

# 道産針葉樹単板・ラミナの材質分布と 合板・CLTの層内せん断性能

古田 直之, 松本 和茂, 宮崎 淳子, 平林 靖, 大橋 義徳

## The qualities of veneer and lamina of softwood grown in Hokkaido and internal shear strength of plywood and CLT panels.

Naoyuki FURUTA, Kazushige MATSUMOTO, Junko MIYAZAKI,  
Yasushi HIRABAYASHI, Yoshinori OHASHI

**Keywords:** 単板, ラミナ, 合板, CLT, ヤング係数

北海道産カラマツおよびトドマツにおいて, 同一原木の隣接する部位から単板とラミナを採取して材質分布を比較するとともに, これらを用いて合板およびCLTを製造し, エレメントの種類が材料の層内せん断性能に及ぼす影響を調べた。両樹種ともに, 原木の内周部から外周部に移行するにつれてヤング係数が増加する傾向が認められ, この傾向はカラマツにおいて顕著であった。超音波伝播速度から求めたヤング係数は, 単板よりもラミナの方が約2割高い値を示した。合板のせん断強さは, 積層数や裏割れの方向の影響を受けた。一方, 合板とCLTのせん断強さの関係には, 一定の傾向は認められなかった。

### 1. はじめに

北海道内のカラマツ・トドマツ等の人工林資源は成熟期を迎えつつあるが, これらの資源は現状では主に梱包・パレット材や羽柄材等の低位な利用に留まっている。今後, 永続的・循環的に道産材利用を推進していくためには, 付加価値の高い建築構造材としての高度利用が強く求められている。単板やラミナを積層接着した合板・LVL・集成材・CLTなどの木質材料は, 乾燥が比較的容易で寸法安定性が高いという利点があり, 構造材としての利用拡大を図るためにはこれらの積層材料としての利用が不可欠である。

ところで, 上記の木質材料は, 単板やラミナ等のエレメントを用いて, 木材繊維方向を互いに直交あるいは平行にして積層接着されており, これらのエレメントが持つ特性を反映した性能が付与されている。例えば, 単板は原木を桂むきすることによって製造されるため, 裏割れが入ることは避けられない。そのため, 裏割れの方向や程度が合板やLVLの層内せん断性能に影響を与えることが知られており, 集成材やCLTなどのせん断性能とは異なる性質を持つ

ものと考えられる。しかし, これらの材料の強度性能評価は各材料で単独に行われる場合がほとんどであり, エレメントの特性が製品の強度性能に及ぼす影響を調べた研究事例りはほとんどない。今後, 様々な木質材料の有効利用を推進していくためには, その材料特性を詳細に把握するとともに, 用途に応じた使い分けが必要である。

そこで本報では, 同一原木の隣接する部位から得られた単板とラミナの材質を比較するとともに, これらを用いて合板とCLTを製造し, エレメントの種類や採取位置が材料のせん断性能に及ぼす影響を調べた。

### 2. 試験方法

#### 2.1 供試原木

供試原木は, 北海道勇払郡むかわ町産のカラマツおよびトドマツで, 長さは2.4m, 末口径は30cm以上の大径材を各16本とした。原木の概要を第1表に示す。打撃音法によりヤング係数 ( $E_{FR}$ ) を求めた後, ラミナ用として1.8m, 単板用として0.45mの長さに玉切りした。また, ラミナ用と単板用で樹高方

第1表 供試原木の概要

樹種	元口径 (cm)	末口径 (cm)	密度 (kg/m <sup>3</sup> )	$E_{FR}$ (kN/mm <sup>2</sup> )	平均年輪幅 (mm)
カラマツ	36.6 (3.6)	33.5 (2.3)	678.8 (45.6)	10.3 (1.56)	3.07 (0.26)
トドマツ	30.5 (1.7)	27.8 (0.9)	541.5 (53.0)	8.74 (0.59)	3.02 (0.47)

※( )内は標準偏差

向の採取部位に偏りが生じないように、それぞれ半数ずつを元口側から採取した。

## 2.2 単板の製造

単板用原木は、小型ベニヤレース（庄内鉄工(株)製S070）を用いて、歩出し厚さ3.2mmで単板切削した。ベニヤレースのスピンドルが、両木口面の内接円の中心にほぼ一致するように原木を取付けた。単板はクリッパーにより長さ約50cmで裁断し、ベニヤドライヤを用いて乾燥温度150℃でほぼ絶乾となるまで乾燥させた。また、採取したすべての生単板幅を測定し、単板切削曲線を利用して、ベニヤレースの回転中心からの距離（中心距離）を求めた<sup>2)</sup>。

## 2.3 ラミナの製造

ラミナの挽き立て寸法は18×135mmとした。また、木取る際に、末口面にスケールを記入することにより、採取後の各ラミナの内接円中心からの距離（中心距離）を求めた。木取りの一例を第1図に示す。ラミナは、蒸気式人工乾燥装置により、含水率10%を目標に乾燥させた。

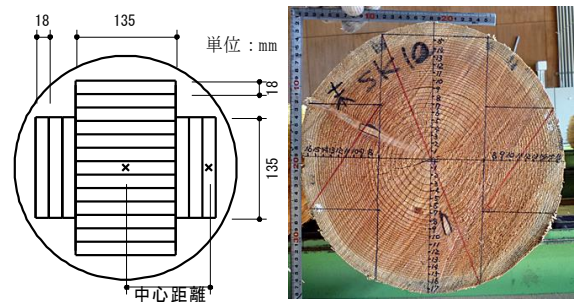
## 2.4 単板とラミナの材質測定

単板は、超音波木材劣化診断機（（株）秋田エスケイケイ製、Dr.Wood）を用いて繊維方向における超音波伝播時間を測定した。発信周波数70kHzの探触子を単板繊維方向の両端の表面側から圧着した。単板1枚当たりは3ヵ所測定を行った。測定した超音波伝播時間を用いて、単板のヤング係数 $E_V$ を以下の式により算出した。

$$E_V = \rho \left( \frac{l}{t} \right)^2 \dots \dots \dots (1)$$

ここで、 $\rho$ は単板（ラミナ）の密度、 $l$ は測定区間の長さ、 $t$ は超音波伝播時間である。なお、測定時の単板含水率の平均値は、カラマツで6.8%、トドマツで7.6%であった。

乾燥したラミナは、打撃音法によるヤング係数( $E_p$ )を算出した。また、プレーナーによって厚さ



第1図 ラミナの木取りの一例

14mmに仕上げた後、ラミナの長手方向を4等分する区間（0～45cm、45～90cm、90～135cm、135～180cm）における超音波伝播時間を測定し、(1)式により各区間における超音波伝播速度によるヤング係数( $E_V$ )を算出した。測定時のラミナの含水率の平均値は、カラマツで10.7%、トドマツで10.2%であった。

## 2.5 合板およびCLTの製造

単板は400×400mm、ラミナは12×120×360mmの寸法に調整した後、合板およびCLTを製造した。製造した合板とCLTの種類を第2表に、接着条件を第3表に示す。接着剤は、フェノール樹脂接着剤（PF）、レゾルシノール樹脂接着剤（RF）、水性高分子-イソシアネート系接着剤（API）の3種類を用いた。CLTは上記のラミナを幅方向に3枚並べたものを積層接着した。合板およびCLTの寸法はそれぞれ400×400mm、360×360mmとした。合板とCLTの製造に用いた単板とラミナは、同一原木の隣接部位から得られたものを用い、各条件において、内周部（中心距離3cm以上6cm未満）、中間部（同6cm以上9cm未満）、外周部（同9cm以上12cm未満）から1枚、1条件あたり3枚製造した。

## 2.6 層内せん断試験

合板の日本農林規格における引張りせん断試験の方法に準じて、層内せん断試験を行った。試験片の概要と試験の様子を第2図に示す。CLTはせん断応

第2表 製造した合板とCLTの種類

材料	接着剤	積層数	厚さ
合板	PF	3層3プライ	9mm
	PF	3層4プライ	12mm
	API	3層3プライ	9mm
CLT	RF	3層3プライ	36mm
	API	3層3プライ	36mm

※API:水性高分子-イソシアネート系接着剤  
 PF:フェノール樹脂接着剤  
 RF:レゾルシノール樹脂接着剤

第3表 接着条件

接着剤	塗布量 (g/m <sup>2</sup> )	冷圧条件	熱圧条件
PF	210	1MPa・30分	130℃・1MPa 40s/mm
RF	210	1MPa・24時間	—
API	230	1MPa・1時間	—

※API, PF, RF: 第2表参照

力の作用する区間（以下、せん断区間）にラミナのはぎ目が入らないよう配慮した。また、CLTは試験実施前に、せん断区間におけるラミナの平均年輪幅と積層面に対する平均年輪傾斜角を測定した。層内せん断試験は、試験片を20℃・65%R.Hで十分に調湿した後に実施した。試験片数は、合板およびCLT1枚あたり20片、1条件あたり60片（合板は順方向と逆方向それぞれ30片）とした。

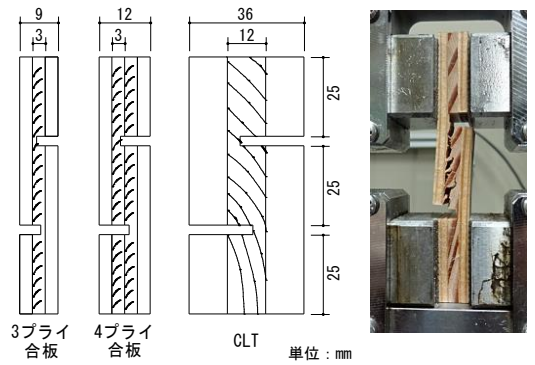
### 3. 試験結果

#### 3.1 単板とラミナの材質

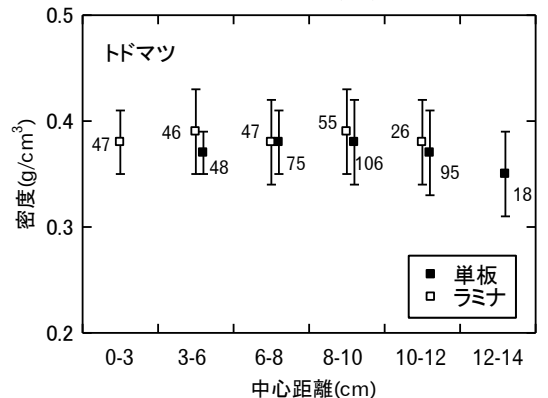
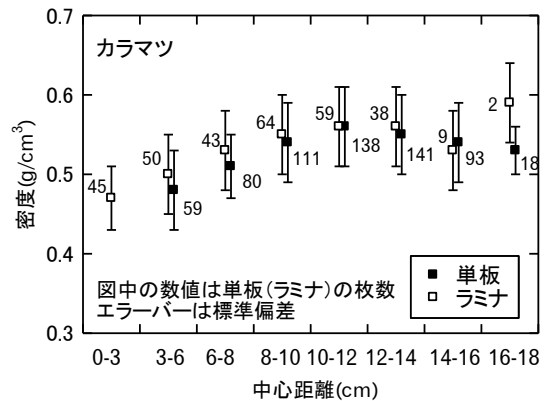
中心距離と単板・ラミナの密度の関係を第3図に示す。単板、ラミナともに、カラマツでは中心距離が増加するにつれて密度が増加しているのに対し、トドマツでは、採取位置によらずほぼ一定となった。なお、単板よりもラミナの密度がやや高いのは、主に測定時の含水率の差によるものと考えられる。

ラミナにおける $E_F$ と $E_U$ の関係を第4図に示す。両者には高い正の相関が認められたが、 $E_U$ は $E_F$ よりも約2割高い値を示した。既往の研究では、超音波伝播速度は、測定長さの影響を受ける場合があることが報告されており<sup>3)</sup>、本研究においても、 $E_F$ と $E_U$ の測定長さの違いが超音波伝播速度に影響を与えた可能性が考えられる。

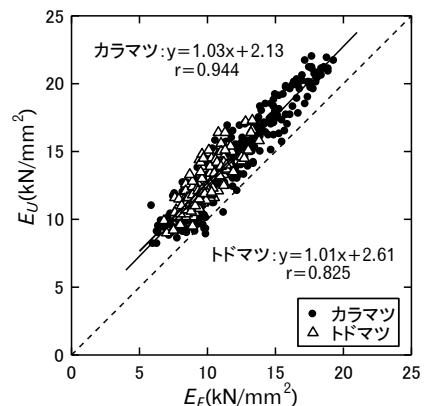
第5図は中心距離と単板・ラミナのヤング係数の



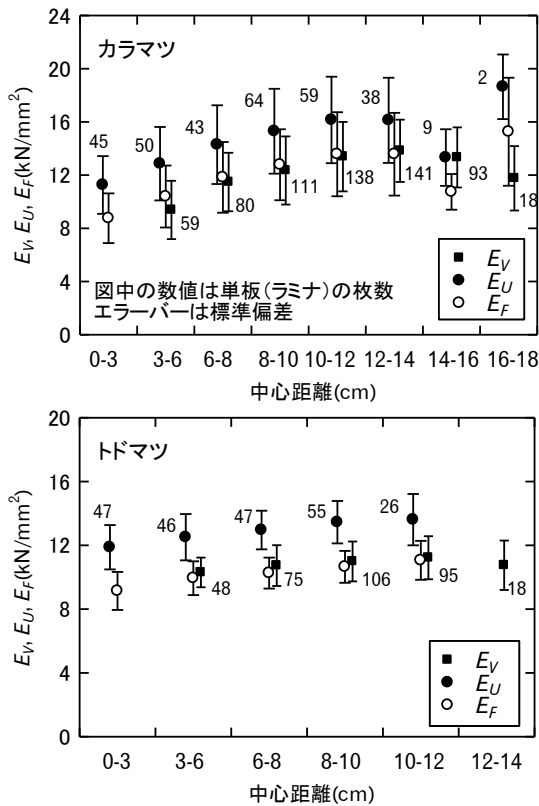
第2図 層内せん断試験の概要



第3図 中心距離と単板・ラミナの密度の関係

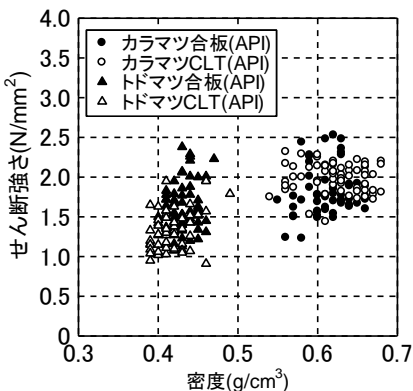


第4図 ラミナにおける $E_F$ と $E_U$ の関係

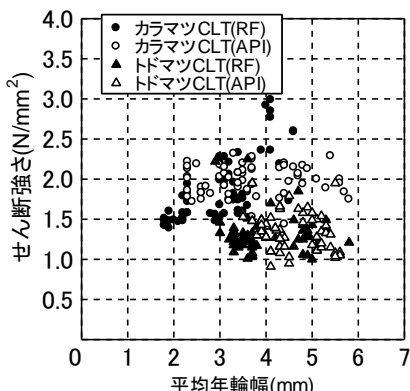


第5図 中心距離と単板・ラミナのヤング係数の関係

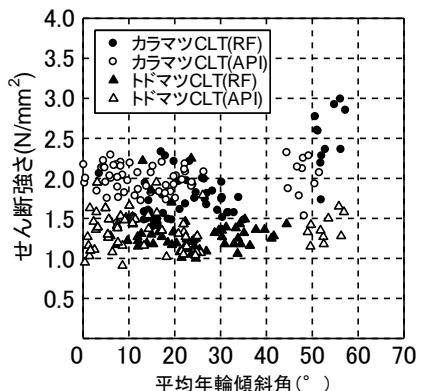
関係を示したものである。両樹種ともに中心距離の増加とともにヤング係数が増加する傾向が認められた。カラマツでは、内周部から外周部に向かうにつれて、ヤング係数が4~5割増加したのに対し、トドマツでは、この増加は1割程度に留まっており、トドマツにおいては、エレメントの採取位置による材質差が比較的小さいことがわかる。なお、カラマツの中心距離14cm以上においては、一部の大径原木



第6図 密度とせん断強さの関係(API)



第7図 年輪幅とせん断強さの関係



第8図 年輪傾斜角とせん断強さの関係

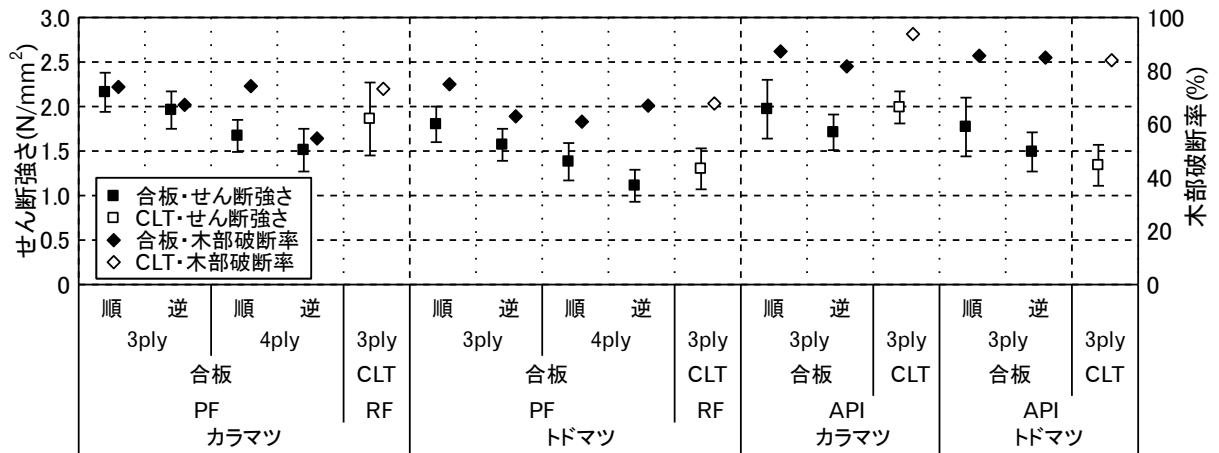
のみしかラミナが採取できなかったため、ヤング係数の測定値は参考程度に留めるべきと考えられる。次に、単板とラミナのヤング係数の関係に着目し、測定手法が同じ $E_V$ と $E_U$ を比較すると、両樹種ともに $E_U$ は $E_V$ よりも約2割高い値で推移する傾向が看取された。これは、単板の狂いや表面の目ぼれ、裏割れなどによる超音波伝播速度の遅延によるものと推察される。

### 3.2 合板・CLTの層内せん断性能

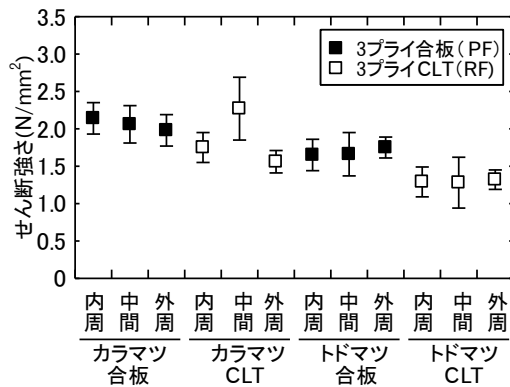
APIを用いた3プライ合板および3プライCLTにおける密度とせん断強さの関係を第6図に示す。合板、CLTともに、カラマツはトドマツよりもせん断強さが高く、概ね密度とせん断強さに正の相関が認められたが、同一樹種内では、明確な傾向は認められなかった。

CLTにおけるせん断区間の平均年輪幅とせん断強さの関係を第7図に示す。RFによるカラマツのCLTは、平均年輪幅とせん断強さとの間に1%水準で有意な相関が認められたが、その他の条件では明確な傾向は認められなかった。第8図は平均年輪傾斜角とせん断強さの関係を示したものである。既往の研究では、年輪傾斜角が大きいとCLTのせん断強さが若干大きくなることが報告されている<sup>4)</sup>。本研究では、RFによるカラマツのCLTのみ年輪傾斜角とせん断強さとの間に1%水準で有意な正の相関が認められたが、その他の条件では、明確な傾向は認められなかった。

合板およびCLTのせん断強さと木部破断率を第9図に示す。木部破断率は、APIを用いた合板およびCLTでは、いずれも80%以上、PFやRFを用いた合板およびCLTではAPIよりもやや低いものの60%以上



第9図 合板およびCLTのせん断強さと木部破断率



第10図 採取位置ごとのせん断強さ

となったことから、本試験で得られたせん断強さは、概ねエレメントが持つ特性を反映した結果であるものと推察される。合板のせん断強さは、いずれも逆方向よりも順方向が高く、4プライよりも3プライが高い値となった。層内せん断試験においては、せん断区間におけるせん断強度の最弱部分から破壊が進行すると考えられるため、直交層を多く有する4プライのせん断強さが低くなったものと推察される。3プライ合板とCLTのせん断強さを比較すると、概ねCLTよりも合板が高い値となったが、4プライ合板とCLTの比較では、逆にCLTがやや高い値を示しており、一定の傾向は認められなかった。合板とCLTでは、エレメントの厚さが異なるため、せん断性能に及ぼす寸法効果の影響を把握する必要があるものと考えられた。

第10図は、エレメントの採取位置と合板およびCLTのせん断強さの関係を示したものである。いずれも、エレメントの採取位置とせん断強さの関係に

は明確な傾向は認められなかった。第3図および第5図で示したように原木半径方向の位置によってエレメントの材質は異なるものの、これらが合板およびCLTの層内せん断性能に及ぼす影響は小さいものと考えられた。

#### 4. まとめ

北海道産カラマツおよびトドマツを用いて、同一原木の隣接する部分から単板とラミナを採取して、原木半径方向における材質分布を調べた。また、これらのエレメントを用いて合板およびCLTを製造し、両者の層内せん断性能を比較した。その結果、以下の結論が得られた。

- ・カラマツでは原木中心からの距離（中心距離）が増加するにつれて、エレメントの密度が増加したのに対し、トドマツでは、採取位置によらずほぼ一定となった。
- ・カラマツ、トドマツともに、中心距離の増加とともにヤング係数が増加する傾向が認められ、この傾向はカラマツにおいて顕著であった。
- ・超音波伝播速度から求めたヤング係数は、単板よりもラミナが約2割高い値を示した。
- ・合板のせん断強さは、4プライよりも3プライが高く、裏割れの方向別では、逆方向よりも順方向が高くなった。
- ・CLTのせん断強さは、トドマツよりもカラマツが高く、密度との間に正の相関が認められたが、年輪幅や年輪傾斜角との間には明確な傾向は認められなかった。
- ・合板とCLTのせん断強さの関係には、一定の傾向

は認められず、これらの関係を明確にするためにはエレメントの厚さの影響を考慮する必要があると考えられた。

#### 5. 文献

- 1) Idou H, Nagao H, Kato H, Miyatake A, Hiramatsu Y : *J. Wood Sci.* 56(5), 422-428 (2010).
- 2) 古田直之, 平林靖, 宮崎淳子, 大橋義徳 : 木材学会誌 62巻5号, 163-171 (2016).
- 3) 林弘也, 小田一幸, 松本勲 : 九州大学農学部演習林報告 26, 119-126 (1973).
- 4) 岡部実, 安村基, 小林研治 : 木材学会誌 60巻3号, 169-176 (2014).

—技術部 生産技術グループ—  
(原稿受理 : 16.11.25)