (L. W.) とで、一般材質や強度性能がどの程度異なるか、また、これらと、挽板からの結果 (S. W.) とは、どのような関係にあるかをたしかめるためにおこなつた試験である。

(1) 試験方法

この試験は、Fig. 29 にしめしたような木取法で、試験を終つた集成材梁から、引張、圧縮およびせん断試験体をきりとり、挽板のばあいと同様の測定方法によりおこなつたものである。

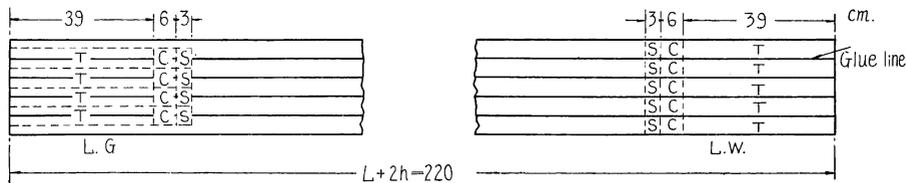


Fig. 29 集成材梁から分析試験体の採取

Cutting diagram of the separated specimens from a laminated beam

T=tension C=compression S=shear

(2) 試験条件

この試験においても、年輪巾 (b)、秋材巾 (s)、含水率 (u) および 試験時比重 (R_u) を測定したので、これらと、挽板試験 (S. W.) のばあいとを比較して Table 32 にしめした。

また、荷重速度 (L_v)、試験時温度 (T) および、同関係湿度 (H) については、Table 33 にしめす。表中、S. W.=挽板試験; L. W.=集成材梁から切りとつた木部だけの試験体; L. G.=集成材梁から切りとつた接着層をふくむ (接着層は断面のほぼ中央) 試験体。

(3) 試験結果

(i) ヤング係数 (E) : 引張ヤング係数 (E_t) と圧縮ヤング係数 (E_c) とを 3 者 (S. W.; L. W.; L. G.) についてそれぞれ比較したものが Table 34 である。このばあい、いずれも引張ヤング係数の方が若干低い傾向をしめしたが、一般的にいつて、この反対のばあいもよくあらわれることが知られており、概括的にみて、ほとんど差がないものと判断される。

(ii) 引張強度 (σ_t); 圧縮強度 (σ_c) およびせん断強度 (τ) : これらについての結果は、Table 35 にしめすとおりである。

(iii) 強度特性値 (ω, γ_c, r および q) : これらの値については Table 36 と Table 37 にしめした。 ω_t (引張) については、全体を通じて、0.7~1.5 % のハニに分散しているが、樹種的にみればトドマツ 0.8~1.1 %, エゾマツ 0.9~1.1 %, ヤチダモ 1.1~1.5 %, ミズナラ 0.7~1.3 %, ブナ 0.9~1.3 %, マカンバ 1.1~1.5 % となつている。ここで、とくに分散の大きいミズナラは、材質的にかなり大きな差がみとめられ、同一樹種として画一的に論ずることにはギモンがもたれる。

ω_c については、トドマツ 0.27~0.33 %, エゾマツ 0.28~0.35 %, ヤチダモ 0.33~0.45 %, ミズナラ 0.36~0.63 %, ブナ 0.38~0.44 %, マカンバ 0.32~0.38 % であつた。このばあいは ω_t にくらべて、はるかに分散が小さくなつているが、ミズナラについては問題がある。

Table 32. 挽板と集成材梁分析試験体との一般材質の比較
Comparison of wood properties of laminations and separated specimens from each laminated beam

Species	Group	R. G.	b (mm)			s (mm)			u (%)			R _n (g/cm ³)		
			S.W.	L.W.	L. G.	S.W.	L.W.	L. G.	S.W.	L.W.	L. G.	S.W.	L.W.	L. G.
TODO-MATSU	A I	R 40	4.4	4.2	4.4	1.0	1.0	1.2	14.2	14.7	14.8	0.40	0.41	0.42
	A II	R 40	4.2	3.5	3.8	0.8	0.7	0.7	14.3	14.3	14.3	0.42	0.42	0.42
	A III	R 35	3.5	3.8	3.7	0.6	0.5	0.6	14.0	14.6	14.6	0.35	0.35	0.37
	A IV	R 40	4.4	4.7	4.7	0.8	0.9	1.1	14.6	14.0	14.0	0.39	0.38	0.40
YEZO-MATSU	YJ I	R 40	1.4	1.3	1.4	0.2	0.2	0.3	13.8	13.6	14.6	0.39	0.39	0.40
	YJ II	R 40	2.2	1.8	1.9	0.4	0.4	0.4	13.9	14.0	14.1	0.42	0.42	0.43
AKAYEZO-MATSU	YG I	R 35	3.0	2.8	2.7	0.3	0.4	0.3	14.5	14.1	14.8	0.33	0.33	0.33
	YG II	R 50	1.6	1.6	1.5	0.4	0.4	0.4	14.3	13.2	14.2	0.49	0.45	0.46
YACHI-DAMO	F I	R 50	1.3	1.3	1.0	0.4	0.5	0.5	12.4	12.5	12.9	0.50	0.48	0.46
	F II	R 55	1.5	1.5	1.6	0.6	0.7	0.7	12.5	12.8	13.5	0.54	0.54	0.57
	F III	R 55	1.7	1.7	1.6	0.9	0.8	0.7	12.3	13.5	13.7	0.53	0.54	0.55
	F IV	R 55	1.5	1.6	1.6	0.6	0.8	0.8	12.2	13.6	13.4	0.54	0.56	0.55
	F V	R 55	1.7	1.6	1.6	0.9	0.7	0.8	12.2	13.1	13.4	0.57	0.54	0.57
MIZUNARA	QR I	R 65	1.1	0.9	1.0	0.4	0.5	0.5	12.9	13.4	14.0	0.64	0.60	0.63
	QR II	R 60	0.8	0.7	0.8	0.4	0.4	0.4	13.1	12.8	13.3	0.60	0.57	0.61
	QR III	R 65	0.9	0.8	0.9	0.4	0.4	—	12.8	13.0	14.3	0.65	0.63	0.68
MIZUNARA	Q I	R 55	0.5	0.5	0.5	0.2	0.2	0.2	13.4	15.7	12.7	0.54	0.55	0.58
	Q II	R 60	0.8	0.9	0.8	0.4	0.4	0.5	12.5	13.1	13.5	0.58	0.58	0.63
	Q III	R 60	1.0	0.9	0.9	0.6	0.5	0.5	14.5	13.8	13.5	0.59	0.58	0.58
	Q IV	R 60	1.1	1.1	1.1	0.6	0.6	0.6	13.3	12.7	13.0	0.59	0.60	0.63
	Q V	R 60	1.5	1.4	1.5	1.0	0.9	0.9	12.1	12.9	13.5	0.65	0.69	0.69
	Q VI	R 65	1.4	1.6	1.4	0.9	1.0	0.9	12.1	12.9	13.5	0.65	0.69	0.69
	Q VII	R 65	1.3	1.1	1.1	0.8	0.7	0.6	14.2	13.1	13.2	0.67	0.66	0.67
	Q VIII	R 70	1.4	1.2	1.4	0.9	0.8	1.1	13.8	13.2	12.6	0.72	0.70	0.72
	Q IX	R 75	1.7	1.5	1.7	1.1	1.1	1.3	14.7	12.4	13.8	0.75	0.75	0.76
	Q X	R 60	0.8	0.8	0.9	0.4	0.4	0.5	12.5	12.3	12.5	0.61	0.61	0.64
BUNA	B I	R 60	1.6	1.4	1.3	0.2	0.3	0.3	12.7	13.1	13.2	0.60	0.62	0.62
	B II	R 60	1.5	1.3	1.5	0.2	0.3	0.3	13.0	13.7	13.7	0.61	0.62	0.64
	B III	R 65	1.4	1.3	1.0	0.2	0.3	0.3	12.5	13.2	13.3	0.66	0.65	0.66
MAKABA	M I	R 70	3.5	3.1	3.5	—	—	—	13.1	13.7	14.1	0.68	0.66	0.68
	M II	R 65	2.8	2.9	3.9	—	—	—	13.0	13.2	13.3	0.67	0.70	0.71
	M III	R 70	2.5	2.3	2.5	—	—	—	13.1	12.7	12.7	0.68	0.68	0.70

S. W.=lamination

L. W.=separated specimen without glue line

L. G.=separated specimen with glue line

b=width of annual ring; s=width of summer wood; u=moisture content

Table 33. 試験時の荷重速度 (L_v), 温度 (T) および関係湿度 (H)
Loading speed (L_v), temperature (T) and relative humidity (H) at test

Species	Group	R. G.	L _v (kg/cm ² ·min)			T (°C)			H (~%)		
			S.W.	L.W.	L. G.	S.W.	L.W.	L. G.	S.W.	L.W.	L. G.
TODOMATSU	A I	R 40	91	55	58	20	24	26	79	68	68
	A II	R 40	85	62	60	20	25	27	79	68	67
	A III	R 35	86	60	49	24	27	27	68	73	74
	A IV	R 40	81	77	85	23	27	26	72	74	77
YEZOMATSU	YJ I	R 40	40	98	109	30	28	27	78	66	76
	YJ II	R 40	41	85	98	27	27	28	76	76	74
AKAYEZOMATSU	YG I	R 35	51	83	99	29	27	28	75	76	71
	YG II	R 50	53	104	100	30	28	27	73	70	69
YACHIDAMO	F I	R 50	53	62	75	29	28	28	77	74	72
	F II	R 55	55	80	83	29	28	25	73	72	71
	F III	R 55	61	91	95	29	27	27	75	71	74
	F IV	R 55	58	103	78	29	27	24	73	73	66
	F V	R 55	58	73	76	29	27	28	74	66	68
MIZUNARA	QR I	R 65	57	69	46	31	27	27	64	72	74
	QR II	R 60	57	47	42	30	27	27	67	74	72
	QR III	R 65	59	57	55	30	28	28	67	72	69
MIZUNARA	Q I	R 55	65	35	44	31	27	28	64	64	65
	Q II	R 60	75	43	50	29	28	27	70	62	61
	Q III	R 60	75	42	45	29	28	28	70	62	69
	Q IV	R 60	69	48	51	29	28	28	71	74	74
	Q V	R 65	66	53	70	28	27	28	63	75	73
	Q VI	R 65	66	53	70	28	27	28	72	76	73
	Q VII	R 65	70	59	65	29	28	27	67	72	70
	Q VIII	R 70	68	53	49	28	27	27	69	67	66
	Q IX	R 75	75	54	70	30	28	27	64	64	59
	Q X	R 60	60	59	65	30	27	27	67	62	58
BUNA	B I	R 60	60	97	96	29	26	27	75	76	77
	B II	R 60	62	106	104	29	28	28	74	77	73
	B III	R 65	59	107	95	29	27	27	76	74	74
MAKABA	M I	R 70	89	72	51	28	27	27	77	72	68
	M II	R 65	102	79	81	29	27	27	76	76	73
	M III	R 70	104	107	104	28	27	27	77	66	67

そのほか、 γ_c , r , q 等についても、ほぼ同様の傾向（樹種分散傾向）があるが、とくに S. W., L. W., L. G. で著しい差異はみとめられない。

(iv) 挽板試験と分析試験との比較：挽板試験の結果 (S. W.) に対して、集材材梁の分析試験結果 (L. W.; L. G.) がどのような関係にあるかを比の値でしめたものが Table 38 である。

Table 34. ヤング係数 (E)
Young's modulus (E)

Species	Group	R.	G.	E_t ($10^3 kg/cm^2$)			E_c ($10^3 kg/cm^2$)			E_t/E_c			
				S.W.	L.W.	L.G.	S.W.	L.W.	L.G.	S.W.	L.W.	L.G.	
TODOMATSU	A I	R	40	123	115	150	133	138	142	0.92	0.83	1.06	
	A II	R	40	116	132	131	125	134	136	0.93	0.99	0.96	
	A III	R	35	99	101	128	98	117	115	1.01	0.86	1.11	
	A IV	R	40	115	117	121	113	118	129	1.02	0.91	0.94	
YEZOMATSU	YJ I	R	40	103	91	104	103	113	116	1.00	0.81	0.98	
	YJ II	R	40	119	83	92	111	121	120	1.07	0.69	0.93	
AKAYEZOMATSU	YG I	R	35	87	76	87	82	93	92	1.06	0.76	0.82	
	YG II	R	50	112	103	112	114	111	127	0.98	0.93	0.88	
YACHIDAMO	F I	R	50	78	62	61	85	82	74	0.92	0.76	0.82	
	F II	R	55	87	65	81	100	76	79	0.87	0.86	1.03	
	F III	R	55	91	102	91	102	97	95	0.89	1.05	0.96	
	F IV	R	55	103	92	85	107	111	105	0.96	0.83	0.81	
	F V	R	55	106	88	80	114	100	109	0.93	0.88	0.73	
MIZUNARA	QR I	R	65	54	44	57	54	41	55	1.00	1.07	1.04	
	QR II	R	60	58	60	48	66	58	63	0.88	1.03	0.75	
	QR III	R	65	86	99	93	91	100	132	0.95	0.99	0.71	
MIZUNARA	Q I	R	55	42	48	52	48	55	57	0.88	0.87	0.91	
	Q II	R	60	62	73	83	74	82	83	0.84	0.89	1.00	
	Q III	R	60	54	64	66	61	70	67	0.89	0.91	0.99	
	Q IV	R	60	67	85	77	78	88	91	0.86	0.97	0.85	
	Q V	R	65	64	85	81	74	82	88	0.87	1.04	0.95	
	Q VI	R	65	74	103	98	84	101	104	0.88	1.02	0.94	
	Q VII	R	65	80	78	90	89	87	99	0.81	0.90	0.91	
	Q VIII	R	70	101	113	112	107	110	117	0.94	1.03	0.96	
	Q IX	R	75	115	129	149	143	146	156	0.80	0.88	0.96	
	Q X	R	60	58	73	87	76	88	101	0.76	0.83	0.86	
BUNA	B I	R	60	84	105	102	92	101	85	0.91	1.04	1.20	
	B II	R	60	93	88	86	96	92	95	0.97	0.96	0.91	
	B III	R	65	116	104	106	119	104	104	0.97	1.00	1.02	
MAKABA	M I	R	70	122	94	98	125	133	142	0.98	0.71	0.69	
	M II	R	65	139	95	107	141	144	154	0.99	0.66	0.70	
	M III	R	70	162	165	159	156	160	157	1.04	1.03	1.01	
										\bar{A}	0.93	0.91	0.92
										$\pm \Delta \%$	7.6	12.2	12.9

Table 35. 引張, 圧縮およびせん断強度
Tensile, compressive and shearing strength

Species	Group	R.	G.	σ_t (kg/cm ²)			σ_c (kg/cm ²)			τ (kg/cm ²)		
				S.W.	L.W.	L. G.	S.W.	L.W.	L. G.	S.W.	L.W.	L. G.
TODOMATSU	A I	R	40	1280	1270	1395	360	371	371	90	86	86
	A II	R	40	918	1272	1209	365	373	374	92	92	82
	A III	R	35	960	1049	1094	317	310	312	78	72	74
	A IV	R	40	1100	1070	1060	332	323	335	91	80	77
YEZOMATSU	YJ I	R	40	992	835	955	284	328	329	91	85	71
	YJ II	R	40	1223	1133	877	324	354	347	100	82	83
AKAYEZOMATSU	YG I	R	35	785	818	801	242	267	271	79	75	66
	YG II	R	50	923	1031	1078	378	373	378	96	91	83
YACHIDAMO	F I	R	50	907	879	860	332	305	289	105	102	93
	F II	R	55	984	1015	912	356	338	342	114	106	107
	F III	R	55	1019	1040	1078	355	338	338	113	108	114
	F IV	R	55	1229	1210	1144	360	375	346	111	108	110
	F V	R	55	1133	1105	1187	378	346	375	111	112	106
MIZUNARA	QR I	R	65	404	340	279	325	286	310	125	137	127
	QR II	R	60	562	594	309	329	308	323	122	123	139
	QR III	R	65	872	1068	1017	405	400	420	139	141	155
MIZUNARA	Q I	R	55	546	559	559	271	329	351	113	112	122
	Q II	R	60	763	711	801	341	365	407	124	127	143
	Q III	R	60	673	651	639	345	361	360	129	138	128
	Q IV	R	60	786	851	866	352	372	385	125	135	133
	Q V	R	65	779	821	784	398	399	427	152	150	160
	Q VI	R	65	862	1057	1038	415	442	451	155	170	170
	Q VII	R	65	902	901	834	417	396	420	155	145	147
	Q VIII	R	70	1311	1178	1178	490	449	482	161	161	167
	Q IX	R	75	1526	1320	1359	510	524	571	162	172	183
	Q X	R	60	773	949	965	339	395	429	124	138	152
BUNA	B I	R	60	1027	1412	1218	384	381	362	129	137	138
	B II	R	60	1051	940	786	375	395	388	135	146	146
	B III	R	65	1424	1158	1483	440	430	402	144	158	150
MAKABA	M I	R	70	1234	1193	1098	455	464	459	174	172	171
	M II	R	65	1288	1422	1527	503	542	540	171	177	186
	M III	R	70	1803	2119	1869	599	589	591	176	189	184

σ_t = tensile strength

σ_c = compressive strength

τ = shearing strength.

これを見ると、ヤング係数、引張強度、圧縮強度およびセン断強度のいずれも、ほとんど差異がみとめられない。とくに、セン断強度のL.G.は接着面セン断強度をしめすものであるが、これも木部に対して強化も弱化もされていないようである。

Table 36. ω_t , ω_c および γ_c の値
The values of ω_t , ω_c and γ_c

Species	Group	R.	G.	ω_t (σ_t/E_t %)			ω_c (σ_c/E_c %)			γ_c (σ_{cp}/σ_c)		
				S.W.	L.W.	L. G.	S.W.	L.W.	L. G.	S.W.	L.W.	L. G.
TODOMATSU	A I	R	40	1.05	1.11	0.94	0.27	0.27	0.27	0.91	0.89	0.85
	A II	R	40	0.79	0.97	0.93	0.29	0.28	0.28	0.88	0.87	0.82
	A III	R	35	0.97	1.04	0.87	0.33	0.28	0.27	0.92	0.85	0.83
	A IV	R	40	0.96	0.90	0.87	0.29	0.28	0.27	0.89	0.87	0.78
YEZOMATSU	YJ I	R	40	0.95	0.93	0.85	0.28	0.29	0.29	0.87	0.77	0.82
	YJ II	R	40	1.02	1.36	0.85	0.30	0.30	0.29	0.84	0.77	0.78
AKAYEZOMATSU	YG I	R	35	0.90	1.09	0.92	0.29	0.29	0.30	0.87	0.81	0.84
	YG II	R	50	0.88	1.00	0.97	0.35	0.34	0.31	0.80	0.82	0.81
YACHIDAMO	F I	R	50	1.18	1.48	1.45	0.40	0.37	0.39	0.62	0.49	0.53
	F II	R	55	1.14	1.55	1.17	0.36	0.36	0.45	0.63	0.61	0.53
	F III	R	55	1.12	1.05	1.19	0.35	0.35	0.36	0.67	0.52	0.56
	F IV	R	55	1.20	1.33	1.33	0.34	0.34	0.33	0.62	0.68	0.57
	F V	R	55	1.08	1.45	1.50	0.34	0.37	0.35	0.70	0.67	0.58
MIZUNARA	QR I	R	65	0.78	0.77	0.69	0.61	0.52	0.58	0.44	0.53	0.49
	QR II	R	60	1.00	0.97	0.72	0.52	0.54	0.52	0.51	0.48	0.53
	QR III	R	65	1.02	1.10	1.04	0.46	0.41	0.34	0.53	0.54	0.59
MIZUNARA	Q I	R	55	1.29	1.17	1.08	0.57	0.60	0.63	0.50	0.37	0.41
	Q II	R	60	1.23	0.98	0.97	0.48	0.45	0.50	0.56	0.52	0.47
	Q III	R	60	1.27	1.05	0.97	0.57	0.53	0.55	0.53	0.50	0.54
	Q IV	R	60	1.18	1.00	1.11	0.47	0.43	0.43	0.60	0.53	0.52
	Q V	R	65	1.27	0.97	0.96	0.55	0.49	0.49	0.54	0.44	0.50
	Q VI	R	65	1.17	1.03	1.06	0.48	0.44	0.44	0.55	0.55	0.51
	Q VII	R	65	1.14	1.17	0.93	0.48	0.46	0.42	0.59	0.47	0.46
	Q VIII	R	70	1.31	1.05	1.06	0.46	0.42	0.41	0.61	0.58	0.56
	Q IX	R	75	1.33	1.02	0.92	0.37	0.36	0.37	0.62	0.64	0.59
	Q X	R	60	1.35	1.30	1.04	0.45	0.45	0.43	0.55	0.50	0.46
BUNA	B I	R	60	1.23	1.35	1.20	0.42	0.41	0.44	0.59	0.62	0.57
	B II	R	60	1.11	1.07	0.93	0.39	0.43	0.41	0.52	0.55	0.57
	B III	R	65	1.22	1.11	1.33	0.38	0.42	0.39	0.67	0.72	0.58
MAKABA	M I	R	70	0.84	1.27	1.12	0.37	0.35	0.32	0.67	0.65	0.65
	M II	R	55	0.92	1.48	1.43	0.36	0.38	0.35	0.75	0.67	0.73
	M III	R	70	1.11	1.29	1.18	0.38	0.37	0.38	0.73	0.75	0.78

Table 37. r, q, および φ の値
The values of r, q and φ

Species	Group	R. G.	r (σ _r /σ _c)			q (σ _c /τ)			φ = $\frac{3r-1}{r+1}$		
			S.W.	L.W.	L. G.	S.W.	L.W.	L. G.	S.W.	L.W.	L. G.
TODOMATSU	A I	R 40	3.56	3.43	3.76	4.00	4.40	4.30	2.123	2.097	2.159
	A II	R 40	2.52	3.45	3.25	3.92	4.08	4.62	1.864	2.101	2.059
	A III	R 35	3.04	3.39	3.53	4.07	4.33	4.25	2.001	2.089	2.117
	A IV	R 40	3.32	3.28	3.22	3.67	4.08	4.43	2.074	2.066	2.052
YEZOMATSU	YJ I	R 40	3.45	2.54	2.90	3.12	3.90	4.71	2.101	1.870	1.974
	YJ II	R 40	3.77	3.17	2.54	3.25	4.33	4.27	2.161	2.041	1.870
AKAYEZOMATSU	YG I	R 35	3.24	3.05	2.96	3.05	3.60	4.15	2.057	2.012	1.990
	YG II	R 50	2.45	2.76	2.88	3.99	4.11	4.59	1.841	1.936	1.969
YACHIDAMO	F I	R 50	2.76	2.92	3.07	3.15	2.97	3.16	1.936	1.979	2.018
	F II	R 55	2.82	3.06	2.72	3.15	3.18	3.22	1.953	2.015	1.925
	F III	R 55	2.90	3.11	3.19	3.18	3.15	3.00	1.974	2.027	2.045
	F IV	R 55	3.45	3.26	3.36	3.24	3.49	3.13	2.101	2.061	2.083
	F V	R 55	2.99	3.20	3.16	3.41	3.10	3.59	1.997	2.048	2.039
MIZUNARA	QR I	R 65	1.24	1.16	0.90	2.62	2.09	2.42	1.214	1.148	0.895
	QR II	R 60	1.71	2.03	0.93	2.71	2.51	2.34	1.524	1.680	0.927
	QR III	R 65	2.15	2.74	2.08	2.91	2.96	2.80	1.730	1.931	1.702
MIZUNARA	Q I	R 55	2.02	1.70	1.59	2.40	3.04	2.89	1.675	1.519	1.456
	Q II	R 60	2.25	1.91	1.95	2.78	2.87	2.86	1.770	1.626	1.644
	Q III	R 60	1.97	1.81	1.79	2.68	2.61	2.83	1.654	1.577	1.567
	Q IV	R 60	2.24	2.30	2.26	2.81	2.76	2.89	1.766	1.788	1.774
	Q V	R 65	1.96	2.07	1.84	2.62	2.66	2.68	1.649	1.697	1.592
	Q VI	R 65	2.08	2.41	2.33	2.68	2.61	2.66	1.702	1.827	1.799
	Q VII	R 65	2.17	2.28	1.98	2.69	2.75	2.87	1.738	1.782	1.658
	Q VIII	R 70	2.71	2.62	2.44	3.06	2.79	2.85	1.922	1.895	1.838
	Q IX	R 75	3.01	2.52	2.38	2.97	3.06	3.13	2.003	1.864	1.817
	Q X	R 60	2.28	2.40	2.28	2.75	2.87	2.82	1.782	1.824	1.782
BUNA	B I	R 60	2.68	3.72	3.37	2.97	2.79	2.69	1.913	2.152	2.085
	B II	R 60	2.81	2.36	2.04	2.79	2.73	2.68	1.950	1.809	1.684
	B III	R 65	3.22	2.67	3.65	3.08	2.74	2.69	2.052	1.910	2.140
MAKABA	M I	R 70	2.72	2.58	2.42	2.62	2.70	2.69	1.925	1.883	1.830
	M II	R 65	2.55	2.61	2.83	2.96	3.07	2.93	1.874	1.892	1.956
	M III	R 70	3.05	3.60	3.17	2.58	3.12	3.21	2.012	2.130	2.041

(v) 分析試験結果からの曲げヤング係数と強度の計算値： 以上のべた分析試験結果から、挽板のばあいと同様の推定計算方式により集成材梁の曲げヤング係数、曲げ比例限度力度および曲げ破壊係数を計算すれば、Table 39 のとおりとなる。また、これらと、実際の集成材梁についてもとめた結果とを比較したのが Table 40 にしめすものである。

Table 38. 強度性能における挽板試験と分析試験との比較
 Comparisons of strength properties of the laminations and the separated specimens from each laminated beam

Species	Group	R. G.	E_{tL}/E_{tS}		E_{cL}/E_{cS}		σ_{tL}/σ_{tS}		σ_{cL}/σ_{cS}		τ_L/τ_S	
			LW SW	LG SW	LW SW	LG SW	LW SW	LG SW	LW SW	LG SW	LW SW	LG SW
TODOMATSU	A I	R 40	0.94	1.22	1.04	1.07	0.99	1.09	1.03	1.03	0.96	0.96
	A II	R 40	1.14	1.13	1.07	1.09	1.39	1.32	1.02	1.02	1.00	0.89
	A III	R 35	1.02	1.29	1.19	1.07	1.09	1.14	0.98	0.98	0.92	0.95
	A IV	R 40	1.02	1.05	1.04	1.14	0.97	0.96	0.97	1.01	0.88	0.85
YEZOMATSU	YJ I	R 40	0.88	1.01	1.10	1.13	0.84	0.96	1.16	1.16	0.93	0.78
	YJ II	R 40	0.70	0.77	1.09	1.08	0.93	0.72	1.09	1.07	0.82	0.83
AKAYEZO-MATSU	YG I	R 35	0.87	1.00	1.13	1.12	1.04	1.02	1.10	1.12	0.95	0.84
	YG II	R 50	0.92	1.00	0.89	1.11	1.12	1.17	0.99	1.00	0.95	0.86
YACHIDAMO	F I	R 50	0.80	0.78	0.97	0.87	0.97	0.95	0.92	0.87	0.97	0.89
	F II	R 55	0.75	0.93	0.76	0.79	1.03	0.93	0.95	0.96	0.93	0.94
	F III	R 55	1.12	1.00	0.95	0.93	1.02	1.06	0.95	0.95	0.96	1.01
	F IV	R 55	0.89	0.83	1.04	0.98	0.98	0.93	1.04	0.96	0.97	0.99
	F V	R 55	0.83	0.75	0.88	0.96	0.98	1.05	0.91	0.99	1.01	0.96
MIZUNARA	QR I	R 65	0.82	1.06	0.76	1.02	0.84	0.69	0.88	0.95	1.10	1.02
	QR II	R 60	0.75	1.03	0.88	0.95	1.06	0.55	0.94	0.98	1.01	1.14
	QR III	R 65	1.15	1.08	1.10	1.45	1.23	1.17	0.99	1.04	1.01	1.12
MIZUNARA	Q I	R 55	1.14	1.24	1.15	1.19	1.02	1.02	1.21	1.30	0.99	1.08
	Q II	R 60	1.18	1.34	1.11	1.12	0.93	1.05	1.07	1.06	1.02	1.15
	Q III	R 60	1.19	1.22	1.15	1.10	0.97	0.95	1.05	1.04	1.07	0.99
	Q IV	R 60	1.27	1.15	1.13	1.17	1.08	1.10	1.06	1.09	1.08	1.06
	Q V	R 65	1.33	1.27	1.11	1.19	1.05	1.01	1.00	1.07	0.99	1.05
	Q VI	R 65	1.39	1.32	1.20	1.24	1.23	1.21	1.07	1.09	1.10	1.10
	Q VII	R 65	0.98	1.13	0.98	1.11	1.00	0.92	0.95	1.01	0.94	0.95
	Q VIII	R 70	1.12	1.11	1.03	1.09	0.90	0.90	0.92	0.98	1.00	1.04
	Q IX	R 75	1.12	1.30	1.02	1.09	0.87	0.89	1.03	1.12	1.06	1.13
	Q X	R 60	1.26	1.50	1.16	1.33	1.23	1.25	1.17	1.27	1.11	1.23
BUNA	B I	R 60	1.25	1.21	1.10	0.92	1.38	1.19	0.99	0.94	1.06	1.07
	B II	R 60	0.95	0.93	0.96	0.99	0.89	0.75	1.05	1.03	1.08	1.08
	B III	R 65	0.90	0.91	0.87	0.87	0.81	1.04	0.98	0.91	1.10	1.04
MAKABA	M I	R 70	0.77	0.80	1.06	1.14	0.97	0.89	1.02	1.01	0.99	0.98
	M II	R 65	0.68	0.77	1.02	1.09	1.10	1.19	1.08	1.07	1.04	1.09
	M III	R 70	1.02	0.98	1.03	1.01	1.18	1.04	0.98	0.99	1.07	1.05
	\bar{A}		1.00	1.07	1.03	1.08	1.03	1.00	1.02	1.03	1.00	1.00
	$\pm\Delta\%$		19.2	17.8	11.0	12.1	13.7	16.7	7.45	8.74	6.90	10.5

Table 39. 曲げヤング係数, 曲げ比例限度力度および曲げ破壊係数の計算値
 Computed values of Young's modulus, bending stress at proportional
 limit and modulus of rupture in bending

Species	Group	R.	G.	E_{br} ($10^3 kg/cm^2$)			σ_{bpr} (kg/cm^2)			σ_{br} (kg/cm^2)		
				S.W.	L.W.	L. G.	S.W.	L.W.	L. G.	S.W.	L.W.	L. G.
TODOMATSU	A I	R	40	133	138	142	432	445	445	716	730	751
	A II	R	40	125	134	136	438	447	449	631	718	707
	A III	R	35	98	117	115	380	372	374	604	612	624
	A IV	R	40	113	118	129	398	388	402	635	617	632
YEZOMATSU	YJ I	R	40	103	113	116	341	394	395	542	565	595
	YJ II	R	40	111	121	120	389	425	416	618	643	587
AKAYEZOMATSU	YG I	R	35	82	93	92	290	320	325	453	491	492
	YG II	R	50	114	111	127	454	447	454	609	627	644
YACHIDAMO	F I	R	50	85	82	74	398	366	347	652	604	583
	F II	R	55	100	96	79	427	406	410	695	681	658
	F III	R	55	102	97	95	426	406	406	701	685	681
	F IV	R	55	107	111	105	432	450	415	757	773	720
	F V	R	55	114	100	109	454	415	450	755	709	764
MIZUNARA	QR I	R	65	54	57	55	390	343	372	395	327	277
	QR II	R	60	66	58	63	395	370	388	501	517	300
	QR III	R	65	91	100	132	486	480	536	700	772	760
MIZUNARA	Q I	R	55	48	48	52	325	395	421	454	499	511
	Q II	R	60	72	82	83	409	438	488	603	593	669
	Q III	R	60	61	70	67	414	433	432	570	569	564
	Q IV	R	60	78	88	91	422	446	462	622	665	683
	Q V	R	65	74	82	88	478	479	512	656	677	680
	Q VI	R	65	84	101	104	498	530	541	706	807	811
	Q VII	R	65	89	87	99	500	475	504	724	705	696
	Q VIII	R	70	107	110	117	588	539	578	941	851	886
	Q IX	R	75	143	146	156	612	629	658	1022	977	1037
	Q X	R	60	76	88	101	407	474	515	603	720	764
BUNA	B I	R	60	92	101	85	461	456	434	735	820	755
	B II	R	60	96	92	95	450	474	466	731	715	654
	B III	R	65	119	104	104	528	516	483	903	821	861
MAKABA	M I	R	70	125	133	142	546	557	551	876	874	840
	M II	R	65	141	144	154	604	650	648	943	1025	1056
	M III	R	70	156	160	157	718	707	709	1205	1255	1205

Table 40. 集成材梁における曲げ性能の計算値と実測値との比較
Comparison of computed and measured strength properties
in bending of laminated beams

Species	Group	R.	G.	E_{bL}/E_{br}			$\sigma_{bPL}/\sigma_{bPr}$			σ_{bI}/σ_{bI}			
				S.W.	L.W.	L.G.	S.W.	L.W.	L.G.	S.W.	L.W.	L.G.	
				TODOMATSU			A I	R 40	0.91	0.88	0.85	0.96	0.93
			A II	R 40	1.01	0.94	0.93	0.94	0.92	0.91	1.13	0.99	1.01
			A III	R 35	0.99	0.83	0.84	0.86	0.87	0.87	0.84	0.83	0.81
			A IV	R 40	0.88	0.85	0.78	0.81	0.83	0.80	0.88	0.90	0.88
YEZOMATSU			YJ I	R 40	0.98	0.89	0.87	1.06	0.92	0.92	1.17	1.12	1.06
			YJ II	R 40	1.00	0.92	0.93	1.15	1.05	1.07	1.08	1.04	1.14
AKAYEZOMATSU			YG I	R 35	1.01	0.89	0.90	0.94	0.86	0.84	1.18	1.09	1.08
			YG II	R 50	1.10	1.13	0.98	0.95	0.96	0.95	1.10	1.07	1.04
A					0.99	0.92	0.89	0.96	0.92	0.91	1.04	1.00	0.99
YACHIDAMO			F I	R 50	0.84	0.87	0.95	0.81	0.88	0.93	0.90	0.97	1.01
			F II	R 55	0.88	0.92	1.11	0.74	0.78	0.77	0.91	0.93	0.95
			F III	R 55	0.95	1.00	1.02	0.62	0.66	0.66	1.00	1.03	1.03
			F IV	R 55	0.99	0.95	1.01	0.68	0.66	0.71	1.02	1.00	1.06
			F V	R 55	0.89	1.01	0.93	0.71	0.78	0.72	0.99	1.05	0.98
MIZUNARA			QR I	R 65	1.04	0.98	1.02	0.60	0.68	0.63	1.46	1.71	2.08
			QR II	R 60	1.15	1.31	1.21	0.71	0.76	0.72	1.40	1.36	2.34
			QR III	R 65	1.20	1.09	0.83	0.87	0.89	0.79	1.15	1.04	1.06
MIZUNARA			Q I	R 55	1.23	1.23	1.14	1.14	0.94	0.88	1.38	1.25	1.23
			Q II	R 60	1.21	1.06	1.05	0.91	0.85	0.76	1.33	1.35	1.20
			Q III	R 60	1.38	1.20	1.25	0.80	0.76	0.77	1.06	1.06	1.07
			Q IV	R 60	1.12	0.99	0.95	0.77	0.72	0.70	1.20	1.12	1.09
			Q V	R 65	1.26	1.14	1.06	0.80	0.80	0.75	1.13	1.09	1.09
			Q VI	R 65	1.06	0.88	0.86	0.65	0.61	0.60	1.04	0.91	0.90
			Q VII	R 65	1.00	1.02	0.90	0.85	0.89	0.84	0.97	0.99	1.01
			Q VIII	R 70	1.12	1.09	1.03	0.84	0.92	0.85	0.96	1.06	1.02
			Q IX	R 75	0.87	0.86	0.80	0.99	0.96	0.92	1.14	1.20	1.13
			Q X	R 60	1.12	0.97	0.84	0.80	0.69	0.63	1.39	1.16	1.10
BUNA			B I	R 60	1.12	0.88	1.21	0.88	0.89	0.94	1.22	1.09	1.18
			B II	R 60	1.06	1.11	1.07	0.79	0.75	0.77	1.05	1.07	1.17
			B III	R 65	1.10	1.26	1.26	0.89	0.91	0.98	1.15	1.26	1.21
MAKABA			M I	R 70	1.04	0.98	0.92	0.74	0.73	0.74	0.86	0.86	0.90
			M II	R 65	1.00	0.98	0.92	0.92	0.85	0.85	0.97	0.89	0.86
			M III	R 70	1.02	0.99	1.01	0.88	0.89	0.89	1.02	0.88	1.02
A					1.07	1.03	1.01	0.81	0.80	0.78	1.11	1.10	1.15
Ā					1.05	1.00	0.95	0.85	0.83	0.82	1.09	1.07	1.11
±Δ %					11.7	12.5	13.6	15.5	12.4	13.7	15.0	16.3	27.4

その結果として判断されることは、曲げヤング係数、曲げ比例限度力度および曲げ破壊係数のいずれも挽板試験の結果から推定したばあいと分析試験の結果から推定したばあいとではほとんど差がないことであり、挽板試験の結果から、集成材梁の曲げ性能を推定することで概括的には充分とおもわれる。

2.3. 強度試験結果に対する考察

(1) 寸法効果について

木材の梁において、その断面型が同じで、ハリタケとスパンの比および荷重のかけ方も同じであつても、大きな断面をもつ梁は、小さな断面をもつ梁よりも曲げ性能が低減するといわれている。このことを一般に寸法効果と呼んでいるようであるが、その原因が何であるかは必ずしも明確ではない。むしろ、欠点をもっている材では、いわゆる欠点エイキヨウとしてあらわれるであろうし、また、とくにハリタケの深いものでは、Diez¹⁵⁾の研究にもあるような局所的な応力やその応力の発達に関連する梁断面内の応力分布の変異などが二次的なエイキヨウをあらわすばあいも考えられる。

しかし、この試験のように、かなり充分とおもわれる程度のハリタケ—スパン関係では、寸法効果をしめす原因はちよつと考えられないようにおもわれる。このことは Table 31 にしめした σ_{bz}/σ_{bs} (断面辺長 10 cm の集成材梁の曲げ破壊係数/断面辺長 2 cm の挽板から切り取つた曲げ試験体の曲げ破壊係数) の値で、針葉樹の平均 $0.95 \pm 6.5\%$ 、広葉樹の平均 $0.98 \pm 14.8\%$ 、32 本の全平均では $0.98 \pm 13.3\%$ の結果からも充分考えることができるとおもふ。

したがつて、もし、欠点がきわめて少なく、充分慎重に木取られたばあいには、梁の寸法効果はあまり考えなくてもよいものとおもわれるが、まだ、とくに大形量の梁についての試験を実施していないので、ここでは寸法効果一般を論ずる考えはない。

なお、ハリタケがスパンに比してかなり深くなつてくると、断面内の応力分布の状況に変異を生ずることが予想されるので、その意味における寸法効果は、梁の材質とも関連してさけられないものとなる。

(2) 強度特性値について

集成材梁の曲げ性能を推定するばあいの基礎となつたものは、 σ_c (圧縮強度)、 ω_c (圧縮強度/圧縮ヤング係数)、 γ_c (圧縮比例限度力度/圧縮強度—針葉樹のばあいに用いる)、 r (引張強度/圧縮強度)、および q (圧縮強度/せん断強度) 等である。すでにのべたように、これらの値 (r , q , ω_c) は、樹種材質に応じてほぼ一律の値をしめし、圧縮強度が比重によつてかなり強いエイキヨウをうけるのに対して、 r , q , ω_c 等はほとんどそのエイキヨウをうけず、樹種ごとにほぼ安定しているようである。そのバラツキについても圧縮強度のバラツキに比して大きくはない。したがつて、これらの値をわれわれは樹種による強度特性値とみている。

したがつて、これらの特性値が、正常材またはこれに近い材についてあらかじめ推定することができれば (むしろこれは、今後の試験資料にまたねばならないが)、単に挽板の圧縮強度を試験またはなんらかの方法 (たとえばカタサ) で推定することにより、同等品質挽板の構成による集成材梁の曲げ剛性および強度を推定することができるとおもわれる。

(3) 強度等級について

許容応力度をきめるばあいの基礎となる基準強度およびその等級区分については、いまのところ明確な規程がないので、この種集成材の研究にもいろいろと不便が感ぜられた。

そこで、われわれは、縦圧縮強度値（50 kg 階）による等級区分と、前記の強度特性値による標準等級表および等級増減表を仮想的に作成してみた。このばあい、標準等級表についても、広葉樹を一括することには問題があり、このほか、数多くの欠陥をもっているものであるが、とにかく、一応、これを土台として、将来合理的な等級表の完成を期待している。

われわれとしても、今後は、これら等級のクリ方など、さらに検討を加えてゆきたいと考えている。

いずれにせよ、はなはだズサンではあるが、ここにしめた方法で、挽板の強度等級を定め、これによつて、集成材の強度等級を判定してみたところ、相当によく実際の値に一致していた。

2.4. 集成材梁の強度試験結果の総括

1. 集成材を構成する同等材質の挽板群についてもとめられた引張、圧縮およびせん断試験結果から、集成材梁の曲げ性能を推定することができる。

2. 挽板群の強度等級をその強度特性値によつて定めると、その判定された等級は、そのまま、集成材の強度等級に一致することをたしかめえた。

3. 集成材梁にはりつけた歪ゲージの歪発達状況および曲げ破損の形態から、接着加工の程度は充分であると判断される。なお、このことは、荷重継続時間等の時間エイキョウを無視したばあいとして判断されることである。

4. 挽板から切り取つた 2 cm 辺長の曲げ試験体と、これら挽板で構成された集成材（10 cm 辺長）とでは、このていどの寸法差に関するかぎりいわゆる寸法効果をみとめえなかつた。

5. 樹種によつて、かなりつよい強度特性値をしめすことがみとめられるので、これら強度特性値に關するさらに適正な評価をおこなうために、今後の資料が期待される。すなわち、特性値に関して、充分安全妥当な評価がえられれば、単に圧縮強度などの単純な試験のみによつて、挽板の強度、さらにこれによつて構成される集成材の強度も推定可能となるであろう。

V 摘 要

I 緒 言

集成材は挽板を接着集成された木材材料である。また集成材は主として強度を必要とする木造建造物の骨格部材として使用される。ここに集成材に関する研究の第1段階として、この材料の強度的性能と接着性能とを検討し、集成材を実用化する場合に必要な製造基準および設計資料を作ることを目標とし、集成材製造基準作製の基礎を得んとした。

なお、その際に、集成材について今日まで海外で行われてきた研究経過をふり出しにもどつて追試することを避け、海外における現行の集成材製造基準にのつとり本邦産代表樹種として、トドマツ・エゾマツ・アカエゾマツ・ミズナラ・ヤチダモ・マカバおよびブナ計7種について、代表的な接着剤として、レゾルシノール樹脂（Plyophen 6000）を用いて集成材を作製してから、個々の集成材について材質試験を行い、集成材の強度と接着性を検討する。

また、この研究においては、集成材用木材を林地立木の選定採取にまでさかのぼつて検討し、以下、製材、乾燥、加工の各工程を経る一貫した立場において研究をすすめることとする。

II 集成材用挽板の調製

(1) 原木の採取

この試験に用いた原木丸太は、強度研究室において実施中の「主要樹種の標準強度試験」のためにとくに林地において選木したものから採取した。各試験木の形質については別に標準強度試験の結果とともに公表する予定であるので、ここでは概括的な説明にとどめておく。

Table 41. 供試原木の採取

樹種 Species	営林局 Regional Forestry Office	営林署 District Forestry Office	林班 Compartment	胸高直径 Diameter breast height (cm)	本数 Number of selected trees
TODOMATSU	SAPPORO	SAPPORO	23	46~67	6
YEZOMATSU	OBIHIRO	RIKUBETSU	41, 47	62~80	7
AKAYEZOMATSU	〃	〃	41, 47	55~79	6
MIZUNARA	〃	〃	41	65~84	7
〃	SAPPORO	URAKAWA	18	76~105	5
YACHIDAMO	〃	〃	18, 19	59~101	6
MAKABA	〃	〃	〃	60~76	6
BUNA	AKITA	OBONAI	—	—	6

(2) 挽板の製材木取

挽板の製材木取には当场製材研究室の 42" 自動送材車付帯鋸盤を使用し、正板目で目切れその他の欠点のないものを目標として、あらかじめ原木の末口木口面に所要の墨付けをしてから製材木取りし、厚さ約 25 mm、巾約 12 cm、長さ約 4 m (原木の長さ) の挽板を採取した。

(3) 挽板の乾燥

挽板の乾燥は最終仕上り含水率 10~12 % を目標とし、乾燥操作を 3 期に分けて行つた。人工乾燥装置は当场乾燥研究室の約 20 石入、I F 型乾燥室を使用し、ミズナラ Q とトドマツは生材を直ちに人工乾燥し、ミズナラ QR、マカンバ・ヤチダモ・エゾマツは天然乾燥後に人工乾燥した。これら樹種ごとのスケジュールを示すと、Table 2 および Fig. 5~7 のとおりであるが、ミズナラ Q のなかに射出髄線の数が多く、板目方向における髄線柔細胞の含む割合が多く、比重は特に大きくはないが、巾収縮が 2 割前後あり、狂いの多い材があつたが、操作の面から、天然乾燥を予備的におこなつた場合は収縮が少なく、乾燥初期に極端に多湿な状態で乾燥すると収縮が大きいので、かような特殊材は事前に選別して予備乾燥に廻すか或いは高温多湿の条件は避けるべきと考えられた。

(4) 挽板の鉋加工

乾燥を終わった挽板は当场加工研究室の三方削鉋盤で鉋加工し、粗切削においては切込量を 1.0~1.5 mm 仕上切削においては 0.5 mm 程度とし表裏 4~8 回の切削を実施した。仕上り精度はナイフマーク 20~30/in、厚ムラ 0.4 mm を目標としたが、実際に調製された挽板精度はナイフマーク 16~23/in、厚ムラ 0~0.55 mm であつた。

なお、一部に、削りのこし、前後のまくれ、逆目削り、ローラーあと等の加工上の欠点を生じたが、これら欠点の顕著なものは除外し、軽微なものは製作ビームの性能に影響しないような位置に配置すること

とした。

III 集成材の断面構成と接着加工

(1) 挽板の選定

原木の製材に始まり、乾燥工程を経過して挽板の鉋加工に終る集成材用挽板の調製工程において、工程中の各段階に挽板の木理、欠点、心材・辺材、乾燥によつて生ずる欠点、鉋加工によつて生ずる欠点等を観察し、これら挽板を除外することとした。

また、適宜、挽板の寸法、重量等を測定し、製材後の挽板の含水率、挽板の収縮率、測定時の挽板の比重等を計算し、これらの結果を Fig. 8 および Fig. 9, Table 7 および Table 8 に示し、ビームの接着に使用された挽板グループの性状を明らかにした。

(2) 挽板の強度

挽板の強度的性能から集成材梁の曲げ剛性と強度を推定するためにおこなつた。強度的にはほぼ同等の材質をもつ挽板5枚で1本の集成材梁を構成するようにしたので、便宜上、この断面構成によつて挽板強度をとり扱うことにする。つぎに試験の条件、方法および結果をのべる。

1) 試験の条件 この試験に供した挽板の一端または両端から切りとつた強度試験体について、その平均年輪巾、秋材巾、含水率および比重に関する材質条件を Table 9 に示した。

挽板の縦圧縮試験における荷重速度、温度および関係湿度を Table 10 にしめす。

2) 試験の方法 集成材を構成しようとする個々の挽板から約 50 cm 長の材片を切り取り、Fig. 1 にしめす方法で、縦引張、縦圧縮、セン断および曲げ剛性と強度試験体はいずれも JISA 1006 によつて作製した。

試験機は、それぞれの試験について最大荷重の大きさにマッチした容量のものを用いた。変形量の測定は、従来と同様、引張と圧縮には鏡式 extensometer を用い、曲げではダイヤルゲージ ($10^{-2} mm$) によつた。

3) 試験結果 挽板の各グループごとのヤング係数 (E) を Table 11 に、また引張、圧縮およびセン断強度を Table 12 にしめした。

4) 強度数値相互の関係 強度とヤング係数の比のかたちでもとめられる ω および圧縮比例限度力度の圧縮強度に対する比 γ_c を Table 13 に、引張強度と圧縮強度の比 γ 、圧縮強度とセン断強度の比 q および計算値の曲げ破壊係数と圧縮強度の比 μ を Table 13~14 にしめした。

5) 単純強度 (引張、圧縮およびセン断) から曲げ性能を推定すること

曲げヤング係数の推定値として、圧縮ヤング係数をそのまま用いたが、その結果、この推定値に対する実測値の比は、平均 0.96 でその変化係数 $\pm 5.5\%$ をしめした。この関係は、最大値または最小値について、それぞれ推定値と実測値と比較してもほぼ同様である。

曲げ比例限度力度は、圧縮強度の 20 % 増の値で計算的にまとめたものを推定値にとつたが、これと実測値との比では、平均 0.90 で変化係数 $\pm 14\%$ をしめした。若干、バラツキはあるが、だいたいにおいて推定可能とみられる。曲げ破壊係数の推定値は、針葉樹と広葉樹を分けて次式で計算した。

$$\text{針葉樹: } \sigma_{br} = \frac{3r - \gamma_c}{r + \gamma_c} \cdot \gamma_c \cdot \sigma_c$$

$$\text{広葉樹: } \sigma_{br} = \frac{3r - 1}{r + 1} \cdot \sigma_c$$

この推定値に対する実測値の比をとると、平均 1.13 となり変化係数は± 10 %程度となる。

以上を総合して、挽板群 32 グループについて、その単純強度から曲げ性能を推定することができるものとおもわれる。

6) 挽板と集成材の強度等級 挽板の強度を個々の数値についてとり扱うことは正しいのであるが、実用上はわずらわしいので、比較的かんたんな取扱い方によつて強度等級をきめようと考えた。

縦方向の強度特性をしめす指標として、われわれは w_c , r , q , および γ_c を考え、これらの標準値をきめたのが Table 18 である。

これらの数値の変化に対する等級の増減については、標準値をしめす場合を 0 として、Table 19 のようにきめた。つぎに標準等級表は、針葉樹と広葉樹とに分けて、圧縮強度 50 kg 階により Table 20 を作製した。

強度等級表を用いて判定した強度値を $\bar{\sigma}_c$, \bar{E}_c , $\bar{\sigma}_t$, $\bar{\tau}$ および $\bar{\sigma}_b$ として実測値と比較したのが Table 21 である。

(3) 接着加工

1) 接着剤

初期接着力試験において、高度の木部破断率を示し、同時に完全耐水性の性能を有するレゾルシノール樹脂を使用することとし、国内の製品を今回の試験用に選んで、その比重、粘度、pH、レジン率、表面張力を試験し、Table 22 の結果を得た。また pH とゲル化時間の関係、硬化温度と硬化時間との関係を示すと Fig. 11, Fig. 12 のとおりである。これらの性質のなかで今回使用せる接着剤について特異な点はゲル化時間が長すぎることであつたので、予備試験的、適正な硬化温度を決定する試験を行つて、硬化温度 60°C をとることとした。この経過を Table 23~25 に示す。

2) 接着加工

製品の寸法は断面約 10×10 cm, ビームの長さ約 290 cm で、挽板 5 枚合わせとし、挽板の木表と木表、木裏と木裏とを接着するようにし、接着剤の混合攪拌は珪瑯びきビーカーと攪拌棒を用い、塗付は刷毛塗、両面塗付とし塗付量 30 g/尺² を目標として Phot. 21, Phot. 22, Table 26 のように接着剤を塗付した。堆積時間は 20~70 分、圧縮には Phot. 22 および Phot. 23 に示すボルトナット形式のクランプを使用、当て板はミズナラ 20 mm 厚、クランプ間隔 10 cm とした。圧縮圧力の調整にはトルクレンチを用い、広葉樹で 12~18 kg/cm², 針葉樹で 8~9 kg/cm² の圧力を加えて圧縮した (Table 26)。圧縮を終わった積層物は、Phot. 24 に示すように加熱硬化室に入れ、Fig. 15~21 に示す加熱硬化条件で接着硬化処理を行つた。

IV 集成材の性能試験

(1) 接着性能試験

ビームの接着性能はブロック剪断試験と、剝離試験によつて試験することとし、各ビームの両端 Fig. 22 に示す位置からそれぞれ試験片を採取した。

剪断試験は ASTM D 805—52 に準拠し、島津製作所製 5 吨槓桿式材料試験機を用い、Phot. 25 に示す剪断アタッチメントにより、荷重速度毎分 40 kg/m² 以下で剪断破壊せしめ、これらの結果を Table 27 および Table 28, Phot. 26, Fig. 25 に示した。

剝離試験は、U. S. A. で完全耐水性集成材の接着耐久性試験にひろく採用している ASTM D 1101—

55 に準拠して行い、Fig. 22 の位置から採取した試験片に、750 mm 以上の真空排気処理と 4.8~5.2 kg/cm² の加圧注入処理を繰り返して水を飽水状態になるまで注入し、この濡れた試験片を恒温・恒湿の部屋の中にならべて、室内温度 28~29°C、関係湿度 25~30 %、試験片間の風速 1 m/sec 以上を与えて、3³/₄ 日間乾燥を行い、この乾湿繰返し処理を合計 3 循環 12 日間行い、試験片の木口面に発生した剝離を測定し、剝離率を計算して接着耐久性を試験した。これらの結果は Table 27, Table 28, Phot. 27~41 に示した。

(2) 接着性能試験結果の検討

接着性能試験結果は、集成材材料およびその製作条件と関連して検討すべきであるが、今回の試験は U. S. A. において行われている集成材の製造基準に準拠し、集成材材料およびその製造工程にできる限り完全な方法をとつて Table 29 のように行われたので、これらの結果を U. S. A. における結果と比較してみると Fig. 26 のとおりとなり、U. S. A. の結果に遜色ない結果が得られたので、今後は製造諸条件に巾をもたせて国内における実用的な集成材製造基準を確立することを考慮すべきである。

この試験においては接着硬化条件に 60°C の中間温を採用したが、これは今回使用したレゾルシノール系接着剤が研究途上の未完成品で、接着剤の化学的な欠陥を物理的な加熱処理で補つた特異な例であるから、将来は接着剤自体の化学的改良によつてレゾルシノール系接着剤本来の常温硬化にもどるべき性質のものである。

この試験に使用したビームは Table 28 に示すような接着性能をもっているが、これを強度試験した場合に Phot. 42~43 に示すような破壊をし、接着層が材料の弱点部になつて破壊を誘導するというような現象は認められず素材の強度試験と同様な正規の結果が得られた。

接着性能は樹種と比重に影響され Fig. 25~26 のような関係があり、マカンバとブナが接着良好な特性をもっている点が認められた。

木部破断の結果は Phot. 26 に示すとおりであつて、ミズナラ QR をのぞいてはすべて良好な結果を示している。QR については硬化接着層自体の破壊はほとんど認められず、いずれも接着剤フィルムと木材との界面における分子間引力に欠陥を生じている。

剝離試験の結果をみると、ミズナラ QR、マカンバ M において剝離率が比較的大きく、その原因をはつきりと把握することはできなかつたが、挽板の性状にもとづくものでないかと考えられる。また、トドマツ、エゾマツの剝離率が比較的大きくなつたが、剝離線の巾と深さは小さい。これら剝離の状況を観察すると材の木口面における割れの状況とともに樹種によつてかなり顕著な個性を示していることが明瞭である。

(3) 強度試験

A 集成材梁の強度試験

1) 試験方法 前述の挽板のグループによつて構成した集成材梁の曲げ試験は、個々の挽板試験と同様中央集中荷重の単純支持梁としておこなつた。この場合のハリタケ (h_0) とスパン (L) との比 h/L についても、挽板からの曲げ試験体と同じに $1/20$ になるように、スパンを 200 cm にした。

使用した材料試験機は、強度研究室備付の木材強度試験機（東京衡器 K. K. 製、能力 100 ton: Main capacity = 100 ton; Sub-capacity = 20 ton, 10 ton, 4 ton）を用い、撓みはデフレクションゲージにより測定を行つた。ミズナラ Q の集成材梁 10 本については電気抵抗線歪計により測定を行つた。なお、

ハリ巾 (b_h), ハリタケ (h_n), 断面係数 (w) および断面二次モーメント (I), さらにこの場合の試験条件である荷重速度 (L_r), 温度 (T) および関係湿度 (H) 等を一括 Table 14 にしめた。

2) 試験結果 前述した挽板から切取つた曲げ試験体の強度, さらに引張, 圧縮およびせん断等の単純な試験から推定した強度, 等級区分による判定強度等と比較したものが Table 15 に比のかたちでしめされている。

その結果, 表でみられるように (表中の添字 r は引張, 圧縮およびせん断結果のみで推定計算した値, 添字 s は挽板から切り取つた曲げ試験体での値, 添字 L は集成材梁での値, また $\bar{E}_b, \bar{\sigma}_{bp}, \bar{\sigma}_b$ 等は等級区分した場合の判定値をしめしている。) いずれの比も, だいたい 1 にちかく, 推定が可能であることをしめしているものとおもわれる。

B 集成材梁の強度分析試験

接着集成された集成材梁において, その接着層をふくむ部分 (L. G.) とふくまない部分 (L. W.) とで, 一般材質や強度性能がどの程度異なるか, また, これらと挽板からの結果 (S. W.) とはどのような関係にあるかをたしかめるためにおこなつた試験である。

1) 試験方法

この試験は, Fig. 4 にしめたような木取法で, 試験を終つた集成材梁から, 引張, 圧縮および剪断試験体をきりとり, 挽板のばあいと同様の測定方法によりおこなつたものである。

2) 試験条件

この試験においても, 年輪巾 (b), 秋材巾 (s), 含水率 (u) および試験時比重 (R_u) を測定したので, これらと, 挽板試験 (S. W.) のばあいとを比較して Table 16 にしめた。

また, 荷重速度 (L_r), 試験時温度 (T) および, 同関係湿度 (H) については, Table 17 にしめす。

表中, S. W. = 挽板試験 : L. W. = 集成材梁から切りとつた木部のみの試験体 : L. G. = 集成材から切りとつた接着層を含む (接着層は断面のほぼ中央) 試験体。

3) 試験結果

(i) ヤング係数 (E): 引張ヤング係数 (E_t) と圧縮ヤング係数 (E_c) とを 3 者 (S. W.; L. W.; L. G.) について, それぞれ比較したものが Table 34 である。概括的にみてほとんど差がないものと判断される。

(ii) 引張強度 (σ_t): 圧縮強度 (σ_c) およびせん断強度 (τ) を 3 者 (S. W.; L. W.; L. G.) について, それぞれ比較したものが Table 35 である。

(iii) 強度特性値 (w, γ_c, r および q) これらの値については Table 36 と Table 37 にしめた。

(iv) 挽板試験と分析試験との比較 挽板試験の結果 (S. W.) に対して, 集成材梁の分析試験結果 (L. W.; L. G.) がどのような関係にあるかを比の値でしめたものが Table 38 である。

これをみると, ヤング係数, 引張強度, 圧縮強度およびせん断強度のいずれも, ほとんど差異がみとめられない。とくに, せん断強度の L. G. は接着面せん断強度をしめすものであるが, これも木部に対して強化も弱化もされていないようである。

(v) 分析試験結果からの曲げヤング係数と強度の計算値 以上述べた分析試験結果から, 挽板の場合と同様の推定計算方式により集成材梁の曲げヤング係数, 曲げ比例限度力度および曲げ破壊係数を計算

すれば、Table 39 のとおりとなる。また、これらと、実際の集成材梁についてもとめた結果とを比較したのが Table 40 にしめすものである。

その結果として判断されることは、曲げヤング係数、曲げ比例限度力度および曲げ破壊係数のいずれも挽板試験の結果から推定した場合と分析試験の結果から推定したばあいとでほとんど差がないことであり、挽板試験の結果から、集成材梁の曲げ性能を推定することで概括的には充分とおもわれる。

（4）強度試験結果の検討

（i）寸法効果について

木材の梁において、その断面型が同じで、ハリタケとスパンの比および荷重のかけ方も同じであつても大きな断面をもつ梁は、小さな断面をもつ梁よりも曲げ性能が低減するといわれている。このことを一般に寸法効果と呼んでいるようである。この試験のように、かなり充分と思われる程度のハリタケ—スパン関係では、寸法効果をしめす原因はちよつと考えられないようにおもわれる。このことは、Table 31 にしめした σ_{bl}/σ_{bs} （断面辺長 10 cm の集成材梁の曲げ破壊係数／断面辺長 2 cm の挽板から切り取つた曲げ試験体の曲げ破壊係数）の値で、針葉樹の平均 $0.95 \pm 6.5\%$ 広葉樹の平均 $0.98 \pm 14.8\%$ 、32 本の全平均では、 $0.98 \pm 13.3\%$ の結果からも充分考えられることができると思う。

したがつて、もし、欠点がいちよつと少なく、充分慎重に木取られたばあいには、梁の寸法効果はあまり考えなくてもよいものとおもわれるが、まだ、とくに大形量の梁についての試験を実施してないのでここでは、寸法効果一般を論ずる考えはない。

（ii）強度特性値について

集成材梁の曲げ性能を推定する場合の基礎となつたものは、 σ_c （圧縮強度）、 w_c （圧縮強度／圧縮ヤング係数）、 γ_c （圧縮比例限度力度／圧縮強度—針葉樹のばあいに用いる）、 r （引張強度／圧縮強度）、および q （圧縮強度／せん断強度）等である。すでにのべたように、これらの値（ r 、 q 、 w_c ）は、樹種材質に応じて、ほぼ一様の値を示し、圧縮強度が比重によつてかなり強いエイキヨウをうけるのに対して、 r 、 q 、 w_c 等はほとんどそのエイキヨウをうけず、樹種ごとにほぼ安定しているようである。そのバラツキに比して大きくはない。したがつて、これらの値をわれわれは樹種による強度特性値とみている。したがつて、単に挽板の圧縮強度を試験またはなんらかの方法（たとえばカタサ）で推定することにより、同等品質挽板の構成による集成材梁の曲げ剛性および強度を推定することができると思われる。

（iii）強度特性値について

許容力度をきめる場合の基礎となる基準強度およびその等級区分については、いまのところ明確な基準がないので、この種集成材の研究にもいろいろと不便が感ぜられた。

そこでわれわれは、縦圧縮強度値（50 kg 階）による等級区分と、前記の強度特性値による標準等級表および等級増減表を仮説的に作成してみた。この場合、標準等級表についても、広葉樹を一括することには問題があり、さらに、実際の取扱いに対する考慮もはらわなければならないと思うが、とにかく、一応これを土台として、将来、合理的な等級表の完成を期待している。

文 献

- 1) A. C. KNAUSS, M. L. SELBO: Laminating of structural wood products by gluing No. D 1635 F. P. L. (1948)
- 2) West coast lumbermen's association: Standard Specifications for the design and Fabrication of structural glued laminated lumber. (1951)
- 3) Southern pine association, standard specifications for the design and fabrication of structural glued laminated southern pine. (1951)
- 4) Southern Hardwood Producers, Inc.: Appalachian hardwood manufacturers, Inc.: Northern hemlock hardwood manufacturers Association: Standard Specifications for the design and fabrication of Hardwood glued laminate lumber for structural, Marine and Vehicular Uses. (1952)
- 5) 寺沢真, 小玉牧夫: 木材乾燥操作に関する基礎的研究(第Ⅲ報) 木材人工乾燥における乾燥時間の推定図表について, No. 97 林業試験場研究報告 (1957)
- 6) A Handbook of woodcutting: F. P. R. (1946)
- 7) DUFF, K. W.: Selection and application of cutterheads for wood Mech. Eng. Nov. (1949)
- 8) DARIS, E. M.: Machining and related characteristics of Southern Hardwoods. Tech. Bulletin U. S. Dept. of Agri. No. 824 (1942)
- 9) 加納 孟: 木材材質の森林生物学的研究(第5報) 林業試験場研究報告 No. 61 (1953) p. 1~40
- 10) 沢田 稔: 木材梁に関する研究, 林業試験場研究報告 No. 71 p. 39~79: (1954): p. 81~119, No. 77, p. 69~102 (1955)
- 11) 沢田 稔: 木材梁に関する研究(第4報) 林業試験場研究報告 No. 98, (1957) p. 85~98
- 12) 沢田 稔: 木材梁に関する研究(第3報), 林業試験場研究報告 No. 77, (1955) p. 69~102
- 13) 石川大慈: レゾルシノール樹脂接着剤, 木材工業, Vol. 11, No. 109 (1956) p. 186~189.
- 14) 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), 林業試験場研究報告, No. 89, (1956) p. 1~55.
- 15) DIETZ, A. G. H.: Stress-Strain Relation in Timber Beams of Douglas Fir. ASTM Bull., No. 118 (1943)

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

The laminated wood research group

I. Introduction

Laminated wood is wooden material in various forms and shapes to serve many purposes, prepared by being sawn, dried and finally having surfaced laminae glued with adhesives, with the grains in parallel.

The usefulness of laminated wood has in general been dependent on the strength imparted to the members and on the ability of the adhesives to maintain such strength in service as when used for the frame-material of wooden structures. The first step to under take in research in laminated wood is the study on properties in respect to its strength and adhesion. Such study affords us the basis for the improvement of its standard specifications as to design and fabrication and the properties of it.

In this case, our seven important species and the adhesives for the laminated wood are as follows; TODOMATSU (*Abies sachalinensis* FR. SCHMIDT), YEZOMATSU (*Picea jezoensis* CARR.), AKAYEZOMATSU (*Picea Glehnii* MAST.), MIZUNARA (*Quercus crispula* BLUME), YACHIDAMO (*Fraxinus mandshurica* RAPRECHT), MAKABA (*Betula Maximowicziana* REGEL) and BUNA (*Fagus crenata* BLUME); and as adhesives, resorcinol-formaldehyde resin (the trade name of Japan Reichhold Chemicals Industry Co. is Plyophen 6000 of adhesives and Plyophen 6002 of its hardner).

The strength and durability properties of adhesion of laminated woods produced were tested. On this research, all processes of standing tree sampling, sawing, drying, surfacing, strength check of laminae, layout of laminated assembly, adhesion of laminae, spreading of adhesives, pressing of laminated assembly, curing of clamped assemblies were studied with the object of improvement of standard specification for the fabrication and properties in respect to its strength and adhesion of structural laminated wood.

In concluding the introduction we feel it our duty to express our profound thanks to Mr. Y. SAITO, Director of this station, and Mr. T. OGURA, chief of the division of wood technology, who was good enough to extend from time to time his helping hand especially in guiding us in our study.

The names of technicians who studied this research in co-operate are shown following. The mark * shows the researcher who wrote this report.

The chief of section charge of laminated wood

	Dr. Kunisuke HORIOKA*
1. Selection of standing tree	Minoru SAWADA*
	Minosaku SUGANO
	Ryosaburo YAMAI
	Nobuyuki EDAMATSU*
2. Conversion of timber	Minosaku SUGANO*
	Minoru SAWADA

3. Drying of lumber	Makoto	TERAZAWA*
	Makio	KODAMA
4. Surfacing of laminae	Genichi	NAKAMURA*
	Tsuneo	AOYAMA
	Masuo	SAITO
5. Measuring and classification of lamina	Minosaku	SUGANO*
6. Check of laminae strength	Minoru	SAWADA*
	Ryosaburo	YAMAI
7. Combinations of laminae and design	Minoru	SAWADA*
	Ryosaburo	YAMAI
8. Measuring of laminae properties before the operation of adhesion	Minosaku	SUGANO*
9. Adhesion of laminated woods		
a. Measuring of properties of adhesive	Shigenobu	MITSUKAWA
b. Operation of adhesion of laminated wood	Minosaku	SUGANO*
	Junsuke	MUKUDAI
	Minoru	NISHIHARA
10. Quality test of laminated wood		
a. Bending strength test of laminated beams	Minoru	SAWADA*
	Ryosaburo	YAMAI
b. Analysis test of laminated beams	Minoru	SAWADA*
	Ryosaburo	YAMAI
c. Block shear test and durability test of laminated woods	Minosaku	SUGANO*
	Minoru	NISHIHARA

II. Selection and preparation of lumber for laminating

Lumber used for fabrication of laminated woods must be properly selected and adequately prepared for adhesion. Attention is given to selection of standing tree, conversion of timber, drying and final surfacing to be glued.

1. Selection of standing trees

With a view to helping the study along this line, we have tabulated the selection of standing trees.

Species of test tree and place of growth

Species	Regional Forestry Office	District Forestry Office	Compartment	Diameter breast height (cm)	Number of selected trees
TODOMATSU	SAPPORO	SAPPORO	23	46~67	6
YEZOMATSU	OBIHIRO	RIKUBETSU	41, 47	62~80	7
AKAYEZOMATSU	"	"	41, 47	55~79	6
MIZUNARA	"	"	41	65~84	7
"	SAPPORO	URAKAWA	18	76~105	5
YACHIDAMO	"	"	18, 19	59~101	6
MAKABA	"	"	"	60~76	6
BUNA	AKITA	OBONAI	—	—	6

Care has been exercised in selection of standing trees as well as locality of trees. The trees used for our study have been limited to those having both high quality and good shape, with breast height diameter of over 46 *cm* in national forests. Most trees selected from among useful species are grown in the well-known dense forests in Japan favored with transportation facilities. The species and localities of trees are given in Table.

2. Conversion of timber

Logs of those trees selected were transported to our laboratory with an identification of species and localities so as to avoid any possible errors. For machining, a 42" band saw with automatic controlled carriage in our sawing laboratory was used and the logs were sawn into mostly flat plain (25 *mm* in thickness, 12 *mm* in width, 4,000 *mm* in length).

3. Drying of lumber

The moisture content of lumber at the time gluing is of great importance in fabrication of laminated products. The desirable moisture content of the lumber is that which will facilitate the making of strong glue joints and, the approximately average moisture content of 10~12% of the laminated wood can serve our purpose. For drying, a dry kiln (about 5.5 *m*³ of lumber should be the drying capacity; internal fan type) in our wood-drying laboratory was used. MIZUNARA (Q) and TOMOMATSU (A) were dried immediately in this kiln, without air seasoning. On the other hand, MIZUNARA (QR), MAKABA (M), YACHIDAMO (F), YEZOMATSU (YJ and YG) were dried, after air seasoning.

The drying schedule of each species is given in Table 2 and Fig. 5~7. Some lumber in Q has shown remarkable shrinkage, i.e., about 20% of flat plain. Such lumber having many ray-parenchymas should be selected out before drying.

4. Surfacing of laminae

Preliminary rough and final surfacing of the lumber for gluing, is advantageous in obtaining uniformity in thickness of lamination. Dried lumber was surfaced by a three-side planner and the planing should be done on both sides to 1.0~1.5 *mm* in rough surfacing and about 0.5 *mm* in final surfacing. It is recommended that when a lamination consists of several laminae, the difference in thickness throughout the laminae should not exceed 0.4 *mm*, and the appropriate number of knife marks per inch should be 20~30.

Actually, laminae have 0~0.55 *mm* of difference in thickness and 16~23 of knife marks per inch. Moreover, some laminae have rough-parts or "blanking", omitted from the laminations.

III. Constitution of cross section and operation of adhesion of laminated woods

1. Selection of laminae

(1) Properties of laminae

The laminae comprise plain-grain and various defects have been excluded from the lamination. The length, width, thickness, and weight of laminae to be glued were measured, and also the moisture content when sawing, shrinkage percent, and specific gravity and others were calculated. These results are shown in Fig. 8~9 and Table 8~9.

(2) Strength tests of laminae and constitution of cross section

In order to assume strength properties of laminated wood from strength properties of laminae to be glued, the strength of the laminae were tested. Assembled lay-out, should give consideration to the species and grade of lumber, thickness of laminae, and grain of wood. In this case, each of the laminae in a glued timber were the same species, 5 ply of laminae (about 20 mm in thickness, 115 mm in width and 2,800 mm in length).

The measurement of width of annual rings, width of summer wood, moisture content and specific gravity at test of the laminations for each laminated beam are shown in Table 9.

All the test pieces in our experiments were prepared from those laminae shown in Fig. 10. As regards the size of preparation, test pieces stipulated in the test method, such as tension strength parallel to grain, compression strength parallel to grain, shear strength and Young's modulus, are specified in the JIS (Japan Industrial Standards) A 1006.

Test machines suited for required capacities were used. For measuring strain at compression and tension, the mirror type extensometers were applied, at bending the dial-gage (10^{-2} mm).

The Young's modulus of the laminae for each laminated beam, and the strength of these are shown in Table 11 and 12. The relation between a strength and others are shown in table 13 and 14. The computed value of modulus of rupture in bending were decided by the following formulas.

$$\text{Soft wood; } \sigma_{br} = \frac{3r - \gamma_c}{r + \gamma_c} \cdot \gamma_c \cdot \sigma_c$$

$$\text{Hard wood; } \sigma_{br} = \frac{3r - 1}{r + 1} \cdot \sigma_c$$

The comparison of computed and measured Young's modulus, bending stress at proportional limit and modulus of rupture in bending are shown in Table 15, 16 and 17.

However, it is right that the structure grade of laminated wood be decided by each strength of laminae to be utilized, but such handling is very troublesome. Therefore, we determined ours by the following simple method.

(i) We determined the index, such as w_c , r , q and γ_c , that show the standard value, and these indexes are given in Table 18.

(ii) As to the increasing or decreasing of strength grade by the value w_c , r and q , these are shown in Table 19, zero as the standard value.

(iii) Then, the Table of standard strength for strength-grade wood is classified by 50 kg of compression strength (Table 20).

(iv) The compression of measured and strength-grade wood are shown in Table 21.

According to these results, we can impute the strength of laminations by our simple method.

2. Operation of adhesion of laminated wood

(1) Adhesives

Resorcinol-formaldehyde-resin adhesives have a combination of the moderate-

temperature curing requirement of urea resins and the high-quality and durability characteristics of phenol resins, and were used for gluing laminae, because these adhesives have such fine qualities as high wood failure at normal test, and are complete water-proof.

These adhesives are produced by the reaction of resorcinol with formaldehyde, and are marketed as liquids consisting of partly polymerized resin in water-alcohol solution. The solids content of the solution is usually about 60 percent in weight. The other properties of adhesives, such as specific gravity, viscosity, pH, resin content and surface tension are shown in Table 22. The adhesive is dark red, and makes dark red joints when set. A hardner, usually paraformaldehyde and some filler are mixed with the resin prior to use. The relation of the pH of adhesives—gel-time and the curing period—curing temperature are shown in Fig. 11 and 12, and among these properties, the adhesives have the drawback that the gel-time and curing period takes too long a time. Therefore, glued laminated assemblies have been cured at room temperature, 40°C, 50°C, and 60°C. The results of these tests are shown in Table 23~25, and the curing temperature was decided at 60°C according to results.

(2) Operation of adhesion

A plan for the position of laminations in the glued assembly is necessary for each operation of adhesion. The size of the fabricated laminated wood is 10 cm×10 cm in cross section, about 290 cm in length. Each lamination was adhered with the outer surface or inner surface. Extreme care should be exercised in the mixing and preparation of resorcinol-formaldehyde resin adhesives.

Plyophen 6000...100 parts and Plyophen 6002...20 parts were mixed in an enamelled beaker by hand, the spreading done on both sides of the intermediate laminations, and the one side of outside laminations. The spread rate by brushes was 30 grams per square feet as shown in Phot. 18~19 and Table 26. Assembly time took 20~70 minutes.

The application of adequate and uniformly distributed gluing pressure is essential to the production of consistently good joints. The functions of pressure include smoothing the glue to form a continuous uniformly thin film between the wood layers, bringing the wood surfaces into intimate contact with the glue, and holding them in this position while the glue sets. The frame type of retaining clamp with rocker head for equal distribution of pressure across the width of the assembly has been used successfully for producing laminated woods, as shown in Phot. 20~21. The cauls were used, and 20 cm lumber of MIZUNARA in thickness, the interval of clamps being 10 cm. Torque wrenches were used to adjust adequate clamp pressure. The lamination lay-out was pressed by the pressure of 12~18 kg/cm² in hard wood, 8~9 kg/cm² in soft wood (Table 26). The adhesives used in laminating set as a result of chemical reaction. In order to cure the adhesives in laminated assemblies, put in the heated curing chamber as shown in Phot. 21, and curing in these conditions (Fig. 15~21) will produce durable joints.

IV. Quality tests of laminated woods

1. Testing of adhesion quality

The adhesion qualities of laminated woods were tested by the dry block shear

test and delamination test, the test pieces being cut from the edges of both sides of the beams shown in Fig. 22.

This dry block shear test was performed by ASTM D-805-52, the capacity of test machine (SHIMAZU Manuf. Co.) was 5,000 *kg*, balance type. The attachment of this shear test is shown in Phot. 22, the average load weight speed was less than 40 *kg/cm*² per minute, and the results of the test are shown in Table 27, Phot. 23 and Fig. 24.

Furthermore, the delamination test was performed by ASTM D 1101-55 that adapted the test of exterior laminated wood in the U. S. A. The test specimens were placed in a pressure vessel, immersed in water at room temperature, and weighted down to keep them submerged. They were separated by stickers in such a manner that all end-grain surfaces had free access to the water. A vacuum of at least 625 *mm* of mercury was then drawn and held for 2 hours. Then, the vacuum was released and pressure of 4.8~5.2 *kg/cm*² was applied for 2 hours.

This vacuum-pressure cycle was then repeated with the specimens still immersed, making a two-cycle impregnating period requiring a total of 8 hours. Then, the specimens were dried for a period of 88 hours (3 2/3 days) in air at 28~29°C, and 25 to 30 percent relative humidity, and circulating at a rate of at least 1 *m/sec*. During drying the specimens were placed at least 5 *cm* apart and with the end-grain surfaces parallel to the stream of air. The entire soaking-drying cycle was repeated twice to comprise a total test period of 12 days. At the end of the final drying period, the total length of open glued joints (delamination) on the end grain surfaces of the specimens were measured. Table 27~28 and Phot. 24 show these results.

2. Discussion of the results of adhesion qualities test

In this research, we desired to fabricate the laminated wood, and performed experiments based upon the standard specifications for the design and fabrication of structural glued laminated wood in the U. S. A., of which the process are shown in Table 29. Comparing our results with those obtained in the U. S. A. as shown in Fig. 26, we see that the results are on the same level. Therefore, we assume that a practical standard for the fabrication should be established in Japan. However, for the condition of curing of resorcinol-formaldehyde resin adhesive, we have the intermediate temperature, 60°C, but, in future, we must improve the chemical qualities of this adhesive to cure at room temperature.

The laminated beams used in this test have the qualities as shown in Table 28, the failure figures after the bending test are shown Phot. 25. According to these results, we could not confirm that the glue lines are the weakest layers.

The relation with the block shear strengths and specific gravities (species) are shown in Fig. 24; the quality of adhesion of MAKABA and BUNA are excellent. The relation with the wood failure and specific gravities (species) are shown in Fig. 25; the figure of wood failure in Phot. 23, with the exception of MIZUNARA QR. Other species' test pieces show very definite failure. In MIZUNARA QR, the failure in the cured glue line could not be definitely asserted, but the Van der Waal's force between the adhesive and the surface of wood was weaker than the cohesion of wood and adhesive.

According to the delamination tests, the delamination percentages are comparatively large in MIZUNARA QR and MAKABA M, but this reason could not be

understood, perhaps because of basing on the rough surfacing. Moreover, the delamination percentage of TODOMATSU A, and YEZOMATSU YJ and YG are comparatively large, but the width and depth of delamination lines are very small.

3. Strength tests

A. Strength tests of laminated beams

(1) Method of test

The bending tests of the laminated beams which were glued with these laminae by resorcinol-formaldehyde resin adhesives, have been conducted upon test beams with the grain direction parallel to the axis and perpendicular to the direction of the load weight, so as to test the bending of the laminae. The test beam consisted of a pillar of a sectional square, with a side length 10 cm, and 200 cm in the length of span. The side length by the length of span ratio is the same as the test piece of laminae in the bending test (Phot. 26 and Fig. 27).

The test machine was a wood testing machine (Main capacity=100 ton, Sub-capacity=20, 10 and 4 ton, of the TOKYO KŌKI CO.). For measuring strain, the deflection-gage was used, but ten laminated woods glued with the laminae of MIZUNARA Q were measured by the electric strain gages. The width (b_0), height (h_0), coefficient of cross section (W), second moment of cross section (I), and the test conditions (speed of load L_V , temperature T and relative humidity H) are shown in Table 30. Table 31 shows the ratio of the computed strength calculated from the bending strength, tension strength, compression strength and shear strength of the test pieces to cut the edge of final surfacing laminae, and the strength grades. According to this result, the ratios are very nearly 1, therefore, the strength of laminated woods have been computed from the strength of its laminae.

(B) Analysis test of strength of laminated woods

In these laminated woods, the parts containing the glue line and the other parts that do not contain it were measured for the properties of each part and their strength.

(1) Method of test

The tension, compression and shear specimens cut from the tested laminated beams in bending as shown in Fig. 29 were tested. The method of test were conducted in same the method of laminae.

(2) Conditions of test

Table 32 shows the results compared with the width of annual ring (b), width of summer wood, moisture content and specific gravity at test, and those results of laminae. Moreover, Table 33 shows the speed of load, temperature at test (T) and relative humidity (H).

(3) Results of test

(i) Table 34 shows each Young's modulus in bending (E), tension (E_t) and compression (E_c) of laminae, glue-line contained parts, and other parts of tested laminated wood. Among these qualities of specimens of three kinds, no differences could be found.

(ii) Table 35 shows each tension strength (σ_t), compression strength (σ_c) and shear strength (τ) of laminae, glue-line contained parts, and other parts of tested laminated wood.

(iii) The special qualities of strength (ω , γ_c , r and q) of laminae, glue-line

contained parts, and other parts of tested laminated wood are given in Table 36~37.

(iv) Table 38 shows the ratios of the strength of glue-line contained parts, and other parts, and the strength of laminae. According to these results, Young's modulus, tension strength, compression strength and shear strength did not reveal any differences.

Significantly the shear strength of glue-line contained parts is equal to the glue joints strength, but according to our results, the adhesives did not have any influence, such as would strengthen or weaken.

(v) Table 39 shows the calculated Young's modulus in bending, proportional limit stress in bending, and modulus of bending rupture computed from the results of analytic test by the method of computation, such as the strength of laminae. The results compared with the strength of tested laminated beams in bending and the computed values are shown in Table 40. According to this result, among the Young's modulus in bending, proportional limit stress in bending and modulus of bending rupture computed from the results of laminae testing, and these bending qualities computed from the results of analytic testing, no differences could be found. Therefore, in general, the bending qualities of laminated beams were presumed from the results of strength test of laminae.

C. Strength tests

(1) On the scale effect

According to the results of the bending test of the specimens that were cut from the final surfaced laminae ($20 \times 20 \times 300$ mm) and the laminated beams ($100 \times 100 \times 1,500$ mm), the scale effect could not be determined.

(2) In order to presume the bending qualities of laminated beams, compression strength (σ_c), ratio of compression strength and Young's modulus in compression (ω_c), ratio of proportional limit stress in compression and compression strength (γ_c), ratio of tension strength and compression γ and ratio of compression strength and shear strength (q) must be measured. These values are the special qualities of each wood species. By such a simple method as the measuring of compression strength of laminae of which the laminated beam will consist, or by any other method (example, hardness of laminae), the presumption of strength and other qualities of laminated wood is possible.

(3) Simple way for presuming the strength of laminated wood. The table of standard strength for strength-grade wood is classified by 50 kg of compression strength. As to the increasing or decreasing of strength grade by the special qualities values, such as σ_c , ω_c , γ_c and q these are shown in Table 19, the standard value as zero.

This computation method of laminated wood strength has many problems in actual utilization, and in order to accomplish a rational method, the complete strength-grade table must be studied further.