

2024,11,16

早生植林材・国産材利用シンポジウム

山田 資料

新しい早生植林材利用技術

建築材料としての木材の欠点

燃える
ばらつきがある

早生樹 材質のばらつきが比較的大きい

原木丸太→ロータリーレース単板→合板・LVL

- 1) 準不燃材料 ロータリーレース単板の裏われを活用して難燃剤を注入する
- 2) 構造LVL 比重の高い同単板と低い同単板を交互積層
裏割れを活用して接着剤を浸潤させる 圧密
- 3) 複合CLT 広葉樹（センダン）のローリングシア

中国でのロータリレース単板の製造



写真6 単板製造工場



写真10 単板の天然乾燥



写真9 剥き芯のロータリレース

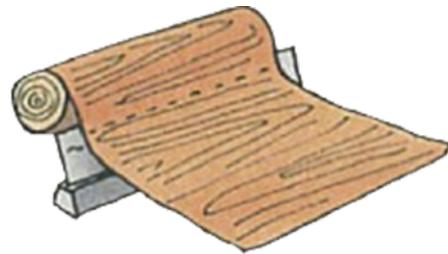
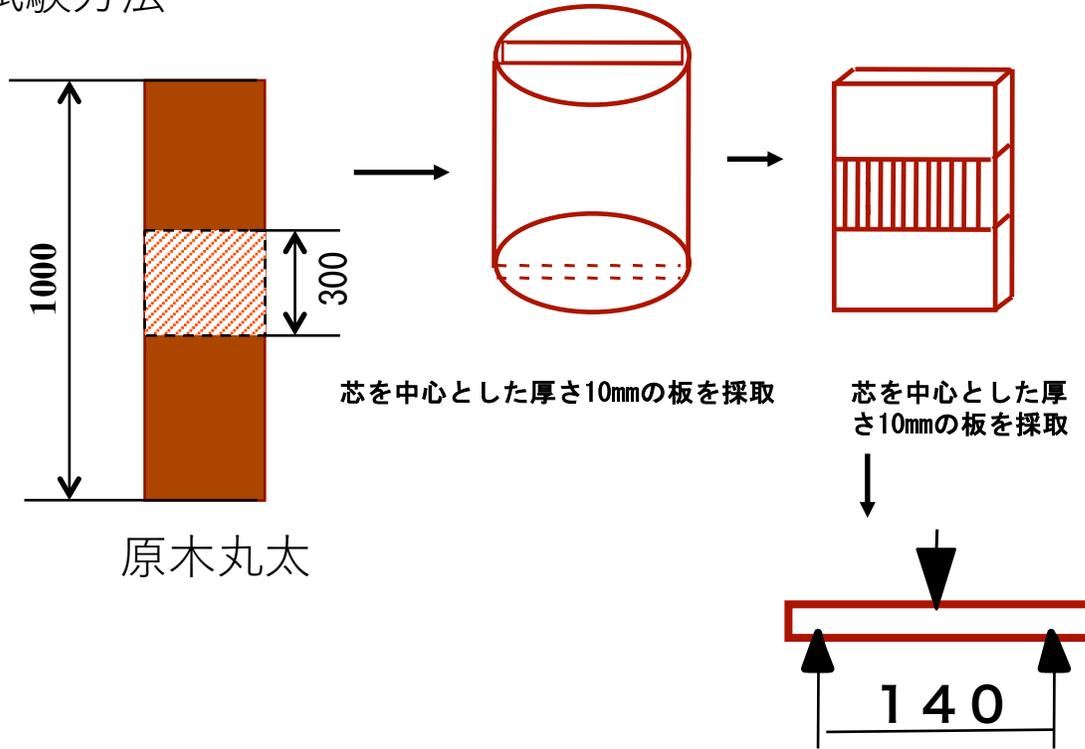


写真15 単板の熱板乾燥

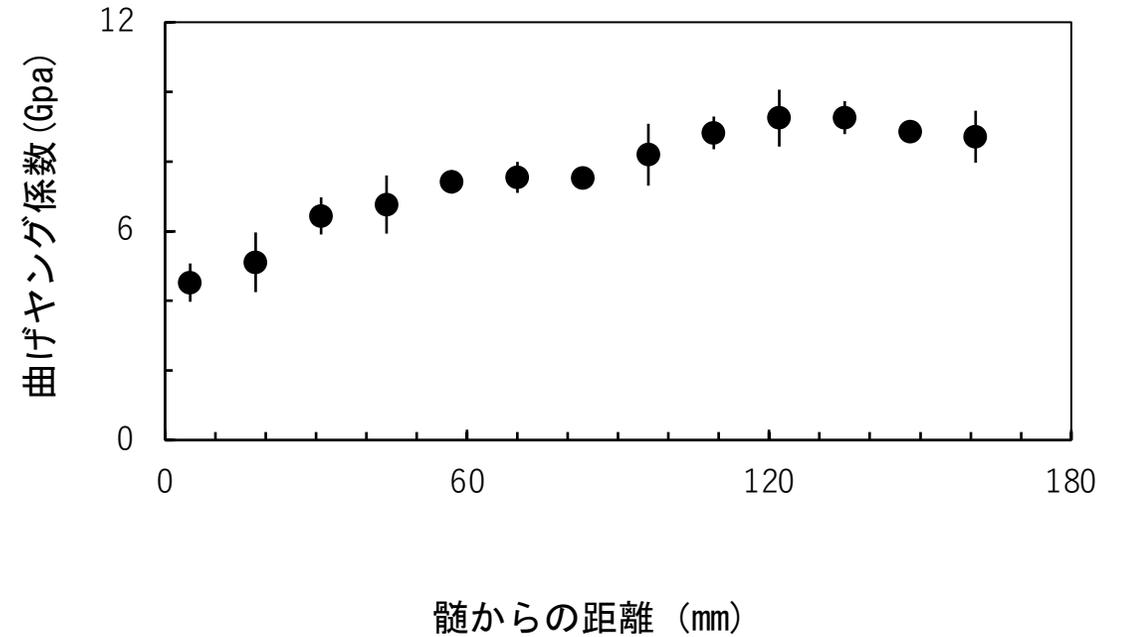
単板の製造と乾燥が容易→山元での製造が可能（山元への利益還元）

樹幹内強度分布 (センダン)

試験方法



結果



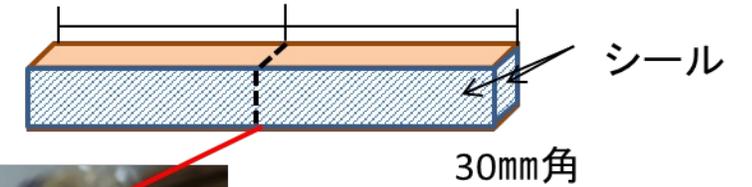
半径方向における材質のばらつきが大きい

ロータリレースにより要求される材質の部分が採取可能

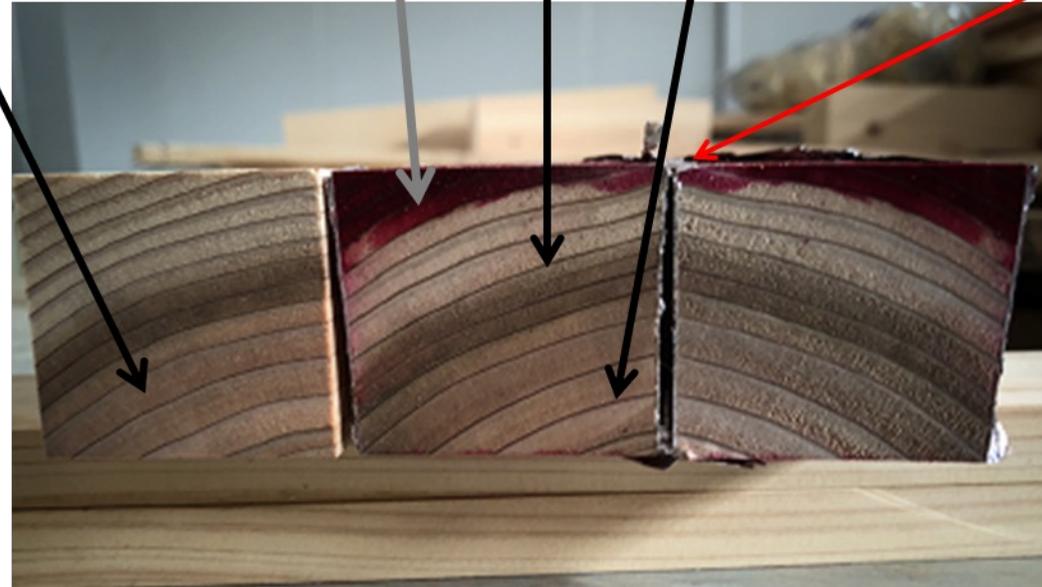
木材の不燃化→難燃剤の注入（減圧加圧）

染色剤注入前断面

辺材部 白線帯 心材部



素材（追いまさ材）での注入性



注入後中央部断面

スギ角材を板目面（写真の上下面）のみオープンし、サフラニン染色剤を減圧加圧注入（65torr 60min, 8atm 240min）

辺材のみに薬剤が注入されている

追いまさ面からは白線帯を越えて薬剤注入は不可
心材部では同面からはほとんど薬剤注入はない

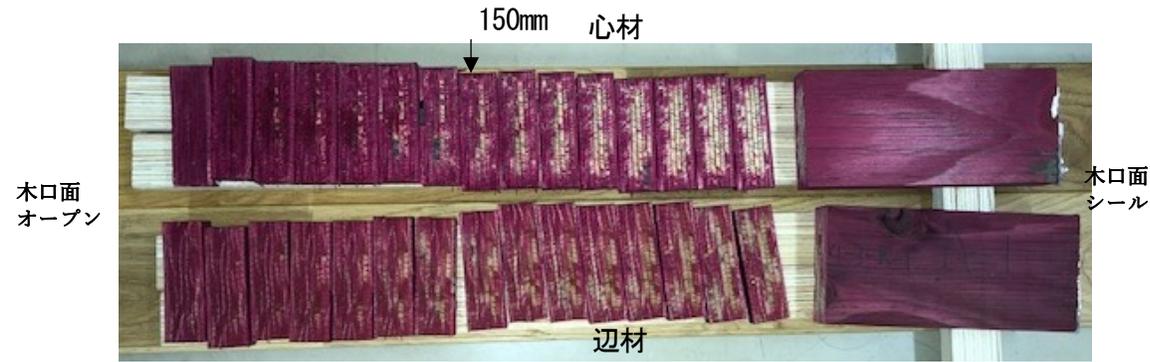
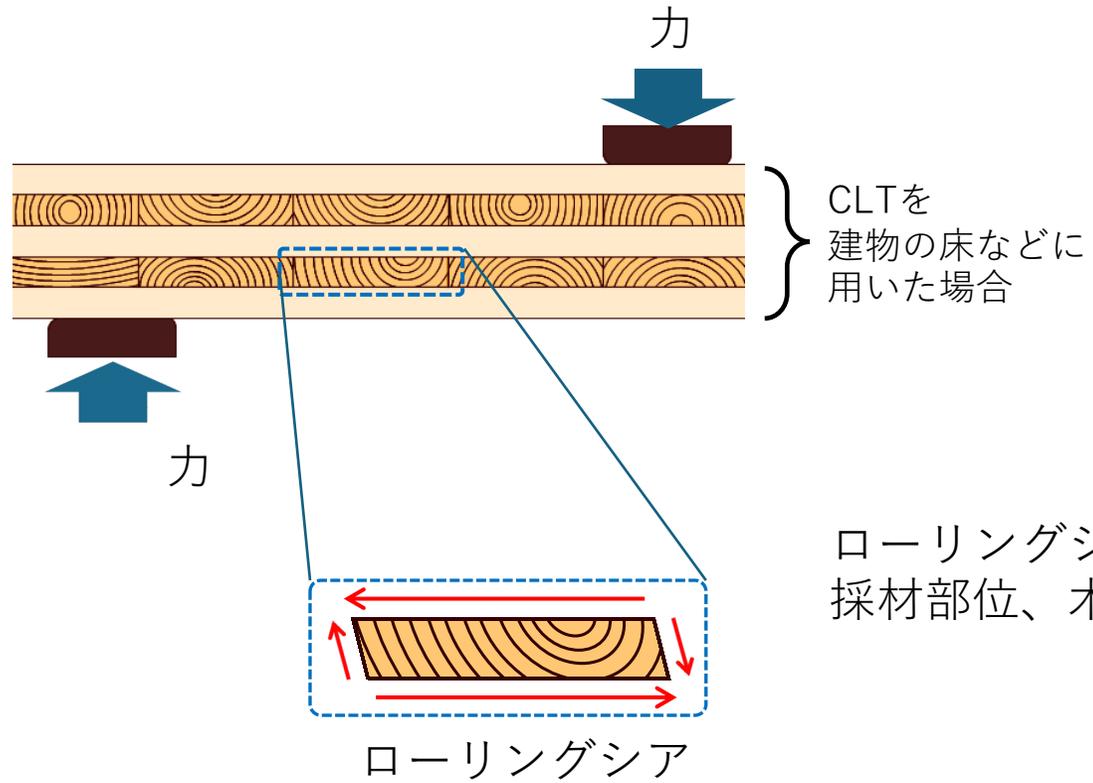


図1 LVL染色剤注入結果（スギLVL）

ロータリ単板の積層によるLVL

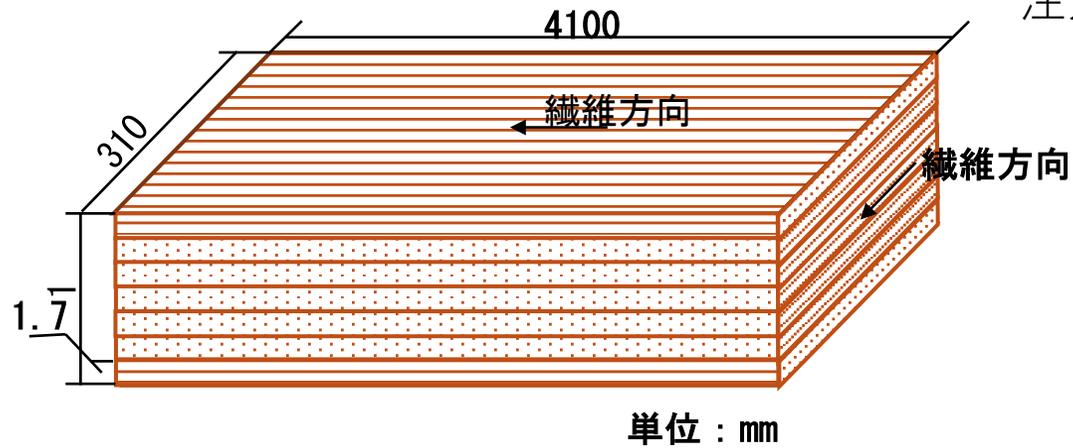
- ・ 接着層は薬剤水溶液がほとんど通らなかった
- ・ 表層単板はほとんど注入されていた
- ・ 心材部、辺材別LVLにおいて、木口面から150mm程度まで薬剤が注入された
- ・ 薬剤注入性に裏割れの関与している可能性が考えられた
- ・ 通導性が劣るとされるスギ心材部分もロータリ単板とすることにより水溶性薬剤注入が比較的容易になることが分かった
- ・ **内層単板は繊維方向を直交して配置、長さ方向は任意、幅方向は300mmまでむらなく注入が可能と考えられた（LVB）**

複合CLT



ローリングシアのデータは少ない
採材部位、木取り

準不燃木質材料 (LVB)
直交層



国交省認定の製品開発を目的とし
注入量を確保のため、表裏1層直交内層5層としたLVLを用いた。

**310mm (幅) × 4100mm (長さ) : 製品実大でロット内、
個体内で必要注入量**

注入結果 (実大材) ロット内のばらつき



実大材での注入量のばらつき

12mm(厚さ)×310mm(幅)×4100mm(長さ)

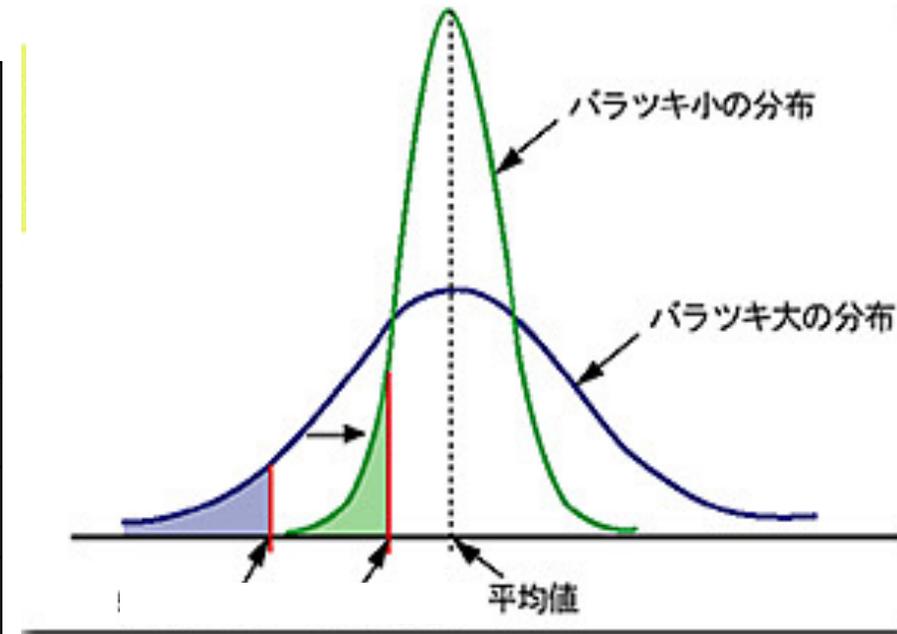
1ロット (管内の30体) の薬剤注入量(kg/m³)のばらつき

注入薬剤：丸菱油化工業 (株) ノンネンW2-50

薬剤濃度25%

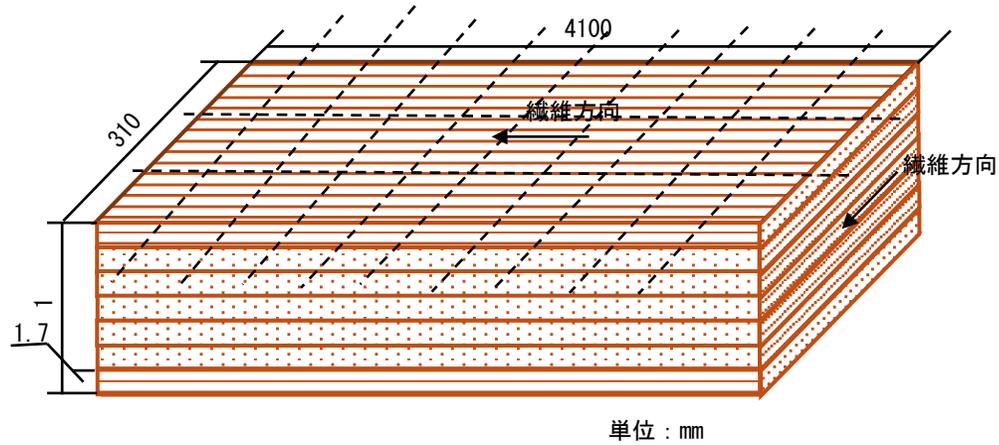
減圧加圧条件：65torr 60min 8atm 60min 300torr 30min

	薬剤注入量 (kg/m ³)
平均	161
最大	167
最小	154
標準偏差	3.32
平均 - 3σ	151



平均値 - 3σ
(これ以下の発生率は0.15%)

注入結果（実大材） 個体内のばらつき

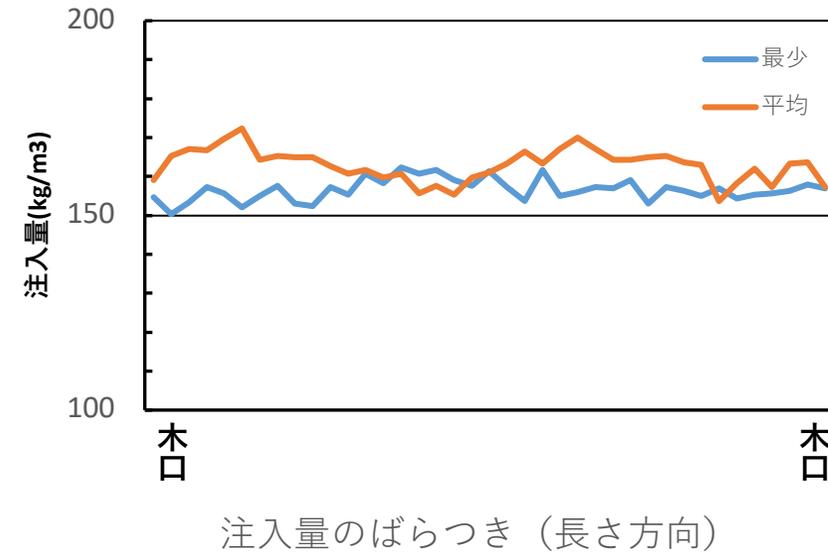
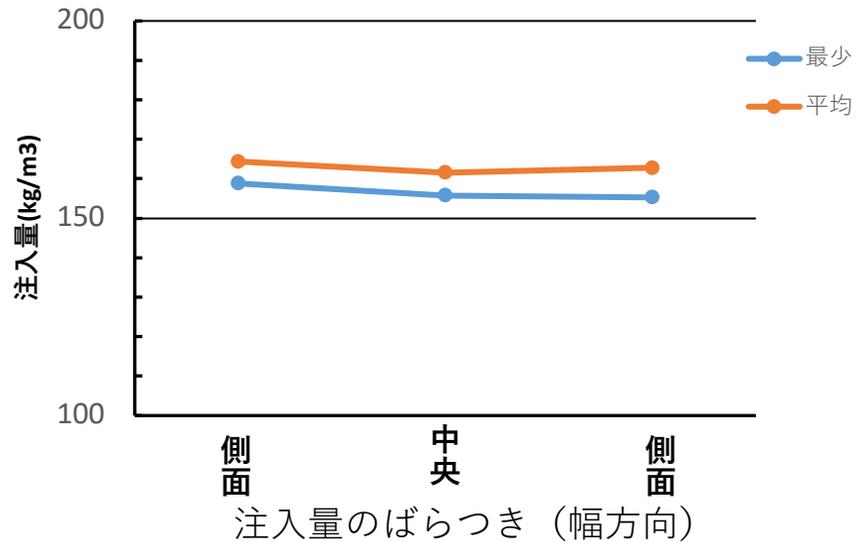
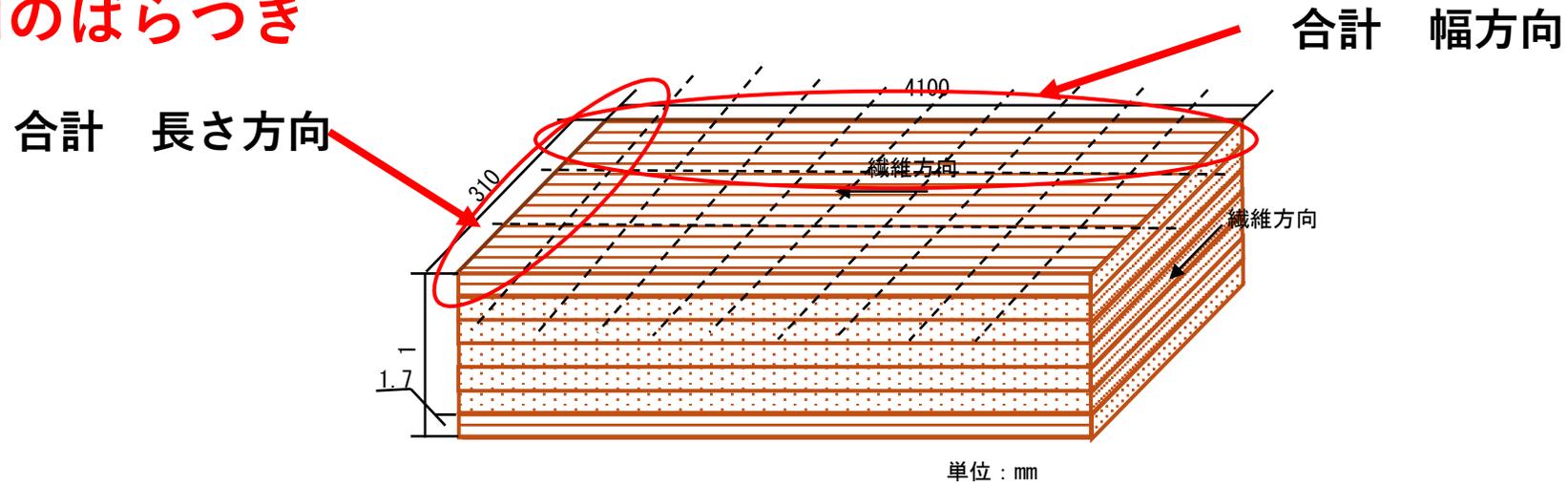


個体内の薬剤注入量のばらつき

30体の中から
平均値に近いもの(163kg/m³)
最小値(154kg/m³)

幅方向3分割 長さ方向39分割
100mm角 117個切り出し

個体内のばらつき



幅方向、長さ方向いずれの部分も注入量は150kg/m³以上 ばらつきも少ない

濃度と注入量

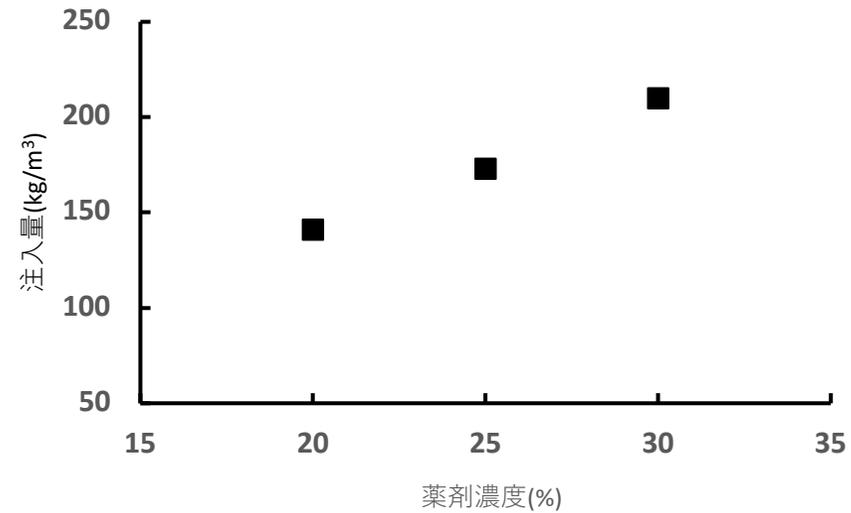
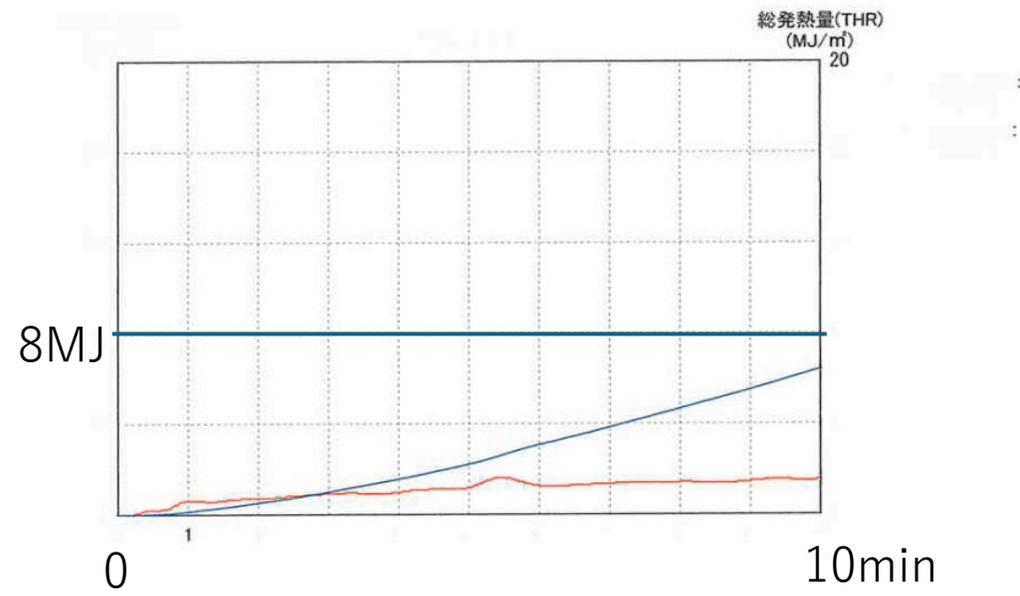


図2 薬剤濃度と注入量の関係

水溶液の注入量はほぼ一定

濃度調整によって注入量を調整できる

燃焼試験と発熱チャート



(基材 注入量138kg/m³)

白華試験

試験体：幅約90mmで長さ約300mmで4側面をシリコーンゴムとアルミ箔でシールしたもの12体

条件：40°C90%RH24hr.60°C送風24hrの5サイクルでの乾湿繰返試験

5サイクル終了後の表面



すべての試験体において白華現象は認められなかった
接着層は薬剤が通らない

まとめ

ロータリレース単板を積層したLVLにおいて、木口面から約150mmまで薬剤をむらなく減圧加圧注入することが可能であった。これは裏割れが影響していると考えられる

この原理を応用して厚さ1.7mmポプラロータリレース単板表裏1層と内層5層の繊維方向が直交する12mm(厚さ)×310mm(幅)×4100mm(長さ)のLVLを用い、30体同一缶体内での個体間ばらつきを検討した。その結果注入量の平均値は161kg/m³、平均値-30本の標準偏差×3は151kg/m³の注入量となり、準不燃性能を満たす注入量がほぼ全数確保できた。

分割し同一個体内でのばらつきを測定した結果、幅方向長さ方向ほとんどばらつきなく注入できた。

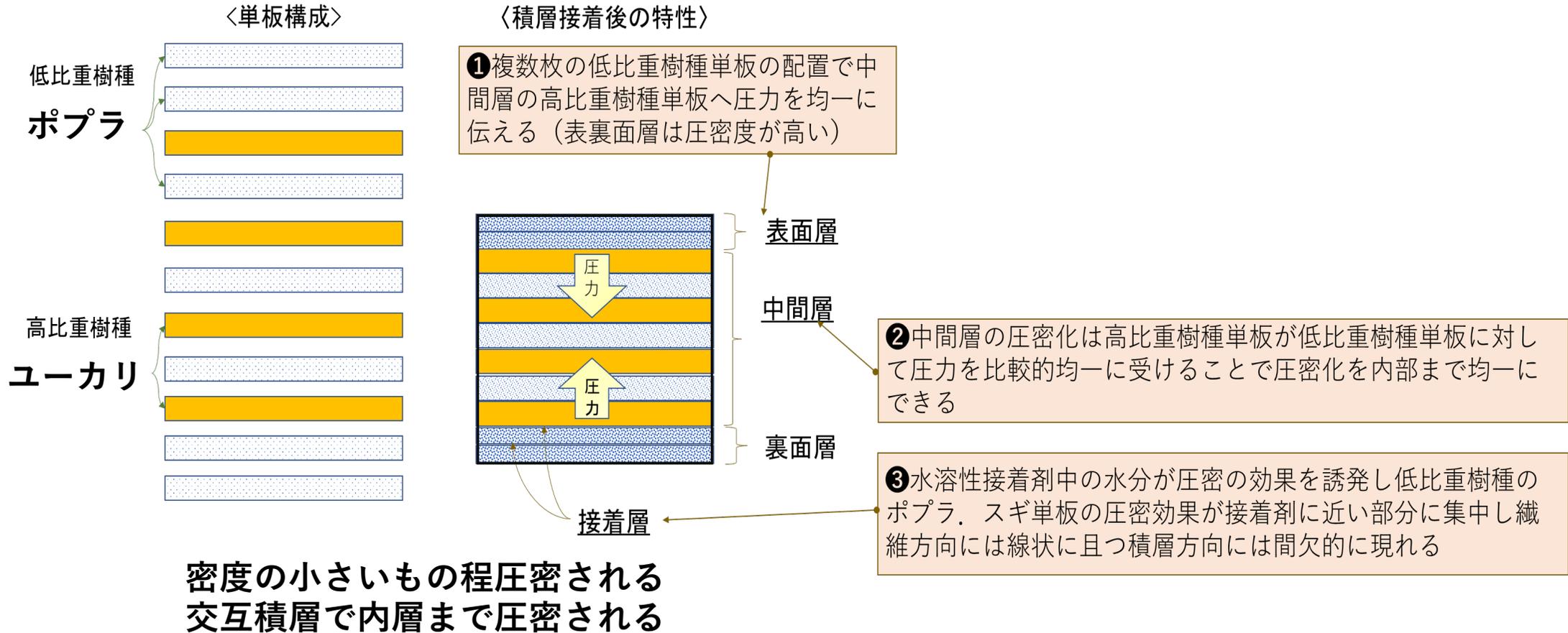
濃度20%,25%,30%の3通りで薬剤注入をおこなった結果、注入量は薬剤濃度に比例した。
注入量の調整は薬品濃度の調整で可能

準不燃材料としての認定

構造用LVL

交互積層 圧密

密度の異なる樹種からなるロータリ単板を交互に圧密積層することでLVLの材質のばらつきが抑えられ、強度が向上する



ばらつきの大きい早生樹材（ポプラ・ユーカリ）から材質が安定し、強度の高いLVLを製造する

曲げ強度試験

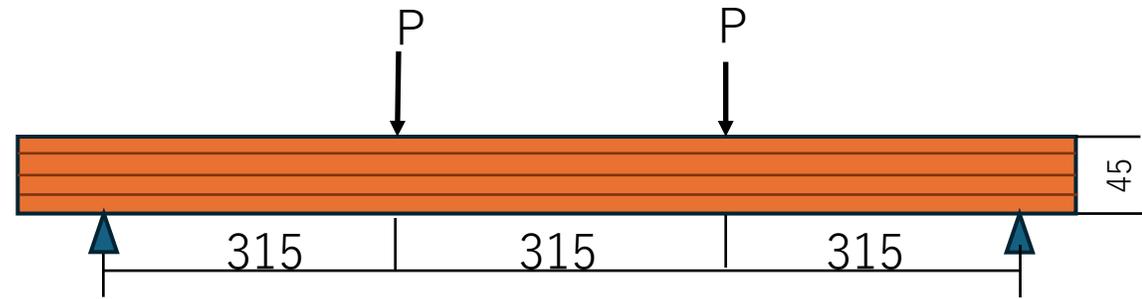


LVLの曲げ試験

積層方向45mm×積層直交方向45mm×繊維方向1500mmのLVL曲げ試験体とした。

比較のため、ポプラロータリ単板のみで同様にLVL曲げ試験体を作製した。

作製した試験体について、構造用単板積層材の日本農林規格（平成15年2月27日農林水産省告示第237号）に準じてスパン945mm, 3等分点4点荷重の**平使い**での曲げ試験を行い、曲げヤング係数(MOE)、曲げ強さ(MOR)を求めた。



構造用材としての利用

結果 (曲げ試験)

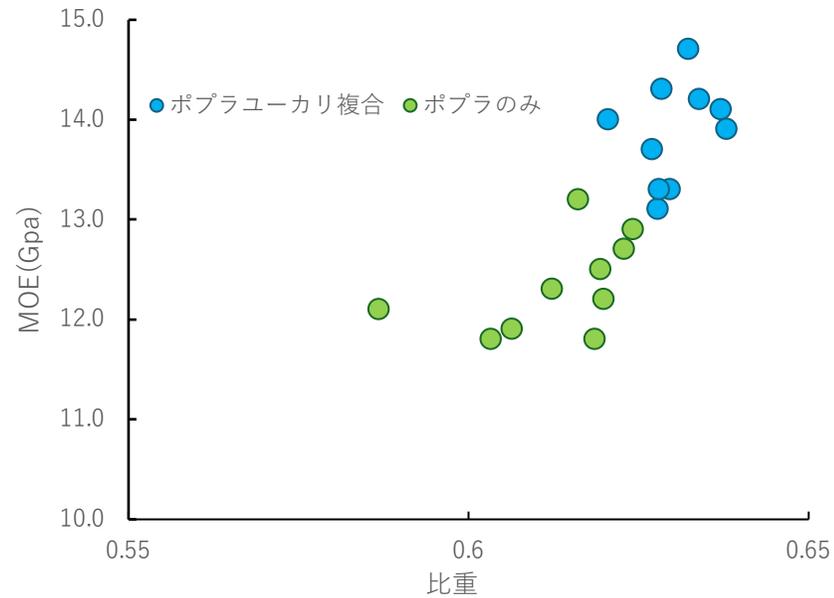


図1 比重とMOEの関係

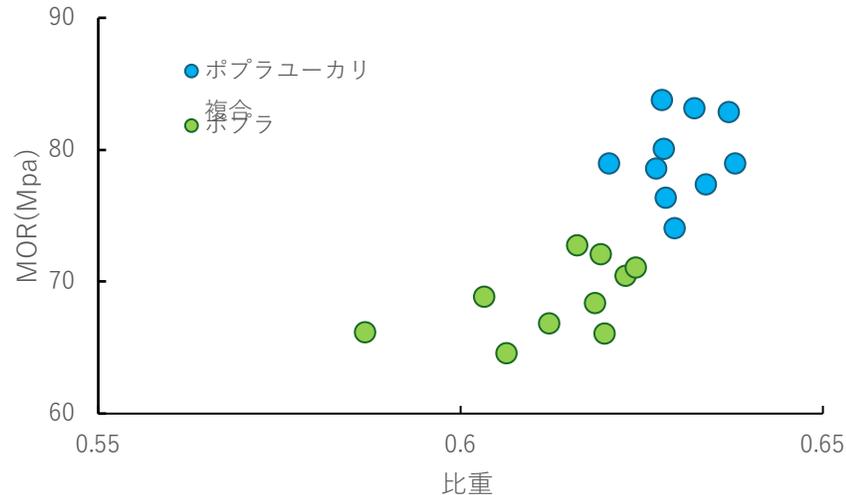
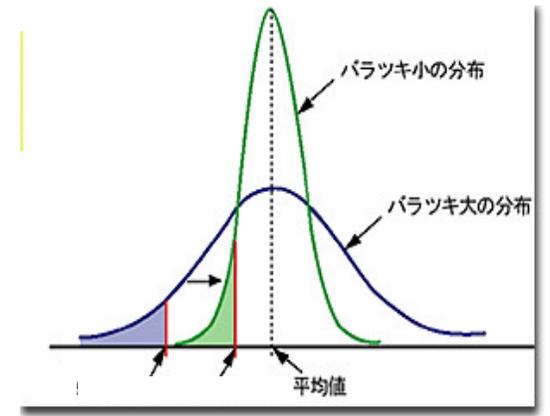
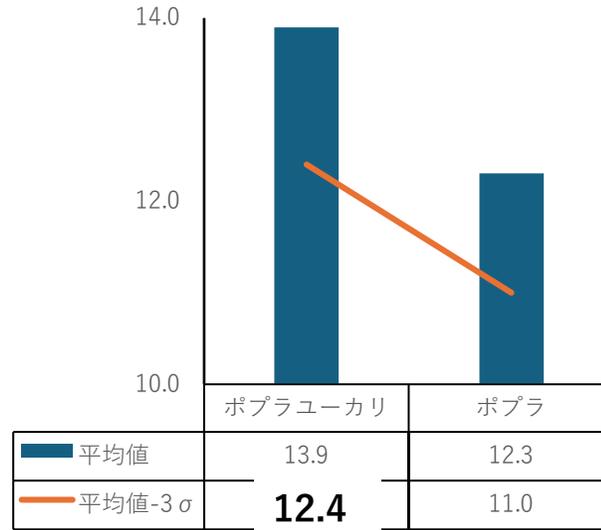
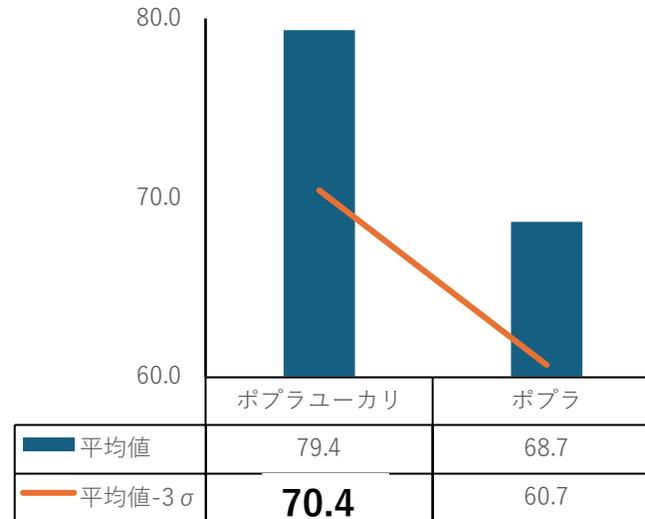


図2 比重とMORの関係



平均値 - 3σ
(これ以下の発生率0.15%)

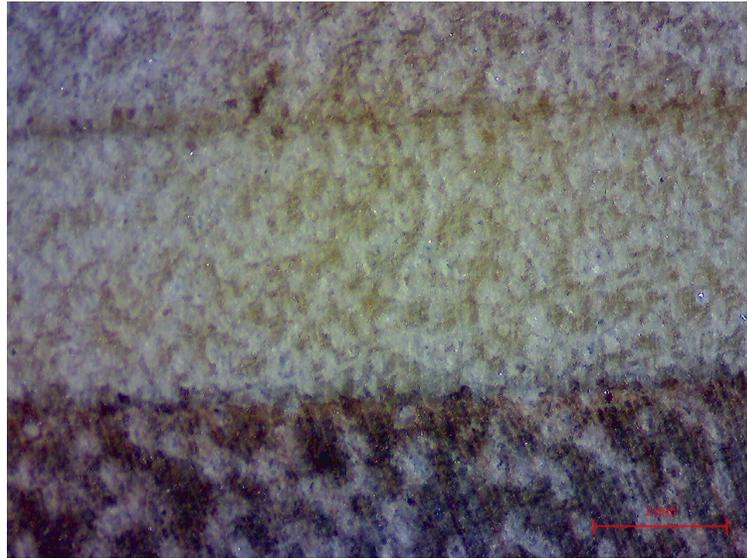


複合することによりMOEで7.76%、MORで11.9%比強度が向上した。複合LVLにおけるMORの信頼水準75%の5%下限値($TL_{75\%,1-5\%}$)は73.1MPa

JAS規格値 100E-320F



破壊形態もほとんどが積層方向中央部の木部せん断破壊

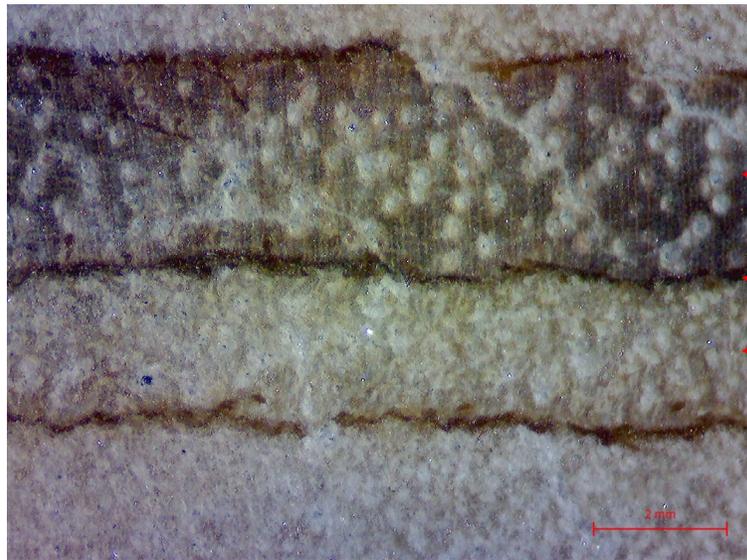


← 接着層

← ポプラ

← ユーカリ

P1.8E1.0



← ユーカリ

← 接着層

← ポプラ

← ユーカリ

P1.8E1.6

実大顕微鏡による観察

接着層が波打っている (圧縮圧高)

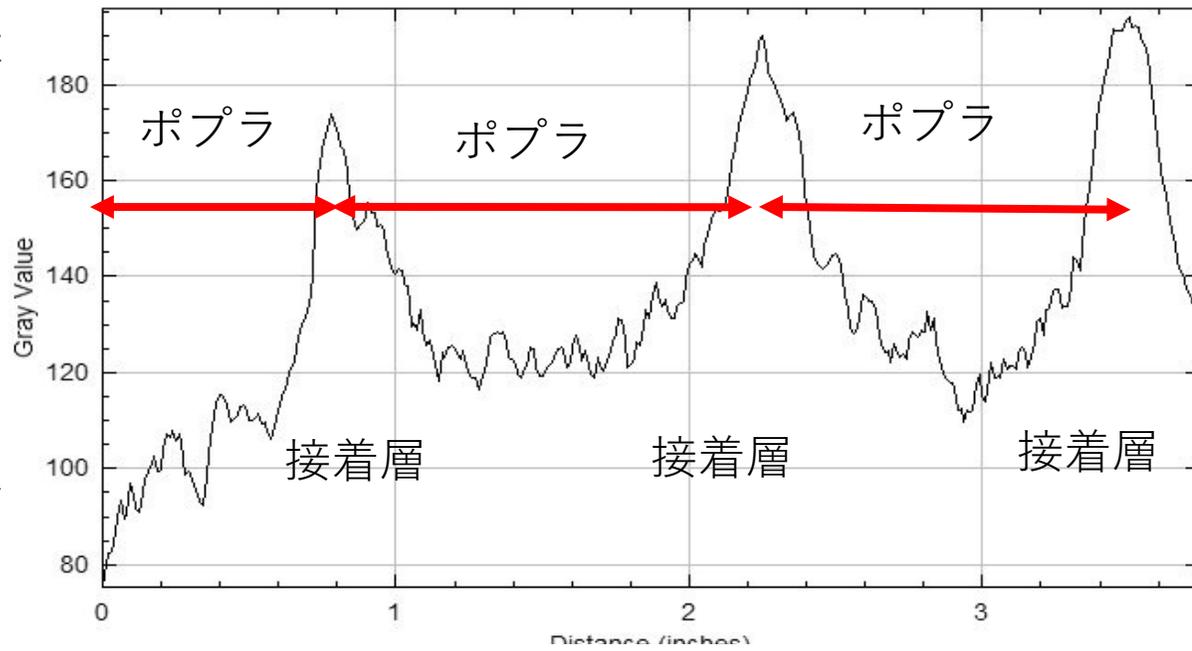
(2) 密度分布

実大顕微鏡では内側の部分までポプラ単板が圧密されていることが観察できる（写真2）。スキャナーで測定すると複合だと単板厚さのばらつきが多かった（図2）。さらに詳細な密度分布をマイクロフォーカスX線CTシステムで測定し、比曲げ強度値が大きくなる要因を検討した。

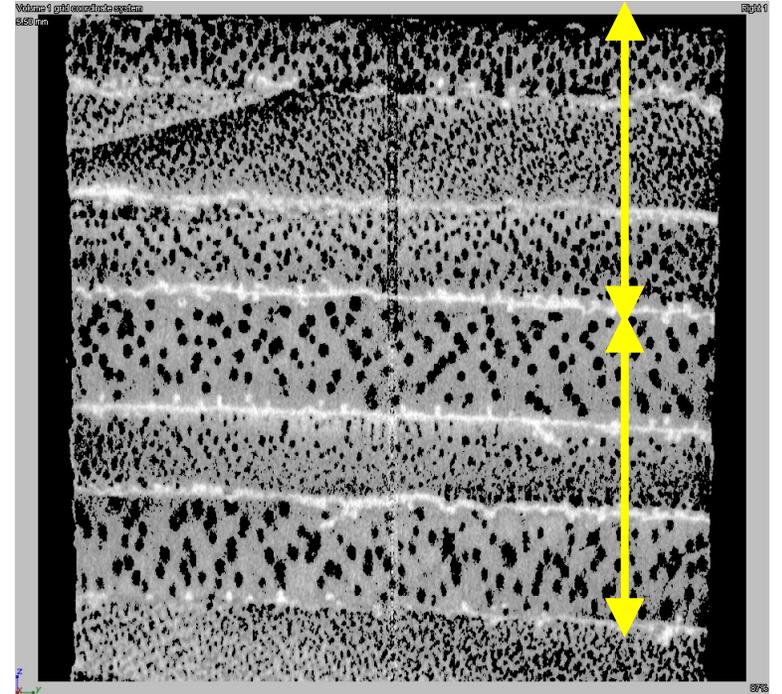


マイクロフォーカスX線CTシステムで測定した試験体

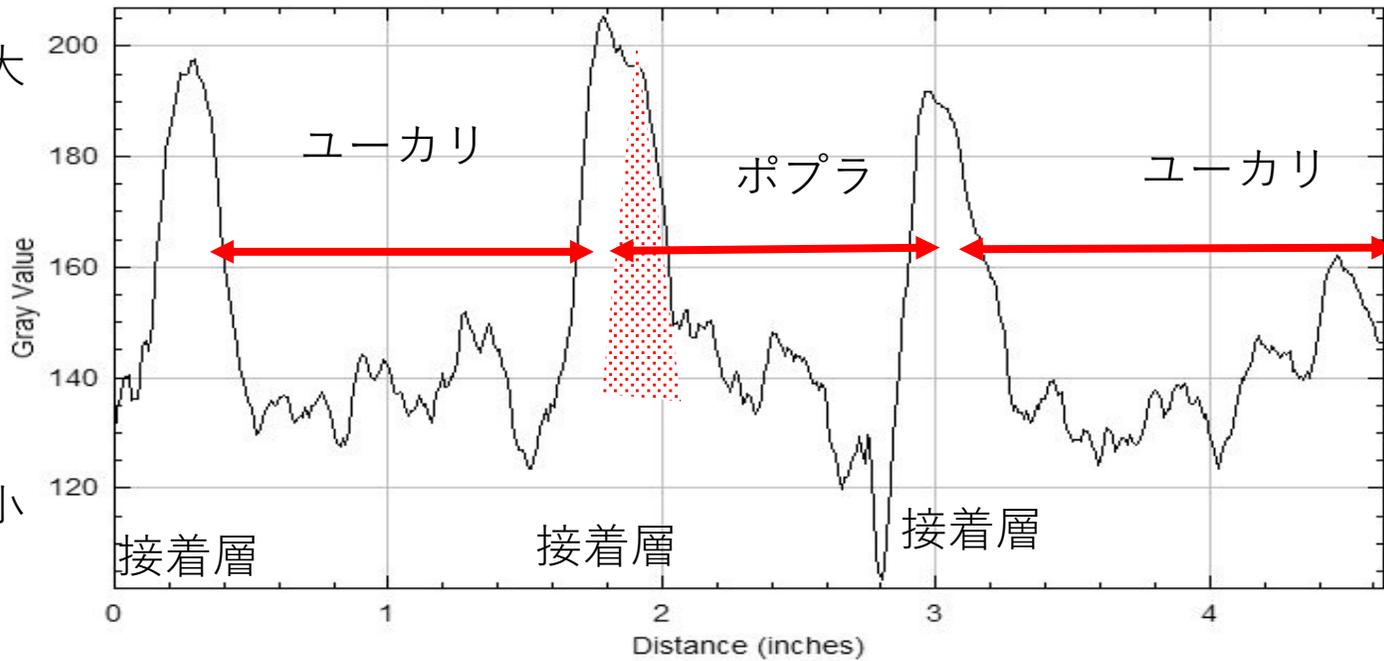
密度大



密度小



密度大

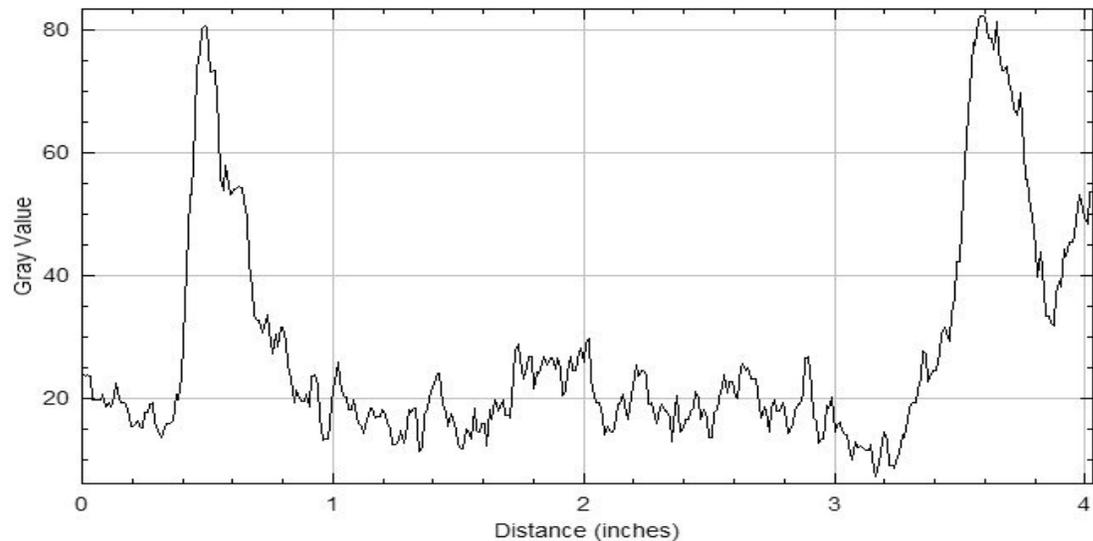


密度小

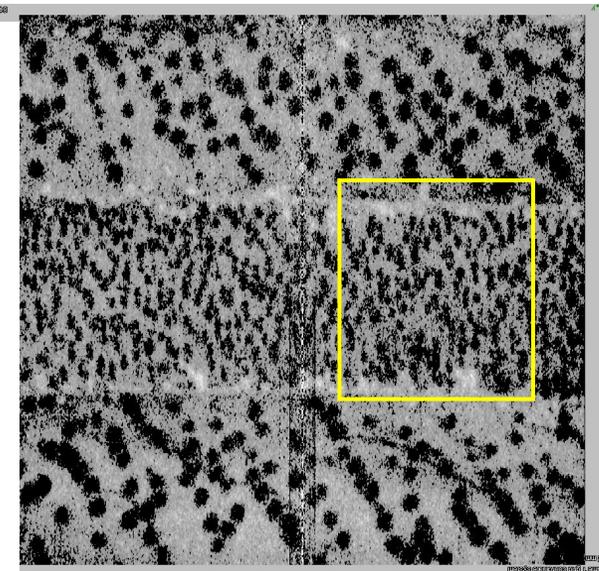
接着剤が裏割れから単板中に浸透している

裏割れ側とそうでない側のピークの形が異なる

密度大



P1.8E 1.0 P層

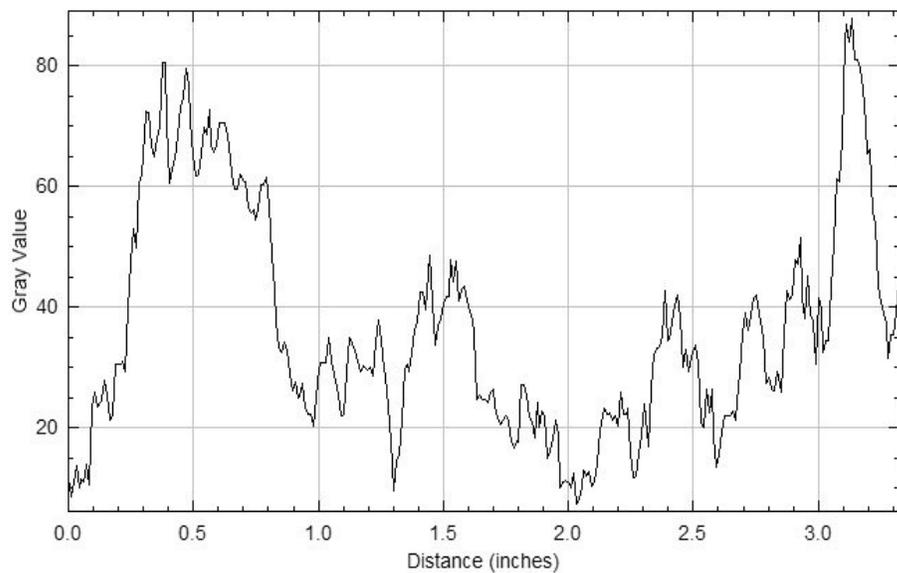


ユーカリ

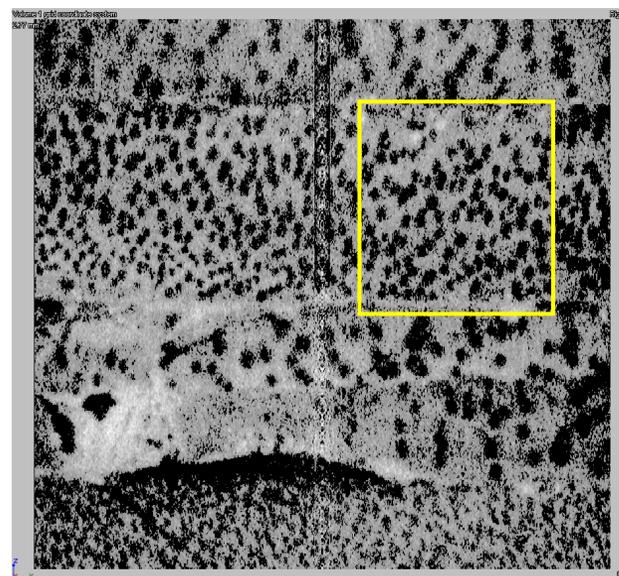
ポプラ

密度小

密度大



P1.8E 1.6 P層



ポプラ

ユーカリ

密度小

接着層波打ち、不明瞭（圧縮圧高）

まとめ

複合LVLにおける複合LVLにおけるMORの信頼水準75%の5%下限値(TL75%,1-5%)は73.1MPaとなり、構造用として高いグレードで使用できる

破壊はほとんどが積層方向中央部の木部せん断破壊であった

実大顕微鏡による観察では接着層が波打っているのが確認された

マイクロフォーカスX線CTシステムでの測定では接着層が波打っていることおよび接着剤が裏割れから単板中に浸透していることおよびのが確認された（圧縮圧高）

早生樹（センダン）とスギの複合CLT



ローリングシアによる破壊

CLTの試作

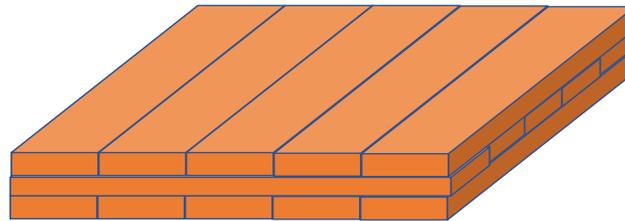
【試作するCLT】

- ① フェイス：スギ、コア：スギのオールスギ材CLT
- ② フェイス：スギ、コア：センダンのハイブリッドCLT

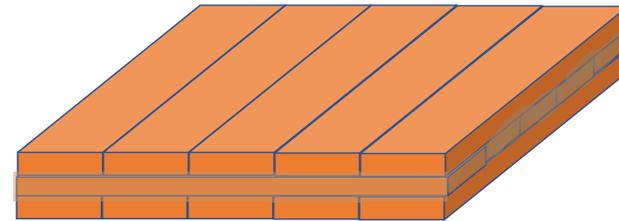
【接着剤】

- ・ レゾルシノール系（ディアノールD-300）
- ・ 常温硬化型（堆積時間：60分以内）
- ・ 圧縮時間：16時間以上

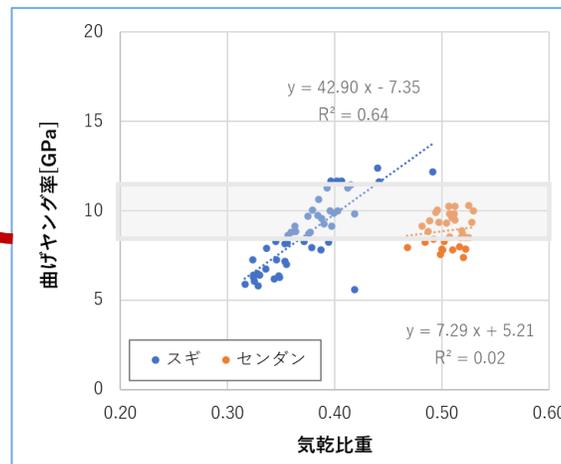
【装置】 コールドプレス機



①



②



Type	G_{xy} (MPa)
RT	150
LR	2400

参考 スギ G_{RT} 15 MPa (宇京ら, 2019)

センドンの木口面内せん断弾性率
(G_{RT}) はスギの10倍の値を示した

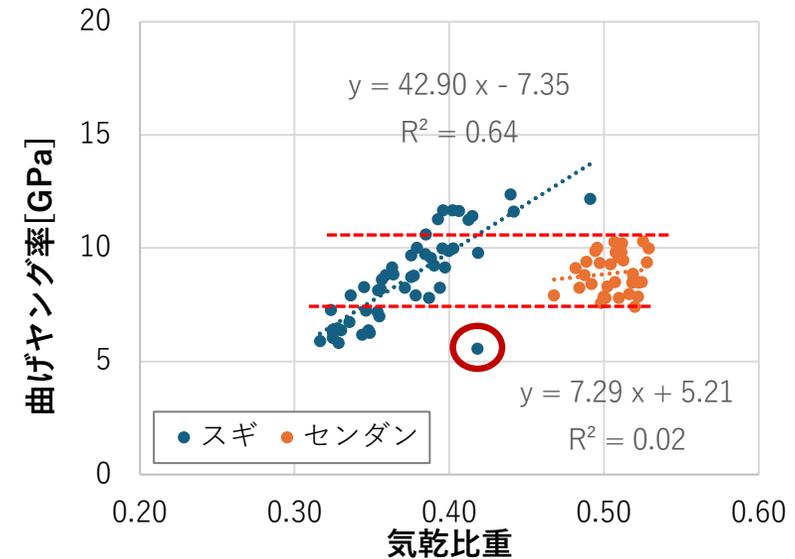
CLTラミナの曲げ試験一結果

【CLTラミナ】

樹種：スギ (*Cryptomeria japonica*) およびセンダン (*Melia azedarach*)

寸法：厚さ10mm×幅50mm×長さ450mm (コア用)

樹種	スギ	センダン
曲げヤング率	E_C	E_M
平均値 [GPa]	<u>8.68</u>	<u>8.90</u>
標準偏差 [GPa]	1.92	0.86
変動係数	0.22	0.10
サンプル数	50	33



- ・ 曲げヤング率の平均値はスギとセンダンで似た値を示した。
- ・ スギでは値のばらつきが大きく、5.58～12.38GPaの範囲を示した。
(センダン：7.41～10.31GPa)
上質のスギ？

せん断試験

【CLTサンプル】

寸法：30mm（厚さ）×50mm（幅）×210mm（長さ）
サンプル数：スギ、センダンでそれぞれ9つずつ

【測定条件】

- ・ 3点曲げ試験（中央集中荷重）
- ・ 曲げスパン 150mm ← 厚さの5倍
- ・ 荷重速度 1.2kN/min

【測定項目】

- ・ 最大荷重



【荷重速度の設定】

- JAS 1.0MPa/min (= 1.0N/mm²/min) 以下
- ラミナの断面積：30mm×50mm = 1500mm²より、

$$\text{荷重速度} \leq 1.0 \times 1500 = \mathbf{1.5kN/min}$$

せん断試験

せん断強さの算定

$$\text{せん断強さ (MPa又はN/mm}^2\text{)} = \frac{3P_b}{4bh}$$

P_b :最大荷重(N)、 b :試験片の幅(mm)、 h :試験片の厚さ(mm)

測定した 最大荷重 P_b を利用して
【せん断強さ】を算定。

【せん断強さ】



コアの樹種	スギ	センダン
平均値 [N/mm ²]	3.11	5.10
標準偏差 [N/mm ²]	0.11	0.33
変動係数	0.04	0.06
サンプル数	9	9
CLTの平均密度 [g/cm ³]	0.39	0.44

★せん断強さ において、
コアにセンダンを用いた
ハイブリッドCLTが
オールスギ材CLTの
【約1.6倍】の値を示した。

曲げ試験

【CLTサンプル】

寸法：30mm（厚さ）×50mm（幅）×540mm（長さ）
サンプル数：スギ、センダンでそれぞれ9つずつ

【測定条件】

- ・ 3点曲げ試験（中央集中荷重）
- ・ 曲げスパン 480mm ← 厚さの16倍
- ・ 荷重速度 0.9kN/min

【測定項目】

- ・ 最大荷重
- ・ 曲げヤング率（MOE）
- ・ 曲げ強度（MOR）

【荷重速度の設定】

- JAS 14.7MPa/min（=14.7N/mm²/min）以下
- 曲げ応力 $\sigma = M/Z = 3PL/2bh^2$ より、
荷重速度 $P \leq 0.92\text{kN}/\text{min}$



曲げ試験

コアの樹種	スギ	センダン
【曲げ強さ】		
平均値 [MPa]	<u>40.4</u>	<u>47.0</u>
標準偏差 [MPa]	2.43	6.46
変動係数	0.06	0.14
【曲げヤング率】		
平均値 [GPa]	<u>5.45</u>	<u>7.47</u>
標準偏差 [GPa]	0.46	1.20
変動係数	0.09	0.16
サンプル数	9	9
CLTの平均密度 [g/cm ³]	0.40	0.44

★曲げ強さ において、

コアにセンダンを用いた
ハイブリッドCLTが

オールスギ材CLTの
【約1.16倍】の値を示した。

★曲げヤング率 において、

コアにセンダンを用いた
ハイブリッドCLTが

オールスギ材CLTの
【約1.37倍】の値を示した。

まとめ

針葉樹に比べて、広葉樹のローリングシアが高い特性を生かすためにセンダンラミナを直交層としたスギセンダン複合CLTを試作し、せん断および曲げ試験を行った。

その結果、スギのみのもものと比べて、複合したもののせん断強さは約1.6倍、曲げ強さは1.16倍、曲げヤング係数は1.37倍となった。

薄くて強いCLTの可能性 フローリング基材

CLT直交層ラミナにセンダンを用いることで、CLTの高いせん断**応力**を実現できる（ローリングシアの改善）