

木材加工利用技術の高度化

県産針葉樹による単板積層材への加工利用

誌名	愛媛県林業試験場研究報告
ISSN	03892875
著者名	藤田,誠 武智,正典
発行元	愛媛県林業試験場
巻/号	16号
巻号補足	
掲載ページ	p. 61-86
発行年月	1995年3月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター

Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



木材加工利用技術の高度化 (県産針葉樹による単板積層材への加工利用)

藤 田 誠^{*1}
武 智 正 典^{*2}

I はじめに

本県における民有林人工林面積は戦後の積極的な拡大造林により、平成5年度末で222,000haと充実してきており、その中でスギ、ヒノキ人工林面積は約110,000haとスギとヒノキはほぼ同程度の人工林面積となっている。しかし、蓄積量ではスギが30,000,000m³であるのに対し、ヒノキは19,000,000m³とスギが圧倒的に上回っている。これらスギ材の供給量は資源的には充実しているが、実際の加工利用の面では軸組工法の製材品が主なものであり、軸組工法が伸び悩んでいる現状を考えれば、スギ材の需要拡大は林業・林産業の将来にとって重要な課題である。しかし、スギ、ヒノキなど県産針葉樹の木材工業製品への加工利用においては製造技術や採算性、製品性能など解決を要するものが多く、まだ本格的な利用には至っていない。また本県においてもスギ材の有効利用、特に中小径木のスギは今後とも伐採搬出される中心的な材であるが、中径材の価格は依然として低迷している。それは、利用面において木材への需要が多様化したにもかかわらず、スギ、ヒノキなどは製材を中心とした製品が主なものであるためにほかならない。

そのため、県産針葉樹の需要拡大を図っていく上では、住宅はもとより大型建築物の木造化を進めていく必要があり、中小径県産針葉樹材の需要開拓の手段として将来的に需要が伸びると思われる木材工業製品（集成材、LVL）への加工利用技術の検討を行い、県産針葉樹材にて製造するこれらの製品が強度上安全で、信頼性の高いものとする必要がある。

単板積層材は昭和63年に構造用単板積層材の日本農林規格また、許容応力度も制定され、将来、単板積層材は大型建築物の構造用部材として十分期待できるものと思われる。本県では平成2年に試験場の移転に合わせ機器整備を行い、県産針葉樹による単板積層材利用に向けての試験を行った。本試験においては、県産針葉樹による単板積層材の製造、性能評価としてのデータの集積を目的として各試験を実施したので報告する。

II 研究期間

平成2年度～5年度

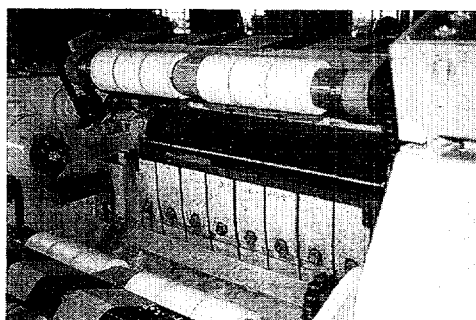
Ⅲ 単板積層材の製造

1 単板切削試験

針葉樹間伐材を対象とした単板切削における問題点としては、中小径による歩留まりの低下や節、その他欠点を含むことによる単板品質の低下がある。今回、スギの中径木から単板積層材の製造を目的とした単板切削を行い、切削条件と単板品質、スギ中径木の単板歩留まりや得られる単板に出現する節等の数、径を調査した。

(1) 試験方法

実験に使用したロータリーレースは特に中小径木を対象として開発されたものであり、その緒言は次のとおりである。切削可能な原木長さ：950mm～1,050mm、切削可能な原木直径：200mm～450mm、単板厚さ：1.0mm～4.2mm、切削速度：40m/min～100m/min、ダブルスピンドル方式、大スピンドル径：120mm小スピンドル径：50mm、刃口：ローラーバー径：25mm、切削駆動方式：外周駆動ロール、所要動力：主駆動用45Kw、刃物台早送り2.2Kw、油圧ユニット16.5Kw、補助駆動5.5Kw。写真－1にロータリーレースの刃口の状況を示す。



写真－1 ロータリーレースの刃口状況

(2) 供試原木

今回使用した原木は愛媛県上浮穴郡久万町産スギ、末口径24～30cmの中径材で、3m材にて購入し、1m材に玉切した後、乾燥しないように皮付きのまま水槽に浸漬した。また、剥皮は試験直前に行った。購入したスギ原木は比較的通直なものであり、曲りは平均で5.9mm、平均年輪幅は2.7mm、平均年輪数は45である。原木の形状を表－1に示す。

(3) 測定方法

本試験では次の項目について測定した。

単板切削厚さは3mmとし、測定項目は切削条件による単板歩留まり、単板面粗さ、厚みむら、節の数、裏割れ（率、頻度）とした。表－2に単板切削条件を示す。なお、各条件原木3～4本行った。

切削した単板について90cm×90cmを定尺単板とし、それ以下の寸法のものを乱尺単板として枚数を数え原木体積との割合を単板歩留まりとした。単板の厚みは原木1回転毎の末口、中央、元口部の厚みを精度1/100mmのキャリパで測定し、平均した値をその部位の単板厚さとした。

表-1 スギ原木の形状

		元口短径(cm)	元口長径(cm)	末口短径(cm)	末口長径(cm)	年輪数	心材率(%)	曲り(mm)
スギ原木	平均	25.5	26.4	24.8	26.1	42	39.7	5.9
	最小-最大	22.0-30.7	22.8-34.0	22.0-27.4	23.0-29.4	29-55	33.3-49.1	2.0-20.0

表-2 単板切削条件

前処理条件	無処理 60°C-24時間
刃口水平間隔	2.85mm (95%)
	2.70mm (90%)
	2.55mm (85%)
刃口垂直間隔	3.51mm
ローラー-後退角	12.87°
	12.99°
	13.11°
切削角	23°
刃角	23° +5°
切削速度	40m/min

節の数は90cm×90cm毎に測定した。裏割れ(率、頻度)の測定は原木1回転毎に試料を切り取り、測定顕微鏡(TMM-130D, 精度1/1000mm)により、試料の木口面を50mmの範囲測定した。また、裏割れ率は単板厚み(3mm)との百分率で表した。単板の面粗さの算出については原木1回転毎の試料より、最良部と思われる部位を触針式面粗さ計(サーフコム700b)により、基準長さのプロフィールカーブを描き、その山と谷の差の大きいものから3つ選んで読みとり平均したものを指標にした。なお、単板の切削においては刃物の摩耗状況による影響が考えられるので、切削条件毎刃物を交換することとした。

(4) 試験結果

(ア) 単板歩留まり

表-3に測定結果を示す。今回のスギ原木は比較的通直であったため、定尺単板歩留まりは73.9%、剥き芯は8.2%、乱尺単板は17.9%であり、定尺単板の歩留まりは高いものであった。しかし、単板切削試験に使用していない原木の中には、曲りの大きいものや原木にねじれのあるものもあり、荒剥きが終わり外周駆動ロールにより定尺単板が得られる時点で、チャックの空回りや原木に割れが生じて切削ができないことがあった。そのため、大量に切削する場合、今回の歩留まりよりは若干低下することが考えられる。

表－3 スギ単板の歩留まり

		定尺単板(%)	む剥き芯(%)	乱尺単板・その他(%)
スギ原木	平均	73.9	8.2	17.9
	最小-最大	57.2-87.0	5.4-17.6	5.6-34.3

(4) 単板品質

単板の品質については特に辺材、心材に分けて集計してはいないが、明らかに辺材部の単板は心材の単板と比較してはるかに良いものであり、また、木表は木裏より単板面粗さは良質であった。辺材部は心材部より一般的に高含水率であり、年輪幅も狭い、単板の品質についてはこれらの因子の他、比重や節なども大きく関わることが推測される。今回の試験では辺材部から心材部に移行する白線帯における切削時に、早材部から剝離した小片が飛び散ることが多く見られ、白線帯を含む単板は良質なものが得られなかった。白線帯は辺材部から心材部へ移行する低含水率の部位であり、このことから含水率が単板品質に大きく関わっていることが推測される¹⁾。

単板に現れる節については剥きはじめの辺材部の単板数枚は無節の定尺単板が得られた。しかし、心材部の定尺単板では節が平均30個／枚程度存在し、随付近の単板では50個以上含まれるものもあった。

表－4に切削条件による単板の面粗さを示す。切削条件による単板面粗さは今回の試験では、刃口水平間隔を単板厚の85%に設定したものが、表裏とも粗さは小さい結果となったが、顕著には現れなかった。また、原木を60℃の加温処理を24h行ったものは無処理のものより面粗さにおいては良質な単板が得られた²⁾。

表－4 スギ単板の面粗さ (μm)

切削条件		測点値数	平均	最大	最小
刃口水平間隔(%) 95	表	104	155	497	33
	裏	104	195	383	37
刃口水平間隔(%) 90	表	113	138	330	41
	裏	113	232	490	110
刃口水平間隔(%) 85	表	94	126	370	43
	裏	94	171	493	38
加温処理24h 刃口水平間隔(%) 90	表	112	106	288	42
	裏	112	138	385	42

※単板厚み3mm、べベル裏、逃げ角30°、切削角28°

(ウ) スギ単板の裏割れ（率、間隔）

裏割れ率は辺材部が心材部より低い値を示し、裏割れ間隔は辺材部が狭くなる傾向を示した。よって、辺材から心材にかけて単板切削が進むにつれて、単板の裏割れは深く、間隔は広くはいる傾向が窺えた。刃口条件の影響は今回の試験からは顕著ではないが、刃口水平間隔が狭くなるほど裏割れ間隔は狭く、裏割れ率も小さくなった。また、前処理を行った原木は無処理の原木より裏割れ間隔、裏割れ率とも小さくなる傾向にあった。表－5に測定結果を示す。

スギ単板の厚みは随付近での単板はかなり設定の厚みより厚くなる傾向が窺えたが、スギ単板は単板面が荒く、早材部が剥がれた部位などが多く見受けられたため、切削条件による影響であるかどうかははっきり確定できないものと思われる。

表－5 スギ単板の裏割れ（率・間隔）

切削条件		測点値数	裏割れ率(%)				裏割れ率(%)			
			平均	最大	最小	標準偏差	平均	最大	最小	標準偏差
刃口水平間隔(%) 95	辺材	32	73.9	88.7	46.4	9.6	2.62	3.70	1.77	0.46
	心材	43	78.0	92.0	59.1	7.5	2.71	3.89	1.97	0.43
刃口水平間隔(%) 90	辺材	34	72.3	89.4	48.0	10.4	2.39	3.43	1.59	0.46
	心材	47	76.8	95.9	56.3	10.6	2.54	5.95	1.48	0.74

※単板厚み3mm、ベベル裏、逃げ角30°、切削角28°

IV 県産針葉樹単板積層材の性能評価

1 県産針葉樹単板積層材の強度性能

単板積層材の利用においては、現在のところ造作用の製品が多く流通しているが、1988年に構造用単板積層材の日本農林規格、また、許容応力度も制定され、構造用としての需要が将来的に拡大していくことが期待できる。そのため、今回の試験では県産針葉樹（スギ、ヒノキ）の中径材より製造した単板積層材の静的強度性能試験を実施した。

(ア) 供試材

強度性能試験に用いた単板積層材は愛媛県上浮穴郡久万町産のスギ、ヒノキ中径材を購入後、1 mに玉切し、ロータリーレースにより単板厚3 mm設定にて切削した。切削した単板は含水率約5 %程度に蒸気式乾燥機で乾燥後、水溶性フェノール樹脂を300 g / m²片面塗布し、ホットプレスにて熱板温度140℃、熱圧時間50sec / mm、圧力4 ~ 6 kgf / cm²にて接着した。単板構成はスギにおいては辺材単板と心材単板に分け、3 mm14プライ（90cm×90 cm×38mm）の単板積層材を製造し供試材とした。なお、ヒノキにおいては辺材、心材の区別がはっきりしなかったため、選別せずにスギと同条件で積層接着した。スギの単板積層材は積層接着の熱圧段階で約10%程度の厚さ減りがあり、厚み38mmを確保できない試験体

も数体あった。また、比較対象として市販のベイマツ (Douglas-fir) 構造用単板積層材 (38mm、100cm×100cm) を購入し供試材とした。3 樹種とも構成する単板の縦継ぎ部はないものとした。

なお、各原板から 1 枚ずつ日本農林規格に準じた試験片を採材し、浸漬はくり試験と煮沸はくり試験を行ったが、接着層のはくりは全く認められなかった。

(イ) 曲げ強度性能、衝撃曲げエネルギー

(1) 試験方法

試験体は上記供試材を原板として、各原板 1 枚から平使いと縦使い方向の試験体を各 1 体ずつ採材した。採材した試験体寸法は幅 90mm、長さ 874mm、厚み 38mm、曲げ試験の試験方法は構造用単板積層材の日本農林規格に基づき、両端支持の 2 点加力とし、破壊までの時間は 7～10 分程度であった。曲げヤング係数 (MOE) の測定は全スパンで 1 / 100mm 精度の変位計により測定した。また、試験終了後、全乾法による含水率と比重を測定した。含水率は 7～10% であった。

また、衝撃曲げ試験の試験片は曲げ試験と同じ供試材の原板からスギ辺材、スギ心材、ヒノキの 3 樹種、寸法 2 × 2 × 30cm を積層数が同じになるように採材した。また、荷重面は平使い方向と縦使い方向の 2 方向である。用いた試験機は容量は 10Kgf・m のシャルピー型衝撃試験機であり、試験方法は J I S 規格 (Z 2116) に準じた。試験結果を表 - 8 に示す。なお、試験体の含水率は 10～12%、比重はスギ辺材 0.435～0.567、スギ心材 0.443～0.527、ヒノキ 0.505～0.675 である。

(2) 試験結果

樹種を問わず破壊は引張り側における破壊が左右に進展する形態であった。曲げ試験の測定結果を表 - 6 に示す。

比重 (S.G.)、曲げヤング係数 (MOE)、曲げ破壊係数 (MOR) それぞれの変動係数 (C.V.) は比重 (S.G.) では 9% 以下、曲げヤング係数 (MOE) では 12～30%、曲げ破壊係数 (MOR) は 9～21% 程度であった。スギでは辺材と心材との単板構成の相違によって、平均で 20～30% 心材による単板積層材は低い値であり、これは、単板の品質が辺材部と比べ良質でないことや未成熟部の単板を含んでいることが影響したものと考えられる。

表－6 曲げ強度試験結果

樹種	平使い方向			縦使い方向			
	MOR	MOE	S.G.	MOR	MOE	S.G.	
ベイマツ	平均	754	149	0.575	803	153	0.575
	変動係数	13.1	25.7	3.5	9.6	30.0	4.1
	最小-最大	588-894	132-159	0.529-0.619	619-955	130-175	0.530-0.626
ヒノキ	平均	858	125	0.555	756	122	0.555
	変動係数	21.0	16.1	6.4	18.8	14.5	8.9
	最小-最大	589-1279	93-181	0.512-0.633	667-1082	96-170	0.521-0.656
スギ辺材	平均	564	97	0.474	565	98	0.476
	変動係数	17.9	12.8	6.4	19.1	13.6	6.7
	最小-最大	362-741	77-113	0.425-0.527	378-835	76-119	0.432-0.529
スギ心材	平均	439	80	0.479	468	80	0.482
	変動係数	12.0	15.7	6.1	13.8	12.5	5.5
	最小-最大	360-515	56-102	0.445-0.530	349-609	52-96	0.434-0.528

ベイマツは日本農林規格による曲げ強度の160Eの特級、もしくは1級程度であり、同様にヒノキは100Eの特級、スギ辺材は80Eの特級、スギ心材はヤング係数で80Eの最低値70tonf/cm²を下回るものが3体あった。しかし、今回製造したスギ辺材、心材の単板積層材の曲げ破壊係数は予想以上に高いものであり、最低値のスギ心材単板積層材は曲げヤング係数では規格外に値するものでも、曲げ破壊係数は100Eの1級程度の試験体もあった。

県産針葉樹の中小径木を単板積層材として使用する場合、どうしても未成熟部を含む単板が存在し、強度的問題が生じる。比重（S.G.）、曲げヤング係数（MOE）と曲げ破壊係数（MOR）の相関係数の値は全体では比重と曲げ破壊係数0.778、曲げヤング係数と曲げ破壊係数0.873と非常に高いものであったが、（図－1、図－2）スギ辺材LVLでは比重と曲げ破壊係数0.493、曲げヤング係数と曲げ破壊係数では0.787、スギ心材では比重と曲げ破壊係数0.390、曲げヤング係数と曲げ破壊係数では0.754であり、未成熟部が増えることにより比重と曲げ破壊係数との相関は悪くなっている。そのため、スギを構造用単板積層材として使用する場合、未成熟部を含むであろう心材単板の取り扱いに注意が必要である。

また、衝撃曲げ試験においては3樹種とも平使い方向が縦使い方向よりかなり大きな数値を示した。加速度の測定結果より平使い方向は衝撃破壊最大応力を過ぎた後も衝撃曲げ吸収エネルギーが大きいためであるという報告がなされている³⁾。変動係数（C.V.）は曲げ強度試験と比較して大きなものであり、バラツキがあった。スギ心材は比重ではスギ辺材と同程度ではあるが、単板品質や未成熟部を含むことにより小さい値であった。

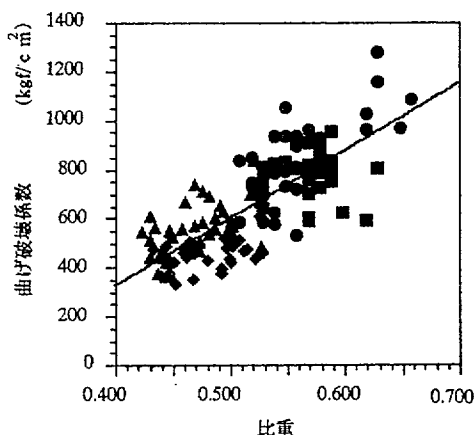


図-1 比重(S.G.)と曲げ破壊係数(MOR)との関係

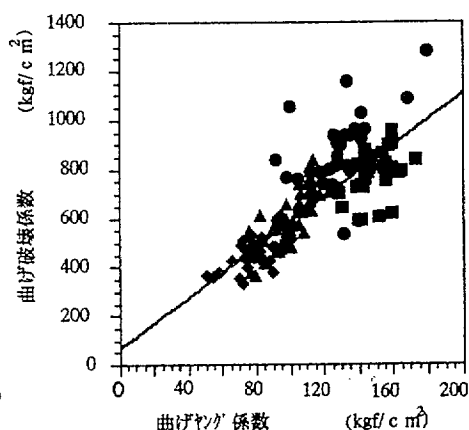


図-2 曲げヤング係数(MOE)と曲げ破壊係数(MOR)との関係

■ バイマツ ▲ スギ辺材 ◆ スギ心材
● ヒノキ

■ バイマツ ▲ スギ辺材 ◆ スギ心材
● ヒノキ

表-7 曲げ衝撃吸収エネルギー

樹種	平使い方向		縦使い方向	
	平均	S.G.	平均	S.G.
ヒノキ	0.608	0.567	0.475	0.568
	変動係数 31.9	7.9	32.9	7.6
スギ辺材	0.555	0.485	0.360	0.480
	変動係数 35.8	8.0	32.5	7.1
スギ心材	0.378	0.486	0.242	0.484
	変動係数 35.1	4.9	15.7	4.6

(ウ) 圧縮試験

(1) 試験方法

試験体は曲げ試験終了後、未破壊の部分から38mm×38mm×100mmのものを採材した。最大容量10tonfインストロン型試験機により破壊までの時間を7～10分程度に調整し、圧縮試験を行った。なお、樹種はスギ辺材、スギ心材、ヒノキの3樹種とし、試験体はすべてジョイント部は含んでいないものとした。試験体数は各20体ずつ計60体行った。

(2) 試験結果

圧縮試験での破壊形態は横座屈によるものと中央部が膨らんで破壊するものがほとんどであり、試験体の端部が座屈的にずれて破壊する試験体も数体あった。

比重と圧縮強度の関係を図-3に示す。圧縮強度の変動係数は5.3～10%であり、曲げ破壊係数の変動係数9.6～21%より小さいものであった。ヒノキはスギ心材やスギ辺材より2割程度高い値を示し、スギにおいては心材辺材の単板構成による差異は生じなかった。圧縮強度と比重の相関係数は全体では0.670程度であるが、これはヒノキの比重が高いためであり、個々の樹種内ではほとんど相関は認められなかった⁴⁾。

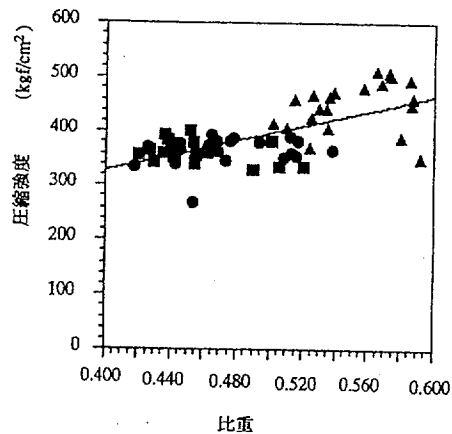


図-3 比重と圧縮強度との関係

●スギ辺材 ■スギ心材 ▲ヒノキ

(二) 面圧試験

(1) 試験方法

供試材は曲げ強度試験を行った原板から採材したほか、新たにスギとヒノキ単板積層材については前述の製造基準と同様に38mm×90cm×90cmの単板積層材を製造し、供試材とした。試験を行った樹種はベイマツ (Douglas-fir)、ヒノキ、スギの3樹種、なお、スギについては辺材単板を主に構成することとした。表-8に試験に用いた供試材の基礎的材質を示す。

試験方法は単純増加型の引張試験とし、荷重方向は繊維平行方向と繊維直交方向の2方向について実施した。また、試験方法を図-4に示す。

試験材の木取りの方向はフラット面が板目面、エッジ面が積層面になるようにした。なお、試験体の厚みはバラツキがあったため、36mmに調整した。めり込みに使用した鋼棒はss41相当の鋼棒を購入し、鋼棒直径(d)と鋼棒面圧長さ(l)の比は1.8とした。試験条件別の試験体数を表-9にまとめて示す。

試験方法は容量10tonfのインストロン型試験機に加力治具を取り付け、毎分1mm/minのクロスヘッドスピード、めり込み量は1/100mm精度の変位計2本を試験体両側に固定し収録した。なお、試験体表面の歪みをストレーンゲージ (L=30mm) により鋼棒近傍から材端部にかけて測定した。

表-8 供試材の基礎的材質

樹種		含水率(%) (%)	比重	平使い方向		縦使い方向	
				曲げヤング係数 (tonf/cm ²)	曲げ破壊係数 (kgf/cm ²)	曲げヤング係数 (tonf/cm ²)	曲げ破壊係数 (kgf/cm ²)
ヒノキ	平均	9.2	0.560	126	865	129	797
	最大	11.9	0.670	181	1279	170	1082
	最小	8.8	0.530	93	583	96	534
スギ	平均	10.0	0.500	99	573	100	574
	最大	11.5	0.560	125	741	119	835
	最小	8.1	0.440	77	362	78	378
ベイマツ	平均	8.8	0.580	149	754	153	803
	最大	14.5	0.630	159	894	175	955
	最小	7.0	0.520	132	588	130	619

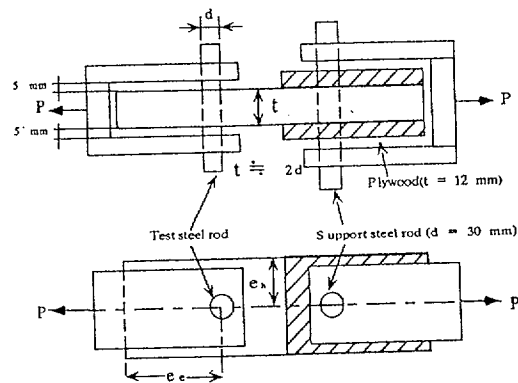


図-4 試験方法

e_c : 端距離.
 e_h : 縁距離.

表-9 試験体寸法

樹種	端距離/ピン直径	縁距離/ピン直径	厚み(mm)	ピン直径(mm)
スギ ヒノキ	5~12	2.5	36	20
	11	1.5~3.5	36	20
	11	2.5	36	12~18
ベイマツ	5~12	2.5	36	20
	11	1.5~3.5	36	20
	11	2.5	36	12~18
繊維直交方向				
ベイマツ	5~12	6	36	20
	15	2~6	36	20
	15	2.5	36	12~18

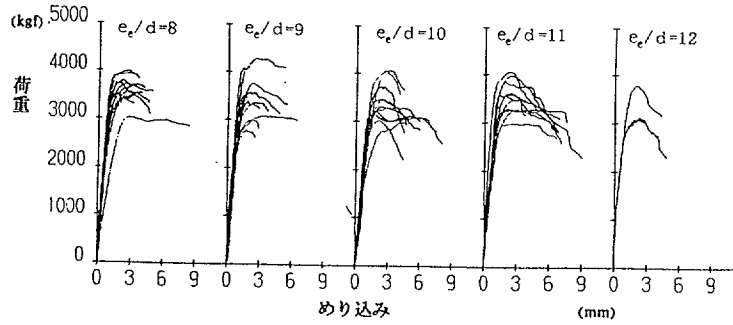
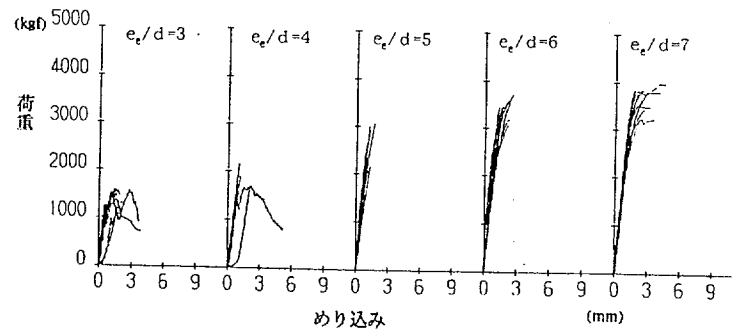
(2) 試験結果

今回の試験におけるめり込みの挙動の特徴的な例として、端距離を変えた場合の繊維平行方向加力時と繊維直交方向加力時のベイマツ (Douglas-fir) 単板積層材の荷重-めり込み曲線を図-5に示す。繊維平行方向加力時の場合、端距離が小さいと降伏点に達しないうちに破壊するものが多かった。また、端距離を鋼棒径の8倍以上確保した試験体では降伏点が現れたのち、大きくめり込み最終的に割裂破壊を起こした。

繊維直交方向加力の試験体では木構造計算基準⁵⁾による端距離以上確保した試験体では鋸刃状の荷重めり込み曲線を描き、安定したクラック進展が継続した。また、端距離を十分確保している試験体では縁距離が小さい場合、クラックが低荷重域にて発生するが、木口自由端への進展は比較的安定しており、縁距離を確保した試験体よりその破壊は延性的であった。

繊維平行方向加力時の鋼棒径の影響を図-6に示す。最大面圧応力を試験体の密度重で割った値を比最大面圧応力とする。最大面圧応力は単板積層材の縦圧縮強度に収束すべき物理量であるが、大きな摩擦力を伴う比較的接触面積の小さいめり込みの場合は鋼棒直径の影響を微妙に受けるものと思われる。今回の試験からはやや右上がりの傾向が窺える。しかし、治具と試験体の隙間が5mm程度生じていたため、本実験の結果が一般性も持ち、なお、考慮すべきものであるかは更に検討を要するものである。

繊維平行方向加力時



繊維直交方向加力時

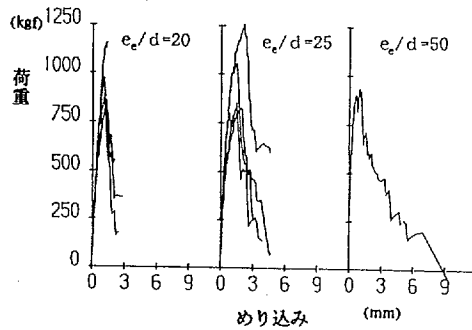
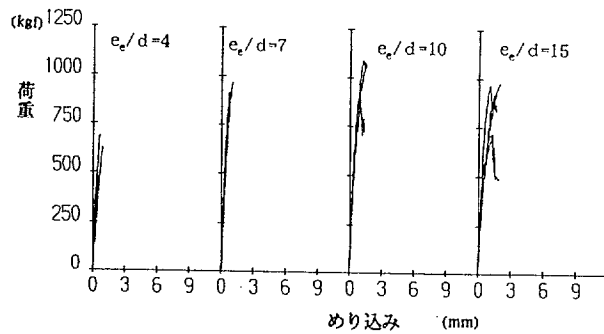


図-5 荷重-めり込み曲線 (ベイマツLVL)
 $d=20\text{mm}$, $e_h=2.5d$, $l/d=1.8$

縁距離を鋼棒径の2.5倍、鋼棒径を20mm一定して端距離を変えた試験体表面歪みを図-7に、端距離と比最大面圧応力との関係を図-8に示す。端距離が十分でない試験体では鋼棒近傍より木口自由端での横引張り歪みのほうが大きいことが分かる。これは端距離が十分でない試験体では試験

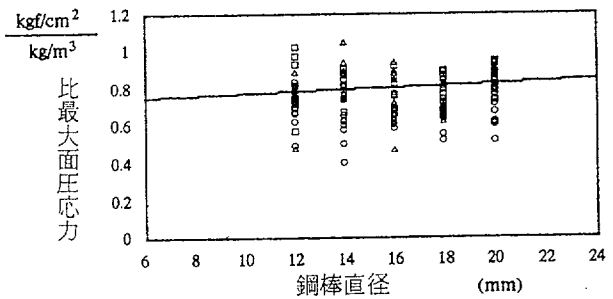


図-6 鋼棒直径と比最大面圧応力の関係

□ ベイマツLVL ○ スギLVL △ ヒノキLVL

体の破壊が木口自由端部より発生していることを示唆している⁶⁾。また、端距離を十分確保した試験体では逆に鋼近傍での横引張り歪みが大きく、破壊寸前では木口自由端部では圧縮側となっている。これは、鋼棒が大きくめり込み亀裂が孔縁に発生し、木口自由端部へ進展しているためである。繊維直交方向加力時では端距離を鋼棒径の10倍以上確保すれば材端部で横引張り応力が存在しない状態であった。

繊維平行方向加力時での端距離と比最大面圧応力との関係は端距離が鋼棒径の8倍確保すれば頭打ちとなったのに対し繊維直交方向加力時では最大面圧応力が一定となる端距離は鋼棒径の15倍以上必要であることも考えれる。

今回の試験から単板積層材において端距離は木構造計算基準による規定値より、繊維平行方向、繊維直交方向とも大きく確保する必要があることが窺える。

(繊維平行方向加力時)

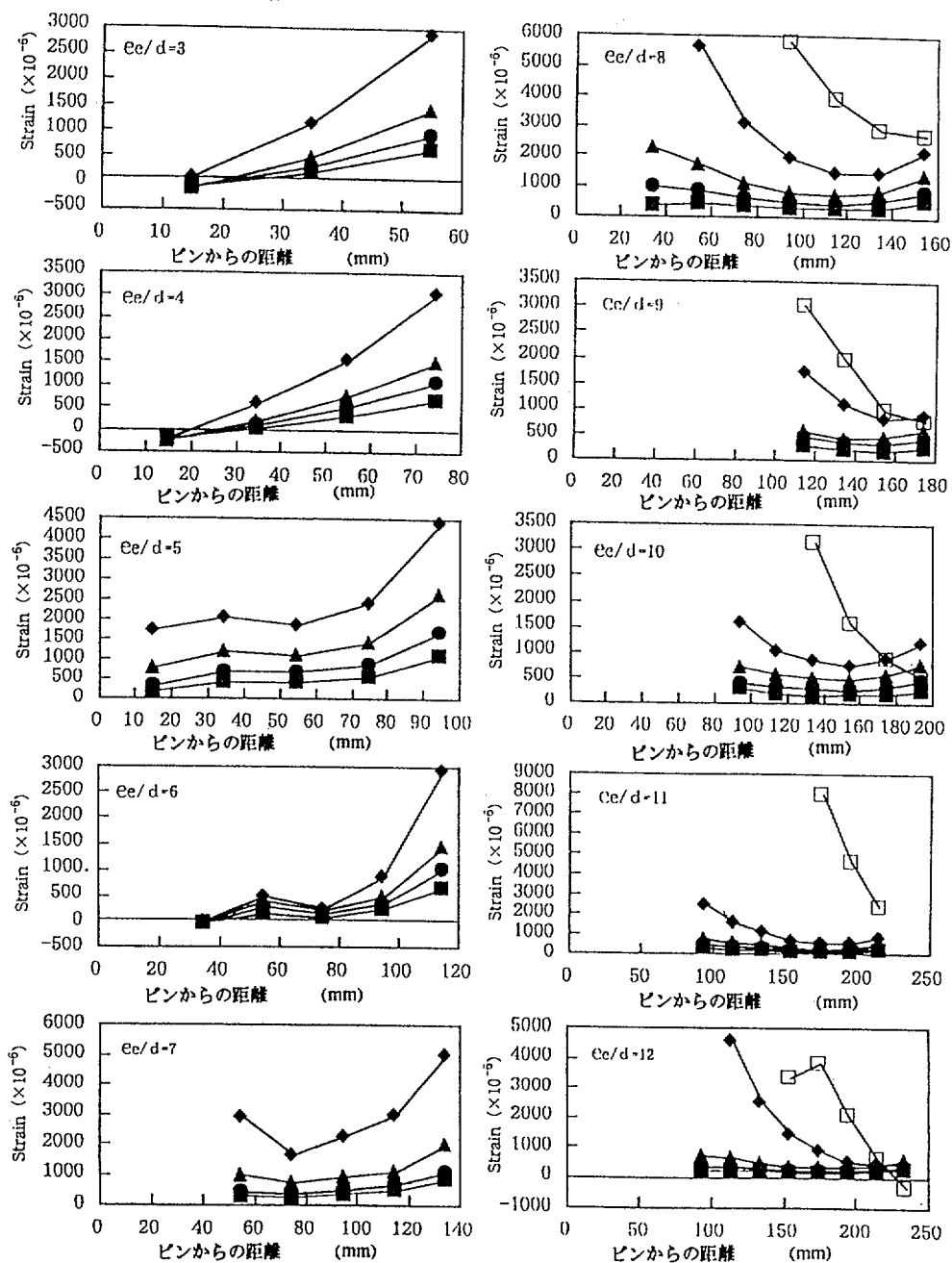


図-7 試験体表面の歪み ベイマツLVL

- ◆ 最大荷重時の歪み ▲ 最大荷重の3/4時点の歪み ● 最大荷重の1/2時点の歪み
- 最大荷重の1/3時点の歪み □ 破壊寸前での歪み

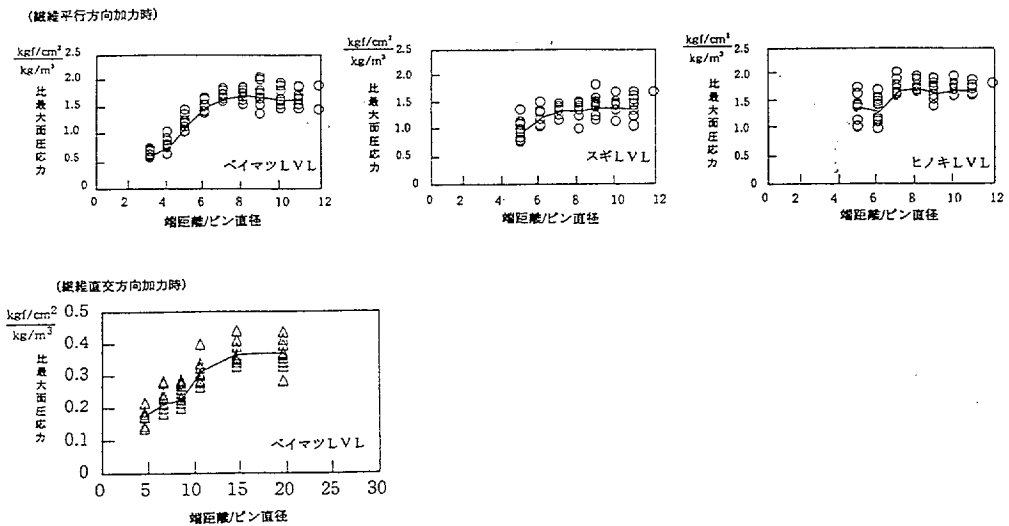


図-8 比面圧応力と端距離の関係

2 県産針葉樹単板積層材の加工性能

構造用単板積層材は将来的に様々な構造用部材として利用されることが考えられる。そのため、部材間の接合における釘着性能と鋼板挿入ドリフトスピン接合に関する耐力試験を行った。

(ア) 単板積層材の釘着性能

(1) 試験方法

釘着性能としては引き抜きに対するものとせん断に対するものがあるが、今回は釘の引き抜き耐力について試験を行った。供試材はスギ辺材、スギ心材、ヒノキの3樹種とし、各種強度試験の試験体(3mm単板、積層数14)より採材した。釘はCN50とし、引き抜き試験は板目面、積層面、木口面に自動バラ釘打ち機によりコンプレッサーの圧力を2kgf/m²に調整して釘(CN50)をガイドを用いて垂直に打ち込み、頭部をつかみ引き抜いた。引き抜きスピードは毎分2mmとした。試験体数は各樹種木口面と積層面は10体ずつ行い、板目面は20体ずつ、計120体であった。なお、端距離、縁距離は既往の研究⁷⁾をもとに板目面では端距離を釘径の15倍、縁距離を5倍、積層面では25倍とし、厚み38mmの中央に打ち込んだ。また、木口面は幅方向を釘径の20倍、厚み38mm、高さ45mmのブロックを試験体としてその中央部に打ち込んだ。釘の打ち込みによる試験体表面に割れは見られなかった。

(2) 試験結果

釘引き抜き耐力の結果を表-10、打ち込み面と引き抜き耐力との関係を図-9に示す。

表-10 釘引き抜き耐力試験結果

(kgf)

樹種		板目面	積層面	木口面
ヒノキ	平均	70	57	44
	変動係数	35.2	23.3	23.6
	最小-最大	50-101	40-90	25-57
スギ辺材	平均	47	33	14
	変動係数	26.3	25.4	5.3
	最小-最大	35-57	17-42	7-21
スギ心材	平均	50	35	14
	変動係数	21.0	23.3	82.7
	最小-最大	35-71	26-50	6-45

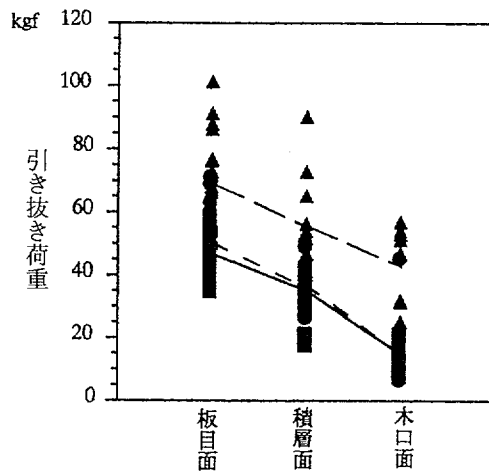


図-9 釘引き抜き耐力

■ スギ辺材 LVL ● スギ心材 LVL ▲ ヒノキ LVL

引き抜き耐力は釘との摩擦によって生じるため、比重や釘径、打ち込み深さなどが影響してくる。今回の試験結果では最大引き抜き耐力は単板積層材の板目面、積層面、木口面の順で低下している。樹種別にはスギ辺材と心材との差異はほとんどなく、ヒノキにおいては木口面でもスギ単板積層材の板目面と同等の引き抜き耐力であった。また、木構造計算基準における製材品の釘許容引き抜き耐力の計算式に今回の試験体の比重を当てはめて得た計算値はスギの辺材心材の単板積層材でも同等以上の耐力を有していた。

現在、木構造部での接合具の試験は外材を対象として行われたものが多く、スギ、ヒノキなどを用いたものは少ない。また、集成材を中心とした大型木構造物が近年多く建設され始めているが、スギを使用したものは数少なく、データの集積が必要であると思われる。特に単板積層材は将来的に構造用として使用されることが期待できるため、スギ、ヒノキ単板積層材のデータの集積を目的として接合具試験を行った。試験は大型木造建築物に多く用いられている鋼板挿入式ドリフトピンの直径、長さを変えて繊維平行方向においてのせん断耐力を調べた。

使用した樹種はスギ、ヒノキ単板積層材の2種類とし、3mm単板で積層した単板積層材を図-10に示すように10mmのスリットを積層面に平行するようにあげ、9mmの鋼板を挿入して試験体とした。なお、スギ単板積層材は辺材、心材を交互に積層し製造した。単板積層材の厚みは76mm、114mm、152mm(90cm×90cm)の3種類とした。厚み76mmと114mmの試験材の製造にあたってはホットプレスにより3mm単板14プライの単板積層材を熱板温度140度、熱圧時間50sec/mmにて積層接着した後、上下に逐次接着により3mm単

図-10 試験方法と試験体寸法

板を積層接着し、プレナーがけにより厚みを調整した。なお、接着剤は水溶性フェノール樹脂を使用した。また、厚み152mmの単板積層材については76mmに積層接着した単板積層材をレゾルシノール系接着剤（ディアノール33号：大鹿振興㈱）により2次接着し製造した。製造した単板積層材はスギとヒノキでホットプレスの熱圧による厚さ減りにより、かなり積層枚数が異なり、76mm厚ではスギ3mm単板28プライ、ヒノキ3mm単板26プライ、114厚ではスギ3mm単板42プライ、ヒノキ3mm単板39プライ、152厚ではスギ3mm単板56プライ、ヒノキ3mm単板52プライでありスギでは約10%の厚さ方向の歩減りがあった。

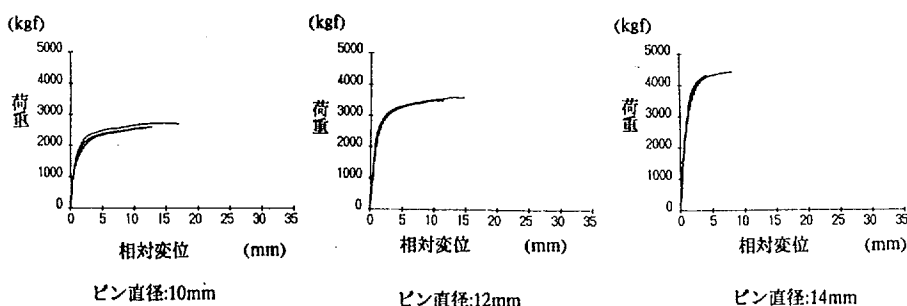
支持鋼棒は30mmを使用し、鋼板と単板積層材の間に単調増加の引張り荷重を加えた。

10tonfのロードセルにて荷重を測定し、鋼板と単板積層材との相対変位は2本の変位計（1／100精度）により、それぞれ測定した。

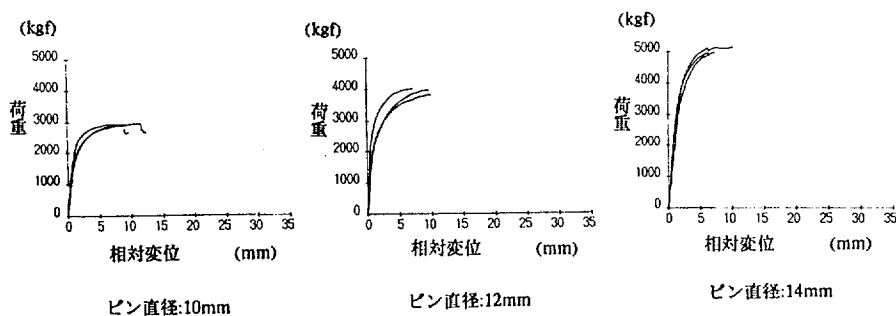
(2) 試験結果

図-11にヒノキの試験体の荷重－相対変位、図-12に細長比と見かけの比例限公称面圧応力、最大公称面圧応力を示す。また、表-11に直線域の傾き、比例限度荷重と変位最大荷重と変位を3体平均して示した。材厚に関係なく、76、114、152mmとも、接合具直径が大きくなる（径長比が小さくなる）につれて最大荷重が増加する反面、粘りは逆になる傾向が窺えた。

試験材の厚み:76mm



試験材の厚み:114mm



試験材の厚み:152mm

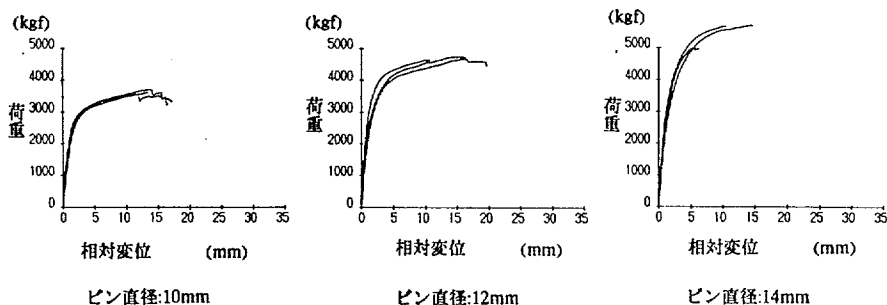


図-11 荷重－相対変位曲線（ヒノキLVL）

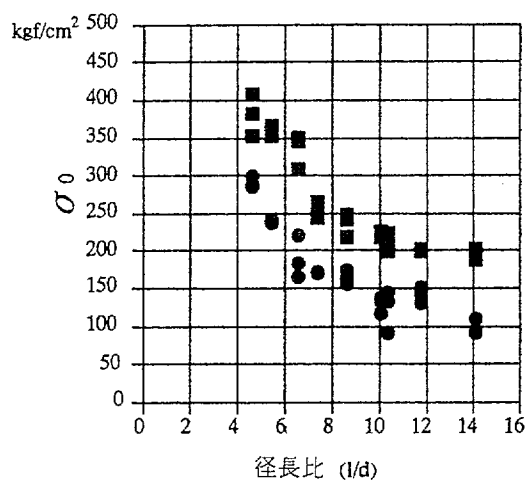


図-12 径長比と最大応力、比例上限応力との関係（スギLVL）

表-11 試験結果

ピン直径(mm)	細長比 (l/d)	初期傾き (kgf/mm)	最大荷重 (kgf)	最大荷重時変位 (mm)	比例上限荷重 (kgf)	比例上限荷重時変位 (mm)
スギLVL						
10	7.6	1118	2207	18.01	1252	1.04
12	6.3	1268	2828	12.03	1881	1.26
14	5.4	1608	3517	2.74	2687	1.34
10	11.4	1056	2210	22.52	1166	1.01
12	9.5	1374	2933	14.69	2036	1.32
14	8.1	1672	3693	7.18	2468	1.50
10	15.2	1239	2798	14.87	1385	1.02
12	12.6	1336	3499	7.99	2393	1.67
14	10.9	1776	4397	7.03	2559	1.42
ヒノキLVL						
10	7.6	1210	2629	13.87	1605	1.01
12	6.3	1787	3536	12.20	2442	1.24
14	5.4	1995	4403	6.57	3526	1.69
10	11.4	1341	2949	10.16	1911	1.23
12	9.5	2052	3935	8.96	2406	0.89
14	8.1	1812	5022	7.77	3598	1.96
10	15.2	1344	3616	15.75	2376	1.46
12	12.6	1510	4695	15.52	3118	1.73
14	10.9	1486	5463	10.14	3863	2.30

今回の試験での径長比は4.71～14.2の範囲であり、破壊は径長比が大きくなるにつれて、ピンが大きく変形することとなった。径長比の小さい場合はいっきに亀裂が走り破壊は脆性的なものであり、径長比が大きい試験体では試験体の木口面の鋼板両側に亀裂が生じてピンが大きく変形するのに伴い、外側に向けて拡大していった。

径長比が増すにつれて比例上限応力、ならびに最大応力とも減少し、同じ応力でも大きく変位していくこととなった。また、若干径長比は異なるものの比例上限応力時での変位はピン直径が太くなるにつれて変位も大きくなる傾向が窺えた⁸⁾。最大変位量は同条件でも試験体によりかなりのバラツキがあった。

V 県産針葉樹単板積層材の性能向上

1. 圧密化による県産針葉樹単板積層材の性能向上

県産中小径木から製造される単板積層材は、他の樹種と比較して単板切削における単板品質が劣ることや単板構成によりその強度特性にバラツキが生じるなどの問題がある。そのため、単板を積層接着する際に高圧にて行うことにより強度性能の向上を目的として実施した。

(ア) 供試材

供試原木は愛媛県久万町産スギの元玉2 m材（末口径22cm～28cm）とした。購入後、1 mに玉切り後、3 mm単板に切削した。切削した単板より腐れや入り皮などのない部位を40cm×50cmにカットした後、単板を含水率5 %程度乾燥した。今回は元玉の2 m材を供試原木としたため、曲りが大きく、スギの辺材と心材の選別は行われなかった。接着剤は水溶性フェノール樹脂を使用し、片面塗布（300 g/m²）したのちホットプレスにて、熱板温度135度、圧縮圧を5 kgf/cm²、20kgf/cm²の4段階に設定し、熱圧接着した。圧縮時間は40sec/mmとし、製造後数週間養生した。

なお、製造した単板積層材は各圧縮圧毎、3 mm単板、8 プライ（40cm×50cm）を4枚、3 mm単板、14プライ1枚ずつとした。

(イ) 各圧縮圧による単板積層材の寸法変化

単板積層材の製造後、厚みの変化を測定した。測定は1/100mm精度のキャリパにより4方向測定した。各圧縮圧毎の単板積層材は製造後1週間はスプリングバックが確認されたが、その後厚みは安定した。製品の厚みを表-12、写真-2に示す。なお、含水率はどの単板積層材も8 %～10 %程度であった。

圧縮圧5 kgf/cm²にて製造したスギ単板積層材は3 mm 8 プライで約1 %の厚さ減り、14 プライでは6 %程度であったが、20kgf/cm²で圧縮したものは3 mm 8 プライで40 %、14 プライで47 %の熱圧による厚さ減りが確認された。特にスギ辺材単板は圧縮圧が低いものでも熱圧により厚さ減りが生じていた。また、比重は5 kgf/cm³のものに対し、20kgf/cm²にて圧縮したものは45 %程度平均で大きい値であった。

表-12 各圧縮圧による単板積層材の形状

圧縮圧 (kg f/cm ²)	3mm単板8プライ			3mm単板14プライ		
	厚み (mm)	容積重 (kg/m ³)	熱圧減り (%)	厚み (mm)	容積重 (kg/m ³)	熱圧減り (%)
5	23.88	473	1	39.33	489	6
10	19.60	521	18	33.53	513	20
15	15.60	638	35	26.52	624	37
20	14.50	685	40	22.09	711	47

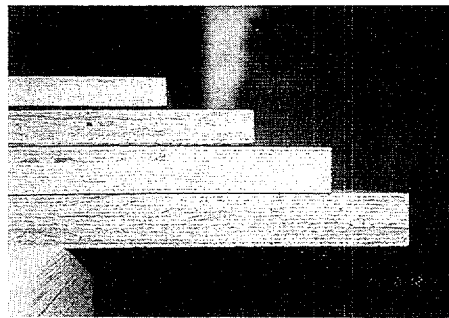


写真-2 製造した単板積層材

なお、プレスが表示から計算した実際の圧縮圧は5kgf/cm²設定で4~7kgf/cm²、10kgf/cm²は8~12kgf/cm²、15kgf/cm²は13~16kgf/cm²、20kgf/cm²は18~22kgf/cm²の範囲であった。

(ウ) 曲げ強度試験

(ウ)-1 試験方法

荷重面を平使い方向と縦使い方向の2方向、断面を正方形の柱体とし、スパンは梁せいの14倍、中央集中荷重方式にて行った。1tonfのロードセルを使用し、中央部変位はクロスヘッドの移動量とした。

使用した供試材は各圧縮圧毎に3mm 8プライの単板積層材1枚から3体ずつ採材した。試験体数は各圧縮圧毎24本、計96体行った。

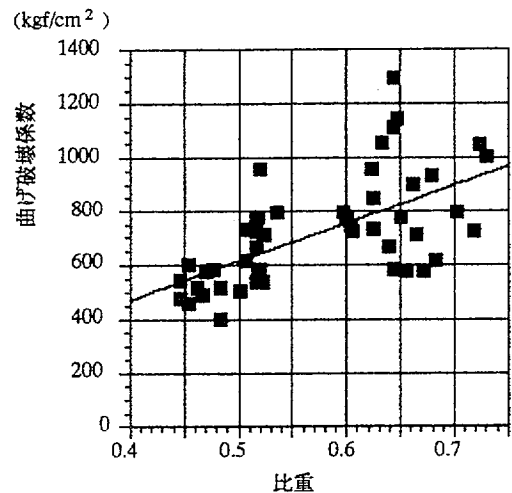


図-13 比重と曲げ破壊係数との関係

(ウ) 2 試験結果

図-13、14、15に各圧縮圧毎の試験結果を示す。曲げ破壊係数 (MOR)、曲げヤング係数 (MOE) とも圧縮圧が増すにつれ、その値は向上した。圧縮圧を 20kgf/cm^2 とした単板積層材は圧縮圧 5kgf/cm^2 の試験体より50%程度高い値であったが、圧縮圧が高い単板積層材ほどそのバラツキが生じる結果となった。これは、単板に含まれる節や単板の種類 (順目、平行、逆目) などにより、単板間に圧縮による厚さ減りの差が生じ、試験体が小試験体であることによる。

また、曲げヤング係数と曲げ破壊係数とも平使い方向より縦使い方向が高い傾向が窺えた。

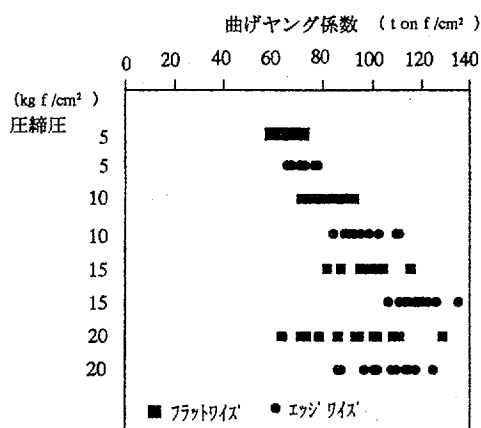


図-14 圧縮圧による曲げヤング係数

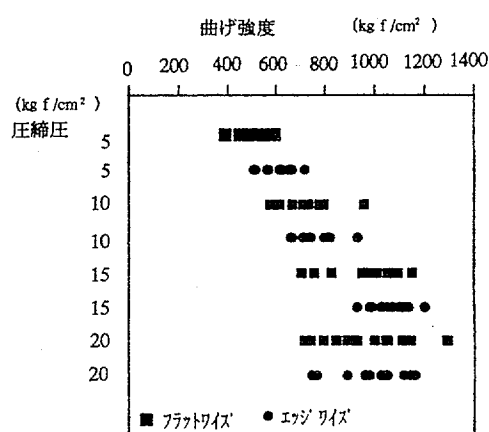


図-15 圧縮圧による曲げ破壊係数

(エ) セン断試験

(エ) 1 試験方法

3mm単板14プライの各圧縮圧の単板積層材からイス型によるブロックせん断試験の試験片を3体ずつ採材した。荷重面は木口面からとして荷重方向と単板の裏割れ方向が一致するようにした。含水率は9~10%であった。

(エ) 2 試験結果

試験結果を表-13に示す。圧縮圧 5kgf/cm^2 の試験体では平均で 59.7kgf/cm^2 であり、同じく 10kgf/cm^2 では 62.2kgf/cm^2 、 15kgf/cm^2 では 75.2kgf/cm^2 、 20kgf/cm^2 では 90.9kgf/cm^2 で、50%程度、圧縮圧を上げることによりせん断試験でも曲げ試験と同様に向上した。

表-13 各圧縮圧によるせん断強度

圧縮圧 (kg f/cm ²)	含水率 (%)	比重	せん断強さ (kg f/cm ²)	強度比
5	9.2	0.456	59.7	1.00
10	9.1	0.501	62.2	1.04
15	9.1	0.611	75.2	1.26
20	9.8	0.702	90.9	1.52

(オ) 縦圧縮、横圧縮試験

(オ)-1 試験方法

3mm単板14プライの各圧縮圧毎のスギ単板積層材から5体ずつ試験片を採材した。採材寸法は厚みと同じ寸法を幅方向にとり、試験体の高さはその3倍とした。荷重方向は木口面と積層面の2方向とし、10tonfのインストロン型試験機により試験を行った。

(オ)-2 試験結果

表-14に試験結果、図-16に比重と圧縮強度の関係を示す。前述したスギ辺材、スギ心材、ヒノキを対象とした縦圧縮試験では圧縮強度と比重との相関関係は低いものであったが、今回の圧密による結果ではその相関係数は縦圧縮0.817、横圧縮0.780であり、非常に高いものであった。

表-14 圧縮試験結果

縦圧縮				
圧縮圧 (kg f/cm ²)	含水率 (%)	比重	圧縮強度 (kg f/cm ²)	強度比
5	8.7	0.476	367	1.00
10	7.6	0.536	402	1.10
15	8.1	0.629	406	1.11
20	8.0	0.712	527	1.44
横圧縮				
圧縮圧 (kg f/cm ²)	含水率 (%)	比重	圧縮強度 (kg f/cm ²)	強度比
5	8.7	0.462	63	1.00
10	6.6	0.524	73	1.16
15	7.8	0.626	89	1.42
20	9.4	0.664	99	1.57

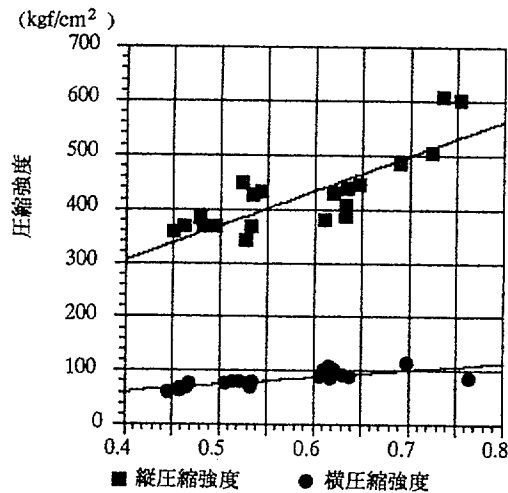


図-16 比重と圧縮強度の関係

(カ) 釘打ちによる割れの観察

(カ)-1 試験方法

スギ単板積層材を製造する工程において、圧縮圧を段階的に変えた試験体の釘打ちによる割れの状態を観察した。釘打ちによる割れは比重に大きく影響されることが考えられる。

釘はCN50を使用し、板目面に40mmまで自動釘打ち機により打ち込んだ。打ち込みの際にはコンプレッサーの空気圧を2 kgf/cm²に調整し、スタンドに取り付けて垂直に打ち込むことにした。また、試験体の厚みが各圧縮圧により異なるため、レゾルシノール系接着剤により2次接着を行い、厚み(60mm)を確保した。試験体の寸法は縁距離を釘径の5倍、端距離を縁距離の10倍とし、厚みは60mmとした。なお、試験体数は各圧縮圧毎8体ずつ行った。

釘打ちした後、釘打ちした板目面以外をラッピングし、デシケーターの中でバリュウム液に浸漬後、減圧注入した。バリュウム液注入後、軟x線(SOFTEX C 60)にて写真を撮影し、内部の割れを観察した。

(カ)-2 試験結果

内部の亀裂の状況は非常に分かりにくいものであったが、全体的に釘の途中からすりばち状にはいっていた。裏面については釘は試験材の途中までしか打ち込んでいないため、亀裂はなかった。木材内部の亀裂は裏面や表面に現れるものより大きいことが指摘されている⁹⁾が、今回試験体を軟x線にて撮影後、数体裏面より順次切断していき、内部の亀裂を観察するほとんど亀裂は生じていなかった。したがって、釘打ちによる亀裂は打ち込みする際、釘が試験体を貫通する際に大きく内部に進展するものと思われる。

また、各圧縮圧毎の表層亀裂の状態を表-15に示す。圧縮圧 5 kgf/cm^2 にて製造した単板積層材は 8 体中すべて裏割れにそった亀裂が生じており、8 体中 3 体が試験体の端まで貫通割れを生じていた。同じく 10 kgf/cm^2 では 8 体中 7 体、 15 kgf/cm^2 では 6 体、 20 kgf/cm^2 では 2 体と圧縮圧が高く、高比重ほど表層での亀裂はいりにくい傾向があった。また、圧縮圧が高くなるにつれ、亀裂はいりにくくなる反面、亀裂が生じたものは貫通割れとなる傾向が窺えた。

表-15 各圧縮圧毎の試験体表面の割れ

圧縮圧 (kg f/cm^2)	割れの頻度 (8体中)
5	8 (3)
10	7 (2)
15	6 (3)
20	2 (2)

() 内貫通割れ

(*) 防腐処理による性能向上

単板積層材は将来的に外構部材など耐久性の必要な環境での使用も考えられる。単板積層材の場合、単板時に処理を行うことも考えられるが、今回の薬剤注入には加圧処理による注入方法について実験的検討を行った。

(*)-1 試験方法

使用した樹種はスギ辺材、心材、ヒノキ単板積層材の 3 種類で原板 ($38\text{mm} \times 90\text{cm} \times 90\text{cm}$) より $30\text{mm} \times 38\text{mm} \times 30\text{cm}$ の試験片を際材した。際材した試験片を加圧注入するに際して、Ⅰ：全面から注入 Ⅱ：板目面からの注入 Ⅲ：積層面からの注入 Ⅳ：木口面（一方）からの注入の 4 種類に選別し、エポキシ樹脂によりコーティングした。試験体数は 1 樹種 1 条件 3 体ずつ、計 36 体行った。加圧処理は前排気 744mmHg 、30 分、加圧 9.6 kgf/cm^2 、1 時間で行い、使用した薬剤は CCA 2 号と DDAC の 2% 溶液を使用した。

(*)-2 試験結果

加圧処理による注入量を図-17に示す。どのタイプの注入量もスギ辺材>ヒノキ>スギ心材の順であり、また、板目面からの注入量は接着層が阻害要因となり¹⁰⁾、目立って少ないものであった。また、全体的にスギ心材単板による単板積層材は小径材と同様に注入量は少なく、将来、大断面の単板積層材を使用する場合に心材単板の構成に配慮が必要であると思われる。

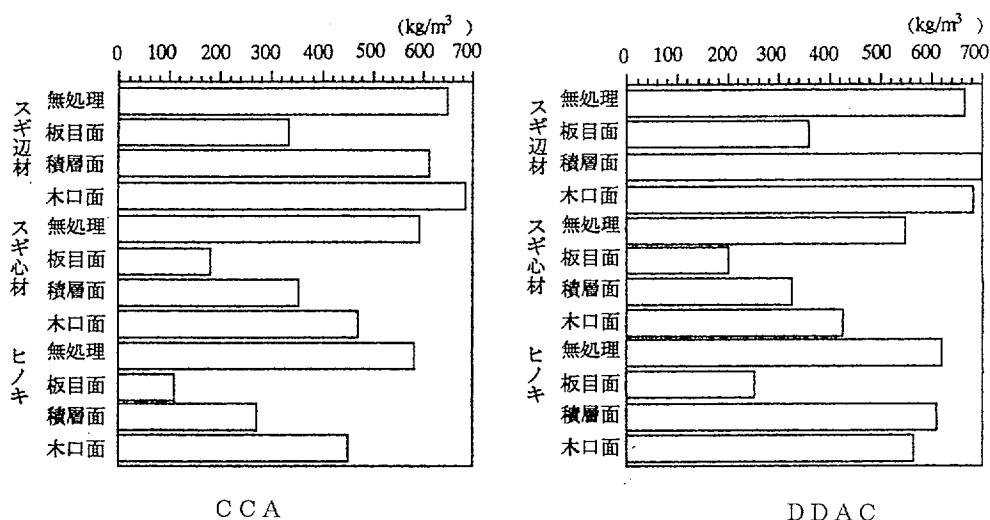


図-17 加圧による薬剤の注入量

VI おわりに

今回、県内産針葉樹の利用開発として、中小径木を中心に単板積層材を製造し、その強度性能や加工性能について検討を行った。スギはその辺心材や早材部、晩材部等、現在、単板積層材の原料となっている樹種より大きな特性を有するため、今後、スギを単板積層材だけでなく他の木材工業製品への加工利用についても配慮しなければならない点が多い。そのため、スギ中小径木を木材工業製品へ利用促進を図るためには素材や単板の選別等、が必要であると思われる。単板積層材自体は将来的に構造用を中心として需要拡大が期待できる木材製品であり、スギ中小径木を単板積層材へ加工利用の推進を図るには製造方法や採算性を含む山間地域での集荷体制など多岐にわたる環境整備が不可欠であり、また、それに合わせて素材や単板での選定等、試験検討を引き続き行い、スギ中小径木による単板積層材の品質の向上を行うことがスギの需要拡大につながっていくものと思われる。

スギ中小径木の利用促進は全国的に重要な課題であるため、スギ中小径木を使用した木材工業製品のデータの収集が望まれ、それは材料性能のみならず、加工性能等多くのデータの収集が必要である。県産針葉樹中小径木を対象とした木材工業製品への加工利用については、今後とも引き続き検討していく予定である。

最後に今回試験を行うにあたり、貴重なご意見、ご指導をいただいた森林総合研究所中井孝氏、小松幸平氏、及び接合研究室諸氏、三輪雄四郎氏、木下叙幸氏、試験体入手にご協力いただいた久万町森林組合木材市場の方々に厚くお礼申し上げます。

(引用文献)

- 1) 高野 勉, 木下叙幸: 針葉樹単板の品質に及ぼす年輪および含水率の影響, 木材工業, VOL. 47, No.1 (1992)
- 2) 高野 勉, 木下叙幸: 針葉樹材のロータリー単板切削 (第4報), 森林総研研報, No.362 (1992)
- 3) 林 知行, 宮武 敦: LVLの衝撃曲げ吸収エネルギー, 木材工業, VOL. 46, No.4, 171~175, (1991)
- 4) 林 知行, 宮武 敦, 長尾博文、ほか2名: 構造用LVL短柱の圧縮強度, 木材工業, VOL. 49, No.6, 264~268, (1994)
- 5) 日本建築学会編: "木構造計算基準・同解説", 日本建築学会, (1988), P. 44~47
- 6) 祖父江信夫: 昭和63年度科学研究費補助金 (一般研究C) 研究成果報告書 (課題番号62560174), 1989P. 45-62
- 7) 藤井 毅: 構造用短板積層材 (LVL) の釘着性能, 木材工業, VOL. 39-8, 18~26, (1985)
- 8) 金谷紀行, 川元紀雄: 針葉樹造林木の単板積層加工利用技術の確立, 農林水産技術会議事務局, 研究成果220, 140~152, (1988)
- 9) 徳田 夫: 釘打ちによって生じる木材の割れの軟x線による定量的測定 (第1報), 日本木材学会大会研究発表要旨集, 44, 370, (1994)
- 10) 松岡昭四郎, 井上 衛: 針葉樹造林木の単板積層加工利用技術の確立, 農林水産技術会議事務局, 研究成果220, 152~157, (1989)