

間伐針葉樹材の単板歩留まりと接着性

田 口 崇 前 田 典 昭*

The Yield and Adhesiveness of Veneers Produced from Thinned Softwood Logs

Takashi TAGUCHI Noriaki MAEDA

To produce suitable veneers for LVL (Laminated Veneer Lumber), peeling tests were performed on 50 cm-long crosscut logs of plantation-grown Karamatsu and Todomatsu. The veneers 2-6 mm thick were made from these logs. Then, LVLs were experimentally manufactured from those veneers with various conditions of the amount of the adhesive to be spread and of the pressure for a hot press. The adhesive performance of the LVLs were measured according to the JAS for LVL. The results are summarized as follows;

1. Upon the basis of the volume of a circular column calculated from the minimum diameter of each crosscut log, the yield of veneers from 2 to 4 mm in thickness can be estimated from the following expression;

$$A_G = \frac{L_G/L}{\sum_{i=1}^{L_G/L}} (t \ell_i B_T) / \sum \frac{1}{4} \{ [D_0 + \beta (i-1)]^2 \pi L \} \times 100$$

where A_G is total yield of veneers, ℓ_i is effective veneer length, L is crosscut log length, L_G is log length, t is veneer thickness, B_T is veneer breadth, β is slenderness ratio, D_0 is log diameter in the JAS (Japanese Agricultural Standard).

2. In consideration of the reduction caused by the thickness variation of veneers taken from the outer part of logs, the calculated yields of veneers of 5 and 6 mm in thickness were recognized to be in agreement with the observed yield.

3. The permitted maximum limit of veneer thickness were 4 mm for Karamatsu and 6 mm for Todomatsu to pass the test for warm water proofing.

道産造林カラマツ及びトドマツを50cmに玉切りしてLVL用単板の切削試験を行った。切削単板厚さとして2, 3, 4, 5, 6mmを設定した。次にこれらの単板を用い、接着剤塗布量及び熱圧縮圧力をかえてLVLを製造し接着性能を観察した。得られた結果は次のようにまとめることができる。

1) 切削単板厚2~4mmでは供試した玉切り材の最小径から求められた円柱としての材積をベースとして、単板歩留まりは次式で予測できる。

$$A_G = \frac{L_G/L}{\sum_{i=1}^{L_G/L}} (t \ell_i B_T) / \sum \frac{1}{4} \{ [D_0 + \beta (i-1)]^2 \pi L \} \times 100$$

t : 単板厚 ℓ_i : 有効単板長 B_T : 単板幅

- L : 玉切り長 : 細り率 L_0 : 原木長
 D_0 : 原木のJAS径級
 2) 切削単板厚5,6mmでは初期薄むけの量を補正值として上式にあてはめることにより実験値との適合性が認められた。
 3) JASに定められたLVLの温冷水浸せきはく離試験に合格する単板厚はカラマツで4mm, トドマツで6mm以下である。

1. はじめに

北海道のカラマツ素材生産量は昭和59年度において110万 m^3 に達した。5年前に比べ40%の伸び率であり、この増加傾向はますます続くものとみられる。またトドマツの間伐による出材も増加しつつある。

一方カラマツの素材出荷量をみると製材用46%, パルプチップ用39%, 坑木11%でどちらかといえば付加価値の低い使われ方になっている。

なおカラマツ素材の径級別割合をみると13cm以下の小径材で53.6%, 14~18cmのもの33.4%, 20~28cmのもの11.9%, 30cm以上の大径材はわずかに1.1%である¹⁾。これからみて中径材以下のものの付加価値の高い利用開発が求められる。

北海道立林産試験場では間伐材利用の一つとして径級14~22cm程度のものを対象とするLVL(単板積層材)の製造技術について検討をすすめている。

LVLの製造においては、単板厚さが原木からの歩留まり、接着剤所要量に関係し、原価構成すなわち経済性に大きな影響を与える。一般的には単板厚さが厚くなるとLVL単位厚さ当たりの接着積層数が減り、接着剤所要量が低減すると考えられる。一方歩留まりは低下し、単板の面粗さが大きくなり接着性能に問題が出てくることも予想される。

ここでは造林木のカラマツ及びトドマツを対象とし単板厚さと生単板歩留まり(以下単板歩留まりと略称)について調査するとともに、接着操作に関する検討を行ったので報告する。

本実験を遂行するにあたり御指導いただいた合板試験科長高橋利男氏に深く謝意を表する。

2. 実験方法

2.1 供試原木と単板切削

供試原木としてカラマツ及びトドマツの材長3.65m, JAS径級18,20,22cmのものを選木し、切削厚さ別に各3本をあてた。供試原木の末口、元口の短径から原木の細り率を求めた。

玉切り長さを50cmとし材長3.65mのもの1本から7個採取した。したがって切削厚さ別にはそれぞれ21個あてたことになる。玉切り材径級は1cm括約で測定し、JAS径級別、切削厚さ別に平均径を求めた。

単板切削の前処理として両樹種とも60℃温水中に8時間浸せきしたのち、加熱を停止、そのまま温水中に16時間放置した。

切削厚さは2~6mmの範囲で1mm刻みに切削した。単板幅は460mmである。使用したロータリーレースはウロコ製作所製RVD-2SD型で外周駆動併用型である。油圧式ダブルスピンドルで、スピンドル径は大的もの120mm, 小的もの50mmである。ナイフ長さは600mm, 装着しうる原木最大径360mm, 最大切削速度35m/minである。

切削条件として水平距離は単板厚さの90%, 垂直距離は単板厚さの30%となるよう設定した。ナイフ刃角は2段砥ぎの22°+4°とした。逃角を0°とし切削角が22°となるように調整した。ナイフ刃先高さについては、単板厚2,3mmのものはスピンドル中心に一致させ、4,5,6mmのものはそれぞれ0.4,0.6,0.8mm下掛けとした。

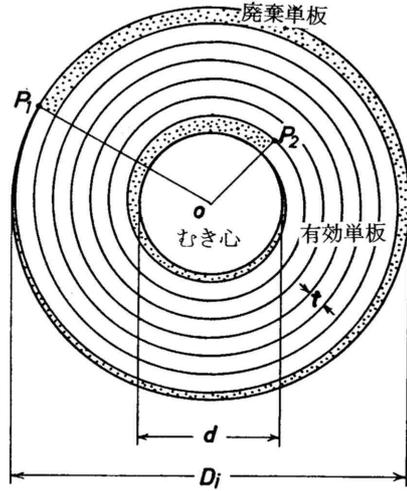
切削開始後ほぼ連続した単板が出現したのち切削終了までの単板厚さをマイクロメーターにより10cm間隔で測定した。また乾燥した単板の表面粗さを触針式あらさ計を用いプロフィールカーブを求めた。

2.2 単板歩留まり

単板歩留まりの基礎となる原木材積は調木長3.5mとして用材の日本農林規格に準じ末口二乗法で求めた材

積を V_1 とした。また50cm玉切り材の末口短径から単純に円柱とみなして計算した玉切り材7個の合計値を V_2 とした。採取した生単板材積から先述の V_1, V_2 をベースにしてそれぞれの単板歩留まりを求めた。採取した生単板は1枚ものと小幅ものがあるが、小幅ものについては10cm以上とした。ここで実際にえられた単板歩留まりと計算によるそれとの比較検討を行った。

計算による単板歩留まりの算出方法を以下に示す。玉切り材(i)の形状を末口短径を直径とする円筒形とし切削曲線を第1図のように仮定し、これを極座標(r, θ)で表現すると



第1図 単板の切削曲線

$$r = \frac{1}{2} D_i - \frac{t}{2\pi} \theta \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここに、 D_i = 玉切り材(i)の末口径

t = 切削単板厚

切削される単板のうち厚さ t 未満の部位(第1図における 影 部)を捨て去った有効単板長 L_i は、2点

$$\left. \begin{aligned} P_1(r_1, \theta_1) \quad \text{ただし、} r_1 &= \frac{D_i}{2} \\ P_2(r_2, \theta_2) \quad \text{ただし、} r_2 &= \frac{d}{2} + t \end{aligned} \right\} \dots\dots (2)$$

の範囲内の曲線(1)の全長である。

$$l_i = \int_{\theta_1}^{\theta_2} \sqrt{r^2 + \left(\frac{dr}{d\theta}\right)^2} d\theta \quad \dots\dots\dots (3)$$

(1)より、 $\frac{dr}{d\theta} = -\frac{t}{2\pi}$ 、 $d\theta = -\frac{2\pi}{t} dr$ であるから
 $u = \frac{t}{2\pi}$ と置いて解くと l_i は次のようになる。

$$\begin{aligned} l_i &= -\frac{1}{u} \int_{r_1}^{r_2} \sqrt{r^2 + u^2} dr \\ &= -\frac{1}{2u} [r\sqrt{r^2 + u^2} \\ &\quad + u^2 \log(r + \sqrt{r^2 + u^2})]_{r_1}^{r_2} \dots\dots\dots (4) \end{aligned}$$

したがって、玉切り材を円柱と仮定した場合の歩留まり A_T を求めると次のようになる。

$$A_T = t l_i B_T / \left(\frac{1}{4} D_i^2 \pi L\right) \times 100 \quad \dots\dots (5)$$

ここに、 B_T = 切削単板幅
 L = 玉切り長

長尺原木の細り率を考慮した全体の歩留まり A_G は次のようにあらわすことができる。

$$\begin{aligned} A_G &= \frac{L_G/L}{\sum_{i=1}^{L_G/L} (t l_i B_T)} / \frac{L_G/L_1}{\sum_{i=1}^{L_G/L_1} \frac{1}{4} \{D_0 + \beta(i-1)^2\} \pi L} \\ &\quad \times 100 \quad \dots\dots\dots (6) \end{aligned}$$

ここに、 D_0 = 原木のJAS径級

L_G = 原木長

2.3 LVLの接着性

単板歩留まりを調査したものについてロールドライヤーで乾燥し供試単板とした。これを20, 65% R.H.の環境で十分調湿したのち接着操作を行った。単板寸法は460×460mmで、積層厚さとして40mmを目標とした。したがって単板厚2~6mmにおいてそれぞれ21, 15, 11, 9, 7プライ構成とし、各条件3枚宛製造した。

接着剤の配合割合は尿素樹脂100部、小麦粉15部、水15部、塩化アンモン1.5部である。接着剤塗布はスプレッダーによる片面塗布とし、塗布量を155g/m²と200g/m²の2水準とした。冷圧条件は圧力12kgf/cm²、時間60分(室温20)，更に熱圧条件として熱盤温度115，時間40秒/mm、圧力を10kgf/cm²と14kgf/cm²の2水準を設定した。接着後のLVLは20, 65% R.H.の環境で十分調湿したのち供試した。

接着性能は単板積層材のJASに準じ浸せきはく離試験で評価した。この際1枚のLVLから3片、同一

条件9片の試験片を採取した。

3. 結果及び考察

3.1 原木形状

径級別、切削厚さ別に選定した各3本の原木の細り率の平均値を第1表に示す。原木はランダムに選定した。ただし樹種間でみるとカラマツ全体の細り率の

第1表 供試原木(材長3.65m)細り率^{a)}

樹種	JAS径級(cm)	切削単板厚(mm)				
		2	3	4	5	6
カラマツ	18	0.548	0.822	0.571	1.096	1.096
	20	0.822	0.548	1.096	1.096	0.548
	22	1.096	0.548	0.548	0.548	1.096
トドマツ	18	0.548	1.096	1.096	1.096	1.644
	20	1.918	1.096	1.644	1.644	1.096
	22	1.096	1.096	1.096	1.096	0.548

注 a) 細り率 = $\frac{\text{元口短径(cm)} - \text{末口短径(cm)}}{\text{材長(m)}}$

平均値が0.865であるのに対しトドマツのそれは1.169と高くあらわれている。また最小値と最大値の範囲をみるとカラマツで0.548~1.096、トドマツで0.548~1.644となっておりトドマツのバラツキが大きいことがわかる。

材長3.65mのものから50cmに玉切りしたものの末口最小径の実測平均値をJAS径級別、切削厚さ別に示したものが第2表である。各欄の数字は玉切り材21個の平均値である。

玉切り材の径はJAS径級に比べて1~3cmの範囲で太くあらわれている。切

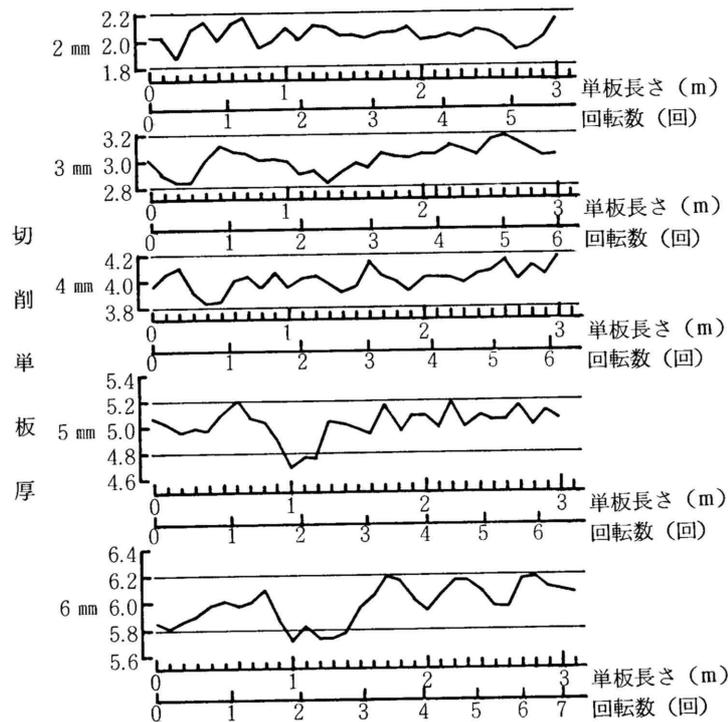
第2表 玉切り材の平均径

樹種	JAS径級(cm)	供試切削単板厚(mm)				
		2	3	4	5	6
カラマツ	18	20	20	20	19	19
	20	22	21	22	21	21
	22	25	23	23	23	24
トドマツ	18	19	21	21	20	21
	20	23	21	23	24	22
	22	24	24	25	23	23

削厚さ別の径級をみるとほとんど差のないことが認められる。

3.2 切削単板の厚さむら

切削開始後において単板がほぼ連続して出てくるようになってから10cm間隔で測定した単板厚さの変化の一例を第2図に示す。単板厚さが厚くなるにつれて厚さの振幅が大きくあらわれている。また設定厚さに対する平準化の程度をみると単板厚さの薄いものほど初



第2図 切削開始後3mまでの単板厚(カラマツ, 径級18cm)

期の段階で到達するのに対し、単板厚さが厚くなればそれが遅れている。すなわち厚単板では設定厚さまで平準化するのに長い切削距離または多量の回転数を要する。また切削段階の初期においては設定厚さよりも薄くあらわれる傾向を読みとることができる。

一般にロータリーレースにおける単板切削では切削初期の薄むき現象があらわれ、この原因として切削条件やロータリーレースの動的精度が関係する^{2) 3)}とされている。

第2図であきらかなように単板厚さの設定値に対するある程度の平準化がなされたとしても、“厚薄”の現象をさけることは不可能である。特に中径材を原料とする厚単板の切削においては、“単板の厚薄”をどこまで許容するかによって単板歩留まりに大きな影響を与える。

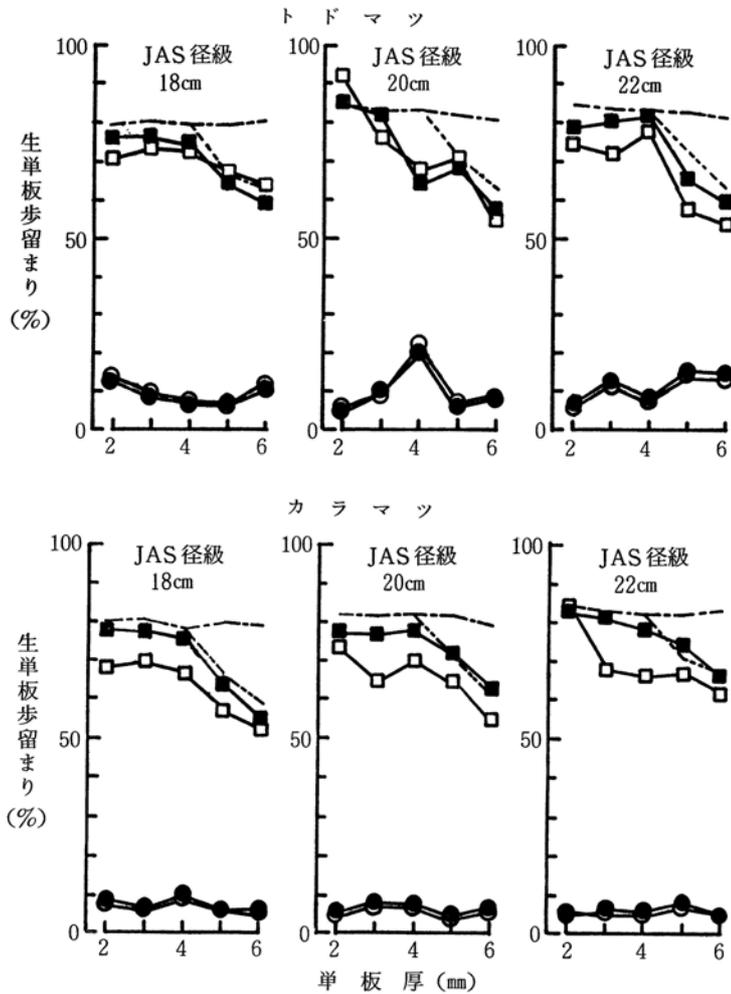
合板製造時の心板単板における隣接单板相互の厚さ精度として柳下ら⁴⁾は設定厚さに対して $\pm 0.2\text{mm}$ 以内にとどめるのがよいとしている。また半井ら⁵⁾は心板単板の設定厚さに対する厚薄の許容範囲として10%以下に押えるべきだとしている。

単板厚さが2mm程度の場合両者の見解は一致するがこれをこえて厚むきする場合には差が示されている。本実験においては接着性能への影響を少なくするため設定単板厚さの $\pm 0.2\text{mm}$ を許容限度とした。この尺度で第2図をみると設定厚2

~4mmの単板では初期薄むけはなくすべて使えることになる。設定厚5mmの単板では外周から約2.5回転、6mm厚単板では約3回転分に初期薄むけ現象があらわれており、この部分を捨て単板とし扱う判断基準が出てくる。

3.3 単板歩留まり

両樹種の切削単板厚さと単板歩留まりとの関係をJAS径級ごとに第3図（カラマツ及びトドマツ）に示す。図中で一点鎖線は、JAS原木径級及び実測の細り率（第1表）を式（6）に適用して求めた単板歩留



第3図 JAS径級、切削単板厚別歩留まり

注) ○ 末口二乗法をもとにした小幅単板歩留まり □ 末口二乗法をもとにした合計歩留まり
● 円筒形法をもとにした小幅単板歩留まり ■ 円筒形法をもとにした合計歩留まり

まりの計算値である。

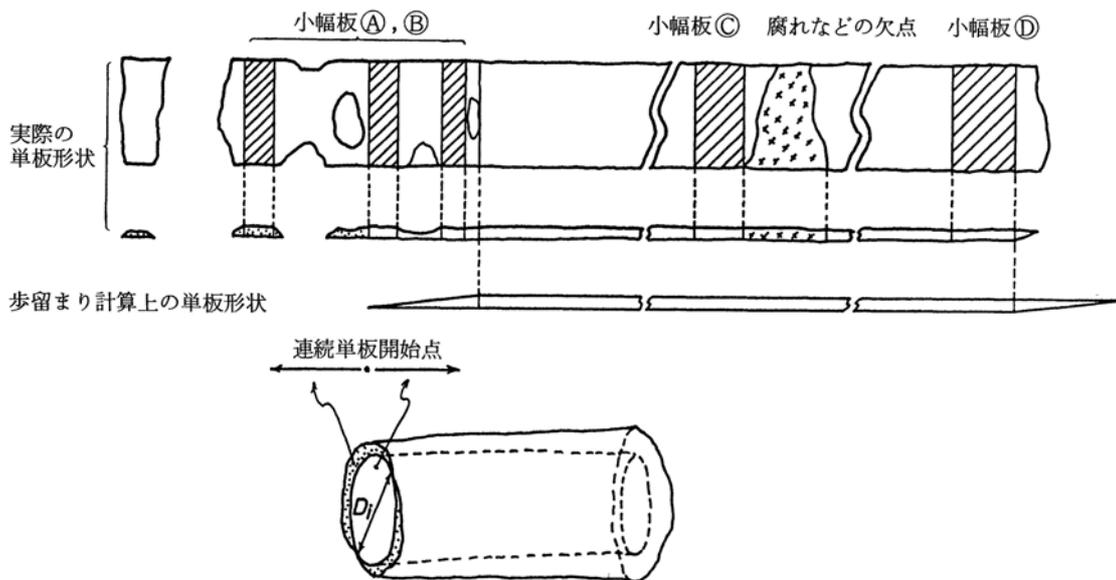
実測値のうち末口二乗法による材積 (V_1) をベースとした単板歩留まりは円筒形法によるもの (V_2) に比較して概して低く、本実験で対象にしたような細り率が1.5未満程度の原木の場合には適切な原木材積の近似をなし得ないことを示している。

現実の単板切削の過程は、先述した計算式では連続単板からのみ構成されているのに対して、原木断面が真円でないこと、原木の曲がりや細り、チャッキング誤差による“心ずれ”などに起因して、切削初期には計算式の仮定とは大きく異なる。この模様を第4図に示す。切削初期には、原木断面の形状により不連続、あるいは板面に欠損をもつ単板が生じ小幅板Aとなる。完全な連続単板が切削されはじめる時点での玉切り材の形状は、切削前に測定された末口最小径の円柱となり、この点から切削曲線は計算歩留まりの仮定と一致する。しかしチャッキング誤差に基づく心ずれがある場合、この時の円柱の径は先のそれよりも小となり、本来連続単板となるべき単板の一部が小幅板Bとなる。また連続単板が切削されはじめた後にも、玉切り材の割れ、腐れなどの欠点により小幅板Cが発生する。切削最終には単板の裁断長の関係から単位長に満たない

小幅板Dが生じる。

上述の小幅板のうち、Bは計算歩留まりに付加される要素となるが、第3、4図に明らかなように実測歩留まりの大半が計算値のそれを下回っていることから、心ずれによって生じた小幅板Bの割合が高いものと推測される。小幅板C、Dの発生は一般に低い、小幅板Cの構成比が高い典型がトドマツのJAS径級20cm、単板厚4mmに見られる。これは供試木の一部に腐れを含んでいたためであり、この欠点により全体の単板歩留まりも大きく低下している。一方単板厚5、6mmについては、3.2節で述べた単板の厚薄による不良単板を除外したため単板歩留まりは他に比較して大きく低下している。計算値についても切削初期の不良単板分を除外（設定単板厚5mmで2.5回転分、6mmで3回転分）した補正值を図中に破線で示す。この補正值と実測値とは先の小幅板A、B分の変動を考慮すればおおむね一致していると考えられ、前節の単板厚の測定結果から判定される不良単板発生傾向とも一致する。

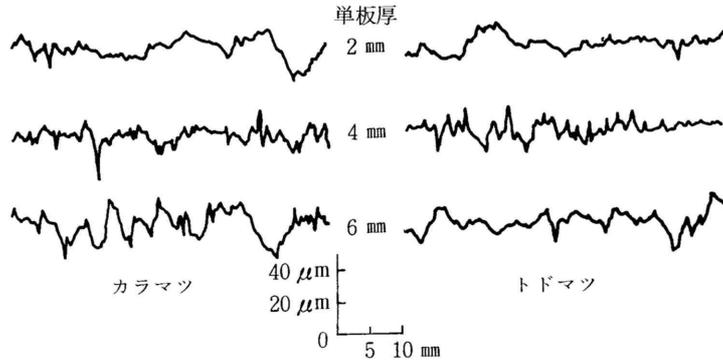
以上のように、設定単板厚が5、6mmの場合には、切削曲線の仮定で示したような無条件に除去される部分の増加に加えて、切削厚のムラの発生による不良単板の出現率が上昇し単板歩留まりの低下が顕著となる。



第4図 単板の切削過程模式図

3.4 接着性能

両樹種について単板面粗さのプロフィールカーブの一例を第5図に示す。ここでは定量的表示を省略したが、単板厚さが厚くなるほど面粗さが大きくなる傾向が示された。また樹種別にみると厚さを問わずトドマツよりカラマツの方が面粗さが大きいことがわかる。



第5図 単板面粗さのプロフィールカーブ

接着性能の試験結果を第3表に示す。単板積層材のJASによれば75mm角の試験体の各面の同一接着層において26mm以上はく離したものは接着性能が不適と定められている。表中で印で評価したものは適合基準の範囲に入っているとみてよい。

カラマツについて単板厚2, 3mm, 塗布量200g/m²で圧縮圧力10kgf/cm²のもの合格率が低い。これは第6図でみられるように単板の面粗さの割に塗布量過多の結果と思われる。また単板厚4, 5, 6mmで圧縮圧力10kgf/cm²のものは逆に塗布量過少と考えられる。圧縮圧力については全体的に高いほど良い結果を得ている。しかし単板厚5, 6mmのものについては多い塗布量, 高圧縮圧力でも合格率を高めることはむずかし

第3表 LVL接着性能と厚さ減り

単板厚 (mm)	塗布量 (g/m ²)	熱圧縮力 (kgf/cm ²)	接着の状態 ^{a)}						厚さ減り ^{b)}	
			カラマツ			トドマツ			カラ マツ	トド マツ
			○	△	×	○	△	×		
2	155	10	0	7	2	8	1	0	2.9	4.5
		14	0	9	0	5	4	0	5.0	7.1
	200	10	0	3	6	-	-	-	1.8	-
		14	1	7	1	-	-	-	3.8	-
3	155	10	1	6	2	4	4	1	3.6	4.1
		14	4	3	2	7	2	0	4.2	7.8
	200	10	2	2	5	-	-	-	2.0	-
		14	4	5	0	-	-	-	4.7	-
4	155	10	2	1	6	4	3	2	4.4	3.7
		14	5	3	2	9	0	0	4.8	6.4
	200	10	3	3	3	9	0	0	3.0	3.9
		14	6	3	0	7	2	0	6.0	8.2
5	155	10	2	2	5	8	1	0	1.5	2.8
		14	2	5	2	9	0	0	4.6	5.4
	200	10	4	3	2	8	1	0	2.5	3.3
		14	4	2	3	9	0	0	3.9	7.6
6	155	10	1	2	5	9	0	0	2.4	3.4
		14	2	3	4	7	1	1	4.3	8.5
	200	10	4	1	4	8	1	0	6.9 ^{c)}	4.9
		14	5	3	1	9	0	0	12.0 ^{c)}	9.3

注 a) : 全くはく離していないもの
 ○ : 25mm以下のはく離
 △ : 26mm以上のはく離
 × : 26mm以上のはく離
 表の数字は各記号に該当する試験体の個数
 b) (仕組厚 - 熱圧後厚) / 仕組厚 × 100
 c) 辺材単板のみで構成

い。したがって適正単板厚さとしてカラマツの場合は4mm以下に設定するのが妥当と考えられる。

トドマツについてはすべての単板厚においてほぼ適正な接着性能が得られている。第3表の厚さ減りをみるとカラマツよりトドマツの方が厚さ減りが大きい。第6図のプロフィールカーブをみても面粗さは大きい。これらのことが総合的に作用してトドマツの接着性能が良好なものとなったのであろうか。したがって用途にもよるがLVL用の単板厚さとして6mmまでは許容される。

4. まとめ

道産造林カラマツ及びトドマツを50cmに玉切りしてLVL用単板の切削試験を行った。切削単板厚さとして2, 3, 4, 5, 6mmを設定した。次にこれらの単板を用い、接着剤塗布量及び熱圧締圧力をかえてLVLを製造し接着性能を観察した。得られた結果は次のようにまとめることができる。

- 1) 切削単板厚2~4mmでは供試した玉切り材の最小径から求められた円柱としての材積をベースとした時、単板歩留まりは計算式(6)で予測できる。
- 2) 切削単板厚5, 6mmでは初期薄むけの量を補正值

として計算式(6)にあてはめることにより実験値との適合性が認められた。

- 3) LVLの接着性能からみると、カラマツの場合は単板厚4mm以下、トドマツの場合は単板厚6mmまで許容される。

なお、本報告の一部は第19回日本木材学会北海道支部大会(昭和61年10月、札幌市)で発表した。

文 献

- 1) 昭和59年度版カラマツ林業統計：北海道カラマツ対策協議会季報, No.36 昭和59年10月
- 2) 小出重治ほか：木材学会誌, 2, 121~123 (1956)
- 3) 木下叙幸：林試研報, 第326号(1984)
- 4) 柳下 正ほか：林試研報, 第132号(1961)
- 5) 半井勇三ほか：木材工業, 20, 12, 596~599 (1965)

- 試験部 合板試験科 -
- *試験部 複合材試験科 -
(原稿受理 昭61.8.21)

林産試験場報は隔月発行

林産試験場報は第1巻 第3号(昭和62年3月20日発行)以降奇数月の隔月発行となっております。

林産試験場報

第1巻 第4号

(略号 林産試験場報 林産試験場月報からの通巻第423号)

編集人 北海道立林産試験場編集委員会
発行人 北海道立林産試験場
郵便番号071-01 旭川市西神楽1線10号
電話 0166-75-4233番(代)
F A X 0166-75-3621

昭和62年5月20日発行
印刷所 東信印刷株式会社
郵便番号078 旭川市豊岡1条2丁目
電話 0166-31-0810(代)