

木材の接着力に及ぼす膨潤挙動の影響

作野友康*・後藤輝男**

昭和56年8月1日受付

Effect of Swelling Behavior on the Strength of Glued Wood Joints

Tomoyasu SAKUNO* and Teruo GOTO**

The swelling pressure and swelling of glued woods and solid woods of Makanba (*Betula maximowicziana* Regel) and Kapur (*Dryobalanops* sp.) were measured when immersed in water. Glued wood specimens had been glued with three wood adhesives (UF, RF and Ep), the glue line being in the center of the tangential direction of specimens. The relationship between time and swelling behavior, and between glue-joint strength and swelling behavior are discussed.

The results obtained are summarized as follows:

- 1) Both swelling pressure and swelling increased with immersed time, but reached an equilibrium state after a certain period. The species and the moisture content in the adherend influenced the rate of increase of swelling pressure and swelling. In all cases, both swelling pressure and swelling of glued woods were larger than that of solid woods.
- 2) It was found that glue-joint strength was closely related to swelling behavior, in particular, the ratio of wet glue-joint strength to dry glue-joint strength varied according to the swelling pressure, being higher in the specimen with lower swelling pressure.

緒 言

木材接着部材の接着耐久性には非常に多くの因子が関与するが、特に使用環境における水分及び温度の変化は重要な因子である。接着部材が膨張して接着界面に内部応力が発生すると、これが接着耐久性に大きく影響する。したがって、接着部材の膨潤圧について検討することは接着耐久性を評価するための基礎として極めて重要である。

素材の膨潤圧に関する研究は多く行われ、多数の研究報告^{8-19,22-24,27,30-34,37)}がある。しかしながら、接着層を含む部材についての膨潤圧に関する研究報告^{1-6,25,29,36)}は少な

い。Jainら⁹⁾は teak, baldu 及び birch 単板を6種類の接着剤で接着した合板について、高谷³⁶⁾は7種の南洋材単板をユリア樹脂接着剤で接着した合板についてそれぞれ膨潤圧を測定している。そして膨潤圧の経時変化、単板樹種、接着剤の種類が膨潤圧に及ぼす影響などについて検討している。

本報ではマカンバ及びカプールのひき板を3種類の接着剤で接着した部材について膨潤圧及び膨潤率の経時変化、常態及び湿潤接着力と膨潤挙動との関係について検討した。

* 鳥取大学農学部林学科木材工学及び林産化学研究室
Department of Forestry, Faculty of Agriculture, Tottori University

** 鳥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

実験材料及び方法

1. 実験材料

被着材として木理通直、無欠点のマカンバ (*Betula maximowicziana* Regel, 比重0.65~0.68)及びカプール (*Dryobalanops* sp., 比重0.62~0.63)のまさ目板(厚さ5mm)を用いた。これらのまさ目板を含水率約10%(以下低含水率材という)及び約30%(以下高含水率材という)に調湿後、繊維方向を平行にしてユリア樹脂(UF:キゲタライム UA-105, 住友ペークライト製), レゾルシノール樹脂(RF:アイカネオレジン PR-1, アイカ工業製), エポキシ樹脂(Ep:ポンド E-200, コニシ製)の各接着剤を用いて接着した。なお, 特にエポキシ樹脂接着剤は高含水率材接着のため, 変性エポキシ樹脂を主成分とした, 木材専用でない湿潤接着用の接着剤を用いた。接着条件はいずれの接着剤とも塗布量300g/m², 圧縮力10kg/cm²で常温において24時間圧縮した。

接着後12~13%に調湿して, それぞれの接着部材から膨潤圧, 膨潤率測定用試片及び接着力測定用試片を採取した。

2. 実験方法

膨潤圧及び膨潤率測定用の試片は10(T)×10(R)×5(L)mmの大きさで素材及び接線方向(T)の中央部に接着層を含んでいるものを用いた。膨潤圧の測定は Fig. 1(A)

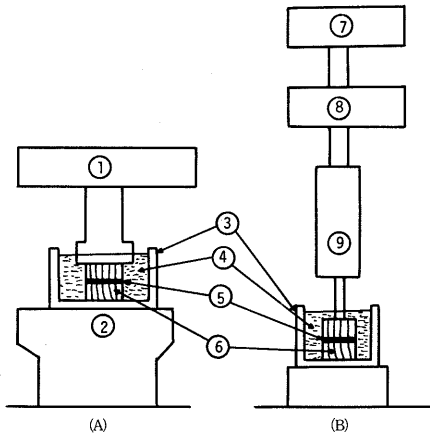


Fig. 1 Experimental apparatus for measuring swelling pressure (A) and swelling (B).

1. cross-head, 2. load cell,
3. stainless dish, 4. distilled water,
5. glue line, 6. specimen,
7. recorder, 8. transducer,
9. differential motion transformer

に示すように, インストロンタイプの引張圧縮試験機 TOM5000Dを用いて行った。試験機のクロスヘッドを試片のまさ目面に密着させ(1kg/cm²の荷重を負荷), 接線方向を拘束して, 常温水中に浸せきした場合の膨潤圧の経時変化を自動記録させた。

膨潤率の測定は Fig. 1(B)に示す装置で差動トランスを用いて, 接線方向の膨潤率を差動トランス触針の接触以外は無拘束の状態に自動記録させた。膨潤率は水中浸せき前の試片の接線方向の長さに対する膨潤長さの割合とした。

膨潤圧及び膨潤率の経時変化は180分間測定し, その後膨潤率測定試片は水中浸せき放置して最大膨潤率及び最大容積膨潤率を測定した。

接着力試験は DIN 5324³⁵⁾に準拠して, 引張せん断による接着力を測定した。試片は常態及び60°Cの温水中に4時間, 続いて冷水中に浸せきした湿潤状態について, それぞれ引張せん断接着力と木破率を測定した。

結果と考察

1. 膨潤圧及び膨潤率の経時変化

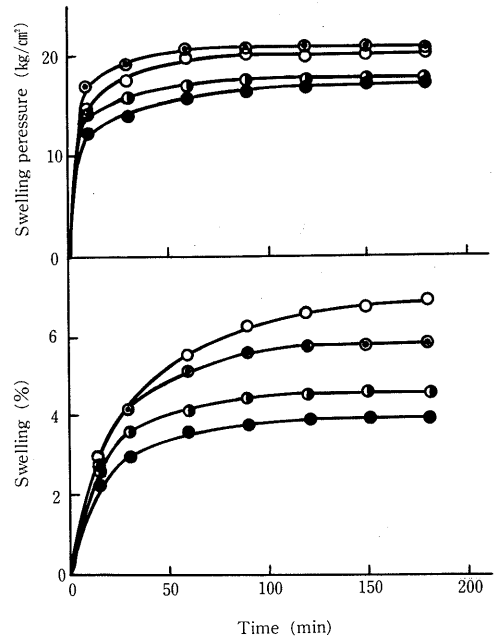


Fig. 2 Swelling pressure and swelling vs. time curves for Makamba glued woods in the case of low moisture content in adherend (about 10%).

- : UF, ◐ : RF, ⊙ : Ep, ● : solid wood

1. 1. 低含水率材接着試片

測定した膨潤圧及び膨潤率の180分間の経時変化をマカンバについて Fig. 2 に示す。マカンバの膨潤圧は接着試片及び素材試片ともすべて水中浸せき初期(10~20分間)に急激に増加し、60分間でほぼ平衡に達した。膨潤圧の最も高かったのはEpでUFもほぼ近い値となり、RFは最も低い値であった。素材はこれより更に低い値で経過し、150分後にはRFとほぼ同じ値となった。

膨潤率は時間とともに増加したが増加割合は膨潤圧よりゆるやかであり、素材、RF、Epは150分後にほぼ平衡に達した。UFは180分後にも平衡に達せず、最も高い膨潤率を示し、以下Ep、RF、素材の順であった。

カプールの経時変化については Fig. 3 に示す。膨潤圧はすべての場合にマカンバよりゆるやかに浸せき時間とともに増加し、150分後にほぼ平衡に達した。各接着剤間の膨潤圧の差はわずかであったが、素材はこれより低い膨潤圧を示した。膨潤率は非常にゆるやかに増加し、180分間では平衡に達しなかった。膨潤圧と同様に各接着剤間の差はわずかであり、素材は接着試片より低い値であった。

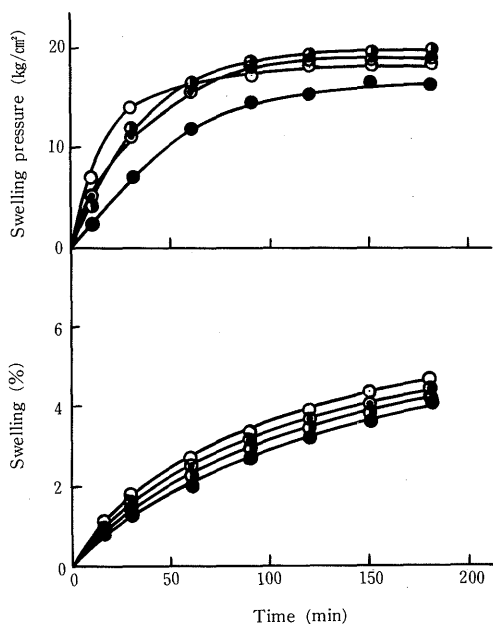


Fig. 3 Swelling pressure and swelling vs. time curves for Kapur glued woods in the case of low moisture content in adherend (about 10%).
○: UF, ●: RF, ⊙: Ep, ●: solid wood

これらの結果から、膨潤圧は膨潤率より早く平衡に達することが明らかであり、このことは三城⁹⁾のブナ及びビノキの素材についての測定結果と同様の傾向であった。いずれの場合も膨潤圧、膨潤率ともに素材より接着部材の方が大きい値を示すのは、接着時の圧縮による影響が大きいものと考えられる。また接着部材では接着剤間、被着材の樹種間に差があり、挙動が異なることはJainらの報告⁹⁾でも明らかなることであり、本実験においても同様のことがいえる。

膨潤圧が平衡に達するまでの時間は比較的短かく100分以内という報告⁹⁻¹⁷⁾があるが、本実験の場合にはマカンバでは60~70分間で平衡に達した。しかし、カプールの場合150分間と長くかかり、膨潤率は180分後でもなお平衡に達しなかったことを考えると、更に長い時間を経過しないと平衡に達しない樹種もあると思われる。

1. 2. 高含水率材接着試片

膨潤圧と膨潤率の経時変化を Fig. 4 および 5 に示す。マカンバの場合、膨潤圧は50~60分間で平衡に達したが、膨潤率はゆるやかで180分後でも平衡に達しなかった。膨潤圧、膨潤率ともいずれの接着剤においても低含水率材

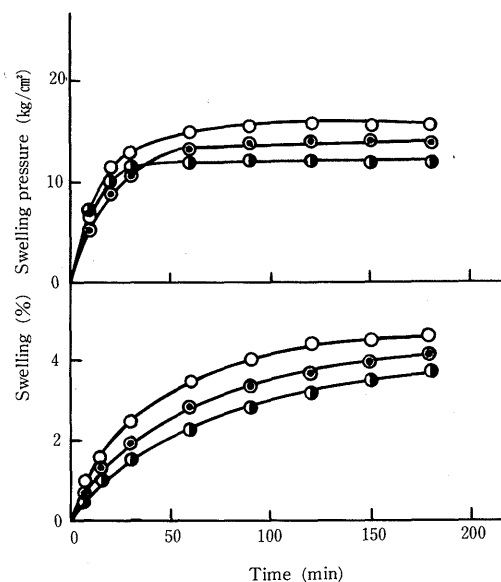


Fig. 4 Swelling pressure and swelling vs. time curves for Makanba glued woods in the case of high moisture content in adherend (about 30%).
○: UF, ●: RF, ⊙: Ep

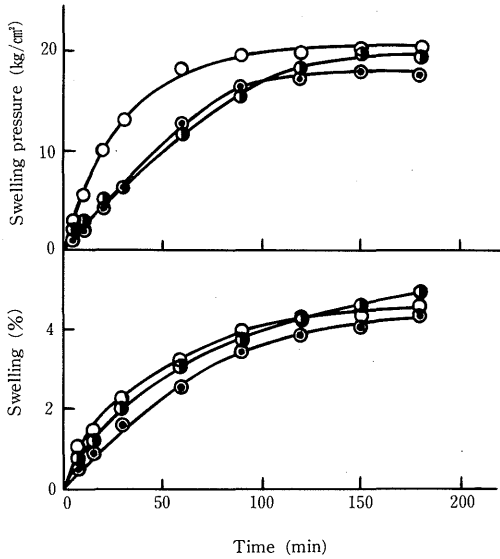


Fig. 5 Swelling pressure and swelling vs. time curves for Kapur glued woods in the case of high moisture content in adherend (about 30%).

○ : UF, ● : RF, ◐ : Ep

の場合より低い値を示した。しかし、その経時変化の傾向は低含水率材の場合と同様であり、UF、Ep、RFの順に値は低くなった。

カプールの場合には、低含水率材の場合とほぼ同様の経時変化を示した。そして膨潤圧、膨潤率ともに低含水率材とほぼ同じ値を示し、接着剤間の差はほとんどなかった。しかし、水中浸せき後120分間の膨潤圧がRF及び

Epにおいては低含水率材より低い値で経過した。

接着時の被着材含水率が高くても、試片含水率を10~12%に調湿して試験に供したため、膨潤圧及び膨潤率の経時変化は低含水率材を接着したものとはほとんど変らなかった。カプールの場合にはその値もほぼ同様であり、膨潤挙動に及ぼす接着時含水率の影響はほとんどなかったといえる。しかし、マカンバの場合には前述のように、各値が低含水率材の場合よりかなり低くなったが、これは接着剤の浸透、解圧後の内部応力などが異なり、これらのことが影響しているものと考えられる。しかしながら本実験においてはその理由を明確にすることはできなかった。

2. 膨潤挙動と接着力との関係

2. 1. 低含水率材接着試片

最大膨潤圧 (σ_{max})、最大膨潤率 (α_{max})、最大容積膨潤率 (V_{max})並びに常態及び湿潤接着力試験の結果を Table 1 に示す。なお σ_{max} は180分後の値であるが、 α_{max} 及び V_{max} は平衡に達した後の値で水中浸せき時間は一定でない。

マカンバの場合、 σ_{max} 、 α_{max} 、 V_{max} ともにRFは素材に近い値を示し、UF、Epはこれより高く、 σ_{max} は両者がほぼ同じ値であった。 α_{max} 及び V_{max} は両者に差がありUF > Epとなった。膨潤率は180分後にほぼ平衡に達しているが素材及びUFの α_{max} はこの値より幾分増加している。

常態接着力及び木破率はEp ≥ UFでRFがこれより低い値であった。湿潤試験においては接着力がEp > RF > UFの順で木破率はRF > UF > Epとなった。

これらの結果から膨潤挙動が接着力に及ぼす影響について検討すると、膨潤圧及び膨潤率の低かったRFでは常態接着力が他の接着剤を用いた場合より低かったが、湿

Table 1 Swelling behavior and strength of glued wood joints in the case of low moisture content in adherend (about 10%).

Adherend	Adhesive	Maximum swelling pressure (σ_{max} kg/cm ²)	Maximum linear swelling (α_{max} %)	Maximum volume swelling (V_{max} %)	Dry test		Wet test	
					Glue-joint strength (kg/cm ²)	Wood failure (%)	Glue-joint strength (kg/cm ²)	Wood failure (%)
Makanba	solid wood	17.2	4.3	10.4	—	—	—	—
	UF	20.3	7.0	15.5	131	100	91	85
	RF	17.3	4.7	10.7	123	95	93	100
	Ep	20.9	5.9	11.7	136	100	97	80
Kapur	solid wood	16.9	5.8	10.2	—	—	—	—
	UF	18.8	6.5	12.0	88	100	86	95
	RF	19.8	5.8	10.4	101	100	84	90
	Ep	19.0	6.8	11.2	95	100	90	95

潤接着力 (W) の常態接着力 (D) に対する割合 (W/D) は76%で最も高い値を示した。他の接着剤では Ep が71%で、膨潤圧及び膨潤率の高かった UF は69%であった。

カプールの場合、 σ_{max} はいずれの接着剤も素材より高い値で、RF>Ep>UFとなったが、各接着剤間の差はわずかであった。 α_{max} は Ep>UF>RF=素材で、 V_{max} は UF>Ep>RF>素材となった。このように σ_{max} , α_{max} , V_{max} がそれぞれ異なった挙動を示したが、前述のようにカプールの膨潤はゆるやかで、180分後には膨潤圧はほぼ平衡に達したものの、膨潤率は平衡に達しなかった。そのため180分後の膨潤率と α_{max} とは約2%の差異があり、最大膨潤に達するまでにかなりの時間を要したものと考えられる。そこでもし、最大膨潤に達する時間まで膨潤圧を測定したならば σ_{max} は若干異なってきたかもしれない。

接着力試験の結果、常態接着力はいずれもマカンバより低く、RF>Ep>UFの順となったが、木破率はすべて100%であった。湿潤接着力は Ep>UF>RFの順で、木破率は90~95%と高い値を示した。W/Dは RF-83%, Ep-95%, UF-98%であり、マカンバの場合と同様 σ_{max} の低い方が高い値を示した。また、 σ_{max} は常態接着力と、 α_{max} は湿潤接着力と同じ順位になった。このことから、カプールのようにゆるやかな膨潤挙動を示す被着材と急速に膨潤する被着材では接着層に及ぼす影響が異なるものと考えられる。

2. 2. 高含水率材接着剤

σ_{max} , α_{max} , V_{max} 並びに常態及び湿潤接着力試験の結果を Table 2 に示す。マカンバの場合、 σ_{max} は UF>Ep>RF, α_{max} , V_{max} は Ep>UF>RF となり、低含水率材の場合と同様に RF が低い値を示した。

接着力及び木破率はいずれも低含水率材の場合より低い値であったが、常態試験では UF>Ep>RF となり、湿潤試験では Ep>RF>UF の順となった。

高含水率材の接着においては本実験に用いた接着剤では不十分であったが、Ep 及び RF では高含水率材でも十分な接着力が得られることが報告^{7,20,21,26,28)}されており、今後更に検討する予定である。

膨潤挙動と接着力との関係を見ると σ_{max} と常態接着力の順位は一致し、また α_{max} , V_{max} の最も高い Ep は湿潤接着力が最高の値を示した。一方W/Dは RF-91%, Ep-86%, UF-74%で σ_{max} の値が小さい場合ほど高い値を示した。

カプールの場合、 σ_{max} 及び α_{max} は UF \geq RF>Ep となったが、 V_{max} は Ep>RF>UF の順であった。低含水率材の場合と同様に、膨潤率は180分間で平衡に達せず、平衡になるまでにかなりの時間を要しているが、その間に約2%の膨潤率の増加が認められた。

常態接着力は Ep>UF>RF となり、湿潤接着力は Ep>RF>UF の順となった。また、W/Dは Ep-95%, RF-80%, UF-76%となり、 σ_{max} が大きいほどこの値が小さく湿潤接着力の低下が大きいことを示している。

2. 3. 最大膨潤圧 (σ_{max}) と接着力との関係

膨潤挙動と接着力との関係について検討したがその結果、 σ_{max} とW/Dが最も密接な関係にあることが明らかになった。両者の関係は Fig. 6 に示すようにすべての場合に逆相関関係になることが認められた。すなわち、膨潤圧が低い場合ほどW/Dが高い値を示し、湿潤処理による接着力の低下が少ないことが明らかになった。

被着材の樹種、含水率が異なっても同じ傾向が認められたが、マカンバの方が各接着剤間の σ_{max} , W/Dの差が

Table 2 Swelling behavior and strength of glued wood joints in the case of high moisture content in adherend (about 30 %).

Adherend	Adhesive	Maximum swelling pressure (σ_{max} kg/cm ²)	Maximum linear swelling (α_{max} %)	Maximum volume swelling (V_{max} %)	Dry test		Wet test	
					Glue-joint strength (kg/cm ²)	Wood failure (%)	Glue-joint strength (kg/cm ²)	Wood failure (%)
Makanba	U F	15.6	6.0	12.2	95	95	70	40
	R F	12.2	4.5	11.4	79	75	72	50
	E p	14.3	6.5	12.6	87	90	75	70
Kapur	U F	20.0	6.0	9.4	82	70	62	45
	R F	19.8	6.0	9.8	80	65	64	60
	E p	18.2	5.5	10.2	87	90	83	100

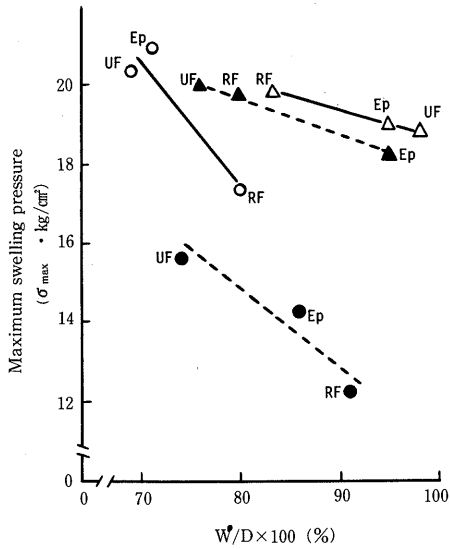


Fig. 6 Relation between maximum swelling pressure (σ_{\max}) and ratio of glue-joint strength in wet (W) to dry (D).

- : Makaanba (low moisture content)
 ● : Makaanba (high moisture content)
 △ : Kapur (low moisture content)
 ▲ : Kapur (high moisture content)

大きかった。したがってカプールのほうが被着材含水率の σ_{\max} 及び接着力に及ぼす影響が少なかったものと思われる。これは被着材の膨潤速度(水分吸収速度)の差異が影響しているものと考えられる。

接着剤の種類とW/Dとの関係を見ると、マカンバではRFが、カプールではEpが被着材の含水率に関係なくW/Dが高い値を示した。

これらのことから、接着層の膨潤圧と接着耐久性とは密接に関係していると考えられるが、今後更に詳細に検討を行う予定である。

結 論

含水率の異なったマカンバ及びカプールについて、UF、RF及びEpの各接着剤で接着した試片並びに素材試片の水中浸せき後の膨潤圧及び膨潤率を測定した。膨潤挙動の経時変化及び膨潤挙動と接着力との関係について検討し、次の結論を得た。

1) 膨潤圧及び膨潤率は水中浸せき後の経過時間とともに増大し、一定時間後にほぼ平衡に達する。増大する割

合はマカンバがカプールより、また低含水率材を接着した試片が高含水率材のそれより大きかった。そしていずれの場合も素材試片より接着試片の方が膨潤圧、膨潤率とも常に高い値を示した。

2) 低含水率材及び高含水率材を接着した場合、マカンバ、カプールとも最大膨潤圧の低い方が、湿潤接着力の常態接着力に対する割合が高い値を示した。

これらのことから、膨潤圧と接着耐久性との間には密接な関係があるものと考えられ、接着部材の膨潤挙動を明らかにすることは非常に重要であることが認められた。

文 献

- 1) Barrett, J. D. : *Information Report, Western Forest Prod. Labo.*, No.VP-X-98, 1-10 (1972)
- 2) 堀岡邦典・三城昭義 : 第18回日本木材学会研究発表要旨, 158 (1968)
- 3) Hrleu, V. M. : *Derev. Prom.*, **17** (6) 13-14 (1968)
- 4) Hrleu, V. M. : *Derev. Prom.*, **18** (10) 14-16 (1969)
- 5) Hrleu, V. M. and Ivanov, Yu. M. : *Izv. Vyssh. Ucheb. Zaved., Stroit. Arkhitekt.*, **13** 103-108 (1970)
- 6) Jain, N. C., Gupta, R. C. and Ram, D. : *Holzforsch. u. Holzverwerz.*, **22** 74-75 (1970)
- 7) 小林敏勝 : 高分子, **28** 406-407 (1979)
- 8) 三城昭義 : 木材学会誌, **18** 381-385 (1972)
- 9) 三城昭義 : 木材学会誌, **19** 63-68 (1973)
- 10) 三城昭義 : 木材学会誌, **19** 255-260 (1973)
- 11) 三城昭義 : 木材学会誌, **21** 62-67 (1975)
- 12) 三城昭義 : 木材学会誌, **21** 217-223 (1975)
- 13) 三城昭義 : 東京大演習林報, **68** 111-121 (1975)
- 14) 三城昭義 : 木材学会誌, **22** 129-132 (1976)
- 15) 三城昭義 : 木材学会誌, **24** 902-906 (1978)
- 16) Narayanamurti, D. and Gupta, R. C. : 材料試験, **10** 122-126 (1961)
- 17) Narayanamurti, D. and Gupta, R. C. : *Norsk Skogindustri*, **9** 388-390 (1962)
- 18) Narayanamurti, D. and Gupta, R. C. : *Holzforsch. u. Holzverwerz.*, **14** 28-32 (1962)
- 19) Nečesaný, V. : *Holz Roh. Werkst.*, **23** 183-187 (1965)
- 20) 日特, 昭-50-54627 (1975)
- 21) Pecina, H. : *Holztechnologie*, **11** 193-198 (1970)
- 22) Perkitny, T., Lawniczak, M. and Marciniak, H. : *Holz Roh Werkst.*, **17** 54-61 (1959)

- 23) Perkitny, T. and Helinska, L.: *Holz Roh Werkst.*, **21** 19—22 (1963)
- 24) Perkitny, T. and Kingston, R. S. T.: *Wood Sci. Technol.*, **6** 215—229 (1972)
- 25) Perkitny, T. and Jablonski, W.: *Holz Roh Werkst.*, **37** 463—465 (1979)
- 26) Raknes, F.: *Norsk Skogindustri*, **21** 378—390 (1967)
- 27) Rybarczyk, W. and Ganowicz, R.: *Wood Sci. Technol.*, **8** 233—241 (1974)
- 28) 坂井正孝・長谷川智・元木英生: 木材と技術, **44** 6—9 (1981)
- 29) Stegman, G. and Kratz, O. W.: *Adhesion*, **11** 11—18 (1967)
- 30) Suchsland, O.: *Wood Sci.*, **8** 194—198 (1976)
- 31) 菅野国男: 木材工業, **31** 196—199 (1976)
- 32) 菅野国男: 木材学会誌, **23** 419—426 (1977)
- 33) 菅野国男: 木材学会誌, **24** 513—519 (1978)
- 34) 菅野国男・大坪正夫: 木材学会誌, **25** 318—326 (1979)
- 35) 菅野襄作・今泉勝吉: 集成材. 森北出版, 東京 (1965) pp.113—115
- 36) 高谷典良: 林産試月報, **335** 13—14 (1979)
- 37) Tarkow, H. and Turner, H. D.: *For. Prod. J.*, **8** 193—197 (1958)