

材質改良に関する研究 (第6報)

接着に 関 与 す る 木 材 の 性 質

堀 岡 邦 典⁽¹⁾

I 緒 言

接着に 関 与 す る 木 材 の 性 質 について従来断片的に行われたに過ぎないし、主要樹種の接着性については古くは TRUAX^{1) 2)} により蛋白系接着剤につき詳細に行われたが、合成樹脂系接着剤についてはわずかに KITAZAWA³⁾ により米国産樹種 24 種につき行われているにすぎない。

著者は木材の構造および欠点と関連して接着機構の立場から接着に 関 与 す る 性 質 の 解 明 につとめるとともに、本邦産主要樹種 35 種の接着性能について分類をはじめて試みた。

なお接着に 関 与 す る 性 質 として、心材および辺材、年輪密度、秋材面積率、比重について研究し、特に針葉樹材においては秋材と春材部との接着性能差があることをはじめてみいだしたために、特にその項目を加えたしだいである。つぎに合板、集成材、チップボード等の改良木材の製造時における接着作業の基礎として、接着面が年輪となす角、被接着材の面の粗さ、接着時の含水率、繊維走向度と接着面となす角、および木材の欠点が接着性能にいかに関与を及ぼすかを調べ、その結果から普遍的な新知見を求めるように努めた。

本研究を実施するに当り御指導を賜わった斎藤場長および研究遂行上種々示唆を与えられた中村源一、繁沢静夫、嵯峨塗利、菅野蓑作各技官、さらに実験の補助をされた森屋和美、古瀬光弘、および楯友各技官、試験片の作製ならびに測定 of 補助を行つた峰尾林太郎、榎本光次郎各技官、田中氏等に対し謝意を表すしだいである。

II 心材および辺材

辺材と心材の構成は、相当肥大成長した多くの樹種では、その樹体の内部と外周部との材色が違つており、含有水分量も差異がある。心材の細胞内腔にはゴム樹脂、タンニンその他種々の物質を堆積し、また膜壁に色素を沈積するため、心材は着色されてくるのであつて、これらの物質は材の耐朽性を大にすることは既往の研究⁵⁾ でも明らかなことである。辺材と心材の物理的性質は含有水分量を異にするほか、本質的相違はないようであるが化学的組成は差異があることを示していることは一般に知られている⁵⁾。

したがつて、これら、辺材心材の主に化学的組成の異なる材を接着した場合に接着剤との関係、接着力にいかに関与し、木材利用上さけられない木材の本来の性質を異にするものを使用して接着力などを究明せんとする目的をもつて試験したものである。

使用樹種はスギ、ブナ、マカバの各辺材、心材の追征材を接着し接着剤は住友化工材製キゲタライム(102号) Urea resin および 当接着研究室の低モル比の Urea resin を原液のまま使用し、その接着性

(1) 木材部材質改良科長・農学博士

能は Table 1 のとおりである。

Table 1. 使用接着剤の性質
The quality of used adhesives

項 目 Item	接着剤別 Sort of adhesives	尿素樹脂接着剤 (キゲタライム (No. 102) Urea formaldehyde resin adhesive	低モル比 (尿素樹脂接着剤) Low mol ratio urea formaldehyde resin adhesives	
			A	B
比 重 g/cm^3 Specific gravity		1.28	1.273	1.286
レジン率 % Percentage of resin		60.99	59.60	64.10
粘 度 $pois$ Viscosity		17.31	4.85	10.52
表面張力 dyn/cm^2 Surface tension		74.64	66.42	72.90
滲潤能率 $g/t \cdot cm^3$ Permeability		5.52	17.54	8.91

硬化剤はいつも塩化アンモン 20% 溶液を 5% 添加し塗付量毎平方厘当り 0.022 g で塗付し、圧縮圧力は、島津製作所製 200 kg press を使用してスギ毎平方厘当り 10 kg、カバ、ブナ 15 kg で圧縮したのち 24 時間 30°C 恒温室内で硬化させ、しかるのち素材接着力試験法により F.P.L 剪断型接着力試験片を採取して常温において接着力試験を行つたものである。

なお接着力測定に供した、接着強度試験機は アムスラー型最高 20 ton まで読み得る木材強度試験機であつて、平均荷重速度は毎分歪 0.38mm±25%の制限内において測定した。この試験結果を示すと Table 2 のとおりであつて接着力は辺材のほうが、心材よりやや大なる値を示す傾向は認められるが、スギにおいては木部破断率がいつも 100% であるため、Fir により決定され辺心材の差は剪断強度の差になつて表われている (Table 2 参照)。

Table 2. 尿素樹脂接着剤による辺材および心材の接着性能
The adhesion quality of sap wood or heart wood by urea formaldehyde resin adhesives

材 種 Sort of timber	樹 種 Species	Sugi			Buna			Makaba			
		接着剤の粘度 Viscosity of adhesives (pois)			17.31	10.52	4.85	17.31	10.52	4.85	17.31
心 材 Heart wood	接 着 力 Adhesion Strength <i>kg/cm²</i>	Max.	97.5	100.9	100.2	170.3	156.8	127.1	196.5	212.6	185.4
		Min.	81.8	87.5	78.1	130.4	94.0	98.0	122.3	172.9	177.1
		Mean	87.0	95.2	88.0	156.9	131.9	110.8	166.5	184.9	180.2
	木部破断率 Wood failure %	Max.	100	100	100	100	95	70	100	70	70
		Min.	100	100	100	60	60	10	60	40	30
		Mean	100	100	100	90	81.3	38	87	56	50
辺 材 Sap wood	接 着 力 Adhesion Strength <i>kg/cm²</i>	Max.	92.5	103.2	95.0	177.4	177.0	122.3	208.2	183.6	159.4
		Min.	78.9	70.1	89.3	125.2	121.4	99.0	151.4	137.1	122.0
		Mean	88.0	87.6	92.5	160.2	150.8	108.0	187.7	168.0	143.2
	木部破断率 Wood failure %	Max.	100	100	100	100	100	60	100	100	90
		Min.	100	100	100	100	80	20	70	50	30
		Mean	100	100	100	100	95	32	97	78	68

Table 3. 増量尿素樹脂接着剤による辺材および心材の接着性能
The adhesion quality of sap wood or heart wood by extended urea formaldehyde resin adhesive

材 種 Sort of timber		樹 種 Species	Sugi	Makaba
心 材 Heart wood	接 着 力 Adhesion strength kg/cm^2	Max.	42.6	112.9
		Min.	24.5	51.5
		Mean	41.2	79.7
	木 部 破 断 率 Wood failure %	Max.	96.5	0
		Min.	60.0	0
		Mean	80.5	0
辺 材 Sap wood	接 着 力 Adhesion strength kg/cm^2	Max.	57.0	76.8
		Min.	29.9	40.0
		Mean	46.0	50.8
	木 部 破 断 率 Wood failure %	Max.	100.0	0
		Min.	90.0	0
		Mean	97.5	0
試験時の含水率	Moisture content at testing	%	15.3	16.2

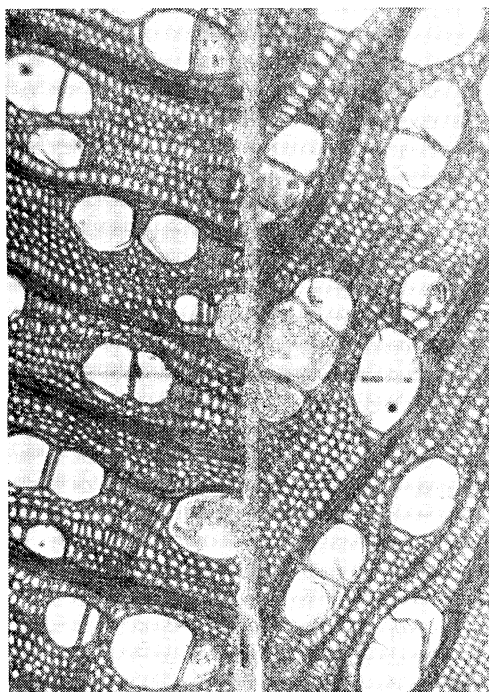


Fig. 1 カバ心材の接着層の状況
Microphotograph of adhesive layer of
Makaba (Birch) heart wood

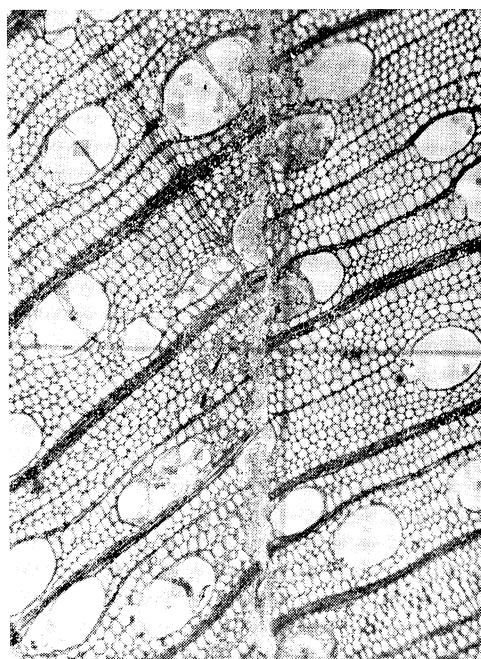


Fig. 2 カバ辺材の接着層
Microphotograph of adhesive layer of
Makaba (Birch) sap wood

ブナ、カバ材においても辺材および心材が接着性能に著しい影響をするほどの差は見られないが、心材

にある程度以上の樹脂分および苦味質などの接着力に不良の物質が堆積された場合には接着力がこれに対応して若干低下することは観察される。尿素樹脂接着剤を増量して使用した場合は（配合は p. 112 に示す）辺材と心材との間にかなり明瞭な差異が見られる。またスギ材において心材のほうが低いのは樹脂分により Fr に影響を及ぼしているのであろう。マカバ材では心材の浸透が少ないため辺材より良い接着性能を示すものであることが顕鏡してうかがえる（Table 3 参照）。

つぎに粘度の影響についてはすでに第 3 報²⁾ および第 4 報⁷⁾ において記載したから省略するが明らかな関係がある。

Ⅲ 年 輪 密 度

年輪は材をつくる形成層の作用が、一般的に気候の変化に伴って一様でなく、熱帯を除く多くの地方ではおおむね、1 年ごとに周期があつてその境界が肉眼で認められ、この 1 年間に形成された材質の層を年輪といい春季成長の初期に生成された、木材細胞は形が大で膜壁は薄い³⁾、成長の末期に向うにしたがつて、次第に形が小さく膜壁の厚い細胞を形成するようになり（第 1 報 Figa 24~25 参照）⁴⁾、秋季のある時期に成長は休止し、翌年春季に至り再び粗大な細胞を形成するため、その間の境界が明瞭になつて年輪が認められるのである。

樹木の肥大成長の良否によつて年輪の広狭が生じこれを示す尺度として年輪密度、あるいは年輪巾を用いる。年輪密度とは材の横断面で年輪に直角方向 1 cm 間に含まれる年輪数を示したものである。

したがつて、年輪密度は秋材率（後述）とともに木材利用判定の拠点となるものであり、この差の大小が利用区分を決定する。この重要な因子すなわち年輪密度が木材接着にいかなる作用をし、かつ接着剤と被接着材との一連の関係を究明せんとする目的をもつて試験したものである。

使用樹種は年輪密度 10 および 4 の秋田県産のスギ材（柾目）および東京都産の年輪密度 1 のスギ材（柾目）を用いてキゲタライムで接着し所定の方法で圧縮硬化せしめたのち F. P. L 剪断型接着力試験片

Table 4. 尿素樹脂接着剤による年輪密度別接着力
The adhesion quality of various width of annual rings by urea
formaldehyde resin adhesive

樹種 Species	成育地 Site of growth	年輪幅 Width of annual rings cm	気乾比重 Specific gravity of air dry kg/cm ³	絶乾比重 Specific gravity of oven dry kg/cm ³	接着時 含水率 Moisture content of adhesion %	試験時 含水率 Moisture content of tested %	接着力 Adhesion strength kg/cm ²	木部 破断率 Wood failure %	試験片数 Number of specimens	秋材 面積率 Percentage of area of summer wood
Sugi	秋田 Akita	0.10	0.423	0.369	14.44	13.5	Max. 95.8	100	10	50.0
							Min. 62.3	90		35.0
							Mean 83.6	98.5		42.5
	秋田 Akita	0.25	0.381	0.334	14.05	12.9	Max. 76.0	100	10	30.0
							Min. 53.9	75		20.0
							Mean 62.5	95		24.5
	東京 Tokyo	1.00	0.326	0.266	16.02	15.8	Max. 62.6	100	10	10.0
							Min. 52.3	100		5.0
							Mean 57.9	100		9.0

Table 5. 増量尿素樹脂接着剤による年輪密度別接着力
The adhesion quality of various width of annual rings by extended urea formaldehyde resin adhesive

樹種 Species	成育地 Site of growth	年輪幅 Width of annual rings cm	気乾比重 Specific gravity of air dry kg/cm ³	絶乾比重 Specific gravity of oven dry kg/cm ³	接着時含水率 Moisture content of adhesion %	試験時含水率 Moisture content of tested %	接着力 Adhesion strength kg/cm ²	木部破断率 Wood failure %	試験片数 Number of specimens	秋材面積率 Percentage of area of summer wood
Sugi	秋田 Akita	0.10	0.423	0.369	16.40	13.9	Max. 73.8 Min. 71.8 Mean 39.8	70.0 0 22.5	10	50.0 35.0 42.5
	秋田 Akita	0.25	0.381	0.334	16.00	14.0	Max. 58.6 Min. 24.5 Mean 44.6	70.0 20.0 46.0	10	30.0 20.0 24.5
	秋田 Akita	0.33	0.347	0.304	15.10	13.6	Max. 70.0 Min. 43.5 Mean 53.7	60.0 40.0 53.0	10	28.9 16.0 20.1
	東京 Tokyo	1.00	0.326	0.266	15.90	13.7	Max. 70.0 Min. 38.5 Mean 53.1	90.0 60.0 76.7	10	10.0 5.0 9.0

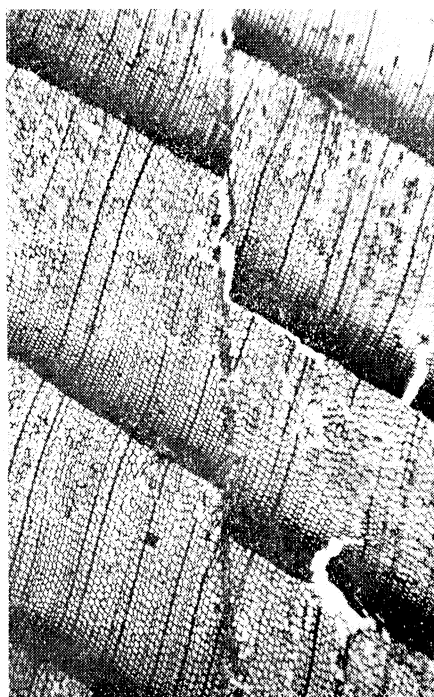


Fig. 3 年輪密度別接着試験片の顕微鏡写真（スギ 平均年輪巾 0.33 mm）

The microphotograph of adhesive layer of adhesion test piece with 0.33 mm average width of annual rings (Sugi)



Fig. 4 年輪密度別接着試験片の顕微鏡写真（平均年輪巾 10.0 mm）

The microphotograph of adhesive layer of adhesion test piece with 10.0 mm average width of annual rings (Sugi)

を採取し前項目同様試験を行つたものである。

この試験結果を示すと Table 4 のとおりであつて、接着力は年輪密度の高い材が比重に比例して高い値を示し、年輪密度の低下するに従つて接着力は減少しており、換言すれば比重の大なるものほど接着力が大であることが認められる。

かかる関係からは $\sigma_u = 182 \gamma_{15}$ なる関係に従っているようであるが、尿素系樹脂接着剤の場合にスギ桁目材では $F_r > F_c > F_{11r}$ なる関係から木材の凝集力が Weakest link であるためである。

それゆゑに増量尿素樹脂接着剤（配合は p. 112 に示す）を用いて常法に従つてスギ桁材の接着力を測定した結果は Table 5 のとおりである。なお、スギの年輪密度と接着性能を顕微鏡的観察すると Fig. 3 および Fig. 4 のとおり。増量により F_c が低下するため木部破断率が減少する。

Ⅳ 秋 材 面 積 率

前項で述べたように樹木の生育立地関係、気候等によつて春材と秋材との差異ある細胞の形成、細胞配列に緻密の度合が生じ、比重関係においては、秋材は春材の約 1.6～3 倍⁹⁾ であり、含有水分量は春材に対して秋材が少なく、膨脹収縮においては水分による膨脹は、秋材より春材が大となり、温熱による体積収縮膨脹は秋材が著しく大であることは一般に知られている。

秋材率は材の木口横断面で秋材の占める面積の全横断面積に対する割合を秋材率と称し年輪密度(前述)とともに材質判定、木材性質の重要な指標となつている。したがつて秋材率と木材比重との関係は密接であつて、比重の大なると同時に一般的に秋材率は増加する関係は一般に認められ、秋材率の高低が木材強度等各種の性質に極めて大きく影響している。しかし接着においては接着面の状態が接着力を支配し厳密に秋材率と云えないため木材の接着面に現われている春秋材の占有面積を対象として、接着面に出ている秋材面積が全面積に対する割合を秋材面積率と称し、秋材面積率別に、しかも異なる性質の春材、秋材の接着を行い、接着剤と春材、秋材との関係および接着力がこれらの性質によつていかに増減するかを究明するために行つた試験である。

使用樹種は秋材巾の広い米産 Douglas fir および本邦産スギ材を用いて、Douglas fir について秋材面積率 100%, 75%, 50%, 0% とし、スギ材においては 100%, 0% を採取し下記のとおり組合せを行い接着したものである。

なお、被接着材の秋材面積率別の組合せは Table 6, 7 のとおりである。

接着剤は Douglas fir はキゲタライムを小麦粉で増量（別記）して使用し、スギについてソリダイト No. 1 (Phenol resin) で圧縮圧力別に接着し、Douglas fir 圧縮後 30°C 恒温室内 24 時間放置、スギ材は圧縮後 80°C 乾燥器で 2 時間熱処理を行つた後、所定の F. P. L 剪断型接着試験片および剪断型試験片を採取して、アムスラー型 4 ton 木材強度試験機にて試験したものである。

Table 6. Douglas fir 秋材面積率別組合
Combination of percentage of area of summer wood (Douglas fir) at adhesion

	0%～ 0%	50～ 0	75～ 0	100～ 0
Douglas fir	0%～ 50%	50～ 50	75～ 50	100～ 50
	0%～ 75%	50～ 75	75～ 75	100～ 75
	0%～100%	50～100	75～100	100～100

Table 7. スギ秋材面積率別組合（圧縮圧力別）

Combination of percentage of area of summer wood (Sugi) on the various pressure of adhesion

樹種 Species	圧縮圧力 Pressure of adhesion	5 kg/cm ²	10 kg/cm ²	15 kg/cm ²	20 kg/cm ²	25 kg/cm ²	30 kg/cm ²
Sugi		0~0	0~0	0~0	0~0	0~0	0~0
		100~100	100~100	100~100	100~100	100~100	100~100

Table 8. 尿素樹脂単体による Douglas fir 秋材面積別接着性能（圧縮力 10 kg/cm²）

The adhesion quality of various percentage of area of summer wood of Douglas fir by the pure urea formaldehyde resin adhesive (pressure 10 kg/cm²)

秋材面積率 Percentage of area of summer wood		0 %		50 %		75 %		100 %	
		σ_s kg/cm ²	W. F. %	σ_s kg/cm ²	W. F. %	σ_s kg/cm ²	W. F. %	σ_s kg/cm ²	W. F. %
0%	Max.	99.4	100	111.6	100	125.4	100	135.0	100
	Min.	44.5	100	53.2	100	83.6	60	50.3	50
	Mean	67.7	100	86.7	100	99.6	94	94.5	92
100%	Max.	135.0	100	144.8	100	150.4	70	129.1	20
	Min.	50.3	50	93.1	40	85.9	30	51.1	0
	Mean	94.5	92	120.7	76.7	120.0	56	77.4	6.7

Table 9. 増量尿素樹脂による Douglas fir 秋材面積別接着性能（圧縮力 10 kg/cm²）

The adhesion quality of various percentage of area of summer wood of Douglas fir by the extended urea formaldehyde resin adhesive (pressure 10 kg/cm²)

秋材面積率 Percentage of area of summer wood		0 %		50 %		75 %		100 %	
		σ_s kg/cm ²	W. F. %	σ_s kg/cm ²	W. F. %	σ_s kg/cm ²	W. F. %	σ_s kg/cm ²	W. F. %
0%	Max.	119.0	100	137.7	100	68.6	90	63.2	0
	Min.	40.5	10	77.9	0	20.3	0	31.6	0
	Mean	74.0	80.6	110.3	40.1	53.0	27.0	42.1	0
50%	Max.	137.7	100	140.4	20	119.6	70	91.6	10
	Min.	77.9	0	128.1	0	45.8	5	19.6	0
	Mean	110.3	40.1	133.4	10.0	83.8	16.0	47.6	5.5
75%	Max.	68.6	90	119.6	70	75.0	80	94.9	5
	Min.	20.3	0	45.8	5	13.2	10	15.4	0
	Mean	53.0	27	83.8	16.0	40.4	24.4	43.8	1.7
100%	Max.	63.2	0	91.6	10	94.9	5	98.0	0
	Min.	31.6	0	19.6	0	15.4	0	15.5	0
	Mean	42.1	0	47.6	5.5	43.8	1.7	45.3	0

Table 10. スギ秋材面積率別、圧縮圧力別接着力性能（石炭酸樹脂）
The adhesion quality of various percentage of area of summer wood and
various pressure of Sugi by the phenol formaldehyde resin adhesive

秋材面積率 Percentage of area of summer wood	圧縮力 kg/cm^2 Pressure	5	10	15	20	25	30
0~0 %		103.8	137.5	78.1	76.5	74.3	73.9
100~100 %		83.1	119.4	128.4	150.3	145.7	142.0

なお Douglas fir における接着剤の増量の理由はキゲタライムを原液のまま使用して接着した場合は、接着力が強すぎ、低比重の木材については木部破断 100% になり、 F_p または F_c を求められないから、Urea resin（キゲタライム）を別記のように増量を行い接着力を低下させて使用したものである。この試験結果を示すと Table 9 のとおりであつて、接着力は春材に対して秋材は著しく低い値を示す。材の比重の関係からすれば、秋材は春材に対して高い値を示すわけであるが、秋材に含まれる樹脂アルコール可溶成分の原因であると思われる。^{10) 11)} スギ材においては圧縮圧力別に春秋とも $20 kg/cm^2$ 辺に max. があり、いずれも春材より秋材の接着は不良である。

なお、前項の年輪密度と接着力との関係から、スギ春材の接着力 σ_{sp} は $51.1 \sim 56.8 kg/cm^2$ 、秋材の接着力 σ_{su} は $24.4 \sim 30.4 kg/cm^2$ なることが判明した。

V 比 重

同一接着剤を製糊法はもちろん、塗付、圧縮等の条件を可及的に均一ならしめて接着しても、被接着材である木材の樹種により接着力は相当開いている。比重により木材の機械的性質は第 1 報³⁾ に報告したごとく非常に差異を生じているが、接着性能もまた比重により変化している。

本邦産の主要樹種についてはほかの条件は可及的に均一にし、素材および単板を使用し接着剤別に接着して接着力試験を行つたものである。

(1) 素 材 の 接 着

(a) 供 試 樹 種

第 1 報において材質の研究をした本邦産主要樹種 36 種、台湾産 1 種、計 37 種と同じ産地から採取した材料（ただし、シラベおよびイチイガシは欠く）およびフィリッピン産アカラワン、シロラワンの 2 種の材料を製材して心材から柾目および板目材を木取り、下記に示す接着剤および接着条件にて接着し、第 5 報¹²⁾ の F. P. L 剪断型接着力試験片により測定した。

(b) 被接着剤の形量および含水率

長 30 cm 巾 5 cm 厚 2.0 cm $U = 12 \sim 13\%$

(c) 接着剤の種類

P. R. Phenol formaldehyde resin.....Solidite No. 1

U. R. Urea formaldehyde resin.....キゲタライム No. 104

E. U. R. Extended urea formaldehyde resin

その配合は次のとおり

Urea resin	100 部	Wheat flour	130 部
NH ₄ Cl	1 部	H ₂ O	195 部
M. R.	Melamin-formaldehyde resin.....接着研究室製 No. 56		
C	Casein glue		
その配合は次のとおり			
Casein	100 部	NaOH	11 部
Ca(OH) ₂	20 部	H ₂ O	300 部
S	Soybean glue		
その配合は次のとおり			
Soybean flour (Benzene ext.)	100 部	NaOH	8 部
Ca(OH) ₂	15 部	H ₂ O	350 部

なお合成樹脂系接着剤の性質は Table 11 のとおりである。

Table 11. 合成樹脂接着剤の性質
The properties of synthetic resin adhesives

項 目 Item	接着剤の種類 Sort of a adhesives	Solidite No. 1 (P. R.)	Igetalim No. 104 (U. R.)	Melamin resin
比 重	Specific gravity g/cm^3	1.13	1.28	1.29
粘 度	Viscosity	20.76	17.31	15.50
表面張力	Surface tension	50.13	74.64	68.45
樹脂率	Resin percentage %	71.18	60.99	43.35
滲透能力	Permeability	2.73	5.52	5.70

(d) 接着剤の塗付量

P. R., U. R., E. U. R., M. R. は $0.022 g/cm^2$, C および S は $0.023 g/cm^2$ あてに塗付した。塗付量の 1/2 ずつを被接着材の接着面に塗付した。

(e) 圧 縮 圧 力

最適圧縮力は主要樹種 10 種を選び、 $5 kg/cm^2$, $10 kg/cm^2$, $15 kg/cm^2$, $20 kg/cm^2$, $30 kg/cm^2$ の圧縮力により接着して接着力を測定し、その結果より全乾比重 0.3 までは $5 kg/cm^2$, 0.3~0.49 は $10 kg/cm^2$, 0.491~0.59 は $15 kg/cm^2$, 0.591 以上は $20 kg/cm^2$ が適していることが判明したので、この比重階により圧縮を行った。

(f) 加熱および圧縮時間

U. R., E. U. R., M. R., C および S などの接着剤にて接着した試験片は、圧縮したまま $28\sim30^\circ C$ の恒温室内にて 24 時間加熱し、P. R. のみ圧縮したまま $80^\circ C$ において 2 時間加熱した。ただし、いずれも含水率の低下による変形並びにそれにとまう接着力の低下を防ぐように関係湿度を調節した。

(g) 試 験 方 法

F. P. L 剪断型の試験片をつくり、荷重速度は歪で $0.015 in \pm 25\%$ の範囲内にて木材試験機を用いて行つた。

(h) 測 定 結 果

試験個数は針葉樹材、広葉樹材のいずれにおいても 20 箇にして、この試験結果を示すと Table 12,

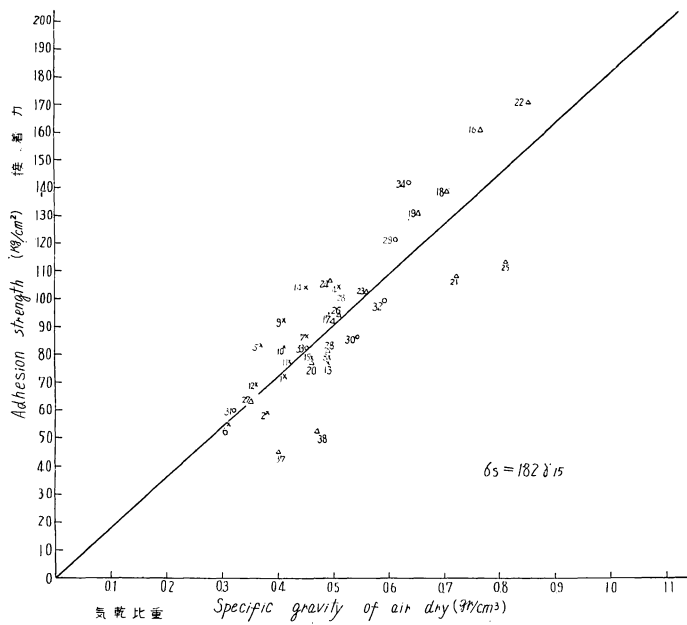


Fig. 5 U. R による主要樹種の柁目面の接着力と比重の関係
Relation between the adhesion strength on the surface of radial section and specific gravity of our important species by urea formaldehyde resin adhesive

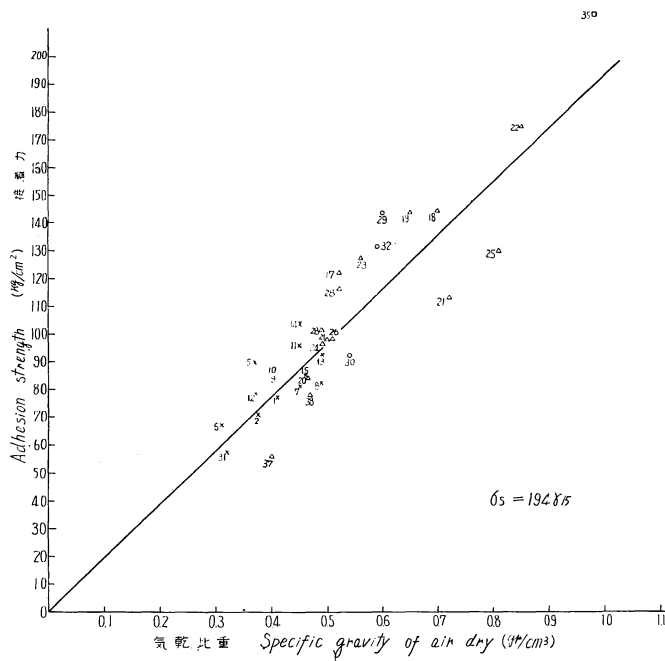


Fig. 6 U. R による主要樹種の板目面の接着力と比重の関係
Relation between the adhesion strength on the surface of tangential section and the specific gravity of our important species by urea formaldehyde resin adhesive

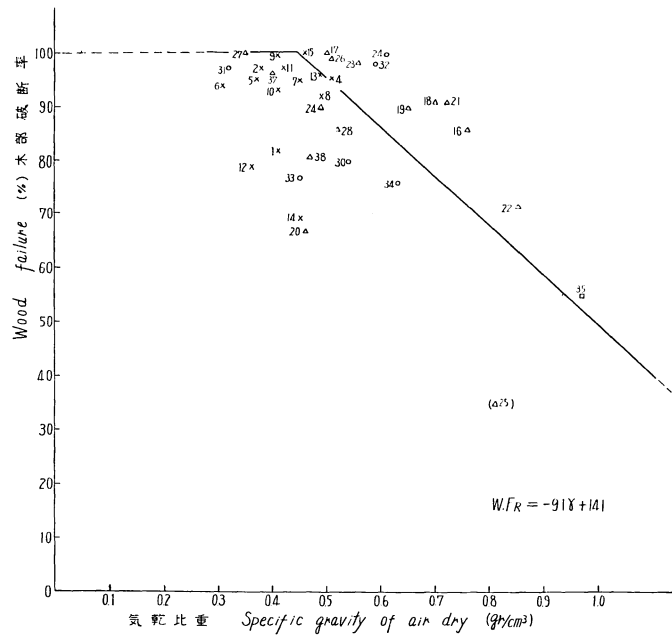


Fig. 7 尿素樹脂接着剤による主要樹種の柎目面の木部破断率と比重の関係
Relation between the wood failure on the surface of radial section
and the specific gravity of our important species by urea
formaldehyde resin adhesive

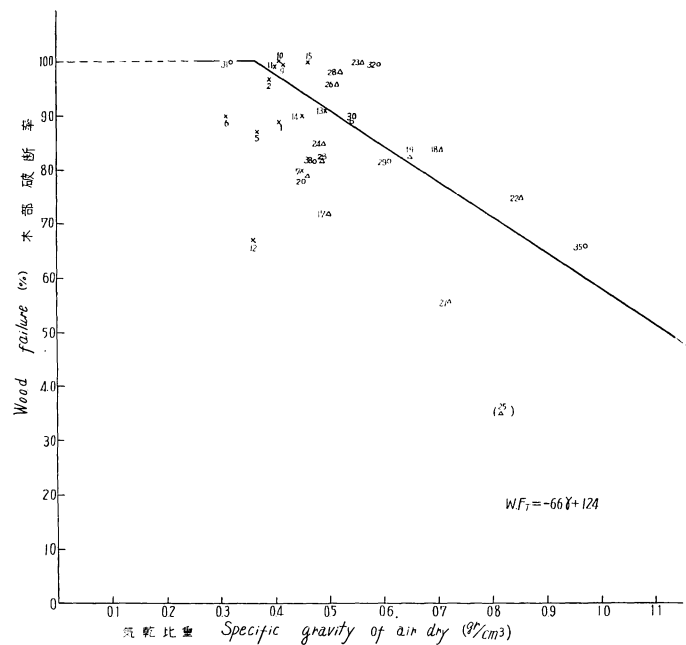


Fig. 8 尿素樹脂接着剤による主要樹種の板目面の木部破断率と比重の関係
Relation between the wood failure on the surface of tangential
section and the specific gravity of our important species
by urea formaldehyde resin adhesive

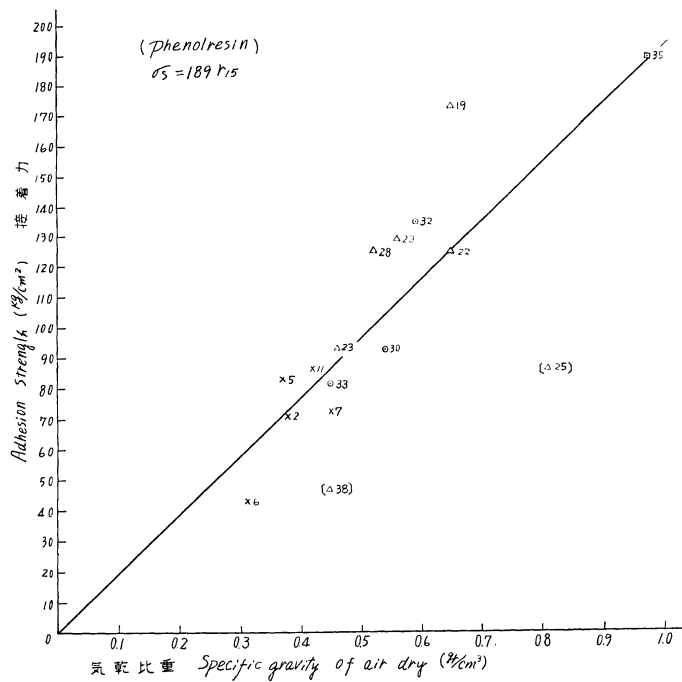


Fig. 9 石炭酸樹脂接着剤による主要樹種の接着力と比重との関係
Relation between the adhesion strength and the specific gravity of our important species by phenol formaldehyde resin adhesive

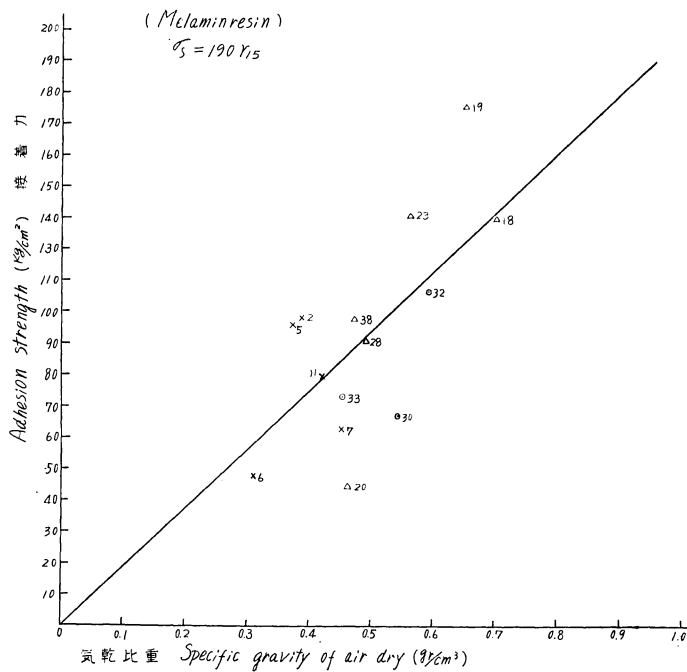


Fig. 10 M. R による主要樹種の接着力と比重との関係
Relation between the adhesion strength and the specific gravity of our important species by melamin formaldehyde resin adhesive

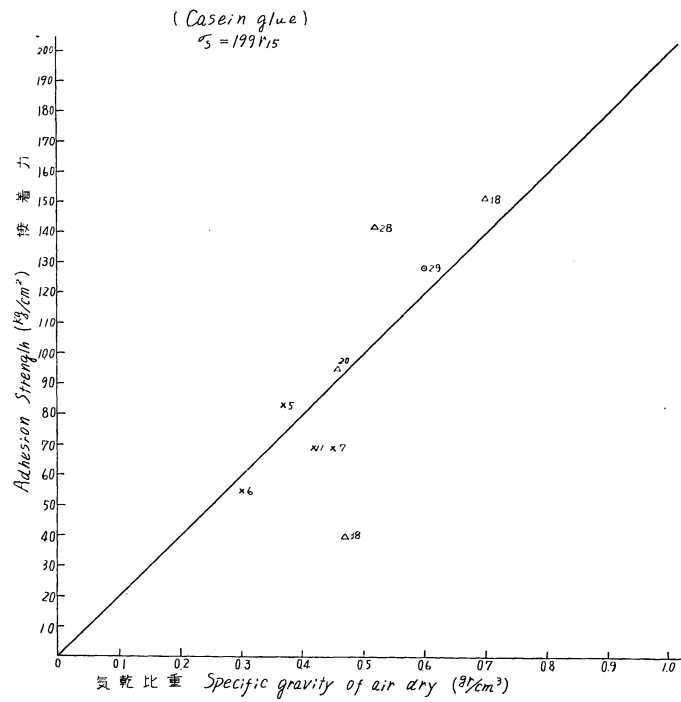


Fig. 11 カゼイングルーによる主要樹種の接着力と比重との関係
Relation between the adhesion strength and the specific gravity of our important species by casein glue

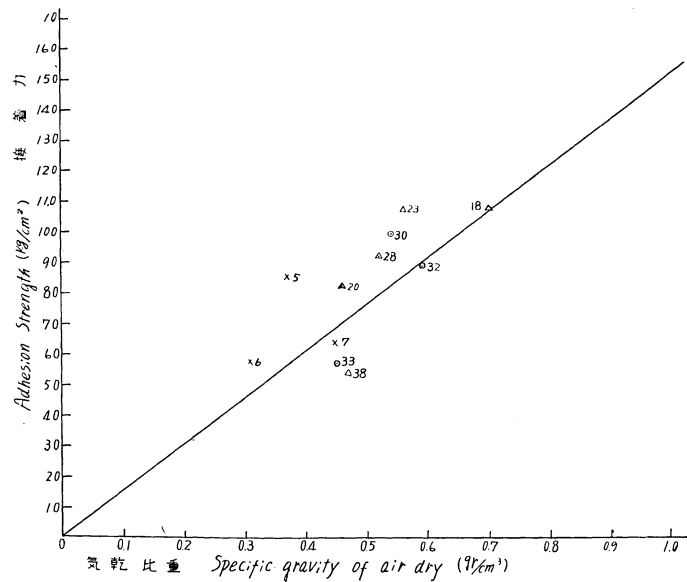


Fig. 12 大豆グルーによる主要樹種の接着力と比重との関係
Relation between the adhesion strength and the specific gravity of our important species by soybean glue

13 および 14 のとおりであつて、樹種により接着力は相当変化していることが明らかである。Fig. 5 および Fig. 6 に明らかとなおり、被接着剤の樹種と接着力の関係は木材の比重によつて定まり、板目、柢目でも大差なく、比重が増加するに従つて、直線的に接着力が増加してくる。

接着力と各種の比重との関係

尿素樹種接着剤において

$$\text{柢目} \quad \sigma_{u \cdot R} = 182 \gamma_{15} \dots \dots \dots (1)$$

$$\text{板目} \quad \sigma_{u \cdot T} = 194 \gamma_{15} \dots \dots \dots (2)$$

なる実験式にて表わし得る。しかしかかる直線関係の存在することは第 3 報¹⁴⁾からも推定しうるところである。接着面の状態によつて多少の差が認められ、板目のほうが高い値を示している。木部破断率 (Wood failure) は比重と接着力との関係とは逆に、比重が増大するに従つて減小し、 F_C または F_R が F_W より大なる場合に高い数値を示すものであつて、接着試験を行つた際に接着面に付着したり、さらにえぐり取られている被接着剤の面積を接着面積に対する百分率をもつて示したものであつて、木部破断率と比重との関係を示すと、Fig. 7, 8 のとおりである。この関係の実験式は、

$$\text{板目は} \quad W.F_{u \cdot R} = -66 \gamma_{15} + 124 \dots \dots \dots (3)$$

$$\text{柢目は} \quad W.F_R = -91 \gamma_{15} + 141 \dots \dots \dots (4)$$

(ただし、 γ は気乾比重)

なる関係の直線式で表わされる。接着力、木部破断率と比重との関係は米国の林産物研究室、TRUAX, T. R.⁵⁾ によつて 動物膠による米国産主要樹種の比重と接着力との関係に関する研究においても同様な傾向を示している。

したがつて樹種と接着力との関係は比重に最も影響を受けるが、同一比重の材でもかなりに異なっている場合がある。

たとえばクスノキ、タブはほかの近似比重の材と異なっているのは、主として木材中に含まれる揮発性成分に関係するものと思われる。

この実験結果より合成樹脂接着剤に対する主要樹種の接着性能を Wood hand book¹³⁾ と同様に分類した。

分類の基準の判定は上記の試験結果により

- I ……接着条件の広い範囲にて容易に接着可能なもの
- II ……適当な接着条件において満足な接着が行えるもの
- III ……注意深く接着条件を定めて始めて良好な接着が行えるもの
- IV ……特別な処理をしなければ良好な接着が行えないもの

に区分することが適当と考えた。

その区分に基き、主として合成樹脂系接着剤、特に尿素樹脂接着剤により主要樹種の心材を区分すれば次のとおりである。

- I モミ (1), トドマツ (2), シラベ (3), ヒノキ (5), サワラ (6), スギ (7), エゾマツ (9), トウヒ (10), ツガ (15), ホホノキ (26), ドロノキ (27), キリ (31)
- II タイワンヒノキ (4), カラマツ (8), アカマツ (11), ヒメコマツ (12), クロマツ (13), ヒバ (14), イタヤカエデ (16), トチノキ (17), マカバ (19), カツラ (20), ブナ (23), オニグルミ (24)

Table 12. 尿素樹脂接着剤による針葉樹材の接着性能 The adhesion quality of coniferous wood by urea formaldehyde resin adhesive																														
樹種、材種 Sort of timber and species		Momi (1)		Todomatsu (2)		Taiwanhinoki (4)		Hinoki (5)		Sawara (6)		Sugi (7)		Karamatsu (8)		Ezomatsu (9)		Tōhi (10)		Akamatsu (11)		Himekomatsu (12)		Kuromatsu (13)		Hiba (14)		Tuga (15)		
項目 Item		Radial	Tan- gential	Radial	Tan- gential	Radial	Tan- gential	Radial	Tan- gential	Radial	Tan- gential	Radial	Tan- gential	Radial	Tan- gential	Radial	Tan- gential	Radial	Tan- gential	Radial	Tan- gential	Radial	Tan- gential	Radial	Tan- gential	Radial	Tan- gential	Radial	Tan- gential	
圧縮力 Pressure	kg/cm ²	10		10		10	—	10		5		10		10	—	10		10		10	—	10		10		10		10		10
気乾比重 Specific gravity air dry	g/cm ³	0.414		0.383		0.512	—	0.370		0.306		0.447		0.490	—	0.412		0.408		0.422	—	0.361		0.491		0.454		0.463		
絶乾比重 Specific gravity oven dry	g/cm ³	0.367		0.341		0.451	—	0.334		0.268		0.390		0.437	—	0.367		0.366		0.371	—	0.331		0.433		0.397		0.416		
含水率 Moisture content	%	12.80		12.39		13.66	—	10.97		14.15		14.68		12.17	—	12.35		11.03		13.71	—	11.14		13.26		14.41		11.23		
試験時含水率 Moisture content at testing	Max.	12.67	13.90	12.00	12.43	11.76	—	12.86	12.40	16.70	13.85	16.14	15.20	12.23	—	10.97	10.48	13.41	13.00	11.81	—	12.02	11.54	15.59	13.96	11.97	12.30	12.85	11.89	
	Min.	11.44	12.20	10.36	11.48	10.93	—	11.63	11.82	13.40	13.00	13.96	14.37	11.40	—	10.00	10.05	12.04	10.40	10.70	—	10.89	10.63	12.76	13.20	11.11	11.90	9.01	11.25	
	Mean	12.15	13.10	11.25	11.91	11.31	—	12.06	11.97	15.24	13.46	15.26	14.70	11.73	—	10.56	10.31	12.76	12.22	11.26	—	11.57	11.07	13.49	13.48	11.54	12.07	11.77	11.50	
接着力 Shear strength	Max.	80.3	90.4	73.9	77.9	119.3	—	92.6	106.5	63.4	75.4	106.5	79.8	86.0	—	99.2	94.0	93.7	97.2	85.8	—	74.1	99.3	90.5	109.6	116.3	111.6	91.9	100.0	
	Min.	61.9	65.2	37.6	32.0	64.0	—	72.7	73.0	45.0	53.0	73.1	48.3	69.4	—	85.0	73.0	73.4	74.8	67.9	—	60.5	56.1	68.2	82.2	85.0	69.8	50.7	69.3	
	Mean	71.9	76.7	59.4	47.2	104.3	—	83.8	90.1	55.1	67.2	85.8	64.6	78.9	—	91.5	83.6	82.3	86.8	76.9	—	69.0	78.3	77.2	92.1	103.9	95.7	79.6	84.1	
木部破断率 Wood failure	Max.	100	100	100	100	100	—	100	100	100	100	100	100	100	—	100	100	100	100	100	—	100	95	100	100	100	100	100	100	100
	Min.	50	50	70	90	70	—	75	50	80	10	80	40	70	—	100	90	80	100	70	—	10	30	80	70	20	80	95	100	
	Mean	82	89	97	96.5	95	—	94.5	87	93.5	89.5	95	85	92.5	—	100	99	93	100	97	—	77.8	66.5	96	91	68.9	90	99.5	100	
秋材面積率 Percentage of area of summer wood	Max.	20	30	35	50	40	—	18	25	30	30	20	40	35	—	35	40	35	45	30	—	40	70	50	50	45	65	60	60	
	Min.	5	20	20	30	25	—	12	20	10	20	20	30	30	—	30	30	20	30	20	—	30	30	30	30	30	40	50	55	
	Mean	18	25.5	29	37	32	—	15.3	21	20	23.5	20	34	31.6	—	32	33	28	31.5	25.5	—	34.4	58.5	36	39.5	37	57	54	58	
破断型 Failure type		D	C	D	C	B _e	—	F	C	D	C	D	C	F	—	D	C	D	C	D	—	F	C	F	C	D	B _f	D	C	
【注】 Remarks:		A—接着層に生じた破断 The failure gets on the adhesive layer (glue line). B—被接着材において生じた破断 The failure gets on the adherent. B _e —接着層と被接着材（年輪部より）とにおいて生じた破断 The failure gets on the adhesive layer and on the adherent (from the annual rings). B _a —接着層と被接着材の春材部とにおいて生じた破断 The failure gets on the adhesive layer and on the spring wood of adherent. B _s —接着層と被接着材とにおいて生じた断続状破断 The failure gets on the adhesive layer and on the adherent spotty like. B _f —接着層と被接着材の薄層とにおいて生じた破断 The failure gets on the adhesive layer and on the thin layer of adherent. C—被接着材の年輪部より生じた破断 The failure gets from the annual ring of adherent. D—被接着材の春材部より鋸歯のように生じた破断 The failure gets from the spring wood of adherent (saw teeth like). E—被接着材に生じた断続状破断 The failure gets spotty on the adherent. F—被接着材の薄層より生じた破断 The failure gets from the thin layer of adherent.																												

		Table 14. 主要樹種の石炭酸樹脂, メラミン樹脂, カゼイン, 大豆グルーおよび増量尿素樹脂接着剤による常態接着力 The results of normal state adhesion quality of our important species by phenol formaldehyde resin, melamin formaldehyde resin, extended urea formaldehyde resin adhesives, casein glue and soybean glue																							
樹種 Species		Todo- matsu (2)	Hinoki (5)	Sawara (6)	Sugi (7)	Kara- matsu (8)	Aka- matsu (11)	Hime- komatsu (12)	Mizu- me (18)	Makaba (19)	Katsura (20)	Isunoki (22)	Buna (23)	Oni- gurumi (24)	Tabu (25)	Shinano- ki (28)	Yachi- damo (29)	Hari- giri (30)	Kiri (31)	Mizu- nara (32)	Haru- nire (33)	Keyaki (34)	Aka- gashi (35)	Red lauan (38)	White lauan (39)
石炭酸樹脂 Phenol resin	接着力 Shear strength kg/cm ²	Max. 80.0 Min. 61.8 Mean 70.6	89.5 76.1 83.3	46.0 34.6 42.5	80.8 68.3 73.2	— — —	91.1 83.0 86.5	— — —	— — —	189.1 149.3 173.3	102.3 76.4 93.1	139.8 112.0 125.0	134.1 127.8 129.4	— — —	95.8 73.5 87.0	133.2 114.3 125.4	— — —	100.0 79.2 92.8	— — —	157.0 119.0 135.5	90.3 66.7 81.9	— — —	209.9 172.8 189.7	— — —	53.0 41.8 47.0
	木部破断率 Wood failure %	Max. 100 Min. 90 Mean 96	100 90 95	100 100 100	100 90 96	— — —	100 80 95	— — —	— — —	100 70 90	100 100 100	50 10 22	100 100 100	— — —	30 20 22.5	100 70 92	— — —	90 20 62	— — —	90 40 62	100 60 84	— — —	70 50 60	— — —	100 100 100
メラミン樹脂 Melamin resin	接着力 Shear strength kg/cm ²	Max. 93.0 Min. 78.1 Mean 89.5	101.1 91.0 96.3	51.5 44.2 48.1	67.9 59.7 63.0	— — —	87.2 72.2 80.4	— — —	160.5 109.0 140.3	188.1 157.0 176.4	87.9 23.2 45.7	— — —	151.1 128.3 141.3	— — —	— — —	101.5 67.2 90.7	— — —	78.9 56.5 66.5	— — —	129.6 82.6 106.9	115.9 48.8 73.4	— — —	— — —	— — —	66.6 56.4 61.5
	木部破断率 Wood failure %	Max. 100 Min. 90 Mean 98	100 100 100	100 100 100	100 90 92	— — —	70 40 52	— — —	100 30 72	100 30 58	20 5 11.7	— — —	70 50 60	— — —	— — —	50 10 36	— — —	40 20 40	— — —	90 10 36	90 10 40	— — —	— — —	— — —	100 90 98.0
カゼイン・ グルー Casein glue	接着力 Shear strength kg/cm ²	Max. — Min. — Mean —	85.8 79.6 83.3	64.4 37.7 54.7	76.5 57.4 69.1	— — —	85.2 57.3 69.1	— — —	155.2 147.2 151.1	166.2 127.1 148.6	105.4 86.8 94.9	— — —	129.1 80.1 110.7	— — —	— — —	176.1 109.4 141.3	156.3 110.8 127.1	116.9 101.4 109.3	— — —	153.3 77.0 109.7	— — —	— — —	— — —	— — —	53.0 27.3 40.0
	木部破断率 Wood failure %	Max. — Min. — Mean —	100 95 98	100 90 97	100 90 98.5	— — —	5 0 0.7	— — —	100 30 60.2	100 90 98.5	100 90 97.5	— — —	100 50 84	— — —	— — —	100 70 96.5	90 10 47	100 100 100	— — —	70 30 51.7	— — —	— — —	— — —	— — —	100 100 100
大豆グルー Soybean glue	接着力 Shear strength kg/cm ²	Max. — Min. — Mean —	100.3 71.8 85.1	63.5 47.4 57.0	77.8 50.5 64.2	— — —	78.0 63.1 72.3	— — —	114.7 101.6 107.6	— — —	102.3 40.4 81.6	— — —	133.6 77.8 107.1	— — —	— — —	123.1 61.8 92.3	— — —	119.5 70.4 99.3	— — —	109.0 57.2 88.7	82.9 48.8 56.5	— — —	— — —	— — —	64.5 45.8 53.5
	木部破断率 Wood failure %	Max. — Min. — Mean —	100 70 92	100 90 99	100 90 95	— — —	30 10 15	— — —	0 0 0	— — —	80 30 60	— — —	10 0 8	— — —	— — —	100 50 68	— — —	80 10 34	— — —	20 5 8	50 5 19	— — —	— — —	— — —	100 70 89
増量尿素樹脂 Extended urea resin	接着力 Shear strength kg/cm ²	Max. 86.6 Min. 40.8 Mean 64.7	90.8 53.7 75.2	61.0 26.9 46.9	70.3 55.7 61.8	69.6 20.3 38.0	83.7 41.8 64.9	46.4 20.7 30.9	25.6 11.2 19.6	86.2 22.7 53.1	72.7 26.2 49.0	18.9 2.8 6.3	99.6 42.4 71.7	64.4 18.5 36.0	54.9 16.1 31.6	— — —	— — —	67.8 24.0 51.5	73.9 29.5 51.0	85.0 43.0 66.9	43.5 16.4 26.9	75.2 41.0 59.4	— — —	70.4 50.4 59.8	74.1 41.1 58.4
	木部破断率 Wood failure %	Max. 100 Min. 20 Mean 51.5	90 30 58	70 10 37	100 60 80	20 0 6.9	70 10 35	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	10 0 2	0 0 0	0 0 0	0 0 0	— — —	— — —	0 0 0	100 60 88	10 0 4.5	30 10 7.2	0 0 0	— — —	70 0 19.5	5 0 0.5

III イスノキ (22), シナノキ (28), ヤチダモ (29), ハリギリ (30), ミズナラ (32), ハルニレ (33),
ケヤキ (34), アカガシ (35), スダジイ (36)

IV クスノキ (21), タブ (25)

なお、樹種の次の括弧内数字は第1報⁸⁾と関連した樹種番号である。

Table 15. 供試樹種と最適圧縮力
The species and the optimum pressure of adhesion

樹種番号 Species No.	材 名 Common name	学 名 Botanical name	最適圧縮力 Optimum pressure at adhesion kg/cm ²
1	Momi	<i>Abies firma</i> SIEB. et ZUCC.	10
2	Todomatsu	<i>Abies sachalinensis</i> FR. SCHM.	10
4	Taiwanhinoki	<i>Chamaecyparis formosensis</i> MATUM.	10
5	Hinoki	<i>Chamaecyparis obtusa</i> ENDL.	10
6	Sawara	<i>Chamaecyparis pisifera</i> ENDL.	5
7	Sugi	<i>Cryptomeria japonica</i> D. DON	10
8	Karamatsu	<i>Larix Kaempferi</i> SARG.	10
9	Ezomatsu	<i>Picea jezoensis</i> CARR.	10
10	Tōhi	<i>Picea jezoensis</i> CAAR. var. <i>hondoensis</i> REHDER	10
11	Akamatsu	<i>Pinus densiflora</i> SIEB. et ZUCC.	10
12	Himekomatsu	<i>Pinus pentaphylla</i> MAYR	10
13	Kuromatsu	<i>Pinus Thunbergii</i> PARL.	10
14	Hiba (Asunaro)	<i>Thujopsis dolabrata</i> SIEB. et ZUCC.	10
15	Tsuga	<i>Tsuga Sieboldii</i> CARR.	10
16	Itayakaede	<i>Acea mono</i> MAXIM.	20
17	Tochinoki	<i>Aesculus turbinata</i> BLUME	10
18	Mizume	<i>Betula grossa</i> SIEB. et ZUCC.	20
19	Makaba	<i>Betula Maximowicziana</i> REGEL	20
20	Katsura	<i>Cercidiphyllum japonicum</i> SIEB. et ZUCC.	10
21	Kusunoki	<i>Cinnamomum Camphora</i> NESS. et EBEM.	20
22	Isunoki	<i>Distylium rocmosum</i> SIEB. et ZUCC.	20
23	Buna	<i>Fagus crenata</i> BLUME	15
24	Onigurumi	<i>Juglans allardiana</i> DON, var. <i>acuta</i> KOIDZ.	10
25	Tabu	<i>Machilus Thunbergii</i> SIEB. et ZUCC.	20
26	Hoonoki	<i>Magnolia obovata</i> THUNB.	10
27	Doronoki	<i>Populus suaveolens</i> FISCHER	10
28	Shinanoki	<i>Tilia japonica</i> SIMONKAI	10
29	Yachidamo	<i>Fraxinus mandshurica</i> RUPRECHT	15
30	Harigiri	<i>Kalopanax pictum</i> NAKAI	15
31	Kiri	<i>Paulownia tomentosa</i> STEUDEL	5
32	Mizunara	<i>Quercus crispula</i> BLUME	15
33	Harunire	<i>Ulmus Davidiana</i> PLANCHON var. <i>japonica</i> NAKAI	10
34	Keyaki	<i>Zelkova serrata</i> MAKINO	15
35	Akagashi	<i>Cyclobalanopsis acuta</i> OESSTED	20
38	Red lauan	<i>Shorea negrosensis</i> F.	10
39	White lauan	<i>Pentacme contor</i> M. et R.	10

(i) 異樹種を接着した結果

以上は同一樹種を接着した場合であるが、異樹種を接着した場合については、合成樹脂系接着剤による接着データは皆無であるため、ここに測定結果を報告し考察を加える。供試材の条件は板目材を用い、ほかは (b) と同じく、接着条件は (d), (e), (f) のとおりで、樹種組合せおよび測定結果は、マカバに対しマカバ、アカガシ、ミズナラ、ブナ、ヒノキ、スギの組合せを Table 16 に示したとおりであつて、その際に低比重材では F_W が小であるから木部破断率が 90% 近い値を示し、高比重材ではカバを除き F_C と F_W とによつて決定されている。

しかるに、スギに対し増量尿素樹脂を用いて、すなわち F_V および F_C の小なる接着剤を用いてマカバ、イスノキ、ミズナラ、ブナ、スギ、ヒノキ、サワラを接着した場合でも、スギ、サワラ等の F_W は増量尿素系樹脂の F_V および F_C より小なるため、 F_W により接着力が決定されほとんど一定の値を示している。この事実から異樹種集成材の製造に対し重要な資料を提供することになる。

Table 16. 尿素樹脂接着剤による異樹種の接着力
The results of adhesion of different species specimen by urea formaldehyde resin adhesive

項 目 Item	接 着 樹 種 Species of adhesion	Makaba Makaba	Makaba Akagashi	Makaba Mizunara	Makaba Buna	Makaba Hinoki	Makaba Sugi
接 着 力 Adhesion strength kg/cm^2	Max.	217.8	143.9	106.3	133.3	116.1	78.5
	Min.	89.8	71.0	56.4	90.3	40.1	34.1
	Mean	132.5	114.9	85.1	110.8	75.1	56.4
木 部 破 断 率 Wood failure %	Max.	100	50	40	85	100	100
	Min.	0	30	10	5	50	70
	Mean	52	40	24	40.5	91.5	80.4
試験時含水率 Moisture content at testing %	Max.	10.99	10.6	9.10	10.99	9.43	11.00
	Min.	10.49	9.8	9.00	10.49	9.03	9.50
	Mean	10.80	10.3	9.10	10.80	9.30	10.30

Table 17. 尿素樹脂接着剤による異樹種の接着力
The results of adhesion of different species specimen by urea formaldehyde resin adhesive

項 目 Item	接 着 樹 種 Species of adhesion	Sugi Makaba	Sugi Isunoki	Sugi Mizunara	Sugi Buna	Sugi Sugi	Sugi Hinoki	Sugi Sakura
接 着 力 Adhesion Strength kg/cm^2	Max.	78.5	74.0	63.9	93.9	65.4	74.1	69.8
	Min.	34.1	35.8	36.5	37.5	37.5	38.6	39.6
	Mean	56.4	51.6	54.7	61.7	52.8	56.3	53.8
木 部 破 断 率 Wood failure %	Max.	100	90	100	100	100	100	100
	Min.	70	60	70	70	100	60	70
	Mean	84.4	72	82	86.1	100	92	84.4
試験時含水率 Moisture content at testing %	Max.	11.00	13.60	10.90	12.10	12.70	11.79	11.00
	Min.	9.50	12.60	9.70	11.00	11.80	10.00	9.50
	Mean	10.30	13.12	10.30	11.50	12.50	10.90	10.30

(2) 単板の接着

(a) 供試樹種

合板として重要な広葉樹材マカバ、ミズナラ、ブナ、ヤチダモ、ハリギリ、シナノキ、カツラおよびラワンの8種、針葉樹材としてヒノキおよびアカマツの2種、計10種について、第1報の供試材の産地の材料から1.5 mm厚のロータリー単板を製作して試験に供した。

(b) 被接着材の形量および含水率

絶乾比重および単板の含水率は次表のとおりにして、供試単板を無欠点、裏割の可及的に少ない部分から28 cm角に採取した。

Table 18. 供試単板の絶乾比重および含水率
The specific gravity at oven dry and moisture content of test veneer

樹種番号 Species No.	樹種名 Common name	絶乾比重 Specific gravity at oven dry	供試単板の含水率 Moisture content of test veneer
5	Hinoki	0.353	12.03
11	Akamatsu	0.415	12.32
19	Makaba	0.590	11.16
20	Katsura	0.365	11.49
23	Buna	0.470	11.89
28	Shinanoki	0.400	10.05
29	Yachidamo	0.498	11.83
30	Harigiri	0.421	12.29
32	Mizunara	0.503	11.75
39	White lauan	0.428	11.44

(c) 接着剤の種類

Phenol resin adhesive, Urea resin adhesive, Casein glue および Soybean glue を使用し、その配合等は(1)の(c)と同じである。

(d) 接着剤塗付量および構成

P. R, および U. R, は2接着層に 0.05 g/cm^2 , C および S は2接着層に 0.055 g/cm^2 塗付し, 3 ply の構成とした。

(e) 圧縮力

ヒノキ, アカマツ, シナノキ, カツラの4種は 10 kg/cm^2 , 他は 15 kg/cm^2 の圧縮を行った。

(f) 加熱および圧縮時間

(1)の(f)と同じである。試験時の含水率は12~13%に規正して行つた。

(g) 試験法

輸出規格に基き試験片を採取し、試作合板各5枚ずつからP. R および U. R は合板輸出規格の常態、温冷水、煮沸試験を各20個行い、C および S は常態試験のみを40個行つた。

接着力測定に供した合板試験機は東京衡機製造所製にして、秤量 300 kg (660 lbs), 最小目盛 1 kg , 引張速度は輸出規格による毎分 600 kg 以下の制限内にて下部チャックの下降速度 70 mm/min により規格のチャックを用いて測定した。

Table 19. 石炭酸樹脂接着剤による樹種別合板接着力 (kg/cm^2) および木部破断率 (%)
The adhesion strength (kg/cm^2) and wood failure (%) of various species plywood by phenol formaldehyde resin adhesive

樹種番号 Species No.	樹 種 Species	常態試験 Normal test			煮沸試験 Boil test			温冷水試験 Hot and cold bath test		
		Max.	Min.	Mean	Max.	Min.	Mean	Max.	Min.	Mean
19	Makaba	34.5 (100)	27.7 (20)	31.3 (80.4)	27.0 (100)	22.7 (5)	24.8 (43.8)	33.4 (100)	24.2 (5)	28.2 (27.9)
32	Mizunara	33.8 (100)	25.9 (30)	30.0 (57.5)	22.2 (100)	12.6 (20)	18.0 (55.3)	24.8 (90)	15.0 (10)	20.8 (48.7)
23	Buna	34.5 (100)	19.4 (10)	15.7 (45.6)	28.8 (50)	13.2 (0)	23.0 (10.5)	32.3 (80)	27.8 (0)	23.5 (23.0)
29	Yachidamo	46.1 (100)	15.5 (5)	26.8 (56.5)	28.8 (100)	12.3 (0)	21.7 (47.6)	30.9 (80)	14.4 (5)	22.3 (24.6)
30	Harigiri	24.2 (100)	13.3 (20)	19.2 (77.8)	21.9 (100)	6.6 (5)	17.1 (55.0)	22.2 (90)	8.0 (0)	15.8 (38.1)
28	Shinanoki	28.5 (90)	16.2 (0)	23.3 (21.9)	19.5 (30)	15.5 (0)	17.6 (13.3)	21.0 (90)	11.5 (5)	18.0 (29.2)
20	Katsura	29.4 (100)	17.3 (80)	21.0 (92.5)	21.3 (100)	13.8 (20)	16.7 (87.7)	26.6 (90)	17.0 (20)	21.3 (57.0)
5	Hinoki	25.6 (100)	17.3 (60)	21.5 (85.2)	20.8 (100)	12.3 (0)	16.1 (45.0)	21.6 (100)	12.2 (20)	16.5 (51.7)
11	Akamatsu	25.3 (100)	16.2 (0)	20.9 (74.8)	22.2 (90)	9.8 (0)	17.3 (40.0)	17.3 (90)	10.1 (5)	13.5 (43.3)
39	White lauan	20.2 (100)	13.6 (30)	15.9 (79.5)	18.1 (100)	8.0 (10)	12.2 (80.6)	20.2 (100)	8.0 (10)	14.7 (62.9)

Table 20. 尿素樹脂接着剤による樹種別合板接着力 (kg/cm^2) および木部破断率 (%)
The adhesion strength (kg/cm^2) and wood failure (%) of various species plywood by urea formaldehyde resin adhesive

樹種番号 Species No.	樹 種 Species	常態試験 Normal test			煮沸試験 Boil test			温冷水試験 Hot and cold bath test		
		Max.	Min.	Mean	Max.	Min.	Mean	Max.	Min.	Mean
19	Makaba	43.8 (100)	24.4 (10)	33.7 (94.1)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	33.1 (100)	15.8 (0)	25.3 (49.3)
32	Mizunara	36.8 (100)	17.3 (20)	26.3 (64)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	17.9 (80)	10.4 (0)	15.6 (43.2)
23	Buna	28.5 (100)	14.4 (0)	23.0 (78)	9.8 (5)	0 (0)	2.3 (0.5)	23.0 (80)	6.1 (0)	18.5 (65.0)
29	Yachidamo	26.6 (100)	12.2 (10)	19.3 (64.8)	5.5 (5)	0 (0)	0.8 (0.7)	19.1 (60)	6.6 (0)	16.3 (41.5)
30	Harigiri	30.6 (100)	10.9 (10)	24.3 (74.2)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	23.8 (100)	9.3 (10)	17.6 (62.3)
28	Shinanoki	20.3 (90)	13.9 (5)	17.0 (25.0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	13.1 (90)	9.3 (0)	11.0 (22.0)
20	Katsura	32.3 (100)	12.2 (0)	22.6 (81.3)	7.5 (0)	0 (0)	1.2 (0)	25.9 (70)	11.8 (0)	20.1 (46.5)
5	Hinoki	25.3 (100)	14.7 (50)	20.9 (83.8)	(0) (0)	0 (0)	0 (0)	18.7 (60)	7.8 (0)	11.5 (30.0)
11	Akamatsu	20.8 (100)	13.3 (0)	17.4 (55.4)	(0) (0)	0 (0)	0 (0)	18.7 (50)	6.9 (0)	10.7 (25.6)
39	White lauan	25.3 (100)	17.9 (90)	21.7 (97.3)	4.5 (5)	2.6 (0)	3.7 (0.5)	25.3 (100)	17.6 (20)	22.0 (74.1)

(h) 測定結果

Phenol formaldehyde resin adhesive について Table 19, Urea resin formaldehyde resin adhesive については Table 20, Casein glue および Soybean glue については Table 21 および Table 22 に掲げる。図示すると比重との間にやはり直線的傾向があるが、供試樹種中、U. R と S. とに対しシナノキが異常に低い値を示している。

Table 21. カゼイングルーによる樹種別合板接着力 (kg/cm^2) および木部破断率 (%)

The adhesion strength (kg/cm^2) and wood failure (%) of various species plywood by casein glue

樹種番号 Species No.	樹 種 Species	常態試験 Normal test		
		Max.	Min.	Mean
19	Makaba	32.6 (100)	21.9 (10)	26.4 (30)
32	Mizunara	27.5 (100)	14.7 (20)	21.0 (52.1)
23	Buna	28.5 (100)	17.0 (100)	23.7 (100)
29	Yachidamo	24.3 (100)	12.8 (10)	17.6 (86.9)
30	Harigiri	29.3 (95)	15.7 (40)	22.9 (74.4)
28	Shinanoki	20.2 (20)	14.4 (50)	18.3 (10.6)
20	Katsura	21.9 (100)	12.8 (100)	18.1 (100)
5	Hinoki	22.9 (80)	13.3 (100)	17.4 (49.4)
11	Akamatsu	19.8 (100)	13.3 (10)	15.4 (31.3)
39	White lauan	19.2 (100)	14.4 (40)	16.8 (82.8)

Table 22. 大豆グルーによる樹種別合板接着力 (kg/cm^2) および木部破断率 (%)

The adhesion strength (kg/cm^2) and wood failure (%) of various species plywood by soybean glue

樹種番号 Species No.	樹 種 Species	常態試験 Normal test		
		Max.	Min.	Mean
19	Makaba	24.8 (40)	11.2 (0)	17.7 (6.5)
32	Mizunara	22.1 (30)	14.7 (10)	19.0 (19.3)
23	Buna	21.1 (30)	13.8 (0)	16.6 (10.0)
29	Yachidamo	25.0 (100)	10.1 (0)	17.5 (21.7)
30	Harigiri	22.0 (100)	12.5 (0)	16.7 (31.0)
28	Shinanoki	18.6 (20)	6.4 (5)	13.0 (9.7)
20	Katsura	25.9 (95)	13.3 (0)	19.1 (42.3)
5	Hinoki	20.3 (100)	17.0 (30)	18.5 (78.3)
11	Akamatsu	21.1 (100)	9.9 (5)	14.8 (35.6)
39	White lauan	18.6 (30)	7.7 (10)	12.4 (14.6)

Ⅵ 接着面が年輪となす角^{14) 15)}

木材を製材加工する時に生ずる、木理方向により柁目材、板目材、追柁材等を生じ、木材の年輪および繊維の走向によつて起るこれらの材面により木材の接着強度が影響を受けるかを研究するために行つた試験である。

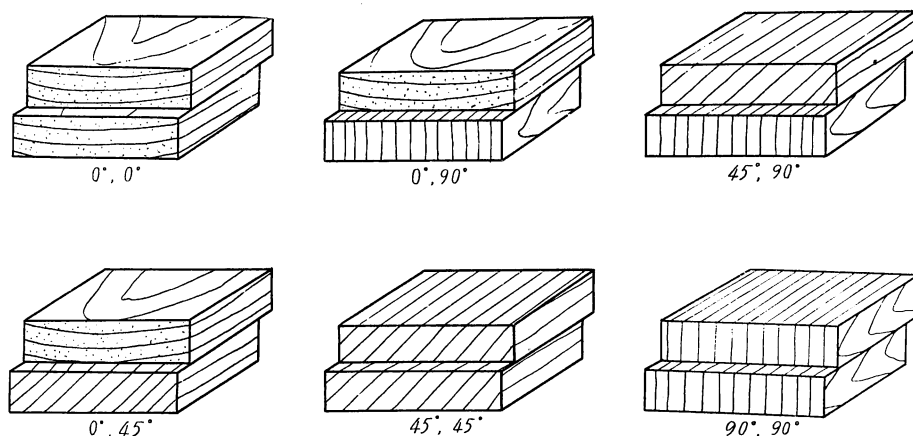


Fig. 13 接着面と年輪となす角の組合せ

The combination of the angles between the adhesion surface and annual rings

供試樹種はスギを用い、木理が年輪方向にある材を（完全なる板目材）0度として年輪方向に45°の傾斜をもつ木理方向の材（追柁材）を45度、同様に直角方向に木理が走っている材（完全なる柁目材）を90度としてこれの下記のように組合せを行い、しかるのち接着剤キゲタライムを使用して接着を行い接着力試験を行ったものである。

Table 23. 接着面が年輪となす角の組合せ

The combination of the angles between the adhesion surface and annual rings

Sugi	0° ~ 0°	45° ~ 0°	90° ~ 0°
	0° ~ 45°	45° ~ 45°	90° ~ 45°
	0° ~ 90°	45° ~ 90°	90° ~ 90°

Table 24. 尿素樹脂接着面と年輪となす角による接着力および木部破断率

The adhesion strength and wood failure of test piece referring with the angles between the adhesion surface and annual rings by urea formaldehyde resin adhesive

樹 種 Species	繊維走向度の組合せ Combination of grain angle		0° ~ 0°	0° ~ 45°	0° ~ 90°	45° ~ 45°	45° ~ 90°	90° ~ 90°
Sugi	接 着 力 Adhesion strength kg/cm ²	Max.	81.8	89.9	87.7	96.1	94.3	90.1
		Min.	74.2	74.2	66.4	70.8	69.0	73.1
		Mean	78.6	73.7	75.2	82.9	83.8	81.3
	木 部 破 断 率 Wood failure %	Max.	100	100	100	100	100	100
		Min.	90	100	60	100	100	100
		Mean	95.6	100	87	100	100	100

この試験結果を示すと Table 24 のとおりであつて、いずれの組合せにおいてもほとんど差がみられない。

なお、接着試験片の木部破断率が100%のため木材剪断強度となり、したがつて接着力は材の破断によ

つて起るものであるから真の接着力といいがたい。木材の剪断強度の差においてのみ、差が生ずるため接着力の傾向はこの結果では明確に表わしがたいが、材による木理方向が変つても木繊維に平行に荷重をかける場合にはきわめて少ない差であると推測できる。

そのために、F_v および F_c の小なる増量尿素樹脂（配合は前項参照）を用いてスギおよびマカバ材を接着した結果は Table 24 および Table 25 のとおりであつて、その接着力および木部破断率の間に顕著な影響がみうけられない。むしろ針葉樹材については秋材面積率が支配的な因子と考えられ、接着面が年輪となす角、換言すれば柾目、板目、追柾材により差異はほとんどないと思われる。第1報に述べたごとく α_T と α_R の差異のほうが接着の耐久性に支配的にはたらくものと考えられる。

Table 25. 増量尿素樹脂による接着面と年輪となす角による接着力および木部破断率
The adhesion strength and wood failure of test piece refering with the angles, between the adhesion surface and annual rings by extended urea formaldehyde resin adhesive

樹種 Species	繊維走向度の組合せ Combination of grain angle		0°~0°	0°~45°	0°~90°	45°~45°	45°~90°	90°~90°
Sugi	接着力 Adhesion strength kg/cm ²	Max.	68.3	69.1	58.8	69.1	61.7	66.5
		Min.	47.7	46.6	44.5	40.6	30.6	34.7
		Mean	58.4	58.6	51.3	58.6	51.4	52.6
	木部破断率 Wood failure %	Max.	90	90	90	90	90	70
		Min.	60	70	40	70	50	20
		Mean	70	72.5	77	72.5	74	59
Makaba	接着力 Adhesion strength kg/cm ²	Max.	53.5	35.9	51.8	67.4	55.2	67.4
		Min.	12.3	18.0	14.0	10.8	12	16.7
		Mean	26.3	25.0	28.6	33.2	27.4	24.8
	木部破断率 Wood failure %	Max.	0	0	0	0	0	0
		Min.	0	0	0	0	0	0
		Mean	0	0	0	0	0	0

Ⅶ 被接着材面の粗さ^{16) 17) 18)}

木材加工利用する際に生ずる物理的現象である材面の粗さが、接着力にいかに関係し、実際にいかなる接着方法が適切であるかを研究するため行つた試験である。

使用樹種は本邦産マカバ、スギ、ヒノキの各柾目材を用い製材用 Band saw で鋸断のままの材、プレナー掛けしたもの、荒鉋をかけたもの、仕上げ鉋をかけたものおよび 24 mesh および 100 mesh の Sand paper で磨き上げたものを使用し、表面の状態は、触針仕上面試験機で測定した結果を示すと Fig. 14 および Fig. 15 のとおりであつて、このような材面の凹凸の状態において接着剤(キゲタライム)を面の粗さによって塗付量をかえた。すなわち、Sand paper 掛け、鉋掛けのものは $0.022/\text{cm}^2$ 、プレナー掛けのものは $0.033/\text{cm}^2$ 、Band saw のものは $0.044/\text{cm}^2$ で塗付し圧縮圧力はミズメ 20 kg/cm^2 、スギ 10 kg/cm^2 に一定して圧縮し、かつ、他方塗付量を $0.022/\text{cm}^2$ で一定し圧縮力を変え、ミズメ 10 kg/cm^2 、 2 kg/cm^2 、スギ 5 kg/cm^2 、 2 kg/cm^2 で接着したものを 30°C 恒温室で 20 時間硬化せしめた後、所定の試験片を各

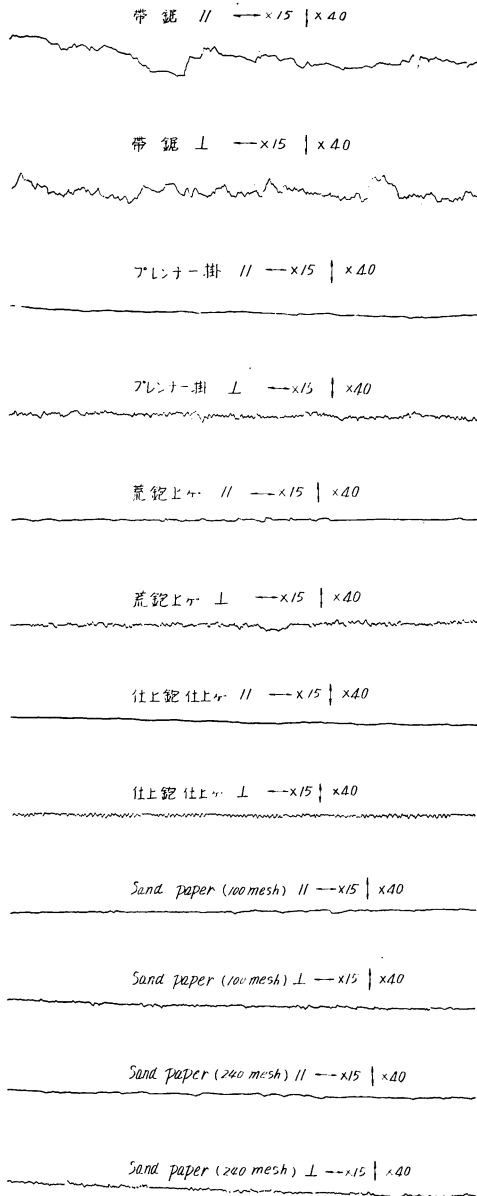


Fig. 14 スギ接着試験片の面の粗さ
The roughness of adhesion surface
of Sugi test pieces

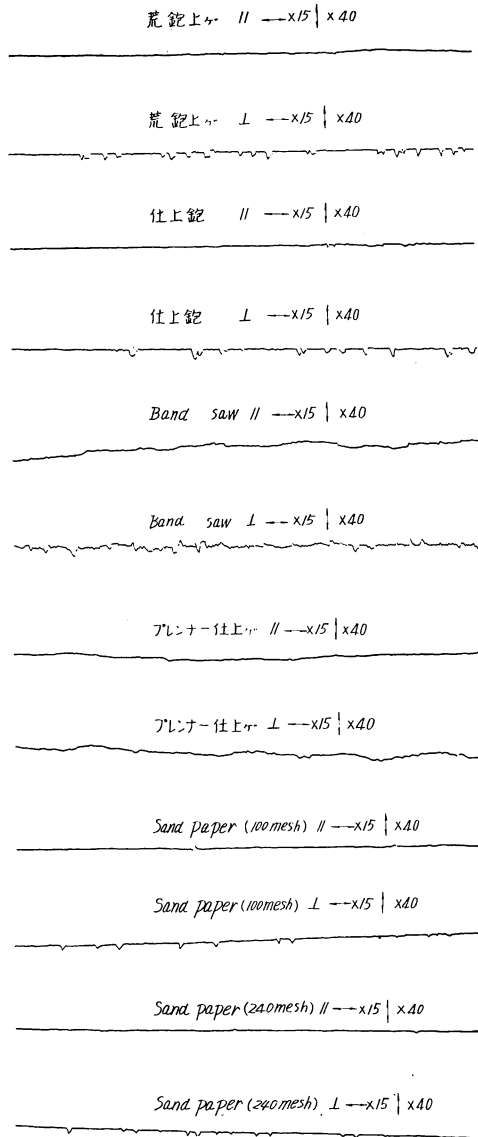


Fig. 15 カバ接着試験片の面の粗さ
The roughness of adhesion surface
of Kaba (Birch) test pieces

条件ごとに 20 個採取し接着力試験を行つたものである。

この試験結果を示すと Table 26 のとおりであつて、接着面の粗さ別に塗付量を増加させた場合には塗付作業は容易であるが、接着力は粗さによる差異はほとんど認められず、つぎに塗付量を一定して圧縮力を変えた場合においては塗付作業は面の荒い Band saw にて鋸断したものにははなはだ困難であつて、この結果塗付量を一定としたため接着剤が不足して接着不良となり接着力は低下している。

Table 26. 被接着材面の粗さ別接着性能 (尿素樹脂接着剤)
The adhesion quality of various roughness of adherent surface by urea formaldehyde resin adhesive

樹 種	Species	圧縮力 Pressure	kg/cm^2	Makaba						Sugi						Hinoki				Akagashi	
				20		10		2		20		10		2		10		2		20	
表面前処理別 Various surface Pre-treatments	接着力と木部破断率 Adhesion strength and wood failure			接着力	木 部	接着力	木 部	接着力	木 部	接着力	木 部	接着力	木 部	接着力	木 部	接着力	木 部	接着力	木 部	接着力	木 部
				Adhe- sion stren- gth	破断率 Wood fail- ure	Adhe- sion stren- gth	破断率 Wood fail- ure	Adhe- sion stren- gth	破断率 Wood fail- ure	Adhe- sion stren- gth	破断率 Wood fail- ure	Adhe- sion stren- gth	破断率 Wood fail- ure	Adhe- sion stren- gth	破断率 Wood fail- ure	Adhe- sion stren- gth	破断率 Wood fail- ure	Adhe- sion stren- gth	破断率 Wood fail- ure	Adhe- sion stren- gth	破断率 Wood fail- ure
				kg/cm^2	%	kg/cm^2	%	kg/cm^2	%	kg/cm^2	%	kg/cm^2	%	kg/cm^2	%	kg/cm^2	%	kg/cm^2	%	kg/cm^2	%
帯鋸で鋸断のままの材 Saw by band saw	Max.			175.6	100	172.9	100	156.8	100	87.4	100	77.1	100	66.4	100	99.8	100	124.7	100	234.1	20
	Min.			141.2	70	131.6	60	96.0	50	52.9	100	60.9	100	59.4	100	44.5	100	45.2	100	195.3	5
	Mean			152.5	96	155.1	85	120.5	77	74.1	100	69.8	100	64.0	100	78.3	100	73.9	100	196.9	18
プレーナー掛した材 Planed by planner	Max.			201.8	100	203.3	100	194.6	100	85.5	100	78.5	100	76.5	100	113.9	100	103.4	100	214.1	90
	Min.			141.4	90	160.4	100	187.6	100	63.2	90	57.9	100	68.8	100	67.0	100	73.2	100	189.1	50
	Mean			175.8	99	180.1	100	182.7	100	73.0	94	67.2	100	70.1	100	92.7	100	91.4	100	199.0	65
荒鉋をかけたもの Planed by rough hand planner	Max.			186.0	100	195.8	100	189.4	100	85.1	100	81.7	100	95.9	100	113.1	100	113.0	100	221.0	100
	Min.			118.8	70	162.7	90	165.9	90	65.0	100	63.6	100	78.3	100	81.4	100	75.6	100	174.0	70
	Mean			153.4	91	181.7	98	177.1	97	71.4	100	72.0	100	85.0	100	97.5	100	91.8	100	200.1	89
仕上鉋をかけたもの Planed by finish hand planner	Max.			178.8	100	195.7	100	200.1	100	82.8	100	84.3	100	89.1	100	122.8	100	125.2	100	239.1	100
	Min.			153.9	100	156.4	80	178.4	70	45.6	100	71.6	100	61.3	100	93.1	100	87.6	100	168.3	70
	Mean			171.5	100	170.4	92	186.3	92	62.8	100	78.8	100	70.5	100	114.1	100	108.3	100	214.6	86
100 メツシュのサンド ペーパーで磨いた材 Sanded by 100 mesh sand paper	Max.			205.4	100	174.2	100	197.3	100	84.2	100	73.9	100	86.5	100	132.7	100	108.4	100	252.6	100
	Min.			152.7	100	119.2	70	163.7	90	69.4	90	31.3	100	67.4	100	95.0	100	78.8	100	174.8	50
	Mean			172.9	100	156.8	86	186.4	98	73.5	96	54.3	100	75.8	100	111.2	100	92.9	100	216.8	85.5
200 メツシュのサンド ペーパーで磨いた材 Sanded by 200 mesh sand paper	Max.			199.0	100	202.1	100	188.2	100	83.9	100	80.9	100	86.1	100	118.7	100	112.9	100	253.0	100
	Min.			146.4	100	159.9	100	153.0	90	38.7	60	58.1	100	54.2	100	86.5	100	70.9	100	195.9	70
	Mean			173.5	100	187.0	100	171.7	98	65.2	95.5	65.4	100	74.6	100	91.5	100	91.2	100	236.3	91

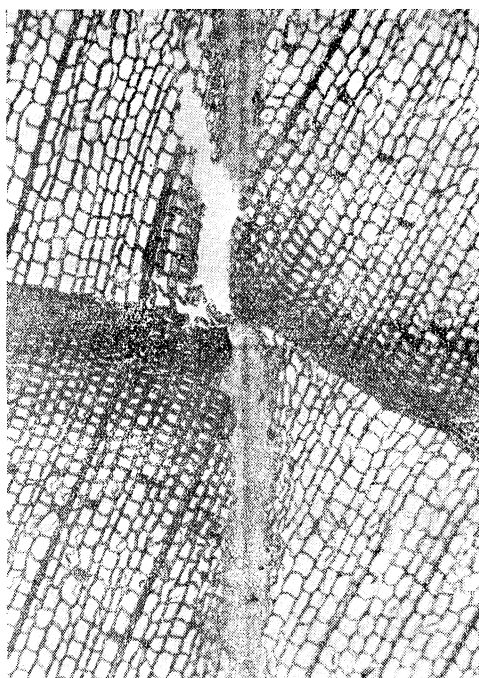


Fig. 16 プレンナー掛け材を Urea formaldehyde resin adhesive により接着 (スギ)
Adhesion of adherent planed by planner
by urea formaldehyde resin adhesive

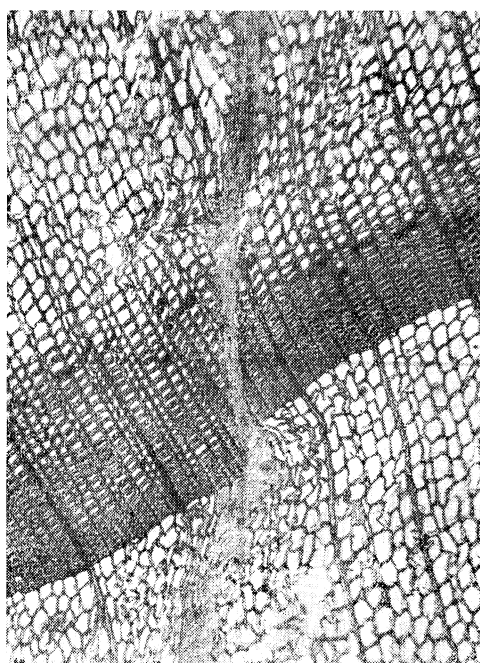


Fig. 17 仕上鉋掛け材を Urea formaldehyde resin adhesive により接着 (スギ)
Adhesion of adherent planed by finish
hand planner by urea formaldehyde
resin adhesive

投着力が効果的に働くものとすれば Fig. 14 および Fig. 15 にみられるごとく Band saw による処理面を接着したものは、接着力および木部破断率には差異がないはずであるが、実験効果からスギ材を除き他のヒノキ、マカバ、アカガシのいずれも接着力が低く、木部破断率の小なる点から、かかる大なる凹凸はむしろ接着には悪作用をきたしているものと考えられる。

スギでは F_{10} が小なるため面処理による影響が表われないので、さらに F_v および F_c の小なる尿素樹脂接着剤を用いて実験を行つたが、木部破断率が若干低い程度にて接着力には影響があまりみられなかった。

VIII 接着時の含水率^{15) 16) 19) 20) 21)}

樹木が生育中に樹体に含有する水分量は、重量比含水率にて 40~200%¹³⁾ に達し、これら水分は細胞内腔および細胞間隙に存在している。生材中における含有水分量の増減は樹体の各部により異なり、辺材は心材より、春材は秋材より一般に含水率は大きい。

したがって、木材の接着に関して、接着剤と材の含有水分量との関係、接着力との関係など木材性質の物理的性質を支配する含有水分を変え接着してからの接着された材の含有水分による接着力との関係をみるためにつぎの状態において試験を行つたものである。第一は接着時の材の含有水分と接着力との関係、第二は接着された材の含水率を変え、接着力との関係をみるため、試験時の含水率別接着力に分けて、ここではまず第一について報告する。

1. 素材の接着

使用樹種は本邦産，マカバ，スギ，桧目材を取り，これを種々の関係湿度の恒温恒湿槽中に 60～90 日間放置し，含水率を 0～25% の間を 7 段階に規整した後接着剤キゲタライム No. 102 を使用して所定塗付量，圧縮力で接着し 5～25 日間放置して気乾状態になるをまつて，含水率 13～14% の F.P.L 剪断型試験片を採取し，20 ton 木材強度試験機で常温で行った試験である。

この試験結果によると接着着力は含水率が 5～10% 内

外で接着した場合に最高を示し，含有水分が増加すると急激に低下する。含水率が 20～25% では接着剤硬化に長時間を要する。含水率が 0% 内外では接着剤の塗付によつて材の水分吸収による膨張が生じ，材の狂いが広葉樹では顕著である。したがつて，水分量が大となれば接着剤の完全硬化が長期化することなどによる接着剤の物理的，化学的变化と，水分のきわめて少ないときの急激に一方に接着剤塗付による膨

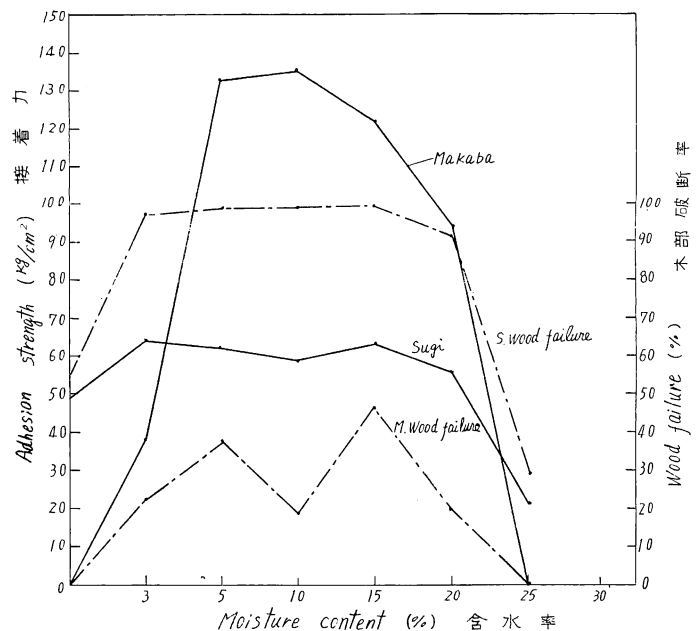


Fig. 18 接着時の含水率と接着性能との関係
The relation between the moisture content at adhesion and the adhesion quality

Table 27. 接着時の含水率別接着力および木部破断率
The relation between moisture content and adhesive strength, wood failure

樹種 Species	接着時含水率 Moisture content at adhesion %		0.1	2.9	5.1	10.2	14.8	19.8	24.7
Sugi	接着力 Adhesion strength kg/cm²	Max.	66.8	79.7	67.9	73.4	84.0	63.8	32.6
		Min.	35.5	54.5	54.7	38.8	45.3	40.2	13.7
		Mean	49.1	64.3	62.4	59.7	63.0	55.7	21.7
	木部破断率 Wood failure %	Max.	70	100	100	100	100	100	50
		Min.	30	80	90	95	95	70	10
		Mean	55	97.2	99.4	99.4	98.9	92.5	29
Makaba	接着力 Adhesion strength kg/cm²	Max.	0	64.5	175.8	182.4	164.5	128.1	0
		Min.	0	12.9	86.9	63.4	92.0	47.6	0
		Mean	0	38.7	132.5	135.7	122.4	94.6	0
	木部破断率 Wood failure %	Max.	0	40	90	40	70	30	0
		Min.	0	5	10	50	5	20	0
		Mean	0	22.5	37.7	17.5	26.0	26.0	0

脹による反り振れなどの材の狂いなどが、原因になつて接着力は低下する。

Table 28. 接着時の単板含水率と接着力および木部破断率との関係²³⁾
The relation between the moisture content of veneer at adhesion and the adhesion quality

含水率 Moisture content %		0.6	4.3	4.8	7.6	8.4	10.2	12.1	13.8	15.0	16.1	19.7	21.0	32.0
接着力 Adhesion strength kg/cm ²	Max.	24.0	28.6	31.8	33.9	33.8	34.4	33.4	32.3	31.4	26.6	23.5	20.0	0
	Min.	18.6	16.6	21.1	24.6	28.6	29.1	21.8	16.3	18.7	16.5	9.8	12.8	0
	Mean	21.7	24.6	26.1	28.1	31.0	32.0	29.4	25.9	25.5	20.8	18.8	15.6	0
木部破断率 Wood failure %	Max.	60	100.0	100	100	100	100	100	98	40	95	100	0	0
	Min.	1	85	98	90	90	90	65	0	5	0	5	0	0
	Mean	26.7	97	99.5	95.6	95.6	96.1	91.7	41.1	61.4	18.3	41.7	0	0

Ⅱ 試験時の木材含水率

接着時の含水率が接着力および木部破断率に対していかなる影響をおよぼすかについて研究を行い、素材の接着においては 5~10% 内外において最高を示し、単板の接着においては 8~12% の範囲に最高を

Table 29. 試験時の含水率と接着力および木部破断率との関係
The relation between the moisture content of test pieces and the adhesion quality at adhesion testing

樹種 Species		接着力と木部破断率 Adhesion strength and wood failure	0.2 %	2.8 %	4.9 %	9.8 %	14.8 %	20.3 %	25.6 %
Sugi	接着力 Adhesion strength kg/cm ²	Max.	69.6	69.6	104.7	70.8	83.5	61.3	64
		Min.	46.4	54.4	45.9	59.6	51.7	49.4	46.5
		Mean	60.6	63.1	67.1	67.3	69.6	56.8	55.9
	木部破断率 Wood failure %	Max.	100	100	100	100	100	100	100
		Min.	100	100	90	90	70	90	90
		Mean	100	100	98.8	98.8	95	98.3	98.3

Table 30. 試験時の含水率と接着力および木部破断率との関係
The relation between the moisture content of test pieces and the adhesion quality at adhesion testing

樹種 Species		接着力と木部破断率 Adhesion strength and wood failure	0.3 %	3.0 %	5.1 %	10.1 %	15.2 %	20.5 %	25.4 %
Makaba	接着力 Adhesion strength kg/cm ²	Max.	190.7	218.7	211.4	208.4	190.3	113.8	108.7
		Min.	101.3	140.5	134.3	162.9	152.5	81.4	70.3
		Mean	146.4	179.7	182.6	190.2	174.7	94.3	92.0
	木部破断率 Wood failure %	Max.	100	100	100	100	90	100	100
		Min.	70	20	50	30	40	5	5
		Mean	83.3	62.8	85.0	62.5	63.3	35.0	36.3

示す結果を得たが、被接着材の含水率 10~11% において接着した後に含水率を 0~25% の各段階にもたらし、接着性能がいかに変化するかを調査した。

1. 素材の接着

接着剤は U. R. (キゲタライム No. 104) を用い、硬化剤は NH_4Cl 20% 溶液を U. R. に対し 5% 添加、塗付量は 0.022 g/cm^2 を両面にそれぞれ塗付し、圧縮力はスギに対し 10 kg/cm^2 、マカバに対し 20 kg/cm^2 、圧縮時間は $28\sim 30^\circ\text{C}$ 恒温室にて 20 時間、除圧後 96~192 時間室温にて放置し、F. P. L 型接着力試験片木取り、含水率が 0, 3, 5, 10, 15, 20 および 25% になるごとく恒温恒湿室に 30° において規正し、試験機により剪断力を測定した。その結果は Table 29 および Table 30 に示すとおりである (Fig. 19 参照)。

2. 合板

使用単板はカバ 1.5 mm 3 ply で含水率 10~11.8% の単板を使用し、下記の接着剤を使用し、塗付量 Solidite No. 1 および Urea resin は 40 g/尺^2 Casein glue および Soybean glue は 45 g/尺^2 で塗付し圧縮力松田製作所 37 ton press (cold press) を使用して、 10 kg/cm^2 で圧縮し圧縮時間 20 時間、Solidite No. 1 のみ除圧後 80°C で 2 時間熱処理し、いずれも 1 週間放置後合板規格に基いて合板引張型試験片を採取し、この試験片を恒温恒湿槽中に放置して所定の含水率とした後、アムスラー型合板引張試験機にて接着試験を行つたものである。

接着剤

a) Solidite No. 1

(三井化学製)

粘 度 15.9
resin 率 64.6%
比 重 1.11
表面張力 95.32
滲潤能率 6.6
硬化剤 10% 添加

b) Urea resin

(キゲタライム)

粘 度 10.62
resin 率 69.75%
比 重 1.32
表面張力 75.49
滲潤能率 9.383
硬化剤 20% Sol (塩化

アンモニヤ) 5% 添加

c) Casein glue 配合

Casein 100 部
NaOH 11 "

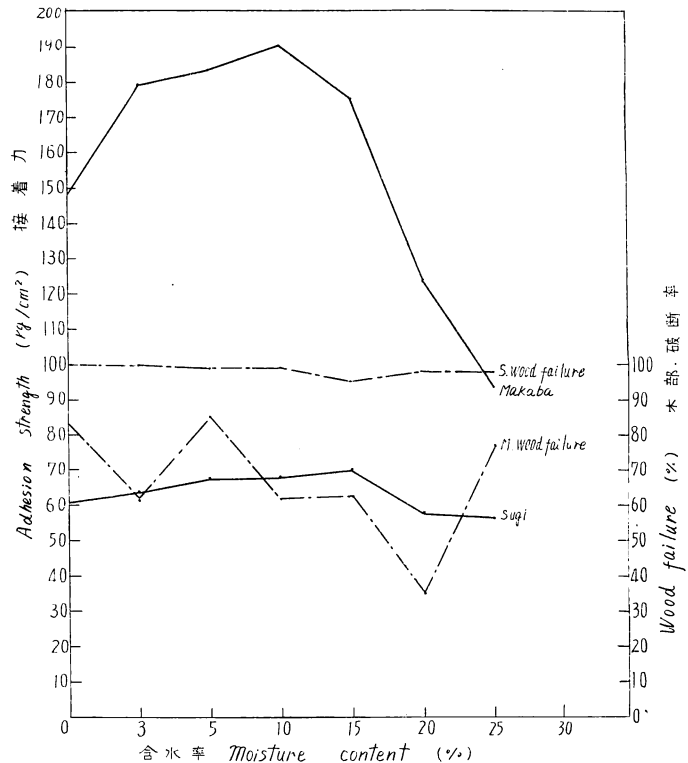


Fig. 19 含水率と接着力および木部破断率との関係
The relation between the moisture content of test pieces and the adhesion quality at adhesion testing

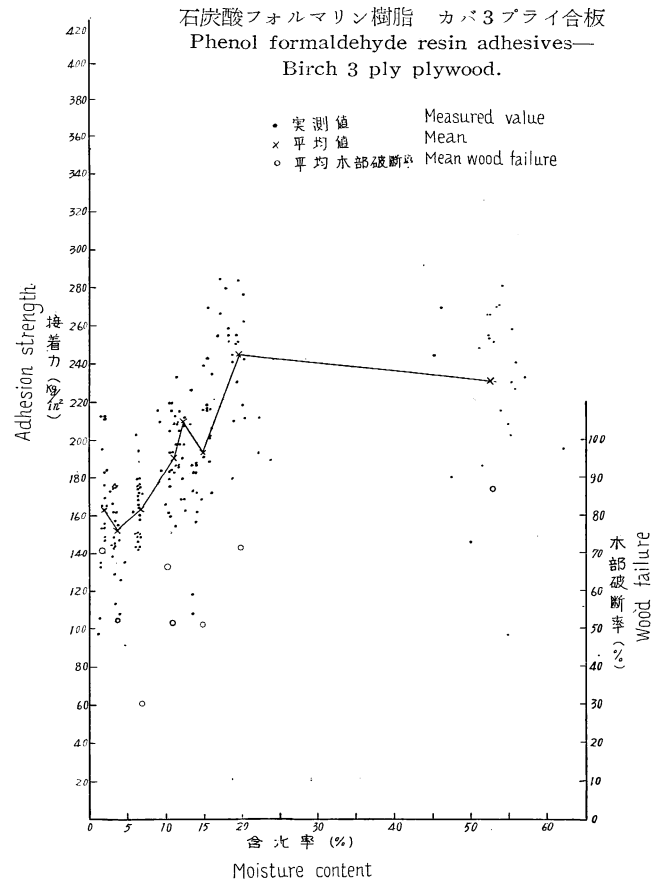


Fig. 20 石炭酸ホルマリン樹脂接着剤による試験時の含水率と接着性能との関係
The relation between the moisture content at adhesion testing and the adhesion quality by phenol formaldehyde resin adhesives

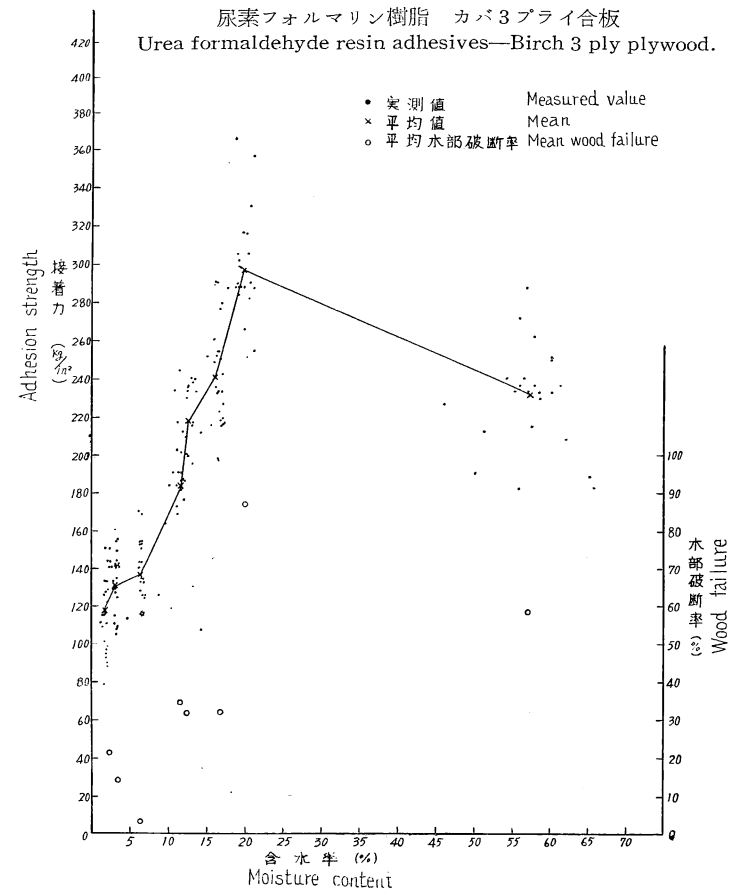


Fig. 21 尿素ホルマリン樹脂接着剤による試験時の含水率と接着性能との関係
The relation between the moisture content at adhesion testing and the adhesion quality by urea formaldehyde resin adhesives

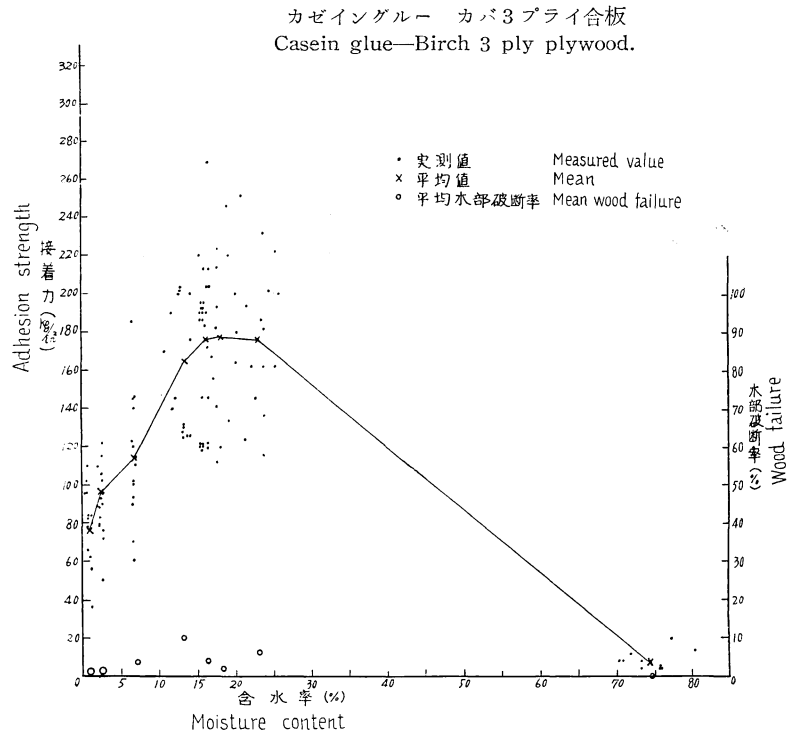


Fig. 22 カゼイングルーによる試験時の含水率と接着性能との関係
The relation between the moisture content at adhesion testing and the adhesion quality by casein glue

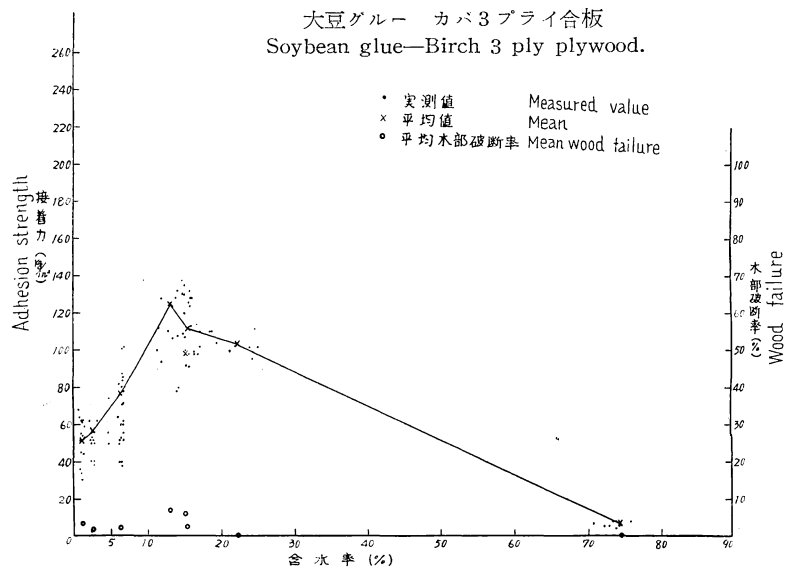


Fig. 23 大豆グルーによる試験時の含水率と接着性能との関係
The relation between the moisture content at adhesion testing and the adhesion quality by soybean glue

Ca(OH)₂ 20 部 H₂O 300 部

d) Soybean glue 配合

Soybean flour (Benzene ext.) 100 部 Ca(OH)₂ 15 部

NaOH 8 “ H₂O 350 “

試験はすべて常態接着力である。

この試験結果を示すと Fig. 19, Fig. 20, Fig. 21, Fig. 22 および Fig. 23 のとおりにしていずれの接着剤においても 10~20% が最高を示し、これを各接着剤についてみると Solidite No. 1, Urea resin においては含水率 0% から上昇し 20% で最高を示し、含水率が 50~70% におよんで P. R. はゆるやかに低下し、U. R. においては P. R. より急激に低下する。大豆グルーおよびカゼイングルー耐水性がきわめて不良なため 10~15% で最高を示し、含水率の増加にともなつて急速に低下する。したがつて、耐水性の不良な接着剤においては特に含水率が最大の影響を及ぼし、ブロック接着の場合より多少最大点がずれているのは合板を構成する単板が、単板製作時に生ずる割れ、面の荒さなどの素材より均一でなく、しかも狂いの内部応力が単板の厚さが薄いために影響は少ない。したがつて、材質の影響そのものより硬化した接着剤の耐水性に支配されると思われる。

含水率—接着力の傾向としては、ブロックの接着力と含水率との関係とほとんど同一傾向を示し、含水率の接着力に及ぼす影響は大きく、10~20% における接着力が最高である。

X 繊維走向度と接着面とのなす角

木理通直の材とは主たる構成要素の繊維の方向が樹幹の軸に平行しているもので、この木繊維、その他の配列状態によつて、強度性能に関係して影響し、繊維方向に対し平行また垂直、あるいは任意の角度をもつて荷重をかけた場合にその繊維走向度と荷重方向とのなす角度によつて同一木材においても種々なる値を示す(第 1 報参照)¹⁾。したがつて木材の接着においても、平行または垂直、あるいは任意の角度をもつて接着した場合、繊維の方向によつて接着力がいかに変化するかということを研究するために行つた試験である。

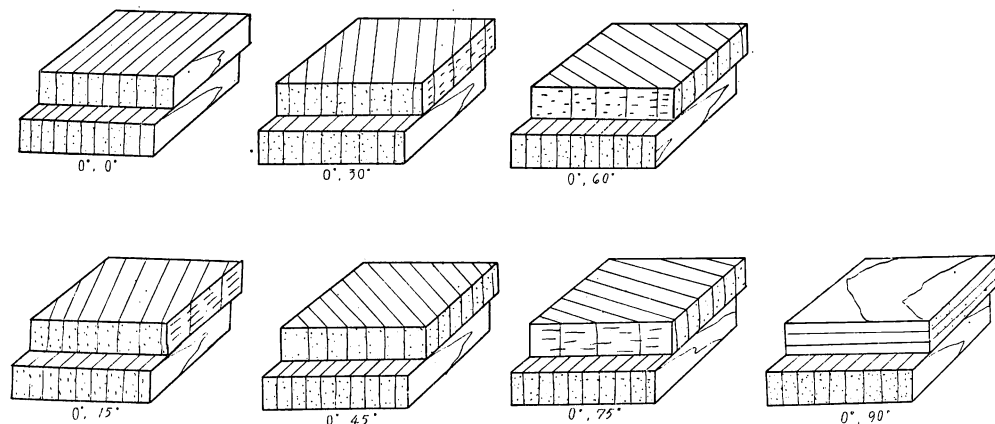


Fig. 24 繊維走向度が水平的に異なる組合せ

The combination of angle between the grain direction and adhesion surface
(in the case, change for horizontally)

使用樹種は針葉樹においては秋田県産のスギ材 (全乾比重 0.344, 含水率 11.57%), 広葉樹はフィリッピン産白ラワン (全乾比重 0.526, 接着時含水率 12.49%) 材を使用し, その材の繊維が, 接着面に対して水平的に変化する場合, すなわち繊維走向度が接着面と垂直的に異なる場合の接着力との関係に分けて実験を行つた。

なお, 白ラワンを供試材とした理由は, それが立地条件の特殊性により顕著なる年輪層を形成していないからである。

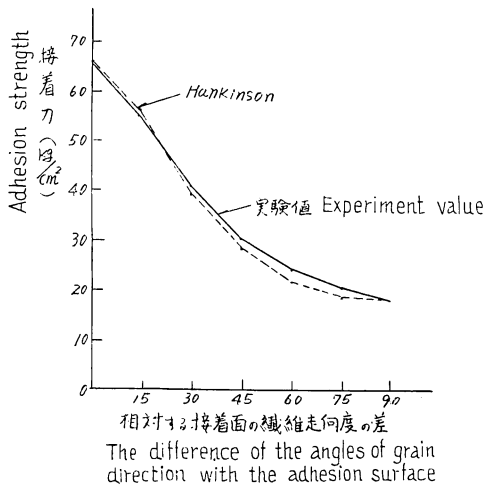


Fig. 25 スギの繊維走向度と接着面との角と接着力との関係 (水平的に異なる場合)

The relation with the angles between the grain direction and adhesion surface, and the adhesion strength (in the case, change for horizontally) of Sugi

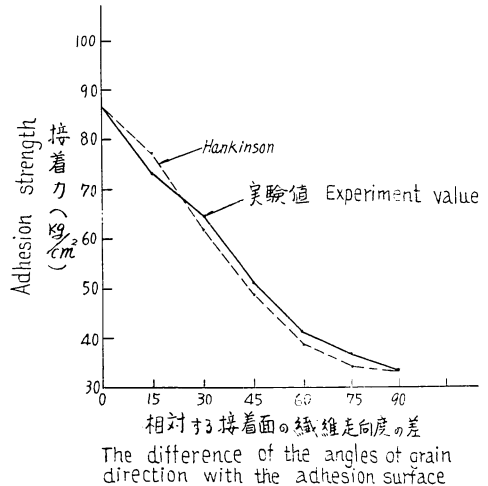


Fig. 26 White lauan の繊維走向度と接着面とのなす角と接着力との関係 (水平的に異なる場合)

The relation with the angles between the grain direction and adhesion surface, and the adhesion strength (in the case, change for horizontally) of white lauan

a) 繊維走向度と接着面となす角が水平的に異なる場合

上述のラワンおよびスギ材を使用して Fig. 24 に示すように木繊維が樹幹の軸に平行なる場合を 0° とし, 繊維走向度を変え $15^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ, 75^\circ, 90^\circ$ の材を別図のように組み合わせ, 接着剤は日本化工材製ケタライム (No. 102) を原液のまま使用し, 圧縮力はいずれも毎平方厘 10 kg , 塗付量の試験片を採取し接着力試験を行つたものである。

この試験結果を示すと Table 31 および Fig. 25, 26 であつて, 接着力も 0° と 0° 組合せの時が最高の接着力を示し, 繊維方向の一方が水平的に傾斜するにしたがつて低下し, 繊維方向が直角に交差するとき, すなわち 90° と 0° の場合において最低である。従来の研究結果によると接着力は木理直角の接着剪断強度は平行方向の $1/3$ になることになっているが, 0° と 90° などの角度のものについては研究結果が乏しい。 0° と 90° の時の接着力が判明しておれば HANKINSON の式が使える。素材の表面を仕上した場合の接着力は平行の場合 (0°) のすくなくとも $1/3$ であることが認められる。試験結果においては 90° における接着強度は 0° の場合の $1/3$ の値を示し, 広葉樹の年輪の影響のないラワンにおいては針葉樹 (スギ) とその軌を一にして HANKINSON の式に合致している。

Table 31. 繊維走向度が水平的にことなる場合の接着性能
The adhesion quality at the case the angle between the grain direction and
adhesion surface change for horizontally

樹 種 Species	繊維走向度の組合せ Combination of grain angle		0°~0°	0°~15°	0°~30°	0°~45°	0°~60°	0°~75°	0°~90°
	接着力と 木部破断率 Adhesion strength and wood failure								
Sugi	接 着 力 Adhesion strength kg/cm ²	Max.	78.3	63.5	53.6	43.8	35.1	35.8	30.7
		Min.	53.8	40.2	35.3	21.8	16.7	15.0	14.0
		Mean	65.1	54.9	40.6	30.2	24.5	20.4	18.0
	木 部 破 断 率 Wood failure %	Max.	100	90	100	60	40	30	50
		Min.	70	20	30	5	5	5	10
		Mean	89.3	62.3	54.0	45	30	24.0	32.5
ハンキンソンの公式による計算値 Calculated values by HANKINSON formula		65.6	55.6	39.3	28.1	21.9	18.8	18.0	

Table 32. 繊維走向と接着面とのなす角が水平的にことなる場合
The adhesion quality at the case the angle between the grain direction and
adhesion surface change for horizontally

樹 種 Species		繊維走向度の組合せ Combination of grain angle		0°～0°	0°～15°	0°～30°	0°～45°	0°～60°	0°～75°	0°～90°
		接着力と 木部破断率 Adhesion strength and wood failure								
White lauan	接 着 力 Adhesion strength kg/cm ²	Max.	97.8	84.3	79.3	65.7	53.3	44.4	41.7	
		Min.	78.2	64.4	42.7	46.2	28.8	31.6	27.7	
		Mean	86.1	73.4	64.5	58.9	44.5	36.6	33.3	
	木 部 破 断 率 Wood failure %	Max.	100	90	100	80	40	40	80	
		Min.	70	30	20	40	5	5	30	
		Mean	88.9	51.1	59.0	67.0	28.0	21.0	51.0	
ハンキンソンの公式による計算値 Calculated values by HANKINSON formula			86.1	77.8	61.7	48.1	39.3	34.7	33.3	

なお、HANKINSON の実験式はボルト締めの場合に繊維走向度とボルト耐力との間に求められたもので
つぎのようなものである²³⁾。

$$\sigma_0 = \frac{\sigma_{\parallel} \sigma_{\perp}}{\sigma_{\parallel} \sin^2 \theta + \sigma_{\perp} \cos^2 \theta}$$

ここに

$\sigma_{\parallel}$: 重量が木理平行に加えられた場合の強度 $\sigma_{\perp}$: 荷重が木理直角に加えられた場合の強度

σ : 荷重が繊維走向度と θ をなす角をもつて加えられた場合の強度

ラワンおよびスギにおいても HANKINSON の式が最もよくあてはまることが Fig. 25, 26 により示さ
れる。A. M. MCLEOD および W. A. SANBORN²⁴⁾ らの研究においては、広葉樹の場合は 0° の強度の

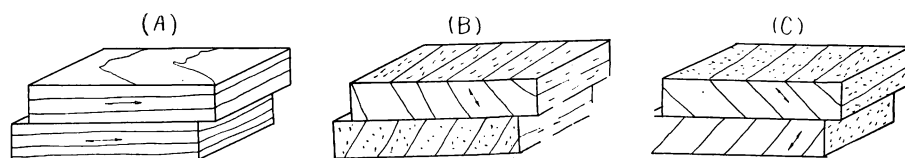


Fig. 27 繊維走向が接着面に対し交叉する場合

The case of the each grain direction crossed to the adhesion surface

1/2 以上となつてゐるが、本試験におけるラワンは針葉樹とその軌を一にしている。したがつて、広葉樹は1種類の実験結果から断定はできないが、必ずしも広葉樹といえども 1/2 になるとはかぎらない。これらの結果は将来各種の樹種について行わなければ一般性を欠くおそれがないとはいへない。0°~15° までの角度における接着力は平行方向の値とみて差しつかえない。

b) 繊維走向度と接着面となす角が垂直的に異なる場合

前述の a) と同様にスギおよびラワンに対して 0°, 15°, 30°, 45°, 60°, 75°, 90° の垂直的に木理傾斜角を有する材をそれぞれ同一角度をもつものどうしを前記同様条件において接着し試験したものである。

したがつて、同一組合せにおいても Fig. 27 に示すとおり接着した場合、木理方向が平行方向に平行に接着したときと、交叉して接着した場合により接着試験片を F. P. L 剪断形の試験片を製作した。その際に生ずる繊維方向（図A）になる場合試験は材の剪断力が接着力より弱いため接着層の破壊以前に繊維方向にそつて剪断破壊が生じ試験は不可能な状態に陥ちいる。しかも、（図B）における木繊維が直角方向においては接着試験片のいずれか一方の（繊維が接着層より そとに流れているとき）剪断破壊が生じ、Test がきわめて難しい。しかも平行方向の（垂直的）場合には、木繊維を接着層方向に流れるように試験片を取るによつてこの難点はさけられる。（図C）この反対の場合は針葉樹等の剪断力の弱いものは試験が不可能であつて広葉樹においては材の剪断力が強いいためのおそれは減少する。接着の組合せを示すと Fig. 28, 29, 30 のとおりである。

これらの欠点を除いて行つた接着試験の結果を示すと Table 33 のとおりであつて、木繊維が平行方向（垂直的）の場合と、交叉方向に接着した場合の接着力はほとんど大差なく、したがつて接着力は（0°~0°）柃目接着力が最高の値を示し、90°~90° の場合に最低で、しかも接着力は 0° の場合の接着力に対して 90° の場合は約 1/2 の値を示し、針葉樹（スギ）、広葉樹（ラワン）についてもいいうる。したがつて、前記 a) の場合におけるように 0° の接着力に対して各角度の値が一定の関係がないため HANKINSON の実験には適合しない。平行方向の場合にはラワンの場合、接着力が 0° から 60°~75° 辺において最低を示し 90° において高くなつてゐる。木部破断は角度によつて低下し木口面においてはほとんど 0 となる。この関係は直角交叉の場合も同様である。この場合も 0°~15° までの接着力は 0° の場合と差はない。したがつて、これまでの材の角度をもつものについては平行方向の場合と同一視してさしつかえない。a) の場合の接着力より一般に高い値を示していることが認められ、0° に対する角度をかえた a) の場合の接着より同一傾斜のものの方が接着は良好であることが認められる。

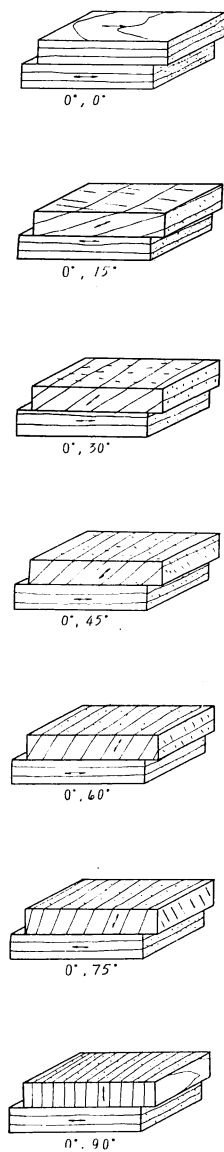


Fig. 28 被接着材の一方の
繊維走向が接着面に
傾斜する組合せ

The combination of the
one side grain direction
inclined to the adhesion
surface

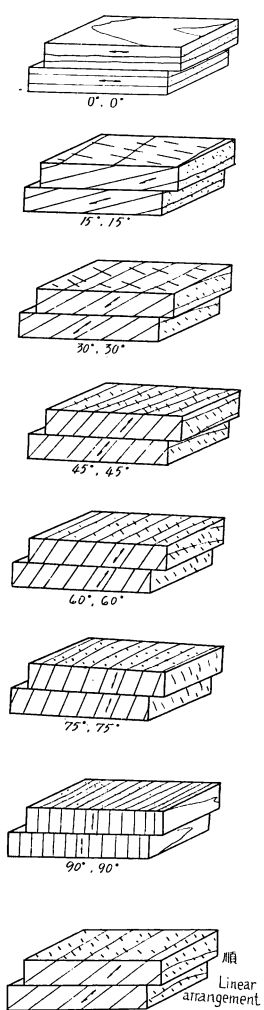


Fig. 29 繊維走向が接着面
に平行的に傾斜する
組合せ

The combination of the
each grain direction
parallel inclined to the
adhesion surface

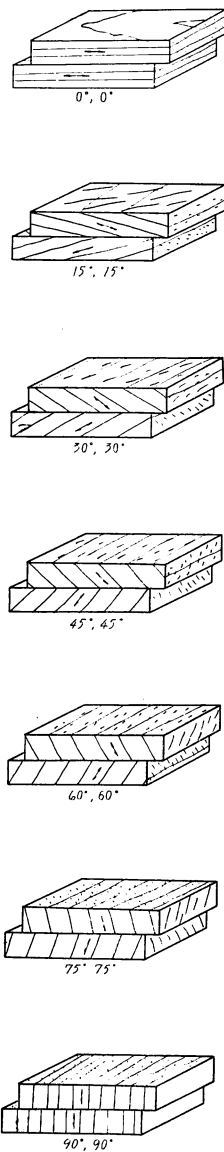


Fig. 30 繊維走向度が接着
面に交叉的に傾斜す
る組合せ

The combination of the
each grain direction
intersectly inclined to
the adhesion surface

Ⅺ 木材の欠点

(a) 節および櫛

節は木材を製材加工した時に材面に現われる枝条の痕跡であつて、その状態によつて生節（繊維が周囲

Table 33. 繊維走向と接着面となす角が、垂直的に異なる場合
(Fig. 28 の組合せの場合)

The adhesion quality at the case the angle between the grain direction and
adhesion surface change for perpendicularly
(the combination of Fig. 28 shown)

樹 種 Species	繊維走向度の組合せ Combination of grain angle		0°~0°	0°~15°	0°~30°	0°~45°	0°~60°	0°~75°	0°~90°
Sugi	接 着 力 Adhesion strength kg/cm ²	Max.	75.8	80.8	81.8	72.3	56.7	46.6	24.9
		Min.	57.9	31.5	20.1	25.6	22.5	17.7	13.9
		Mean	65.5	56.3	51.0	42.0	41.5	24.7	17.9
	木部破断率 Wood failure %	Max.	100	100	100	100	100	100	100
		Min.	95	80	50	60	60	70	50
		Mean	99	97.2	87	90	88	89	86
	試験時含水率 Moisture content at testing %	Max.	13.43	14.24	13.00	13.68	13.80	15.08	14.08
		Min.	12.54	13.10	12.54	12.66	12.98	13.14	11.43
		Mean	13.12	13.69	12.78	13.14	13.30	14.17	13.40
	接 着 力 Adhesion strength kg/cm ²	Max.	102.4	79.3	60.0	55.9	32.8	33.6	47.8
		Min.	70.7	53.8	25.6	17.0	17.7	18.3	25.5
		Mean	88.2	64.4	43.5	31.4	26.8	25.4	29.3
White lauan	木部破断率 Wood failure %	Max.	100	100	90	80	80	60	90
		Min.	20	30	20	30	20	10	50
		Mean	80.7	68.9	57.0	58.9	54.0	27.8	7.5
	試験時含水率 Moisture content at testing %	Max.	12.16	12.18	12.81	12.62	13.64	12.98	14.03
		Min.	11.52	11.68	10.98	11.75	11.93	12.10	12.88
		Mean	11.83	11.92	12.08	12.29	12.48	12.66	13.35

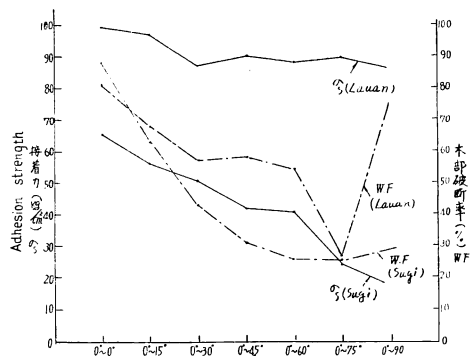


Fig. 31 Fig. 28 の組合せの場合の接着性能
The adhesion quality at the combination
(Fig. 28) of the one side grain
direction inclined to the
adhesion surface.

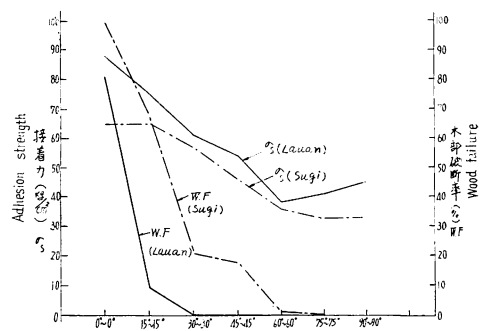


Fig. 32 Fig. 29 の組合せの場合の接着性能
The adhesion quality at the combination
(Fig. 29) of the one side grain
direction inclined to the
adhesion surface.

の材と連絡しているもの), 死節(繊維が周囲の材と連絡しないもの), 抜け節(死節が抜け落ちたもの),
腐れ節(腐れを伴ったもの), 丸節(材面に円形に出たもの), 流れ節(材面に斜に長い形状を示すもの),

Table 34. 繊維走向が接着面に対し交叉する場合 (Fig. 30 図の組合せの場合)
The adhesion quality at the case the each grain direction intersect the adhesion surface (the combination of Fig. 30 shown)

繊維走向度の組合せ Combination of grain angle			0°~0°	15°~15°	30°~30°	45°~45°	60°~60°	75°~75°	90°~90°
樹種 Species	接着力 Adhesion strength kg/cm ²	Max.	75.8	73.5	65.1	53.2	60.0	63.8	39.4
		Min.	57.9	45.6	44.5	44.5	31.7	27.7	28.6
		Mean	65.5	63.1	53.0	48.8	49.6	41.2	33.7
	木部破断率 Wood failure %	Max.	100	100	10	10	3	6	20
		Min.	95	0	5	0	0	0	0
		Mean	99	51.1	7	2	0.3	0.9	2
	試験時含水率 Moisture content at testing %	Max.	13.43	13.72	16.00	14.44	13.14	13.31	14.96
		Min.	12.54	11.46	12.94	12.54	12.07	12.50	12.93
		Mean	13.12	12.95	13.52	13.19	12.59	12.77	13.97
White lauan	接着力 Adhesion strength kg/cm ²	Max.	102.4	94.0	89.8	81.6	73.9	76.6	51.8
		Min.	70.7	67.0	65.3	54.8	51.4	35.2	36.0
		Mean	88.2	82.0	80.8	73.7	64.0	57.7	45.8
	木部破断率 Wood failure %	Max.	100	100	5	0	0	0	0
		Min.	20	0	0	0	0	0	0
		Mean	80.7	11.5	1	0	0	0	0
	試験時含水率 Moisture content at testing %	Max.	12.16	12.92	13.35	13.23	14.03	12.60	14.87
		Min.	11.52	11.55	11.69	12.21	12.55	11.28	13.74
		Mean	11.83	12.00	11.18	12.62	13.35	12.26	14.29

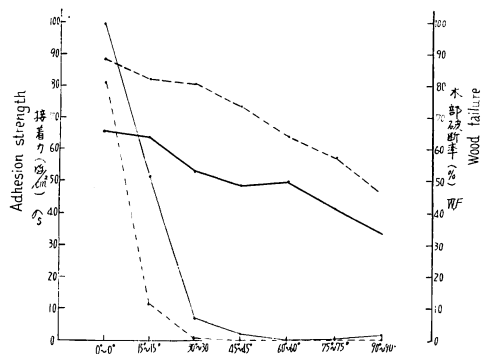


Fig. 33 Fig. 30 の組合せの接着性能
The adhesion quality at the combination
(Fig. 30) of the each grain direction
intersectly inclined to the
adhesion surface.

隠れ節（表面に見えない節）等があり、これらの節はいつも樹木の成育中に生じた、枝条の状態および育林の方法によってそれぞれ異なつたものであり、節の存在のため、節の周囲および枝条の下側が、異状発達して檔材を形成する一部の原因をなし²⁵⁾、木材加工上きわめて多くの支障を来たすため、しかもすべての樹種に生じる一般的欠点であり、しかも節は多量の樹脂分等を含有して濃色な硬化した部分となつている。また檔材は樹木の各部の異常成長材で正常材に比し色濃く、セルローズ少なくリグニンが多くなつて重硬な材となり、そのため材は随く縦方面の収縮がはなはだしく、したがつて、正常材と共存すると著しい狂い

と材の靱性を阻害し、針葉樹においては樹幹の傾斜下面、枝条の下面などはその反対側に比し異常に多く成長して檔を形成する。広葉樹では針葉樹と全く反対側に生ずる。檔材の特性を正常材と比較した研究は既往の文獻²⁵⁾にあり、しかも強度および膨脹収縮がきわめて大きいことは周知の事実であつて、これら多

くの欠点をもつ節材、櫓材が正常材とともに共存して利用されるのが実際である。したがってこれら木材の大きな欠点を伴う材を接着に使用した場合に接着性能にいかに関係し、節および櫓の存在が接着性能の低下をもたらし直接原因になるかどうかを目的として研究を行つたしだいである。

使用樹種はスギの節材を片面に、両面は正常材を使用して、尿素ホルマリン樹脂により接着を行い、しかるのちに前記同様に試験したものであつて、節の面積が接着面積を占める割合により約 10%, 20%, 40%, 60%, 80%, に区分して測定したものである。

その実験結果を示すと Table 35 のとおりであつて、試験の結果、節の部分は接着されていないのが大部分であることは注意すべき事項である。それは節の表面への F_r が小さいことを示すものである。正常材が節 10~20% を含むものより接着力小なる原因は節の部分は接着していても節の周囲が、節の影響を受けて異常に発達して、リグニンの多い、重硬な櫓材となつて影響し、いいかえると櫓材の $F_{1/2}$ は正常材の $F_{1/2}$ よりも大なるため、しかも接着面積平均の F_r および F_c が $F_{1/2}$ および $F_{1/2}$ より大なるため正常材より大なる接着力を示すものと思われる。したがって、接着に当つて節を 10~20% 含む材は正常材よりも高い値を示すが、節の面積が大になるにしたがつて急速に接着力は低下して行くことは明らかに認められ、節の部分はいつれの材も樹脂その他の含有が著しく接着力はきわめて悪い。したがって、節を 10~20% 含む材は接着力がかえつて正常材より高くなり節の材は強度を高める作用を与えるが、節が 30%以上になるにしたがつて低下し、100%においては接着は極めて不良となることが認められる。広葉樹にみられる櫓材は重硬のため比重も正常材より一般に高く接着力もしたがって高い値を示している。

Table 35. 節材および櫓材の接着性能
The adhesion quality of the wood include knot and compression wood

$\frac{\text{節面積 Knot area}}{\text{接着面積 Adhesion area}} \times 100$ 接着力と木部破断率 Adhesion strength and wood failure		正 常 材 Normal wood %	10%	20%	40%	60%	80%	櫓 材 Com- pression wood
接 着 力 Adhesion strength kg/cm^2	Max.	78.2	95.2	96.5	84.0	96.1	72.4	106.3
	Min.	67.7	61.7	64.1	51.3	35.5	31.7	87.9
	Mean	73.2	83.7	78.8	67.8	64.5	55.1	95.2
木 部 破 断 率 Wood failure %	Max.	100	100	100	95	100	100	100
	Min.	100	80	20	30	30	20	100
	Mean	100	89.4	92.5	68.5	64.3	50.5	100

(b) 入 皮

入皮は樹木の生育中外傷その他の原因で生じる利用上の欠点であつて、これが存在することによつて木材接着強度がいかに関与され変化を受けるかを研究するため行つた試験である。

使用樹種は年輪幅 0.1cm, 全乾比重 0.369, 含水率 11.26%の秋田スギにある入皮材についてキゲタライムを使用して前記同様の接着試験を行つたものである。これらの試験結果は Table 36 のとおりで、入皮分布面積が高い程度着力は低下する。

(c) 落 込

落込は木材の乾燥方法を誤つた場合に種々の材の損傷を生ずるものの一つで、落込は乾燥中に木材の細胞の一部が歪み扁平につぶされ、板の横断面でその一部が凹む。その成因については TIEMAN²³⁾ によ

Table 36. 入皮材の接着性能
The adhesion quality of ring gall wood

正 常 材 と 入 皮 材 Normal wood and ring gall wood		正 常 材 Normal wood	入 皮 材 Ring gall wood
接着力と木部破断率 Adhesion strength and wood failure			
接 着 力 Adhesion strength	kg/cm ²	Max.	95.8
		Min.	62.3
		Mean	83.6
木 部 破 断 率 Wood failure	%	Max.	100
		Min.	90
		Mean	98.5
絶乾比重	Specific gravity of oven-dry	g/cm ³	0.369
年 輪 幅	Width of annual ring	cm	0.1

れば、繊維飽和点以上の水分を含む細胞は水分が、細胞壁の小孔のところで一種の張力を生じながら蒸発する。細胞内腔の水分が減じて生じた空隙にこの張力に打勝つて水蒸気や空気が浸入しなければ、水分の減じた容積だけ外力により潰されて落込になる。したがって、正規の収縮ではない。落込の生ずるおそれのあるのは水分の張力が細胞壁の変形に対する抗力以上になった場合、すなわち高温により細胞壁が柔軟になった場合に多く生ずる。この落込を生じた木材はその部分は硬直し、比重も高くなり正常材との間に多くの差異を生ずる。したがって、木材利用上鋸断および鉋がけなどに支障をきたす欠点であるが、この落込材が、接着力にいかん影響するかを研究するため行つた試験である。

使用樹種は全乾比重 0.595, 含水率 11.09%, のナラの柾目の落込材を使用して前記同様に接着試験を行つたものである。

この試験結果を示すと、Table 37 の通りであつて、落込によつて比重が上昇し、正常材（全乾比重 0.543, 含水率 11.23% の接着力）柾目では 98.7 kg/cm², 97.5% 板目では 130.7 kg/cm², 木部破断率 100% を示すに対して落込材 140.8 kg/cm², 木部破断率 85% を示しており落込によつて比重が増大するにともなつて接着力は正常材より一般的に高い値を示すことが認められる。両者いずれも木部破断率が

Table 37. 落 込 材 の 接 着 性 能
The adhesion quality of collapse wood

正 常 材 と 落 込 材 Normal wood and collapse wood		正 常 材 Normal wood	落 込 材 Collapse wood
接着力・ 木部破断率・含水率 Ad. strength wood failure and moisture content			
接 着 力 Adhesion strength	kg/cm ²	Max.	106.2
		Min.	91.9
		Mean	98.7
木 部 破 断 率 Wood failure	%	Max.	100
		Min.	90
		Mean	97.5
含 水 率 Moisture content	%	Max.	12.79
		Min.	9.78
		Mean	11.73

高く F_{11} によつて接着力が決定されたと考えられ、真の接着力が高いとはいえない。

Ⅲ 摘 要

Ⅰ. 木材の材質がその接着性能にいかなる影響を及ぼしているかを、最近急激に発達した合成樹脂系接着剤を主体とし、さらに接着機構の立場から解明につとめるとともに、本邦産主要樹種の接着性能について、はじめて分類を試みたしである。

Ⅱ. 辺材および心材 針葉樹材においては、辺材が心材より接着力はやや大なる傾向を示し、広葉樹材においてはその間に差異が認められないが、増量尿素樹脂接着剤においては、辺材と心材との間にかなりあきらかな差異が見られる (Table 2~3 参照)。

Ⅲ. 年輪密度 針葉樹材においては、年輪密度の高い材が比重に比例して高い値を示す。

この関係からは $\sigma_u = 182 r_{15}$ なる関係に従うようであるが、それは接着剤として尿素樹脂を用いるために、スギ材材では $F_V > F_C > F_W$ なる関係から、木材の凝集力が weakest link であるためである (Table 4~5 および Fig. 3~4 参照)。

Ⅳ. 秋材面積率 木材の接着面に現われている春秋材の占有面積を対象として、接着面に現われている秋材面積が全面積に対する割合を秋材面積率と称し、秋材面積率別に接着し春秋材と秋材別の接着性能を初めて求めた。

スギ春秋材部分の接着力 σ_{SP} は $51.1 \sim 56.8 \text{ kg/cm}^2$ 、秋材の接着力 σ_{SR} は $24.4 \sim 30.4 \text{ kg/cm}^2$ なることが判明した (Table 8~10 参照)。

Ⅴ. 比 重 本邦産の主要樹種について、他の条件は可および的に均一にし、素材および単板を使用して接着剤別に接着して接着力試験を行つた。尿素樹脂接着剤により接着した場合の比重との関係は次の実験式により示される。

$$\sigma_{U \cdot R} = 182 \gamma_{15} \dots \dots \dots (1)$$

$$\sigma_{U \cdot T} = 194 \gamma_{15} \dots \dots \dots (2)$$

$$W \cdot F_{U \cdot R} = -66 \gamma_{15} + 124 \dots \dots \dots (3)$$

$$W \cdot F_{U \cdot T} = -91 \gamma_{15} + 141 \dots \dots \dots (4)$$

次に、石炭酸樹脂接着剤、メラミン樹脂接着剤、カゼイン接着剤、大豆グルーについての実験式は次のとおりである。

$$\sigma_{P \cdot R} = 189 \gamma_{15} \dots \dots \dots (5)$$

$$\sigma_{M \cdot R} = 190 \gamma_{15} \dots \dots \dots (6)$$

$$\sigma_{C \cdot R} = 199 \gamma_{15} \dots \dots \dots (7)$$

$$\sigma_{S \cdot R} = 153 \gamma_{15} \dots \dots \dots (8)$$

以上の実験結果から、合成樹脂接着剤に対する主要樹種の接着性能を Wood hand book¹³⁾ と同様に分類した。

(Ⅰ) 接着条件の範囲にて容易に接着可能なもの

モミ (1), トドマツ (2), シラベ (3), ヒノキ (5), サワラ (6), スギ (7), エゾマツ (9),
トウヒ (10), ツガ (15), ホノノキ (26), ドロノキ (27), キリ (31)

(Ⅱ) 適当な接着条件において満足な接着がおこなえるもの

タイワンヒノキ (4), カラマツ (8), アカマツ (11), ヒメコマツ (12), クロマツ (13), ヒバ (14), イタヤカエデ (16), トチノキ (17), マカバ (19), カツラ (20), ブナ (23), オニグルミ (24)

(Ⅲ) 注意深く接着条件を定めてはじめて良好な接着がおこなえるもの

イスノキ (22), シナノキ (28), ヤチダモ (29), ハリギリ (30), ミズナラ (32), ハルニレ (33), ケヤキ (34), アカガシ (35), スダジイ (36)

(Ⅳ) 特別な処理をしなければ, 良好な接着がおこなえないもの

クスノキ (21), タブ (25)

なお樹種の次の括弧内数字は第 1 報³⁾ と関連した樹種番号である (Table 11~15, Fig. 5~12 参照)。合成樹脂系接着剤により異樹種について接着を行つた結果は Table 16, 17 に示したとおりであつて低比重材の接着性能により決定されることが判明した。つぎに単板の接着を行つた。供試樹種は, 合板として重要な広葉樹材 8 種, 針葉樹材としてヒノキおよびアカマツの 2 種計 10 種, 測定結果は Table 19~22 にあるように比重との間に直線的傾向がある。

VI. 接着面が年輪となす角

木理方向により柁目材, 板目材, 追柁材等を生じ, 木材の年輪および繊維の走向によつて木材の接着強度がいかに影響を受けるかを研究するために行つた。供試材は Table 23 に示すように組合せて行つた。試験結果は Table 24 のとおりであつていづれの組合せでも差異がない, これは木部破断 (100%) に示すとおり木材剪断強度となつているため真の接着力ではない。Fc および Fr の小なる増量尿素樹脂を用いてスギおよびマカバ材を接着した結果は Table 24, 25 のとおりである。接着力と木部破断率の間に顕著な影響はみられない, 接着面が年輪となす角により差異はほとんどないと思われる。

VII. 接着材面の粗さ

使用樹種は本邦産マカバ, スギ, ヒノキ, 柁目材を用い鋸断のままのもの, プレーナー掛け, 荒鉋がけ, 仕上げ鉋がけ, 240 mesh および 100 mesh でサンディング処理したものをを用い, その面の粗さは触針仕上面試験機で測定しその結果は Fig. 14, 15 のとおりである。接着力試験の結果は Table 26 にあるように面の粗さ別に塗付量を増加した場合は差異は認められないが塗付量を一定した場合においては面の粗いほうが接着不良となつてくる。

VIII. 接着時の含水率

木材の接着に関しては接着剤と材の含有水分量, 接着力との関係等木材性質の物理的性質を支配する含有水分量を変え接着力に及ぼす影響について試験を行つた。マカバ, スギ柁目材本邦産を使用し行つた結果接着力は含水率が 5~10% 内外で接着した場合最高を示し含水率が高くなるにしたがい低下する。含水率が 0% 内外では接着剤の塗付により材の水分吸収によつて材の狂いが広葉樹では顕著である。含有水分量が大なれば Fr が著しく低下する, 接着剤の物理的・化学的变化と含水率のきわめて低い場合, 接着剤塗付によつて材の狂いなどが原因により接着力は低下する。試験結果は Table 27 のとおりである。

IX. 試験時の木材含水率

被接着材の含水率が 10~11% において接着し後含水率を 0~25% の各段階にして接着性能がいかに変化するかを試験した。

その結果は Table 29, 30 に示すとおりである。単板の場合は狂いの内部応力が単板の厚さが薄いた

めに影響は少ない，材質の影響そのものより硬化した接着剤の耐水性に支配されると思われる。

X. 繊維走向度と接着面となす角

繊維走向度と接着面となす角が接着力にいかに関係するかと云うことを研究するために行つた。

a) 繊維走向度と接着面となす角が水平的に異なる場合。

この試験結果は HANKINSON の式 $\sigma_0 = \frac{\sigma_{\parallel} \sigma_{\perp}}{\sigma_{\parallel} \sin^2 \theta + \sigma_{\perp} \cos^2 \theta}$ によく合致することを見出した。

b) 繊維走向度と接着面となす角が垂直的に異なる場合。

a) の場合におけるように 0° の接着力に対して各角度の値が一定の関係がないため HANKINSON の式に適合しないことがわかつた。

XI. 木材の欠点

a. 節および櫓

試験結果，節の部分は F_r が小さいことが判明した，櫓材の $F_{tr'}$ は正常材の F_{tr} よりも大なるため，しかも接着面積平均の F_r および F_c が F_{tr} および $F_{tr'}$ より大なるため正常材より大なる接着力を示すものと思われる。したがつて，節を 10～20% 含む材は正常材よりも高い値を示すが節の面積が大になると接着力は低下する。

b. 入皮

入皮の分布面積が高いほど接着力は低下する。

c. 落込

落込によつて容積重が増大するに伴つて接着力は正常材より一般的に高い値を示したがいずれも F_{tr} が高くこれによつて決定されたと考えられる，真の接着力が高いとはいえない。

文 献

- 1) TRUAX, T. R.: The gluing of wood. U. S. Dept. Agr. Bull. 1500 (1929)
- 2) TRUAX, T. R.: Gluing wood in aircraft manufacture. U. S. Dept. Agr. Bull. 205 (1930)
- 3) KITAZAWA, G.: Syracuse Univ. Tech. Bull. 66 (1946)
- 4) PERRY, T.: Modern wood adhesives (1944)
- 5) HAGGLUND, E.: Chemistry of wood (1951)
- 6) 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 林業試験場研究報告 89 (1956)
- 7) 堀岡邦典: 材質改良に関する研究 第4報 接着層の形成について 林業試験場研究報告 89 (1956)
- 8) 堀岡邦典: 材質改良に関する研究 第1報 材質改良の基礎としての木材の性質について 林業試験場研究報告, 68 (1954)
- 9) 蕪木自輔: 木材々質の森林生物学的研究 第1報 野幌産トドマツ材の生材含水率，容積密度数及び収縮変形に関する春秋材部観察 林業試験場研究報告, 46 (1950)
- 10) FREEMAN, R. D., PETERSON, F. C.: Ind. Eng.-Chem. 13, (1941) p. 803
- 11) BERGIN, E. G.: Gluing characteristic of various Eastern Canadian Wood Species,

Canadian Wood worker (1953)

- 12) 堀岡邦典：材質改良に関する研究 第 5 報 接着性能測定法について 林業試験場研究報告 89 (1956)
- 13) Forest Products Laboratory: Wood hand book (1940)
- 14) 石部 修・脇田勝之：合成樹脂研究綜報 11 (1946)
- 15) 脇田勝之：木材の接着 (1947)
- 16) DELMONTE, J.: The technology of adhesives (1947)
- 17) KAUFERT, F.: Forest Products Lab. Mimeo. No. 1351 (1943)
- 18) MAXWELL, J. M.: N. Y. State College of Forestry, Tech. Publ. (1944)
- 19) REDFERN, D., FAWTHROP, B.: Pacific plastics, 3, 29 (1945)
- 20) Research and standards branch, Bureau of ships, Navy department: Wood: a manual for its use in wooden vessels (1945)
- 21) WILSON, T. R. C.: The glued laminated wooden arch, U. S. Dep. of Agr. Tech. Bull. 691 (1939)
- 22) 堀岡邦典・菅野襄作・堀池 清：合板に関する研究 第 3 報 尿素樹脂接着剤による耐水性合板について 林業試験場研究報告, 76 (1954)
- 23) SHOLTEN, J. A.: F. P. L. No. R 1202 (1946)
- 24) MCLEOD, A. M., SANBORN, W. A.: F. P. L. No. R 1308 (1948)
- 25) 尾中文彦：アテの研究 木材研究第 1 号 (1949)
- 26) 堀岡邦典・古瀬光弘：合板に関する研究 第 1 報 常温硬化石炭酸フオルマリン樹脂による完全耐水性合板について 林業試験場研究報告, 51 (1951)
- 27) 平井信二：木材工業, 5 (1950) p. 85
- 28) TIEMANN, H. D.: Wood technology (1944) p. 169

Research for the Improvement of Wood (Rep. No. 6)

Study on the properties of wood with special reference to its adhesion

Kunisuke HORTOKA

(Résumé)

I Introduction

In regard to the wood properties affecting adhesion, studies were made first by TRAUx and BROUSE, then J. DELMONT, R. A. G. KNIGHT, and others. And lately G. KITAZAWA has investigated the relation of specific gravity and adhesion strength. In Japan, only microscope observation has been done, and this by Katuzo WAKITA and some others. Subjects have been our important tree species, and the study about the wood properties affecting adhesion by synthetic resin adhesives, which although widely used, has been comparatively little investigated either at home or abroad. For the future prosperity of plywood and laminated wood, the investigations referred to above demand prompt and full consideration.

I have studied this project chiefly from the standpoint of the mechanism of adhesion, and results obtained are as follows.

II Heart wood and sap wood

We have investigated heart wood and sap wood, the relation between average width and the quality of adhesion. In soft wood, the adhesion strength of sap wood is more than that of heart wood (refer to Table 2~3).

III Average width of annual rings

The soft wood of narrow annual rings is stronger than that with the wide. From this reference, we assumed that the experiment formula of $\sigma_n = 182 r_{15}$ is right (refer to Table 4~5).

IV Percentage of summer wood area against the total area

We have investigate originally the relation between the adhesion quality and the percentage of summer wood area against the total area.

The adhesion strength of spring wood is $51.1 \sim 56.8 \text{ kg/cm}^2$, that of summer wood is $24.4 \sim 30.4 \text{ kg/cm}^2$ by the test pieces of Sugi (refer to Table 8~10).

V Specific gravity (refer to Table 11~22 and Fig. 5~12)

With a total of 37 comprising 34 of our important tree species, 1 grown in Taiwan, and 2 grown in the Philippines—we studied the adhesion strength and wood failure in the case of adhering blocks with urea-formaldehyde resin adhesive, and obtained the following experimental formula between them and air-dry specific gravity γ_{15}

Radial section	$\sigma_{n \cdot R} = 182 \gamma_{15}$
	$W. F_{n \cdot R} = -91 \gamma_{15} + 141$
Tangential section	$\sigma_{n \cdot T} = 194 \gamma_{15}$
	$W. F_{n \cdot T} = -66 \gamma_{15} + 124$

And with phenol resin adhesive, Melamin resin adhesive, casein glue, soybean glue and extending urea resin adhesive, we studied the ability of adhesion on representative

Table 38. Classification of various woods according to adhesion quality.

Group	Species No.	Species (Botanical and common name)	
I	1	Momi	<i>Abies firma</i> SIEB. et ZUCC.
	2	Todomatu	<i>Abies sachalinensis</i> FR. SCHMIDT
	3	Sirabe	<i>Abies Veitchii</i> LINDLEY
	5	Hinoki	<i>Chamaecyparis obtusa</i> ENDLICHER
	6	Sawara	<i>Chamaecyparis pisifera</i> ENDLICHER
	7	Sugi	<i>Cryptomeria japonica</i> D. DON
	9	Ezomatu	<i>Picea jezoensis</i> CARRIERE
	10	Touhi	<i>Picea jezoensis</i> CARRIERE var. <i>hondoensis</i> REHDER
	15	Tuga	<i>Tsuga Sieboldii</i> CARRIERE
	26	Hohonoki	<i>Magnolia obovata</i> THUNBERG
	27	Doronoki	<i>Populus suaveolens</i> FISCHER
II	31	Kiri	<i>Poulownia tomentosa</i> STEUDEL
	4	Taiwanhinoki	<i>Chamaecyparis formoensis</i> MATSUMURA
	8	Karamatu	<i>Larix Kaempferi</i> SARGENT
	11	Akamatu	<i>Pinus densiflora</i> SIEB. et ZUCC.
	12	Himekomatu	<i>Pinus pentaphylla</i> MAYR
	13	Kuromatu	<i>Pinus Thunbergii</i> PARLATORE
	14	Hiba	<i>Thujopsis dolabrata</i> SIEB. et ZUCC.
	16	Itayakaede	<i>Acer mono</i> MAXIMOWICZ
	17	Totinoki	<i>Aesculus turbinata</i> BLUME
	19	Makaba	<i>Betula Maximowicziana</i> REGEL
	20	Katura	<i>Cercidiphyllum japonicum</i> SIEB. et ZUCC.
III	23	Buna	<i>Fagus crenata</i> BLUME
	24	Onigurumi	<i>Juglans Allardiana</i> DONE var. <i>acuta</i> KOIDZUMI
	22	Isunoki	<i>Distylium rocosum</i> SIEB. et ZUCC.
	28	Sinanoki	<i>Tilia japonica</i> STONKAT
	29	Yatidamo	<i>Fraxinus mandshurica</i> RUPRECHT
	30	Harigiri	<i>Kalopanax pictum</i> NAKAI
	32	Mizunara	<i>Quercus crispula</i> BLUME
	33	Harunire	<i>Ulmus Davidiana</i> PLANCHON var. <i>japonica</i> NAKAI
IV	34	Keyaki	<i>Zelkova serrata</i> MAKINO
	35	Akagasi	<i>Cyclobalanopsis acuta</i> OERSTED
	36	Sudazii	<i>Castanopsis cuspidata</i> var. <i>SIEBOLDI</i> (MAKINO) NAKAI
	21	Kusunoki	<i>Cinnamomum camphora</i> NEES. et EBEN
	25	Tabu	<i>Machilus Thunbergii</i> SIEB. et ZUCC.

- Group I Woods that glue easily with different glues under a range of gluing conditions;
- Group II Woods that glue satisfactorily with different glues, and with moderate care in the gluing operation;
- Group III Woods that glue satisfactorily provided carefully controlled gluing conditions are applied;
- Group IV Woods that require special treatment before gluing to obtain the best results;

species. By adhering different species it was made clear that adhesion strength of low density wood is dominant. Next, having regard to the foundation of making plywood, we investigated the ability of adhesion of each species by adhering veneers of 10 kinds of species in common use with phenol resin adhesive, urea resin adhesive, casein glue and soybean glue. Using 37 species of heart-wood—34 of them being our important species, 1 of the species grown in Taiwan, and 2 of the species grown in the Philippines—we classified the ability of adhesion with synthetic resin adhesives on the Table 38.

VI Angles between the adhesion surface and annual rings (refer to Table 23~25)

It was made clear that there is little relation between angles between the adhesion surface, and annual rings and ability of adhesion.

VII Roughness of adherent surface

There is a palpable relation between roughness of adherent surface and ability of adhesion, and it was made apparent that on such rough surface as sawn surface by band saw, very poor adhesion is obtained when we take a spread rate of 20—25 g/ft², and if we use high density wood, the surface is smoother, the more superior the ability of adhesion it gets. (refer to Fig. 14~15, Table 26)

VIII The moisture content of the test piece at the time of the adhesion and its relation to the adhesion strength (refer to Fig. 18, Table 27~28)

We found in the test that the moisture content of the test piece at the time of adhesion and its relation to the adhesion strength shows the maximum at 8—12% of moisture content in either case of block and veneer.

IX The moisture content of the test piece at the time of adhesion test and its relation to the adhesion strength (refer to Fig. 19~23, Table 29~30)

In the block, the moisture content of the test piece at the time of adhesion test and its relation to the adhesion strength did not show much of a change at low density wood, but at high density it was apparent that they receive a notable influence from it. The reason is that internal stress of wood due to shrinkage and swelling of wood overcomes adhesion strength F_r or F_c , I think. In the case of adhesion of veneer, because of the thinness of veneer, internal stress due to the shrinkage and swelling of veneer is smaller, and different from the case of adhesion of block; it is controlled by the waterproof ability of adhesives, and it was verified that phenol resin adhesive is the superior.

X Angles between the grain direction and adhesion surface

For further analysis of the relation between angles between the grain direction and adhesion surface, and the ability of adhesion, we divided our study into two categories, as follows (refer to Fig. 24~33, Table 31~34):

(a) The case that angles between the grain direction and adhesion surface change horizontally.

In this case the experimental value is in conformity with HANKINSON'S formula, $\sigma_\theta = \frac{\sigma_{\parallel} \sigma_{\perp}}{\sigma_{\parallel} \sin^2 \theta + \sigma_{\perp} \cos^2 \theta}$, consequently we were able to ascertain that if we have the experimental value of parallel adhesion, we can get any angle of adhesion strength.

(b) The case that angles between the grain direction and adhesion surface change vertically.

In this case, it is clear that the experimental value does not fit HANKINSON'S formula.

XI The defects of wood (refer to Table 35~37)

Among the defects of wood, we studied how much influence is given to the ability of adhesion, comparing knot, ring-gall and collapse effects which caused by kiln drying.