

## 単板乾燥からの経過時間と針葉樹合板の接着性

古田 直之 秋津 裕志\*<sup>1</sup> 高谷 典良\*<sup>2</sup>

### Influence of Aging Period of Veneer from Drying on Adhesive Properties for Softwood Plywood

Naoyuki FURUTA Hiroshi AKITSU Noriyoshi TAKAYA

We examined the influence of aging period of veneer from drying on adhesive properties for plywood and the wettability of the veneer of Karamatsu (*Larix leptolepis*), Todomatsu (*Abies sachalinensis*), Dahurican larch (*Larix gmelinii*). The following results were obtained.

- 1) Wood failure after the continuous boiling test decreased with the increase of the aging period of veneer from drying.
- 2) The contact angle of veneer measured after 30 days from drying was larger than that measured immediately after drying.
- 3) The corrected water absorption height (C.W.A.H.) determined by the capillary rise method fell gradually for 30 days or 60 days, but it was stable afterwards.
- 4) The variation of moisture permeability of the veneer of Dahurican larch (*Larix gmelinii*) was large, but its average value decreased with the increase of the aging period of veneer from drying.

*Key words* : softwood plywood, adhesive properties, starved joints, contact angle, capillary rise method, moisture permeability

針葉樹合板, 接着性能, 接着不良, 接触角, 毛管上昇法, 透湿率

道産カラマツ, 道産トドマツ, 北洋カラマツ単板について, 単板乾燥からの経過時間と, 合板の接着力や単板の湿潤性の関係について検討し, 以下の結果を得た。

- 1) 単板乾燥から接着するまでの時間が長くなると, 合板の連続煮沸試験において, 木部破断率が低下する傾向が認められた。
- 2) 単板の接触角は乾燥直後に比べ, 30日以降でやや大きくなった。
- 3) 毛管上昇法による修正水分吸収高は30~60日後まで徐々に低下し, その後安定する傾向が見られた。
- 4) 北洋カラマツ単板の透湿性はバラツキが大きかったが, その平均値は時間経過とともにやや低下した。

1. はじめに

合板用原木は近年の資源問題や環境問題により、従来の南洋材から針葉樹材に急速に移行している。針葉樹合板の生産量の増加とともに、フェノール樹脂接着剤の使用量も増加している。フェノール樹脂接着剤は合板用接着剤として接着耐久性が高くホルムアルデヒド放散量が少ないなどの優れた性能を持っている。一方、フェノール樹脂接着剤を用いて針葉樹合板を製造する場合、熱圧時に接着不良（パンク）が発生して生産性の大きな低下を招くことがある。合板工場においては、単板を乾燥してから接着するまでの経過時間が長い場合に接着不良が多く発生することが経験的に指摘されている。これに関して、Northcottら<sup>1)</sup>はエンゲルマンスプルス単板について、単板乾燥から接着するまでの経過時間が長くなると、合板の木部破断率が低下することを報告している。また、集成材の製造においては、プレーナー加工から接着するまでの経過時間と接着性の関係について、経過時間が長くなると接着性能や湿潤性が低下するという報告<sup>2,3)</sup>と、経過時間による接着性能の明確な変化はないという報告<sup>4)</sup>があり、樹種や試験条件により異なる結果が得られている。材面加工からの時間経過に伴い接着性能が低下する理由としては、時間経過に伴う接着を阻害する抽出成分の表面への浸出や、表面の汚染など様々な理由が考えられている<sup>3)</sup>が、明確な結論は得られていない。

本試験では、近年合板用として使用されている数種の針葉樹単板について、単板乾燥からの経過時間が合板の接着性能や湿潤性に及ぼす影響について検討した。なお、本試験は北日本ディック（株）からの受託研究として行ったものの一部である。

2. 実験方法

2.1 供試材料

供試原木の詳細を第1表に示した。各樹種につき原木1本を供試した。以下、北海道産のカラマツ (*Larix leptolepis*) を道産カラマツ、北海道産のトドマツ (*Abies sachalinensis*) を道産トドマツ、ロシア産のダフリカカラマツ (*Larix gmelinii*) を北洋カラマツと呼ぶ。これらの原木から厚さ3.15mmのロータリー単板を切削し、横循環式ローラードライヤを用いて含水率が5%程度になるまで乾燥させた。これらの単板の内周部（心材部）と外周部（主に辺材部）から単板を抜き出し、合板の接着力試験、湿潤性試験に供した。試験は単板乾燥直後、乾燥から30日、60日、90日、120日経過後にそれぞれ行った。それぞれの単板は実際の使用状況を想定して合板工場内に堆積して保管したものを使用した。

2.2 合板の接着力試験

それぞれの経過時間において、第2表に示す製造条件で32×32cmの3プライ合板を内周部、外周部からそれぞれ1枚ずつ製造した。製造した合板について、合板の日本農林規格に準じて常態接着力試験、連続煮沸試験を行った。試験片は合板1枚から常態接着力試験用、連続煮沸試験用それぞれ10片（心板の裏割れの方向と荷重方向が順逆それぞれ5片）ずつとした。また、それぞれの経過時間における単板含水率を全乾法により測定した。

2.3 単板の湿潤性試験

2.3.1 液滴法

単板乾燥直後に比較的表面の平滑な単板を抜き出し、これをラワン合板（厚さ12mm）の表面に接着し、表面を#240のサンドペーパーで仕上げ、試験体

第1表 試験に使用した原木  
Table 1. Logs used for this experiment.

樹種 Species	産地 Locality	元口径(cm) Diameter at butt end	末口径(cm) Diameter at top end	元口年輪数 Number of annual rings at butt end	平均年輪幅(mm) Average annual ring width	平均単板密度(g/cm <sup>3</sup> ) Average density of veneer in air-dry condition
カラマツ Karamatsu ( <i>Larix leptolepis</i> )	北海道 Hokkaido	32.5	32.0	50	3.25	0.55
トドマツ Todomatsu ( <i>Abies sachalinensis</i> )	北海道 Hokkaido	50.3	43.0	64	3.54	0.34
ダフリカカラマツ Dahurican larch ( <i>Larix gmelinii</i> )	ロシア Russia	35.5	34.0	118	1.50	0.57

第2表 合板製造条件

Table 2. Manufacturing conditions for plywood.

接着剤 Adhesive	フェノール樹脂接着剤 (大日本インキ化学工業 (株) フェノライトPA-2085) Phenol resin adhesives (Dainippon Ink and Chemicals, Incorporated Phenolite PA-2085)
配合 Mixing ratio	樹脂:無機充填剤:有機充填剤:硬化促進剤:水 = 100:16.7:4.2:1.3:5 Resin:Inorganic filler:Organic filler:Hardener:Water = 100:16.7:4.2:1.3:5
塗布量 Spread	38 g / 900cm <sup>2</sup>
冷圧条件 Cold pressing conditions	0.98 MPa - 15min
熱圧条件 Hot pressing conditions	135 - 0.98 MPa - 30 s/mm

を作成した。単板とラワン合板の接着には水性高分子イソシアネート系接着剤 (大日本インキ化学工業 (株) ディックボンド V-160) を用いた。接触角の測定は、それぞれの経過時間ごとにエルマ接触角測定画像解析装置 360 / 830 型を用いて行った。試験体に蒸留水、およびフェノール樹脂と蒸留水の 1 対 1 混合物 (以下混合物) を滴下し、滴下 10 秒後および 60 秒後に繊維と直交する方向から見た接触角を測定した。滴下に使用したフェノール樹脂は 2.2 と同様である。1 回の滴下量は 2 μl とし、測定点数は 1 条件あたり 10 点 (早材部 5 点, 晩材部 5 点) とした。

2.3.2 毛管上昇法

2.3.1 で採取した単板と隣接する部分の単板から適量を採取し、20-42mesh の木粉にした。これを底部を 100mesh のステンレス網で覆った内径 5mm, 長さ 30cm のガラス管内に充填した。道産カラマツと北洋カラマツについては 10cm つめるごとに 3cm の高さから 3 回ガラス管を実験台上に落とす方法でガラス管上部まで充填した。道産トドマツについては、この方法によるとガラス管内部の空隙が多くガラス管内の見かけの密度が低くなったため、10cm つめるごとに 5cm の高さから 10 回ガラス管を実験台上に落とす方法で充填した。ガラス管の底部を 15mm まで蒸留水あるいは混合物に浸せきさせ、水分吸収高さの経時変化を調べた。水分吸収高さは 48 時間まで測定した。なお、測定は 20, 40%RH の恒温恒湿室内において行い、測定数は 1 条件あたり 3 体とした。測定した水分吸収高さから種々の因子の影響を修正した修正水分吸収高 (C.W.A.H.)<sup>5)</sup> を次式により計算した。

$$C.W.A.H. = h_1 \frac{d^2 \pi h_2}{4WS}$$

$h_1$ : 水分吸収高 (mm)

$h_2$ : ガラス管中の木粉高さ (cm)

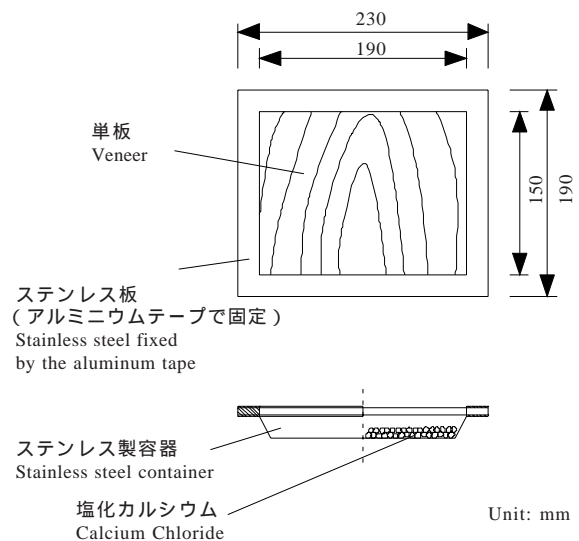
$d$ : ガラス管の内径 (cm)

$W$ : 木粉の絶乾重量 (g)

$S$ : 水の比容積 (cm<sup>3</sup>/g)

2.4 単板の透湿性試験

試験には北洋カラマツのロータリー単板 (幅 23cm, 長さ 19cm, 厚さ 3.15mm) を用いた。単板は節や開口した割れ等の欠点のないものを使用した。単板の透湿性は JIS A 1324 に規定されるカップ法を用いて以下の方法で測定した。まず、単板の外周部 (単板の端から 2cm) と側面をアルミテープでシールし、19 × 15cm の部分だけ開放した (第 1 図)。さら



第 1 図 透湿性測定用試験体

Fig.1. The test specimen for the moisture permeability measurement.

に、吸湿による単板の狂いを防止するために、厚さ2mm、単板と同じサイズで19×15cmの空洞のあるステンレス板2枚で単板を挟み、これをアルミテープでしっかりと固定した。次に外寸がおよそ21×17cm、深さ25mmのステンレス製容器の中に塩化カルシウムを250g入れ、これをパラフィンで上記のステンレス板にしっかりと固定した。試験体を塩化ナトリウムの飽和水溶液を入れたデシケーター(20, 76%RH)に入れ、試験体の重量変化を1/100g精度の電子天秤を用いて測定した。試験体重量の増加速度が一定になるまで測定し、以下の式によって透湿率(μ)を算出した。試験体は6体作成し、測定は同一試験体について単板乾燥直後、乾燥から30日、60日、90日経過後に繰り返し行った。また、乾燥から90日後の道産トドマツ単板についても同様に透湿率を測定した。

$$\mu = \frac{G \times d}{(P_1 - P_2) \times A}$$

μ：透湿率 (mg/m・h・mmHg)

G：単位時間あたりの透湿量 (mg/h)

P<sub>1</sub>：恒温恒湿室内の空気の水蒸気圧 (mmHg)

P<sub>2</sub>：ステンレス製容器内の空気の水蒸気圧 (mmHg)

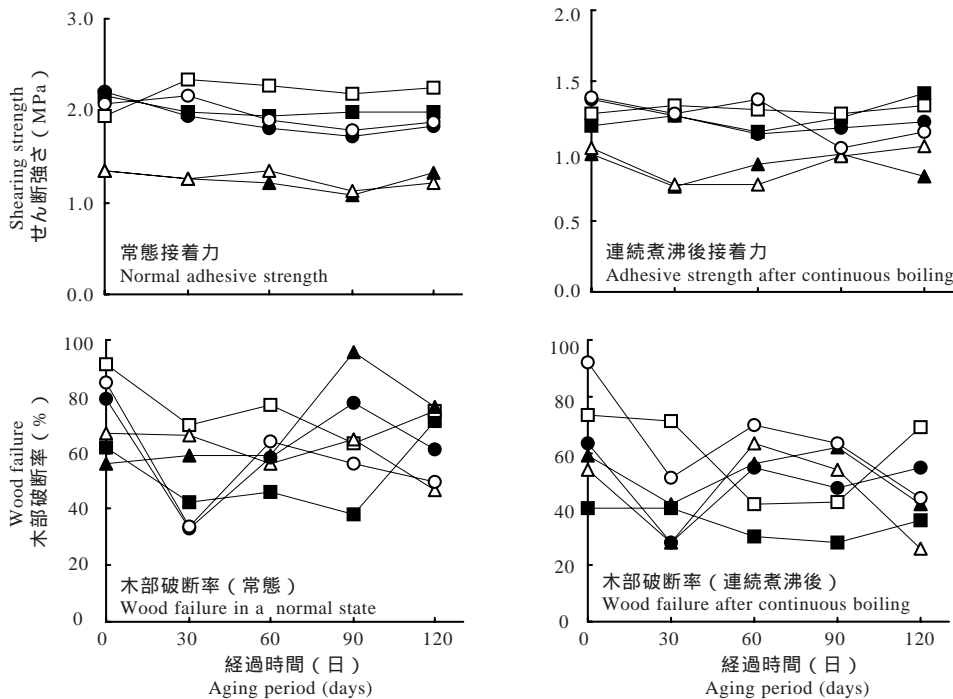
A：透湿面積 (m<sup>2</sup>)

d：単板の厚さ (m)

### 3. 試験結果と考察

#### 3.1 合板の接着性能

各単板について、乾燥からの経過時間と合板の接着力(せん断強さ)およびその時の木部破断率の関係を第2図に示した。値は10片の平均値で示した。常態接着力は道産カラマツ、北洋カラマツで1.8から2.3MPa程度、道産トドマツで1.1から1.4MPa程度で推移している。一般に常態接着力は単板密度と高い相関があり<sup>6)</sup>、本試験においても同様の結果を示した。乾燥からの経過時間と常態接着力の関係については、道産カラマツの外周部を除いて経過時間とともに接着力がやや低下する傾向が見られた。また、連続煮沸後の接着力については、北洋カラマツでは経過時間とともに低下する傾向が見られたが、それ以外の樹種では経過時間による大きな差は見られなかった。常態時の木部破断率については、バラツキが大きく経過時間による明確な差は見られな



第2図 乾燥からの経過時間と合板の接着性能

Fig. 2. Relationship between adhesive properties for plywood and aging period of veneer from drying.

凡例) ○：道産カラマツ内周部, ●：道産カラマツ外周部, □：道産トドマツ内周部, ■：道産トドマツ外周部, △：北洋カラマツ内周部, ▲：北洋カラマツ外周部

Legend) ○：Inner part of Karamatsu grown in Hokkaido; ●：Outer part of Karamatsu grown in Hokkaido; □：Inner part of Todomatsu grown in Hokkaido; ■：Outer part of Todomatsu grown in Hokkaido; △：Inner part of Dahurican larch grown in Russia; ▲：Outer part of Dahurican larch grown in Russia

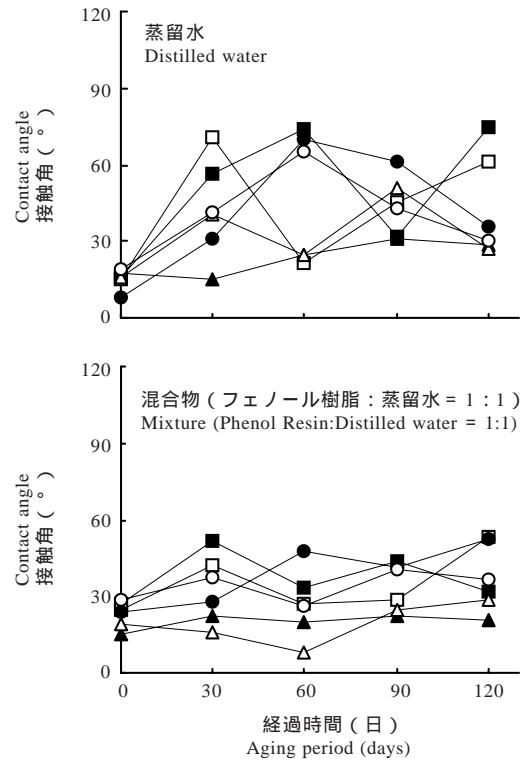
かったが、連続煮沸後の木部破断率は乾燥直後がやや高く、30日以降で低下する傾向が見られた。内周部と外周部の違いについては、道産カラマツでは、接着力、木部破断率とも内周部より外周部の方が高かったが、道産トドマツ、北洋カラマツについては内周部と外周部で明確な傾向は見られなかった。

本試験では乾燥直後の単板含水率は4.0～5.8%であったが、30日後にはいずれの樹種も含水率がやや上昇し、6.8～8.3%となった。したがって、乾燥からの経過時間による常態接着力や木部破断率の変化の原因については、単板含水率の影響も否定できないが、Stumbo<sup>3)</sup>の指摘している材表面への木材成分の移動や汚染物の付着などの可能性も考えられる。また、乾燥から時間の経過した針葉樹単板の表面を研削すると、単板表面の炭素原子に対する酸素原子の割合が増加するため、湿潤性や接着性が向上するといった結果<sup>7)</sup>も得られており、このような時間経過による接着性能の変化の原因を解明するには多くの検討が必要である。

### 3.2 単板の湿潤性

#### 3.2.1 液適法

乾燥からの経過時間と接触角の関係を第3図に示した。蒸留水および混合物滴下10秒後の値を10点の平均値で示した。蒸留水を滴下したものはすべての樹種において乾燥直後の接触角が8°から20°程度であったが、30日後には15°から70°程度と接触角が大きくなる傾向が見られた。しかし、その後は接触角の数値に明確な傾向は認められなかった。一般に、接触角は単板密度との相関が高いが、本試験では樹種の違いによる接触角の明確な相違は見られなかった。混合物を滴下したものは、蒸留水と同様に乾燥直後では接触角がやや小さく、30日後にやや増加する傾向が見られたが、蒸留水ほど顕著な傾向ではなかった。滴下60秒後の接触角についても10秒後と同様の傾向を示した。作野ら<sup>2)</sup>はアカマツ、エゾマツ等の集成材ラミナにおいて、プレーナー加工後の時間経過に従い湿潤性が低下すると報告している。本試験においても乾燥から30日後までは同様な傾向を示したが、60日以降では接触角のバラツキが大きく、経過時間と接触角の間に明確な傾向を示さなかった。本試験では、単板の狂いや表面粗さの



第3図 乾燥からの経過時間と単板の接触角

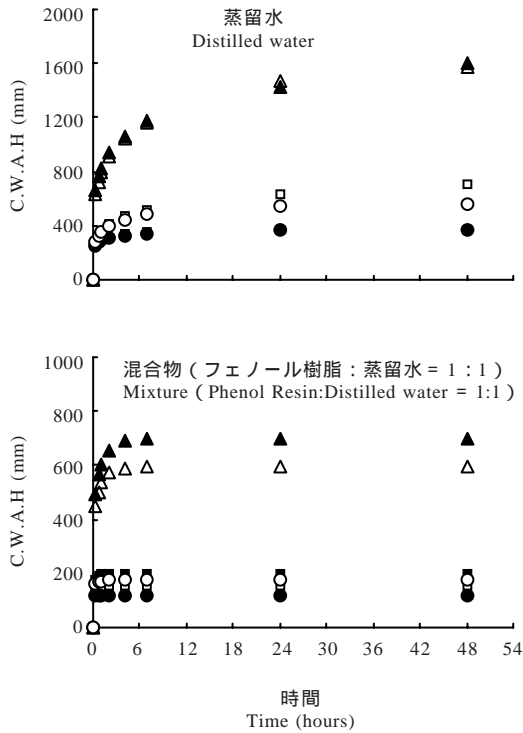
Fig. 3. Relationship between contact angle of veneer and aging period of veneer from drying.

凡例) 第2図参照  
Legend) See Fig. 2.

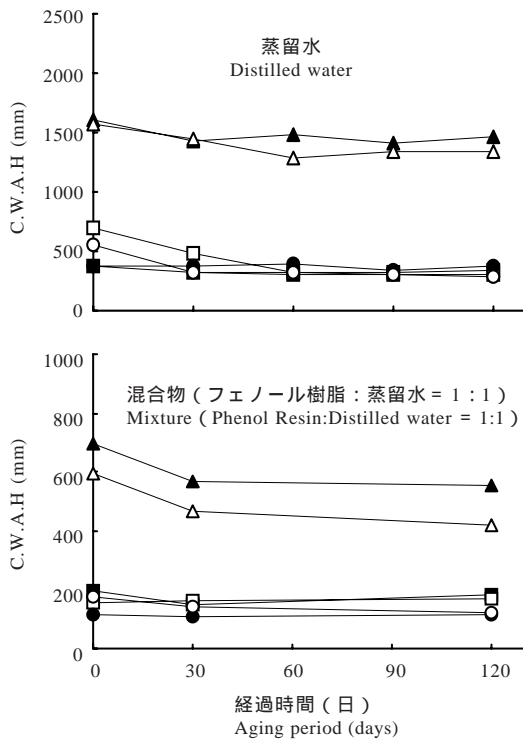
測定値への影響を低減させるためにラワン合板の表面に単板を接着し、サンドペーパーで仕上げた後測定を行っているが、単板表面の微細な割れや目ぼれ等によって測定値がばらついたことなども考慮する必要があると考えられる。

#### 3.2.2 毛管上昇法

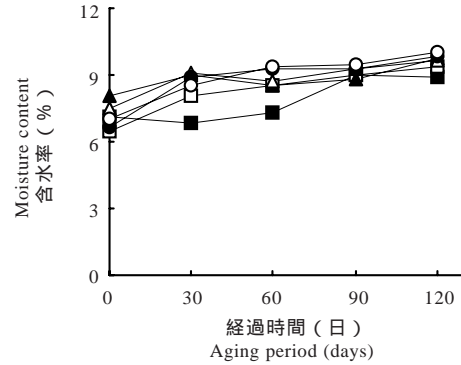
接触角が単板表層部の湿潤性を示すのに対して、毛管上昇法による単板の濡れの測定は、単板内部を含めた湿潤性を示すものと考えられ、前述したような単板表面の粗さや割れの影響を受けないと考えられる。乾燥直後におけるC.W.A.H.の経時変化を第4図に示した。C.W.A.H.は蒸留水では48時間経過後も上昇傾向にあったが、混合物では6時間程度でほぼ一定となった。単板乾燥からの経過時間とC.W.A.H.の関係を第5図に示した。値は48時間経過後の平均値で示した。C.W.A.H.は道産カラマツ、北洋カラマツに比べ道産トドマツが高くなり、単板密度と負の相関を示した。本試験では樹種によりガラス管への充填方法が異なっているが、いずれの樹種において



第4図 修正水分吸収高の経時変化  
Fig. 4. Change of corrected water absorption height (C.W.A.H) with time.  
凡例) 第2図参照  
Legend) See Fig. 2.



第5図 乾燥からの経過時間と修正水分吸収高  
Fig. 5. Relationship between C.W.A.H. and aging period of veneer from drying.  
凡例) 第2図参照  
Legend) See Fig. 2.

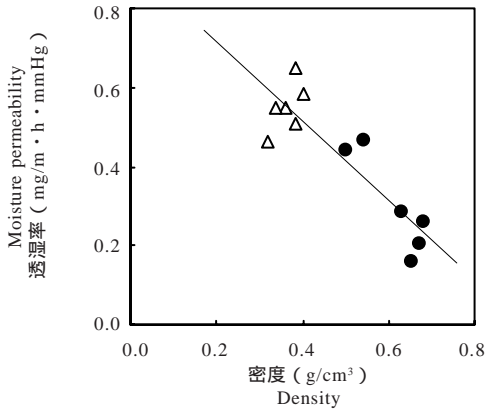


第6図 乾燥からの経過時間と木粉含水率  
Fig. 6. Relationship between moisture content of wood particles and aging period of veneer from drying.  
凡例) 第2図参照  
Legend) See Fig. 2.

も単板の気乾密度に対するガラス管内の見かけ密度の比は0.5程度であり、樹種による差は少なかったため、異なる樹種について同様に比較しても問題ないものと考えられる。北洋カラマツの内周部を除いてC.W.A.H.は乾燥直後が最も高く、30～60日後まで低下し、その後はほぼ一定となる傾向を示した。この傾向は混合物の吸収においてもほぼ同様であった。なお、測定時の木粉含水率は第6図に示すように時間経過とともに徐々に増加していた。一般に含水率が高い場合は湿潤性が高くなるものと考えられ、本試験の結果と逆の傾向であった。したがって、単板乾燥から時間が経過すると単板の湿潤性がやや低下すると考えてよいものと思われる。また、毛管上昇法による結果から判断して、乾燥からの時間経過によって単板表層部のみではなく、単板全体にわたって湿潤性が低下する可能性が示唆された。

### 3.3 単板の透湿性

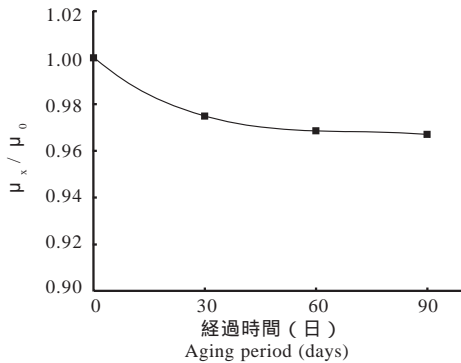
接触角やC.W.A.H.が単板に対する接着剤の浸透性に関わっていると考えられるのに対して、単板の透湿性は、合板製造時の水分の移動と密接に関わっていると考えられる。すなわち、透湿性の低い単板は熱圧時に単板中の水分が移動しにくく、単板中に水分が多く残存するため、これが熱圧時の接着不良の発生にも関連するものと思われる。また、透湿率は単板中を透過する水分の移動速度が平衡に達した時の値を示したものであり、接触角やC.W.A.H.等のように直接的に単板含水率の影響を受けにくいものと考えられる。



第7図 単板密度と透湿率の関係

Fig. 7. Relationship between density of veneer and moisture permeability.

凡例) : 道産トドマツ, : 北洋カラマツ  
 Legend) : Todomatsu grown in Hokkaido; : Dahurican larch grown in Russia



第8図 北洋カラマツにおける乾燥からの経過時間と単板の透湿率

Fig. 8. Relationship between moisture permeability and aging period of veneer from drying in Dahurican larch grown in Russia.

注)  $\mu_0$ : 乾燥直後の透湿率,  $\mu_x$ : それぞれの経過時間における透湿率  
 Note)  $\mu_0$ : moisture permeability measured immediately after drying;  
 $\mu_x$ : moisture permeability in each aging period

道産トドマツ, 北洋カラマツ単板について単板密度と切削から90日後の透湿率の関係を第7図に示した。透湿率と単板密度の相関係数は $r=-0.89$ となり1%水準で有意な相関が得られ, 道産トドマツに比べ北洋カラマツは透湿率が低くなった。なお, 測定した単板は節や開口した割れ等の欠点のないものを使用した, 単板には裏割れが存在するため, これが透湿率に影響を与えていると考えられ, 透湿率のバラツキは単板密度のバラツキに比べやや大きかった。北洋カラマツ単板における乾燥からの経過時間と単板の透湿率の関係について, 乾燥直後の値に対する比率で第8図に示した。透湿率の平均値は乾燥直後に対して, 30日後には2.5%程度減少し, 60日

以降ではほぼ一定となった。このような傾向は毛管上昇法による結果と同様であった。

#### 4. おわりに

以上のように, 道産カラマツ, 道産トドマツ, 北洋カラマツ単板において, 単板乾燥からの経過時間に伴い単板の湿潤性や透湿性が低下し, これが合板の接着性能に影響を及ぼしているものと考えられる。また, このような単板の物理的性質の変化は, 乾燥から30日程度までに起こりやすく, その後は一定となる傾向が見られた。このような変化の原因には単板中の含有成分などの化学的变化, あるいは壁孔等の組織構造の物理的变化等が考えられるが, これらを解明するには更なる検討が必要である。合板工場では北洋カラマツにおいて熱圧時の接着不良の発生が多いと言われているが, 本試験の結果から北洋カラマツの透湿性の低さが接着不良の発生にも関係している可能性があると考えられた。いずれにせよ, 合板の接着不良の発生を減少させる意味においては, 単板乾燥から接着するまでの時間をできるだけ短くすることが重要であると考えられる。

#### 文 献

- 1) Northcott, P. L., Colbeck, H. G. M., Hancock, W. H., Shen, K. S.: *Forest Prod. J.*, **12**(9), 442-451(1959)
- 2) 作野友康, 後藤輝男, 勝部理市: 島根大学農学部研究報告, 第5号, 66-70(1971)
- 3) Stumbo, D. A.: *Forest Prod. J.*, **14**(12), 582-589(1964)
- 4) 作野友康, 後藤輝男, 勝部理市: 島根大学農学部研究報告, 第6号, 66-70(1972)
- 5) Bodig, J.: *Forest Prod. J.*, **12**(6), 265-270(1962)
- 6) “木材の接着・接着剤”, (社)日本木材加工技術協会, 42-43(1996)
- 7) “木材接着講習会テキスト”, (社)日本木材加工技術協会, 131(2002)

- 技術部 合板科 -

- \* 1: 性能部 接着塗装科 -

- \* 2: 技術部長 -

(原稿受理: 04.09.24)