

## 木材接着層の膨潤挙動に及ぼす 2・3 の因子の影響

作野友康\*・後藤輝男\*\*

(昭和57年7月31日受付)

### Effect of Some Factors on the Swelling Behavior of Glued Wood Joints

Tomoyasu SAKUNO\* and Teruo GOTO\*\*

The swelling pressure and swelling of Kapur (*Dryobalanops sp.*) laminated wood that had been glued with three adhesives (UF, RF and Ep) were measured when immersed in water. The effect of the number of ply and glue line thickness on the swelling behavior of the laminated woods is discussed.

Futhermore, the swelling behavior of cured glue of three adhesives and pressed woods that had been pressed for 0, 10 and 20 kg/cm<sup>2</sup> pressure was investigated. The results obtained are summarized as follows:

1) Time progress of swelling behavior showed the same tendency even though the number of ply or type of adhesive was different. Both maximum swelling pressure and swelling were of higher values with an increase in the number of ply. The specimen glued with UF was of the highest value.

2) In the case of using UF and RF, the swelling pressure and swelling of the specimens that had a thick glue line were larger than those having a thin glue line. However, the specimen glued with Ep was not affected by glue line thickness.

3) The swelling pressure and swelling of the cured glue of UF were larger than that of RF, but did not reach the value of that of Ep. The swelling pressure and swelling of pressed woods were larger than that of non pressed wood.

4) The ratio of wet glue-joint strength to dry glue-joint strength varied according to the swelling pressure, being higher in the strength with lower swelling pressure. Thus, the swelling behavior was closely related to the glue-joint durability.

#### 結 言

木材接着部材の膨潤挙動(膨潤圧及び膨潤率)について検討することは、接着耐久性を検討する上で極めて重要なことである。前報<sup>11)</sup>において、接着部の膨潤挙動が接着力に及ぼす影響について検討したところ、膨潤圧

が高いほど、湿潤接着力の常態接着力に対する割合が低くなることがわかった。すなわち、膨潤圧と接着耐久性とは密接な関係があることが明らかになった。

木材接着部の膨潤挙動には多くの因子が関与するが、主な因子としては被着材及び接着剤に関するものがあげられる。そのためこれらの因子の影響について検討する

\* 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

\*\* 島根大学農学部林学科改良木材学研究室  
Department of Forestry, Faculty of Agriculture, Shimane University

ことが必要であり、前報<sup>11)</sup>では含水率の異なる2種類の被着材を用いて、3種類の接着剤で接着した材料について検討した。

本報では、木材接着部の膨潤挙動に及ぼす2・3の因子、すなわち、カプール材を3種類の接着剤で接着した材料の積層数、接着層厚さの影響、さらに各接着剤の硬化物と圧縮力の異なった被着材の膨潤挙動をそれぞれ検討した。

実験材料及び方法

1. 実験材料

1.1 供試材及び接着剤

供試材は前報<sup>11)</sup>で用いたものと同様で木理通直、無欠点のカプール (*Dryobalanops sp.*, 比重0.65~0.68)のまさ目き板を用いた。これらの板を含水率約12%に調湿して接着に供した。接着剤も前報<sup>11)</sup>と同様のユリア樹脂 (UF:キゲタライム UA-105, 住友ベークライト製), レゾルシノール樹脂 (RF:アイカネオレンジ PR-1, アイカ工業製) 及びエポキシ樹脂 (Ep:ボンド E-200, コニシ製) の3種類を用いた。

1.2 接着試験片

(a) 接着層の厚さが同じで積層数の異なった試片を作製した。試片の厚さが1cmになるように板厚を変化させ、積層数を2, 3, 4プライにして接着した。塗布量180g/m<sup>2</sup> (片面塗布), 圧縮力10kg/cm<sup>2</sup>, 室温で24時間圧縮の条件で接着した。

(b) 接着層厚さの異なる2プライの試片を作製した。被着材の間にプラスチックシム (0.2及び0.4mm厚さ) を挿入して接着層厚さを規定し、室温で24時間, 10kg/cm<sup>2</sup>で圧縮して接着した。

1.3 接着剤硬化物及び圧縮木材

接着剤硬化物: 硬化した接着剤の膨潤挙動を測定するため、各接着剤について、できるだけ気泡の入らないようにして接着剤ブロック (1.0×1.0×0.5cm) を作製した。

圧縮木材: 被着材に用いたと同様の材を、圧縮力10kg/cm<sup>2</sup>及び20kg/cm<sup>2</sup>で24時間, 常温で圧縮した。解圧後直ちに、これらの材より1.0×1.0×0.5(L)cmの試片を採取した。

2. 実験方法

2.1 膨潤圧及び膨潤率の測定

各試片について前報<sup>11)</sup>と同様の方法で、膨潤圧及び膨潤率の経時変化を測定した。膨潤圧は TOM5000D の引張圧縮試験機で水中浸せき後300分間測定した。

2.2 接着力試験

接着したブロックより DIN5324 に準拠した引張せん断

接着力試験片を採取し、それらの常温及び湿潤状態における接着力を測定した。湿潤試験は60℃の温水中に4時間

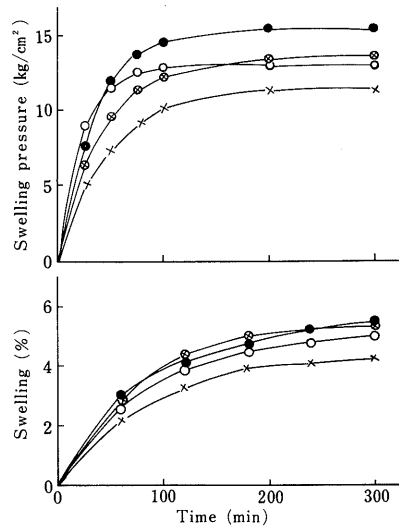


Fig. 1 Relation between swelling behavior of laminated woods glued with urea resin adhesive and immersion time. ○:2ply, ⊗:3ply, ●:4ply, ×:solid wood.

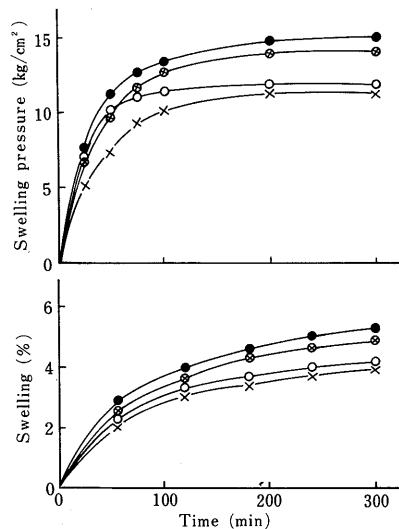


Fig. 2 Relation between swelling behavior of laminated woods glued with resorcinol resin adhesive and immersion time. The symbols are similar to those shown in Fig. 1.

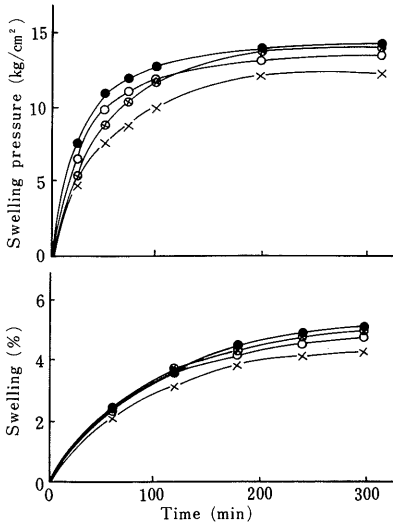


Fig. 3 Relation between swelling behavior of laminated woods glued with epoxy resin adhesive and immersion time. The symbols are similar to those shown in Fig. 1.

浸せきした後冷水中に浸せきし、めれたままの状態で行った。

### 実験結果及び考察

#### 1. 膨潤挙動に及ぼす積層数の影響

各接着剤で接着した積層数の異なる試片及び素材試片の膨潤圧及び膨潤率の経時変化を Fig. 1~3 に示す。いずれの接着剤で接着した場合も、また、いずれの積層数の試片も素材試片とほぼ同様の経時変化を示した。膨潤圧は水中浸せき時間の経過とともに75時間までは急激に増大し、その後は漸増して、100~200分間で平衡に達する。積層材はいずれも常に素材より高い値で経過し、平衡に達した場合、いずれの接着剤でも積層数の多い試片が高い値となった。平衡に達するまで、4プライの試片は常に高い値を示したが、2プライと3プライの試片では、ほぼ同じ値か、あるいは2プライの方が、若干高い値となる場合があった。

膨潤率も水中浸せき時間の経過とともに増大したが、その増加割合は膨潤圧に比べて、ゆるやかで、200分経過後もさらに徐々に増大した。そして、膨潤率も積層試片は常に素材試片より高く、積層数の多い方が高い値を示したが、その差は膨潤圧の場合ほど顕著ではなかった。

UF 及び RF では積層数の違いによる膨潤圧及び膨潤

率の差が比較的明確であったが、Ep ではその差が少なかった。

膨潤圧の測定についての報告の中には100分以内の比較的短時間で平衡に達するという報告<sup>3),6)</sup>があり、前報<sup>11)</sup>では180分間の測定を行った。その結果膨潤圧はカバでは60分経過後に、カプルでは150分経過後にほぼ平衡に達した。しかし膨潤率はカプル及びカバの高含水率材の場合、180分後にも平衡に達せず、かなり長時間膨潤するものと思われた。そこで本実験の場合には測定時間を300分までとしたところ、膨潤圧は前述のように200分経過するまでに平衡に達したが、膨潤率は300分経過するまで平衡に達しなかった。しかし飽水状態の試片の膨潤率と300分経過後の膨潤率にほとんど差がなかったため、この測定時間でほぼ平衡に達したものと考えられる。

積層数及び接着剤の種類と最大膨潤圧 ( $\sigma_{max}$ ) 及び最大膨潤率 ( $\alpha_{max}$ ) との関係を図. 4 に示した。いずれの

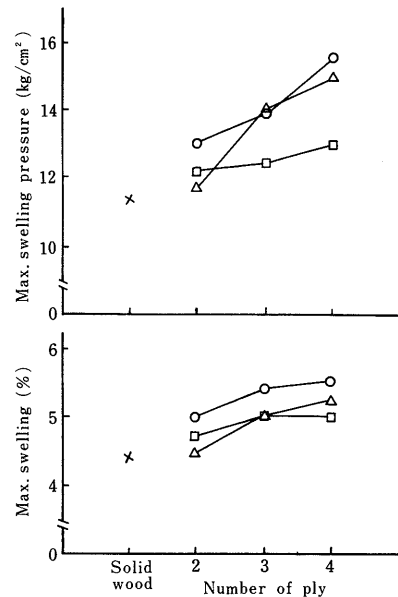


Fig. 4 Effect of number of ply on maximum swelling pressure and swelling.

○: urea resin adhesive, △: resolsinol resin adhesive, □: epoxy resin adhesive.

接着剤を用いた場合とも積層数が多くなるにつれて  $\sigma_{max}$ ,  $\alpha_{max}$  とも高くなることが明らかである。特に UF, RF の試片における  $\sigma_{max}$  の増加割合は大きく、Ep は増加割合が少なかった。

$\sigma_{max}$ ,  $\alpha_{max}$  とも UF が最も高い値を示したが、UF で接着した場合の膨潤が大きいことがこれまでの報告<sup>1,9)</sup>でも明らかにされている。

これは硬化した接着剤の膨潤が影響しているものと考えられ、接着剤硬化物の膨潤挙動について検討した結果を後述する。

$\sigma_{max}$  及び  $\alpha_{max}$  の値を 2 ply の場合について、前報<sup>11)</sup>の値と比べると若干低かったが、これは素材の値も低いことから、被着材に若干の差があったものと考えられる。

また積層数が多くなるにつれて値が高くなるのは、接着層の数が影響しているものと考えられる。すなわち、被着材の膨潤に接着層の膨潤が加わったものが全体の膨潤であるとすれば、接着層の数が多いほど高い値となる。この他、被着材の厚さの影響も考えられる。膨潤挙動の測定値に対する材の厚さの影響を、膨潤圧については菅野ら<sup>12)</sup>が、膨潤率については三城<sup>4)</sup>が検討している。この報告によれば膨潤圧は厚い材が薄い材より大きい値となるが、厚さに比例しない。したがって、薄い材を重ねた場合は同じ厚さの材より高い値となるであろう。また膨潤率については厚さの影響は樹種によって差が大きいことが報告されている。

2. 膨潤挙動に及ぼす接着層厚さの影響

接着層厚さの異なった試片の膨潤圧及び膨潤率の経時

変化を Fig. 5~7 に示す。接着層が厚くなっても膨潤挙動の経時変化はほとんど同じ傾向を示した。

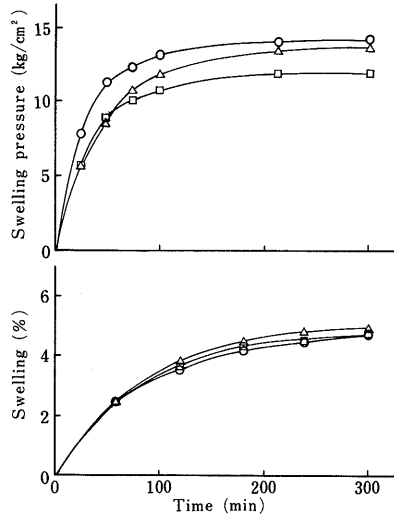


Fig. 6 Relation between swelling behavior of 2 ply laminated woods glued with various adhesives and immersion time (glue line thickness : Ca. 200  $\mu$ m).

The symbols are similar to those shown in Fig. 4.

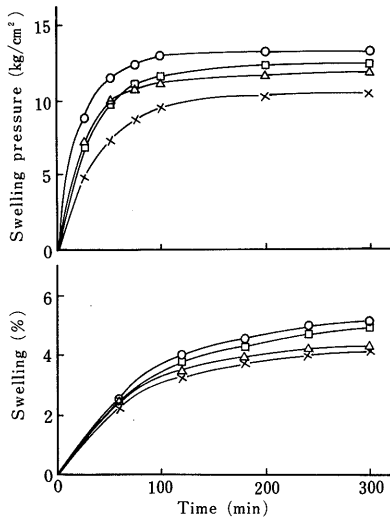


Fig. 5 Relation between swelling behavior of 2 ply laminated woods glued with various adhesives and immersion time (glue line thickness : Ca. 50  $\mu$ m).

The symbols are similar to those shown in Fig. 4.

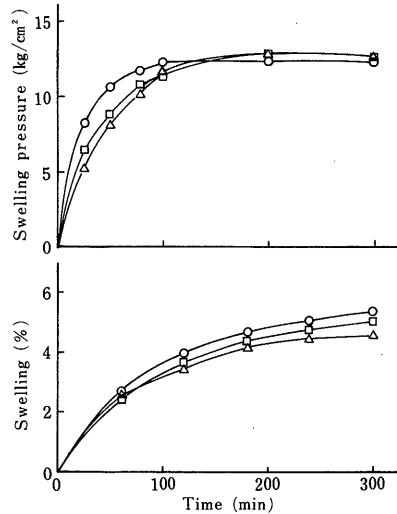


Fig. 7 Relation between swelling behavior of 2 ply laminated woods glued with various adhesives and immersion time (glue line thickness : Ca. 400  $\mu$ m).

The symbols are similar to those shown in Fig. 4.

通常の状態では接着した接着層が薄い場合、各接着剤間の差が比較的明らかな状態で経過している。そして、膨潤圧、膨潤率とも UF, Ep, RF, 素材の順に高い値であった。接着層を 200  $\mu\text{m}$  に厚くした場合には Ep の膨潤圧は他の接着剤より低い値で経過したが膨潤率はほとんど同じ値で経過した。さらに、400  $\mu\text{m}$  の厚さに規制した場合には膨潤圧は100時間以上経過しても接着剤間の差がなかったが、膨潤率では UF, Ep, RF の順となった。

このように経時変化は接着層厚さによる差が明らかでなかったため、 $\sigma_{\text{max}}$  及び  $\alpha_{\text{max}}$  と接着層厚さの関係を検討するため、Fig. 8 に各接着剤についてこれらの関係を

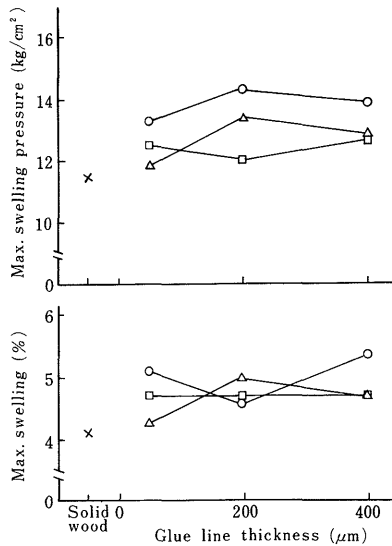


Fig. 8 Relation between swelling behavior and glue line thickness.

The symbols are similar to those shown in Fig. 4.

示した。接着層厚さは $\frac{1}{100}\text{mm}$ 精度で測定したところ厚さを規制しない場合は40~55  $\mu\text{m}$  (平均50  $\mu\text{m}$ )、200  $\mu\text{m}$  に規制した場合は180~240  $\mu\text{m}$  (平均200  $\mu\text{m}$ )、400  $\mu\text{m}$  に規制した場合は360~470  $\mu\text{m}$  (平均400  $\mu\text{m}$ ) であった。

接着層厚さと  $\sigma_{\text{max}}$  及び  $\alpha_{\text{max}}$  との関係は各接着剤によって若干異なり全体的な傾向は明確にできなかった。 $\sigma_{\text{max}}$  は UF がいずれの接着層厚さでも最高値を示し、接着層が厚い方が薄い場合より高い値であった。RF もほぼ同様の傾向を示したが、Ep では200  $\mu\text{m}$  の場合にわずかに低くなった程度で接着層が厚くなっても値はほとんど変らなかった。 $\alpha_{\text{max}}$  は Ep の場合変化しなかったが、RF

では厚い接着層の場合が薄い場合より高くなり、UF では200  $\mu\text{m}$  の厚さの場合が最も低い値となった。UF は接着剤の性質あるいは  $\sigma_{\text{max}}$  の値から考えると本来もっと高い値となるべきであるが、このように低い値となった理由は明らかにできなかった。

前述のように接着層が多ければ  $\sigma_{\text{max}}$ ,  $\alpha_{\text{max}}$  の値も高くなると考えるならば、接着層が厚くなった場合には薄いものより高い値となるべきであろう。このような点を考慮して接着剤硬化物の膨潤挙動について検討した。

### 3. 接着剤硬化物の膨潤挙動

各接着剤硬化物の膨潤圧及び膨潤率の経時変化を Fig. 9 に示す。接着剤硬化物は0.5mmの厚さのものを用いて測

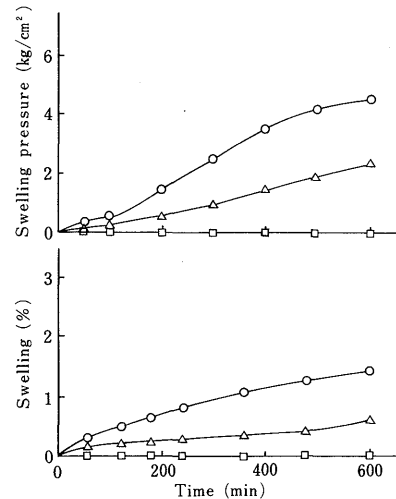


Fig. 9 Relation between swelling behavior of cured glue and immersion time.

The symbols are similar to those shown in Fig. 4.

定しており、検出される値は小さいので、接着剤間の差を明らかにするため測定時間を長くし、600分まで測定を行った。その結果、接着剤の種類によって明らかに差があり UF, RF の順に高い値を示し、Ep は全く変化しなかった。硬化物の膨潤はゆるやかで600分間経過しても平衡に達しなかった。本実験では Ep の硬化物については膨潤圧、膨潤率とも長時間経過しても変化なく測定しえなかった。これは接着剤の硬化時に容積収縮がほとんどなく<sup>2)</sup>、硬化物がほとんど膨潤しないことを表わしている。したがって、Ep によって接着した場合、その接着層は接

着剤を塗布した時の厚さとほぼ同じ厚さになるものと考えられる。本実験において接着層を厚くするため200  $\mu\text{m}$ と400  $\mu\text{m}$ のプラスチックシムを挿入して接着した場合、平均の接着層厚さはそれぞれ240  $\mu\text{m}$ と470  $\mu\text{m}$ でありシムより厚い接着層を形成していた。

しかし、Epの硬化物が全く吸水膨潤しないことはなく、吸水膨潤とそれにとまなう膨潤応力についての報告がある。元起ら<sup>5)</sup>は厚さ1mmで10×110mmの短冊形試片によってその吸水率を測定し、これより膨潤応力を計算している。これによれば水温を高くすればかなり膨潤が大きくなるが、室温水中においては40時間浸せきしてもわずか0.2~0.3%程度の吸水率で、これより計算された膨潤応力もわずかであった。これらのことから、本実験の場合、試片の寸法が小さく、ごくわずかな膨潤が生じていても測定値としてとらえることができなかつたものと考えられる。またEpの組成、硬化条件などによっても挙動が異なることも考えられる。

UF、RFでは300分間の水中浸せきでUFの膨潤圧が2kg/cm<sup>2</sup>以上に、また膨潤率も1%以上に達した。このことから接着層が木材接着部材の膨潤挙動に関与していることは明らかである。硬化物の測定試片の厚さは実際の接着層に比べてかなり厚いものであるが、この試片が等方性の弾性体で比例的に膨潤するものと考えれば、実際の接着層厚さを50  $\mu\text{m}$ とすれば300分間の浸せきで1接着層当りの膨潤圧が0.2kg/cm<sup>2</sup>以上となる。さらに木材の空げき中に浸透して硬化した接着剤のことを考え合せばさらに大きな値となるであろう。積層数が増加した場合にこれが加算されることになるので、前述のように値が高くなったものと考えられる。

もし、接着層の厚さに比例して膨潤の値が変化するならば、本実験においても接着層を厚くして接着した場合、値はかなり大きくなるはずである。前述のようにUFの200  $\mu\text{m}$ 厚の場合を除けば、厚い接着層の方が薄いものより高い値を示しているが、比例的な増加ではなかつた。これは、一因として、接着層が厚くなるように接着した場合には接着剤中に気泡が混入して空げきを多く含んだ接着層を形成することが考えられる。この他多くの因子が影響することも考えられるので、さらに詳細な検討が必要である。

#### 4. 圧縮力の異なる被着材の膨潤挙動

接着部材は接着時に被着材を圧縮するために、その膨潤挙動に圧縮力が影響しているものと考えられる。そこで被着材を10kg/cm<sup>2</sup>および20kg/cm<sup>2</sup>の圧力で圧縮し、これらの材の膨潤挙動を圧縮しない材のそれと比較検討し

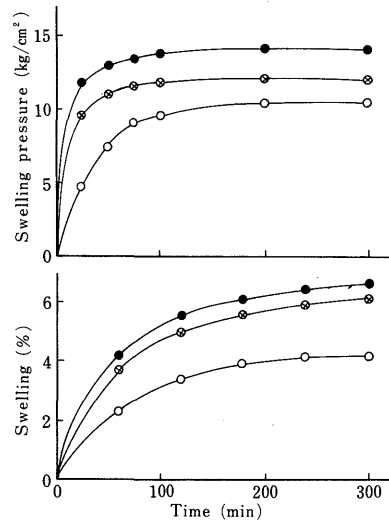


Fig. 10 Effect of pressure on swelling behavior of pressed wood.

○ : non pressed wood, ⊗ : pressure 10kg/cm<sup>2</sup>, ● : pressure 20kg/cm<sup>2</sup>.

た。圧縮力の異なった材の膨潤圧及び膨潤率の経時変化を Fig. 10 に示す。圧縮力が高いほど膨潤が大きいたことが明らかであり、その経時変化は接着部材の場合とほぼ等しい。しかし、圧縮した材の膨潤圧は圧縮しない材のそれより値が大きく、100分以内に平衡に達した。10kg/cm<sup>2</sup>で圧縮した材の平衡に達した時の値は接着試片で最も低かつたRFの値とほぼ同じであった。この結果と前述の接着剤硬化物の膨潤挙動の測定結果から考えると、接着部材の $\sigma_{\text{max}}$ は被着材と接着層の膨潤圧を加えた値が支配することになる。そこで、本実験においても被着材の膨潤圧に接着層の膨潤圧を加えた値が接着部材の $\sigma_{\text{max}}$ になるとすれば、積層数の異なる試片の $\sigma_{\text{max}}$ と10kg/cm<sup>2</sup>で圧縮した材の $\sigma_{\text{max}}$ との差を接着層の数で除した値、すなわち、一接着層当りの膨潤圧はほぼ同じ値となるはずである。本実験の結果からこの値を求めるとUFでは0.8~1.1kg/cm<sup>2</sup>、RFでは(2プライの場合を除いて)0.85~0.93kg/cm<sup>2</sup>、EPでは0.33~0.50kg/cm<sup>2</sup>となった。このように値のバラツキはあるが同一接着剤ではほぼ近い値となることから $\sigma_{\text{max}}$ の値は被着材の膨潤圧に接着層の膨潤圧をほぼ比例的に加算した値に近い値になる。これらの値は接着剤硬化物の膨潤圧の高い順(UF>RF>Ep)になっている。

圧縮した材の膨潤圧については Perkitry<sup>8)</sup>、Naraya-

namurtiら<sup>7)</sup>, 齊藤<sup>10)</sup>などの報告がある。いずれも高温下で圧力を負荷した後の試片について膨潤圧を測定しているが、圧縮力の高い方が膨潤圧が高くなることを報告している。

膨潤率も圧縮することによって増大し、 $\sigma_{max}$ は接着部

材のそれより高い値となった。

### 5. 膨潤圧と接着力との関係

前報<sup>11)</sup>において $\sigma_{max}$ と湿潤接着力(W)の常態接着力(D)に対する割合 W/D との間には密接な関係があり、 $\sigma_{max}$ が高いほど W/D が低い値となることが明らかに

Table 1 Maximum swelling pressure, swelling and glue-joint strength.

Adhesive	Glue line thickness ( $\mu\text{m}$ )	Swelling		Dry test		Wet test	
		pressure ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )	Swelling (%)	Strength ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )	Wood failure (%)	Strength ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )	Wood failure (%)
UF	50	13.1	5.1	80.7	90	57.2	15
	200	14.2	4.6	84.3	5	50.1	0
	400	13.3	5.3	78.6	0	50.1	0
RF	50	11.8	4.2	96.9	80	82.4	50
	200	12.2	5.0	117.7	100	100.9	35
	400	12.9	4.7	111.1	50	88.2	10
Ep	50	12.5	4.8	100.2	80	80.1	40
	200	13.3	4.8	115.9	90	94.9	35
	400	12.7	4.7	116.3	100	102.0	40

なった。本実験においてもこの関係が認められるかどうかを検討した。Table 1に接着層厚さの異なる試片の $\sigma_{max}$ ,  $\alpha_{max}$ 並びに常態及び湿潤接着力試験の結果を示す。

膨潤率は300分間の水中浸せきでほぼ平衡になったものと考えられ、飽水状態で水中浸せきした場合の値とほとんど差がなかった。UFでは常態接着力は接着層厚さ200 $\mu$ の場合が最も高い値を示し、 $\alpha_{max}$ もこの場合最高の値であった。木破率は接着層が厚くなると非常に低下した。RFでは接着層が厚くなっても $\sigma_{max}$ ,  $\alpha_{max}$ ともほとんど差がなかった。接着力はUFに比べていずれも高い値を示し、接着層厚さ200 $\mu$ の場合が最高の値を示した。木破率は接着層が厚くなっても高い値であった。Epでは $\sigma_{max}$ ,  $\alpha_{max}$ とも接着層が厚くなってもほとんど差がなかった。接着力、木破率はともに接着層が厚い場合の方が薄い場合より高くなった。

RF, Epとも接着層が厚くなった場合に接着力が低下せず、湿潤試験でも高い値を示したのは両接着剤とも良好な空隙充填性を有し耐水性が大きいからである。

各々の接着力の値と $\sigma_{max}$ との間には明確な傾向が認められなかった。そこでW/Dと $\sigma_{max}$ との関係について検討するため、両者の関係をFig. 11に示した。両者の間には相関関係が認められ、 $\sigma_{max}$ の高い場合はW/Dが

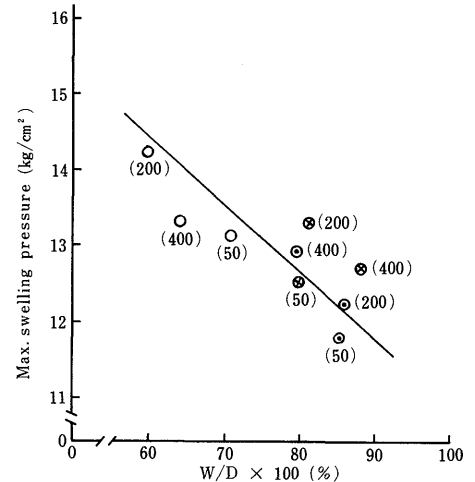


Fig. 11 Relation between maximum swelling pressure and ratio of glue-joint strength in wet test (W) to dry test (D). Numbers in parentheses are indicated glue line thickness ( $\mu\text{m}$ ).  $\circ$ : UF,  $\bullet$ : RF,  $\otimes$ : Ep.

低く、 $\sigma_{max}$ が低い場合はW/Dが高い値を示した。このように、前報<sup>11)</sup>の場合と同様に膨潤圧が接着耐久性と密接に関係していることが明らかになった。

## 結 論

木材接着層の膨潤挙動に及ぼす2・3の因子の影響について検討した。すなわち、積層数及び接着層厚さの影響について、3種類の接着剤（UF、RF及びEp）を用いてカプセル材を接着した材料について検討した。さらに各接着剤の硬化物及び圧縮した被着材の膨潤挙動も調べた。

これらの実験の結果から次の結論が得られた。

1) 積層数の異なった接着部材の膨潤圧及び膨潤率の経時変化はいずれの接着剤を用いた場合もほぼ同じ傾向を示した。最大膨潤圧及び最大膨潤率は積層数が多くなるほど高い値を示し、UFで接着した試片が最も高い値であった。

2) 接着層を厚く（200～400 $\mu$ m）してUF及びRFで接着した試片の膨潤圧及び膨潤率は通常の状態に接着した接着層の薄い試片のそれより高い値を示した。しかし、Epで接着した試片は接着層を厚くしても膨潤挙動は薄い場合とほとんど同じであった。

3) 接着剤硬化物の膨潤挙動は接着剤の種類によって明らかな差が認められた。膨潤圧、膨潤率ともUF、RFの順に高い値で、Epはほとんど変化しなかった。圧縮した被着材は圧縮しない材より高い膨潤圧、膨潤率を示した。

4) 最大膨潤圧が高いほど湿潤接着力の常態接着力に対する割合が低くなる傾向が認められ、膨潤圧と接着耐久性とは密接な関係があることが明らかになった。

5) 接着部材の膨潤圧及び膨潤率は被着材及び接着剤に関する因子の影響が大きいことが明らかになった。そ

して、接着部材の膨潤挙動を検討することはLVLなど接着積層材料の接着耐久性を予知する上で非常に重要である。

## 文 献

- 1) Jain, N. C. Gupta, R. C. and Ram, D. : *Holzforsh. Holzverwert.*, **22** 74-75 (1970)
- 2) 越島哲夫・杉原彦一・浜田良三・福山万治郎・布施五郎：基礎木材工学。フタバ書店，東大阪（1979）pp. 319
- 3) 三城昭義：木材学会誌，**18** 381-385 (1972)
- 4) 三城昭義：木材学会誌，**24** 902-906 (1978)
- 5) 元起 巖・時光富士雄：日本接着協会誌，**4** 192-201 (1968)
- 6) Narayanamurti, D. and Gupta, R. C. : 材料試験，**10** 122-126 (1961)
- 7) Narayanamurti, D. and Gupta, R. C. : *Holzforsh. Holzverwert.*, **14** 28-32 (1962)
- 8) Parkitry, T. : *Holz als Roh u. Werkstoff*, **18** 200-210 (1960)
- 9) 齊藤藤市・穴沢 忠：林産試験場月報，**213** 16-19 (1969)
- 10) 齊藤藤市：木材学会誌，**19** 261-264 (1973)
- 11) 作野友康・後藤輝男：鳥大農研報，**34** 95-101 (1982)
- 12) 菅野国男・大坪正夫：木材学会誌，**25** 318-326 (1979)