

集成材に関する研究（第14報）

集成材の現場接合

西 原 実⁽¹⁾

1. 緒 言

集成材を主要構造部材とする木構造物の構築に際し、造船あるいは建築の現場などで部材を相互に接合する場合、ボルトなどの接合用金具による機械的接合が一般に行なわれているが、この機械的接合のために生ずる構造物の剛性や強さの低減は顕著であって、継手部が弱点となって構造物全体に支配的な影響を及ぼしている。そこで、機械的接合よりも、接合有効率の高い接着接合の必要性が強く要求されているが、この接着による接合は、造船や建築の現場で行なわねばならないので現場接着技術の確立が必要である。この研究では、集成材の現場接合に関する基礎資料をうるため、接合方法をかえた各種のはり材をつくり、その接合有効率を検討することとした。すなわち、ベイマツひき板を材料として実大の集成材ビームを調製し、各ビームの中央部に各形式の継手加工をほどこし、これらをボルトによる在来の機械的接合、接着を併用したボルト接合および接着のみによる接合などをしたのち、曲げ試験により、各形式の継手の接合性能を比較したのでその結果を報告する。

なお、この試験を行なうにあたり、種々ご配慮とご指導をいただいた上村 武木材部長、中村 章材質改良科長、菅野襲作集成材研究室長、山井良三郎強度研究室長、また、ご協力をいただいた森屋和美、近藤孝一、高橋一三、田中辰五郎各技官に対し心から感謝の意を表する。

2. 集成材の継手とその接合

まず、ベイマツひき板を集成接着して実大の集成材ビームを製造したのち、各ビームの中央部にそれぞれの形式の継手加工をほどこし、これらを相互に接合する手順をとった。

2.1. 集成材ビームの調製

供試集成材は、21mm厚のひき板9枚合せの積層接着とし、仕上がり寸法は幅100mm、厚さ189mm、長さ4mで、その本数は41本である。

(1) ひき板：幅約120mm、厚さ約24mm、長さ4m以上のベイマツ乾燥ひき板を約400枚購入し、リップソーで幅112mmに縦びきしたのち、被接着面を自動カンナ盤により厚さ21mmに仕上げて供試ひき板とした。

(2) ひき板の組合せ：ひき板の面性状は柃目、追柃、板目の込みであるが、全数についてFig. 1に示す方法により曲げヤング係数を測定し、その測定結果にもとづき、面性状に関係なしに曲げヤング係数の分布が平均化するようにA～Gの7群に分類した。分類した各群に属するひき板の曲げヤング係数の分布を、Table 1に示す。なお、各群における集成材ビームの本数は、G群の5本以外はすべて6本で、集

1968年7月8日受理

(1) 前 木材部材質改良科集成材研究室

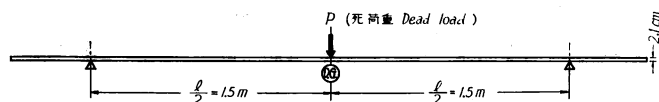


Fig. 1 曲げヤング係数簡易測定法
Simple method of measuring Young's modulus in bending.

Table 1. ひき板のヤング係数と計算による集成材ビームのヤング係数
Young's modulus in bending of lamina and computed Young's modulus in bending of laminated beam

符 号 Marks of laminated beam	計算による集成材ビームのヤング係数 Computed Young's modulus in bending of laminated beam E_R (10^8kg/cm^2)	ひき板のヤング係数 Young's modulus in bending of lamina E_t (10^8kg/cm^2)	
	平均値 Mean	範 囲 Range	範 囲 Range
A	139	124 ~ 167	100 ~ 182
B	146	131 ~ 167	100 ~ 183
C	141	130 ~ 165	74 ~ 180
D	145	133 ~ 164	80 ~ 183
E	148	141 ~ 166	78 ~ 186
F	135	129 ~ 144	90 ~ 155
G	152	129 ~ 170	91 ~ 201

成材ビームの曲げヤング係数の大きいものと、小さいものが、それぞれの群に均等に含まれるよう配分した。また、ひき板 9 枚の組合せにさいしては、ひき板のヤング係数と欠点を考慮し、各集成材ビームの曲げヤング係数になるべく均等になるように配置した。そして、接着後の集成材ビーム断面の下面から中立面までの距離を C とし、次式によって C を求めた。

$$C = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} h_i E_i C_i}{\sum_{i=1}^{i=n} h_i E_i}$$

この計算の結果、幾何学上の中立面ときわめて良く一致していることが確かめられた。つぎに、各集成材ビームごとに、上記の C を使って集成材ビームの曲げヤング係数を次式で計算した。

$$E_R = \frac{\sum E_i I_i}{I_R}$$

式中、 E_R は集成材ビームのヤング係数の計算値、 I_R はその断面 2 次モーメント、 E_i 、 I_i は表面から i 番目のひき板の曲げヤング係数および断面 2 次モーメントである。

計算から求めた各集成材ビームの曲げヤング係数の範囲と、平均値を Table 1 に示す。

(3) 集成接着：接着剤はレゾルシノール樹脂接着剤(大日本インキ化学工業株式会社製プライオーフェン #6000 および同硬化剤 TD-473)を使用した。なお、接着剤の配合は、#6000 100 部に対し TD-473 15部の重量割合とした。

ひき板の接着条件を Table 2 に示す。製糊はかくはん機を用い、配合接着剤を十分にかくはん混和した。塗付は、ドクターロールをもったひき板用のスプレッターを使用し、両面塗付を行なった。圧縮にはボルトナット形式のネジクランプを用い、圧縮圧力の調整はトルクレンチにより行なった。接着硬化は、

Table 2. 集成材ビームの調製条件
Gluing conditions of preparing laminated beam

ひき板条件 Conditions of sawn board	気乾容積重 Apparent specific gravity (air dry) (g/cm³)		—						
	木 理 Grain		板 目 Flat grain		追ま 目 Bastard grain		ま 目 Vertical grain		
	含 水 率 (%) Moisture content	全 乾 法 Oven dry 含水率計 Moisture meter	— —						
接着条件 Gluing conditions	接着時の温度 Temp. at the time of gluing	乾 球 温 度 (°C) Dry bulb temp. 湿 球 温 度 (°C) Wet bulb temp.	16.5	19.0	19.5	21.0	21.3	22.2	24.8
			14.5	17.0	16.5	14.8	17.3	18.2	19.5
	1 接着層あたり塗付量 Amount of spreading glue (g/m²)		330						
	たい積時間 Assembly time (min.)		10 ~ 38						
	圧締圧力 Clamping pressure (kg/cm²)		8						
	硬化条件 Curing condition	乾 球 温 度 (°C) Dry bulb temp. 湿 球 温 度 (°C) Wet bulb temp.	常 温 硬 化 Room temperature setting						
圧 締 時 間 Clamping time (hr)			23						

常温硬化とし、圧締後約24時間放置してからクランプを解いた。なお、これらの実大集成材ビームは継手加工に先だって曲げ剛性試験を行ない、曲げヤング係数を求め、その結果を Table 4 に示した。その方法は〔3.1.(1)〕に後述するものと同じである。

2.2. 継手加工と継手接合

〔2.1.〕により調製された集成材ビームのうち、コントロール用のG群をのぞいたA～F各群のビームの中央部にそれぞれ Fig. 2 に示す継手加工をほどこした。すなわち、A, B群は水平スカーフで、そのスカーフ比はA群 1/3, B群 1/5である。C, D群は垂直スカーフで、そのスカーフ比はC群 1/5, D群 1/10である。E, F群は木製漁船構造基準にしたがって、水平かぎ形スカーフを採用した。そのみかけのスカーフ比は約1/11である。なお、この場合、竜骨に相当する部材を予想し、スカーフ部の長さを集成材ビーム

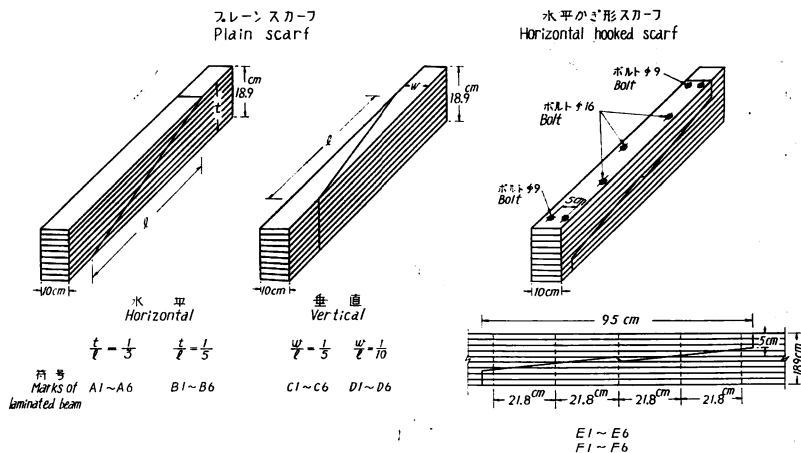


Fig. 2 継手加工の形式
Type of end joints.

注. Note: E1~E6 ボルト・ナットによる機械的接合
Mechanical joints with bolt and nut.
F1~F6 接着剤を併用したボルト・ナット接合
The joints took adhesive with bolt and nut.

Table 3. 継 手 の
Gluing conditions

符 号 Marks of laminated beam		A			B			
接着時の温度 Temp. at the time of gluing	乾 球 温 度 Dry bulb temp. (°C)	27.5	28.1	29.1	30.2	31.0	31.4	24.1
	湿 球 温 度 Wet bulb temp. (°C)	24.1	25.1	26.0	26.2	27.0	26.7	21.0
1 接着層あたり塗付量 Amount of spreading glue (g/m ²)								
たい積時間 Assembly time (min.)								
圧 締 圧 力 Clamping pressure (kg/cm ²)								
硬化条件 Curing condition	乾 球 温 度 Dry bulb temp. (°C)							
	湿 球 温 度 Wet bulb temp. (°C)							
	圧 締 時 間 Clamping time (hr)	23.5			23.0			



Photo. 1 継手部の接着状況 Gluing of end joint.



Photo. 2 はみ出した接着剤の除去
Sanding squeezed-out hardened
resin.

ムの厚さの5倍、その端末の深さを5cmとした。ボルトは直径16mmおよび9mmの2種類を用い、その心距を図のごとく約22cmにとり千鳥に配列し、継手の両端においては2本の並列とした。継手加工は墨田川造船株式会社に依頼し、船大工の手加工によって行なった。

継手加工を終わったA, B, C, D群の24本は、〔2. 1.〕に記した接着剤と同一のものをはけで両面に塗付し、Photo. 1に示すよ

うな方法で圧締した。接着条件をTable 3に示したが、圧締時間は約24時間である。E群の6本は在来の継手工法を採用し、ボルト締めのみとしたが、F群の6本は前記接着剤を用いボルト接合に接着を併用した。なお、圧締時にはみ出した接着剤は、圧締解除後数日間放置してからPhoto. 2に示すような電動ディスクグラインダで取り除いた。

3. 継手性能試験と集成材ビームの材質試験

3.1. 試 験 方 法

(1) 集成材ビーム構成ひき板の材質

この試験に使用したベイマツひき板の基礎材質をはあくする目的で、コントロール用の集成材ビームの曲げ試験後に、Fig. 3に示す要領で非破壊部分から構成ひき板ごとに3個ずつ、したがって集成材ビーム1本から合計27個の無欠点試験片をとり、JIS Z 2113 (「木材の曲げ試験方法」)にしたがって曲げ試

接 着 条 件
of end joint

C					D						F
25.1	25.5	27.0	28.0	28.5	26.1	26.5	27.5	28.2	31.7	32.7	30.8
22.0	23.2	20.0	25.0	26.0	23.1	23.2	25.0	26.2	27.1	27.9	27.2
330											
10 ~ 24											
10											
常温硬化 Room temperature setting											
23.5					23.0						—

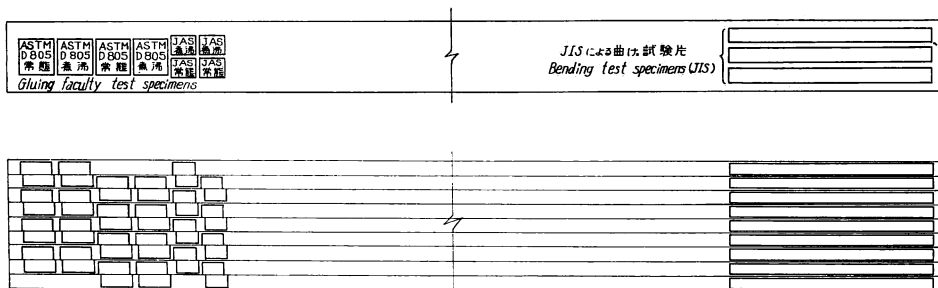


Fig. 3 試験片採取位置

Portions of test specimens cut from the beam.

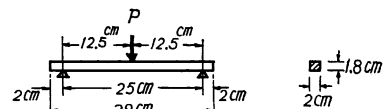
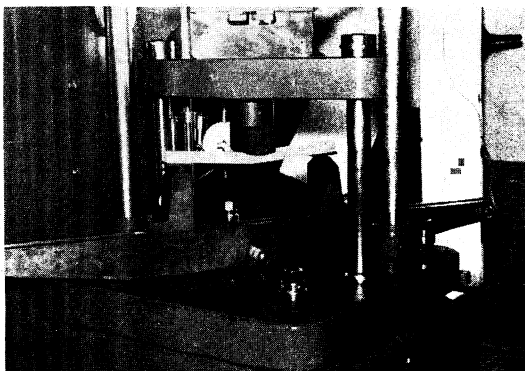


Fig. 4 ひき板小試片の曲げ試験法
Bending test of small clear specimen cut from sawn board.

Photo. 3 「JIS Z 2113」による曲げ試験
Bending test by the method of JIS Z 2113.

験を行なった (Photo. 3)。すなわち、森試験機製作所製の最大容量 5 ton のオルゼン型材料試験機を用いて、Fig. 4 に示す方法で試験を行なった。なお、各試験片について、その平均年輪幅、含水率および気乾容積重を測定した。

(2) 接 着 性 能

集成材ビームはレゾルシノール樹脂接着剤を使用したもので、屋外用の構造用集成材として取り扱っても差しつかえないと考えられるので、「集成材の日本農林規格」(以下「JAS」という)のなかの構造用集成

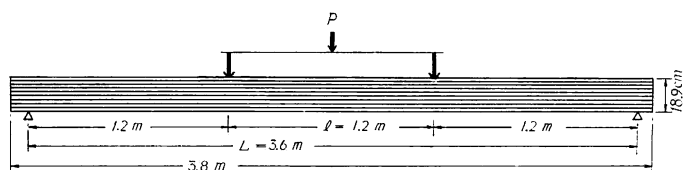


Fig. 5 曲 げ 試 験 法
Bending test of end jointed beam.

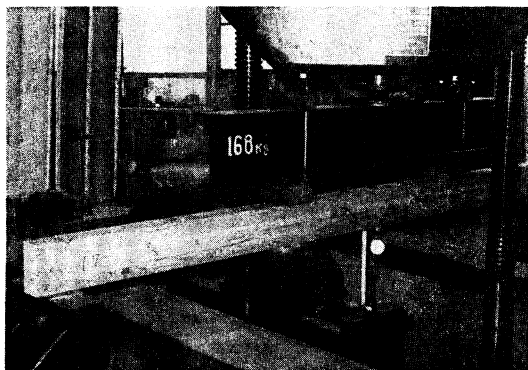


Photo. 4 曲げ試験の状況
Bending test of end jointed beam.

材の屋外使用の規格を適用した。すなわち、接合強度試験を終了した集成材ビームの一端から Fig. 3 に示す要領で試験片を採取し、煮沸くり返し処理をほどこしたのちにブ

ロックせん断試験を行なった。なお、常態におけるブロックせん断試験もあわせ行なった。試験は島津製作所製の最大容量 5 ton の槓桿式堅型万能試験機に、いす型せん断試験用のアタッチメントをすえつけ、荷重速度を毎分 60 kg/cm² 以下として行なった。

(3) 接 合 強 度

接着あるいはボルト締めで継いだ集成材ビームと、コントロール用として継手加工をほどこさない集成材ビームについて、Fig. 5 に示すような3分点2点荷重方式で曲げ試験

を行なった。なお、この場合の荷重方向はすべて接着面に垂直である。試験機は、東京衡機製作所製の最大容量 100 ton のアムスラー型試験機を用いたが、その使用容量は 10 ton である。平均荷重速度は 150 kg/cm²/min. 以下とし、たわみは 1/100 mm 精度のダイヤルゲージを用い、支点間および荷重点間につ

Table 4. ひき板の基礎材質および曲げ試験結果
Basic strength properties and results of bending test of sawn board

符 号 Marks of laminated beam	気乾容積重 Apparent specific gravity (air dry) R (g/cm ³)	含 水 率 (全 乾 法) Moisture content (by oven dry method) U (%)	年 輪 幅 Width of annual ring b (mm)	曲 ヤング係数 YOUNG'S modulus in bending E (10 ⁸ kg/cm ²)	曲げ強さ Bending strength σ_b (kg/cm ²)	比例限度力 Proportional limit σ_P (kg/cm ²)	σ_P/σ_b
G 1*	0.50±0.11 (0.43~0.57)	12.4±1.3 (11.0~14.3)	2.2±1.4 (0.5~5.4)	117± 15 (90~147)	856±119 (568~1107)	529±101 (359~718)	0.62
G 2*	0.51±0.06 (0.41~0.61)	12.3±0.8 (11.5~13.2)	3.4±1.4 (1.7~6.7)	119± 25 (83~168)	844±177 (533~1143)	502±119 (359~769)	0.60
G 3*	0.48±0.09 (0.39~0.60)	12.3±1.1 (10.6~13.3)	3.0±1.5 (0.9~5.2)	118± 21 (84~154)	833±136 (609~1119)	491± 89 (359~736)	0.59
G 4*	0.50±0.09 (0.43~0.64)	12.2±0.8 (9.3~13.2)	3.1±1.5 (1.5~5.7)	126± 23 (93~169)	875±135 (604~1149)	490± 94 (355~718)	0.56
G 5*	0.49±0 (0.43~0.56)	12.4±0.6 (11.1~13.0)	2.7±1.0 (0.7~4.7)	122± 27 (102~152)	865± 78 (724~1071)	521± 65 (414~658)	0.60
全平均** Mean	0.50±0.04 (0.39~0.64)	12.3±1.1 (9.3~14.3)	2.9±1.4 (0.5~6.7)	120± 23 (83~169)	854±138 (533~1149)	506±100 (355~769)	0.59

注 Note: 1. 測定個数 Number of measurement. *.....27, **.....135
2. () 内は最小~最大をあらわす。min.~max.
3. ±.....標準偏差 Standard deviation.

Table 5. 接 着 性 能
Results of block shear strength tests

符 号 Marks of laminated beam	煮 沸 く り 返 し 処 理 After cyclic boiling treatment					常 態 Initial gluing faculties					
	せん断強さ Shear strength (kg/cm²)	木部破断率 Wood failure (%)	測定個数 Number of testing	試験時の温度 Temp. at the time of testing		せん断強さ Shear strength (kg/cm²)	木部破断率 Wood failure (%)	測定個数 Number of testing	含 水 率 Moisture content (%)	試験時の温度 Temp. at the time of testing	
				乾 球 温 度 Dry bulb temp. (°C)	湿 球 温 度 Wet bulb temp. (°C)					乾 球 温 度 Dry bulb temp.(°C)	湿 球 温 度 Wet bulb temp.(°C)
A 2	53±10 (31~64)	98 (95~100)	7	7.6	6.5	96±43 (29~145)	89 (75~100)	8	9.5 (9.0~10.1)	7.6	6.5
A 5	53± 8 (34~62)	99 (95~100)	8	6.0	3.8	80±41 (35~134)	98 (90~100)	8	9.6 (9.2~ 9.9)	8.0	6.0
B 2	54±15 (15~68)	96 (80~100)	8	5.2	4.4	70±37 (22~116)	90 (50~100)	8	9.9 (8.6~10.9)	5.8	4.0
B 5	58±11 (43~74)	89 (55~100)	8	5.2	4.4	94±46 (25~146)	74 (35~100)	8	10.1 (9.5~10.7)	5.8	4.0
C 2	57± 9 (36~63)	96 (85~100)	8	5.2	4.4	88±32 (30~132)	94 (80~100)	8	9.8 (9.0~10.3)	8.2	6.2
C 5	60± 9 (43~76)	96 (85~100)	8	5.2	4.4	94±31 (23~127)	98 (95~100)	8	9.8 (9.0~10.9)	6.2	5.2
D 2	57± 5 (52~68)	90 (60~100)	8	5.2	4.4	118±15 (90~140)	91 (75~100)	8	9.9 (8.9~11.6)	7.2	5.2
D 5	51±16 (23~74)	94 (75~100)	8	8.2	6.4	102±28 (64~151)	83 (50~100)	8	9.2 (8.3~ 9.9)	8.2	5.2
E 2	57±10 (39~70)	93 (60~100)	8	8.2	6.4	105±34 (36~145)	91 (70~100)	8	10.1 (9.8~10.9)	5.5	3.5
E 5	57± 9 (46~75)	93 (65~100)	8	8.2	6.4	71±38 (19~120)	86 (55~100)	8	9.6 (8.9~10.3)	9.5	6.7
F 2	60±10 (45~77)	93 (50~100)	8	8.2	6.4	119±26 (84~169)	78 (50~ 95)	8	10.2 (9.6~11.0)	8.7	6.2
F 5	56±15 (23~71)	100 (100)	7	8.2	6.4	80±34 (16~124)	88 (50~100)	8	10.1 (8.9~11.1)	9.5	7.2
G 2	54±13 (25~66)	99 (95~100)	8	8.2	6.3	106±39 (31~153)	92 (80~100)	8	10.0 (9.2~11.0)	9.2	8.2
G 5	49±12 (24~63)	96 (90~100)	8	8.2	6.3	111±25 (61~145)	91 (80~100)	8	9.4 (8.9~10.4)	9.7	7.2
平均値 Mean	55±12 (15~77)	95 (50~100)	110	—	—	95±38 (16~169)	89 (35~100)	112	9.8 (8.3~11.6)	—	—

注 Note: 1. () 内は最小~最大をあらわす。 min.~max.
2. ±……標準偏差 Standard deviation.

Table 6. 集成材ビームの曲げ試験結果
Results of bending test on laminated beams

符 号 Marks of laminated beam		継 手 加 工 前 Before jointing		継 手 接 合 後 After jointing			E_i/E_{i_0}	E_L/E_{L_0}
		モーメント 一定区間 $l=1.2m$ E_{i_0} (10^8kg/cm^2)	全スパン $L=3.6m$ E_{L_0} (10^8kg/cm^2)	モーメント 一定区間 $l=1.2m$ E_i (10^8kg/cm^2)	全スパン $L=3.6m$ E_L (10^8kg/cm^2)	曲げ強さ σ_b (kg/cm^2)		
A	1	201	165	225	173	271	1.12	1.05
	2	187	151	185	159	453	0.99	1.05
	3	191	167	171	147	402	0.90	0.88
	4	191	146	154	153	424	0.81	1.05
	5	167	148	156	142	312	0.93	0.96
	6	156	137	225	185	400	1.44	1.35
	Mean	183	152	186	160	377	1.02	1.05
B	1	207	170	201	182	394	0.97	1.07
	2	182	156	179	164	431	0.98	1.05
	3	186	151	163	146	316	0.88	0.97
	4	172	146	157	140	345	0.91	0.96
	5	161	148	194	141	365	1.20	0.95
	6	145	137	153	147	522	1.06	1.07
	Mean	176	151	175	153	396	0.99	1.01
C	1	187	156	243	152	492	1.30	0.97
	2	190	153	155	153	484	0.82	1.00
	3	168	148	180	149	489	1.07	1.01
	4	159	144	182	149	390	1.15	1.03
	5	163	148	180	151	266	1.10	1.02
	6	146	138	154	138	425	1.05	1.00
	Mean	169	148	182	149	424	1.08	1.01
D	1	198	167	239	198	655	1.21	1.19
	2	190	169	216	182	681	1.14	1.08
	3	179	159	185	166	595	1.03	1.04
	4	182	152	198	173	516	1.09	1.14
	5	166	150	187	162	503	1.13	1.08
	6	152	138	190	143	525	1.12	1.04
	Mean	178	156	199	171	579	1.12	1.10
E	1	193	168	67	141	212	0.35	0.84
	2	196	166	54	64	196	0.28	0.39
	3	177	148	45	60	207	0.25	0.41
	4	172	143	94	102	234	0.55	0.71
	5	162	157	51	69	199	0.31	0.44
	6	166	147	53	61	227	0.32	0.41
	Mean	178	155	61	83	213	0.34	0.53
F	1	197	162	164	132	139	0.83	0.81
	2	182	149	145	154	249	0.80	1.03
	3	186	129	192	124	244	1.03	0.96
	4	168	137	119	97	271	0.71	0.71
	5	161	145	117	104	237	0.73	0.72
	6	166	142	139	139	244	0.84	0.98
	Mean	177	144	146	125	231	0.82	0.75
符 号 Marks of laminated beam				モーメント 一定区間 $l=1.2m$ $E_{i'}$ (10^8kg/cm^2)	全スパン $L=3.6m$ $E_{L'}$ (10^8kg/cm^2)	曲げ強さ σ_b (kg/cm^2)		
G	1			194	165	815		
	2			178	173	789		
	3			188	161	658		
	4			161	155	493		
	5			154	142	628		
	Mean			175	159	677		

- 注 Note: E_{I_0} , E_{L_0} : 継手加工前の曲げヤング係数
 YOUNG's modulus in bending of laminated beam before jointing.
 E_I , E_L : 継手接合後の曲げヤング係数
 YOUNG's modulus in bending of laminated beam after jointing.
 $E_{I'}$, $E_{L'}$: コントロールビームの曲げヤング係数
 YOUNG's modulus in bending of control beam.
 σ_b : 曲げ強さ Bending strength.
 l , L : Fig. 5 参照 See Fig. 5.

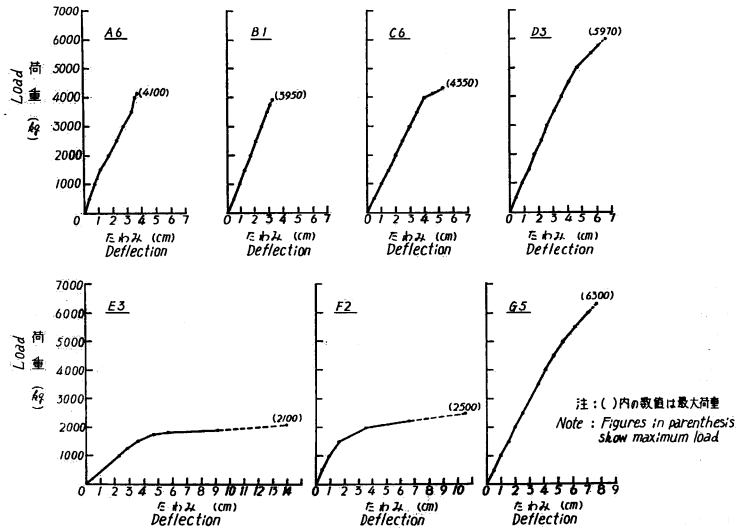


Fig. 6 供試材のL間における「荷重—たわみ線図」

Load deflection diagrams in bending test of end jointed beam.

Table 7. コントロールビームに対する接合ビームの曲げヤング係数および曲げ強さの比率

The ratio of YOUNG's modulus in bending and bending strength of the jointed beams prepared to those of the control beams

	継手加工前 Before jointing		継手接合後 After jointing		
	モーメント一定区間 $l=1.2m$ E_{I_0}	全スパン $L=3.6m$ E_{L_0}	モーメント一定区間 $l=1.2m$ E_I	全スパン $L=3.6m$ E_L	曲げ強さ σ_b
A/G	1.04	0.96	1.06	1.01	0.56
B/G	1.00	0.95	1.00	0.96	0.58
C/G	0.97	0.93	1.04	0.94	0.63
D/G	1.02	0.98	1.14	1.08	0.86
E/G	1.02	0.98	0.35	0.52	0.31
F/G	1.01	0.91	0.84	0.79	0.34

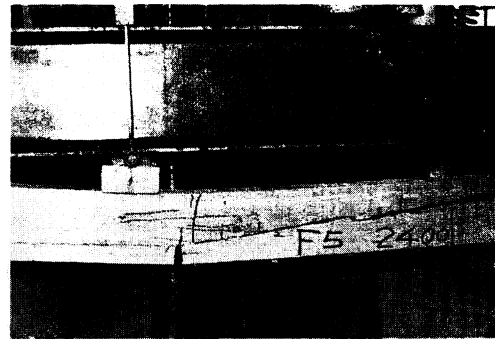
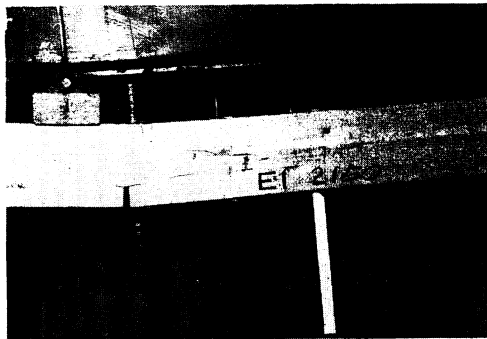
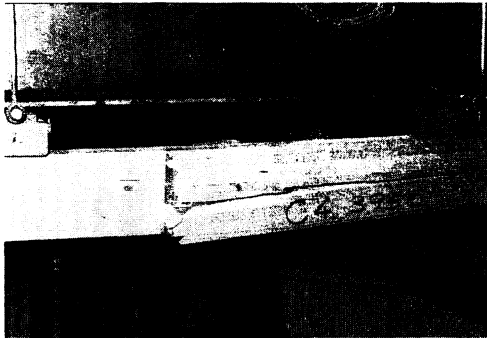
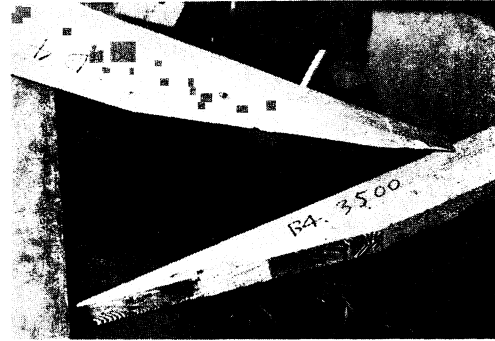
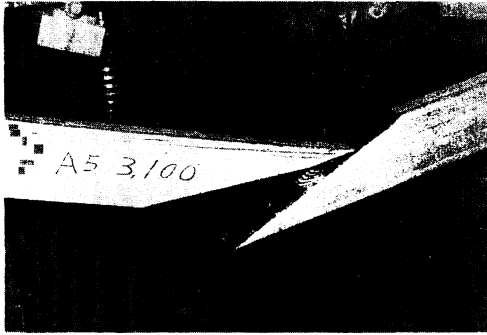


Photo. 5 集成材ビームの破壊状況
Destroyed beams after bending test.

いてそれぞれ測定した。なお、支点間のたわみについては集成材ビームの中央に固定したもののさしを、望遠鏡の十字線に合わせて測定する方法も併用した。試験状況を Photo. 4 に示す。

3.2. 試験結果

(1) 集成材ビーム構成ひき板の材質

コントロール用集成材を構成するひき板の基礎材質および曲げ試験結果を、Table 4 に示す。この Table の曲げ強さと曲げヤング係数について、それぞれ日本建築学会の木構造設計規準・同解説に示されている無欠点木材の強度の数字と比較してみると、曲げ強さでは針葉樹 I 類の平均品質値に相当しており、曲げヤング係数ではその類の上位品質値に相当している。

(2) 接着性能

試験の結果を Table 5 に示す。

(3) 接合強度

試験の結果を一括して Table 6 に示す。支点間の「荷重-たわみ線図」の代表例を Fig. 6 に示す。コントロール用集成材ビームの諸結果の各平均値をそれぞれ基準にして、各接合形式ごとの諸結果の平均値との比率を示すと Table 7 のとおりである。また、接合形式をこととする各ビームの破壊状況を Photo. 5 に例示する。

4. 考察

この試験における集成材ビームの接着性能はいずれも「JAS」の構造用集成材の屋外使用の規格に合格しており、Photo. 5 の G 供試体の破壊形からうかがわれるように、接着層が弱点部になって、曲げ破壊をみちびくような現象は全く認められなかった。なお、ベイマツは日本建築学会の木構造設計規準では針葉樹 I 類に該当しているので、G 群に属する集成材ビームの曲げ強さ (σ_b) の平均値に 2/3 を乗じた値と、

Table 8. 集成材ビームの (曲げ強さ $\times$ 2/3) と針葉樹 I 類の上級構造材および普通構造材の短期曲げ許容応力度との比
The ratio of $2/3 \sigma_b$ to sfb of high grade structural member and sfb of usual grade one

符 号 Marksof laminated beam	$2/3 \sigma_b / sfb$ —上	$2/3 \sigma_b / sfb$ —普
A	1.05	1.39
B	1.10	1.46
C	1.18	1.57
D	1.61	2.14
E	0.59	0.79
F	0.64	0.86
G	1.88	2.51

Note: σ_b : Bending strength of the tested beam.

sfb : Allowable bending stress for short period.

sfb —上: 240 kg/cm², sfb —普: 180 kg/cm²

針葉樹 I 類の短期許容応力度 (sfb) と比較すれば、普通構造材の約 2.5 倍、上級構造材の約 1.9 倍となり、かなり高い値を示している (Table 8)。また、全スパンに対するヤング係数について同様の比較をすれば、普通構造材の約 1.8 倍、上級構造材の約 1.6 倍となり、強度および剛性においてすぐれた供試体であることがわかる。このような性能を有する集成材ビームに、各形式の継手加工をほどこし、加工前の曲げヤング係数と接合後のそれとを比較すると、A, B, C, D の各群の E_t/E_{t_0} , E_L/E_{L_0} の平均値は 0.99~1.12 の範囲にあり、ほとんど等しいことを示している。これに対して、E, F 群はみかけのスカーフ比が約 1/11 で、他の形式よりスカーフの傾斜がゆるやかであるにもかかわらず、 E_t/E_{t_0} , E_L/E_{L_0} の平均値は E 群でそれぞれ 0.34, 0.53, F 群で 0.82, 0.75

Table 9. 水平スカーフ面の木部破断率
Wood failure of horizontal plain scarf

符 号 Marks of laminated beam	集成材ビーム構成ひき板層 No.* Wood failure of each lamina of laminated beam									スカーフ面全体 Wood failure of whole surface of scarf
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
A 1	10%	25%	5%	15%	15%	5%	65%	5%	0%	16%
A 2	20	15	20	15	20	15	15	10	70	22
A 3	45	15	25	50	60	70	5	50	0	36
A 4	50	40	60	40	30	10	15	25	10	31
A 5	15	5	10	20	70	25	25	15	10	22
A 6	15	20	5	30	80	60	45	30	45	37
Mean	—	—	—	—	—	—	—	—	—	27
B 1	20	50	70	70	70	40	60	40	20	49
B 2	50	60	70	60	50	60	60	40	10	51
B 3	20	50	45	50	50	60	30	95	100	56
B 4	50	25	50	80	80	45	50	60	5	49
B 5	95	75	50	50	60	40	40	45	25	53
B 6	30	50	80	60	90	50	75	50	60	61
Mean	—	—	—	—	—	—	—	—	—	53

注 Note: * 曲げ試験において, 1 が圧縮側, 9 が引張り側である。

1 is compression side and 9 is tension side in bending test.

となっている。E 群は在来のボルト締めだけなので, その剛性の低下は予想されるが, 接着を併用した F 群の剛性がプレーンスカーフにくらべ劣るのは, 継手形式が複雑で相互の接合精度が劣ることと, この条件のボルト圧締では, 接着層に均等な圧力が加わらなかったことなどが考えられる。

つぎに, 接合後の集成材ビームの曲げ強さを各群の平均値でみると, G 群の 677 kg/cm^2 に対して垂直スカーフの場合はスカーフ比 1/10 の D 群が 579 kg/cm^2 , スカーフ比 1/5 の C 群が 424 kg/cm^2 で, G 群に対する比はそれぞれ 0.86, 0.63 となり, スカーフ傾斜が急になるほど強度は低減している。また, 水平スカーフの場合はスカーフ比 1/5 の B 群が 395 kg/cm^2 , スカーフ比 1/3 の A 群が 377 kg/cm^2 で, G 群に対する比は 0.58, 0.56 となり, スカーフ比の影響はほとんど認められない。しかし, Photo. 5 でわかるように, A, B 群は他の各群と異なる破壊形態を示している。すなわち, スカーフ比 1/3 および 1/5 の水平スカーフを継手とした集成材ビームは, スカーフ部分で破壊しているので破壊部分の木部破断率を示せば Table 9 のとおりで, スカーフ傾斜が急になるほど低い値を示している (Photo. 6)。

なお, スカーフ比が同等の B 群と C 群の曲げ強さを比較すれば, 両者の間にはほとんど差が認められない。

曲げ剛性の場合, A, B, C, D 各群の G 群に対する比はほぼ等しく, 低減率もほとんど認められなかったが, 強度の場合はスカーフ比によってはかなり著しい低減率を示している。とくに, 水平かき形継手の場合は E 群が 213 kg/cm^2 , F 群が 231 kg/cm^2 で, G 群に対する比は 0.31, 0.34 となり著しく低減している。しかし, 最大たわみ量が, A, B, C, D 各群および G 群にくらべ多い特徴を示している。なお, F 群は接着の併用にもかかわらず曲げ強さが低減している。すなわち, 在来の機械的継手に接着を併



Photo. 6 曲げ試験後の水平スカーフ面
Horizontal plain scarf of after bending test.

用することは、曲げ剛性の増加には有効であるが、曲げ強さの上昇は必ずしも期待できない結果を示しており、水平かき形継手の加工精度の向上は疑わしいので、今後さらに、接合有効率を上昇させる現場工法の検討をすすめる必要がある。

継手接合の耐用年数を左右する接着耐久性に関し、この試験で使用したレゾルシノール樹脂接着剤については、常態におけるブロックせん断試験と、煮沸くり返し処理を施したブロックせん断試験を行ない、その結果から、一般的な屋外使用の環境の下で十分な接着耐久性を有することが明らかにされたが、特殊な外力、とくにくり返し衝撃や振動をうけた場合の、継手接合部およびひき板接着層の疲労については十分検討する必要がある。

5. 摘 要

ベイマツひき板をレゾルシノール樹脂接着剤で接着して集成材ビームを調製し、その中央部に形式をこととする継手を設け、曲げ強度試験により接合有効率を検討した。

1. 集成材ビームの調製

- (1) ひき板の曲げヤング係数により組合せをきめ、9 枚合わせの構成とした。
- (2) レゾルシノール樹脂接着剤は、大日本インキ化学工業株式会社製プライオーフェン#6000を使用した。
- (3) 接着条件としては、塗付量……1 接着層あたり 330 g/m^2 で両面塗付、たい積時間……(ひき板接着のとき) 10~38 分、(接手接着のとき) 10~24 分、圧縮圧力……(ひき板接着のとき) 8 kg/cm^2 、(継手接着のとき) 10 kg/cm^2 、硬化条件……常温硬化とした。
- (4) 集成材ビームの中央部に Fig. 2 に示す継手加工をほどこした。

2. 曲げ強度試験

継手加工をほどこした集成材ビームとコントロール用として継手加工をしない集成材ビームについて、3 分点 2 点荷重方式による曲げ強度試験を行なった。

3. 試験結果

- (1) 供試体は、強度および剛性においてすぐれ、かつ、信頼できる接着性能を有する集成材ビームであった。
- (2) このような性能を有する集成材ビームに、各形式の継手加工をほどこし、加工前の曲げ剛性と接合後のそれと比較し、また、継手接合後の集成材ビームとコントロール用集成材ビームの曲げ強さを比較した。
- (3) 曲げ剛性では、A, B, C, D の各群はほぼ等しく、低減率もほとんど認められなかったが、E, F 群は他の形式よりスカーフの傾斜がゆるやかであるにもかかわらず、低下した。接着を併用した F 群の剛性がプレーンスカーフにくらべ劣るのは、継手形式が複雑で相互の接合精度が劣ることと、この条件のボルト圧縮では接着層に均等な圧力が加わらなかったことなどが考えられる。
- (4) 曲げ強さの場合は、スカーフ比によってはかなり著しい低減率を示している。ただし、水平スカーフの場合は、木部破断率はスカーフ傾斜が急になるほど低い値を示したが、スカーフ比 1/3 と 1/5 の間では、曲げ強さに及ぼす影響はほとんど認められない。なお、スカーフ比が同等の水平スカーフの B 群と垂直スカーフの C 群を比較すれば、両者の間にはほとんど差が認められない。水平かき形継手の場合は著しく低減している。しかし、最大たわみ量が、A, B, C, D 各群および G 群にくらべ多い特徴を示してい

る。なお、F群は接着の併用にもかかわらず曲げ強さが低減している。

(5) 在来の機械的継手に接着を併用することは、曲げ剛性の増加には有効であるが、曲げ強さの上昇は必ずしも期待できない結果を示しており、水平かぎ形継手の加工精度の向上は疑わしいので、今後さらに接合有効率を上昇させる現場工法の検討をすすめる必要がある。

文 献

- 1) 村上長平：木造船の構造，地人書館，314pp., (1965)
- 2) 日本工業規格 木材の曲げ試験方法 Z 2113-1963
- 3) 農林省告示第1055号，集成材の日本農林規格，(1966)
- 4) 沢田 稔・柳下 正・森 稔：アカマツのスカフ接着有効率，林試研報，116，pp. 85～96，(1959)
- 5) 社団法人漁船協会：木製漁船構造基準，(1961)
- 6) 社団法人日本建築学会：木構造設計規準・同解説，(1961)
- 7) 集成材研究班：集成材に関する研究 (第1報)，通直集成材の製造およびその材質試験について，林試研報，101，pp. 130～145，(1957)
- 8) 集成材研究班：集成材に関する研究 (第2報)，弯曲集成材の製造およびその材質試験について，林試研報，109，pp. 18～30，(1958)
- 9) 運輸省令第14号，木船構造規則，(1958)
- 10) 山近 勇：船用部材の接手工法，木材工業，17，11 (通巻 No. 188)，pp. 36～37，p. 41，(1962)

Studies on Laminated Wood (XIV) Bending tests on large glued laminated beams jointed by end joints of various types

Minoru NISHIHARA

(Résumé)

1. Preface

The main purpose of this study is to investigate the efficiency of end joints of various types by bending tests.

The process of this test followed this order.

- (1) Preparation of large glued laminated beams.
- (2) Cutting and gluing of various kinds of end joints.
- (3) Bending test on the jointed large beams.
- (4) Evaluation of the results.

2. Preparation of laminated beams

(1) The dimensions of the laminated beams were 100 mm wide, 189 mm thick and 4 m long. The beams were built up with nine laminae of Douglas fir.

(2) Young's modulus of all laminae was measured by the method shown in Fig. 1.

(3) Resorcinol resin adhesive was used for preparation of the beams. Gluing conditions are shown in Table 2.

Results of block shear strength test are shown in Table 5. The portions of test specimens

cut from the beam are shown in Fig. 3.

(4) The laminated beams were respectively cut and jointed at the center of the beams. The appearances of these joints are shown in Fig. 2.

Gluing conditions of end joints are shown in Table 3 and gluing works of end joints are shown in Photo. 1.

3. Bending test

Jointed laminated beams and control laminated beams were tested by the bending test method shown in Fig. 5 (Photo. 4, 5). Results of the tests are shown in Table 6 and Fig. 6.

Small specimens were cut from the sound end portions of the control laminated beams, after bending test of the beams. And these specimens were tested by the method shown in Fig. 4 (Photo. 3).

Results of the test are shown in Table 4.

4. Conclusion

(1) It was found that bending strength and stiffness of the laminated beams were excellent, and the glue bonds were also very good.

(2) Modulus of elasticity in bending of the specimens were measured before jointing the beams and re-measured after cutting and jointing the beams. And then the values were compared with each other. Bending strength values of jointed beams were also compared with those of the controls.

The values of modulus of elasticity in bending of A, B, C and D groups were almost similar. Decreasing tendency was hardly found. But the values of E and F groups decreased in spite of the small scarf ratio.

(3) The decreasing ratios of bending strength values of some scarfs were remarkable, but the properties of horizontal plain scarfs were not very different between 1/3 scarf ratio and 1/5 ratio. And the steeper the scarf, the smaller the wood failure. The decreasing tendency of mechanical properties of horizontal hooked scarfs was remarkable.

In horizontal hooked scarf of both mechanical and gluing joints, the decreasing tendency of bending strength was also found.