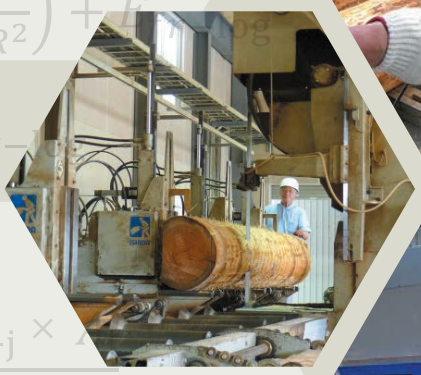
ISBN 978-4-909941-15-2

大径材の使い方

丸太段階で強度特性を予測して目指す、要求性能に応じた製材品の安定供給

農研機構生研支援センター
革新的技術開発・緊急展開事業
（うち先導プロジェクト）



「要求性能に応じた木材を
提供するため、
国産大径材丸太の強度から
建築部材の強度を予測する
技術の開発」研究成果集

中長期計画成果番号：
第4期中長期計画成果35（木材利用技術-2）

国立研究開発法人 森林研究・整備機構
森林総合研究所
Forestry and Forest Products Research Institute

大径材の使い方

丸太段階で強度特性を予測して目指す、
要求性能に応じた製材品の安定供給

農研機構生研支援センター革新的技術開発・緊急展開事業（うち先導プロジェクト）

「要求性能に応じた木材を提供するため、国産大径材丸太の強度から

建築部材の強度を予測する技術の開発」研究成果集

はじめに

（研究代表）　森林総合研究所　小林功

わが国の人工林資源は順調に成長を遂げ、供給原木の主体が小・中径材から中・大径材へと移りつつあり、直径30cmを超える「大径材」の生産量が大きく増大するのは明らかです（図１）。これを製材品として利用することは、木材自給率の向上、木材資源の持続的利用による温暖化ガスの排出低減といった政府目標の達成に大きく寄与します。また、製材品の最大用途は建築用ですから、大径材を住宅等の建築部材として利用することは極めて重要です。しかし、市場では「大径材は使い道がない」とされて敬遠されており、利用もあまり進んでいないのが現状です。

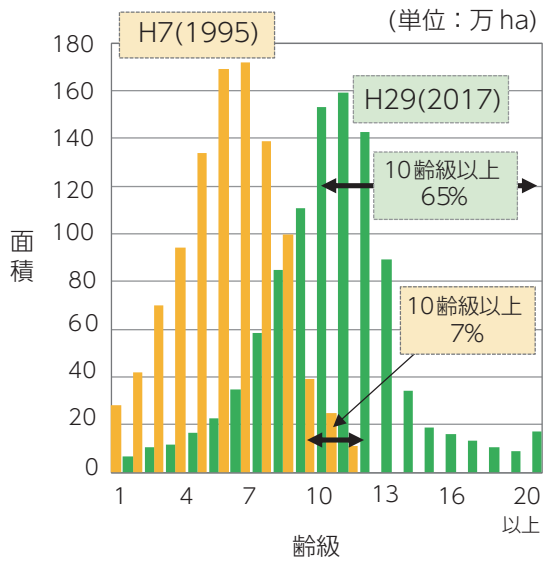


図1 人工林の齢級別面積
「平成9年度版林業白書」、
「森林資源の現況」(平成29年、林野庁)より

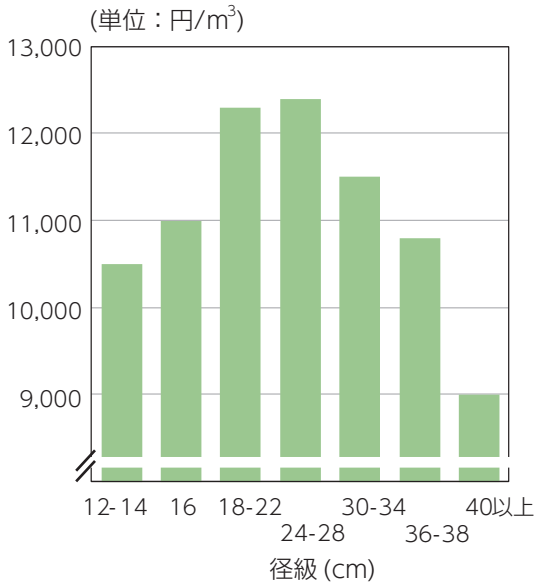


図2 スギの径級別原木価格
宮崎県森林組合連合会宮崎林産物流通センター
共販速報(2020年9月9日)

たとえば、図2は宮崎県森林組合連合会宮崎林産物流通センターの令和2年9月の丸太価格ですが、直径が30cmを超えると丸太の価格が下がっており、大径材がなかなか売れない様子がわかると思います。

この課題の解決は大変難しいのですが、図３が一つのヒントになるのではないかと考えます。この図は一般社団法人日本木造住宅産業協会による、木造軸組構法における部位別の木材の使用割合に関する調査の結果で、薄い緑色と濃い緑色が国産材です。柱材、横架材、土台、羽柄材、合板のうち横架材だけが国産材の割合が極端に低く、主に外材を原料とする集成材とベイマツ平角が大きなシェアを占めます。大径材からは大断面製材の製材が可能であり、横架材（平角）は重要

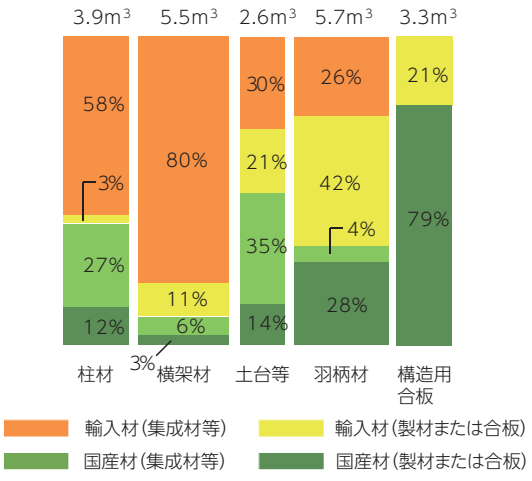


図3 木造軸組構法における木材使用割合
一般社団法人日本木造住宅産業協会(2013)

な「使い道」になり得ます。横架材の生産・販売にはヤング係数などの強度特性、含水率（寸法安定性）といった品質の担保が強く求められます。しかし、大径材のはい積みを前に、「この丸太の山からE70の横架材が20本採れるから、いつもの工務店に○○円で売れる」と買い手がイメージすることは、現在の技術では難しいのです。また、公共工事用に「E90の横架材を100本、E70の正角を200本」といった発注があっても、丸太段階ではそこから採れる製品の強度特性はわからず、無理に買えば不適合品、つまりロス材が多く出てしまうでしょう。それなら、

「丸太段階で製材品の強度特性がわかれば発注を受けられる、つまり丸太が買えるのではないだろうか」

このような発想から、丸太段階で製材品の強度特性を予測する技術を作り、これによって予測された性能を担保できる製材・乾燥技術を提案して大径材の利用を後押しするため、国立研究開発法人森林研究・整備機構森林総合研究所は11の共同研究機関と研究コンソーシアムを形成し、平成28（2016）年から5年間にわたり農研機構生研支援センターによる「革新的技術開発・緊急展開事業（うち先導プロジェクト）」において、研究プロジェクト「要求性能に応じた木材を提供するため、国産大径材丸太の強度から建築部材の強度を予測する技術の開発」を実施してきました（表1）。本プロジェクトは3つの大きな研究項目によって構成され、互いに成果を共有しながら目標の達成へ向かって研究を進めました（図4）。

表1「大径材」コンソーシアム参画機関

代表研究機関（国研）森林研究・整備機構森林総合研究所	
○(地独)北海道立総合研究機構森林研究本部林産試験場	
○静岡県森林・林業研究センター	
○石川県農林総合研究センター林業試験場石川ウッドセンター	
○岐阜県森林研究所	○奈良県森林技術センター
○宮崎県木材利用技術センター	○熊本県林業研究・研修センター
○東海国立大学機構名古屋大学	○(国研)建築研究所
○オーアイ・イノベーション(株)	○マイクロメジャー(株)

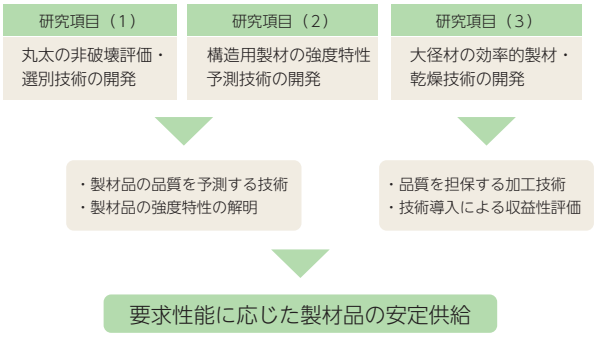


図4「大径材」プロジェクトの課題構成

研究項目（1）「丸太の非破壊評価・選別技術の開発」では、密度、含水率といった木材品質の丸太内における半径方向分布を非破壊で評価する技術、丸太の形状認識技術、丸太内ヤング係数分布の簡易測定法を開発しました。研究項目（2）「構造用製材の強度特性予測技術の開発」では、丸太段階で製材品の強度特性を非破壊で予測する技術を開発・実証し、大径材から得た製材品の強度特性における寸法効果や、長期荷重がかかる場合の強度特性を解明しました。研究項目（3）「大径材の効率的製材・乾燥技術の開発」では、研究項目（1）、（2）で開発された技術によって予測される品質を確かに持っている製材品の効率的な木取りを明らかにするとともに製材時に生じる反りについて検討を加え、またいくつかの乾燥方法について適切な処理条件を明らかにしました。そして、原木が大径化したことによる収益性への影響について検討しました。

本パンフレットは、林業普及指導員をはじめとした自治体の方々、原木市場や製材工場で木材の流通・加工に携わる方々など、国産大径材の利用・普及に取り組まれている方々がプロジェクトの研究成果を活用し技術導入を検討する際に役立つものを目指して作りました。

まず「丸太段階で製材品の強度特性を予測する技術」と「要求性能に応じた製材品の安定供給技術」を活用するためのフローチャートと技術導入の手順を示し、そこから必要に応じて個別の研究成果を参照できる構成にしています。このパンフレットを国産大径材の利用拡大のためにお使いいただければ幸いです。

目 次

はじめに …… 01

目次 …… 04

丸太段階で製材品の強度を予測する技術を開発しました …… 05

要求性能に応じた製材品を安定供給するために …… 06

開発した技術を現場に導入するための手順 …… 07

個別成果

1. 丸太品質の非破壊評価技術の高度化

1 丸太の横断面内ヤング係数分布簡易評価方法の開発 …… 09
2 丸太の心材含水率を非接触・非破壊で評価 …… 11
3 丸太木口面の連続硬さ測定から密度を推定 …… 13
4 形状認識等による丸太品質評価技術の開発 …… 15

2. 構造用製材の強度特性予測技術の開発

1 丸太段階で製材品のヤング係数を推定する技術の開発（スギ）…… 17
2 丸太段階で製材品のヤング係数を推定する技術の開発（カラマツ・トドマツ）…… 19
3 要求される強度特性を満たす製材品が得られることを丸太段階で判別 …… 21
4 製材品の密度とせん断強度の関係および心持ち・心去り平角の曲げ強度 …… 23
5 断面が大きいスギ製材品の曲げ強度の安全性を検証 …… 25
6 スギの枠組壁工法用部材の長期的なたわみを予測 …… 27
7 大径材から採材したスギ製材品の長期荷重に対する安全性を検証 …… 29

3. 大径材の効率的製材・乾燥技術の開発

1 スギ大径材から心去り平角材を効率良く製材 …… 31
2 製材品の反り推定モデルの開発 …… 33
3 スギ心去り平角の天然乾燥と人工乾燥 (蒸気式乾燥) における適切な乾燥日数 …… 35
4 スギ心去り平角・枠組壁工法用部材の弱減圧乾燥技術の開発 …… 37
5 スギ心去り平角を蒸気・高周波複合乾燥する際のポイントと推奨乾燥スケジュール …… 39
6 心持ち平角の高温セット処理を用いた適切な乾燥条件の開発 …… 41
7 流通・加工業での原木大径化への対応と収益性への影響 …… 43

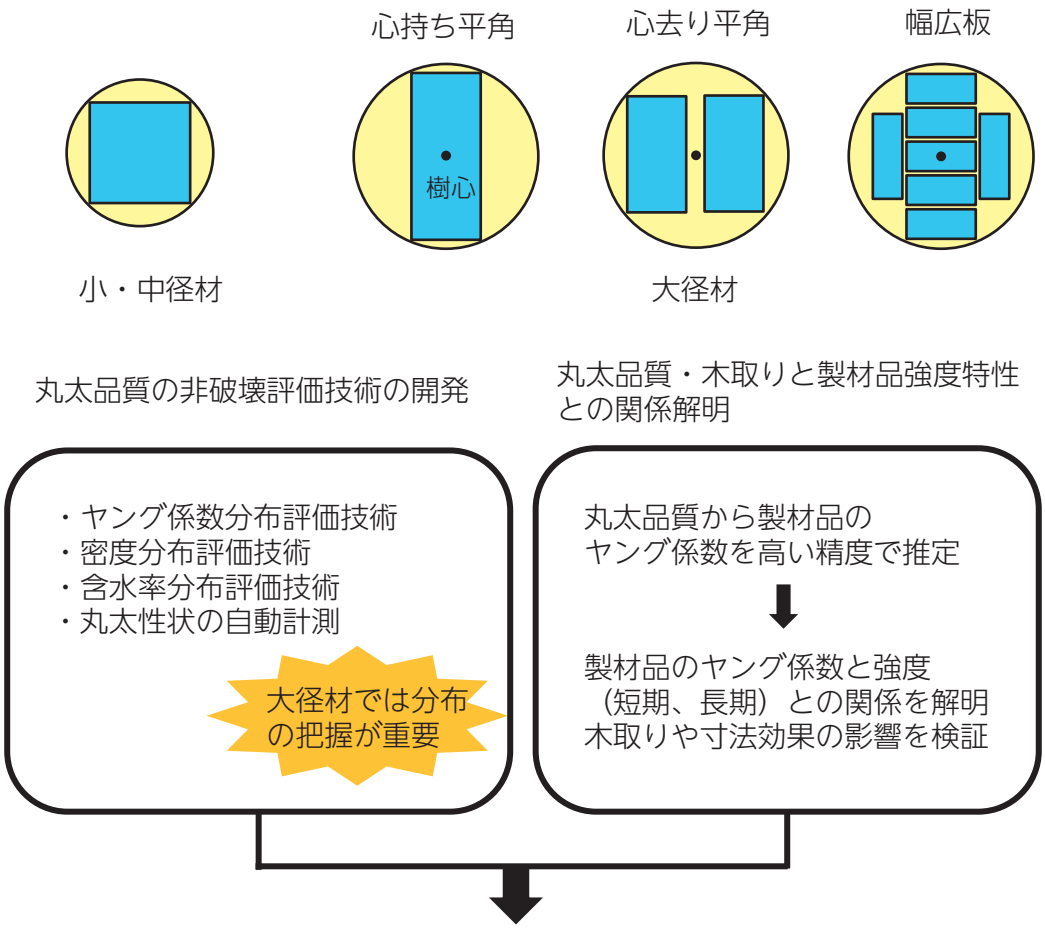
用語集 …… 45

参考文献 …… 47

研究体制 …… 48

丸太段階で製材品の強度を予測する技術を開発しました

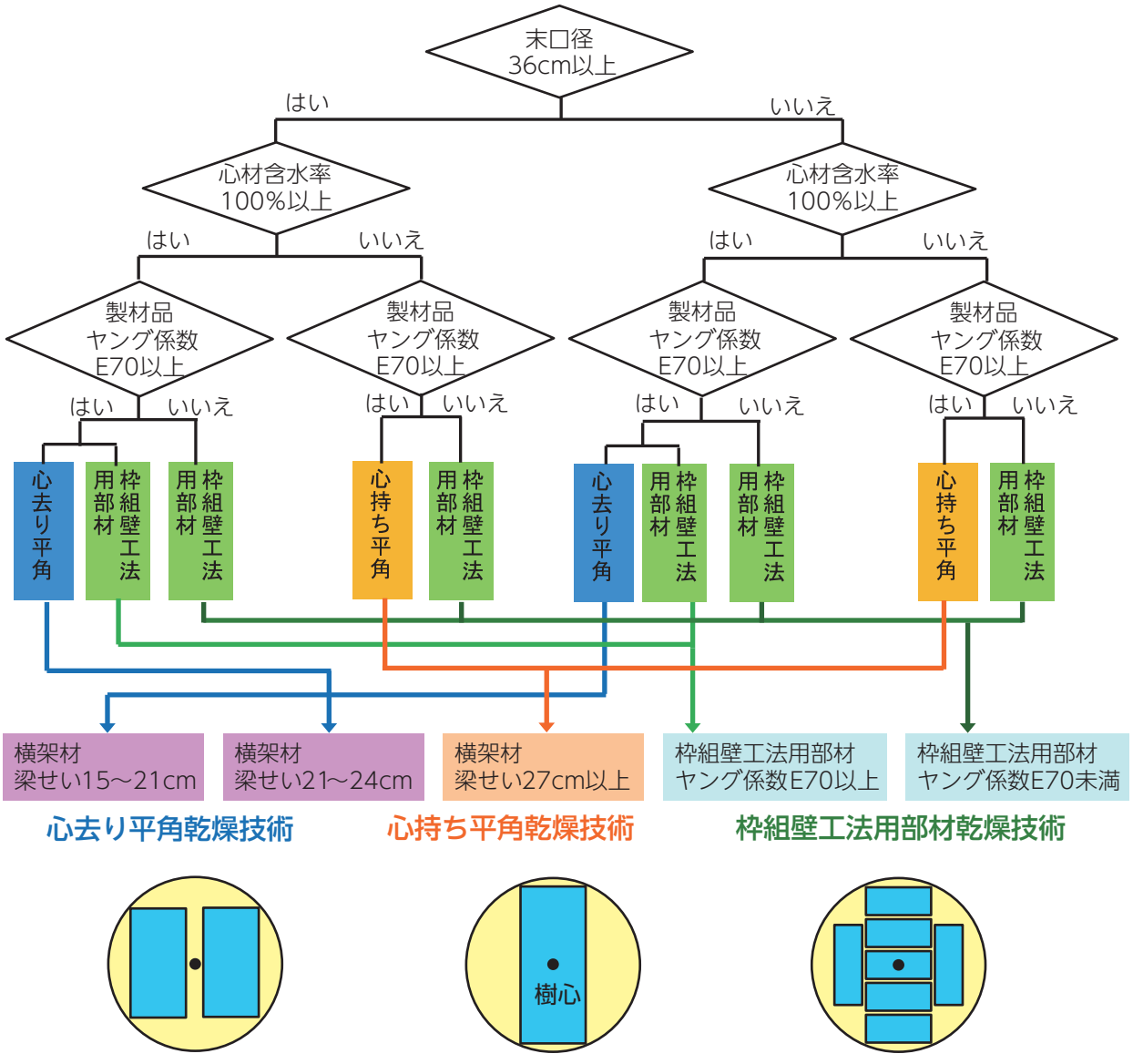
木造建築物に使用される製材品は、ヤング係数（変形しにくさ）や強度（こわれにくさ）などで要求される性能を満たす必要があります。これら製材品に要求される強度特性のうち、丸太や製材品のヤング係数は対象物を打撃する方法で比較的簡単に求めることができ、小・中径材から正角（柱）を採材するような木取りの場合には、丸太のヤング係数と製材品のヤング係数はよく一致します。一方、大径材では、樹心を含む心持ち平角や樹心を含まない心去り平角を横架材に利用したり、幅広板を枠組壁工法用部材にしたりするなど様々な木取りを適用することが可能です。そこで、大径材から得られる製材品のヤング係数を丸太段階で予測するため、ヤング係数や密度の丸太内部の「分布」を評価する技術を開発しました。また、主に小・中径材を対象としたこれまでの研究から、製材品のヤング係数や密度と強度との間には高い相関があることがわかっています。大径材から生産された製材品について、木取りの影響などを含めてヤング係数や密度と強度との関係を解明しました。これらにより、丸太段階で製材品の強度を高い精度で予測することが可能になりました。



大径材から生産される製材品の強度を、製材前の丸太の段階で確率90％で予測することが可能に！

要求性能に応じた製材品を安定供給するために

大径材から生産される心持ち平角、心去り平角、枠組壁工法用部材などの製材品について、強度予測結果と含水率の推定結果に基づき、下記に示すフローチャートを用い、用途に応じて丸太の選別を行います。さらに、開発した大径材の製材・乾燥技術により強度を予測した製材品を効率的に生産します。



強度を予測した製材品を確実にまた効率的に生産することにより、要求される製材品を安定供給することが可能となり、木材の加工・流通段階での収益性向上に寄与します。

開発した技術を現場に導入するための手順

ここでは原木市場や製材工場で本プロジェクトで開発した技術を導入するための手順を示します。
各段階において工場で行う作業とそれに対応した技術の紹介ページを掲載しています。

丸太品質

丸太段階でヤング係数を簡単に測定する
電磁波・ガンマ線の透過性、木口面の硬さを
測定し、製材品の含水率、密度を推定する

↓

ヤング係数推定

設定した木取り位置における
製材品のヤング係数を推定する

↓

強度推定

製材品の強度を推定する

↓

製材

丸太を製材する

↓

乾燥

得られた製材品を乾燥する

↓

要求性能に応じた建築用材が生産される

丸太品質

使用したい丸太のヤング係数分布を知る P. 9
電磁波・ガンマ線で丸太の心材含水率を推定する P.11
丸太木口面の硬さから製材品の密度を推定する P.13

ヤング係数推定

スギ製材品のヤング係数を丸太段階で推定する P.17
カラマツ・トドマツ製材品のヤング係数を丸太段階で推定する P.19

強度推定

製材品が要求された強度性能を持つか丸太段階で判別する P.21
密度から製材品のせん断強度を推定する P.23
断面の大きな製材品を安全に使用するために P.25
枠組壁工法部材を長期間使用したときの変形量を知る P.27
長期間使用したときの安全性を知る P.29

製材

丸太の形状、樹心、年輪数を自動で評価する P.15
製材品を効率的に製材する P.31
製材品の反りを予測する P.33
大径化が収益に及ぼす影響を考える P.43

乾燥

(心去り平角)
天然乾燥、人工乾燥（蒸気式）法で乾燥する P.35
弱減圧乾燥法で乾燥する P.37
蒸気・高周波複合乾燥法で乾燥する P.39
(心持ち平角)
高温セット処理を使って乾燥する P.41

丸太の横断面内ヤング係数分布簡易評価方法の開発

森林総合研究所　長尾博文、加藤英雄、井道裕史、原田真樹、藤本清彦
北海道総研林産試験場　松本和茂

製材品の強度はヤング係数と相関があるため、丸太の段階で得られる製材品の強度を予測するには、丸太の横断面内でヤング係数がどのように分布しているのかを知る必要があります。これまでは丸太から多くの小試験体を採取してヤング係数を1つずつ測定するしかなく多大な時間と労力が必要でした。そこで、丸太の外周部を少しずつ削りながらヤング係数を測定することで丸太の横断面内ヤング係数分布を求める簡易評価法を開発しました。この評価法を従来の小試験体による方法と比較したところ、同等の精度で評価でき、測定時間を大幅に短縮できることがわかりました。

丸棒加工機を用いたヤング係数分布の簡易評価法の開発

丸棒に加工する機械（写真1および2）を用いて丸太を外側から少しずつ削っていくことで、丸太の横断面内ヤング係数分布を簡易に評価する方法を開発しました。

丸棒加工とは、丸太の表面を切削加工して、材長方向の直径が一定の円柱材に加工することです。例えば、直径が24cmを超える大きな円柱材は、写真1の旋盤型の丸棒加工機によって加工され、一般に社寺建築等の柱材などに使用されます。一方、直径が小さな円柱材は写真2の丸棒削り機によって加工され、杭などの土木用材として使用されます。

縦振動法によるヤング係数（E_{fr}、以下ヤング係数）は試験体を打撃することで簡単に求められ、その値はおおよそ試験体の平均的なヤング係数を示すことが知られています。そこで、丸太を少しずつ削りながらその時々の円柱材のヤング係数を測定し、切削加工によって削られた部分のヤング係数を推定する方法を開発しました。

具体的には、図1に示した連続するi番目とj番目の円柱材間で切削された黄色い部分のヤング係数（$E_{fri\text{-}j}$）は、i番目とj番目のヤング係数（E_{fri}、E_{frj}）と木口の断面積（A_i、A_j）から以下の式によって求めることができます。

$$E_{fr(i-j)} = \frac{E_{fri} \times A_i - E_{frj} \times A_j}{A_i - A_j}$$

開発した簡易評価法の有効性

簡易評価法によって算出されたヤング係数分布と、図2のように丸太から小試験体を採取して測定したヤング係数分布とを比較しました。スギとカラマツの結果の例をそれぞれ図3と図4に示します。図中の●は簡易評価法によるヤング係数を、○は小試験体のヤング係数を、樹心（髄）からの距離を横軸にして示しています。いずれの樹種においても、丸太の樹心から樹皮側に近づくにつれてヤング係数は変化していますが、開発した簡易評価法と小試験体の結果はほぼ一致しており、小試験体による方法と同等の精度で丸太の横断面内のヤング係数分布を評価できることが明らかになりました。

写真1 旋盤型丸棒加工機

写真2 丸棒削り機

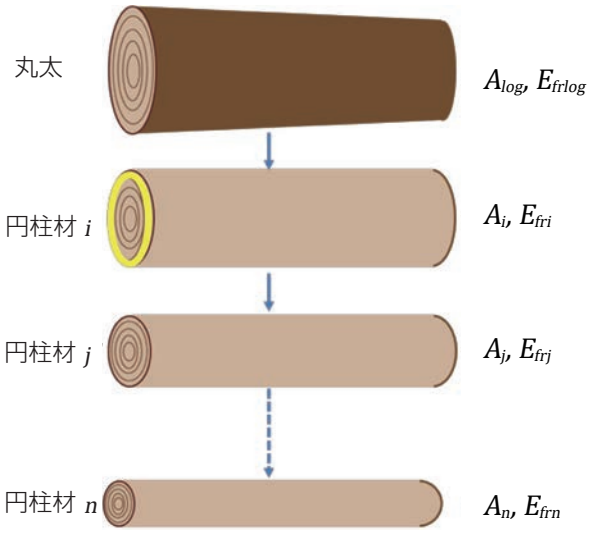


図1 丸棒加工によるヤング係数測定のイメージ
A：木口面の面積、E_{fr}：ヤング係数

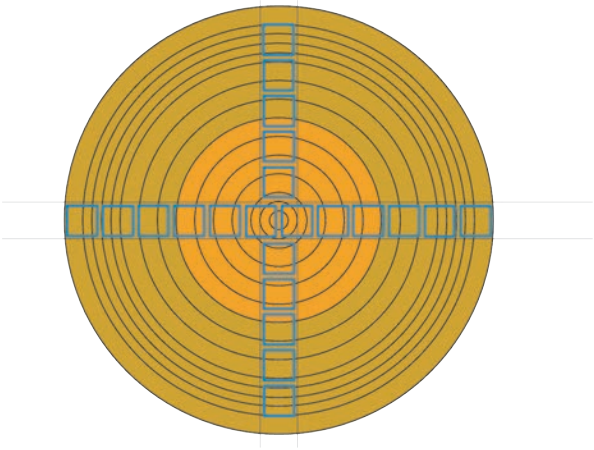


図2 従来法によるヤング係数測定のための小試験体採取方法

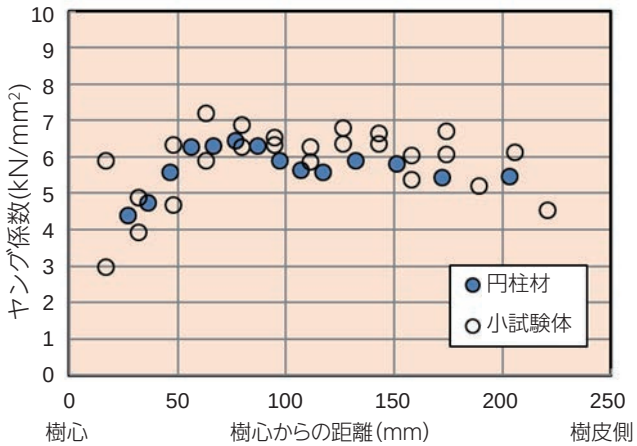


図3 丸太横断面内におけるヤング係数の半径方向の変化(スギの例)

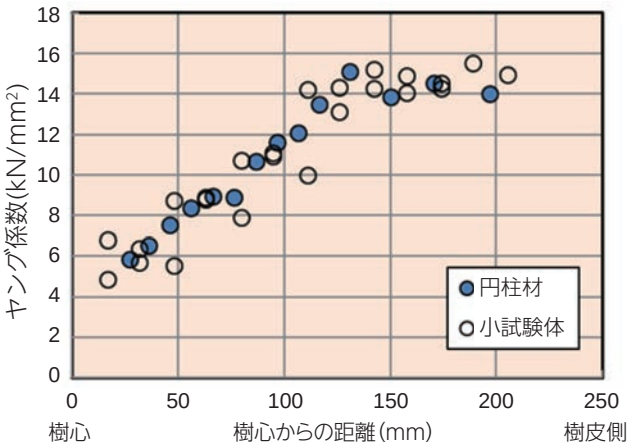


図4 丸太横断面内におけるヤング係数の半径方向の変化(カラマツの例)

丸太の心材含水率を非接触・非破壊で評価

静岡県農林技術研究所森林・林業研究センター　池田潔彦、長瀬亘
マイクロメジャー（株）　杉山晃広、森林総合研究所　三好由華

スギ大径材から丸太の心材含水率を非接触で評価する手法を開発しました。低周波電磁波の位相と減衰の値によって推定する手法とガンマ線の透過数によって推定する手法です。どちらの手法でも、実測した含水率との間に相関関係が認められました。また、これらの手法による丸太心材含水率の推定値と製材・人工乾燥した後の平角の実測した含水率との間にも有意な相関関係が認められ、丸太段階での選別に有効であることを確認しました。

大径材の含水率評価のねらい

スギの心材含水率は個体間に大きなばらつきがあるため、同じ乾燥条件（乾燥スケジュール）で人工乾燥を行ったときに、目標含水率に達しないものが発生します。目標含水率に達しなかったものは再度乾燥するため、コストの増加につながります。丸太段階で心材含水率が評価できれば、心材含水率の高い丸太を選別し、異なる乾燥スケジュールを適用したり、平角ではなく乾燥時間の短い板材を採材したりするなどの対応を行えるようになり、再乾燥にかかる手間やコストを削減できます。そこで、低周波電磁波とガンマ線を利用した含水率計測技術を開発し、装置を試作しました（図１）。また、試作した装置による丸太段階での含水率による選別可能性を検討しました。

丸太心材含水率を非接触・非破壊で知る

スギ大径材を試験体として周波数52MHzの低周波電磁波およびガンマ線を使用して丸太心材含水率の評価を試みました。低周波電磁波は丸太の上下にアンテナを設置して測定しました。低周波電磁波の位相（電気信号の遅れ）や減衰（電気信号の減少）を測定したところ、低周波電磁波の位相から減衰を差し引いた値は丸太の心材含水率と相関関係のあることがわかりました（図2）。ガンマ線による測定では、丸太の下部に放射線発生源（コバルト60）を、上部に受信部を設置し、丸太断面長さ（ガンマ線の透過距離）当たりのガンマ線透過数を測定しました。その値を丸太心材含水率と比較したところ、負の相関関係があることがわかりました（図3）。

丸太心材含水率によって選別し、効率的な乾燥に活かす

丸太段階で低周波電磁波の位相、減衰、ガンマ線透過数を測定した後、平角を採材して乾燥試験を行いました。平角は同じ乾燥スケジュールで乾燥しました。その結果、乾燥後の平角の心材含水率は、低周波電磁波の位相から減衰を差し引いた値と正の相関関係が、ガンマ線透過数と負の相関関係が認められました（図2、3）。また、図4および図5の縦の破線は、電磁波による評価値やガンマ線による評価値によって心材含水率100％と推定される値です。心材含水率が100％以下と推定された丸太から採材された平角は、乾燥後の含水率が20％以下となる比率が高くなることがわかりました。例えば心材含水率100％を閾値として丸太を選別し、乾燥スケジュールを変えるなどの工夫で、平角を効率的に乾燥できると考えられます。

今後は、丸太内部の含水率分布推定精度の向上を図るとともに、選別する際の区分閾値の選定等を進め、工場等への装置・手法の試験的な導入を進めていきます。

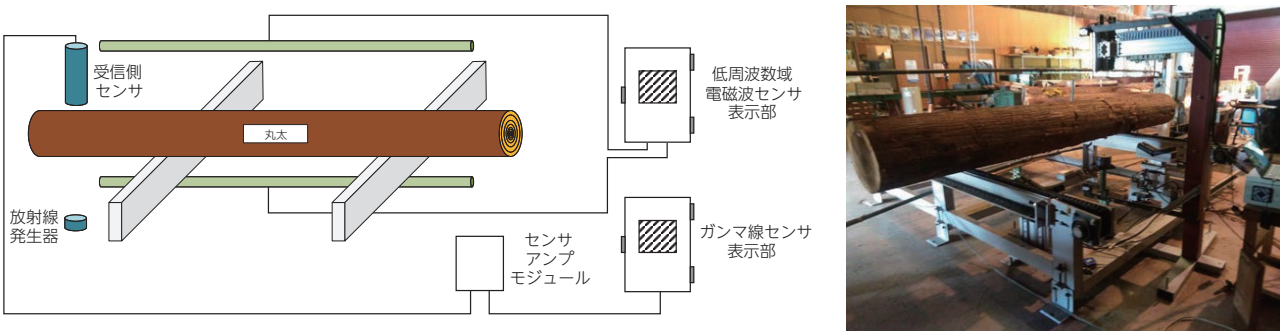


図1 低周波電磁波及びガンマ線を利用した丸太含水率推定装置

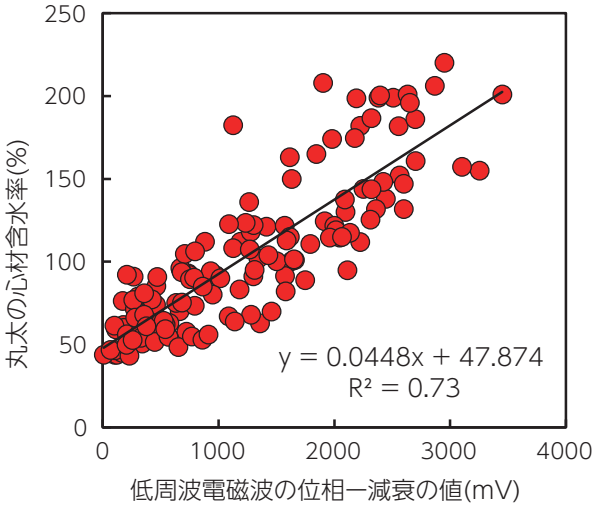


図2 低周波電磁波の位相から減衰を減じた値と丸太心材含水率の関係

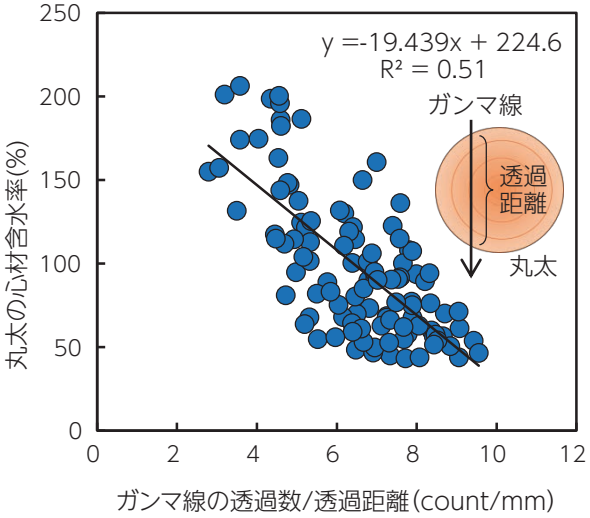


図3 ガンマ線透過数と丸太心材含水率の関係

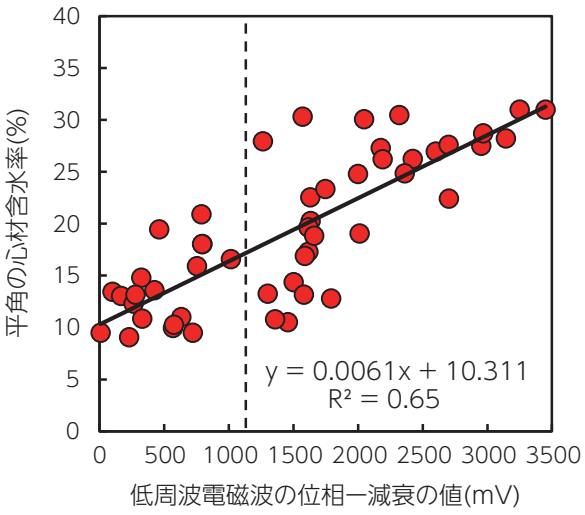


図4 低周波電磁波の位相から減衰を減じた値と乾燥後の平角心材含水率の関係

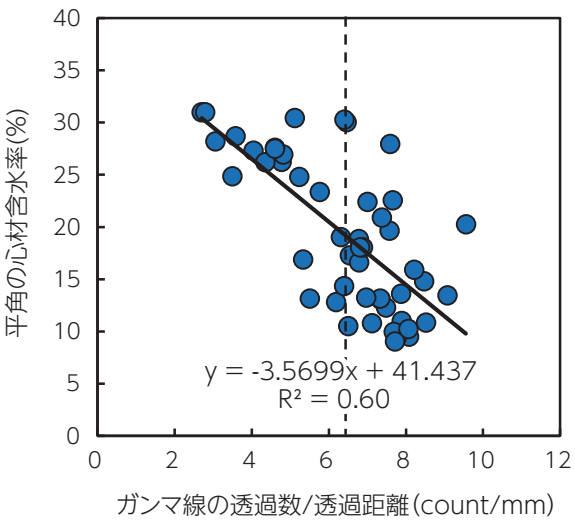


図5 ガンマ線による評価値と乾燥後の平角心材含水率の関係

丸太木口面の連続硬さ測定から密度を推定

熊本県林業研究・研修センター　池田元吉、中村圭子
熊本県菊池地域振興局　荒木博章、熊本県玉名地域振興局　野口琢郎
熊本県林業振興課　平田晃久

スギ大径材から採材される製材品の強度的性質を丸太段階で推定するためには密度の分布がとても重要です。そこで、丸太の木口面で硬さを連続的に測定することで密度の分布を推定する装置を試作し、密度の推定精度を確認しました。その結果、丸太の木口面で樹心から樹皮までの範囲で測定した硬さデータから、採材後に得られる製材品の密度を推定できることがわかりました。

反力（硬さ）の連続測定法

大径材を効率よく利用するためには製材木取りに反映できる丸太の形状や材質の分布に関する情報が欠かせません。特に密度は木材の強度的性質と深く関係しているので、とても重要な情報です。そこで、密度と相関があると考えられる木材表面の硬さを測定することで、丸太横断面内の密度分布を推定できないか検討しました。木材表面の硬さを表す指標として鋼球を丸太木口面に押し付けたときに鋼球が受ける反力を測定しました（図1）。鋼球は電動アクチュエーターに取付けられたロードセルに固定されているため、鋼球が移動することで反力を連続的に測定することができます。ただし、チェーンソーによる断面では測定できないので、測定前に木口面を丸鋸で切削して表面を整える必要があります。得られた反力（硬さ）曲線を図2に示します。晩材（年輪）で高い値を示しており、早材と晩材の密度の差が大きいスギの特徴をよく反映しています。

硬さ曲線からの製材品密度推定法

硬さ曲線から製材品の密度を推定するために、製材品の採材位置に該当する部分（図2のオレンジの部分）の硬さの値をすべて合計し、実際に採材された製材品の密度と比較しました（図2右）。硬さの合計値が大きくなるにつれて製材品の密度も大きくなる傾向が認められ、硬さ曲線から製材品の密度をある程度推定できることがわかりました。しかし、決定係数は0.24であり、強い相関関係ではありませんでした。

そこで、樹心を中心にして硬さ曲線を回転させることでデータを平面に広げ、製材品密度の推定精度の向上を図りました（図3(a)）。平面に広げたデータにおいて採材する位置にあたる硬さデータをすべて合計し、採材後に得られた製材品の密度と硬さデータの合計値を比較したところ、両者の間には正の相関関係（決定係数0.58）が認められました（図3(b)）。硬さ測定により丸太段階で製材品の密度を推定できることがわかりました。

実用化に向けて

実用化に向けて、測定に必要な範囲の丸太木口を平滑にする加工法、丸太端部に容易に固定・取外しできる小型軽量の硬さ測定装置開発が必要と考えています。

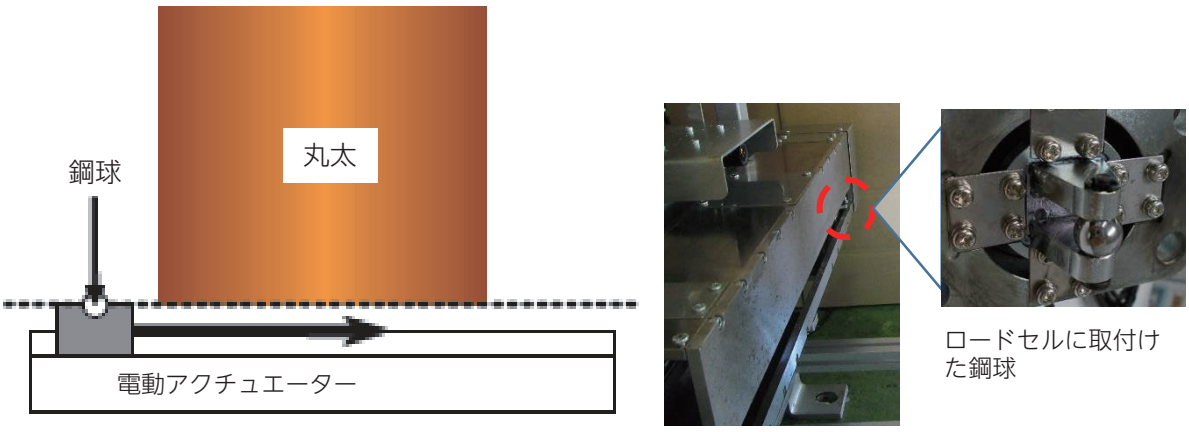


図1 木口面での反力（硬さ）の測定方法
左：測定の概略図、右：ロードセルに取付けた鋼球

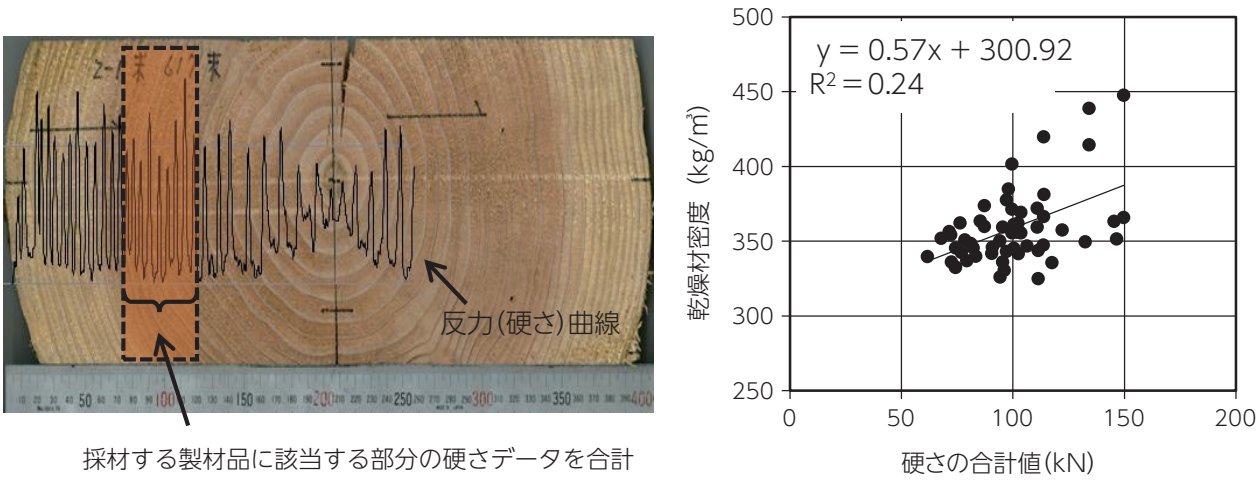
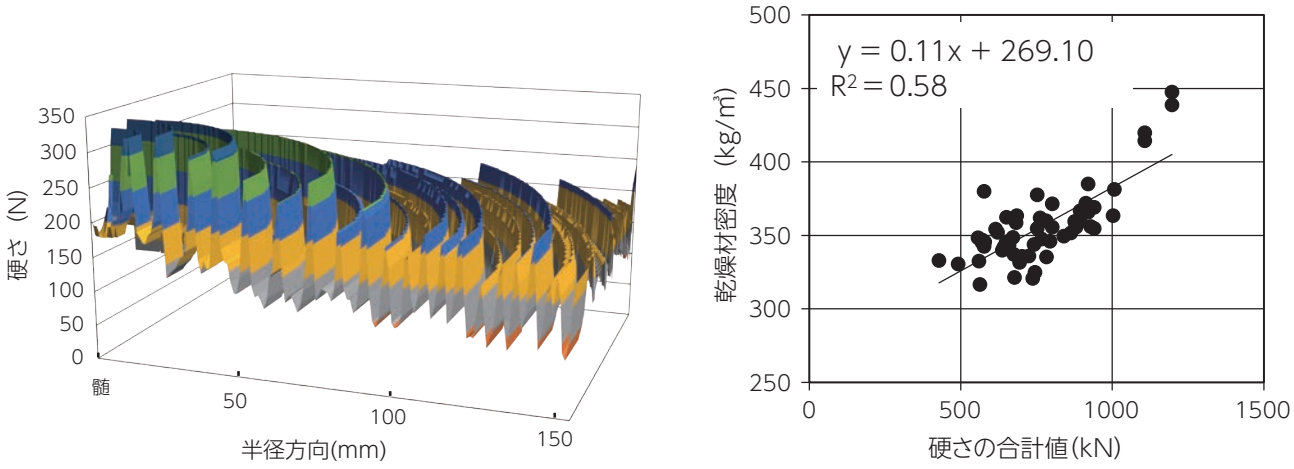


図2 丸太木口面における反力（硬さ）曲線の測定例と硬さの合計値と製材品の密度の関係



(a) 硬さ曲線を平面に広げた例

(b) 平面に広げた硬さ曲線から求めた硬さ合計値と密度の関係

図3 硬さ曲線を平面に広げた例と硬さの合計値と製材品密度の関係

形状認識等による丸太品質評価技術の開発

オーアイ・イノベーション（株）　太田章介、向達毅

スギなどの人工林から得られる大径材には、長手方向で径の変化が大きく、断面形状がいびつで、樹心が偏っている個体が多く存在します。大径材を効率よく製材品として利用するためには、従来の直材を想定した小・中径材用の形状測定方法では不十分と考えられ、木口面の年輪情報等の取得を含めた測定装置が必要です。そこで、物体の動きなどを測定できるモーションセンサーによって丸太の側面全体の画像と形状の情報を得る装置を試作しました。この装置では従来の方法では難しかった樹心位置の自動検出を、ディープラーニング手法によって実現しました。さらに樹心付近の年輪数を測定する手法も開発しました。

大径材の形質評価技術の必要性

大径材には元玉が多く含まれ、太くて重いだけでなく、長手方向における径の変化が大きく、特に元口側の断面形状がいびつで、樹心（髄）が偏っている個体が多く存在します。また、樹心付近の年輪幅の個体間の差が大きいのも特徴です。したがって、大径材の場合には、従来の通直な小・中径材を対象とした丸太形質の測定技術とは異なる技術が必要です。

大径材に適した形状測定装置の開発

従来は距離センサーを使って丸太の長さ方向の数か所について輪郭を測定し、全体の側面形状を認識するのが一般的でした。今回は形状変化の大きい大径材に対応するため、物体の動きなどを測定できる安価なモーションセンサーを使って、丸太の側面画像と形状情報を同時に取得できる方式を採用しました。長さ1mの丸太用の試験機から試作を始めて順次センサーを直列に増設して改良し、現場での使用を想定した実大サイズ（長さ4mの丸太用）の試験機を試作した結果、測定誤差±1.5mm以内という高い精度を実現しました（図１、図2、図３）。

樹心位置の特定、年輪数測定装置の開発

大径材から心去り材（樹心を含まない製材品）を製材する際には、樹心の位置を把握する必要があります。しかし、従来の画像解析手法では樹心の位置を正確に自動で把握することは困難でした。そこで、ディープラーニング手法を用いて、丸太の木口面画像から樹心位置を検出する装置を試作しました。その結果、樹心位置の検出誤差の平均値は2.0㎜（標準偏差1.3㎜）であり、十分な精度で樹心を検出できることがわかりました（図4）。

また、一般に樹心から15年輪程度より外側は、成熟材と呼ばれ強度等が安定しています。丸太から強度の高い製材品を生産するためには、成熟材部の把握が重要です。そこで、樹心付近の年輪数を自動測定する装置を試作しました。撮影した木口面画像を画像解析により2値化して年輪数を測定する方法を検討しましたが、個体ごとに2値化の領域と閾値を手動で補正する必要があり、自動化が困難でした。そこで、ディープラーニング手法を用いて2値化の領域と閾値を自動設定して明瞭な２値化画像を得るプログラムを作成しました。その結果、十分な精度で年輪数を測定できる可能性があることがわかりました（図5）。

さらに、これまでに述べた丸太の形状測定、樹心位置の特定、年輪数の測定を同時に行うことができる装置を試作し、実用に耐えうる装置であることを確認しました。

図1 試作した長さ2mの丸太用の試験機

図2 試作した実大丸太用測定装置

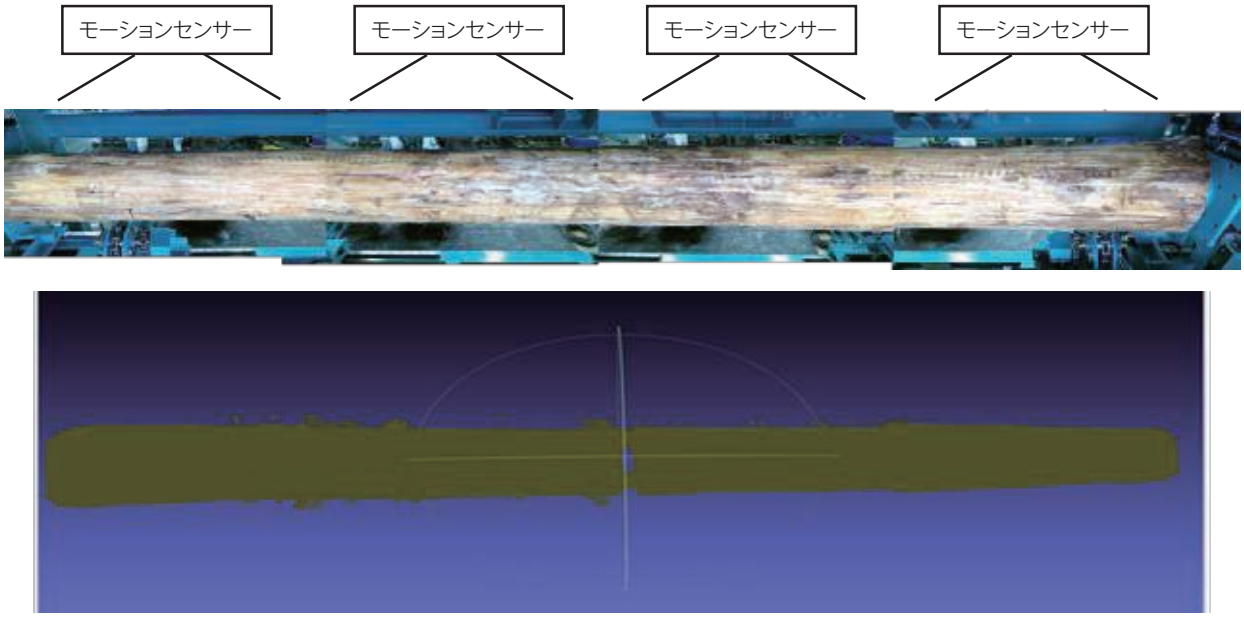


図3 試作機で測定した丸太(上図)と測定値をもとに構成した丸太の3D画像(下図)

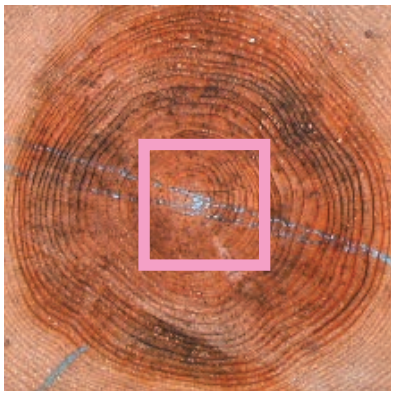


図4 図中の四角の中心が樹心
として検出した場所

図5 年輪数計測画像の例
左：撮影したカラー画像、右：2値化した画像

丸太段階で製材品のヤング係数を推定する技術の開発（スギ）

森林総合研究所　長尾博文、加藤英雄、井道裕史、原田真樹、藤本清彦、松村ゆかり、伊神裕司
静岡大学　小川敬多

スギ丸太横断面においてヤング係数は均一に分布しているのではなく、未成熟材部では樹心から外周部に向かって大きくなり、その外側の成熟材部ではほぼ一定となることがわかっています。この性質を利用してスギ丸太の横断面内ヤング係数分布を表現するモデル式を作り、その有効性を検証しました。その結果、高い精度でヤング係数を推定できることを明らかにしました。今回開発したモデル式を用いれば、どのような木取りであっても丸太から得られる製材品のヤング係数を製材する前に丸太段階で推定できます。

スギ大径材のヤング係数分布モデルの作成

スギ大径材20本を用意し、丸太横断面内のヤング係数分布を「簡易評価方法」（9ページ参照）によって測定しました。この測定によって得られた樹心からの距離とヤング係数との関係（図１のプロット）を、後述の式（1）および（2）で表される2本の近似直線でモデル化しました。式（1）の傾きsは未成熟材部におけるヤング係数の増加の傾向を示します。式（1）と式（2）の交点Bは未成熟材部と成熟材部の境界を示すと思われます。このモデルを用いれば、縦振動法で簡単に求められる丸太のヤング係数と丸太の末口半径から、樹心から外周部までの任意の位置のヤング係数が求められます。

ヤング係数分布モデルの有効性の検証

縦振動法によって丸太でヤング係数を測定した後、図2の木取りで採材した製材品のヤング係数を測定しました。ヤング係数分布モデルを検証するため、丸太のヤング係数と製材品のヤング係数実測値（図3）、モデルで算出した同じ製材品のヤング係数推定値と実測値（図4）を比較しました。丸太のヤング係数では横断面内のヤング係数分布を考慮しないので大きくばらついてしまいますが、モデル式を用いて個々の製材品のヤング係数を推定すれば、図4のように高い精度を得られることがわかりました。例えば、丸太段階でE70以上と推定された製材品のうち実際にE70以上であった割合は95％でした。

開発したモデルの活用

開発したモデルを活用して、大径材から採材される製材品のヤング係数の出現頻度をシミュレーションしました。その結果、素材の日本農林規格で定めるEf70とEf90の2種類の丸太から、心去り平角、208材、ラミナを製材した場合（図5）のヤング係数の出現頻度は図6のようになりました。このように開発したモデルを活用すれば、製材する前の丸太の段階で、生産する複数製品のヤング係数がどのくらいの割合で採材できるかを予め把握することが可能です。

（$r<B$のとき）

$$E_{fr-\mathrm{timber}} = s \times \left(r - B + \frac{B^3}{3R^2}\right) + E_{fr-\log} \quad (1)$$

（$r \geqq B$のとき）

$$E_{fr-\mathrm{timber}} = s \times \left(\frac{B^3}{3R^2}\right) + E_{fr-\log} \quad (2)$$

ここで、$E_{fr\text{-timber}}$：製材品のヤング係数推定値（kN/mm^2）、r：樹心から製材品までの距離（mm）、s：樹心からの距離とヤング係数との関係を示す傾き（kN/mm）、B：境界値（mm）、R：丸太の半径（mm）、$E_{fr\text{-log}}$：丸太のヤング係数（kN/mm^2）（スギ大径材20本の平均値、s=0.051、B=89.2）

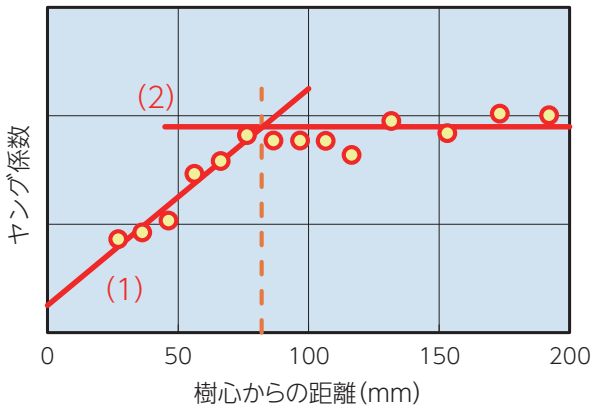


図1 ヤング係数の半径方向の変動のモデル化

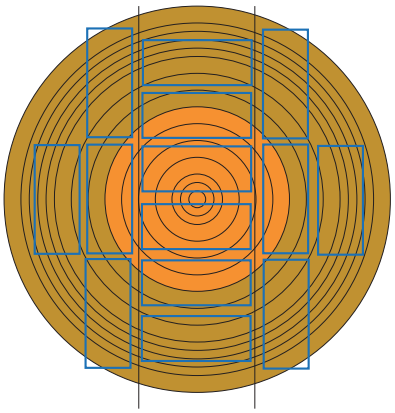


図2 スギ丸太から204材を採材したときの木取り

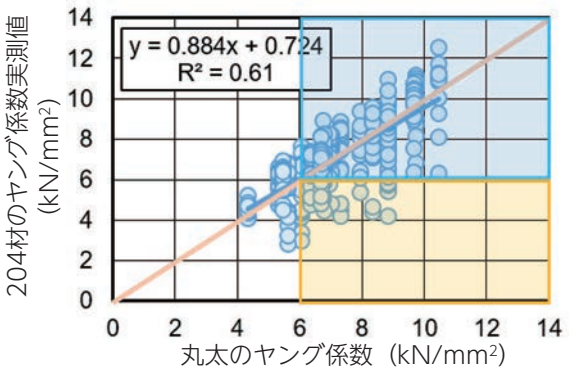


図3 丸太のヤング係数と204材のヤング係数実測値との関係

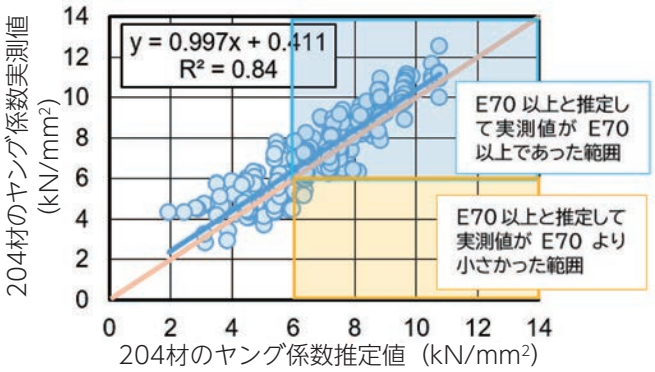


図4 204材のヤング係数の推定値と実測値との関係

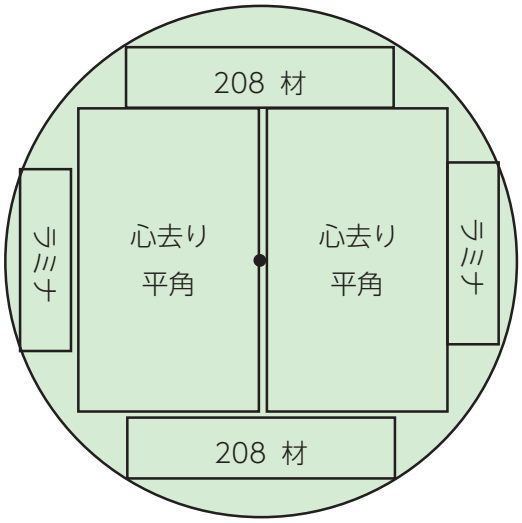
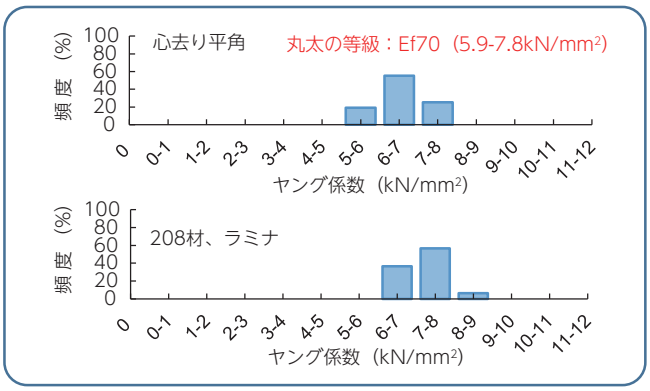


図5 末口径38cmのスギ丸太から仮定した平角、208材、ラミナの混合木取り



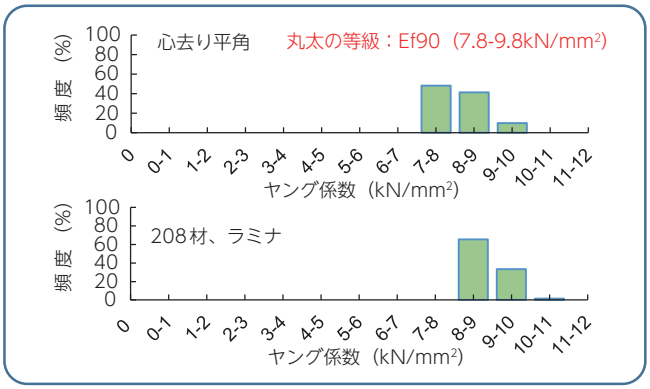


図6 図5で採材した製材品のヤング係数の分布

丸太段階で製材品のヤング係数を推定する技術の開発（カラマツ・トドマツ）

北海道総研林産試験場　松本和茂、大橋義徳、古田直之、土橋英亮、高梨隆也、石原亘

丸太横断面内のヤング係数分布簡易評価方法でカラマツとトドマツのヤング係数分布を調べ、樹種ごとに樹心からの距離とヤング係数の関係を示すモデル式を作成しました。また、大径材から採材した様々な製材品のヤング係数をこの式で推定した結果、製材品のヤング係数を丸太のヤング係数と見なす場合と比べ推定精度が大幅に向上することがわかりました。

丸太横断面内ヤング係数分布のモデル化

北海道内で伐採したカラマツおよびトドマツの大径材（表１）を対象に、丸太横断面内のヤング係数分布を「簡易評価方法」（9ページ参照）で測定しました。その結果、樹心からの距離とヤング係数の関係は、未成熟材部、成熟材部のそれぞれについて異なる数式で表される直線で回帰できることがわかりました（図1）。ここでは２本の回帰直線の交点の樹心からの距離を未成熟材部と成熟材部の境界値とし、丸太横断面内のヤング係数分布モデル式を次のように導きました（表２、図２）。

（$r < B$のとき）

$$E_{fr-\mathrm{timber}} = a \times \left(r - B + \frac{B^3}{3R^2} \right) + b \times \left(B - \frac{2R}{3} - \frac{B^3}{3R^2} \right) + E_{fr-\log}$$

（$r \geqq B$のとき）

$$E_{fr-\mathrm{timber}} = \frac{a \times B^3}{3R^2} + b \times \left(r - \frac{2R}{3} - \frac{B^3}{3R^2} \right) + E_{fr-\log}$$

ここで、$E_{fr\text{-timber}}$：製材品のヤング係数推定値(kN/mm^2)、a：未成熟材部の回帰直線の傾き(kN/mm)、r：樹心から製材品までの距離(mm)、B：境界値(mm)、R：丸太の半径(mm)、b：成熟材部の回帰直線の傾き(kN/mm)、$E_{fr\text{-log}}$：丸太のヤング係数(kN/mm^2)

樹種ごとの特徴としては、カラマツは未成熟材部の傾きが大きく、かつ未成熟材部と成熟材部の境界値が大きいため、丸太横断面内の位置の違いによるヤング係数の差が大きくなります。一方、トドマツはカラマツと比べて未成熟材部、成熟材部ともに直線の傾きは小さく、ヤング係数分布が比較的均一な材といえます。

モデルによるヤング係数の推定精度の検証

大径材に各種木取り（図３）を適用して製材試験を行い、得られた製材品のヤング係数を測定しました。その結果、丸太のヤング係数と製材品のヤング係数とをプロットした場合（図４）よりも、モデルによるヤング係数推定値と実測値とをプロットした場合（図５）の方が決定係数（R^2）は大きく、ヤング係数の推定精度が向上することがわかりました。したがって、カラマツやトドマツでも製材する前に、丸太から得られる製材品のヤング係数を高い精度で推定できます。

カラマツ、トドマツ大径材の利用拡大のために

カラマツは成熟材部から得られる製材品の強度が高くなる点を活かした製品開発、トドマツは材の均一性を活かした内装用下地合板としての利用や、強度のバラツキが比較的小さいことを活かした集成管柱やCLT用のラミナとしての利用が想定されます。丸太段階でヤング係数分布を考慮して製材品のヤング係数を推定する今回開発した手法は、こうした新、たな用途開発に有効と考えられます。

表1 簡易評価に用いた丸太の概要

樹種	径級 (cm)	本数	ヤング係数平均値 (kN/mm²)
カラマツ	32～38	20	10.0
トドマツ	36～42	20	9.1

表2 ヤング係数プロットの回帰直線の傾き及び境界値

樹種	回帰直線の傾き (kN/mm²/mm)		境界値 (mm)
	未成熟材部	成熟材部	
カラマツ	0.0583	0.0135	114
トドマツ	0.0411	0.0079	89

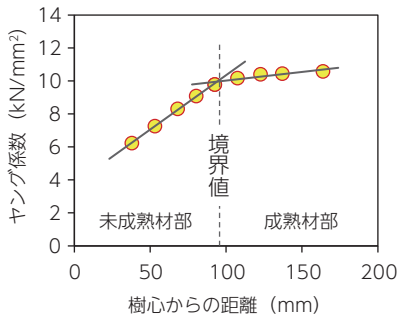
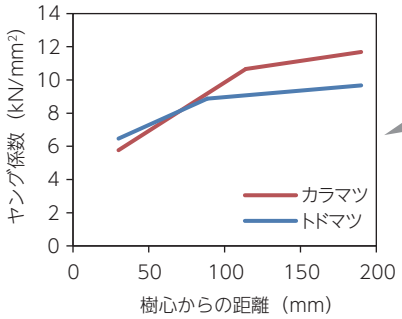


図1 ヤング係数のプロットと回帰直線

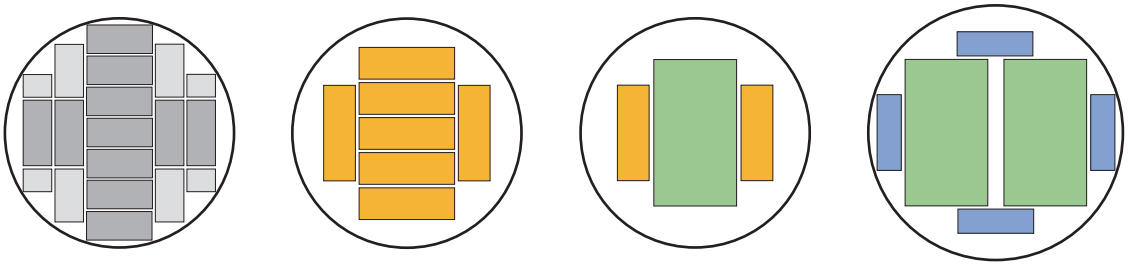


モデル式に測定した丸太 20本の平均値を代入したときのグラフ

カラマツの代入値
ヤング係数10.0kN/mm²
半径 185mm

トドマツの代入値
ヤング係数 9.1kN/mm²
半径 204mm

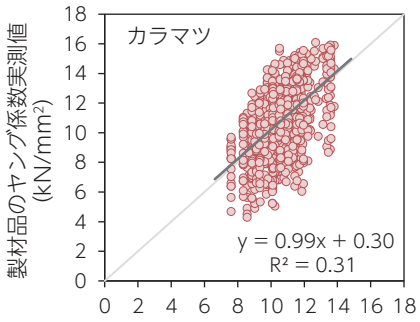
図2 樹種別の丸太横断面内のヤング係数分布モデル

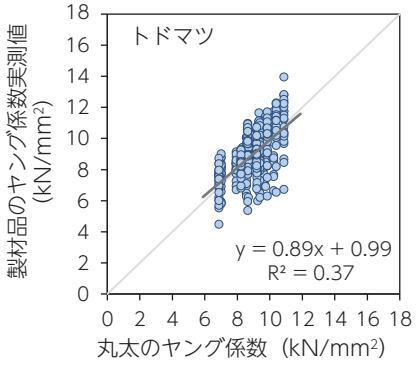


①204材＋副材*　②206材　③心持ち平角＋206材　④心去り平角＋ラミナ

図3 検討した木取りパターン（カラマツ：①②③④、トドマツ：①）

*①の木取りでは主製品以外に副材（202材、203材など）を取りました。

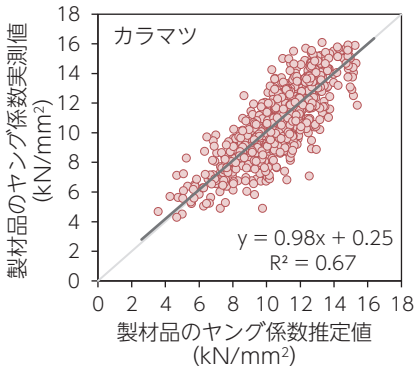




カラマツ試験体数
204材：239本
副材：144本
206材：300本
ラミナ：109本
平角：105本

推定精度が飛躍的に向上

トドマツ試験体数
204材：265本
副材：167本



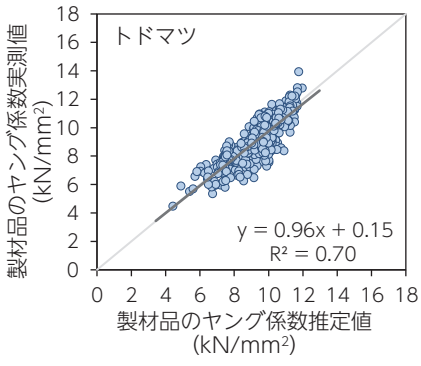


図4 丸太のヤング係数と製材品のヤング係数の関係

図5 ヤング係数推定値と実測値の関係

要求される強度特性を満たす製材品が得られることを丸太段階で判別

森林総合研究所　加藤英雄、長尾博文、井道裕史、原田真樹、静岡大学　小川敬多
北海道総研林産試験場　松本和茂、大橋義徳、古田直之、土橋英亮、高梨隆也、石原亘

製材品のヤング係数が明らかになれば、その製材品が日本農林規格（JAS規格）で定める曲げ性能による機械等級区分のどれに該当するか決めることができます。JAS規格による等級が決まれば、基準強度も決まります。そのため、今回開発した製材品のヤング係数を推定する技術を用いれば、要求される強度特性、すなわちヤング係数と基準強度を満たす製材品が得られることを丸太段階で判別することができます。しかし、現在使われているJAS規格の等級と基準強度との対応は、主に小・中径材から得られた製材品による強度データに基づいているので、大径材から得られた製材品でも同じ対応となるのか不安視されていました。そこで、大径材から得られた製材品のヤング係数と強度との関係を確認しました。その結果、従来のヤング係数と基準強度との対応で問題ありませんでした。

大径材から得られる製材品の等級を予め判定する

今回、丸太段階で製材品のヤング係数を精度良く推定する技術を開発しました（17、19ページ参照）。製材品のヤング係数がわかると製材の日本農林規格（JAS）で定める機械等級が決まり、その等級に対応した建築基準法施行令に基づき定めた基準強度が決まります（表1）。つまり、丸太から生産できる製材品のヤング係数や機械等級を高い精度で予め判定することができれば、結果として基準強度を推定することにつながります。したがって、要求される強度特性、すなわち製材品のヤング係数と基準強度を満たす製材品を木取ることができる丸太を選ぶことができます。

大径材から得られた製材品の強度を確かめる

しかし、大径材から得られた製材品は小・中径材から得られた製材品とは強度が異なるおそれがあり、基準強度を満たすかどうか確認する必要がありました。そこで、スギ及びカラマツ大径材から採材した製材品を用いて強度試験を行い、ヤング係数と曲げ強度との関係を調べました（図1）。図中の赤線および青線は基準強度を示し、これよりプロットが上にあることが基準強度を満たしていることを意味します。また、製材のJASではヤング係数の等級ごとに基準強度が異なるため赤線のような階段状になります。また、青線は、枠組壁工法で多く用いられている甲種枠組材2級の基準強度です。曲げ強度と基準強度を比較した結果、スギ、カラマツともにほとんどの試験体が基準強度を満たしていました。したがって、大径材から得られた製材品の強度に問題ないことが確認できました。

表1 日本農林規格で定める構造用製材の等級区分とそれに対応した曲げの基準強度

日本農林規格（JAS）	等級区分	等級	曲げヤング係数の範囲（kN/mm²）		曲げの基準強度（N/mm²） スギ	カラマツ
製材	機械等級区分構造用製材	E50	3.9 以上	5.9 未満	24.0	13.8
		E70	5.9 以上	7.8 未満	29.4	22.2
		E90	7.8 以上	9.8 未満	34.8	30.6
		E110	9.8 以上	11.8 未満	40.8	38.4
		E130	11.8 以上	13.7 未満	46.2	46.8
		E150	13.7 以上		51.6	55.2
	目視等級区分甲種構造材	2級	—		25.8	25.8
		3級			22.2	23.4
枠組壁工法構造用製材	目視等級区分甲種枠組材	特級	—		28.4	22.5
		2級			19.5	15.5

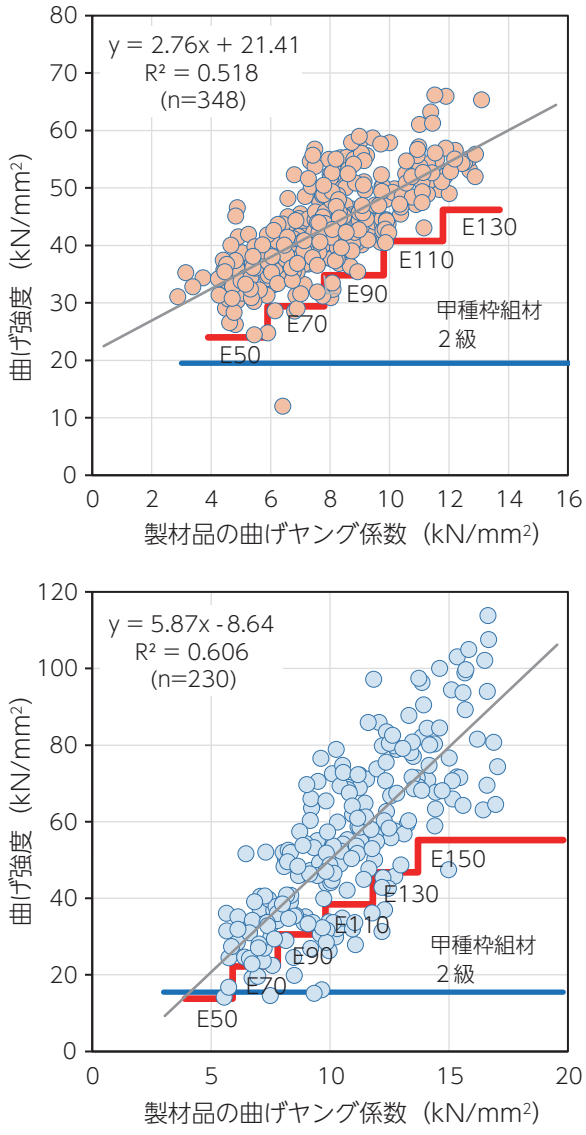


図1 製材品のヤング係数と曲げ強度との関係（上：スギ、下：カラマツ）
赤線：機械等級区分構造用製材の曲げの基準強度、青線：目視等級甲種枠組材2級の曲げの基準強度

製材品の密度とせん断強度の関係および心持ち・心去り平角の曲げ強度

熊本県林業研究・研修センター　徳丸善浩、池田元吉
熊本県菊池地域振興局　荒木博章、熊本県玉名地域振興局　野口琢郎
熊本県林業振興課　平田晃久

横架材に要求される強度にはヤング係数のほか、せん断強度や曲げ強度があります。枠組壁工法用の製材品のせん断強度と密度の関係を調べたところ、正の相関があることがわかりました。また、スギ大径材から採材した平角の曲げ強度を調べたところ、1本の丸太から同じ寸法で採材した心去り材の平角の曲げ強度は心持ち材の平角より高いことがわかりました。

多様な木取りの試み

末口径が40cmを超えるような大径材では、これまでの小・中径材では不可能だった多様な木取りを採用することが可能です（図1）。例えば、枠組壁工法用部材のうち幅広で梁せいが高い横架材（208材：断面寸法38×184mm、210材：断面寸法38×235mm）を採材することができます。また、軸組構法で従来使われている樹心を含む心持ち材に加え、樹心を含まない心去りの正角や平角も木取ることができます。

枠組壁工法用部材の密度とせん断強度

せん断強度は横架材に要求される強度の1つですが、設計で用いるせん断強度の等級区分は我が国にはありません。一方、枠組壁工法発祥の北米では、オプションではありますが、密度によるせん断強度の等級区分ができる仕組みがあります。我が国でも密度によるせん断強度の等級区分を導入することにより部材の有効利用につながります。

そこで、スギの枠組壁工法用部材の密度とせん断強度との関係を実大サイズの断面で調べた結果、ばらつきは大きいものの密度が大きくなるに従い、せん断強度が増加する傾向が認められました（図2）。北米と同様スギについても密度をパラメータとしたせん断強度の等級区分の可能性があると考えられます。そのため、本プロジェクトで開発した密度推定技術（13ページ参照）を活用すれば、製材品のせん断強度を丸太段階で推定できる可能性があります。

心持ち・心去り平角のヤング係数と曲げ強度

図1のように1本の丸太から断面寸法が同じ心持ち平角と心去り平角の両方を採材することができます。しかし、この違いがヤング係数や曲げ強度にどの程度影響しているのか不明な点があります。そこで、ヤング係数が3.2kN/mm^2～7.7kN/mm^{2}の範囲で末口径が40cmを超えるスギ大径材から断面寸法が105×180mmの心持ち平角と心去り平角の両方を採材し、強度試験を行いました。その結果、平角のヤング係数と平角の曲げ強度との間には正の相関が認められました。また、試験した心去り材と心持ち材の強度特性を統計解析により比較したところ、心去り材の強度は心持ち材より高いことがわかりました。ヤング係数では、心去り材の方が高い傾向がありましたが、統計的には差がありませんでした（図3）。

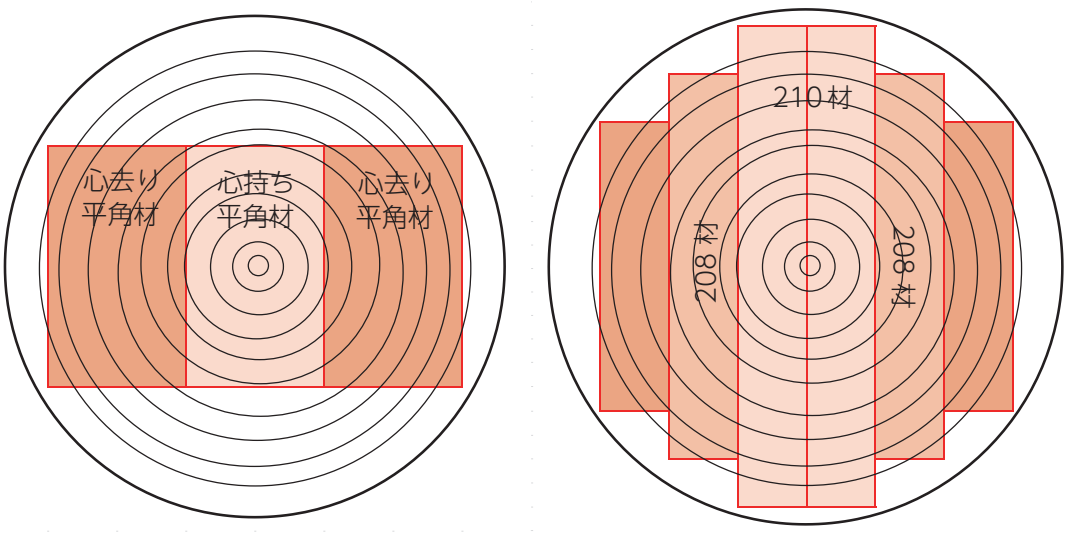


図1 末口径40cm以上の大径材の木取り例

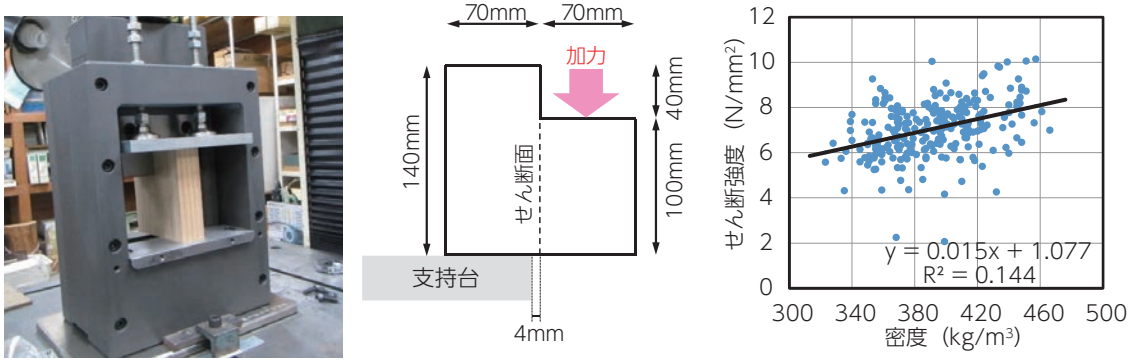


図2 スギの枠組壁工法用の製材品によるせん断試験の概要と結果
（左：試験の様子、中：試験のセットアップ状態、右：密度とせん断強度との関係）

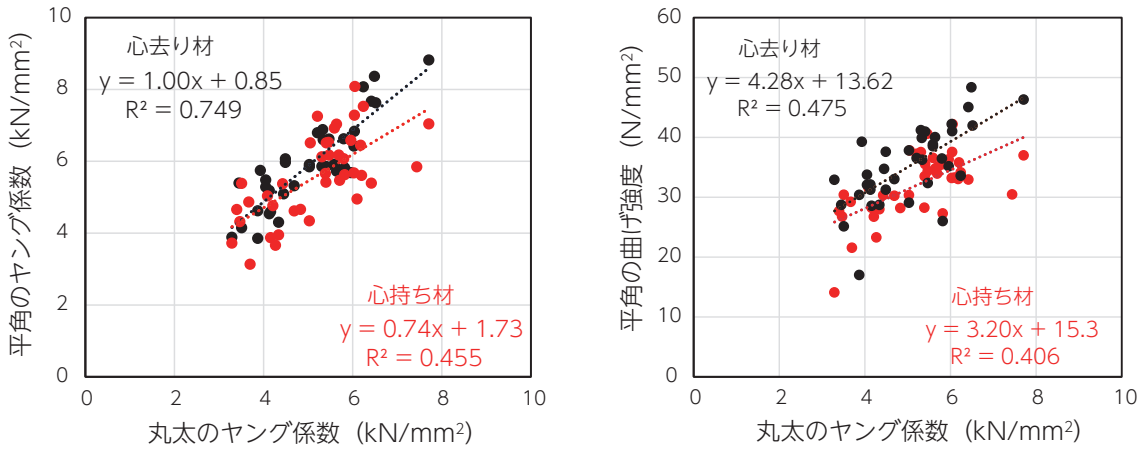


図3 丸太のヤング係数と平角のヤング係数並びに曲げ強度との関係

断面が大きいスギ製材品の曲げ強度の安全性を検証

森林総合研究所　井道裕史、加藤英雄、長尾博文、原田真樹、静岡大学　小川敬多
熊本県菊池地域振興局　荒木博章、熊本県玉名地域振興局　野口琢郎
宮崎県木材利用技術センター　荒武志朗、松元明弘

製材品の曲げ強度は材せいが大きくなるにつれ低下します。材せいの増加に対する強度の低下は寸法効果と呼ばれて実験的に検証されてきましたが、材せいの大きい製材品に対するデータは十分ではありませんでした。そこで、スギの大径材から採材した材せいが大きな製材品の曲げ試験を行い、寸法効果を検証しました。その結果、これまでに提案された寸法効果を示すパラメータであれば、材せいの大きな製材品でも安全に使用できることがわかりました。

寸法効果とわが国の状況

国産材の大径化に伴い、断面寸法の大きな製材品も生産できるようになりました。そのため、断面寸法のうち特に材せいが大きなものが、今後木造建築物の梁桁などの横架材として本格的に利用されることが見込まれます。

木材には断面寸法が大きくなるにつれ強度が低下する現象があり、寸法効果として知られています（図1）。曲げ強度について、アメリカやヨーロッパでは、この寸法効果を考慮して基準強度を定めています。しかし、わが国の軸組構法で使う正角や平角などを対象とした規格では、断面寸法の違いに応じて基準強度を調整する方法は定められていません。また、わが国の枠組壁工法用部材を対象とした規格では、アメリカの方法を参考にした曲げ強度を寸法に応じて基準強度を調整するためのパラメータ（寸法調整係数）はあるものの、スギについては十分な検証はされていませんでした。

曲げ試験による寸法効果の検討

近年、これまでに得られた強度データで、曲げ強度の寸法効果の検討が行われました。その結果、軸組構法で使う正角や平角の寸法調整係数は0.4～0.5が適当であるとの結論が得られましたが、その強度データは小・中径材からのものが多く、近年増加傾向にある大径材から得られた材せいの大きな製材品の強度データが極めて少ないことが懸念材料でした。

そこで、スギ大径材から採材した材せいの大きな軸組構法用と枠組壁工法用の製材品の曲げ強度試験を行い（写真1）、材せいの大きな製材品を含めて曲げ強度の寸法効果を調べました。

曲げ強度における寸法効果の検証

寸法効果の検証は、以下のように行いました。まず、軸組構法用部材（軸組材）および枠組壁工法用部材（枠組材）について、基準となる製材品とそれに対応する曲げ強度を設定し、寸法調整係数を0.4として、材せいの増加に伴う強度の低減を表す曲線をそれぞれ求めました（図2）。基準となる製材品について、軸組材では、材せいを150mm、スギの平均的なヤング係数である機械等級（E70）の曲げの基準強度29.4N/mm^{2}を設定し、枠組材では、材せいを89mm、スギの甲種2級の曲げの基準強度19.5N/mm^{2}を設定しました。得られた曲線で評価した曲げ強度と試験による曲げ強度とを比較した結果、軸組材、枠組材ともに試験体の大部分が曲線を上回り、材せいの大きな断面であってもこれらの寸法調整係数を用いることで、安全に使用できることがわかりました。

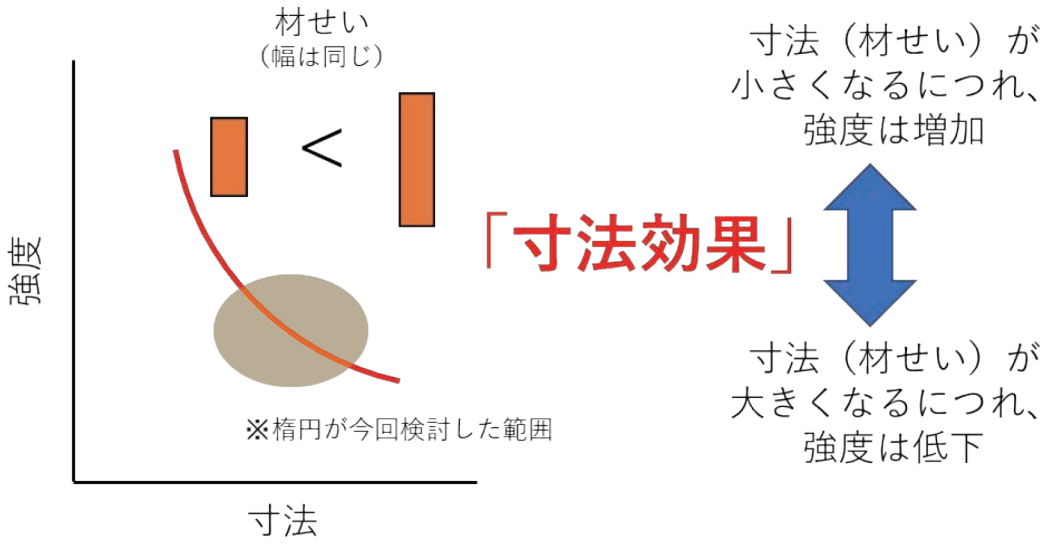


図1 寸法効果のイメージ

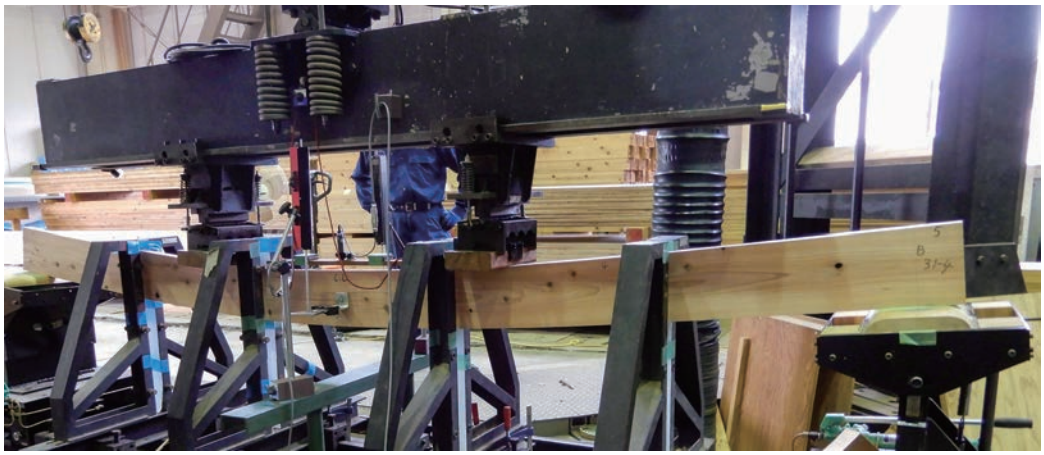


写真1 枠組材（208材：材せい184mm）の曲げ試験の様子

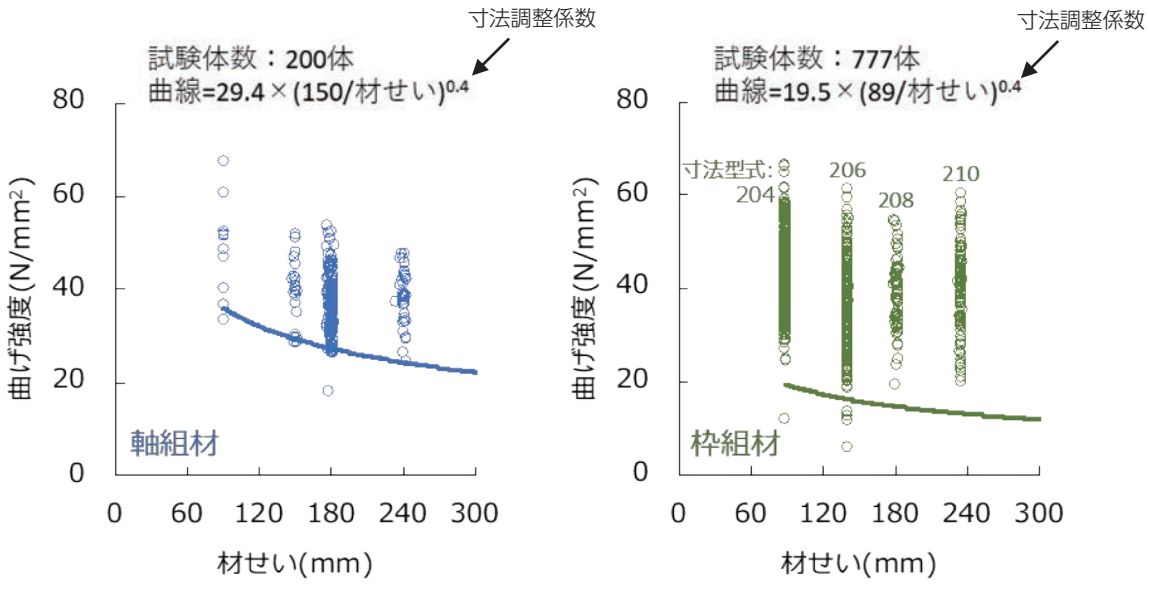


図2 材せいと曲げ強度との関係（左：軸組材、右：枠組材）

スギの枠組壁工法用部材の長期的なたわみを予測

宮崎県木材利用技術センター　荒武志朗、松元明弘、中谷誠、森林総合研究所　加藤英雄
建築研究所　槌本敬大、北海道総研林産試験場　大橋義徳、石原亘、高梨隆也

スギの枠組壁工法用部材（断面38×140mm、以下206材）の一定荷重下での長期的なたわみ（クリープと呼びます）の変動を、温湿度が変化する条件（自然環境下）で検討しました。結果の概要は、以下のとおりです。① 梅雨の4ヶ月前に負荷すると、梅雨時のたわみ増加が顕著でしたが、翌年以降は安定することが明らかになりました。② 自然環境下における50年後のたわみを精度良く予測する方法を見出しました。③ スギ206材の長期的なたわみは、自然環境下であっても、告示※で定められた基準値（変形増大係数=2）を満たしていました。

※平成12年建設省告示第1459号

50年後のたわみを推定する必要性

木材に力が加わるとたわみが生じます。このたわみは時間の経過とともに増加します。これをクリープと呼びます。これまでに、スギの枠組壁工法構造用製材のクリープ（長期たわみ）を検討した例はありません。しかし、同材を構造材として普及させるためには、長期的な性能が告示※の定める基準値を満たすことも重要です。この基準は50年後に推定されるたわみの初期のたわみに対する比として定められています（変形増大係数）。そこで、クリープ試験によって、50年後のたわみを推定し、基準値を満たすことを確認しました。

試験の方法

クリープ試験には、強度とヤング係数の異なる（等級1200Fb-0.7Eと900Fb-1.0E）スギ206材の各2体（計4体）を供試しました。試験体の詳細を表1に示します。試験は、温湿度が変動する条件（自然環境下）において実施しました（図1、写真1-2）。供試材のうち各等級の1体は、2018年1月に試験を開始し（以下、冬スタート）、残りの各等級の１体は同年8月に試験を開始しました（以下、夏スタート）。

試験の結果と得られた成果

図２にたわみの推移を示します。まず、冬スタートのたわみ（左図）を見ると、何れも最初の梅雨前後までの増加が顕著ですが、翌年以降には、同時期の顕著な増加は殆ど認められませんでした。次に、夏スタートのたわみ（右図）を見ると、全試験期間を通して梅雨前後の増加はさほど大きくありませんでした。

ここで、クリープ調整係数を求めるために、（1）式に示すPower則と建築基準法に基づく平成12年建設省告示第1446号第3第一号における方法（告示法、（2）式）から相対クリープ（δ_t/δ_0）の予測を試みました。

$$\delta_t/\delta_0 = 1 + at^N \qquad (1)$$

$$\delta_t/\delta_0 = 1/(10^{e}t^{f}) \qquad (2)$$

ここで、δ_tは時間tにおけるたわみ、δ_0は初期たわみ、a、N、e、fは定数です。

図3、4に、相対クリープ（たわみ／初期たわみ）の実測値と（1）式と（2）式で求めた予測値の比較を示します（冬スタートと夏スタート）。なお、各予測値は、載荷当初の不安定期を除いて求めました。何れも実測値と予測値が非常に良く一致しており、この方法による自然環境下におけるクリープ曲線予測の有効性が示されています。これを受けて、各曲線から、クリープ調整係数を求めた結果、0.7E冬スタートでは1.90、0.7E夏スタートでは1.26、1.0E冬スタートでは1.38、1.0E夏スタートでは1.36でした。告示※の基準値（変形増大係数＝2）の範囲内に収まっており、この結果から、スギ206材は長期間使用しても問題ないと考えられます。

表1 クリープ試験体

記号	密度 kg/m^3	含水率 %	Efr kN/mm^2	面外変位 mm
0.7E-w	376	10.2	4.67	6
0.7E-s	370	12.2	5.49	1
1.0E-w	428	10.9	7.53	7
1.0E-s	442	11.0	7.51	8

0.7E-w, 1.0E-w：冬スタート
0.7E-S, 1.0E-S： 夏スタート
Efr: 縦振動ヤング係数

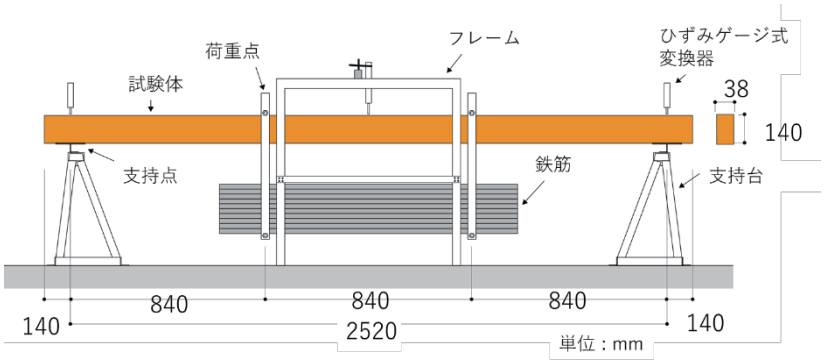


図1 実験装置の概要

写真1 実験風景

写真2 たわみ測定

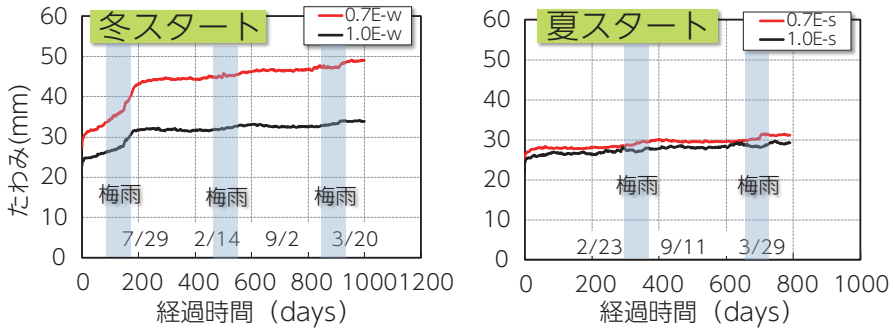


図2 たわみの推移

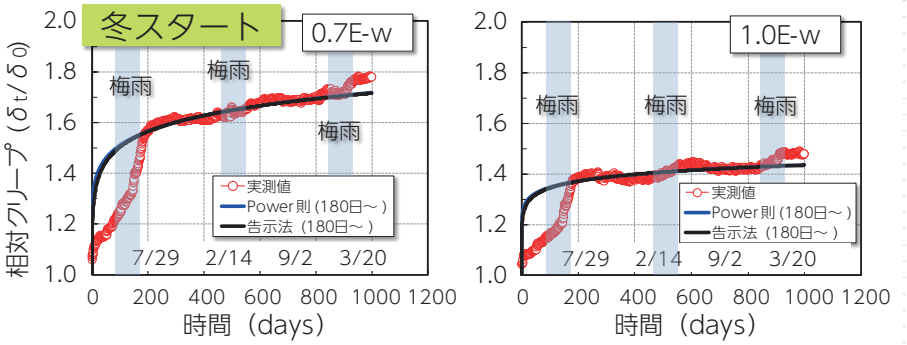


図3 冬スタートの相対クリープ予測

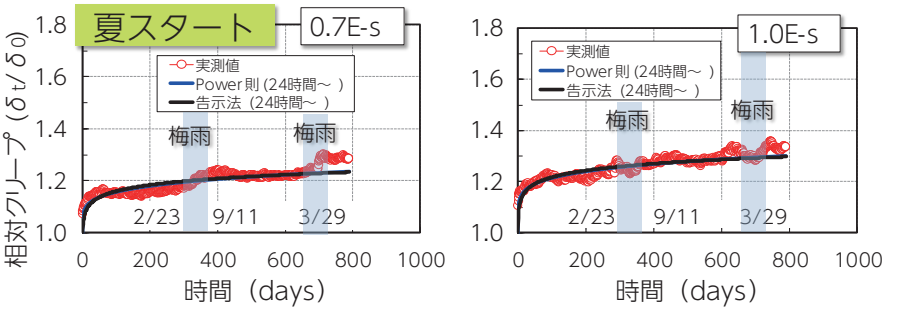


図4 夏スタートの相対クリープ予測

大径材から採材したスギ製材品の長期荷重に対する安全性を検証

建築研究所　槌本敬大、森林総合研究所　加藤英雄
北海道総研林産試験場　大橋義徳、高梨隆也、石原亘
宮崎県木材利用技術センター　荒武志朗、松元明弘、中谷誠

継続して木材に力（荷重）をかけた場合に壊れる荷重から計算される強度を長期強度とよび、建築構造設計では長期強度は短期強度の55％として運用されています。実際に50年間の試験はできませんが、荷重を変えて行うクリープ破壊試験の結果から、50年後に破壊にいたる荷重を推定することができます。そこで、大径材から採材した製材品に対してクリープ破壊試験を行い、50年後に55％以上の強度があることが推定され、安全であることを確認しました。

長期荷重が強度に及ぼす影響を調べる必要性

木材を建築構造用として使う場合、地震力や風圧力といった短期的な荷重のほかに、自重や積載物といった長期間継続する荷重も考慮する必要があります。木材に荷重が長期間かかり続けると、時間の経過とともに変形が進行するクリープ現象が起きます。荷重の継続時間が長くなると短期では壊れない程度の荷重でも破壊（クリープ破壊）が生じます（図１）。短時間で破壊させる通常の試験で得られる強度（短期強度）の80%の荷重がかかり続けると約3日で、72%の荷重では約3か月で、55%の荷重では50年でクリープ破壊が生じるとされています。そのため、我が国の現在の構造設計では、約50年間継続する荷重に対する強度を短期強度の55%とすることになっています。この現行基準は、北米で行われた研究結果をもとに設定されていますが、スギ大径材から採材される枠組壁工法用部材や心去り平角では長期荷重が強度に及ぼす影響について十分に検証されてきませんでした。そこで、長期荷重試験による強度評価を行うこととしました。

長期荷重（クリープ破壊）試験の方法

50年後にクリープ破壊が生じる荷重は長期間載荷し続ける試験によって実験的に求めますが、実際に50年間の載荷を行うことは事実上できません。そこで、短期強度の90%、80%、70%レベルの荷重を載荷し、破壊までの時間を測定することで長期強度を予測します。スギ大径材から採材した枠組壁工法用部材（寸法型式206）と心去り平角の2種類で長期荷重試験を行いました。このとき、木材に水分が吸脱着する挙動も長期挙動に影響するため、温湿度が変化しない環境（温湿度定常）と温湿度が変動する環境（温湿度非定常）の２通りの実験を行いました（写真１）。

試験の結果と得られた成果

試験結果を図２に示します。縦軸が荷重レベル、横軸が破壊までの時間（荷重継続時間）を示しています。各荷重レベルで求めた荷重継続時間の平均値は、現行の基準に基づく点線よりも右側にあり、荷重継続時間は長く、安全側となりました。また、温湿度が一定の環境でも変化する環境でもおおむね同様の結果が得られました。これにより、温湿度が変化する環境下でも長期強度を評価できること、大径材から得られる製材品に対して、現行の特性値を適用して問題ないことが確かめられました。

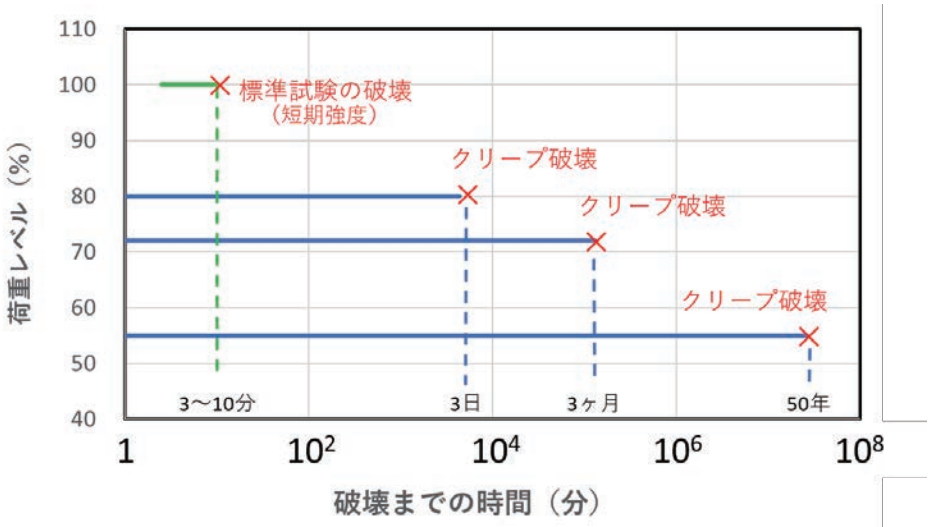


図1 クリープ破壊するまでの時間（荷重継続時間）と荷重レベルとの関係（イメージ）

写真1 長期荷重試験の様子（左：温湿度一定の条件、右：温湿度が変動する条件）

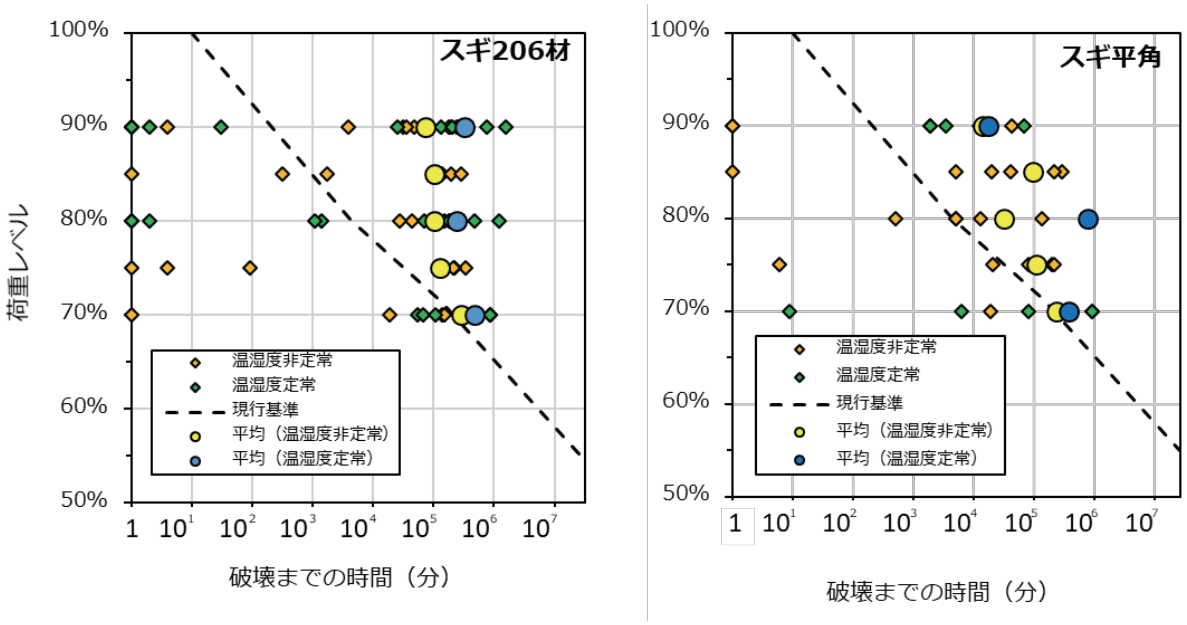


図2 破壊までの時間と荷重レベルとの関係（左：スギ206材、右：スギ平角）

スギ大径材から心去り平角を効率良く製材

森林総合研究所　伊神裕司、松村ゆかり、松田陽介、山下香菜

1本のスギ大径材丸太から2本の心去り平角を生産することができますが、心去り平角は製材時に発生する大きな反りが利用上の問題となっています。そこで、心去り平角の製材時の反りの大きさを詳しく調べた結果、2本のうち後から製材する心去り平角では、反りの大きさが先に製材する心去り平角よりも小さくなり、粗挽き寸法を小さく設定できることがわかりました。後から製材する心去り平角の粗挽き寸法を小さく設定することにより、歩留まりが向上するなど心去り平角の効率的な生産が可能となります。

心去り平角の製材における課題

スギ大径材からは大断面の心去り平角を生産することができます。しかし、樹木が成長する際に内部に溜まった力（成長応力）が製材時に解放されて大きな反りが発生することが問題となっています（図1）。通常、乾燥材の生産においては乾燥による収縮や変形を見込んで、最終的な製材品の寸法（仕上げ寸法）より大きな寸法（粗挽き寸法）で製材が行われます。心去り平角の場合は一般的に、製材時に生じる反りの修正に必要な分だけ粗挽き寸法が心持ち平角などと比較して大きくなるので歩留まりが低下します。また、乾燥工程に入る前に挽き直しによる反りの修正が行われますので非効率的です。そこで、送材車付き帯鋸盤を用いてスギ大径材から心去り平角を生産する際の製材方法と製材品の反りの関係を製材試験により調べ、心去り平角生産の効率化に向けた検討を行いました。

心去り平角を効率良く製材するために

試験には、一般的な心去り平角の木取りを採用しました（図2）。スギ大径材1本から生産する2本の心去り平角について、製材の順にそれぞれ平角Aおよび平角Bとします。幅方向の粗挽き寸法は仕上げ寸法より15mm大きく設定したのに対し、製材時に反る方向である厚さ方向の粗挽き寸法は仕上げ寸法より30mm大きく設定して製材試験を行いました（断面サイズ：粗挽き寸法135×225mm、仕上げ寸法105×210mm）。それぞれの平角の製材直後の反りの大きさ（矢高）を測定したところ、平角AおよびBの平均値は11.7mmおよび5.7mmであり、平角Bの反りは、挽き直しの必要がない程度に小さいことがわかりました（図3）。

これらのことから、心去り平角の製材時には図4に示すような現象が起きていると推察しています。図における鋸断6を行うと切り離された平角Aは大きく反ります。その際に、送材車上に残された平角Bを含む部分もかすがいで固定されているにもかかわらず反ります。続いて鋸断7を行うことにより斜線部分が切り離され、最後に反転し鋸断8を行います。斜線部分の厚さは、末口および元口部分と比較して中央部分で大きくなることも確認できました。平角Bについては、これら一連の製材手順の中で反りの修正を行う形になったと考えられ、この結果は平角Bについては粗挽き寸法を平角Aよりも小さくできることを示しています。以上のことから、平角Bの粗挽き寸法を小さく設定して製材を行えば、歩留まりが向上することに加え、平角Bについては挽き直しの作業も不要となり、心去り平角の効率的な生産が可能になります。

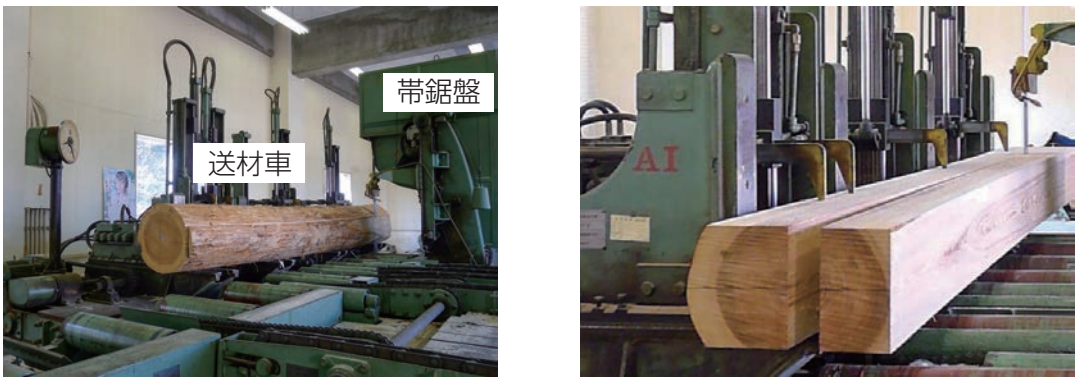


図1 送材車付き帯鋸盤による心去り平角の製材

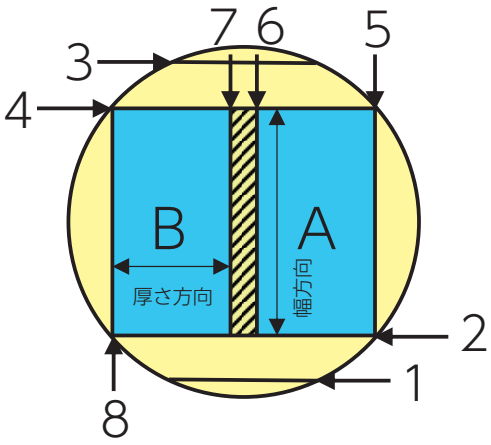


図2 心去り平角の木取り
数字は鋸断順(鋸を入れる順番)を示す。

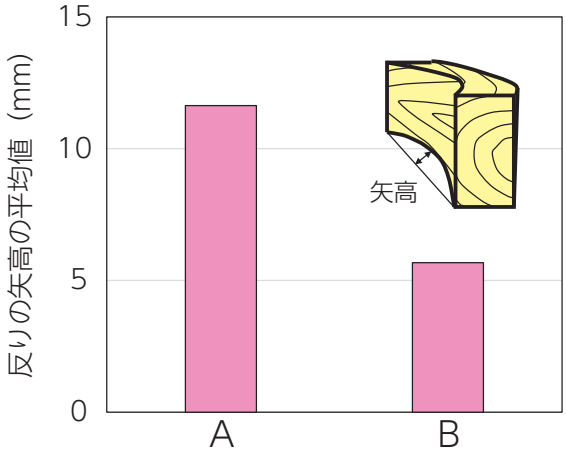


図3 心去り平角の反りの大きさ

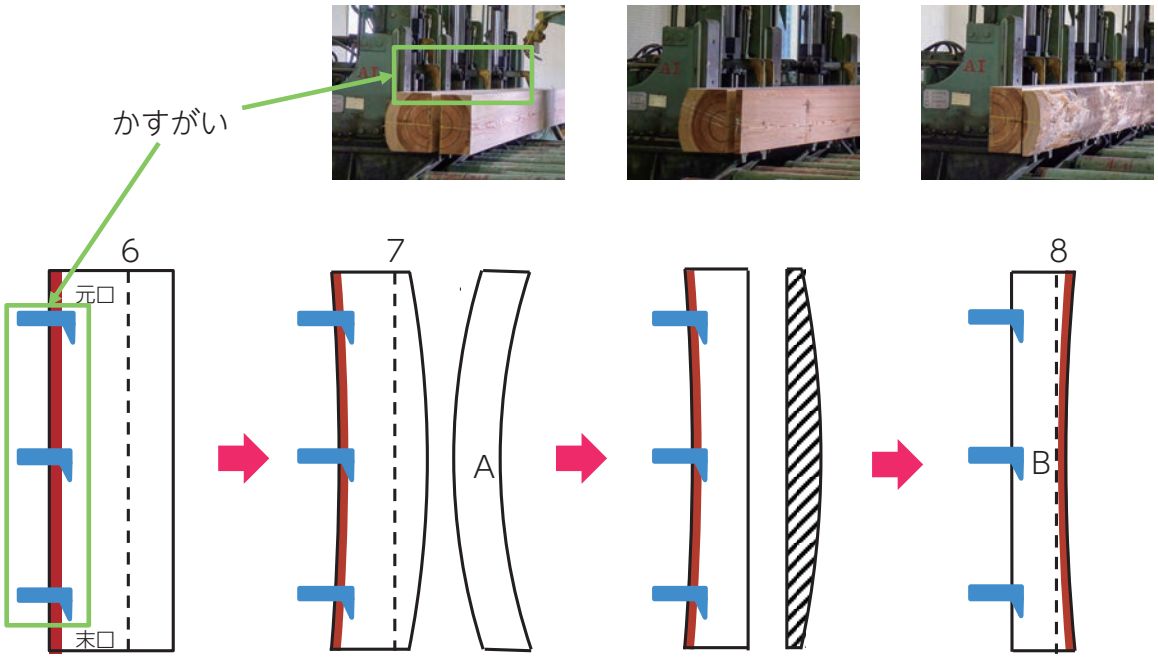


図4 心去り平角の製材の様子
製材の様子を写真および送材車を真上から見下ろした模式図により示す。

製材品の反り推定モデルの開発

名古屋大学　山本浩之、松尾美幸、吉田正人、常角翼、蒋卓廷
森林総合研究所　山下香菜、伊神裕司、松村ゆかり、松田陽介

丸太の中では、髄付近で圧縮、表面付近で引張となるような残留応力分布が、繊維方向に沿って生じています。そのため心去り材を製材すると反りが生じます。スギの大径材で、残留応力分布と製材品の反りを調べた結果、同じ樹種（スギ）であっても残留応力の大きさや分布パターンは様々であること、髄付近と樹皮付近との残留応力の差が大きいほど反りが大きくなることがわかりました。さらに、残留応力の分布や製材方法(木取り)によって材内の残留応力がどのように変化するのかを力学モデルを用いてシミュレーション（数値実験）しました。

成長応力と製材時の反りの関係

樹木の新しく形成される木材部分には繊維方向に引張の力（成長応力）が発生します。これと釣合いを取るために内部には圧縮の力が生じます。このプロセスは肥大成長の過程でずっと続き、結果として、髄付近では圧縮、樹皮付近では引張となるような力が存在します。これを樹幹内（丸太内）残留応力と言います。

心去り材を製材すると、髄側では圧縮の力が解放されて伸び、樹皮側では引張の力が解放されて縮むため、製材品には、木表側が凹（木裏側が凸）となるような反りが生じます（図1a）。しかし反りの量は、丸太の材質や木取り位置によって様々です。
そこで、スギ大径材で残留応力分布と製材により生じる反りを実測しました。また、残留応力の大きさや分布パターン、あるいは木取り方法の違いにより、製材品に生じる反りがどのように異なるのかを、力学的に予測するモデルを作成しました。

丸太内部の残留応力分布と製材品の反りの測定

長さ4mの丸太から髄を含む柾目板を製材し、長さ方向の中央で2mに分割しました。一方の柾目板では、残留応力解放ひずみ（力を解放した時の繊維方向の長さの変化）を、髄から樹皮側に向かって2cmごとに測定しました。また、別途引張試験によりヤング係数を測定し、残留応力へと換算しました。同じ樹種（スギ）であっても、個体によって解放ひずみの差（髄付近と樹皮側の差）の大きさは異なりました（図1b）。

もう一方の柾目板を髄に沿って縦に鋸断し、その時に生じる反りの曲率を測定しました。髄付近と樹皮付近を比較して、応力解放ひずみの差が大きい丸太では、曲率は総じて大きくなっていました（図2）。

反りの推定モデルとシミュレーション

製材品の反りに及ぼす残留応力の影響を詳しく予測するためには、力学モデルを用いるシミュレーション（数値実験）が役に立ちます。例として、丸太から心持ち平角を採材し、それをさらに２つの心去り正角に分割した場合について、残留応力分布の変化をシミュレーションした結果を図3に示します。心持ち平角の残留応力分布の傾向は髄付近で圧縮、樹皮側で引張ですが、心去り正角に製材すると、製材品に反りが発生しそれに伴って残留応力が減少すること、製材後もある程度残留応力が存在することなどがわかりました。また、製材品の反りのシミュレーション値と実測値との間に高い相関関係を確認しました（図4）。このモデルでは、製材手順（端から順に鋸断する、はじめに両端を鋸断する）を変えてシミュレーションすることもできます。今後は、反りの正確な予測と、反りが少ない製材方法の提案に向け、モデルの改良をすすめる予定です。

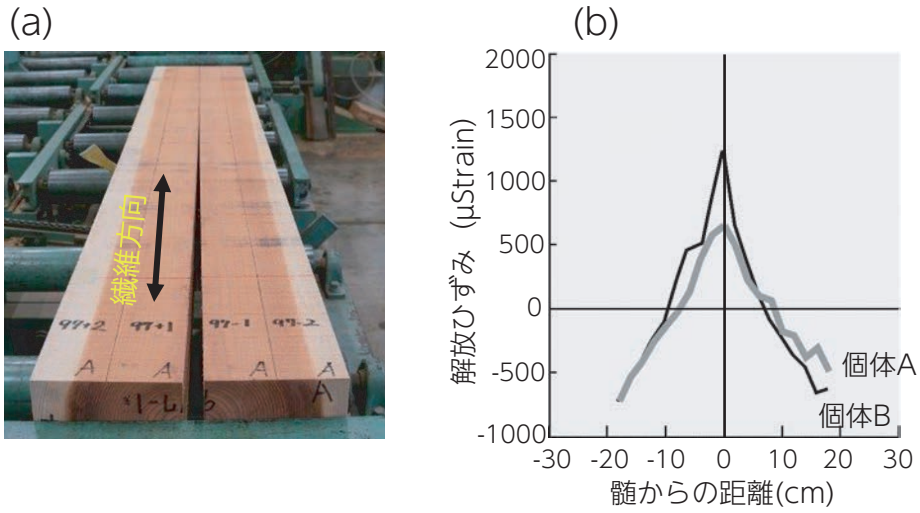


図1 製材品に生じる反りの様子 (a) と丸太内での残留応力解放ひずみの分布 (b)

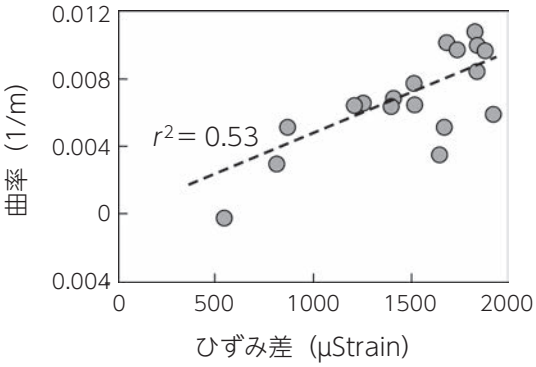


図2 実測による髄付近と樹皮付近の応力解放ひずみの差と製材品の曲率との関係

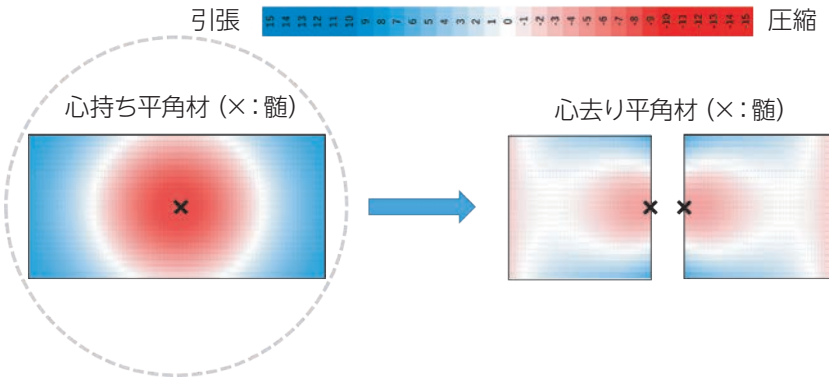


図3 心持ち平角を心去り正角に製材した時の材内残留応力分布変化のシミュレーション

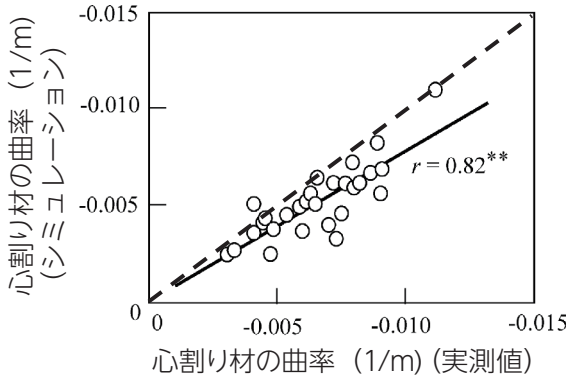


図4 大径心持ち平角を髄に沿って二分(心割り)したときの製材品の反りのシミュレーション値と実測値との比較

スギ心去り平角の天然乾燥と人工乾燥（蒸気式乾燥）における適切な乾燥日数

森林総合研究所　齋藤周逸

平角を大径材から製材する場合、樹心を含まない心去り木取りが可能です。心去り平角を対象に、天然乾燥法と一般的な人工乾燥法（蒸気式乾燥法）による乾燥工程を検証しました。天然乾燥では、乾燥を始める季節によって乾燥日数が異なり、初期含水率100％の心去り平角の含水率20％までの乾燥日数は、春期スタートの場合約150日、秋期スタートでは約260日でした。また、初期含水率100％、断面寸法210×135mmの心去り平角の人工乾燥において含水率20％まで低下させるために要する日数は20日でした。

基本的な乾燥材生産方法

乾燥材を生産する方法には、天然乾燥法と人工乾燥法があります。天然乾燥法は、外気の温湿度下で木材内の水分を蒸発させる方法です。人工乾燥法は、乾燥装置（図1）によって人為的に設定した温湿度下で所定の含水率に調整する方法です。

乾燥材生産

住宅の品質・性能に対する消費者ニーズの高まりにより、寸法安定性に優れた乾燥材の供給が求められています。したがって、平角も十分に乾燥することが重要です。図2は蒸気式の人工乾燥装置に平角を桟積みして、乾燥する様子です。ここでは天然乾燥と蒸気式人工乾燥における、乾燥前の含水率ごとに必要な乾燥日数を調べました。

平角の含水率

乾燥材の生産工程において乾燥前の含水率を把握しておくことは重要です。これにより、初期含水率に応じた適切な乾燥を施すことができます。天然乾燥および人工乾燥試験に用いたスギ心去り平角の初期含水率は、平均が86％、その範囲は30～220％でした（図3）。

天然乾燥法による乾燥材生産

図4は、断面寸法210×135mmの心去り平角について、初期含水率と含水率20％まで乾燥させたときの乾燥日数との関係を、乾燥を始める季節別にしたものです。天然乾燥では、乾燥を始める季節によって乾燥日数が異なることが特徴です。平角のように断面の大きな材ではその差も大きくなるので、乾燥を開始する季節の選定は、乾燥材生産の計画策定において非常に重要な要素となります。

人工乾燥法による乾燥材生産

図5は、断面寸法 210, 240, 270×135mmの心去り平角について、初期含水率と含水率20％まで乾燥させたときの乾燥日数との関係を、断面寸法別に示したものです。乾燥温度は80～90℃です。

断面寸法210×135ｍｍの場合、含水率を20％まで低下させるために要する日数は、初期含水率が80％のときで15日、100％のときで20日でした。スギ心去り平角の約3割を占める初期含水率が100％以上の場合では（図3）、さらに乾燥日数が長くなりました。スギの乾燥材生産を効率的に行うためには、初期含水率による選別が効果的と言えます。

図1 人工乾燥装置

図2 乾燥処理前の心去り平角

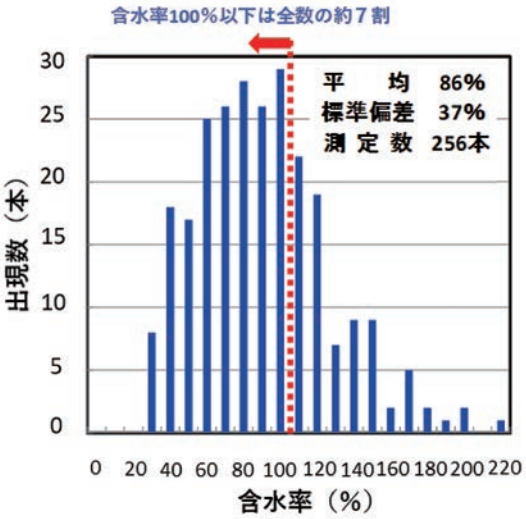


図3 スギ心去り平角の初期含水率分布

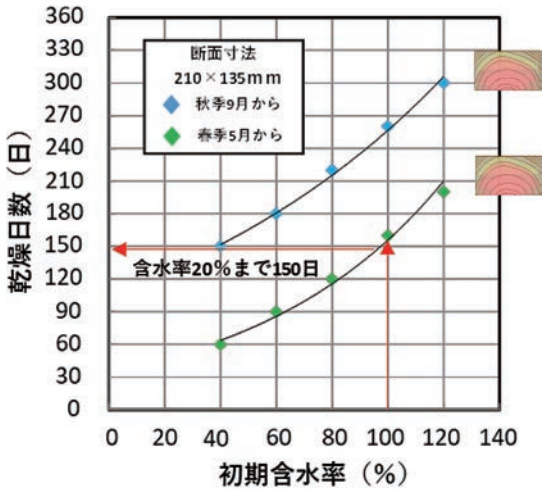


図4 スギ心去り平角の含水率20%以下を達成するまでの天然乾燥日数

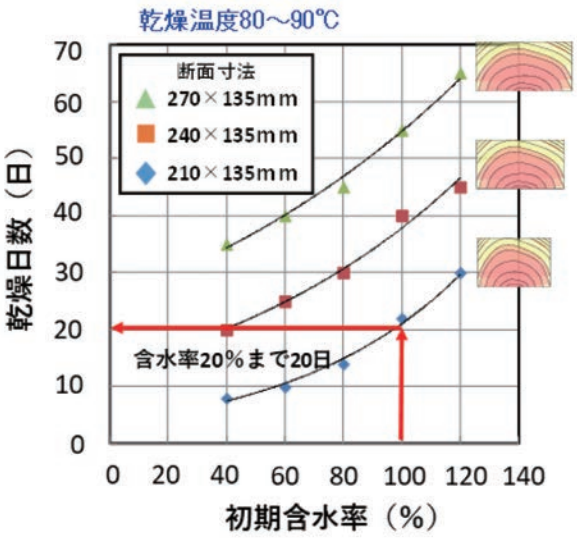


図5 スギ心去り平角の人工乾燥

スギ心去り平角・枠組壁工法用部材の弱減圧乾燥技術の開発

岐阜県森林研究所　土肥基生、田中健斗
森林総合研究所　齋藤周逸

平角など断面の大きな製材品の人工乾燥では、一般的に乾燥にかかる日数が長くなります。特にスギは他の樹種に比べて初期含水率が高いため、乾燥工程の効率化が求められます。スギ心去り平角の乾燥に熱風加熱式の弱減圧乾燥（約40kPa）を適用したところ、従来法である蒸気式乾燥に比べ所要日数を1/2以下にすることができました。また、スギ枠組壁工法用部材では、3日間で十分乾燥できることも明らかになりました。

弱減圧乾燥の概要

人工乾燥では一般的に蒸気式乾燥法が適用されます。ボイラーで発生させた蒸気を通したヒーター管で乾燥機内の空気を加熱し、加熱空気をファンで循環させる乾燥方法で、断面の大きな製材品の乾燥には時間がかかります。弱減圧乾燥では製材品を加熱する方法は蒸気式と同じですが、機内空気を真空ポンプ（図１）で吸引し機内圧力を下げることで沸点を低くします。例えば乾燥機内の圧力が40kPaでは沸点が約75℃となり、乾燥温度をこれより高くすれば木材内部の水分が沸騰するため乾燥の高速化を図ることができます。

スギ心去り平角への適用

スギ大径材から採材した断面寸法135×210mm（仕上げ寸法120×180mm）の心去り平角の弱減圧乾燥を行ったところ、圧力を低くするほど急速に乾燥させることができました。ただし、内部割れや表面割れの発生を抑制するためには、乾球温度80℃～90℃（初期～末期）、圧力40kPa（一定）の条件が最適であることがわかりました。初期含水率が100～110％の場合には、JAS規格で定める乾燥材の基準値20％を下回るのに要した日数は9日間であり、常圧の蒸気式乾燥（19日間）と比較して1/2以下とすることができました（図２）。

スギ枠組壁工法用部材への適用

枠組壁工法用部材の204材（粗挽き断面寸法45×100mm）および206材（同45×150mm）の弱減圧乾燥を行いました。試験に用いた製材品の心材・辺材の割合は様々であり、初期含水率が大きくばらついていました。乾球温度90℃、圧力40kPa（一定）の条件で3日間乾燥した結果、204材、206材ともに初期含水率150％以下であれば、ほぼ全て（98％）がJAS規格で定める乾燥材の基準値19％を下回りました（図３）。

弱減圧乾燥のコスト

弱減圧乾燥は、蒸気式乾燥と比べ、乾燥室の耐圧性を高めるために初期投資が大きくなります。また、真空ポンプを稼働させる必要があるため時間あたりのエネルギー消費も大きくなります。しかし、乾燥時間が短縮されることによって、施設の運用回数を増やし、乾燥コストの低減につなげることができます。今回の試験結果から試算すると、心去り平角の乾燥コストは従来の蒸気式の約７割にまで低減できることがわかりました。

図1 熱風加熱式弱減圧乾燥機（左：本体外観、右：真空ポンプ等）

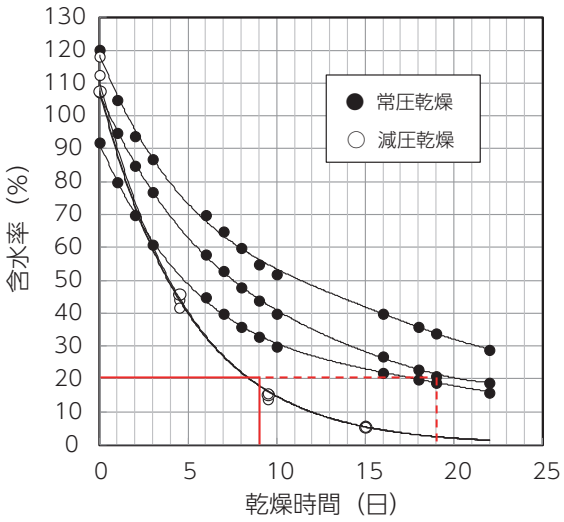


図2 スギ心去り平角の乾燥曲線

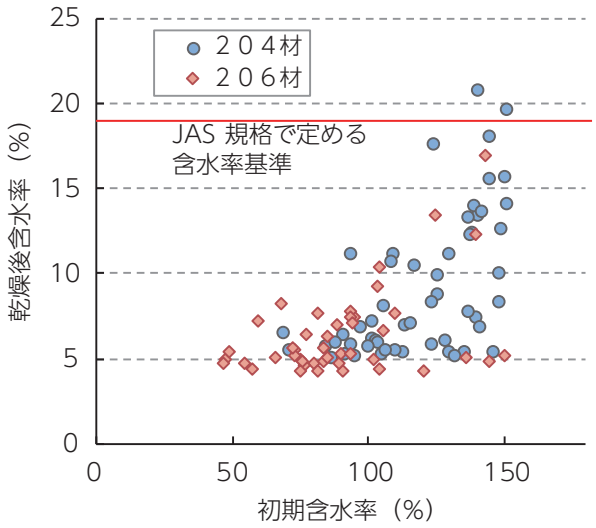


図3 枠組壁工法用部材の乾燥前後の含水率
乾燥日数：3日
乾燥条件：乾球温度90℃、圧力40kPa

スギ心去り平角を蒸気・高周波複合乾燥する際のポイントと推奨乾燥スケジュール

森林総合研究所　渡辺憲、鳥羽景介、柳田高志、村野朋哉、小林功
奈良県森林技術センター　柳川靖夫、中晶平、奈良県食と農の振興部　成瀬達哉
奈良県水循環・森林・景観環境部　寺西康浩

蒸気・高周波複合乾燥は、蒸気による外部加熱と高周波による内部加熱を組み合わせた乾燥法で、一般的な人工乾燥（蒸気式）と比べて材内部の水分を効率よく加熱することができ、乾燥時間が短いのが特徴です。断面の大きな製材品を短時間で乾燥できますが、心去り平角の適切な乾燥スケジュールに関する知見は不十分です。そこで、スギ心去り平角に適した乾燥スケジュールの作成を目的として、パイロットプラント規模の蒸気・高周波複合乾燥試験を行い（写真１）、初期含水率から乾燥日数を推定するモデルを開発しました。乾燥時間と品質とのバランスがとれた推奨乾燥スケジュール、乾燥時のポイント、注意点をまとめました。

厚さ135mm、幅135～255mmのスギ心去り平角を用いて蒸気・高周波複合乾燥試験を行った結果、以下に示すような推奨乾燥スケジュールを開発しました。

推奨乾燥スケジュール

蒸気・高周波複合乾燥における乾燥スケジュールは、乾燥機内の温湿度制御と高周波の出力制御の組み合わせによって決まります。乾燥機内の温湿度条件を表１に示します。乾球温度は75℃一定です。乾湿球温度差は、乾燥操作中に含水率モニタリング用の試験材の重さを測定して含水率を把握し、含水率区分にしたがって変化させます。

乾燥開始時に約10時間の蒸煮を行い、その後、高周波による内部加熱を開始します。高周波の出力は生材時の重量1kg当たり15Wとし、発振10分＋休止30分を基本のサイクルとします。平角の内部温度をモニターし、発振中であっても材温が95℃に到達したら強制的に休止、90℃まで下がったら発振を再開するよう制御します。試験結果から推定した乾燥日数を図1に示します。初期含水率が高いほど乾燥日数は長く、初期含水率100％の材を仕上がり含水率20％と15%まで乾燥するのにそれぞれ約8日、10日かかることがわかりました。蒸気式乾燥に比べて乾燥日数を５割以上短縮できます。

乾燥時のポイント

桟積みした木材を高周波で加熱すると電流が桟木に集中します。本数が少ないと桟木が焦げて出火の原因となるので、蒸気式乾燥の場合より桟木の間隔を狭く、40cm以下とします。

内部割れ（写真2）の発生を避けるためには材温が上がりすぎないよう注意が必要です。そのためには、平角の内部温度は複数の材でモニタリングし、その中で最も高い値によって高周波の発振・休止を制御する必要があります。特に乾燥後期には、含水率の高い材に高周波が集中して材温が高くなるので、乾燥しにくい材（黒心材や初期重量の大きな材）の材温は優先的にモニターすることが重要です。

なお、この試験で用いた断面寸法と異なる材の場合は、表1の乾燥条件は修正する必要があります。

写真1 蒸気・高周波複合乾燥試験

表1 乾燥機内の温湿度条件

含水率区分 (%)	乾球温度 (℃)	湿球温度 (℃)	乾湿球温度差 (℃)
生材 (注1)	75	75	0
生材～60	75	71	4
60～50	75	69.5	5.5
50～40	75	66.5	8.5
40～35	75	64	11
35～30	75	61	14
30～25	75	58	17
25～20	75	55	20
20～15	75	55	20

(注1) 含水率によらず10 時間の蒸煮

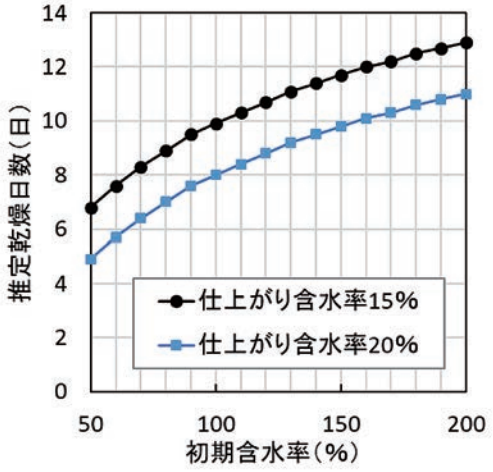


図1 初期含水率と乾燥日数の関係

写真2 スギ心去り平角の横断面
材温が上がりすぎたことによる内部割れ

心持ち平角の高温セット処理を用いた適切な乾燥条件の開発

石川県農林総合研究センター林業試験場　松元浩、石田洋二
森林総合研究所　加藤英雄、長尾博文、小林功

柱材などの比較的断面の小さい心持ち正角については高温セット処理を組み込んだ乾燥条件が開発されていますが、同じ心持ち材でもより断面の大きい平角の乾燥条件は確立されていません。そこで、スギ心持ち平角について、少ない割れで強度性能も低下せず、しかも低コストな高温セット処理をベースとした乾燥条件を検討しました。その結果、高温セット処理が18時間の条件では割れが少ないことを明らかにするとともに、その条件で乾燥したスギ心持ち平角は天然乾燥材と比較して曲げ強度の低下が少ないことを確認しました。

製材品の表面に生じた割れは、見た目からクレームの原因になりやすい一方で、内部に生じた割れは製材品の強度性能に影響することが知られており、表面割れと内部割れの両方が少ない乾燥材が求められます。柱材など（例えば断面寸法105×105mm）の心持ち正角の乾燥では、120℃程度で木材の表面を加熱・軟化する高温セット処理により表面割れを抑制しつつ（図1）、内部割れも少ない乾燥条件が確立されています。心持ち平角も心持ち正角と同様に高温セット処理を適用した乾燥方法で割れを抑制しつつ強度性能を担保できると考えられます。そこで、断面寸法が異なる平角を用いて、適切な処理条件を見いだすための乾燥試験を行いました。

適切な高温セット処理条件の検討

断面寸法および乾燥前の密度の異なる平角を用意し、乾球温度120℃、湿球温度90℃で高温セット処理時間が異なる乾燥試験を行い、表面割れと内部割れの長さを比較しました。その結果、断面寸法により一部ばらつきも見られますが、双方を勘案すると、18時間が適切であることがわかりました。（図2、3）。

適切な高温セット処理後の乾燥条件の検討

高温セット処理条件を乾球温度120℃、湿球温度90℃、処理時間18時間、その後の乾燥工程における温湿度条件を①乾球温度90℃、湿球温度60℃、②乾球温度70℃、湿球温度50℃として、含水率が20％以下になるまで乾燥試験を行いました。その結果から、割れ、乾燥日数、コストを総合的に検討し、条件①を適切な乾燥条件の候補としました（表１）。

適切な乾燥条件を適用した乾燥材の強度性能の確認

適切な乾燥条件の候補（条件①、高温セット処理18時間）による乾燥材の強度性能を確かめるため、条件①に加え、36時間の高温セット処理および対照試験としての天然乾燥処理を施したスギ心持ち平角の曲げ強度試験を実施しました。天然乾燥材の強度と比較した結果、高温セット処理36時間では明らかに強度が低下したのに対し、適切な乾燥条件の候補（処理18時間）では、強度低下は軽微であり、構造材の人工乾燥条件として妥当であることがわかりました（図４）。

乾燥前の密度と乾燥時間の関係

仕上げ断面寸法105×210mm（粗挽き寸法120×225mm）のスギ心持ち平角を適切な乾燥条件で乾燥した場合、乾燥前の密度600kg/m^{3}では約14日、700kg/m^{3}では約21日で含水率15%に達することがわかりました（図５）。乾燥前の密度選別により、仕上がり含水率と所要乾燥日数を推定できることがわかりました。

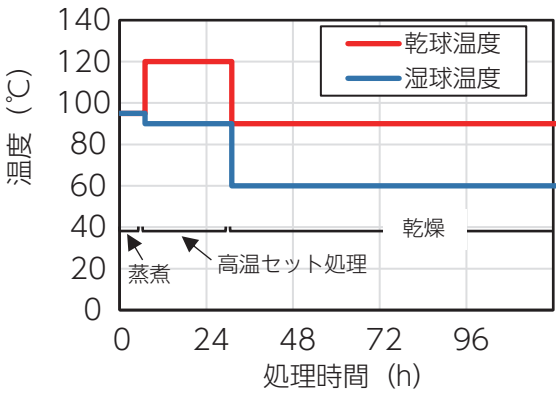


図1 心持ち正角の乾燥工程（例）

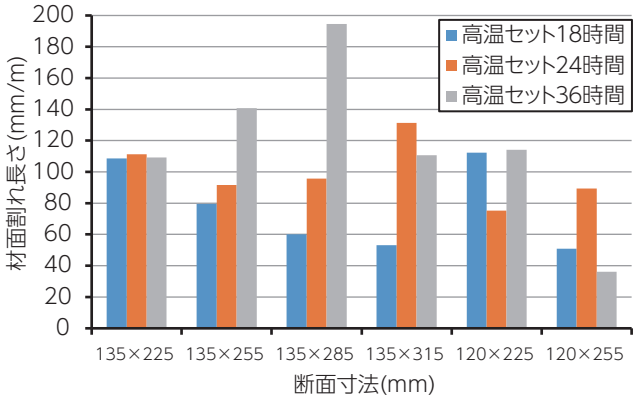


図2 断面寸法と材面割れ長さ

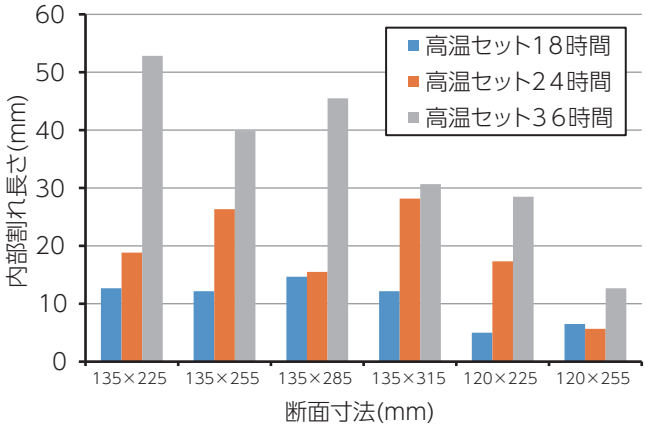


図3 断面寸法と内部割れ長さ

表1 各乾燥条件における乾燥後の品質及び乾燥コスト

	条件① 乾球温度：90℃ 湿球温度：60℃	条件② 乾球温度：70℃ 湿球温度：50℃
処理日数(日) ※1	14	21
仕上がり含水率(%) ※2	14.6	18.3
表面割れ(mm/m) ※2	58.6	118.3
内部割れ(mm) ※2	17.3	10.0
灯油使用量(L)	1263	1223
消費電力量(kWh)	1983	2744
乾燥コスト(円／m^3) ※3	8594	8983

※1：蒸煮(95℃、7時間)、高温セット処理（乾球温度：120℃、湿球温度：90℃、18時間）処理後の日数である。
※2：数値は平均値。
※3：水道使用量は除く。灯油代：92.6円／L、電気代：13.4円／kWhとした。乾燥機の容量は16.7m^3であった。

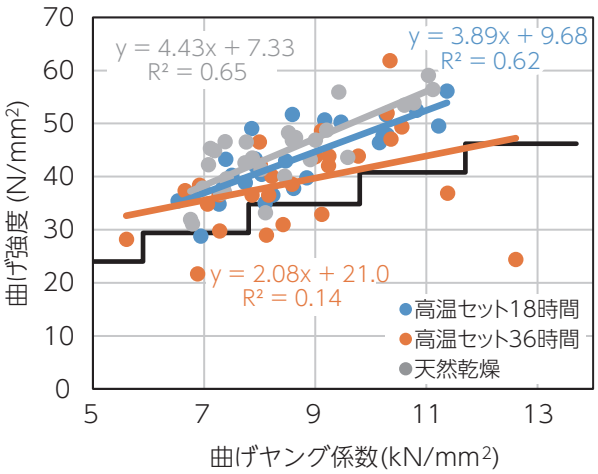


図4 曲げヤング係数と曲げ強度の関係

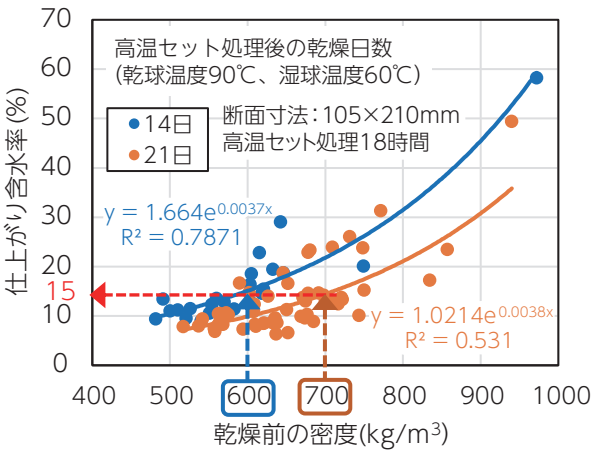


図5 乾燥前の密度と仕上がり含水率の関係

流通・加工業での原木大径化への対応と収益性への影響

森林総合研究所　山田茂樹、田中亘、早舩真智、名古屋大学　岩永青史

東北4県と南九州3県において、まとまった量の原木を扱う事業体（原木流通、合板、製材）への聞き取り調査などを行い、原木大径化の進み具合、加工業の大径材への対応、大径材加工の収益への影響を調べました。その結果、①原木の大径化は着実に進んでおり、大径材を利用可能な合板・製材工場や大径材を選好的に利用する製材工場に大径材が集中する傾向があること、②合板工場ではより大径の原木を扱えるバーカーの導入が、製材工場では大径材加工に適した設備の導入がみられ、大径材への対応が始まっていること、③収益性の向上を図るためには、平角など得られた製材品の加工・乾燥時に生じる不良品比率を下げる必要があること、などが分かりました。

流通・加工過程における原木の大径化

図1は、大径材を利用する合板工場が多い東北4県（秋田県、岩手県、宮城県、福島県）と、大型製材工場が多く立地する九州3県（鹿児島県、宮崎県、熊本県）の流通業（原木市場、集荷・配材事業体）、合板工場、製材工場について（聞き取り調査対象28事業体）、原木の入荷量に対する大径材の比率を地域別・業態別に示したもの、表1は調査結果の概要を事業体ごとに示したものです。

大径材の比率は東北の流通業で高くなっていました。これは、製材工場では扱いにくい末口径30cm以上（特に36cm以上）の原木でも合板原料として利用できることが大きな理由であり、合板工場が多数立地する地域的特性の影響が大きいと言えます。また、大規模量産型工場が主体で、中目材（末口径22～28cm程度の原木）を主要原木とする工場が多い南九州でも、製材工場の大径材の比率は約3割に達していました。両地域ともに、合板工場、大径材を積極的に受け入れる製材工場、ある程度の量を加工できる設備を有する製材工場に、大径材が集中する傾向がありました。

加工業はどのように対応しているか

合板工場では、ここ5～10年程で従来よりも大径の原木に対応できるバーカー（皮むき機）の導入が進みました。製材工場では大径材を加工できる設備を有する工場が多く、一見対応がかなり進んでいるようにもみえます（表1）。しかし、大径材の製材には能率の低い送材車付き帯鋸盤を利用する工場が多く、何度も挽き材を行わなければならない大径材は好まれません。多くの製材工場では「仕方なく利用している」のが実態でした。ただし、平成20年代に入り、安価であることから大径材を集荷・利用したり、大径材を加工できる設備を新設したりする工場が現れるなど、製材工場の大径材利用において積極的対応も見られ始めています。

大径化の収益への影響

仕入れたものの利用できなかった原木は、他工場に直接転売されたり原木市場で委託販売されたりしますが、運賃や市場手数料などの流通コストで赤字になる場合が多いようです。大径材の加工段階では、人工乾燥による曲がりや割れ、プレカット加工時の欠け等により不良品が生じることがあります。不良品は、再加工して欠点部分を除去する、低質品として販売するなど対応が可能な場合は収益への悪影響をかなり抑えられることもあります。しかし、それができない場合には、桟木やボイラー燃料として自社内で利用するなどの対応となり、収益への悪影響は大きくなります。不良品の発生率は工場によって異なり、数%から20%、場合によっては30%近くになる工場もありました。収益への悪影響を軽減するためには、この不良品発生率を低く抑える必要があります。

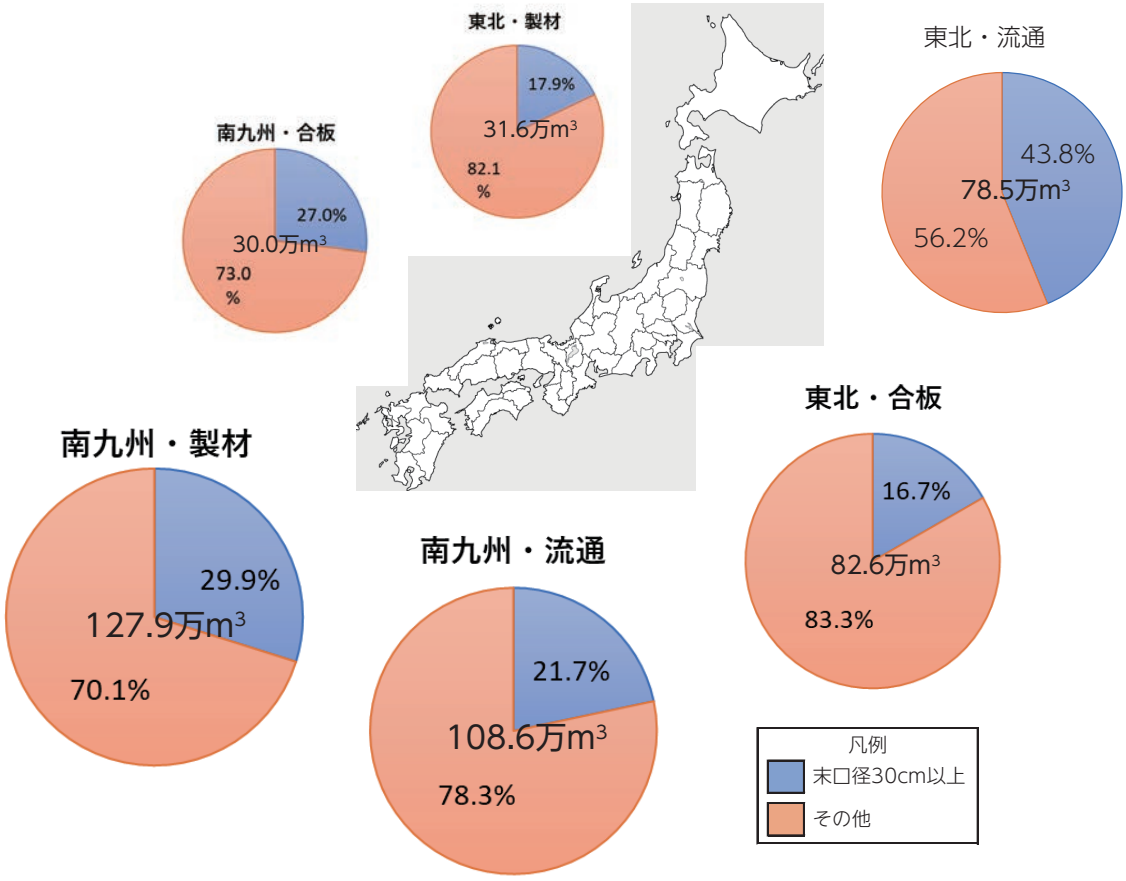


図1 地域別・業態別大径材の比率

表1 調査対象事業体の原木入荷量、受け入れ上限径級、主要径級と大径化への対応

地域	番号	業態	総原木入荷量 万m3	大径材比率 %	受入上限径級 cm	主要径級 cm	原木大径化への対応
東北	T1	流通	36.5	40	−	30上	−
	T2	流通	30.0	50	60	中目～32	−
	T3	流通	12.0	40	−	尺下	−
	T4	製材	17.1	18	34	22～28	○
	T5	製材	11.2	20	34	24～28	−
	T6	製材	3.3	10	90	16～32	○
	T7	合板	64.0	*	65	18～65	○
	T8	合板	20.6	18	65	23～24	○
	T9	合板	12.0	30	65	中目材	○
	T10	合板	50.0	13	46	15～30	○
南九州	K1	流通	45.0	27	−	～32	−
	K2	流通	32.3	15	−	−	−
	K3	流通	10.8	20	46	18～28	−
	K4	流通	9.0	25	−	中目	−
	K5	流通	7.0	15	−	中目	−
	K6	製材	4.5	24	40	中目	○
	K7	製材	25.0	20	34	24～28	○
	K8	製材	38.2	34	56	22	○
	K9	製材	12.9	−	22	18～22	−
	K10	製材	12.0	70	70	30～34	○
	K11	製材	16.5	25	50	18～28	○
	K12	製材	8.9	*	38	27～28	−
	K13	製材	7.3	22	54	24～28	○
	K14	製材	6.5	50	50	36～50	○
	K15	製材	5.2	*	38	中目	−
	K16	製材	5.0	35	40	20～28	○
	K17	製材	4.5	24	40	中目	○
	K18	合板	30.0	27	65	20～28	○

注1)「＊」は把握できなかったもの。「－」は該当がないもので業態から必要なしと思われるものも含む。調査年はH28～31年度、K17のみR2年度。
注2)「受入上限径級」は、加工業では加工ラインの物理的上限であるが、それ以下でも実受け入れ上限があればその径級を記載。
注3)「主要径級」は、実受入原木中材積の多い径級、加工ラインに最適と考える径級など。
注4)「原木大径化への対応」は、合板ではバーカーの導入、製材では大径材ラインの有無。
注5) K18の30cm上比率は中径木ライン、大径木ライン投入原木の1か月間の材積から算出。

用語集

2値化
濃淡のある画像を白と黒の2階調に変換する処理。ある閾（しきい）値を定めて、各画素の値が閾値を上回っていれば白（または黒）、下回っていれば黒（または白）に置き換える。画像を2値化することで、画像からの検出対象の抽出が容易になり、判定処理なども高速に実行できる。

横架材
柱などの垂直な部材に対して直角に渡す部材のこと。梁や桁など。

乾燥スケジュール
木材を少ない欠点で、かつ効率的に乾燥するため、温度、湿度を変化させる予定表。樹種、材の厚さ、材種などによって異なる。

基準強度
木材の繊維方向の許容応力度を決めるために必要で、木材の種類及び品質に応じて圧縮、引張り、曲げ、せん断に対する数値がある。建築基準法施行令第89条第1項の規定に基づき、平成12年5月31日建設省告示第1452号（最終改正：令和2年8月28日国土交通省告示第821号）で定めた強度。

木取り
曲がり、断面形状、節、割れなど、丸太の形状や欠点を考慮して、製材品の種類や寸法、鋸を入れる位置を決定し製材を行うこと。

強度
木材の強度特性の1つ。物体に力が働き破壊したときの単位面積あたりの力のこと。例えば、曲げ強度、圧縮強度、引張り強度、せん断強度などがある。

材せい
梁せいともいう。梁の下面から上面までの長さ。

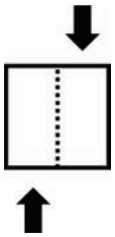
残留応力
外部より力が作用していない状態で、樹木（木材）の内部に残っている応力。

樹心
樹幹の芯。髄。

髄
樹幹の中心にある組織。樹心。

成熟材
成熟期の形成層によって形成された木部。一般に、樹木の中で、繊維長が長く、ヤング係数が高い、材質が安定した材部。

成長応力
樹木の成長過程において、樹幹の肥大成長にともない内部に生じる応力。



せん断

ハサミなどを使って挟み切るように物体の内部のある面に沿って両側部分を互いにずれさせるような作用。

縦振動法

木口の一方をハンマーなどで叩いて衝撃波（応力波）を発生させ、材の長さ方向に伝播する時間や他端での固有振動数を測ることで、ヤング係数などを求める方法。

ディープラーニング

人間の力なしにコンピュータが自動的に大量のデータからそのデータの特徴を発見する技術。機械学習法の1種。

等級区分

節、繊維傾斜、割れなどの大きさ、またはヤング係数に基づき等級を付けて区分すること。前者は目視等級区分、後者は機械等級区分と呼ばれる。

平角

断面が長方形で、短辺が7.5cm以上の製材品。主に、木造住宅の梁や桁に用いられる。

未成熟材

未成熟期の形成層によって形成された木部。一般に、樹木の中で、繊維長が短く、ヤング係数が低い。

木部

木材の組織のうち、道管、仮道管、木部柔組織、木部繊維など、幹および根の強度保持や水分通導を担う部分。いわゆる、木材の部分。

ヤング係数

木材の強度特性の1つ。力とひずみの関係から求められ、変形しやすさ（変形しにくさ）を示す。ヤング係数が大きいほど変形しにくい。応力―ひずみ曲線の直線域における勾配。

ラミナ

集成材やCLT（Cross Laminated Timber）を構成する挽き板の総称。一枚の挽き板である場合と、挽き板を縦継ぎするなどして一定の長さ及び幅に集成接着した板の場合がある。

枠組壁工法用部材

日本農林規格「枠組壁工法構造用製材及び枠組壁工法構造用たて継ぎ材の日本農林規格」で規定された枠組壁工法（2×4工法）で使われる部材。断面寸法の例を挙げる。

寸法型式	乾燥材の規定寸法	
	厚さ	幅
204	38	89
206	38	140
208	38	184
210	38	235

参考文献

丸太品質の非破壊評価技術

- 長尾博文（他）（2017）丸太を削って横断面のヤング係数分布を評価する、林業新技術2017―現場への普及に向けて―、11-12.
- 池田潔彦（2015）超短波域電磁波による原木など高含水率域の水分量非破壊評価手法、木材工業、70（12）、607-610.
- 池田元吉（2017）木口面硬さ連続測定による密度推定の試み、木材工業、72（1）、33-37.
- 太田章介（他）（2019）髄位置推定装置および製材システム、特願2019-206670.

大径材から採材された製材品の強度特性予測技術

- 長尾博文（他）（2018）スギの樹幹内半径方向のヤング係数の変動、第68回日本木材学会大会研究発表要旨集、D14-04-1545.
- 松本和茂（他）（2020）北海道産カラマツ及びトドマツ大径材における樹幹内半径方向のヤング係数分布の比較、第70回日本木材学会大会研究発表要旨集、Y18-10-1000.
- 井道裕史（他）（2017）スギ大径材から採材した枠組壁工法用構造用製材の等級と強度的性質、木材学会誌、63（6）、282-290.
- 荒武志朗（他）（2019）スギ、カラマツ枠組壁工法構造用製材の水分非平衡下における曲げクリープ ―その2　機械等級区分材について―、第69回日本木材学会大会研究発表要旨集、D14-01-1545.
- 石原亘（他）（2018）北海道産カラマツから採材した枠組壁工法構造用製材の強度特性　その２　荷重継続試験、日本木材加工技術協会創立70周年記念年次大会講演要旨集、36、81-82.

効率的製材・乾燥技術

- 伊神裕司（他）（2018）スギ大径材からの心去り平角の製材 ―製材方法と製品の曲がりの関係―、第68回日本木材学会大会研究発表要旨集、F14-07-1115.
- Yamamoto H et al.（2021）Effect of residual stress distribution in a log on lumber warp due to sawing: a numerical simulation based on the beam theory, Wood Science and Technology, 55, 125-153, https://doi.org/10.1007/s00226-020-01240-y
- 土肥基生（他）（2020）スギ204材の弱減圧乾燥試験、第70回日本木材学会大会研究発表要旨集、E17-P2-03.
- 渡辺憲（他）（2017）スギ心去り平角の高周波乾燥―加熱処理温度が内部割れの発生に及ぼす影響、木材工業、72（2）、50-54.
- 齋藤周逸（他）（2017）スギ平角材の天然乾燥試験、関東森林研究、68-1、53-54.
- 松元　浩（他）（2020）スギ心持ち平角材の適正乾燥条件―見かけの密度と高温セット処理後の乾燥条件の関係―、第70回日本木材学会）研究発表要旨集、E17-P2-17.
- 石田洋二（他）（2020）スギ心持ち平角の適正乾燥条件―高温セット処理時間の違いが曲げ強度に及ぼす影響―、第70本木材学会大会（鳥取）研究発表要旨集、E17-P2-18.
- 岩永青史（他）（2020）製材業における国産大径材の利用状況、木材情報、350、1-4.

研究体制

課題名

農研機構生研支援センター革新的技術開発・緊急展開事業（うち先導プロジェクト）
「要求性能に応じた木材を提供するため、国産大径材丸太の強度から建築部材の強度を予測する技術の開発」

研究代表者：村田光司（2016.4 ～ 2018.3）、小林功（2018.4 ～ 2021.3）

課題構成

大項目1：丸太の非破壊評価・選別技術の開発

- 丸太品質の非破壊評価技術の高度化
- 形状認識等による丸太品質評価技術の開発

大項目2：構造用製材の強度特性予測技術の開発

- 丸太品質に基づく構造用製材の強度特性予測技術の開発
- 構造用製材の長期挙動に関する強度特性予測技術の開発

大項目3：大径材の効率的製材・乾燥技術の開発

- 大径材から枠組壁工法用部材・横架材を生産する効率的製材システムの開発
- 品質確保と効率のバランスを考慮した心去り角の乾燥技術の開発
- 心持ち大断面製材の強度特性を担保する乾燥技術の確立
- 国産大径材丸太流通構造の解明と選別確率向上による収益性の評価

参画機関

国立研究開発法人森林研究・整備機構森林総合研究所、地方独立行政法人北海道立総合研究機構森林研究本部林産試験場、静岡県農林技術研究所森林・林業研究センター、石川県農林総合研究センター林業試験場石川ウッドセンター、岐阜県森林研究所、奈良県森林技術センター、宮崎県木材利用技術センター、熊本県林業研究・研修センター、国立研究開発法人建築研究所、国立大学法人東海国立大学機構名古屋大学、オーアイ・イノベーション株式会社、マイクロメジャー株式会社

国立研究開発法人森林研究・整備機構 森林総合研究所
〒305-8687 茨城県つくば市松の里１番地
編集・発行　大径材プロジェクト事務局
発行日　2021（令和3）年 3月5日
お問い合わせ先　広報普及科編集刊行係
電話　029-829-8373
e-mail: kanko@ffpri.affrc.go.jp
※本誌掲載内容の無断転載を禁じます。

リサイクル適性Ⓐ
この印刷物は、印刷用の紙へ
リサイクルできます。

小林市庁舎

ウッドデザイン賞/照明普及賞/日本建築家協会優秀建築選/第13回 建築九州賞 佳作作品/
第23回木材活用コンクール 木材活用賞