

集成材に関する研究 (第4報)

北海道産主要樹種集成材の接着性能について

菅 野 蓑 作⁽¹⁾
西 原 実⁽²⁾

I 緒 言

さきに林試研究報告 101 号において、マカンバ、ミズナラ、ヤチダモ、クロエゾマツ、アカエゾマツおよびトドマツの北海道産 6 樹種につき、レゾルシノール樹脂接着剤を用いてそれぞれ挽板の接着試験を行ない、通直集成材の製造およびその材質試験について結果が報告されている。この報告からも明らかなように、レゾルシノール樹脂接着剤は木材接着剤として最高の性能を有し、これら 6 樹種のいずれについても満足すべき結果が得られているが、一方この接着剤は価格がきわめて高いので、集成材はじめ一般木工用としてもなかなか使いこなせない実情にある。したがって石炭酸樹脂や尿素樹脂あるいはカゼインなど、レゾルシノール樹脂以外の接着剤についても、これと同様の試験を行ない、各樹種各接着剤についてそれぞれ接着性能の程度と限界をはあくし、個々の用途に対し、樹種と接着剤とを適材適所的に使用することが合理的な方法と考えられる。

かような見地から各樹種各接着剤の接着性能につき、より明確な資料をうることを目的として、これらの 6 樹種につき上述の接着剤を用いて以下に示す試験を行なうこととした。

なお、この試験は林試研究報告 101 号の試験に付随して行なわれたもので、試験に際しご援助いただいた小倉木材部長、堀岡材質改良科長はじめ同報告 101 号に記されている集成材研究班の各位に感謝の意を表す。

II 試 験 方 法

1. 試 験 材 料

(1) 挽板 使用せる挽板は北海道産のマカンバ (*Betula Maximowicziana* REGEL), ミズナラ (*Quercus crispula* BLUME), ヤチダモ (*Fraxinus mandshurica* RAPRECHT), クロエゾマツ (*Picea jezoensis* CARR.), アカエゾマツ (*Picea Glehnii* MAST.) およびトドマツ (*Abies sachalinensis* FR. SCHMIDT), 以上 6 樹種の挽板で、林試研究報告 101 号に示す挽板群のなかから選び出して使用した。したがって原木から製材、乾燥、加工を経過する工程および接着前の挽板の寸法、加工精度、調整方法などはすべて同報告に示すものと同じである。これら挽板は含水率 11~13% において、それぞれ比重を測定計算し、各樹種ごとに比重により分類した。

(2) 接 着 剤

(i) レゾルシノール樹脂接着剤: 日本ライヒホルド化学工業 (株) 製プライオーフェン # 6000 お

(1) (2) 木材部材質改良科接着研究室員

Table 1. 石炭酸樹脂接着剤の性質
Properties of phenol resin for this test

樹 脂 液 Resin	外 観 Appearance	赤褐色透明粘稠液 Red-brown transparent viscid solution
	比 重 Specific gravity	1.18 (20°C)
	粘 度 Viscosity	18~30 pois (25°C)
硬 化 剤 Hardner	レジン率 Resin content	75%
	外 観 Appearance	黒 色 透 明 液 Black transparent solution
	比 重 Specific gravity	1.12 (20°C)

し、その性質を Table 1 に示した（後述するように、この形式の接着剤は、どの会社の製品を選んでも挽板の接着に際してレゾルシノール樹脂についてみられるような完全耐候性を期待できない現状であり、屋外用途の挽板接着剤としては、まだ未完成品と考えられるので、この試験に使用した接着剤も、名称、製造会社などを記さないことにした）。

(iii) 尿素樹脂接着剤：東洋高圧工業（株）製ユーロイド # 120 を使用した。この接着剤については林試研究報告 130 号 115 頁に示してあるので略す。

(iv) カゼイン接着剤：内海化学工業（株）から購入したカゼインを使用し、苛性ソーダ、消石灰を適宜配合し、また、防腐剤としてソジウムベンタクロロフェノールを添加することとした。

2. 試験体の調製

試験体は挽板 5 枚合わせの積層接着、仕上寸法は、厚さ 10 cm、幅 10 cm、長さ 20 cm とし、接着条件を次に示す。

- (1) 接着剤の塗付量は、各樹種各接着剤について共通して 330 g/m^2 、両面塗付とする。
- (2) 堆積時間は各樹種各接着剤について共通とし、10~40 分とする。
- (3) 圧縮圧力は各接着剤について共通とし、マコンバ…… 17 kg/cm^2 、ミズナラおよびヤチダモ…… 15 kg/cm^2 、エゾマツおよびトドマツ…… 7 kg/cm^2 とする。
- (4) 硬化条件は各樹種について共通とし、

レゾルシノール樹脂接着剤および石炭酸樹脂接着剤の場合……中間温硬化工程をとり、温度 60°C 、関係湿度 70~80% の室内にて 3 時間加熱後 16~24 時間放冷してからクランプを解く。

尿素樹脂接着剤の場合……中間温硬化工程をとり、温度 40°C 、関係湿度 65~75% の室内にて 4.5 時間加熱後 16~24 時間放冷してからクランプを解く。

カゼイン接着剤の場合……常温硬化工程をとり、温度 25°C 、関係湿度 65~75% の室内に 16~24 時間放置後にクランプを解く。

- (5) 挽板含水率は 11~13% とする。

なお、試験項目ごとに挽板のとりかた、組み合わせかた、接着操作および使用せる機械器具などは林試研究報告 130 号 116 頁に示すものと同じである。

3. 接着性能試験

よび同硬化剤 # 6002 を使用した。この接着剤については、林試研究報告 101 号、130~133 頁に示しているので略す。

(ii) 石炭酸樹脂接着剤：石炭酸とフォルマリンをアルカリ性で反応させて作られた A 状態（レゾール状）の樹脂に酸性物質を加えると常温に放置するだけで硬化する。この性質を利用して、常温硬化性石炭酸樹脂接着剤を製造市販している会社は数社あるが、ここではそれらのなかで名の知れた製品の 1 つについて試験することにした。

各試験体から、それぞれ階段状ブロック剪断試験片および促進試験片を切りとり、次の試験を行なった。

（１）初期接着性試験：ASTM D 805—52 によるブロック剪断試験を行なった。詳細は林試研究報告 101 号、137 頁に示してあるので略す。

（２）耐久接着性試験：ASTM D 1101—53 による外装用集成材の促進試験を、レゾルシノール樹脂接着剤および石炭酸樹脂接着剤により接着された各樹種の試験体について行なった。同試験法の詳細は林試研究報告 101 号、138 頁に示してあるので略す。

Ⅲ 試験結果

１．レゾルシノール樹脂接着剤による試験

林試研究報告 101 号において、前述せる 6 樹種の挽板を使用して、長さ 280～290 cm、断面 10 cm×10 cm の通直集成材を製造した場合の接着試験の結果が報告されているが、ここでは、同接着剤を前述の 3 種類の接着剤と比較するために、挽板条件、試験の規模および精度などを他の接着剤の場合と同じにして接着試験を行ない、結果を Table 2 に示した。

２．石炭酸樹脂接着剤による試験

次に示す配合により接着剤を調製し、それぞれ接着試験を行なつて結果を Table 3 に示した。

樹脂液	100 部	メタノール	15 部
植物性粉末ファイラー	5 部	硬化剤	10 部

３．尿素樹脂接着剤による試験

林試研究報告 130 号において、ユーロイド #120 および同 #16 について、エゾマツ挽板を使用した場

Table 2. レゾルシノール樹脂による挽板接着試験の結果
Gluing properties of laminated wood glued with resorcinol resin

挽板樹種 Wood species		マカンバ MAKABA	ミズナラ MIZU- NARA	ヤチダモ YACHI- DAMO	クロエゾマツ KURO- EZOMATSU	アカエゾマツ AKA- EZOMATSU	トドマツ TODO- MATSU
使用せる挽板の比重 (枚数) Specific gravity of laminae for this test (Number)		0.68±0.03 (15)	0.60±0.04 (15)	0.55±0.06 (15)	0.40±0.03 (15)	0.45±0.04 (15)	0.40±0.05 (15)
剪断試験 Block shear test	剪断力 Shear strength (kg/cm ²)	168±18	121±14	107±14	78±9	76±10	73±12
	木部破断率 (%) Wood failure	87 (15~100)	95 (70~100)	99 (95~100)	100 (95~100)	100 (95~100)	98 (80~100)
	含水率 (%) Moisture content	11.9±0.5	12.0±0.5	12.4±0.5	12.7±0.4	12.9±0.5	13.9±0.8
	試験時温度 (°C) Temp. at the time of testing	D 25	—	26	28	28	—
		W 21	—	23	24	24	—
	測定個数 Number of testing	24	24	24	24	24	24
剥離試験 Delami- nation test	剥離率 (%) Percent. of delam.	0.8 (0~2.5)	0.5 (0.3~0.9)	0 (0~0)	19.4 (9.9~32.0)	8.5 (4.9~13.0)	2.5 (1.4~3.3)
	測定個数 Number of testing	3	3	3	3	3	3

Table 3. 石炭酸樹脂による挽板接着試験の結果
Gluing properties of laminated wood glued with phenol resin

挽板樹種 Wood species		マカンバ MAKABA	ミズナラ MIZU- NARA	ヤチダモ YACHI- DAMO	クロエゾマツ KURO- EZOMATSU	アカエゾマツ AKA- EZOMATSU	トドマツ TODO- MATSU
使用せる挽板の比重 (枚数) Specific gravity of laminae for this test (Number)		0.68±0.03 (15)	0.60±0.06 (15)	0.54±0.07 (15)	0.40±0.03 (15)	0.45±0.04 (15)	0.39±0.05 (15)
剪断試験 Block shear test	剪断力 Shear strength (kg/cm ²)	154±17	116±13	103±13	61±8	57±12	59±12
	木部破断率 (%) Wood failure	98 (85~100)	93 (70~100)	88 (60~100)	100 (90~100)	100 (95~100)	100 (80~100)
	含水率 (%) Moisture content	12.0±0.3	12.0±0.7	12.4±0.5	13.0±0.4	12.5±0.5	12.6±0.4
	試験時温度 (°C) Temp. at the time of testing	D 25	30	30	30	28	27
		W 21	24	24	23	25	22
	測定個数 Number of testing	24	24	24	24	24	24
剥離試験 Delamination test	剥離率 (%) Percent. of delam.	61.7 (58.2~ 66.3)	39.6 (24.6~ 55.2)	37.9 (22.2~ 57.6)	82.0 (78.3~85.8)	71.1 (60.0~79.3)	45.7 (37.6~ 50.8)
	測定個数 Number of testing	3	3	3	3	3	3

Table 4. 尿素樹脂による挽板接着試験の結果
Gluing properties of laminated wood glued with urea resin

挽板樹種 Wood species		マカンバ MAKABA	ミズナラ MIZU- NARA	ヤチダモ YACHI- DAMO	クロエゾマツ KURO- EZOMATSU	アカエゾマツ AKA- EZOMATSU	トドマツ TODO- MATSU
使用せる挽板の比重 (枚数) Specific gravity of laminae for this test (Number)		0.68±0.03 (15)	0.60±0.06 (15)	0.54±0.07 (15)	0.40±0.03 (15)	0.45±0.04 (15)	0.39±0.05 (15)
剪断試験 Block shear test	剪断力 Shear strength (kg/cm ²)	169±15	137±22	116±15	80±8	77±11	74±10
	木部破断率 (%) Wood failure	86 (5~100)	97 (90~100)	99 (85~100)	100 (100~100)	100 (100~100)	100 (100~100)
	含水率 (%) Moisture content	11.9±0.3	11.5±0.6	11.9±0.5	12.4±0.5	12.1±0.4	12.9±0.3
	試験時温度 (°C) Temp. at the time of testing	D 16	16	14	21	21	21
		W 13	13	11	16	16	16
	測定個数 Number of testing	24	24	24	24	24	24

合の詳細な試験結果が報告されているが、ここではユーロイド # 120 樹脂液 100 部に NH₄Cl 10% 水溶液 10 部を加えて接着剤を調製し、それぞれ接着試験を行ない、結果を Table 4 に示した。

4. カゼイン接着剤による試験

カゼイン接着剤は常温以下の温度条件下においても完全に硬化し、可使時間、堆積時間あるいは挽板条件など、接着に関与する条件範囲を広くとりうる事が長所とされ、高度の耐水性を必要としない用途に

Table 5. カゼインによる挽板接着試験の結果
Gluing properties of laminated wood glued with casein

挽板樹種 Wood species		マカンバ MAKABA	ミズナラ MIZU- NARA	ヤチダモ YACHI- DAMO	クロエゾマツ KURO- EZOMATSU	アカエゾマツ AKA- EZOMATSU	トドマツ TODO- MATSU
使用せる挽板の比重 (枚数) Specific gravity of laminae for this test (Number)		0.68±0.03 (15)	0.59±0.06 (15)	0.54±0.07 (15)	0.40±0.02 (15)	0.45±0.04 (15)	0.40±0.03 (15)
剪断試験 Block shear test	剪断力 Shear strength (kg/cm ²)	157±21	133±18	115±14	84±8	82±8	79±8
	木部破断率 (%) Wood failure	44 (0~100)	87 (15~100)	92 (45~100)	99 (75~100)	99 (99~100)	92 (40~100)
	含水率 (%) Moisture content	12.7±0.4	12.4±0.6	12.8±0.4	14.0±0.4	13.9±0.4	13.3±0.3
	試験時温度 (°C) Temp. at the time of testing	D	11	20	6	12	8
		W	8	17	3	9	6
	測定個数 Number of testing	24	24	24	24	24	24

対しては、尿素樹脂とともに広く用いられているが、蛋白系の接着剤であるために使用中に菌類におかされる欠点があるので、防腐性を賦与する目的でカゼインにペンタクロロフェノールを添加して使用することが行なわれている。この試験においても、ペンタクロロフェノールを添加して接着剤を配合し、接着試験を行なつて結果を Table 5 に示した。

カゼイン	100部
ソジウムペンタクロロフェノール	4〃
水	190〃
苛性ソーダ	11〃
水	60〃
消石灰	20〃
水	40〃

IV 試験結果の考察

1. 初期接着性

各樹種各接着剤の初期接着性の比較に便利のように Table 2~5 に示す剪断力および木部破断率の各平均値をそれぞれ Table 6 にまとめた。この表を観察すると、初期接着性について得られた数値は、尿素樹脂接着剤の場合が比較的標準の値を示しているように考えられるので、各樹種について、尿素樹脂接着剤により得られた剪断力および木部破断率の値をそれぞれ 100 とし、他の接着剤の場合との比率を求め、これらを Table 7 および Table 8 に示した。これら Table 7~8 から次の観察を行なつた。

(1) レゾルシンノール樹脂接着剤および尿素樹脂接着剤においては、すべての樹種について剪断力値および木部破断率値ともに満足すべき結果が得られている。

(2) 石炭酸樹脂接着剤において、木部破断率値はヤチダモの 88% を最低として、いずれも十分な値を示しているが、剪断力値は各樹種ともに低く、この傾向は針葉樹においていちじるしい。これは樹脂液に添加する強酸性硬化剤により木質部がおかされて、 $F_C \geq F_V > F_W$ (林試研究報告 89 号, 5 頁参照) の傾向が現われているものと考えられる。

(3) カゼイン接着剤は、広葉樹の場合に木部破断率値、剪断力値ともにやや小さいが、針葉樹におい

Table 6. 各樹種各接着剤の剪断力値および木部破断率値
Block shear strength values and wood failure ones about each wood species
and each adhesive

挽板樹種 Wood species 接着剤 Adhesive	マカンバ MAKABA	ミズナラ MIZUNARA	ヤチダモ YACHI- DAMO	クロエゾマツ KURO- EZOMATSU	アカエゾマツ AKA- EZOMATSU	トドマツ TODO- MATSU
レゾルシノール樹脂 Resorcinol resin	168 (87)	121 (95)	107 (99)	78 (100)	76 (100)	73 (98)
石炭酸樹脂 Phenol resin	154 (98)	116 (93)	103 (88)	61 (100)	57 (100)	59 (100)
尿素樹脂 Urea resin	169 (86)	137 (97)	116 (99)	80 (100)	77 (100)	74 (100)
カゼイン Casein	157 (44)	133 (87)	115 (92)	84 (99)	82 (99)	79 (92)

注 Note: 1. 剪断力単位 (kg/cm^2) Block shear strength

2. () 内は木部破断率 (%) Wood failure

Table 7. 接着剤間の剪断力値の比率 (尿素樹脂を 100 とする)
Block shear strength ratio between adhesives (Urea resin: 100)

挽板樹種 Wood species 接着剤 Adhesives	マカンバ MAKABA	ミズナラ MIZUNARA	ヤチダモ YACHI- DAMO	クロエゾマツ KURO- EZOMATSU	アカエゾマツ AKA- EZOMATSU	トドマツ TODO- MATSU
尿素樹脂 Urea resin	100	100	100	100	100	100
レゾルシノール樹脂 Resorcinol resin	99	88	92	98	99	99
カゼイン Casein	93	97	99	105	106	107
石炭酸樹脂 Phenol resin	91	85	89	76	74	80

Table 8. 接着剤間の木部破断率値の比率 (尿素樹脂を 100 とする)
Wood failure ratio between adhesives (Urea resin: 100)

挽板樹種 Wood species 接着剤 Adhesives	マカンバ MAKABA	ミズナラ MIZUNARA	ヤチダモ YACHI- DAMO	クロエゾマツ KURO- EZOMATSU	アカエゾマツ AKA- EZOMATSU	トドマツ TODO- MATSU
尿素樹脂 Urea resin	100	100	100	100	100	100
レゾルシノール樹脂 Resorcinol resin	99	98	100	100	100	98
カゼイン Casein	51	90	93	99	99	92
石炭酸樹脂 Phenol resin	91	96	89	100	100	100

てはレゾルシノール樹脂接着剤あるいは尿素樹脂接着剤に遜色のない値を示している。これはカゼイン接着剤により形成される接着層が、針葉樹においては $F_C > F_T \geq F_W$ (同上) であるが、広葉樹においては

$F_w \geq F_v > F_c$ の傾向が現われるためと考えられる。したがって高度の耐水性を必要としない場合、カゼイン接着剤は針葉樹挽板の接着についてすぐれた性能を期待しうる。

2. 耐久接着性

耐久接着性は外装形式のレゾルシノール樹脂接着剤および石炭酸樹脂接着剤の両者についてのみ試験したが、Table 2 および Table 3 の結果を要約して Table 9 とした。同表を観察すると、レゾルシノール樹脂接着剤についてはほぼ満足すべき結果が得られているが、広葉樹に比して針葉樹の方がむしろ大きな剥離率値を示し、林試研究報告 101 号における結果と同じ傾向が認められた。石炭酸樹脂接着剤の剥離率値は 37.9（ヤチダモ）～82.0%（クロエゾマツ）におよび、いずれも満足すべき値を示していない。この傾向は常温ないし中間温硬化の石炭酸樹脂接着剤として現在市販されているどのメーカーのどの製品についても共通するところで、これらはたとえば Table 10 においても明らかにされている。要するに、この種形式の石炭酸樹脂接着剤は、外装用集成材の接着剤として、その耐久接着性に難点が認められるので、樹脂液、硬化剤、充填剤などの改良あるいは接着工程技術、特に接着硬化方式と条件の究明などが、この接着剤について残された研究課題と考えられるが、同時にレゾルシノール樹脂接着剤の価格を、一般集成材に使用しうる程度の経済レベルまで引き下げるために、石炭酸——レゾルシノール共縮合樹脂に関する研究を進めることも必要と考えられる。

Table 9. レゾルシノール樹脂および石炭酸樹脂における剥離率
Delamination values of laminated wood glued with resorcinol resin and phenol resin

挽板樹種 Wood species 接着剤 Adhesives	マカンバ MAKABA	ミズナラ MIZUNARA	ヤチダモ YACHI-DAMO	クロエゾマツ KURO-EZOMATSU	アカエゾマツ AKA-EZOMATSU	トドマツ TODO-MATSU
レゾルシノール樹脂 Resorcinol resin	0.8	0.5	0	19.4	8.5	2.5
石炭酸樹脂 Phenol resin	61.7	39.6	37.9	82.0	71.1	45.7

注 Note: 剥離率単位 (%) Percentage of delamination

Table 10. 3種類の石炭酸樹脂接着剤を使用せるミズナラ挽板接着試験の結果
Result of gluing test on MIZUNARA laminated wood glued with 3 kinds of phenol resin

接着剤 Adhesive		A	B	C
挽板樹種 Wood species	ミズナラ MIZUNARA	〃	〃	〃
挽板の比重 Specific gravity of laminae		0.66±0.05	0.66±0.06	0.66±0.06
挽板の木目 Grain of Laminae	板目 Flat grain	〃	〃	〃
接着硬化条件 Curing condition	中間温硬化 Intermediate temp. setting	〃	〃	〃
剥離試験 Delamination test	剥離率 (%) Percent. of delam.	65 (40~95)	81 (69~91)	82 (40~100)
	測定個数 Number of testing	5	5	5

V 摘 要

北海道産主要樹種として、マカンバ、ミズナラ、ヤチダモ、クロエゾマツ、アカエゾマツおよびトドマツを選び、接着剤にレゾルシンノール系、石炭酸系、尿素系およびカゼイン系の各形式の接着剤を使用して、それぞれ集成材を調製し、その接着性能を試験して各樹種各接着剤について接着性能の程度と限界をはあくし、集成材個々の用途に対し樹種と接着剤とを選定することを目的としてこの研究を行ない、Table 1~10 に示す結果をえた。これらの結果から次のことが明らかにされた。

(1) レゾルシンノール樹脂接着剤および尿素樹脂接着剤においては、すべての樹種について満足すべき結果がえられている。

(2) 石炭酸樹脂接着剤において、木部破断率はヤチダモの 88% を最低として、いずれも満足すべき値を示しているが、剪断力値は各樹種ともに低く、この傾向は針葉樹においていちじるしい。

(3) カゼイン接着剤は、広葉樹の場合に木部破断率値、剪断力値ともにやや小さいが、針葉樹においてはレゾルシンノール樹脂接着剤あるいは尿素樹脂接着剤に比して遜色のない値を示している。

(4) レゾルシンノール樹脂接着剤についてはほぼ満足すべき耐久接着性能が認められたが、石炭酸樹脂接着剤では耐久接着性能の点で不満足な結果しかえられなかつた。

文 献

- 1) KNAUS, A. C., SELBO, M. L.: Laminating of structural Wood products by gluing. No. D 1635 F. P. L. (1948)
- 2) Laminated timber, No. 113 The Organisation for European Economic Co-operation (1956)

Studies on Laminated Wood (IV)

Gluing faculties of laminated wood made of typical wood species in Hokkaido region

Minosaku SUGANO and Minoru NISHIHARA

(Résumé)

In order to investigate gluing faculties of laminated wood made of typical wood species in Hokkaido region, the following species and adhesives were used.

Wood species for this test... MAKABA (*Betula Maximowicziana* REGEL), MIZUNARA (*Quercus crispula* BLUME), YACHIDAMO (*Fraxinus mandshurica* RAPRECHT), KUOEZOMATSU (*Picea jezoensis* CARR.), AKAEZOMATSU (*Picea Glehnii* MAST) and TODOMATSU (*Abies sachalinensis* FR. SCHMIDT)

Adhesives for this test... Resorcinol resin, Phenol resin, Urea resin and Casein.

Summarized results of this test are as follows:

1. The results of initial gluing faculty test are shown in Table 2~Table 8.

(1) A good glue bond was obtained at the time of gluing with resorcinol resin and urea resin.

(2) When phenol resin was used, it was found that wood failure was good, but shear strength was not satisfactory.

(3) When hard wood was glued with casein, wood failure as well as shear strength was not satisfactory, but at the time of gluing soft wood, a good glue bond was obtained.

2. The results of durability test are shown in Table 9. A good result was obtained when resorcinol resin was used, but durability was very poor when phenol resin was used.