

論文

木材接着層の繰返し曲げ荷重に対する耐久性

大平智恵子\*

作野友康\*

古川郁夫\*

岸本潤\*\*

The Durability of Wood-glue Joint under Cyclic Bending Loads

Chieko OHIRA\*

Tomoyasu SAKUNO\*

Ikuo FURUKAWA\*

Jun KISHIMOTO\*\*

Summary

Using four types of adhesives, the durability of wood-glue joints under high temperature and cyclic bending tests were evaluated.

The following conclusions were arrived at :

(1) At high temperatures, the trends in tensile shear and bending strength of modified PVAc and SBR were similar to that of RF.

(2) The bending tests after the cyclic bending load also showed that with increasing temperature the MOR and MOE of modified PVAc and SBR were similar to that of RF.

(3) Exposing the specimens to a temperature of 50°C for 4 hours and testing under a 30% cyclic bending load gave clear indications of the durability of the wood-glue joints. This method can be considered a fast and moderate test for evaluating glue bond strength.

(4) Compared with MOR, the MOE data showed a larger degree of variation. MOR is a better indicator in the evaluation of the durability of wood-glue joints.

\* 鳥取大学農学部 農林総合科学科 森林生産学講座

\* Department of Forestry Science, Faculty of Agriculture, Tottori University

\*\* 鳥取大学農学部 農林総合科学科 生存環境科学講座

\*\* Department of Environmental Science, Faculty of Agriculture, Tottori University

## I 緒 言

木工用接着剤としてこれまで多くの熱可塑性樹脂あるいはゴム系接着剤が用いられてきている。これらの接着剤はいずれも接着操作が簡単でまた比較的短時間で接着できるし、さらには、常温、常態における接着耐久性は良好であるなどの利点がある。しかし、その反面、高温暴露あるいは繰返しまたは長期荷重負荷に対する耐久性に乏しことが欠点となっている。そのため、これらの欠点を改良して、さらに構造用など広範囲にわたる利用を促進するために、この種の接着剤を種々変性して耐久性を向上させることが検討されている。その中で特に、初期接着性の向上と短時間接着が可能な分別塗布型接着剤が開発された<sup>3)</sup>。著者らはこれまで、スチレン-ブタジエンゴムを主体にした変性 SBR 樹脂接着剤について、単板あるいは素材に対する接着性能ならびに耐久性などを検討してきた<sup>5,8,9~11)</sup>。また、ポリ酢酸ビニル樹脂エマルジョンを中心とした酢酸ビニル系接着剤については、その粘弾性的性質を中心にして種々研究されている<sup>12)</sup>。そして、この種の接着剤についても分別塗布型への変性接着剤が検討されている。

これらの接着剤を用いた接着部材の接着層における耐久性については、一般に接着力試験によってほとんど判定されている。しかしながら、接着部材全体の挙動から接着耐久性を判定するためには、切り欠きを入れた JIS 規格に定められているような試験片を用いず、切り欠きを入れずに試験する方法が好ましく、その一方法として、曲げ試験による方法が考えられる。この場合に被着材を比較的薄くすれば、その部材の接着層の性質をより有効に測定できるものと思われ、また、乾熱暴露試験においては暴露温度の影響をより強く受けるものと考えられる。

そこで本報では、変性された酢酸ビニル系および SBR 系の接着剤を用いて薄板を接着した部材について、その接着層の耐久性を未変性のポリ酢酸ビニル樹脂エマルジョンおよびレゾルシノール樹脂接着剤を用いた場合のそれと比較検討した。耐久性の評価方法として乾熱暴露条件下における引張りせん断接着力試験と曲げ試験を行い、これらの結果より接着耐久性を検討した。特に、曲げ試験においては、接着層に対して繰返し曲げ荷重を負荷した後に曲げ試験を行うというこれまで試みられていない方法によって耐久性を試験した。

## II 材料及び方法

### 1. 供試材料

被着材として厚さ 3 mm のミズメ (*Betula grossa* Sieb. et Zucc.) 挽板を用いた。使用接着剤は表 1 に示すように、いずれも市販のもので、ポリ酢酸ビニル樹脂エマルジョン (PVAc)、変性酢酸ビニル樹脂エマルジョン (MPVAc)、変性 SBR 樹脂 (SBR) および熱

硬化性のレゾルシノール樹脂 (RF) の4種類を用いた。なお、変性酢酸ビニル樹脂エマルジョン接着剤と変性 SBR 樹脂接着剤は、被着材の片面にプライマーを塗布し、もう一方の面に主剤を塗布する分別塗布型の接着剤である。特に変性酢酸ビニル樹脂エマルジョン接着剤は圧縮時間が画的に短縮されている<sup>7)</sup>。なお、以下各接着剤名は略号で示す。

## 2. 接着操作および接着力試験

表1 使用接着剤及び接着条件

使用接着剤	商品名	略号	塗布量 (g/m <sup>2</sup> )	圧縮力 (kg/cm <sup>2</sup> )	圧縮時間 (時間)	圧縮温度 (°C)
ポリ酢酸ビニル樹脂 エマルジョン	ボンド CH18	PVAc	200	10	24	25
変性酢酸ビニル樹脂 エマルジョン	ボンド HB30	MPVAc	200 プライマー-50	10	0.5	25
変性 SBR 樹脂	ボンド HB10	SBR	200 プライマー-50	10	0.5	25
レゾルシノール樹脂	プライオーフェン 6000	RF	280 (主剤 100部) 硬化剤 15部)	10	5	25

一定含水率(約10%)になるよう調湿した被着材を接着に適した寸法(260×25mm)に切断し、接着面を超仕上げ加工した。各被着材の繊維方向を平行にし、2枚合わせて各接着剤を用いて接着した。接着条件は圧縮力を全て10kg/cm<sup>2</sup>とし、塗布量および圧縮時間は表1に示す各接着剤メーカーの指定するようにして常温で接着した。接着後1週間以上養生した後、引張りせん断接着力試験片および曲げ試験片(150×20mm)を作製した。それぞれの接着剤毎に5個の試験片について表2に示すような条件に暴露した後同様の温度条件下で引張りせん断接着力および曲げ試験を行い接着力、曲げ強さおよび曲げヤング係数を測定した。

以上の試験は全て島津オートグラフ AG-5000A を用い、乾熱暴露試験は付属の恒温槽内(写真1)で試験した。引張りせん断接着力試験および曲げ試験については、クロスヘッドスピード5 mm/min、繰返し荷重負荷の場合20mm/minの速度で行った。

## III 結果及び考察

### 1. 引張りせん断接着力試験

各温度条件下におけるせん断接着力を図1に示す。まずこれによって、各接着剤の暴露温度に対する接着力を検討した。

全ての接着剤において暴露温度が高くなるに従い接着力が低下した。常温(25°C)においては、PVAcが最も高い接着力を示したが、温度が上昇するに従い、その接着力は急激に低

表2 接着力および曲げ試験条件

引張りせん断接着力試験	
暴露温度	
常温	: 25℃
乾熱48時間	: 50℃, 100℃
曲げ試験(中央集中荷重)	
乾熱暴露後の曲げ試験	
暴露温度	
常温	: 25℃
乾熱48時間	: 50℃, 100℃
乾熱暴露・繰返し荷重負荷後の曲げ試験	
暴露温度	
常温	: 25℃
乾熱4時間	: 50℃, 100℃
負荷荷重(繰返し回数100回)	
15kg, 30kg, 45kg	

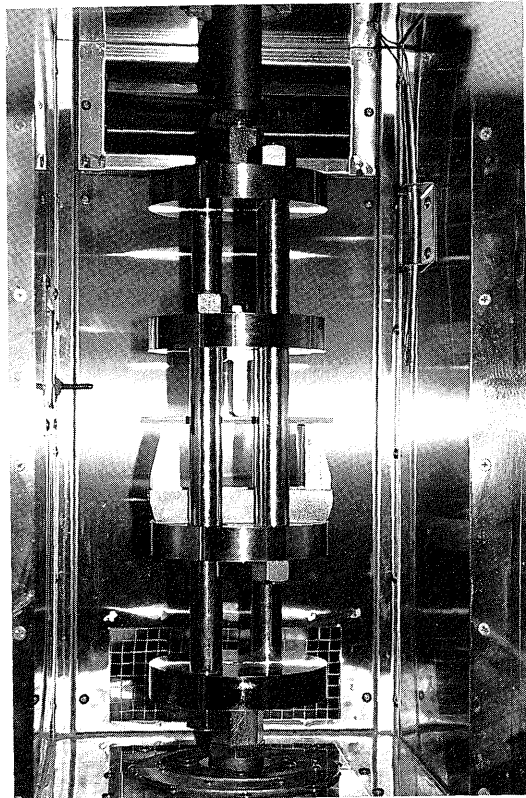


写真1 恒温槽内における曲げ試験装置

下した。特に100℃では非常に低い値を示し、常温のわずか25%程度であった。これに対して他の接着剤は、いずれも同程度の低下割合を示し、100℃においても30%程度の低下で、PVAcに比べると低下割合はかなり小さかった。

一般に鎖状高分子は、温度が高温側へ推移するに伴い分子の運動状態は、ガラス状態からゴム状態に変わり、さらに分子の運動が激しくなると流動に至ると考えられる<sup>4)</sup>。これらの温度条件は、材料により異なるが、PVAcのガラス転移温度は30℃前後であることが知られている<sup>6,7)</sup>。したがってPVAcの場合、50℃でかなりの低下を示し、さらに高温になった場合には急激な変化を示したものと考えられる。このような高温暴露に対する欠点を改良するために酢酸ビニル樹脂を基剤として変性されたMPVAcは明らかにその高温に対する接着耐久性が向上している。また、SBRは-55~80℃の温度範囲ではゴム弾性を示すが<sup>6,7)</sup>、やはりこれを変性することによって100℃に暴露しても熱硬化性樹脂のRFとほぼ同程度の劣化に留まった。

## 2. 曲げ試験

これまで一般に接着力試験のみによって接着耐久性が判断され、本実験においてもまず、前述のように接着力試験によって各暴露温度に対する耐久性を検討した。これに対して次に各種接着剤の接着層を含む積層部材の曲げ試験結果より耐久性を検討する。最初に、接着力試験と同一条件下に暴露した後の曲げ強さおよび曲げヤング係数について検討した。

### (1) 乾熱暴露後の曲げ試験

各温度条件に暴露した後の曲げ強さおよび曲げヤング係数を図2に示す。

曲げ強さは、全ての接着剤において温度が高くなるに従って低下した。しかし、50℃においては常温とほぼ同程度の値を示し、100℃においても常温のほぼ10%程度の低下割合であった。これは、先に示したせん断接着力の低下割合30%程度よりさらに低いものであった。

被着材(素材)の各温度条件下に暴露した場合の曲げ強さは50℃でかなり低下している(図7参照)のに対して、接着部材の低下割合が少なかったのは、接着層を持つ積層複合材料となったことにより、曲げに対する耐久性が増加したものと考えられる。さらに、100℃においてもそれほど大きな低下を示さなかったことは、かなりの耐久性が付与されたものと考えられる。しかし、未変性のPVAcについては、やはり低下は大きく、特に100℃において急激な低下を示し、わずか450kg/cm<sup>2</sup>の値であった。分子間力の減少が、曲げ試験の場合にはさらに大きく影響し、接着層の大きなずれを生じたのち破壊するが多かった。

一方曲げヤング係数は暴露温度が高くなるに従い直線的に低下し、その割合は100℃で40%にも達し、曲げ強さに比べ急激な変化であった。すなわち、曲げヤング係数は温度によって大きく影響を受け、高温になるに従って比例的な低下を示した。

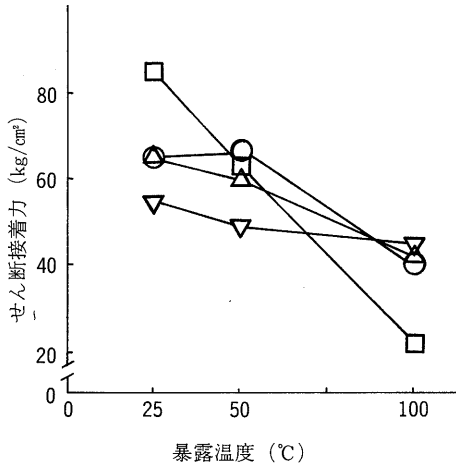


図1 暴露温度と接着力との関係

□—PVAc ○—SBR  
 △—MPVAc ▽—RF

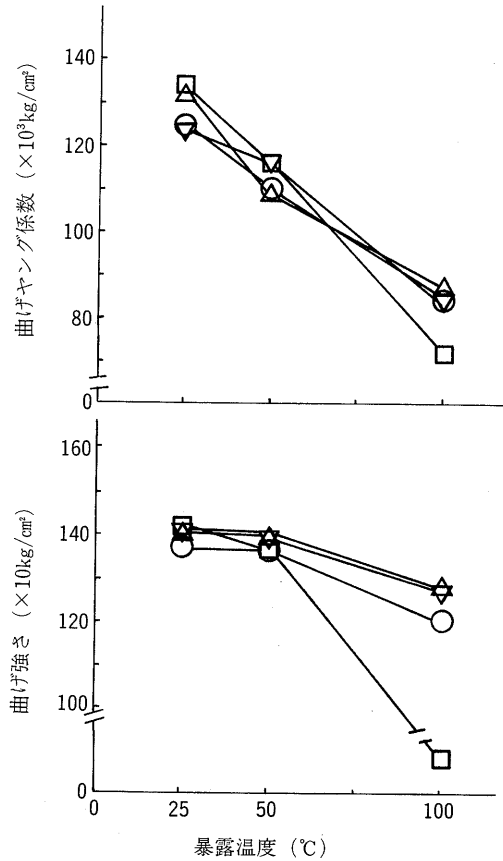


図2 各温度条件に暴露した後の曲げ強さ及び曲げヤング係数

□—PVAc ○—SBR  
 △—MPVAc ▽—RF

## (2) 乾熱暴露・繰返し荷重負荷後の曲げ試験

各暴露温度に4時間暴露した後、同様の温度条件下で常温における曲げ試験の最大荷重の約30, 60, 90%に相当する荷重15, 30, 45kgの負荷荷重をそれぞれ100回繰返し負荷して、その後前述と同様の曲げ試験を行った結果について検討する。

15kgおよび30kgの荷重を繰返し負荷した場合の曲げ強さおよび曲げヤング係数を図3に示す。

両者とも暴露温度が高いほど曲げ強さが低下し、その低下割合もほぼ同じ傾向であった。ただし、100°CにおけるPVAcについては、100回の繰返し荷重負荷中に接着層にずれが生じ、試験を続けることができなかった。他の3種の接着剤については、前述の繰返し荷重を加えない場合(図2参照)に比べて、50°Cにおける曲げ強さの低下割合が大きくなった。

さらに可酷な条件である45kgの荷重を負荷した場合、全ての接着剤において100°Cにおいては、試験中における試験片の破壊が多く、試験が最後まで行えなかった。なおPVAcについては、50°Cにおいても同様に試験が行えなかった。

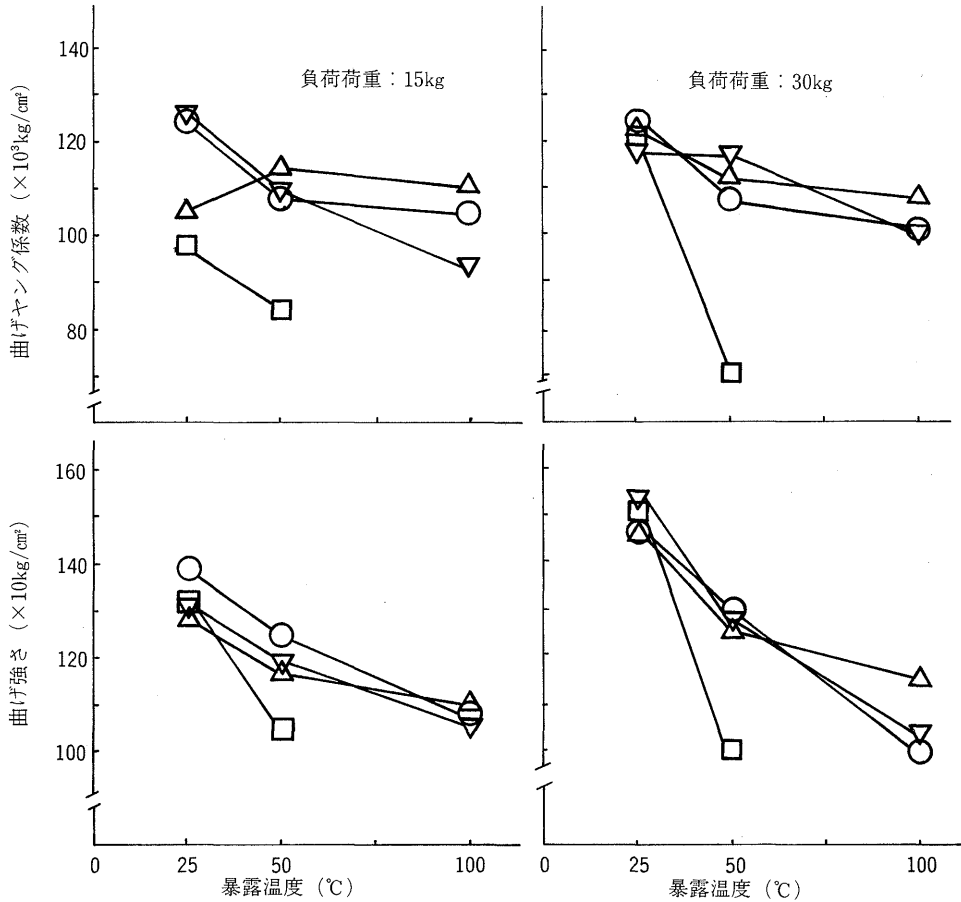


図3 各温度条件に暴露し15kgおよび30kgの荷重を繰返し負荷した後の曲げ強さおよび曲げヤング係数

□—PVAc    △—MPVAc  
○—SBR    ▽—RF

15kgおよび30kgの荷重負荷においては同様の傾向を示し、45kgの荷重負荷により大きく変化したことから、繰返し荷重負荷による劣化の影響は、負荷荷重30kg以上、温度50℃以上において、急激に変化する点があるように思われる。

一方、曲げヤング係数は、高温に暴露しても荷重を加えなかった場合に比べその低下割合は少なかった。これは、接着積層材に対して100回程度の繰返し荷重負荷を与えてもその影響が比較的少なく曲げヤング係数をあまり低下させなかったものと考えられる。むしろ暴露時間の影響が関係しているかも知れないが、これらの関係を明確にすることはできなかった。

繰返し曲げ荷重負荷後の曲げ強さについて各接着剤別にまとめて図4に示す。これによって各接着剤の繰返し負荷荷重と暴露温度との関係を検討した。

MPVAcはRFとほぼ同様の傾向を示す。SBRは、100℃においてMPVAc、RFとほぼ同じ値を示すが、50℃における低下割合が若干少ない。未変性のPVAcは高温暴露に対する耐久性に乏しいことが明らかである。SBRおよびMPVAcがRFと同程度の挙動を示したこ

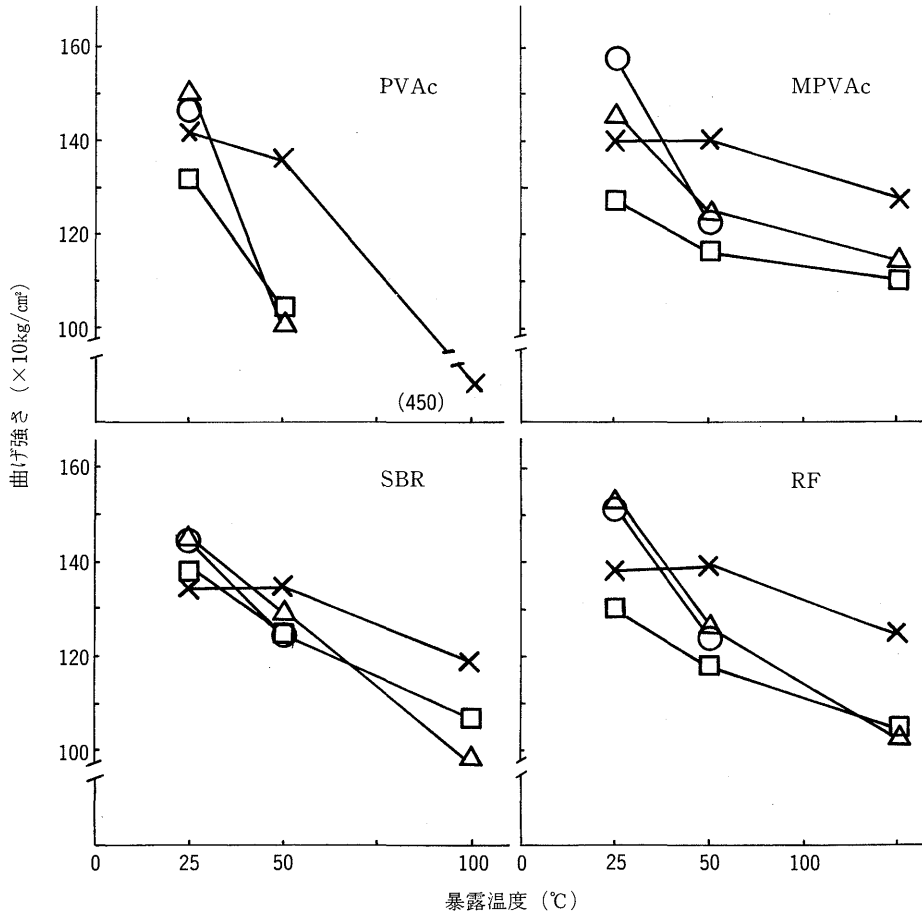


図4 各接着剤の各温度条件における繰返し荷重負荷後の曲げ強さ

×—繰返し荷重 0kg      △—繰返し荷重 30kg  
 □—繰返し荷重 15kg      ○—繰返し荷重 45kg

とは、両接着剤の高温に対する耐久性が改良されていることを明確にしている。また全ての接着剤について、繰返し荷重を負荷しなかった場合の曲げ試験結果と比較すると、繰返し荷重を負荷した場合には暴露時間が短いにも関わらず、50℃における曲げ強さの低下がはっきりと表われた。このことより、繰返し荷重負荷と高温暴露を組み合わせる試験方法により、比較的低い荷重を繰返し負荷し、50℃程度の温度条件で試験することにより接着剤の耐久性が評価されるものとする。

さらに曲げ強さおよび曲げヤング係数について、繰返し荷重との関係を各温度条件毎にまとめて図5および図6に示す。

曲げ強さ(図5)は各暴露温度毎に明確に分れ、温度の影響が大であることが明らかになった。ただし、PVAcを50℃の温度に暴露した場合には、他の接着剤の100℃における値にほぼ等しく、100℃では接着層で剥離を生じて試験できなかった。また、前述のようにいずれの接着剤についても100℃の温度条件下で45kgの荷重を繰返し負荷した場合にはほとんど接



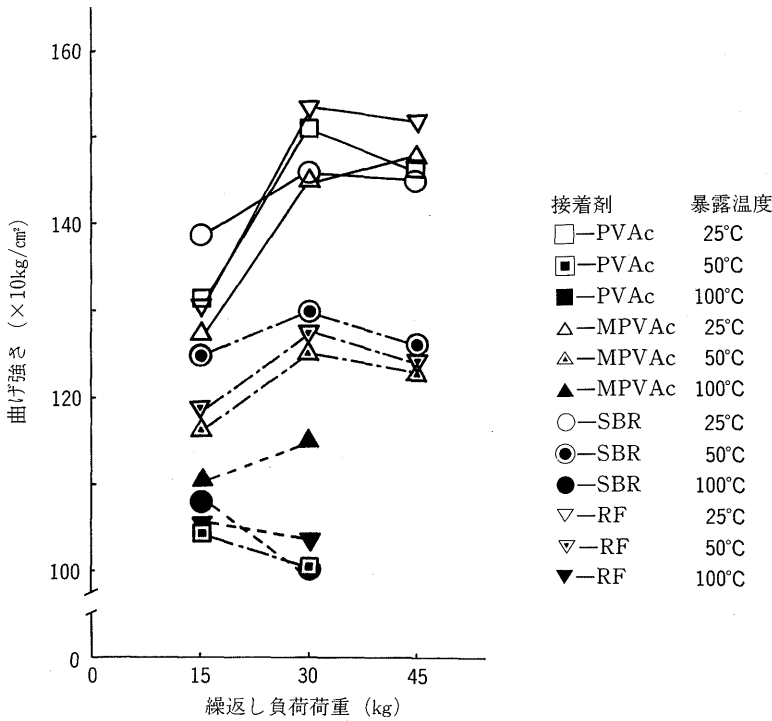


図5 各温度条件における繰返し曲げ荷重負荷後の曲げ強さと負荷荷重との関係

着力を維持せず試験できなかった。

繰返し負荷荷重の影響をみると常温において15kgより30kgおよび45kgの荷重負荷の場合が若干高い値を示した。また50°Cにおいてもその傾向がみられたが、これらについては統計的な検討をしていないので値のバラツキを考慮すれば有意な差が生じているかどうかは明確ではない。100°Cにおいては、MPVAcが最も高い値を維持し、30kgを負荷しても曲げ強さの低下がみられず、むしろ15kgの場合より若干高い値を示した。しかし、SBR、RFはともに30kgでは若干低い傾向を示し、未変性のPVAcの50°C暴露の場合にはこれとほぼ同じ傾向であった。

このような結果より、常温においてはいずれの接着剤とも繰返し曲げ荷重に対する耐久性に有意な差は認められなかった。高温に暴露した場合には、PVAcを変性することによって、ほぼ2倍の苛酷な温度条件に対する耐久性が付与されたものとする。そして、SBRもこれと同等の性質を有していることが明らかになった。

以上のように、明確な傾向を示した曲げ強さに対して、曲げヤング係数(図6)は50°CにおけるPVAcの値を除けば、すべての値が90,000~120,000kg/cm<sup>2</sup>の間に混在して、一定の傾向を示さなかった。これは、100回程度の繰返し負荷荷重を与えても負荷荷重の差が各温度条

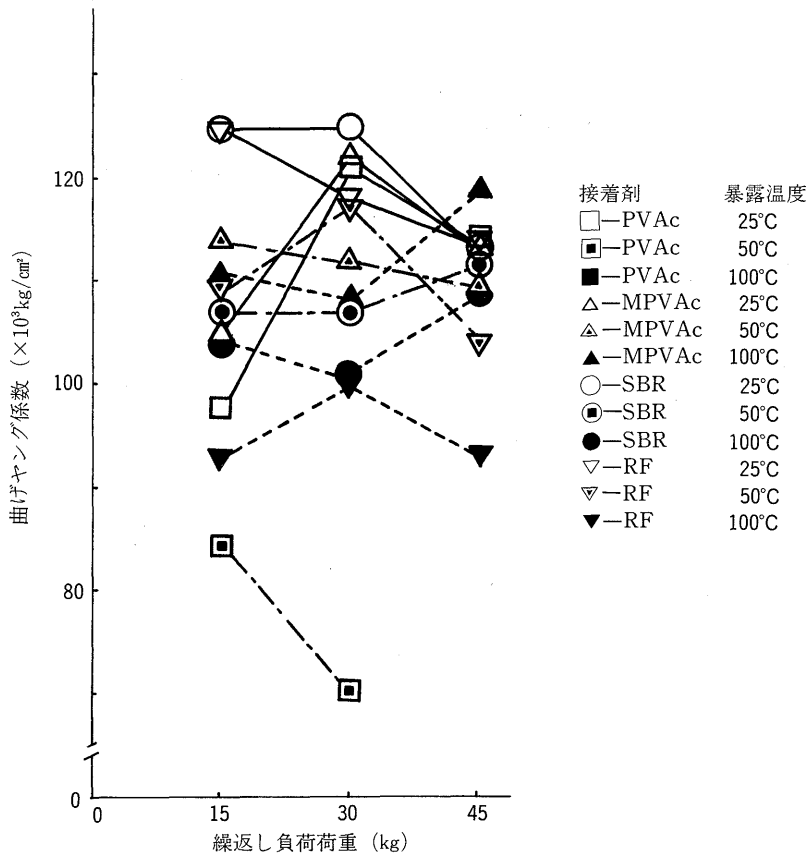


図6 各温度条件における繰返し曲げ荷重負荷後の曲げヤング係数と負荷荷重との関係

件に対する接着部材の弾性的性質に直接影響を与えなかったものと見られる。したがって、弾性限度までの挙動に対しては、温度条件が決定的な因子ではなかったものと考えられる。これに対して、塑性領域における部材の曲げ強度に対する暴露温度の影響は、かなり差があったことが、前述の曲げ強さに明確に表われたものと思われる。そのため、接着部材の耐久性評価の指標としては、曲げ強さを測定することがより有効であると考えられる。

なお、素材の高温暴露に対する影響を検討するため、被着材をそのまま用いて繰返し曲げ荷重を与えた後の曲げ強さを図7に示す。被着材は厚さが接着部材より薄いため、これに合わせて最大破壊荷重の30, 60, 90%に相当する負荷荷重を4, 10, 15kgとした。

素材は接着した材料に比べて50°Cでの低下が大きく、この程度以上の温度で大きく影響を受けるものと思われるが、複合材料とした場合には接着層によってその負荷荷重に対する挙動が若干変化するものと思われる。

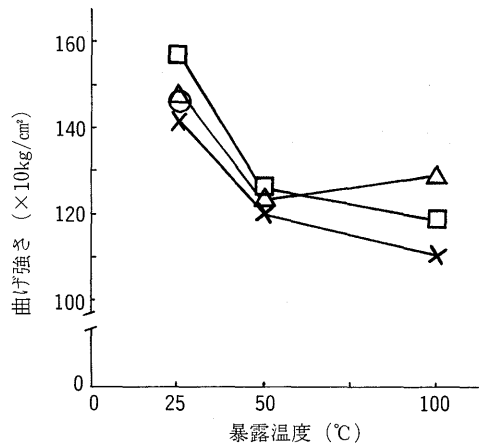


図7 素材の各温度条件下における繰返し荷重負荷後の曲げ強さ

- ×—繰返し負荷荷重 0kg
- 繰返し負荷荷重 4kg
- △—繰返し負荷荷重 10kg
- 繰返し負荷荷重 15kg

#### IV 結 論

4種類の異なる接着剤を用いて接着した接着積層部材の高温における暴露ならびに繰返し曲げ荷重負荷による接着力および耐曲げ性能を比較して接着耐久性の検討を行った。その結果、次の結論が得られた。

(1) 乾熱暴露に対する引張りせん断接着力ならびに曲げ強さの挙動は、MPVAcおよびSBRの変性した接着剤はRFと同様の傾向を示した。すなわち、両接着剤は高温の影響を受けやすいPVAcに比べて、耐熱特性が明らかに向上していることがわかった。

(2) 繰返し曲げ荷重を負荷した後の曲げ試験においては曲げ強さ、曲げヤング係数とも暴露温度が高くなるにつれて低下し、その低下割合はMPVAcとSBRはRFとほぼ同様の値を示した。

(3) 50°Cで破壊荷重の30%という比較的ゆるやかな条件で繰返し曲げ荷重を負荷後に曲げ試験を行うことにより、接着層の耐久性を明確に判断することができた。したがって繰返し荷重負荷後の曲げ試験によって接着耐久性を評価する方法は、接着性能を判定するのに有効な方法であると考えられる。

(4) 曲げ試験における暴露温度および繰返し荷重負荷の曲げ強さと曲げヤング係数に及ぼす影響は異なっており、耐久性を評価する指標としては曲げ強さをを用いた方が明確に判定できることがわかった。

## 謝 辞

本研究の一部は、昭和61年度科学研究費補助金(総合研究A)「木材構造用接着剤の新しい耐久性評価に関する基礎的研究」(研究代表者 水町 浩)の援助によって行ったものである。

本研究における供試材料および供試接着剤を提供していただいた、関西パーケット工業株式会社、コニシ株式会社ならびに大日本インキ化学工業株式会社各位に心より感謝の意を表します。

## 文 献

- 1) Hatano, Y., Tomita, B., Mizumachi, H. : *Holzforshung*, **40** pp.225~258 (1986)
- 2) 秦野恭典, 富田文一郎, 水町浩: 木材工業, **37** pp.21~24 (1982)
- 3) コニシ株式会社: ボンド高性能木工用, BOND TECHNICAL REPORT
- 4) 村上謙吉: やさしいシオロジー., 産業図書, 東京, pp.43~50 (1986)
- 5) 成谷美貴子: 卒業論文 (木材用分別塗布型接着剤の接着性能について), 鳥取大学農学部 pp. 1 ~86 (1984)
- 6) Nielsen, L.E.著, 小野木重治訳: 高分子と複合材料の力学的性質. 化学同人, 京都 pp. 316~317 (1976)
- 7) 日本接着協会: 接着ハンドブック. 日刊工業新聞社, 東京 pp.258~516 (1980)
- 8) 大平智恵子: 卒業論文 (ミズメ材の接着耐久性について), 鳥取大学農学部 pp. 1 ~62 (1986)
- 9) Sakuno, T., Naritani, M., Kishimoto, J. : *Journal of the Faculty of Agriculture, Tottori University*, **20** pp.26~33 (1985)
- 10) 山田希仁, 作野友康, 古川郁夫, 岸本潤: 鳥大農演習林研究報告 **16** pp.149~158 (1986)
- 11) 山田希仁: 修士論文 (未利用広葉樹材の接着に関する研究), 鳥取大学農学部 pp. 1 ~76 (1986)