

木材の横引張破壊に及ぼす接着層の影響*

作野友康**・佐々木光***

昭和 58 年 7 月 30 日受付

The Effect of Glue Lines on Fracture of Wood Specimens, in Tensile Tests Perpendicular to the Grain*

Tomoyasu SAKUNO** and Hikaru SASAKI***

We investigated the relationship between the point and frequency of failure and the tensile strength of specimens at these points of failure, in both glued and non-glued woods. Tensile tests were performed perpendicular to the grain. Test specimens included solid pieces of wood (*Agathis alba*) and glued wood in which the radial surfaces had been glued with five different type of adhesives. The tensile strength of these specimens was tested in a tangential direction, both under normal conditions and following heat treatments. The results from these experiments are summarized as follows :

1) Failures among the glued wood specimens were concentrated in and around the glue line. This tendency was most pronounced in heat treated specimens. In the case of the non-glued wood specimens, failures occurred within the parallel area of the specimens.

2) The tensile strength of wood specimens under normal conditions in the area where failure occurred around the glue line was higher than in those other areas which failed. From this it is apparent that the lowest tensile strength level around the glue line is higher than that of the adherent.

3) In the case of glued and heat treated wood specimens, the tensile strength in the area where failure occurred around the glue line was equal to or less than that of other areas which failed. These results indicate that the tensile strength around the glue line decreases following heating until its lowest level is about the same as or less than that of the adherent. The tensile strength of specimens glued with PVAc was highest, followed by UF and RF, in decreasing order.

緒 言

木材の接着接合部においては、接着部分の強度あるいは破壊状態が部材の利用上特に問題になるところである。

すなわち接合部が非常に弱い場合は、接着層あるいは木材と接着剤との界面で破壊するであろう。また、逆に接合部が非常に強い場合は、接着界面近傍に強度的に不連続な部分が生じて、その部分で破壊が生ずるものと考え

* 本報告は第 30 回日本木材学会大会 (1980 年, 京都) において発表した。

** 鳥取大学農学部林学科木材工学及林産化学研究室

Department of Forestry, Faculty of Agriculture, Tottori University

*** 京都大学木材研究所 木質材料部門

Research Section of Composite Wood, Wood Research Institute, Kyoto University

られる。

このように、接着接合部材において接着層付近の特定の個所で破壊が生ずる割合が常に高ければ、その部分がその部材の強度的に最も弱い個所となるであろう。このような観点から接着接合部材の破壊状態について詳細に検討することが必要である。さらに破壊面における接着剤の浸透状態などと合せて検討することによって接着機構解明の重要な手がかりとなるであろう。

このような目的にそった接着接合部の破壊について検討する試験方法としては接着層に垂直な荷重が負荷される場合が最適と考えられる。そこで本報では木材の横引張試験法に基づいた接着接合試験片と非接合試験片（素材）の引張破壊状態と引張強さを比較検討して、破壊に及ぼす接着層の影響について検討した。

実験方法

1. 供試材料および試験片

供試材としてボルネオ産のアガチス (*Agathis alba* Foxw) 板目板からできるだけ板面に対して年輪角が平行になっている部分を選び、7.5(T)×5(R)×20(L)cmの被着材を採取した。被着材のまま目面を5種類の接着剤で接着した。それぞれの接着ブロックより2×2×15cmの中央に接着層を持つ小片を作製した。素材についても

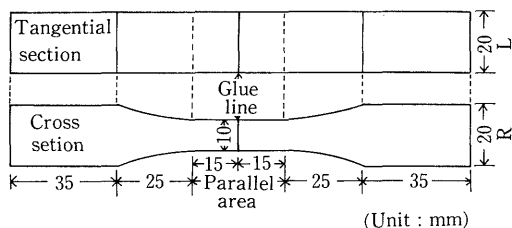


Fig. 1 Shape and size of test specimen

同様の小片を作製し、各接着剤毎に50個の小片を作製した。小片はFig. 1に示す形状・寸法になるようルータマシンで調整した。

なおこの試験片はJIS Z 2112木材の横引張試験法に規定されているものと同様である。

用いた接着剤はTable 1に示す通りである。接着条件は塗布量200 g/m² (片面塗布)、圧縮力8 kg/cm²、圧縮時間24時間で常温接着した。なお接着剤の配合はメーカーの指示通りにし、エポキシ樹脂 (II) はフレキシビリティを付与するためにポリサルファイドを添加した。

以下接着剤名は略号で示す。

2. 引張試験

素材および接着試験片各50個について常態並びに乾熱処理後に引張試験を行った。乾熱処理試験片は100°Cで40時間加熱後冷却したものである。なおEP-0及びEP-60で接着した試験片についてはこの処理を行わなかった。

引張試験は島津オートグラフIS-2000によって行い、クロスヘッド スピードは5 mm/分とした。

結果

1. 常態試験

引張試験を行った各試験片について、その破壊個所を検討するため接着層（素材試験片の場合は試験片中央）から破壊の生じた所までの距離を0.5mmの精度で測定した。その結果から破壊個所とその頻度及び引張強さとの関係について検討した。

1. 1 破壊個所とその頻度

素材試験片の常態試験における破壊個所とそれぞれの個所で破壊した試験片の個数割合をFig. 2に示す。中央部分 (0~0.5mm) で破壊したものが12%で、平行部分以外 (15mm以上、グラフの斜線部分) で破壊したものは10%

Table 1 Adhesives using this experiment

Type of adhesives	Abbreviation	Commercial name
Urea resin	UF	Oshika resin No. 105
Resorcinol resin	RF	Dianol No. 33
Polyvinyl acetate emulsion	PVAc	Bond CH-18
Epoxy resin (I)	EP-0	Araldite CY-230
Epoxy resin (II)	EP-60	Araldite CY-230 (100 parts) + Polysulfide (60 parts)

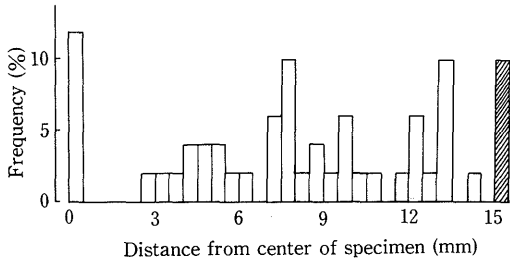


Fig. 2 The point and frequency of failure in non-glued wood specimens under normal condition
 ▨: Point of failure over 15mm

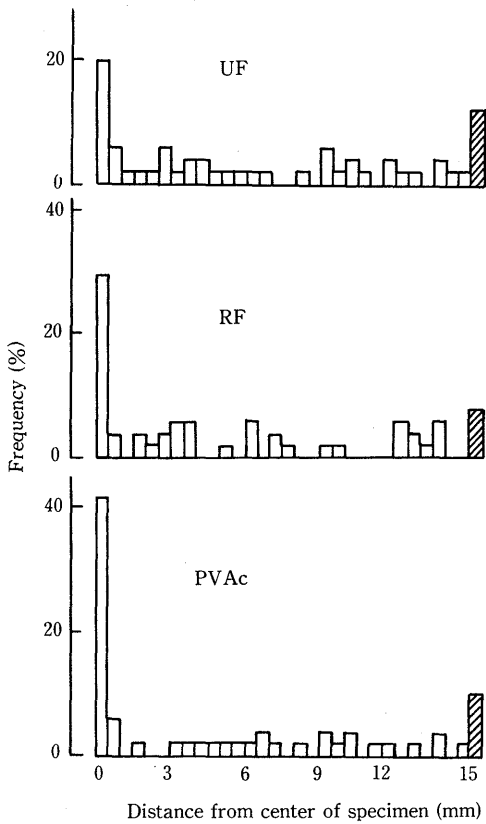


Fig. 3 The point and frequency of failure in glued wood specimens under normal condition
 ▨: Point of failure over 15mm

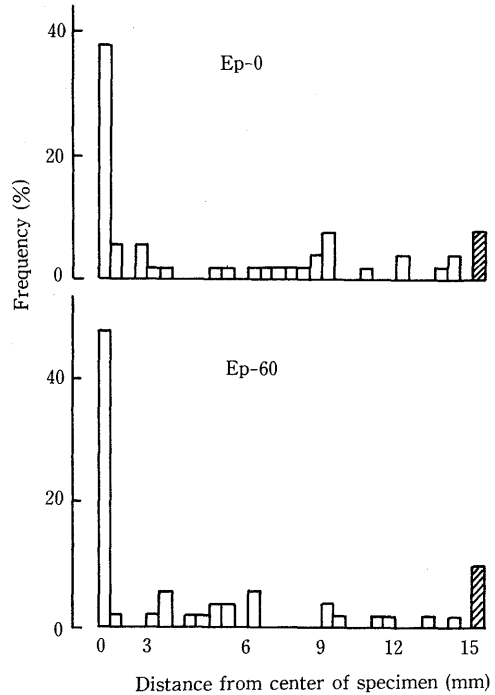


Fig. 4 The point and frequency of failure in glued wood specimens under normal condition
 ▨: Point of failure over 15mm

であった。その他はすべて平行部分の2.5~15mmの間で破壊しており、この間では7.5~8.0mmおよび13.0~13.5mmで10%の割合で破壊している。

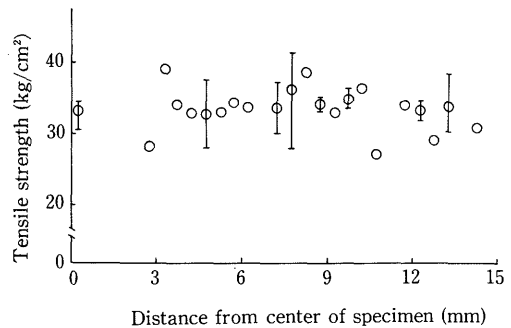


Fig. 5 The tensile strength of specimens at these points of failure in non-glued wood under normal condition

接着試験片についてはUF, RF, PVAcの場合をFig. 3に示す。いずれの接着剤を用いた場合ともほぼ同じ傾向を示し、接着層に近い部分(0~0.5mm)で多くの破壊が生じた。すなわち、その割合はUF:20%, RF:30%, PVAc:42%と高くなっている。その他の平行部分で破壊したものの割合はいずれも10%未満であり、平行部分以外での破壊も8~10%であった。EP-0及びEP-60の場合もFig. 4に示すように同様の傾向で、接着層付近の破壊がそれぞれ38%, 48%と高い値であった。

場合もFig. 4に示すように同様の傾向で、接着層付近の破壊がそれぞれ38%, 48%と高い値であった。

1. 2 破壊個所と引張強さ

Fig. 5に素材の引張強さを各破壊個所毎に示す。複数の試験片を含む場合はその平均値とそれぞれの最高、最低値の範囲を示した。いずれの破壊個所においても極端な値はなく、最高と最低の差が最も大きい場合で10kg/cm²であった。したがって破壊個所と引張強さとの間に一定の傾向は認められなかった。

接着試験片についてはUF, RF, PVAcの場合をFig. 6に示す。いずれの場合も破壊個所と引張強さとの間には一定の傾向は認められず、素材とほぼ同様の傾向を示した。破壊頻度の多い接着層付近で値のバラツキが比較的大きいが、引張強さの平均値はほとんど30~40kg/cm²の範囲であった。

EP-0及びEP-60についてはFig. 7に示すが、やはり同様の傾向であった。接着層付近での破壊頻度がPVAcと同様に50%近くに達したEP-60の場合も特に顕著な値は認められなかった。

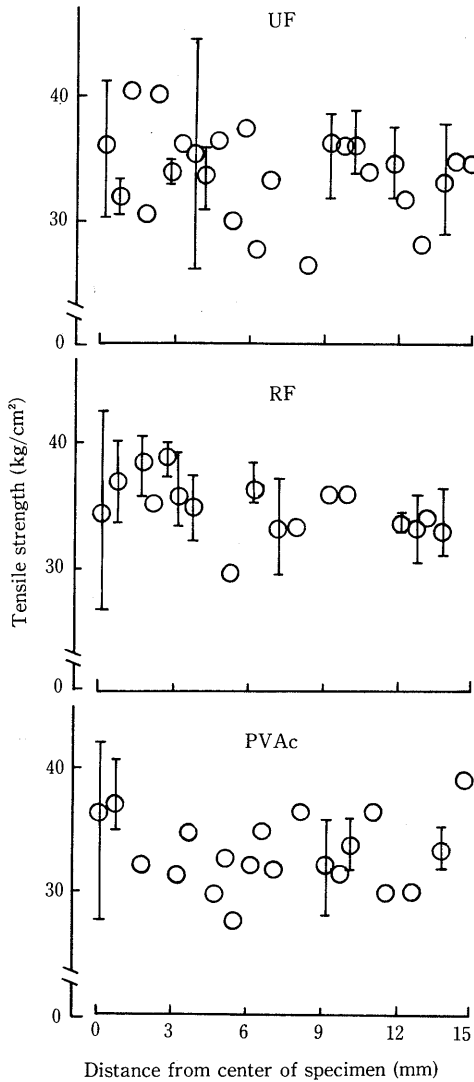


Fig. 6 The tensile strength of specimens at these points of failure in glued wood under normal condition

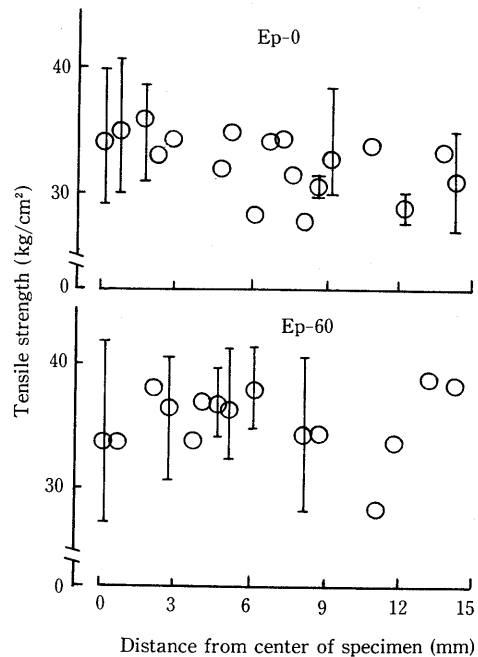


Fig. 7 The tensile strength of specimens at these points of failure in glued wood under normal condition

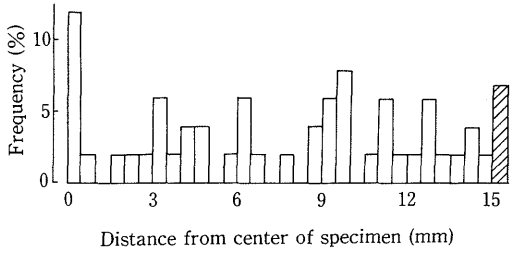


Fig. 8 The point and frequency of failure in non-glued wood specimens following heat treatment
 ▨: Point of failure over 15mm

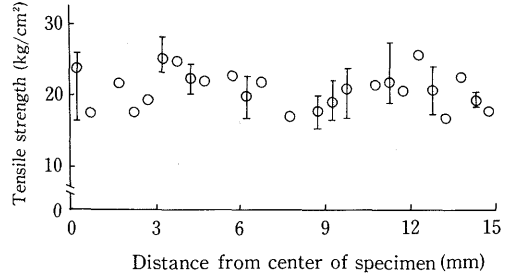


Fig. 10 The tensile strength of specimens at these points of failure in non-glued wood following heat treatment

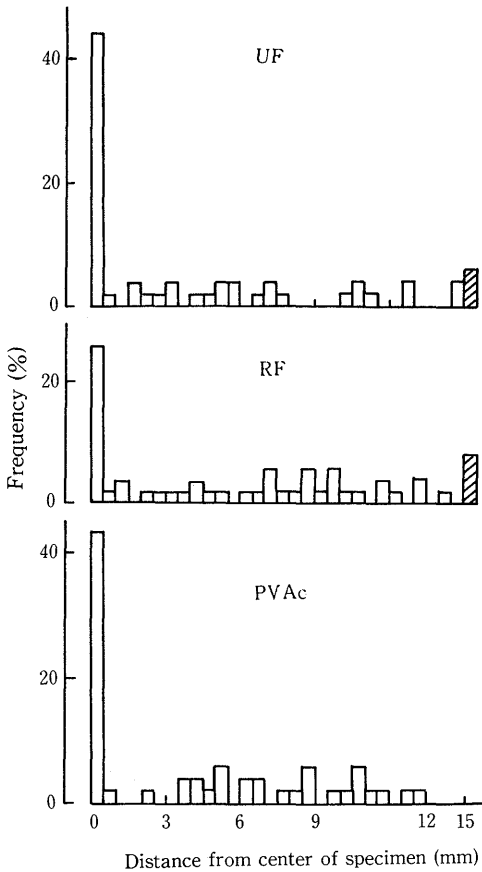


Fig. 9 The point and frequency of failure in glued wood specimens following heat treatment
 ▨: Point of failure over 15mm

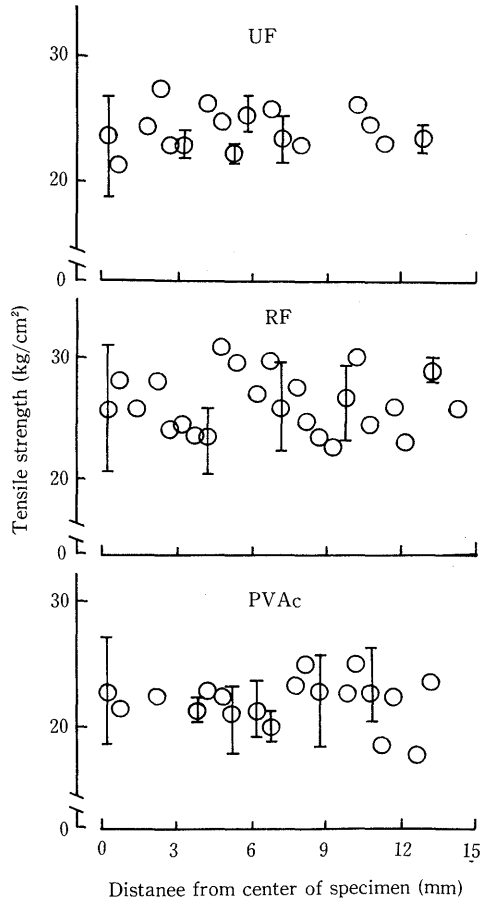


Fig. 11 The tensile strength of specimens at these points of failure in glued wood following heat treatment

2. 熱処理試験

2.1 破壊個所とその頻度

常態試験の場合と同様にして、素材についてはFig. 8に示す。試験片中央部分での破壊頻度は12%で常態の場合と同じであったが、他の平行部分ではいずれも6%以下でほぼ均等に破壊が生じている。

接着試験片ではFig. 9に示すように、接着層付近での破壊が多い。特にUFでは常態試験の場合より22%増加し、PVAcと同様に44%に達した。これに対してRFでは26%で常態試験に比べて低い割合となった。PVAcの場合、接着層付近での割合は常態とほとんど同じであったが、接着層から13mm以上の個所で破壊したものはなかった。

2.2 破壊個所と引張強さ

素材試験片についてはFig. 10に示す。いずれの破壊個所においても特に顕著な値はなかった。全体的に常態試験に比べて約10kg/cm²引張強さが低下したが、バラツキは少なかった。

接着試験片についてはFig. 11に示す。いずれも常態試験の場合より値は低下し値のバラツキは少なくなったが、破壊個所と引張強さとの間には特定の傾向は認められなかった。しかし、RFは引張強さの低下割合が小さく、逆にUF及びPVAcで大きくなった。すなわち、接着層付近

での引張強さは、常態試験に比べ、RFでは25%の低下であったが、UFでは35%、PVAcでは37%の低下が認められた。

考 察

試験片の各部分における破壊の割合とその部分の引張強さの平均値を総括してTable 2に示す。すなわち、試験片を接着層：A（試験片中央のみ）と平行部分：B（試験片中央より15mmの範囲でAを除く）、平行部分以外：Cに分け、さらにA+BをDとしてそれぞれの値を示した。

すべての場合にDで破壊したものが90%以上であり、ほとんどが平行部分で破壊しており、Cで破壊したものはわずか10%未満（5個以下）であった。引張試験片は本来Dの部分で破壊するような形状になっているが、Cの部分に試験片作製時に生じた欠点あるいは材自体が持っている欠点が存在する場合はこの部分で破壊するであろう。したがってその破壊頻度は接着層の有無にかかわらずいずれの場合もほぼ同一になっている。

大草²⁾の横引張試験片の応力解析によれば、平行部分の直線から円弧に移行する点の近傍では、かなりの応力集中があるので、この附近の破壊が平行部分での破壊に先行する可能性があるとして報告しており、この附近に欠点があれば破壊が生じやすい。平行部分については、Aで破

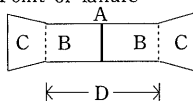
Table 2 The point and frequency of failure and the tensile strength of specimens at these point of failure

Point of failure*3	Nomal condition						Heat treatment			
	Non-glued wood	UF	RF	PVAc	EP-0	EP-60	Non-glued wood	UF	RF	PVAc
Parallel area (D)	9.0*1 (34.0)*2	9.0 (34.4)	9.2 (35.0)	9.0 (34.6)	9.2 (33.4)	9.0 (34.9)	9.4 (21.4)	9.4 (23.8)	9.2 (25.9)	10.0 (22.3)
Around the glue line (A)	8 (33.0)	2.0 (36.1)	2.6 (35.0)	3.4 (36.2)	3.0 (34.9)	4.6 (33.8)	8 (23.0)	4.2 (23.5)	2.4 (25.5)	4.0 (22.9)
Parallel area except A (B)	8.2 (34.0)	7.0 (34.0)	6.6 (34.9)	5.6 (33.7)	6.2 (32.6)	4.4 (36.1)	8.6 (21.3)	5.2 (24.0)	6.8 (26.0)	6.0 (21.9)
Non parallel area (C)	1.0 (33.7)	1.0 (35.7)	8 (34.9)	1.0 (29.4)	8 (31.1)	1.0 (31.6)	6 (18.7)	6 (23.3)	8 (25.2)	0 (-)

*1 Frequency (%)

*2 (): Tensile strength (kg/cm²)

*3 Point of failure



壊したものが素材では常態，熱処理とも8%であるのに対して，接着試験片では接着層附近での破壊頻度が高い。横引張破壊試験片の応力分布について，大草²⁾は応力解析の結果から試験片の中心軸で最小となり，外側に向って次第に大きくなっていき，この傾向は中心部から離れるにしたがって顕著になることを報告している。しかし，素材ではFig. 2で示したようにほぼ均等に破壊が生じており，また接着試験片でもA以外の部分ではほぼ均等に破壊している。なお，本実験においては，被着材に関する種々の因子ができるだけ影響しないよう考慮して，予備実験の結果から，材質変動の少ない被着材としてアガテス材¹⁾を選んだ。

接着試験片においてAの部分で多くの破壊が生じたが，その原因としては，1)欠膠の存在などによる接着不良，2)接着剤の硬化にともなう内部応力，3)接着層の劣化，4)接着層および接着剤の浸透によって強化された接着層近傍と被着材との強度的な不連続性，5)試験片作製時における刃物による接着層の損傷などの因子が考えられる。各試験片についてこれらのどの因子によるものかをそれぞれ明らかにすることはできないが，本実験では接着層あるいは界面の劣化の影響を検討するため熱処理を行った。その結果，常態試験に比べて熱処理後の試験ではUF及びPVAcのAの部分における破壊の割合が40%以上に達した。一方，RFでは常態試験の場合とほぼ同じ割合であった。このことから，接着層及び界面の劣

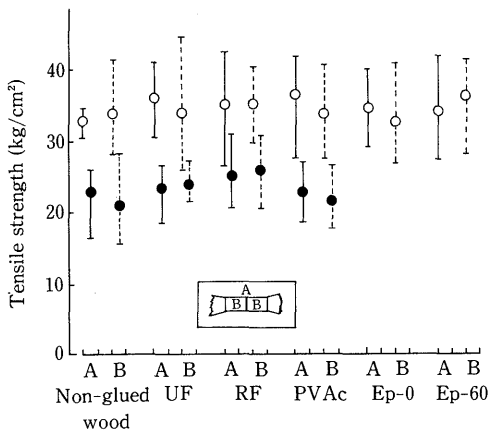


Fig. 12 The comparison of tensile strength of wood specimens in the area where failure occurred around the glue line (A) and in those other area which failed.
○ : Normal condition, ● : Heat treatment

化状態が破壊に大きく影響していることが明らかになった。さらに引張強さについてA及びBの平均値を比較して，Fig. 12に示した。常態試験ではEP-60以外の接着試験片の引張強さはいずれもAがBより高い値を示し，接着層の下限強度が被着材部の下限強度より強いことを示している。しかし，フレキシブルな接着層を有するEP-60では逆の傾向を示した。

熱処理によって，前述のように全体的に常態試験の場合に比べて約10kg/cm²低下して60~70%の値になった。Aの値がUFでは35%，PVAcでは37%常態時より低下しBより低下割合が大であった。一方，RFでは27%の低下にとどまり，Bより低下が少なかった。前述の破壊頻度の傾向と合わせて，UF及びPVAcの接着層が熱劣化していることは明らかである。

また，接着層の熱劣化と接着剤の浸透との関連についてモデル実験を行った結果³⁾UFはRFに比べて接着剤が多く浸透している部分ほど熱劣化が大きいことが明らかになった。

結 論

横引張試験における試験片の破壊に及ぼす接着層の影響について，5種類の接着剤を用いて接着した試験片と素材試験片を比較して，破壊箇所とその頻度及び引張強さとの関係を検討した。また常態と熱処理後の試験を行い熱劣化の影響についても検討した。実験の結果次の結論が得られた。

1. 接着層を有する試験片の破壊箇所は素材のそれとは異なり，接着層付近に集中する割合が多く，熱処理をした場合にはさらに顕著になった。
2. 常態試験では，破壊箇所が異なっても引張強さにはほとんど差異が認められなかったが，接着層で破壊した場合の引張強さは他の部分より若干高い値を示し，接着層の下限強度が被着材のそれより高いことがわかった。しかし，熱処理後の接着層付近で破壊した試験片の引張強さはUFの場合被着材部で破壊したものと同等か幾分低く，接着層の下限強度が被着材のそれに近い値まで低下していることがわかった。この下限強度の低下割合はPVAcでは最も大きく，RFでは非常に小さかった。

謝 辞

本研究は昭和54年度科学研究費補助金，総合研究A：木材の接着機構に関する研究（研究代表者：島根大学後藤輝男教授）の援助を得て行ったものである。種々ご助言をいただいた後藤輝男教授に感謝の意を表します。ま

た、実験に種々ご協力いただいた鳥取県工業試験場木材工業科の方々に感謝の意を表します。

文 献

- 1) 川口信隆・高橋政治：林産試月報，220 11-16
- 2) 大草克己：鹿児島大農演習林報告，4 1-93 (1976)
- 3) 作野友康・佐々木光：昭和54年度科学研究費補助金（総合研究A）研究報告書，27-29 (1980)