

VI 防耐火

木材は可燃材料であることから、木造建築には、防火性能の確保が重要である。実験研究が進み、新たな木造校舎（3階建て：準耐火建築物）の実現が関心を集め、このことは、中大規模木造建築にとっても大きな転機になると言われている。ここでは、現時点における防耐火上の規制と対応等について紹介する。

（１）防耐火上の規制と多層化・大規模化への対応

建物の主要構造部（壁・柱・梁・床・屋根・階段）に必要な防耐火構造は、「建築地の防火地域」「建物用途」「建物高さ」の3つの規制による構造制限のうち、最も厳しい規制が適用され、その構造制限によって、建物に必要な防耐火構造が決定する。建物の防耐火構造には、「耐火建築物」「準耐火建築物」「防火木造」「裸木造」の4つの分類がある。

① 多層化への対応

4階建てには1時間耐火の性能、5階建て以上には2時間耐火の性能を要す。

現在、1時間耐火構造の要件を満たす木部材の開発によって、最上階から数えて4層までの木造化が可能となっている（4階建て可能）。ゆえに、上層階を木造、下層階を2時間耐火構造のRC造や鉄骨造との混構造とすれば、それ以上の階数の建築ができる。
※新たに2時間耐火構造の要件を満たす木部材も開発され、木造の高層建築（14階建て）が可能となった。（次頁参照）

② 大規模化への対応

～水平方向への延焼抑制～

（i）防火壁

耐火建築物や準耐火建築物以外の大規模木造建築では、防火壁（自立する耐火構造の壁）が必要。延べ面積1000㎡以内ごとにこの防火壁で区画する。

（ii）別棟

建物の棟を分けて「別棟」でつくる方法がある。「別棟」には「完全分離別棟」「渡り廊下別棟」「通達による別棟」の3種がある。

完全分離別棟

- ・それぞれの棟が独立
- ・建物間の距離を保って延焼を防止

渡り廊下別棟 及び通達による別棟

- ・建物が一体としてつながっている
- ・接続部分に一定の防耐火措置を施した仕様
- ・便宜的に棟が分かれていると見なす

いずれの「別棟」においても、それぞれ棟の規模・階数に応じて建物の防耐火要求がかかる。**1棟で見ると耐火建築物が要求される建物であっても、「渡り廊下別棟」や「通達による別棟」で設計することにより、それぞれの棟は準耐火建築物や防火木造などで設計できる。**

③ 内装制限への対応

不特定多数が利用する建物や大規模建築、建物内で火気を使用する部分については、出火時に内装（壁・天井）を介して容易に燃え広がらないよう、内装の仕上材が制限されている。しかしながら、次のとおり材料・施工の工夫により使用可能となるケースもあるので、上手に選択することが大切である。

(i) 材料の工夫

薬剤処理することで、**不燃材料**、**準不燃材料**、**難燃材料**(国土交通大臣認定;不燃・準不燃・難燃材料とは、それぞれ20分間, 10分間, 5分間, 燃えない&大きな変形・亀裂を起こしたりしない材料を指す)に耐火性能向上した木材料を使用する。

(ii) 施工の工夫

例えば、未処理の木材でも、難燃材料が求められる居室においては、高さ1.2m以下の腰壁は使用可である。天井を準不燃材料とした場合は、厚さや下地の規制をクリアすれば、壁での使用が可能となる。

(2) 「耐火建築物」及び「準耐火建築物」の設計について

耐火建築物 : 建築基準法上、最高水準の防火性能を有する建築物であり、たとえ消防活動が実施されなかったとしても、想定される火災で建物が燃えた後も崩壊せず、自立し続ける性能をもつ建物のことをいう。

準耐火建築物 : 想定される火災中（1時間準耐火構造は1時間、45分準耐火構造は45分間）、建物が崩壊せず自立する建物をいう。

① 1時間耐火構造

- ・ 建築基準法では耐火建築物を設計する手法として仕様規定となるルートA、性能設計となるルートB・ルートCの3つの規定がある。
- ・ RC造や鉄骨造の耐火建築物のほとんどが、ルートAで設計されている。
- ・ ルートAで設計する場合、1時間耐火構造の要件を満たす部材として、「被覆型」、「燃え止まり型」、「鉄骨内蔵型」の3種類が実用化されている。

「被覆（メンブレン）型」

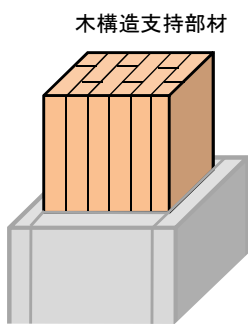
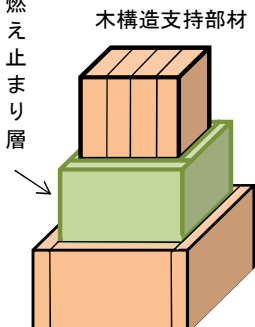
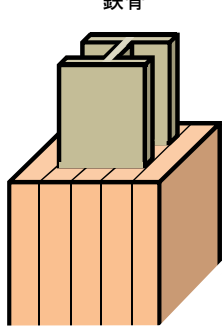
- ・ 総厚36~42mmの強化石膏ボードで木造の構造躯体を耐火被覆（メンブレン層の形成）して、火災時に木材に着火しないようにしたもの
- ・ 「被覆型」が、3つの型のうち最も使いやすい反面、木材が見えない側面もある
- ・ 国土交通大臣認定取得（ツーバイフォー建築協会、シェルターなど）
※新たにシェルターが、2時間耐火試験に合格（H25）

「燃え止まり型」

- ・ 木構造支持部材をモルタルや難燃薬剤処理木材で被覆したもの
- ・ 火災時に表面の木材に着火するが、火災終了後は部材の内部に設けられた燃え止まり層により自ら消火し、残った断面で建物の自立を保つもの
- ・ 木材の断面をどれだけ大きくしても、一度火がつくと容易には自消しないため、必ず燃焼を止める部材を入れる必要がある
- ・ 国土交通大臣認定を取得（竹中工務店・鹿島建設など）

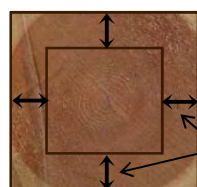
「鉄骨内蔵型」

- ・ 鉄骨を木材で耐火被覆したもので、火災時に木材は燃焼するが、熱容量の大きい鉄骨に裏面から吸熱されて、途中で木材の燃焼が停止する仕組み
- ・ 鉄骨の温度は、強度が低下するほどまでは上昇せず、建物の自立は鉄骨で保つ
- ・ 柱・梁では、カラマツ、ベイマツを用いた大臣認定を日本集成材協同組合が取得
- ・ スギでは所定の耐火性能を確保することが難しく、大臣認定は取得されていない

	被覆型	燃え止まり型	鉄骨内臓型
概要	 <p>木構造支持部材 耐火被覆材</p>	 <p>燃え止まり層 木構造支持部材 燃え代(木材)</p>	 <p>鉄骨 燃え代(木材)</p>
構造	木造	木造	鉄骨造+木造
特徴	木構造部を耐火被覆し燃焼・炭化しないようにする	加熱中は燃え代が燃焼し、加熱終了後燃え止まり層で燃焼を停止させる	加熱中は燃え代が燃焼し、加熱終了後燃え代木材が鉄骨の影響で燃焼停止する
長所	実績が多い 被覆材を選べば樹種が限定されることがない	木材を見せることができる	木材を見せることができる
短所	木材が見えない	製造方法が複雑	樹種が限定される

② 燃え代設計

- ・準耐火建築物では、柱、梁について、燃え代設計を適用することで、石膏ボードなどの耐火被覆を省略できる
- ・木製の柱、梁について、火災時に燃えるであろう厚みをあらかじめ構造上必要な断面に付加する手法
- ・内部方向への燃焼速度（0.6～1.0mm/分）が遅い木材の特性を工学的に評価したもの＝木材による木材の耐火被覆といえる
- ・燃え代寸法は要求される防耐火性能ごとに規定（下図）
- ・両側では、2倍の燃え代を計上する必要がある
（一例として、45分間準耐火構造の製材（JAS）では、 $45\text{mm} \times 2 = 90\text{mm}$ ）



想定した断面から所定の燃え代寸法を差し引く
（基本は4面）

燃え代寸法

	集成材、LVL（JAS）	製材（JAS）
大規模木造建築物 （法21条、令129条の2の3、 昭61建告1901号、1902号）	25mm	30mm
45分間準耐火構造 （平12建告1358号）	35mm	45mm
1時間準耐火構造 （平12建告1380号）	45mm	60mm

参考文献等）「建築知識 2013年6月号」（株）エクスナレッジ
「建築技術 2013年5月号」（株）建築技術

Ⅶ 中大規模木造建築における諸課題と対応

(1) 材料調達

◎ 原料（原木丸太）と製品（製材・集成材）との量的指標

中大規模木造建築物では、丸太：500～1,000本、構造用角材：約5,000本、床板材：約10,000枚、腰板等：約30,000枚、合計で1,500～2,000m³（数値は一例）と大量の木材が必要となるため、原木と用意する製品との歩留まりの関係を理解しておくことが重要である。

製材に要する原木量を見誤ると、追加の2次伐採（時期によっては2シーズンにわたる）が必要となり、材料の購入を余儀なくされることになる。

	「製材の場合」	「集成材の場合」
通常の歩留まり	原木 100 → 製材 50	原木 100 → ラミナ 45 → 集成 35
中大規模建築物の歩留まり	原木 100 → 製材 40～45	原木 100 → 集成 25～30
	※断面・長さをオーバーサイズ（安全側）とするため歩留まり低下を見込む	
最終製品1000m ³ に対しての必要丸太量	2,200～2,500m ³	3,300～4,000m ³

◎ 原料（原木丸太）の調達から製材までの流れ ～長尺丸太利用のケース～



刻み

- ・「中大規模物件」の場合、プレカットと大工の併用は考えておく必要がある
- ・特に、「中大規模物件」では、接合部が特殊になりがちであるから、熟練した大工を準備すること
- ・刻みもハイブリッド：熟練した人（技術）と進化し続ける機械



伐採

伐採の適期 = 寒伐り：11～2月

伐採不適期 = 3月～8月中旬（虫害等の発生）

虫害対策：伐採後短期間で搬出（1週間程度）

製材利用はもちろんであるが、集成材利用のケースでも同様

○ 建築規模にもよるが、中大規模物件となると

伐採搬出期間を5～6ヶ月みておくことがベター

発注

伐採適期・不適期を考慮すると、
4月発注では伐採に入れない

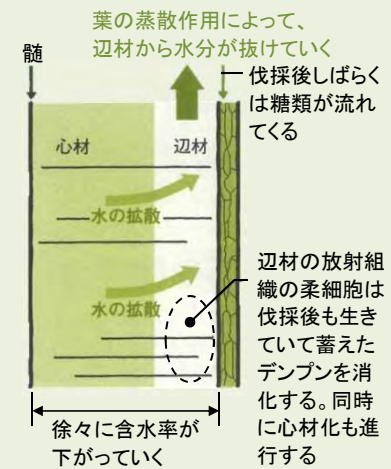
葉枯らし

樹木を伐倒後、枝葉を
付けたまま、林地内に
置き、樹幹内の水分を
減少させること



辺材の水分は抜けていくが、平衡含水率
クラスまで下がるわけではなく、
流通上の乾燥材になるわけではない

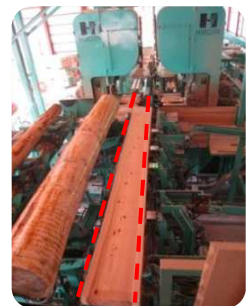
※ 葉枯らし時の樹幹内の様子



参考文献等）「建築知識 2007年7月号」（株）エクснаレッジ

製材

- ・ 寒伐り材は、夏まで置いても製材可能である
- ・ 春～夏伐り材は、できる限り早く製材すること（虫害、辺材部の変色等）



材料の保管・管理の方法

- ・ 1年を超える管理となるケースが多く、広いストックヤードの確保と風雨対策として、建屋の構築も必須条件であるため、この管理費用も計上しておくこと
- ・ 発注者自ら管理することが困難なケースが多いことから、分離発注とリンクしてくるが、コーディネーターの存在が重要となってくる



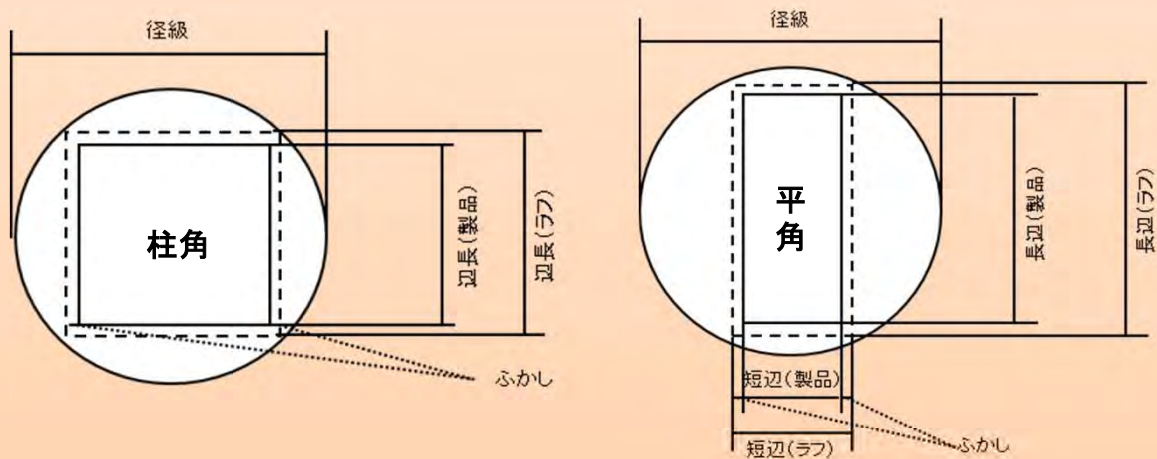
材料調達・加工（造材・製材）の工夫・知っておきたいこと

乾燥(AD・KD)材生産のために必要な丸太規格とラフ挽き等について

丸太径と製品の規格について

事例として、4寸角のKD柱材を生産するために必要な原木の末口径について紹介しておく。計算上では、ピン角の12cm角の断面をとるために最低限必要な径は17cmと算出される。実際に丸太からKD柱材を生産する際には、乾燥収縮・モルダ―仕上げで断面が減少するため、厚みをふかして(13～15mm)、製材(ラフ挽き)しておく必要がある。

これらを考慮すると、4寸角のKD柱材を生産するために必要な丸太の径は19～20cmとなる。



柱角		末口径
寸	(cm)	(cm)
3.5	10.5	17～18
4	12	19～20
5	15	24
6	18	28

平角		末口径	平角		末口径
寸	梁背 (cm)	(cm)	寸	梁背 (cm)	(cm)
5	15	24	9	27	34
6	18	26	10	30	36
7	21	28	11	33	40
8	24	30	12	36	42

※平角は幅12cm、のこ刃厚(4mm)を考慮して算定

板材生産のためのラフ挽きの注意点

一般的な幅(4寸程度)の板材では仕上り厚さ12～15mmの場合、ふかし厚3mm程度を見込む。幅が広く、厚みをもつ板材(例:幅8寸 仕上り厚さ24mm)の場合、ふかし厚6mm程度も見込む。

→ このように、幅・厚さによってふかし厚が変動する。(特に幅に注意)

材長について

- ①通常横架材では、規定の長さに対して5～10cmと余長(のび)は小さい。
- ②中大規模建築物で、伐採と設計(基本・実施)が並行するようなタイトなスケジュールの場合には30～40cm程度 オーバーサイズとしておくことが肝要！(造材時の余長が必要)

木取りの違いによる製品特性



強度性能 丸太 > たいこ挽材 > 角材

強度性能	丸太	たいこ挽材	角材
MOE	125	125	100
MOR	133	125	100

(理由) 丸太、たいこ挽材、製材の順に、強度性能に優れる成熟材※の占有率が下がり、未成熟材※の割合が高くなるため

※ 針葉樹の随から15~20年輪位までの部分が未成熟材、それ以降の部分は成熟材と呼ばれ、特性が少し異なる

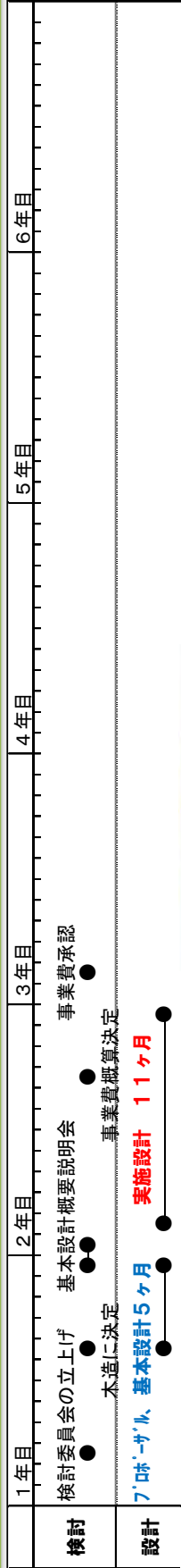
その他の特性

	丸太	たいこ挽材	角材
意匠性	← 丸太 > たいこ挽材 > 角材		
木組み	← 丸太 > たいこ挽材 > 角材		
設計	丸太 < たいこ挽材 < 角材 →		
加工・施工	丸太 < たいこ挽材 < 角材 →		

(2) 中大規模木造建築における長期計画の重要性

建築物の構造・架構に応じ、使用木材の規格・乾燥・性能などが大きく変動するため、無理な材料調達や施工は、木部材及び構造体の品質低下を招くことから、複数年に及ぶ長期計画が必要である

下記に、基本設計・実施設計等に約2年を要すると仮定した上で「材料調達時期の相違」による様々なケース(1~3)を表す



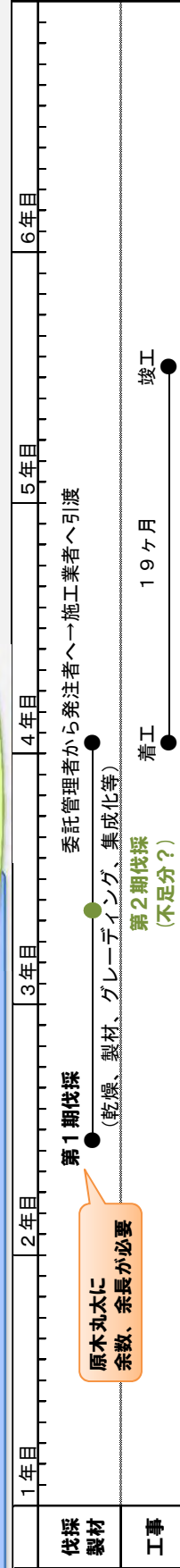
材料リスク：無

ケース1：実施設計の終了後に伐採に着手：5年半



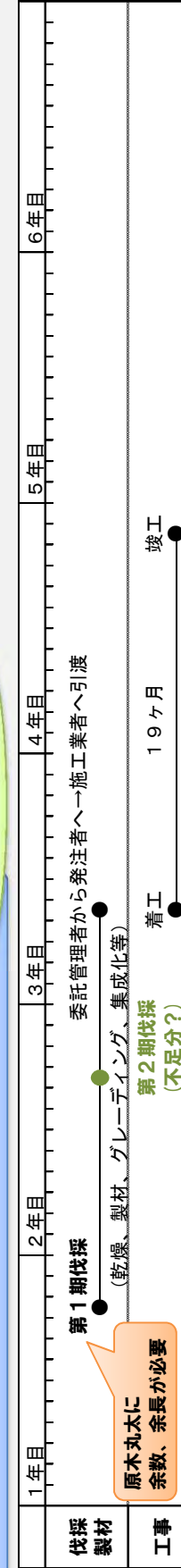
材料リスク：中

ケース2：実施設計中に伐採に着手：4年半



材料リスク：大

ケース3：基本設計中に伐採に着手：4年



期間短縮は、材料リスクの増大と直結！ 伐採適期を考慮すると、更なる工期の延長が必要！

(3) 分離発注

発注後の原材料調達では、乾燥・加工・製品化の期間が不十分で、構造体としての品質低下を招くケースがあるゆえに、設計・使用要件を満たすには分離発注が有効である

長所: 木部材の実行単価切りつめが防止され、部材の品質確保が期待される

1 材料の調達方法

ケース1 原木丸太(伐採)から製品化

設計規格に応じた製材をスムーズに行うためには、原木丸太の規格(太さ・長さ)に対応できる製材工場を事前に把握しておくことが必要～例えば、スギの原木丸太の径80cm、長さ10mを挽ける工場は全国的にも皆無に等しいため～

ケース2 製品購入: 一般材以外の特殊な断面・長さが必要な場合、伐採(造材)を踏まえた調達となるので長期の準備期間が必要

ケース3 ケース1+ケース2の併用

2 分離発注方式

①材料供給型

発注者側が町有林等の原木丸太を事前に準備(製作請負、又は自己調達加工保管)した木部材の供給を受注条件に設定し落札後受注者に引き渡す方式

②材料購入型

木部材について木材団体等(下記3参照)へ発注し、材料(製品ベース)の確保を先に済ませる方式

3 分離発注先

① 木材団体(県木連・県森連)へ
団体として受注し、各会員を調整し納材

② 企業グループへ

川上から川下に至る一連の企業が受注

③ 単独・複数企業へ

1社が全部、若しくは複数社が分散する形で受注

4 コーディネーターの重要性

川上(伐採・造材)、川中(木取り・製品生産)、川下(プレカット・大工加工・設計建築)に至る全般をコントロールできるコーディネーターの存在の有無がスムーズな執行のカギとなる

※接合部や収まり等を熟知したうえで、実施設計図を基に実質の「**施工図**」を正確に反映することが重要

(4) 耐腐朽性等への工夫

外壁に木材を使う場合

小山工業高等専門学校



風雨や紫外線の影響防止
外壁材等の腐朽防止

薬剤処理材

又は、木材保護塗料剤の塗布

外壁に木材を使わない場合



茂木中学校

ガルバリウム鋼板

又は、窯業系サイディング

特徴を活かした
併用も有効

木部の保護



深い軒

高い基礎

柱脚の腐朽防止
雨水のはね返し防止

心材部の有効利用

心材部には、トロポロン(ヒノキチオール)、フェノール類、テルペン類などの抗菌物質が存在しているため、腐朽しにくく、ヒノキは勿論、**スギ心材(赤身)も、耐腐朽性が高い**

しかしながら、辺材部には、糖類、タンパク質・アミノ酸などの微生物の養分となる物質が存在し、いずれの樹種でも腐朽しやすい

主な樹種の心材の耐腐朽性と耐蟻性

項目	耐腐朽性				
	極小	小	中	大	
耐蟻性	小	エゾマツ アスペン ラジアカバイン	アカマツ クロマツ モミ ベイツガ ブナ	カマツ ホクヨウマツ ベイツガ ミズナラ ホウソクノキ	ベイツギ
	中	イタヤエダ トチノキ	ツガ アカガシ	スギ カラ レッドマラチ	ヒノキ ベイツギ クリ ケヤキ
大	トドマ	クワン ターミナリア	タブノキ	カヤ コウヤマキ ヒバ チーク	

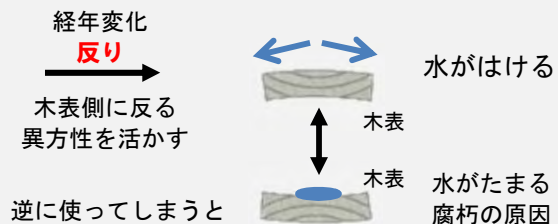
参考文献等)

「木材工業ハンドブック」丸善(株)

「林業技術ハンドブック」(社)全国林業改良普及協会

「木造住宅私家版仕様書」(株)エクスナレッジ

～板材の内装・外装材での使い分け～



工夫点のいろいろ

意匠性

全ての空間において、こだわった材料・特殊な構造を用いるのではなく、単一的な部材や架構により低コスト化を図る箇所と、玄関廻りや多目的スペースなど、木材を活かした大胆かつ魅了する空間を差別化しながら配置し、特徴ある建物とすることが大切である

⇒ 意匠にもメリハリ（適材適所）



内装材の塗装

メンテナンスや塗膜の長期的な劣化（紫外線等による割れ等）を考慮し、塗膜タイプと浸透タイプの使い分けが重要

衝撃・冷たさの抑制

木材は熱伝導率が低いことから、接触面に冷たさを感じにくい素材であり、結露抑制などに有効であることから、床への利用に適する

下地コンクリートにべた張りの場合は、厚みを持たせる、又は下に捨て張りをし、又は空気層を持たせるなどの工夫が必要

接合部の工夫



長期経過に伴うボルトの締め付けや調整を可能とする
接合部の現し化

床

圧縮キズ（押されたキズ）の直し方

…木材の場合、キズの箇所に水を張っておけば、丸1日で十分に元に戻る
ただし、ひっかき・えぐったキズは不可

表面堅さが欲しい場合は、同じスギ・ヒノキでも、圧縮木材を用いる方法もある

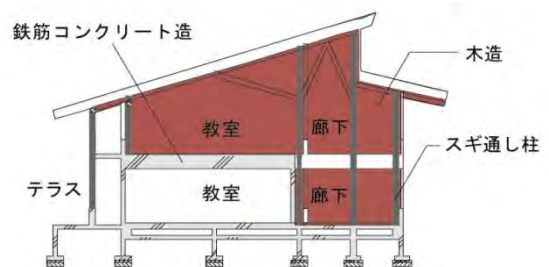


防音・遮音対策

木材による壁・床仕様では、面密度を上げることが重要であることから、スギ・ヒノキの場合、厚みを増す方法をとる

また、2階の物音を階下に伝わりにくくするためには、1階をRC造にして、1階の天井部分をコンクリートにする工夫も有効

構造の工夫が、防音にもつながる



(5) 乾燥方法

木材乾燥をする目的として主に①**寸法安定性の向上** ②**強度性能の向上**が挙げられる。乾燥方法は以下の2つに大別され、材料の規格や接合部によって選択が必要である。

- ・**人工乾燥**：人工乾燥機によって、人為的に温湿度等の管理を行う
- ・**天然乾燥**：一定期間棧積みを行って自然に乾燥させる

製材の日本農林規格(JAS)においては、人工乾燥処理された構造材の仕上材の含水率基準は20%以下である。**木材は水分が減少していく際(放湿過程)と水分を吸収していく際(吸湿過程)では平衡する含水率が吸湿過程のほうが低い(ヒステリシス)ため、含水率を目標の平衡含水率以下まで落とすことが大切である。**特に、内装材については冬の暖房の効いた室内の条件(例：温度20℃、湿度40%時)を想定すると、含水率は1桁近くまで下げることが望ましい。

人工乾燥機には主に蒸気式、高周波式、減圧式等があるが、栃木県内の製材業者は、設備費用やランニングコストの面から、ほとんどが蒸気式の人工乾燥機を所有しているため、ここでは使用部材に適した蒸気式乾燥法について紹介する。

	材料	乾燥温度	乾燥期間	特徴
A 高中温蒸気式	平角・柱角	高温時 120℃ 中温時 80～90℃	柱 7～10日 平角 2～3週間	表面割れを抑制 乾燥期間が短い
B 中温蒸気式	柱角(背割り)	60～90℃	2週間程度	材色変化抑制
	板材	70～80℃	5日程度	材色変化抑制
C 複合乾燥	① 平角・柱角	60～75℃	人乾 2週間後 天乾 6ヶ月	表面割れを抑制 材色変化抑制
	② 平角・柱角	120℃	人乾 2日後 天乾 6ヶ月	表面割れを抑制
	③ 板材	70～80℃	天乾 1ヶ月後 人乾 1日程度	材色変化抑制
D 天然乾燥	板材 柱角(背割り)	外気温	板材 2ヶ月 柱角 1年半以上	材色変化抑制 乾燥期間が長い

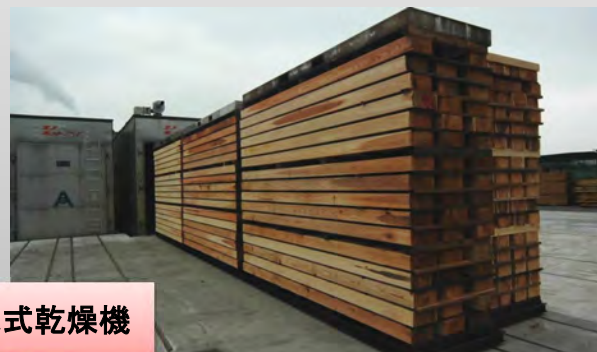
※乾燥温度・期間は目安。実務では、断面・長さ等を考慮した乾燥スケジュール(乾球・湿球・時間・風速)を設定することが重要！

A 高中温蒸気式乾燥

芯持ち無背割り材について、表面割れを発生させずに乾燥することに適している。乾燥初期に高温低湿処理(ドライグセット)を行い、表面割れを抑制した上で中温による本乾燥に移行する方法。正角の場合3.5、4、5寸角に適用可能である。大断面だと割れ抑制効果が薄れる。



高温蒸気式乾燥機



例:スギ平角高中温乾燥スケジュール(無背割) 荒挽寸法 140×260mm

区分	ステップ	時間	乾球温度(°C)	湿球温度(°C)	乾湿球温度差	湿度(%)
蒸煮	1	18	ヒーター不使用	98	0	100
ドラインセット	2	2	120	95	25	41
	3	4	120	93	27	38
	4	14	120	90	30	34
中温乾燥	5	188	90	65	25	33
	6	188	80	55	25	30
調湿	7	6	80	76	4	84
養生		12	停止			
	計	432	(18日)			

※断面の規格により乾燥時間の調整が必要 (例:断面大 → 時間増)

B 中温蒸気式乾燥

背割りを入れた芯持ち正角(5、6、7寸)や芯去り板材の乾燥に適している。



例:スギ柱角中温乾燥スケジュール(背割り) 荒挽寸法 160×160mm

区分	ステップ	時間	乾球温度(°C)	湿球温度(°C)	乾湿球温度差	湿度(%)
蒸煮	1	8	ヒーター不使用	65	0	100
中温乾燥	2	36	65	63	2	91
	3	48	67	63	4	83
	4	72	70	63	7	72
	5	72	73	64	9	66
	6	72	76	65	11	60
	7	82	79	66	13	56
調湿	8	6	79	74	5	81
養生		12	停止			
	計	408	(17日)			



C 複合乾燥

①人工(中温)→天然乾燥(平角・柱角)

表層の乾燥を抑えるため、あえて高湿度下で人工乾燥を行い、含水率傾斜を均一化しながら、天然乾燥よりも遅いスピードで徐々に乾燥した後、天然乾燥を行う乾燥法。乾燥終了まで半年程度と長い期間が必要となる。

中温乾燥

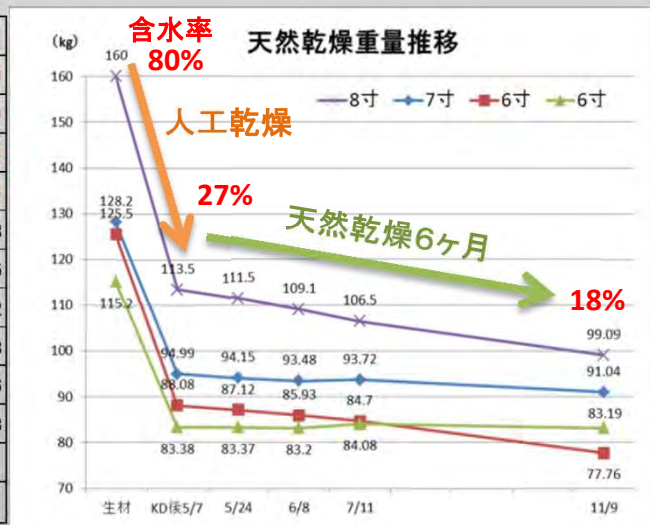


天然乾燥 (6ヶ月)



例:スギ平角人工&天然複合乾燥スケジュール 荒挽寸法 140×170~350mm

区分	ステップ	時間	乾球温度(°C)	湿球温度(°C)	乾湿球温度差	湿度(%)
蒸煮	1	12	ヒーター不使用	70	0	100
	2	36	60	58	2	90
中温乾燥	3	36	62	59	3	88
	4	36	64	60	4	86
	5	36	66	61	5	78
	6	36	68	62	6	75
	7	36	70	63	7	72
	8	36	72	64	8	68
	9	36	74	65	9	66
	10	36	75	65	10	63
養生		24	停止			
計		360	(15日)			



②人工(高温)→天然乾燥(平角・柱角)

表面割れの防止を目的として、最初に蒸煮&高温低湿処理(ドライグセット)のみを行い、その後天然乾燥による本乾燥に移行する内部割れ抑制に配慮した乾燥法。①と同様、乾燥終了まで半年程度の期間が必要となる。

③天然→人工乾燥(板材)

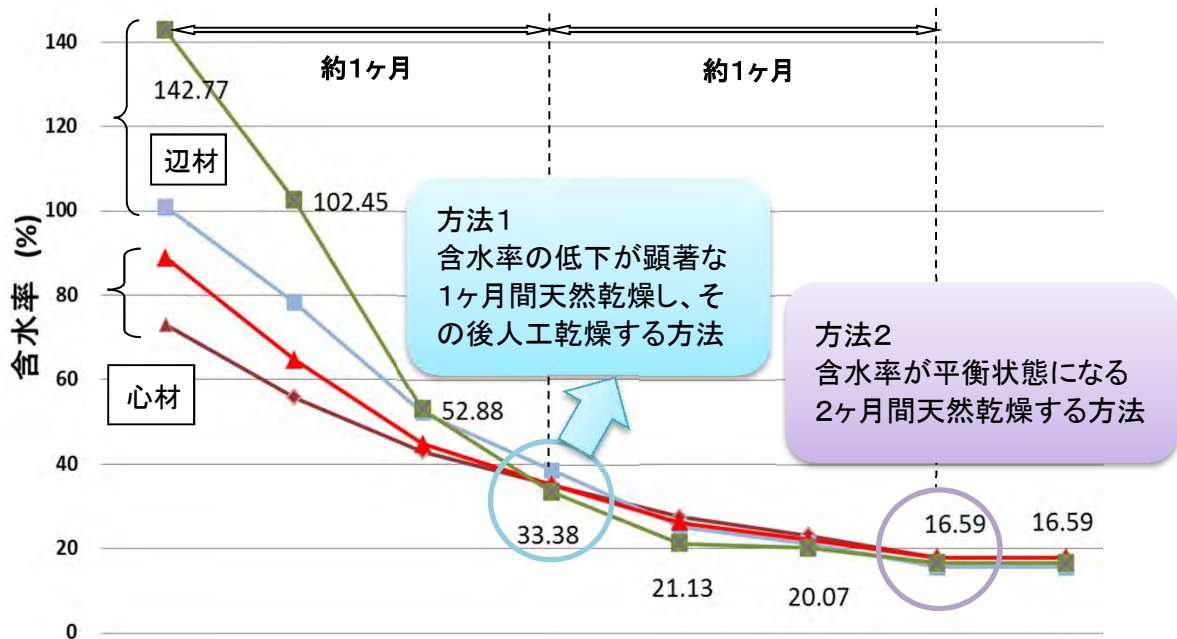
板材は表面割れのリスクが無い^{ため}、含水率の減少が著しい乾燥初期の1ヶ月間(板材の天然乾燥の図参照)天然乾燥を行い含水率を30%程度まで落としてから、最小日数のみ人工乾燥し目標の含水率に仕上げる効率性の高い乾燥法。

D 天然乾燥

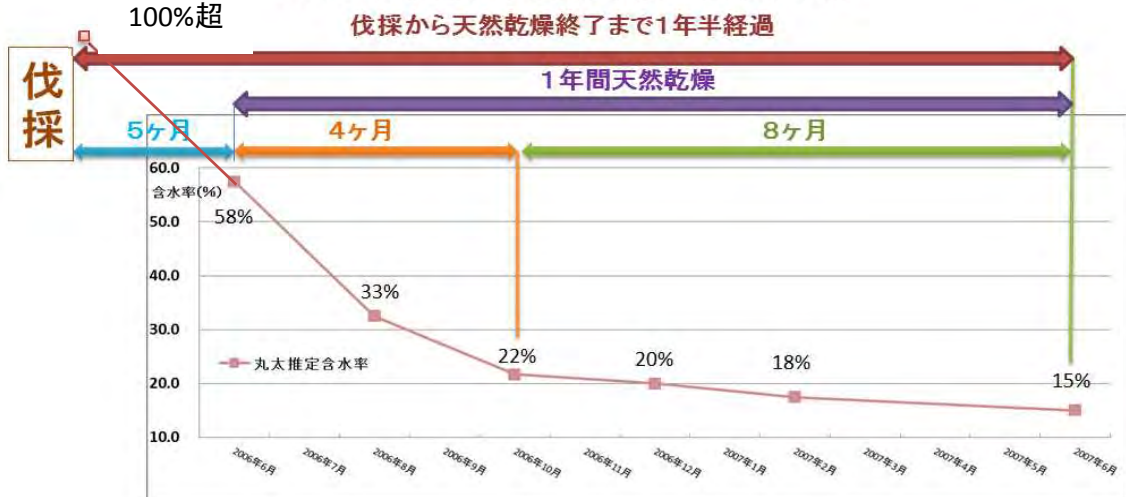
従来、化粧性の高い**役物(構造材、造作材)の乾燥**に用いられてきた。
 板材については、冬期(1~3月)においても2ヶ月程度の天然乾燥により、ほぼ平衡含水率(15%)まで含水率が低下する。

芯持ち柱角の断面では長い乾燥期間(1年半以上)が必要。
 また、通常板目面が側面となる芯持ち無背割り材では、表面割れを防ぐのはほぼ不可能。

板材の天然乾燥:含水率の推移 (荒挽寸法 30 or 50 × 117 × 3000mm)



伐採時 100%超 **パイロット材含水率の推移 (茂木中学校)**



(6) グレーディング

木造の公共建築物の設計指針である「木造計画・設計基準」における材料基準は、原則JAS材であるが、全国的な傾向と同様に県内においてもJAS工場が少なく、格付け方法や設備・ランニング費等といったコスト面の問題からJAS工場が急激に増えることは現実的に難しい。

そこで、当面の対応として「とちぎ木材利用方針」では、構造耐力上主要な部分に用いる木材は「**原則JAS材又はJAS相当材**」としている。ここではJAS相当材を確保するための方法を記載する。

原則 JAS材				
目視等級区分法	機械等級区分法			
材面の品質に応じて等級分けを行い、樹種、等級別に許容応力度を定める方法。	機械(グレーディングマシン)によって非破壊的に曲げヤング係数(※)を測定し等級別に仕分ける方法。計測方法により2種類の方法に分類される。			
↓ ↓				
JAS相当材				
栃木県木材業協同組合連合会「格付士」により評価された木材	グレーディングマシンにより評価			
	1. 静的な測定		2. 動的な測定	
	製材・集成材工場	公的機関	製材工場	公的機関
	A	B	C	D

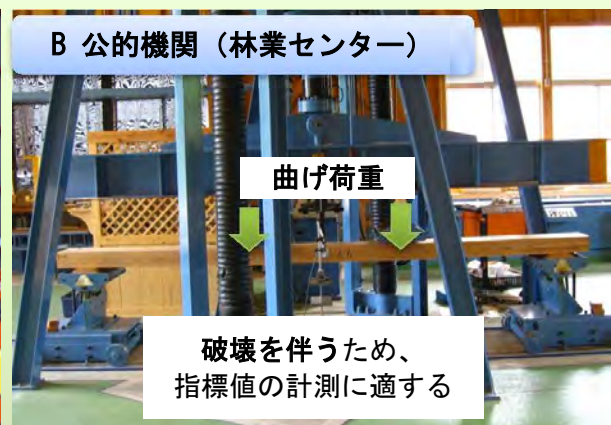
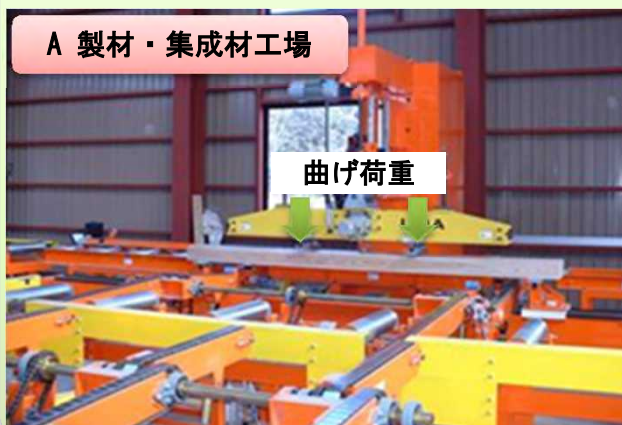
※曲げヤング係数とは？

木材に対して曲げ荷重を負荷した際の「たわみにくさ」を表す値で、たわみ制限を伴った構造計算を行う場合に重要な値である。

また、ヤング係数は曲げ強度との間に高い相関関係があり、機械等級区分法は目視等級区分法に比べ高い精度で木材を等級別に仕分けることができる。等級はE表示により区分され、Eの値は50から20刻みで150まで区分。

1. 静的な測定

木材に対して一定の静的な曲げ荷重を負荷し、荷重と対応するたわみから曲げヤング係数を算出する方法。



2. 動的な測定

木材の木口をハンマーによって打撃することによって縦振動を与え、発生する音の固有振動周波数と密度によって動的にヤング係数を測定する方法。（順番 ① → ⑤）

C 製材工場

①モルダー

②含水率計測（マイクロ波）

③ハンマー打撃 & 重量計測

マイク

④ヤング係数、含水率の測定値

ヤング係数	8.14 GPa
水分	7.8%
厚み	120.0
水分	7.8
重量	59.3

⑤インジェクト

ヤング係数（E表示）
含水率（SD表示）

D 公的機関（林業センター）

ハンマー打撃

周波数計測

含水率計測

3. JAS工場一覧

平成24年3月1日現在

区分	製造業者				認定の区分					
	名称	所在地	TEL FAX	構造用製材	造作用製材	人工乾燥用 構造用製材	枠組壁工法 構造用	機械等殺 区分製材	集成材	
製材	1	株式会社トーセン	栃木県矢板市山田67	0287-43-8379 0287-43-2626	○		○ ヒノキ			
	2	二宮木材株式会社	栃木県那須塩原市四区町741-5	0287-36-0056 0287-36-1129	○			○		
	3	株式会社渡辺製材所	栃木県塩谷郡塩谷町芦場新田242	0287-45-0117 0287-45-1521	○					
	4	株式会社ヤマサンワタナベ	栃木県矢板市東町1178	0287-43-0755 0287-43-0762	○					
	5	宇都宮木材株式会社	栃木県宇都宮市平出工業団地7-4	028-662-7879 028-662-7429	○					
	6	藤田木材株式会社	栃木県鹿沼市御成橋1-2388	0289-62-8105 0289-62-8109				○ SPF		
	7	那須土木株式会社	栃木県大田原市中央1-13-10	0287-23-5678 0287-23-2543	○					
	8	プライムトラス株式会社 関東工場	栃木県栃木市藤岡町都賀2308	0282-62-3591 0282-62-3592				○		
集成材	1	栃木県集成材協業組合	栃木県鹿沼市磯町東川原123	0289-75-3961 0289-75-2016					○	
	2	県北木材協同組合	栃木県那須塩原市二区町354-3	0287-39-1414 0287-39-1415					○	
		認定社数	10社		2社	0社	4社	3社	1社	2社

Ⅷ 木材試験研究成果：学術論文

(1) 材面割れ・背割材の強度性能

i

「高温乾燥によって生じた材面割れがスギ正角実大材の強度性能
(曲げ・座屈・引張) に及ぼす影響」

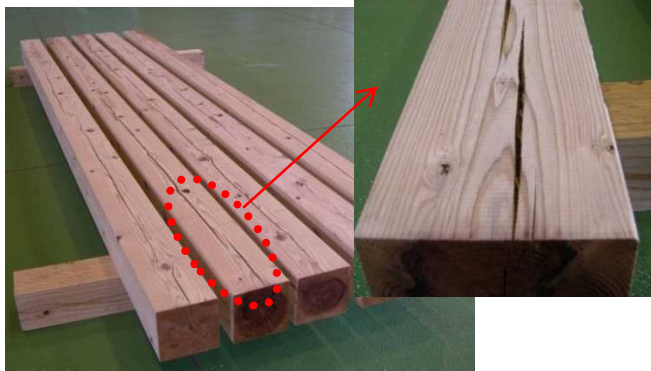
Effects of Surface Checks Caused by High-temperature Drying on Mechanical Properties
of Sugi Squared Lumber

大野 英克, 亀山 雄搾ら：木材工業, 64(5), 216-220 (2009)

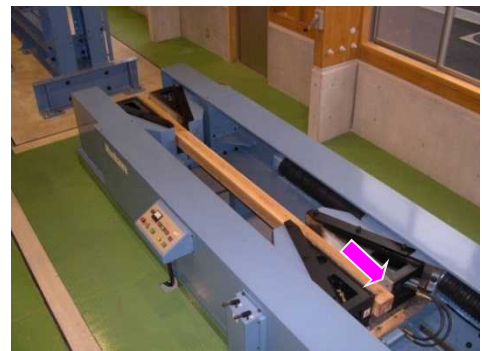
- 試験体: 人工乾燥を施したスギ心持ち正角材(柱)533本
〔割無材264本、割有材269本(4面の割れ長さ計の平均値304±149cm)〕
- 規格: 10.5cm × 10.5cm × 300cm及び12.0cm × 12.0cm × 300cm
- 試験: 3等分点4点荷重方式による曲げ破壊試験等
- 結果: 曲げヤング係数、曲げ強度、座屈強度、引張ヤング係数、引張強度のいずれの性能
においても、割無材と割有材の間に有意な差は認められなかった。
また、割有材でも、割れ部位を起点とするような変形や破壊は起きなかった。
結果として、材面割れにより強度低下が引き起こされることはほとんどないことが
示唆された。

試験材

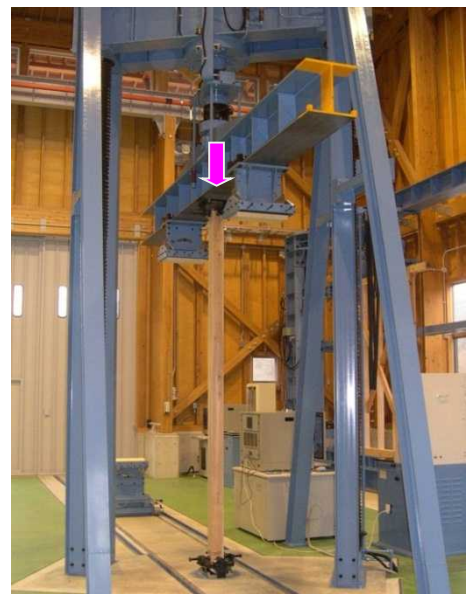
人工乾燥により
材面割れが発生した材



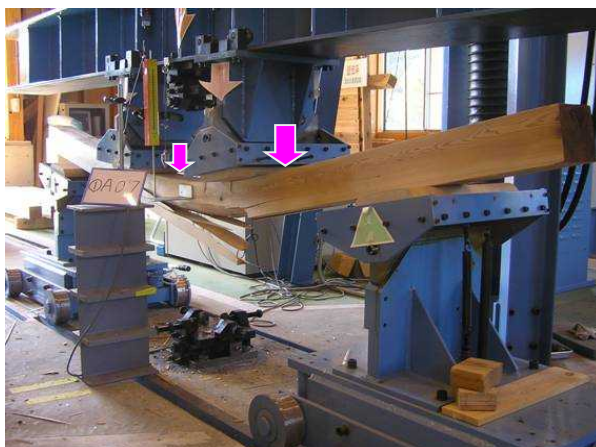
引張試験



座屈試験



曲げ試験



ii

「高温乾燥により生じた材面割れ深さがスギ平角実大材の強度性能（曲げ・せん断）に及ぼす影響」

Effects of Surface Check Depth caused by High-temperature Drying on the Strength Property of a Sugi Beam

大野 英克, 亀山 雄揮, 村田 裕樹ら: 木材工業, 66 (3), 110-114 (2011)

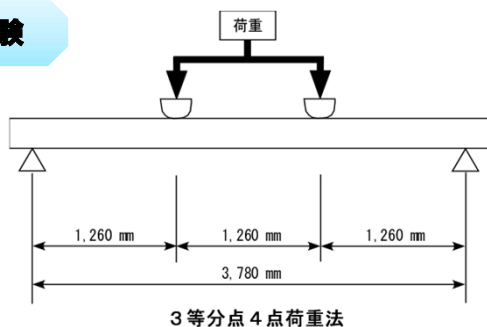
試験① 材面割れと強度性能

- 試験体: 人工乾燥を施したスギ心持ち平角材245本〔割無材180本、割有材65本〕
 ※割有材: 4面の割れ長さ計の平均値 223 ± 187 cm、平均割れ深さ 13 ± 9 mm
- 規格: 幅12.0cm × 梁背15.0~36.0cm(8断面:1寸ピッチ) × 材長300~600cm
- 試験: 3等分点4点荷重方式による破壊試験
- 結果: **材面割れが曲げ性能(曲げヤング係数、曲げ強度、曲げ仕事量、ヤンカ靱性係数)に及ぼす影響は認められなかった。**
 また、割有材でも、割れ部位を起点とするような変形や破壊は起きなかった。

試験② 割れ深さと強度性能

- 試験体: 人工乾燥を施したスギ心持ち平角材57本(スリット加工41本、CT材:スリット無16本)
- 規格: 幅12.0cm × 梁背24.0cm × 材長400cm
 4種のスリット加工〔材幅に対して15%(18mm), 30%(36mm), 50%(60mm), 70%(84mm)の深さ〕を梁背方向の中立軸全長にわたり施した
- 試験: 曲げ試験は3等分点4点荷重方式、せん断試験は逆対象4点荷重方式による破壊試験
- 結果: **曲げヤング係数は、CT材~スリット深さ70%間で非有意であったことから、割れ深さを問わず、大きな影響を受けないことが明らかとなった。**しかしながら、曲げ強度は、スリット深さが材幅の50%を超えた場合、低下傾向を示すことが示唆された。
 また、**せん断性能については、スリット深さ15%(18mm)ではCT材と非有意となったことから、材面割れ程度では大きな影響を受けないことが明らかとなった。**ただし、スリット深さが30%を超えた場合、低下傾向を示すことが示唆された。

曲げ試験



せん断試験

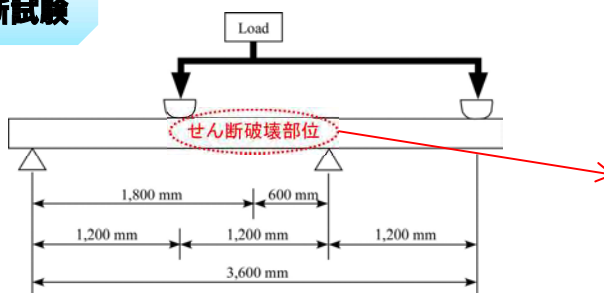


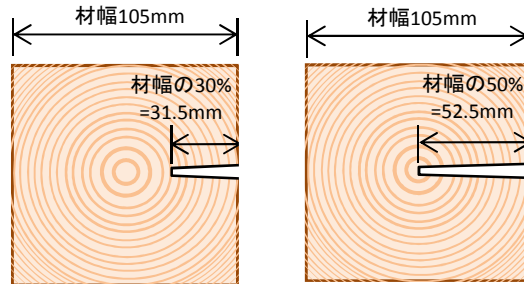
Fig. 5.2 The span condition of short beam shear test by asymmetric four-point loading method

iii

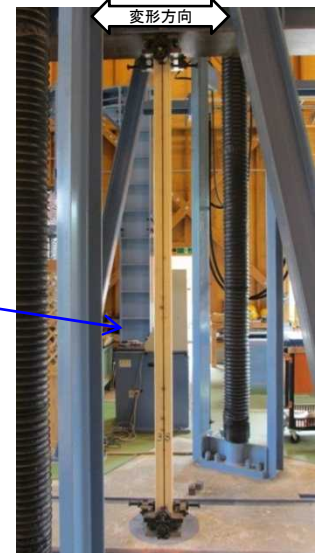
「背割り加工がヒノキ正角実大材の座屈、曲げ及びせん断性能に及ぼす影響」
Effects of Sawn Splits on Buckling, Bending, and Shearing Properties in Full-Size Squared
Lumber of Hinoki (*Chamaecyparis obtusa*)

亀山 雄揮, 安藤 康裕, 大野 英克ら: 木材学会誌, 60 (1), 41-47 (2014)

- 試験体: 背割り加工・人工乾燥を施したヒノキ心持ち正角材(柱)
385本〔背割り材290本、無背割り材95本〕
○規格: 10.5cm角×300cm、背割り深さ2種類
※材幅 10.5cmに対して30% (31.5mm), 50% (52.5mm)



背割りの向きが
試験体の変形
方向に対して
直角のケース



座屈試験

- 試験: 座屈試験はナイフエッジ支点間距離3010mm(材長2900mm)
両端ピン支持による破壊試験
→ 背割りの向きが、変形方向に対して「平行」及び「直角」
の2種類で実施
曲げ試験は3等分点4点荷重方式、せん断試験は逆対象4点荷重方式による破壊試験
→ 試験値が安全側(低い値)となるように背割りの向きが、荷重方向に対して
「下向き」及び「横向き」の2種類で実施
- 結果: (1) 座屈強度は、背割りの有無、深さ(30%及び50%)及び荷重方向(平行及び直角)の
違いにより、大きな影響を受けないことが示唆された。また、荷重の負荷中及び破壊
状況を観察した結果、座屈試験では、背割り材と無背割り材の間に差異は認められ
なかった。
- (2) 曲げ性能において、曲げヤング係数(MOE)及び比例限度比は、ほとんど背割り
加工の影響を受けないことが示唆された。曲げ強度(MOR)は、荷重方向と直交
する方向の背割(横向き)ではほとんど影響を受けないが、荷重方向と平行な方向
の背割(下向き)では低下することが示唆された。一方、破壊形態を観察した結果、
全試験体において背割り加工部位を起点に変形や破壊は認められなかった。
- (3) せん断強度は、背割り方向下向きの場合、深さ30%では無背割り材とほぼ同様で
あったが、深さ50%では無背割り材の約90%の値であった。一方、背割り方向横向き
の場合、背割りの深さ(30%及び50%)を問わず、いずれも無背割り材の約60%の値で
あった。このことから、背割り加工は、荷重方向に対して直交する横向きにした場合、
荷重方向に対して平行な下向きに比べ、せん断強度に大きな影響を及ぼすことが
明らかとなった。
- (4) 曲げ強度及びせん断強度は、背割り深さ50%までであれば、どの方向においても
基準強度を超えていた。

まとめ

- ① 乾燥に伴い生じる材面割れは、実大材(正角・平角)の曲げ性能など強度性能に
ほとんど影響を及ぼさないことが示唆されています。
- ② 背割り加工は、柱材(縦使い)において重要な座屈強度及び曲げヤング係数
(MOE)にほとんど影響を及ぼさないことが明らかとなっています。

(2) 異樹種異等級構成集成材・積層材の開発と強度特性

i

「ラミナ特性や断面構成が同等の曲げヤング係数を有する異樹種異等級構成集成材の曲げ性能に及ぼす影響」

Effect of Lamina Property and Lamination Pattern on Bending Properties of Laminated Lumber Composed of Several Softwoods with the Same Modulus of Elasticity

大野 英克, 亀山 雄搾ら: 木材学会誌, 56(3), 172-181 (2010)

本研究では、**スギ、ヒノキ及びカラマツ製材の曲げ性能を調査**した上で、開発する**異樹種異等級構成集成材の曲げ性能**を調査した。併せて、**ラミナの特性や断面構成が集成材の曲げ性能に及ぼす影響**を調査した。

得られた結果は以下の通りである。

- (1) 製材のMOE, MOR, 曲げ仕事量及びヤンカ靱性係数は、3樹種間で**差異**が認められた。
MOE, MOR, 曲げ仕事量は、ヒノキが最も大きく、ヤンカ靱性係数は、スギが最も大きい。
また、**樹種にかかわらず**、**曲げ仕事量及びヤンカ靱性係数は、塑性域たわみ量に強く影響**されることが明らかになった。
- (2) 異樹種異等級構成集成材でも、**等価断面法によって、任意にMOEを設定**できることが確認された。しかしながら、**MOR, 曲げ仕事量及びヤンカ靱性係数は、断面構成間で有意差**が認められた。
- (3) 集成材の**曲げ仕事量及びヤンカ靱性係数**において、断面構成にかかわらず、共通して**塑性域たわみ量に強く影響**を受けることが明らかになった。
- (4) 集成材の曲げ性能は、最外層のヒノキもしくはカラマツ特有の曲げ性能に強く影響を受けるだけでなく、加えて内層に配置したスギの曲げ性能の影響を受けることが示唆され、**組合せた樹種の相違によって、MOR, 曲げ仕事量及びヤンカ靱性係数に差異**が生じることが明らかとなった。
- (5) **曲げ仕事量の高い集成材**を作製するには、最外層ラミナのMOEのみを指標にするだけでなく、**高いMORかつ塑性域たわみ量に優れた高い曲げ仕事量を有するヒノキの様な樹種を最外層及び内層にも配置**することが効果的であることが示唆された。
- (6) **ヤンカ靱性係数の高い集成材**を作製するには、**内層にスギの様な高いヤンカ靱性係数を有する樹種を配置した上で、最外層に、内層と同等以上の塑性域の変形性能(たわみ量)に優れたヒノキの様な樹種を配置**することが効果的であることが示唆された。

ii

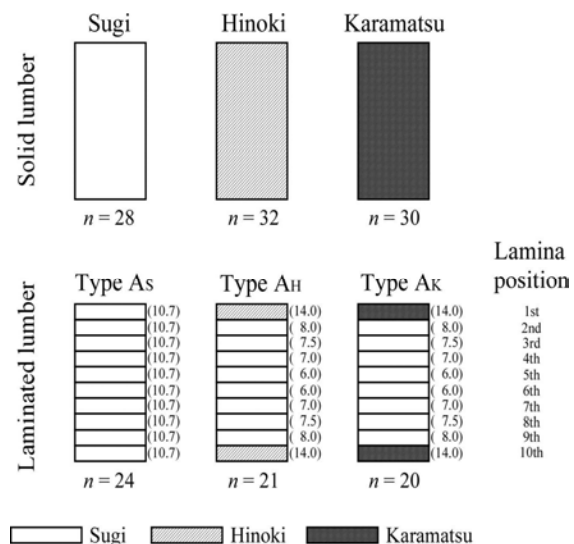
「同等の曲げヤング係数を有する針葉樹異樹種異等級構成集成材のせん断強度性能」

Shearing Strength Performance in Laminated Lumber Composed of Several Softwoods with the Same Modulus of Elasticity

大野 英克, 亀山 雄搾ら: 木材学会誌, 56(3), 182-188 (2010)

本研究では、**同等のMOEを有する異樹種異等級構成集成材のせん断強度**を評価するとともに、**密度とせん断強度の関係**について調査した。得られた結果は以下の通りである。

- (1) スギ同等構成集成材及び内層(2~9層)にスギ、最外層(1及び10層)にヒノキもしくはカラマツを配置した**異樹種異等級構成集成材のせん断強度の間に、有意な差は認められなかった**。
- (2) **スギ材のせん断強度は、製材が本来有する樹種特性・強度性能に起因し、集成化に伴い大きく変動しない**ことが示唆された。
- (3) **せん断強度とMOEの関係**については、製材において、いずれの樹種においても、両者の間に**有意な相関関係は認められなかった**。この結果及び積層効果を考慮すると、**集成材でも同様に、せん断強度とMOEの関係は、非有意**となる可能性が高いことが推測された。
- (4) **Efrの異なるスギラミナの配置及び最外層ラミナの樹種特性は、集成材のせん断強度に影響を及ぼさない**ことが示唆された。
- (5) **集成材のせん断性能は、ラミナのEfrよりも、密度によって大きな影響**を受けることが明らかとなった。
以上のことから、**異樹種異等級構成集成材**の作製においては、**ヤング係数を指標としたグレーディングのみでなく、密度についても考慮**する必要がある。



「同等の曲げヤング係数を有する針葉樹異樹種異等厚構成積層材の曲げ性能」

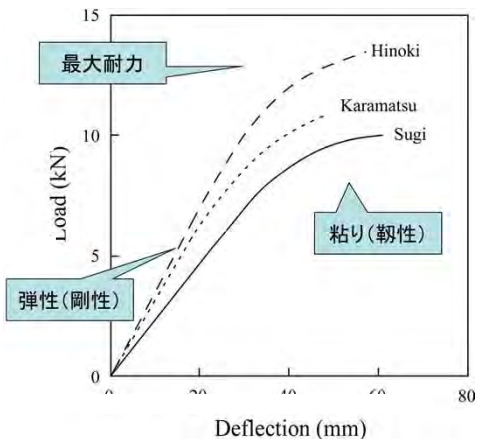
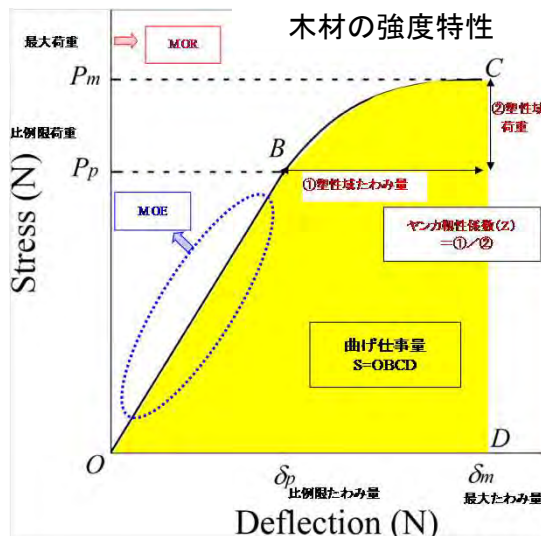
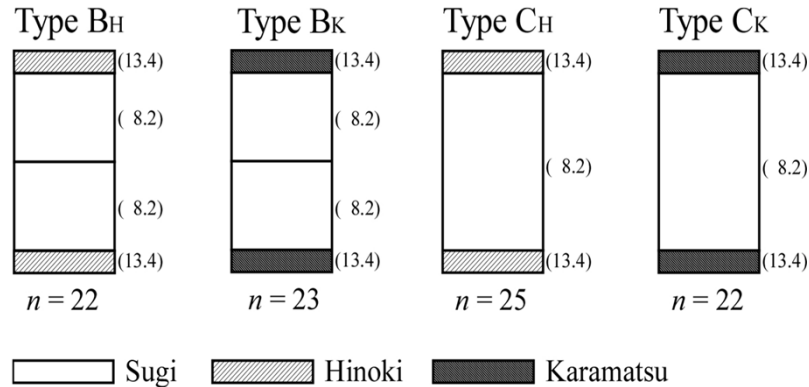
Bending Properties of Laminated Lumber with the Same Modulus of Elasticity Composed of Several Softwoods with Different Thicknesses of the Elements

大野 英克, 亀山 雄搾ら: 木材学会誌, 56(3), 189-196 (2010)

本研究では、内層にスギエレメント、最外層にヒノキもしくはカラマツのラミナを配置した4タイプの異樹種異等厚構成積層材を作製し、曲げ性能を評価した。得られた結果は以下の通りである。

- (1) 比較的断面の大きいエレメントを内層に構成した積層材においても、等価断面法によって、集成材と同様に、任意にMOEを設定できることが判明した。
- (2) 集成材同様に、MOEを同等とした断面構成であっても、積層材のMOR、曲げ仕事量及びヤンカ靱性係数は、断面構成により違いが生じることが明らかとなった。
- (3) 積層材において、最外層に内層よりも高い曲げ性能を有する異樹種、かつバラツキが小さい優れた材を配置する最外層補強の効果は、MOEの向上効果だけでなく、MORの向上効果及びその変動の低減効果をもたらすことが示唆された。
- (4) 積層材の曲げ仕事量は、最外層に配置した異樹種ラミナの有する曲げ仕事量の性能に大きく影響され、内層のスギエレメントの2層もしくは1層という断面構成の違いにほとんど影響を受けないことが明らかになった。また、集成材同様に、断面構成にかかわらず、塑性域たわみ量に強く影響されることが確認された。したがって、MOEに加え、目標とする性能に適したMOR及び曲げ仕事量を有する樹種を最外層に配置することによって、作製する積層材に、曲げ仕事量を付加することが可能であることが示唆された。
- (5) 積層材のヤンカ靱性係数は、内層に配置したスギの有する変形性能が高い特性に影響され、スギエレメントの2層もしくは1層という断面構成の違いにかかわらず、塑性域たわみ量に強く影響されることが確認された。したがって、ヤンカ靱性係数の高い積層材を作製するには、内層にスギのような塑性域の変形性能に優れた樹種を配置することが重要であることが示唆された。

以上の結果から、最外層用の異樹種ラミナ及び内層用のスギエレメントに全て通し材を用いた限定条件の場合、10プライの集成材と比較しても、ほぼ同様な曲げ性能を有する4もしくは3プライの積層材が作製できる可能性が明らかとなった。



「スギおよびヒノキ材を用いた厚さが異なる異樹種異等級構成積層材の曲げ、せん断及びめり込み性能」

Properties of Bending, Shearing and Partial Compression of Laminated Lumbers Composed of Sugi and Hinoki Wood with Elements or Laminae of Varying Thickness

大野 英克, 亀山 雄揮, 安藤 康裕ら : 材料, 60(10), 913-917 (2011)

本研究では、これまでに報告してきた実験の結果を踏まえて、**内層に厚さの異なるスギ通しラミナもしくはエレメント、外層にヒノキ通しラミナを用いた異樹種異等級構成積層材**を作製し、**曲げ、せん断及びめり込み性能**を調査した。

また、**同寸法の異樹種等厚構成集成材、スギ製材及びヒノキ製材**を作製し、積層材と同様に3種類の性能を調査・比較することにより、**異樹種構成化の効果、内層に配置したスギ材の厚さの違いと積層の簡略化が各性能に及ぼす影響**を調査した。

なお、本研究においては、集成材JASに適合する「一般的にラミナと称される等厚の木材を接着させた材料」を集成材と定義し、JAS規格外となる「心持ち角材(エレメント)とラミナという厚さが異なる木材を接着させた材料」を積層材と定義した。得られた結果は、以下の通りである。

(1) **ヒノキラミナを外層に配置した積層材及び集成材**では、スギ製材に比べて、**曲げ性能(MOE及びMOR)、せん断強度及びめり込み強度が向上**した。

(2) この向上効果は、**ヒノキ製材と比べ、同程度もしくはそれ以上の性能を示すことが明らか**となった。

さらに、**MOE及びMORにおいては、変動を低減する効果も認められた**。これらの**効果は、内層スギ材の厚さと積層数に関係なく得られた**。

このことから、**内層に厚さを増したスギ材を用いることによって接着層数を減じ、積層工程を簡略化した場合でも、曲げ、せん断及びめり込み性能は、十分確保できることが明らか**となった。

以上の結果から、フィンガージョイントを含まない通しラミナ及びエレメントを用いた場合、内層に断面構成の異なるスギ材を用いた積層材においても、集成材と同等の強度性能を有することが示唆された。

試験体寸法

材幅 = 120mm
材背 = 240mm
材長 = 4000mm

スギ製材



ヒノキ製材



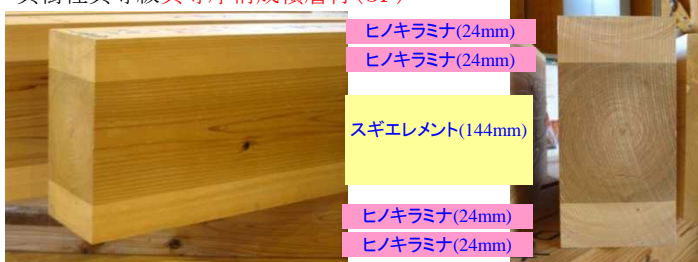
異樹種異等級同等厚構成集成材 (10P)



異樹種異等級異等厚構成積層材 (6P)



異樹種異等級異等厚構成積層材 (5P)



企画・編集・発行

栃木県林業センター

〒321-2105 栃木県宇都宮市下小池町280
TEL 028-669-2211 FAX 028-669-1027

栃木県環境森林部林業振興課

〒320-8501 栃木県宇都宮市埜田1-1-20
TEL 028-623-3277 FAX 028-623-3278

