

カラマツLVLの強度性能 (第1報)

- 小径木カラマツ材の材質と無欠点LVLの曲げ強度 -

森 泉 周 真田 康 弘
前 田 典 昭*¹ 小 倉 高 規*²

The Strength Properties of Japanese Larch LVL (I)

The Wood Quality of Small Japanese Larch Logs
and the Bending Strength of Clear LVL

Shu MQRIZUMI Yasuhiro SANADA
Noriaki MAEDA Takami OGURA

We examined the range of juvenile wood and the relationship between the juvenile wood and the heartwood in Japanese larch logs 16 to 20 centimeters in diameter. First, we measured lathe checks produced in cutting rotary veneer by taking notice of the difference in wood quality and cutting diameter, and then we examined the effects of the lathe checks on strength properties. We found it nearly impossible to define clearly the range of the juvenile wood in the logs by using a quality index, but we recognized that the breadth of the juvenile area from the pith coincided with that of the heartwood. This might lead to a conclusion that when used as industrial material, the juvenile wood is almost equal to the heartwood. The lathe check depth of the veneer increased as the cutting diameter decreased, but as to the lathe check frequency there was no difference between each factor. The MOR of LVL was reduced by 15 percent and the MOE by 5 percent because of the effects of the lathe checks.

LVL用小径木カラマツ材(径級16~20cm)における未成熟材部の範囲と心材の関係を調べた。材質差と切削径に注目してロータリー単板の切削時に発生する裏割れを測定した。あわせて、裏割れの強度性能への影響を検討した。

原木における未成熟材部の範囲は、材質指標では明確に特定できなかったが、未成熟材部の髄からの距離が心材の距離と一致した。したがって工業材料とした場合未成熟材部=心材部と考えられた。単板の裏割れ率は切削径が小さくなるにつれて大きくなったが、裏割れ密度は各因子間差異がなかった。裏割れの影響により曲げ強さは15%、ヤング係数は5%低下した。

1. はじめに

カラマツ、スギなどの針葉樹小径木の利用技術の開発とこれらの製品の需要拡大は、林業、林産業にとって大きな課題であり、当场でも、多面的な研究がなされている。その一部として小径木カラマツによるLVLの製造技術を検討するため、小径木用のLVL製造装置を導入し、その製造試験と製品の用途開発を行ってきた¹⁻⁴⁾。

小径木によるLVLの強度性能の予備的な検討として、小試験体を用いて、次の2点について検討を行った。

1点目は、当场のLVL用製造プラントで対象となる未口径16～20cmのカラマツ間伐材では、材質的に劣る未成熟材部が多量に含まれる可能性がある。そこで、樹幹内の物理的な材質指標を調べ、樹幹内におけるそれらの分布を知り、原木における未成熟材部の範囲と心・辺材の関係を検討した。

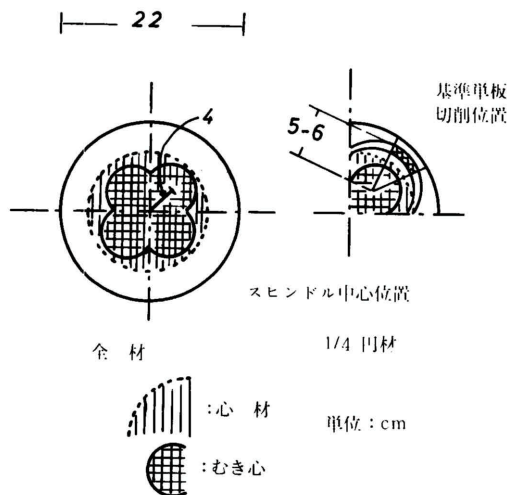
2点目は、製品の強度性能への影響が予測される単板の裏割れについて、その発生に影響する因子として心・辺材の材質差及び切削径に注目し、単板切削を行い、一方で裏割れ測定を行うとともに、その単板を積層した小試験体（無欠点、無ジョイントLVL）を作製し、強度試験により、挽き板による積層材と比較検討した。なお、本報告の一部は日本木材学会大会（第33回、京都市、1983年）で発表した。

2. 供試材及び試験法

一連のLVL製造試験²⁻⁴⁾に用いたと同一の美瑛産の造林カラマツ間伐材を使用した。

2.1 材質試験用の試験体と試験法

偏心の無い、直径20cm前後（年輪数18～22）の原木を4本選び強度及び比重測定用の試験体采取了。髄を通して幅12mmの板を挽き、人工乾燥（含水率12%）後、樹体外側から単板厚と同一の4mm幅で試験体を切り出した。この幅が3～3.5mm程度あるため、試験体1個で7～7.5mm幅が必要であり、1本の原木から24～27個の連続試験体が得られた。試験体寸法（mm）は



第1図 1/4円フリッチの単板切削位置

200^(L) × 6^(R) × 8^(T)である。

強度試験はスパン16cmで通常の3点曲げでLR面より荷重を加えて行った。

年輪密度は強度試験用の板を切断した残りの部分により観察を行った。

2.2 LVLと挽き板積層材の試験体調製と試験法

2.2.1 単板切削

LVL用ロータリー単板は現在行っている最適条件で切削した²⁾。試験用単板はスピンドル中心から、a) : 5～6cmの心材部、b) : 9～10cmの辺材部、c) : 第1図に示すように未口径22cmの原木を1/4円に分割したフリッチによりロータリー切削を行い、スピンドル中心から5～6cmで得られた辺材部の3種である。

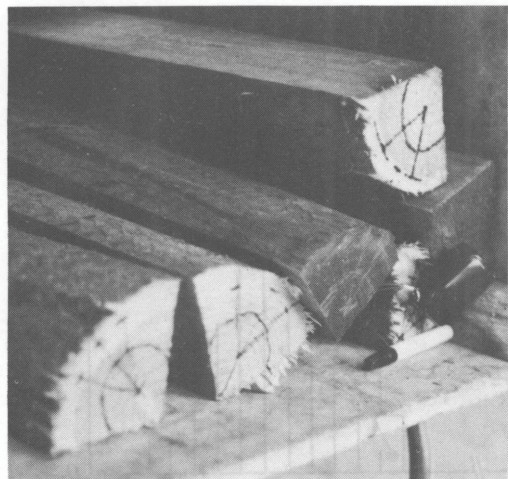
単板a) , b) , c) は比較因子として

a) とb) : 心・辺材の材質差があり、それぞれ切削径も異なる。

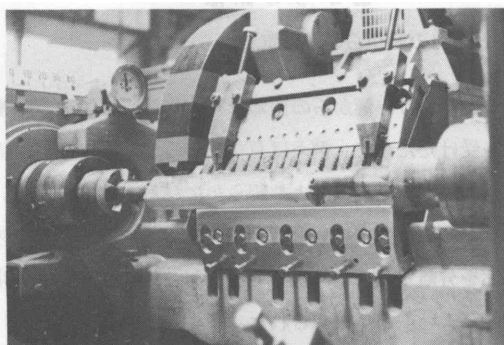
a) とc) : 切削径は等しいが、心・辺材の材質差がある。

b) とc) : 辺材であって、切削径が異なる。

c) では、第1図から明らかなように、スピンドル中心位置と原木の中心が約4cmずれており、両中心を結んだ線に対し、大きな角度まで切削すると、年輪方向に対する切り込み角度が、実際の小径木を切削す



第2図 1/4円フリッチ



第3図 1/4円フリッチの切削状況

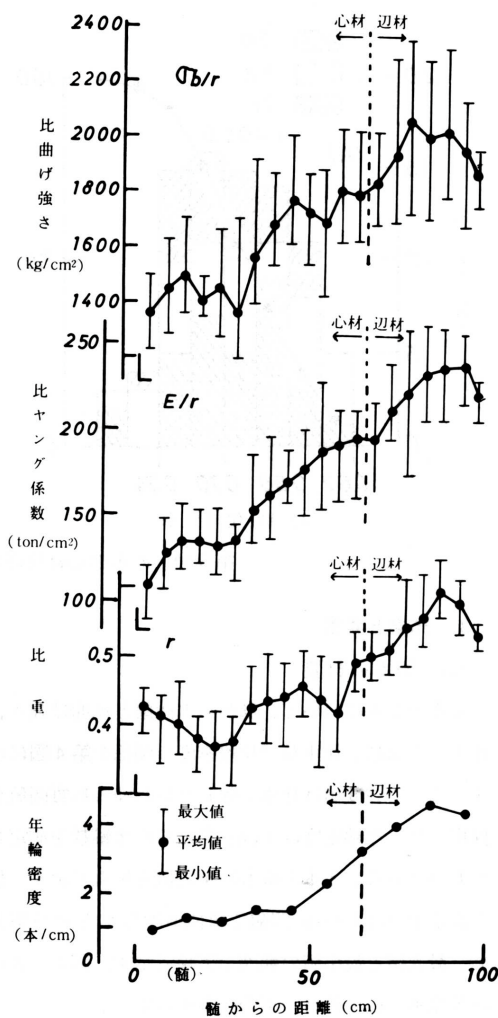
る場合と異なる。したがってなるべく小角度範囲から試験体採取することが望ましいが、必要な単板幅を予測して、原木とスピンドルの中心を結ぶ線から片側200までの範囲を試験体として採取した。試験体及び切削の状態を第2図、第3図に示す。

1/4円に分割した原木(1/4円フリッチ、長さ50cm)を24本作製し切削した。単板はフリッチ1本より3枚抜き取り、1枚を裏割れ測定用、他を強度試験用とした。通常に切削したa)及びb)の単板は6本の丸太から、1本当たり各切削位置より単板2枚を抜き取った。

裏割れの測定は常法²⁾によった。

2.2.2 強度試験用試験体の作製と試験法

挽き板積層材に用いる挽き板は2.1と同一の試料原木から、単板採取位置とほぼ同一部位の心材及び辺



第4図 樹幹内の材質分布

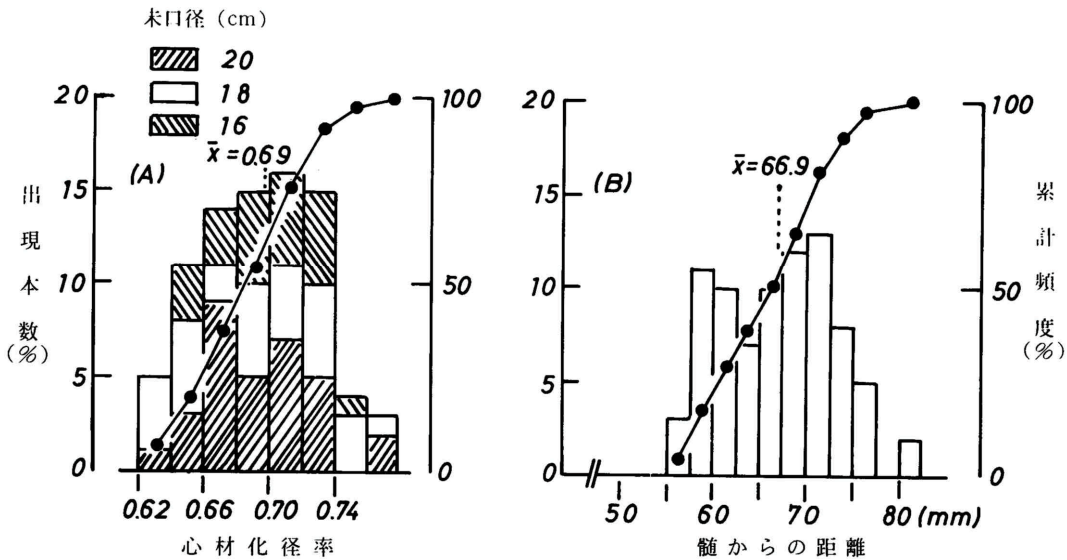
材から採取した。

単板及び挽き板とも酸ビ系接着剤で3枚づつ積層接着をして強度試験に供した。試験体寸法(mm)は

$$\text{挽き板 } 200^{(L)} \times 8^{(T)} \times 12^{(R)}$$

$$\text{LVL } 250^{(L)} \times 10^{(T)} \times 12^{(R)}$$

ここに(T),(R)は、便宜的に接着面を(T)面、積層面を(R)面とした。強度試験はそれぞれ $l/h=20$ で、3点曲げで(R)面から荷重を加えて行った。



第5図 原木の心材化径率(A)と心材の髓からの距離(B)

3. 結果と考察

3.1 原木の材質

4本の原木について、髓からの距離と比曲げ強さ、比ヤング係数、比重及び年輪密度の関係を第4図に示す。ここで強度値は比重で除したいわゆる形質商値を採用した。年輪密度は1cm当たりの年輪数を測定したものである。4本の原木の平均値を黒丸で示す。他の測定項目は5mm間隔で単純平均したものを黒丸で、最大値と最小値の範囲で実線で示す。図中の破線は各原木の心・辺材の平均位置を示す。

比強度値は樹体外側に向かってほぼ直線的に増加しており、最外層で多少低下している。年輪密度及び比重は髓からある程度の距離までほぼ一定で、その後樹体外側に向かって上昇し、最外層で多少低下している。

内層と外層で比強度はかなりの差があるが、比重で除さない絶対値では更に大きな差になることは明らかで、内層部の平均(髓より4cm前後)では、外層部の平均(同8cm前後)の強度に対し1/2~2/3程度である。一般に比強度は髓からある距離ないしは年輪数まで増加し、それ以後一定になるとされており、ほぼ一定になった位置から成熟材部と考えるとよい。しかし、この図の範囲では、一定になる位置が明確にはわからない。この原因は、試験体厚を4mmに規定する

ことにより、髓からの距離による年輪密度増加の影響を受けたため、例えば夏材部のみ取り出すなど、精査すればこの関係はより明らかになるものと考えられる。

このように本試験の範囲では、未成熟材部と成熟材部を分離することは困難であるが、外層部では強度性能がよいことが確認された。

当場の製造システム上から乾燥工程³⁾で心・辺材単板が分離される可能性がある。そこで心・辺材と未成熟材部との関係を検討した。未口径16~20cmの原木における心材化径率及び心材の髓からの距離を第5図に示す。心材化径率は原木径の中で最も心材径の大きい位置と小さい位置の2カ所を測定し、その平均を取って決定した。3種の未口径原木で、心材化径率は平均で0.70あり、0.62~0.78の範囲にほぼ正規分布している。これらの分布を髓からの距離で見ると平均で6.7cm、95%上下限で5.5~8.0cmの範囲に入っている。カラマツ材の未成熟材部は髓から5.0~8.0cmの範囲にあるとされているが⁵⁾、3種の径級の原木における心材化距離はほぼこの範囲に入っている。第4図の強度試験の結果からも、上記の範囲で強度性能は著しく上昇しており、製造システム上、心・辺材単板を分離する必要があることを考慮すれば、

未成熟材部=心材, 成熟材部=辺材

第1表 単板の裏割れ

		a	b	c
裏割れ率 (%)	平均値	71.15	58.73	71.53
	標準偏差	6.34	8.77	6.50
	最大値	82.50	70.20	82.60
	最小値	63.70	44.50	58.30
	変動係数(%)	8.9	14.9	9.1
裏割れ密度 (本/cm)	平均値	3.23	3.80	3.33
	標準偏差	0.45	0.66	0.42
	最大値	3.60	4.80	4.60
	最小値	2.40	3.00	2.80
	変動係数(%)	14.0	17.4	12.7

注) a:心材部通常切削
b:辺材部通常切削
c:辺材部1/4円フリッチ切削

と見なしても、工業生産原料としてみた場合差し支えないものと判断される。

LVL用原木を考えた場合、原木が完全な同心円であると仮定すると、むき心径は髄から3.5cmになり、単板を切削することの出来る心材は原木の中心からおおよそ3.5~6.7cmの範囲になる。この範囲の心材の曲げ強さの平均値は772kg/cm²、ヤング係数の平均値は80ton/cm²であり、辺材に対して曲げ強さで75%、ヤング係数で70%程度の値である。

3.2 単板の裏割れとLVLの曲げ強度

3種の単板の裏割れ率及び密度の測定結果を第1表、それらのt検定の平均値の差dに関する検定結果を第2表に示す。a)は心材部の通常切削、b)は辺材部の通常切削、c)は第1図に示した1/4円の辺材部切削の値である。裏割れ率の平均値は、a)、c)1の単板でほぼ等しく、b)の単板より大きい。密度の平均値は、a)、c)で等しいが、裏割れ率とは逆にb)の単板より小さい。裏割れ率と密度の間には負の相関が認められる。平均値の差の検定では、裏割れ率はa)とb)及びb)とc)とで平均値の差に有意差(5%)があるが、a)とc)とで有意差が認められない。裏割れ密度は3者の間で有意差が認められない。

この結果は、原木の切削径が小さくなるにつれて深い裏割れが入りやすいが、心・辺材による差異が認め

第2表 裏割れ要因分析
(平均値の差の検定)

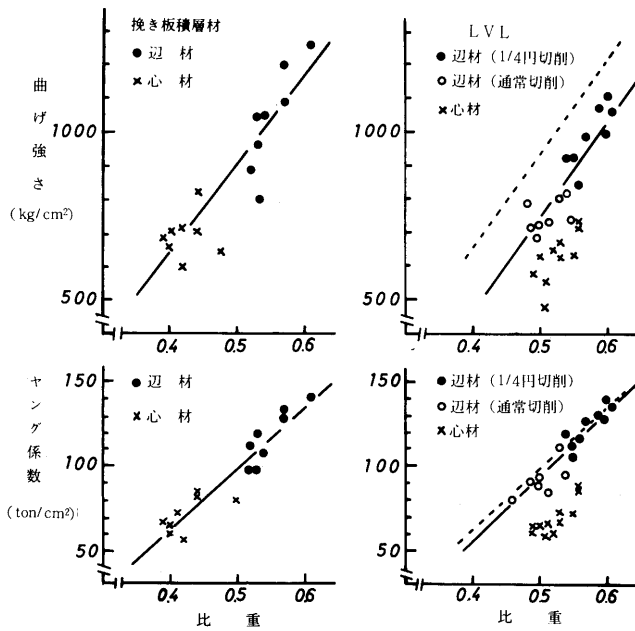
		要 因	φ	t
裏割れ率	材質と切削径	a:b	10	2.557
	切削径	b:c	21	3.567
	材質	a:c	21	0.086
裏割れ密度	材質と切削径	a:b	10	1.577
	切削径	b:c	21	1.906
	材質	a:c	21	1.337

注) *:危険率5%で有意差あり
a, b, c:第1表参照

られないことを示している。ここで、心・辺材の材質差は3.1の結果より未成熟材部、成熟材部の材質差に当たる。裏割れ深さは、切削径に関するという報告⁶⁾もあり、一応その傾向は認められる。しかし、ここで記した内容は、あまり顕著ではなく、本試験範囲で単枚品質を論じるならば、次に述べる強度試験の結果も併せると問題となるほどの大きな差とは考えられない。したがって未口径16~20cm前後の原木からむき心径7cm前後まで単板を切削した時、裏割れは材質及び切削径に関係なく、裏割れ率で60~80%、裏割れ密度で3~4本/cmとするのが妥当であろう。

比重と曲げ強さ及びヤング係数の関係を第6図に示す。LVLの図の回帰直線は実線が辺材部のみ、破線が挽き板積層材のものである。曲げ強さ及びヤング係数の回帰直線からみて、同一含水率(12%前後)に調湿した試験体であるが、LVLにおいて心材部が高比重側にシフトしている状況が認められる。同様の傾向は実材でも現れており、心材部の比重増加の原因については今後検討する予定である。同一比重でLVLの曲げ強さは挽き板積層材に対してかなり小さいが、ヤング係数は心材を除くとあまり差がない。LVLの黒丸は1/4円材の辺材部、白抜きの丸は通常切削の辺材部のものである。比重に対する曲げ強さの回帰直線のこう配は挽き板積層材と大差なく、裏割れの関係で述べた裏割れ率の差は曲げ強度に影響を与えているとは考えられない。

第6図の曲げ強さは挽き板積層材(h=8mm)と



第6図 挽き板積層材とLVLの比重と曲げ強度の関係

第3表 挽き板積層材とLVLの曲げ強度

		曲げ強度 (kg/cm ²)			ヤング係数 (ton/cm ²)		
		挽き板 (A)	LVL (B)	(B/A)	挽き板 (A)	LVL (B)	(B/A)
辺材	① 平均値	850	726	0.854	117	109	0.932
	最大値	1001	847		141	140	
	最小値	698	579		97	80	
心材	② 平均値	630	525	0.833	72	69	0.958
	最大値	759	651		89	89	
	最小値	500	399		59	59	
	②/① 平均値	0.741	0.745		0.615	0.633	
全体	平均値	740	629	0.846	95	89	0.945

注) 曲げ強度はASTMの補正係数ではりせい5cmに換算した値

LVL (h = 10mm) ではりせいが異なっている。裏割れによる強度低下を明確に知るため、はりせい5cmの曲げ強度にASTMの補正係数⁷⁾ {F = (5/h)^{1/9}}を用いて換算した。その結果を第3表に示す。心・辺材を込みにした挽き板積層材の強度は、曲げ強度及びヤング係数とも木材工業ハンドブックに示されている平均値と下限値にほぼ等しい。挽き板積層材及びLVLの心・辺材による平均強度値の低下割合はほぼ等し

く、心材部は辺材部に対して、曲げ強度で75%前後、ヤング係数で62%前後である。挽き板積層材とLVLの強度差は心・辺材でほぼ等しく、LVLは挽き板積層材に対して、曲げ強度で85%前後、ヤング係数で95%前後になっている。強度に対する裏割れの影響は、曲げ強度を15%前後、ヤング係数を5%前後低下させていると考えられる。

4. まとめ

未口径16~20cmのカラマツ間伐材について、LVL用単板の強度性能に差異が予測される未成熟材部の範囲と心・辺材の関係を調べた。単板の裏割れについて、心・辺材の材質差と切削に注目し、裏割れを測定し合わせて裏割れの強度性能への影響を検討した。得られた結果を次にまとめる。

(1) 原木における未成熟材部の範囲は、物理的な材質指標では明確な分離はできないが、曲げ強度は内層部(髓より4cm前後)では、外層部(同8cm前後)に対して1/2~2/3程度である。

(2) 原木の心材化率から、心材の髓からの距離は、5.5~8.0cmの範囲に入る。この距離は通常いわれている未成熟材部と一致しており、工業材料としてみた場合、未成熟材部=心材、成熟材部=辺材とみなしてもよいと判断される。

(3) 単板の裏割れについて、裏割れ率の平均値の差は、切削径差で5%の有意差があるが、心・辺材(未成熟材部・成熟材部)の材質差で有意差がない。裏割れ密度の平均値の差は、切削径差及び材質差で有意差がない。今回の試験範囲の裏割れ率の差は曲げ強度に影響しない。未口径16~20cm前後の原木より切削した単板の裏割れ率は60~80%、密度は3~4本/cmとするのが妥当であろう。

(4) 挽き板積層材とLVLの心・辺材による強度低下割合はほぼ等しく、心材部は辺材部に対して曲げ強さで75%前後、ヤング係数で65%前後である。強度に対する裏割れの影響は、曲げ強さを15%前後、ヤング係数を5%前後低下させる。

- 3) 野崎兼司ほか5名：林産試月報，378，7(1983)
- 4) 高谷典良ほか3名： " ，383，1(1983)
- 5) 例えば塩倉高義：九州大学学位論文(1981)
- 6) 木下紋幸：私信(1982)
- 7) ASTM D - 245(1981)

文献

- 1) 小倉高規：木材工業，36，589(1981)，37，9(1982)
- 2) 高谷典良ほか2名：林産試月報，367，13(1982)

- 試験部 合板試験科 -
- *1試験部 複合材試験科 -
- *2日本住宅・木材技術センター -
(原稿受理 58.10.19)