

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したが、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）

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

（ $r \geq B$ のとき）

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

ここで、 $E_{fr\text{-timber}}$:製材品のヤング係数推定値 (kN/mm²)、 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/mm²) (スギ大径材20本の平均値、 $s=0.051$ 、 $B=89.2$)

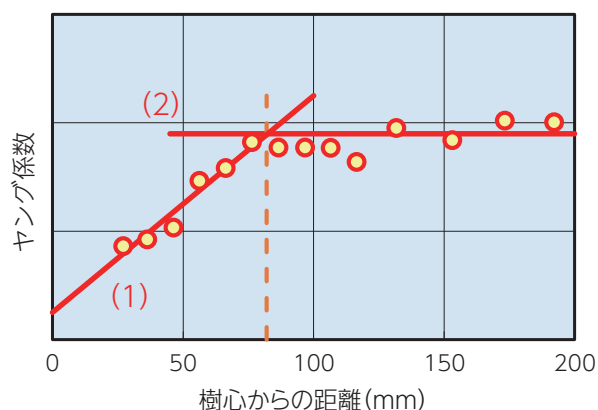


図1 ヤング係数の半径方向の変動のモデル化

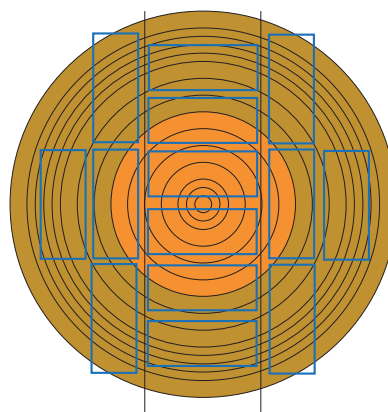


図2 スギ丸太から204材を採材したときの木取り

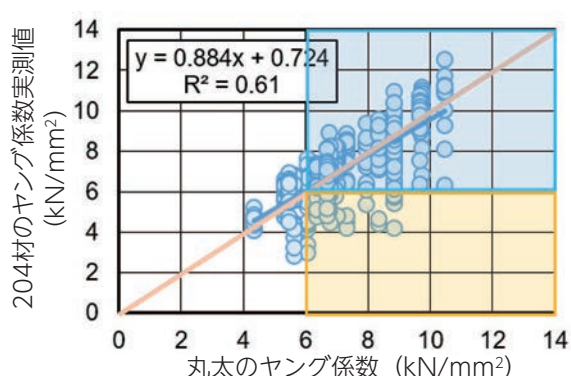
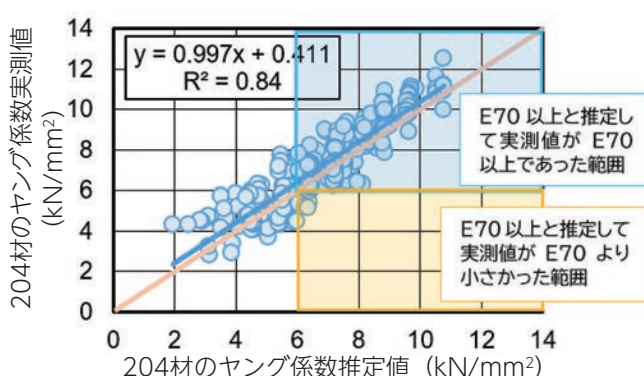
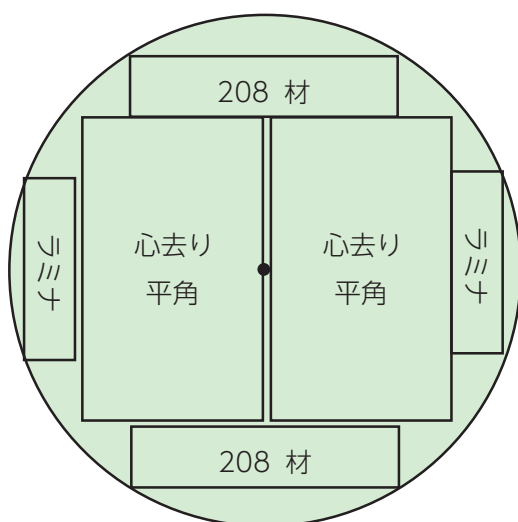
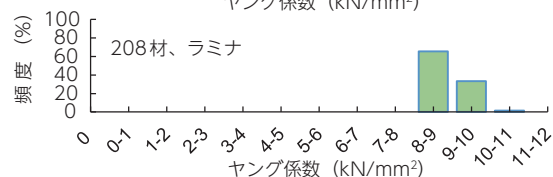
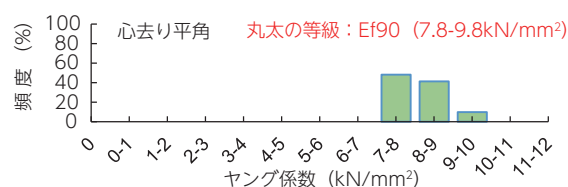
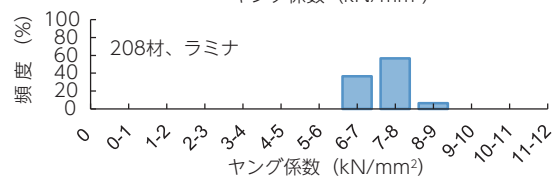
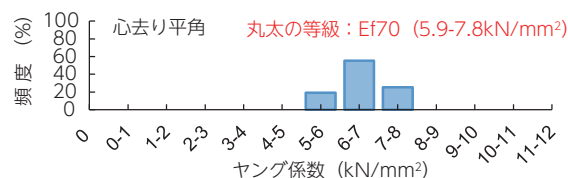
図3 丸太のヤング係数と204材のヤング係数
実測値との関係図4 204材のヤング係数の推定値と
実測値との関係図5 末口径38cmのスギ丸太から仮定した
平角、208材、ラミナの混合木取り

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）

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

（ $r \geq B$ のとき）

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

ここで、 $E_{fr-timber}$ ：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-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/mm ²)
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/mm ² /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

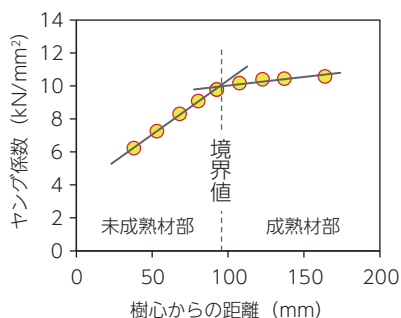


図1 ヤング係数のプロットと回帰直線

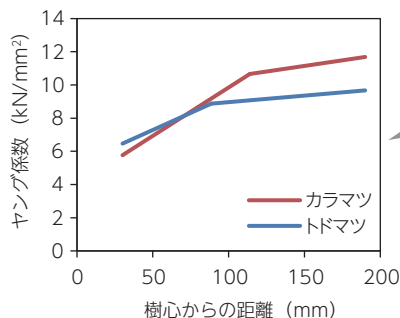


図2 樹種別の丸太横断面内のヤング係数分布モデル

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 10.0 kN/mm²
半径 185 mm
トドマツの代入値
ヤング係数 9.1 kN/mm²
半径 204 mm

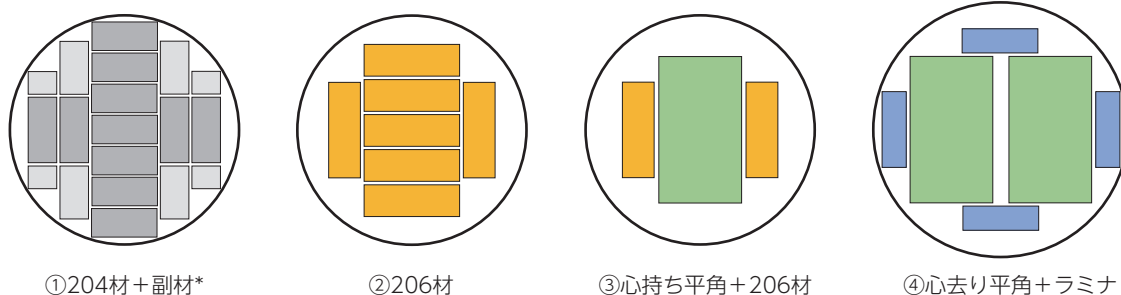


図3 検討した木取りパターン (カラマツ: ①②③④、トドマツ: ①)

*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。

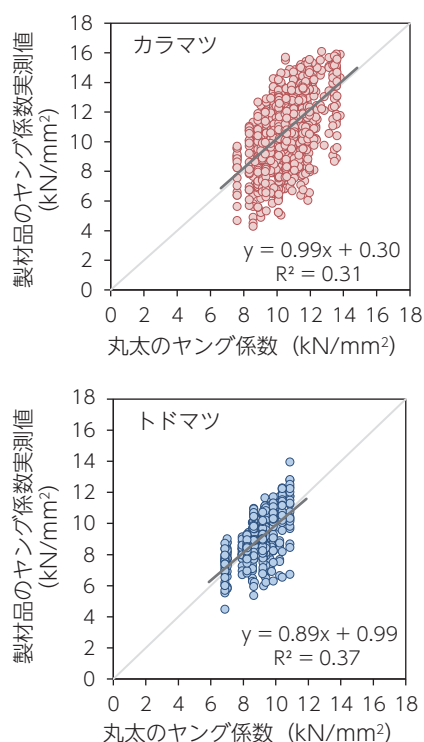


図4 丸太のヤング係数と製材品のヤング係数の関係

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

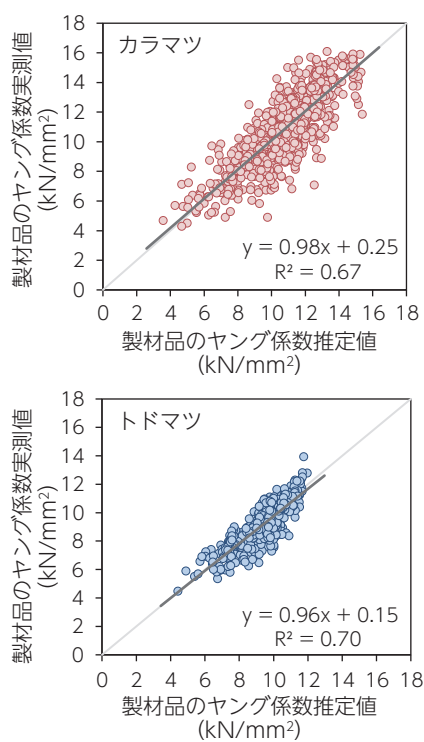


図5 ヤング係数推定値と実測値の関係

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/mm ²)		曲げの基準強度 (N/mm ²)	
					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	2級	—		25.8	25.8
	甲種構造材	3級	—		22.2	23.4
	枠組壁工法 構造用製材	目視等級区分 特級	—		28.4	22.5
		甲種枠組材 2級	—		19.5	15.5

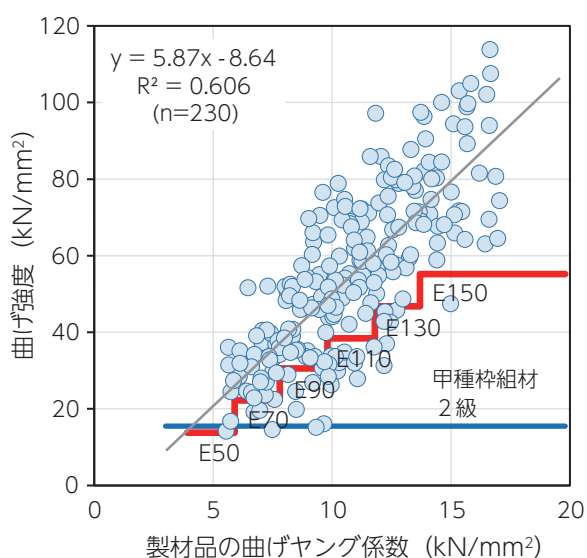
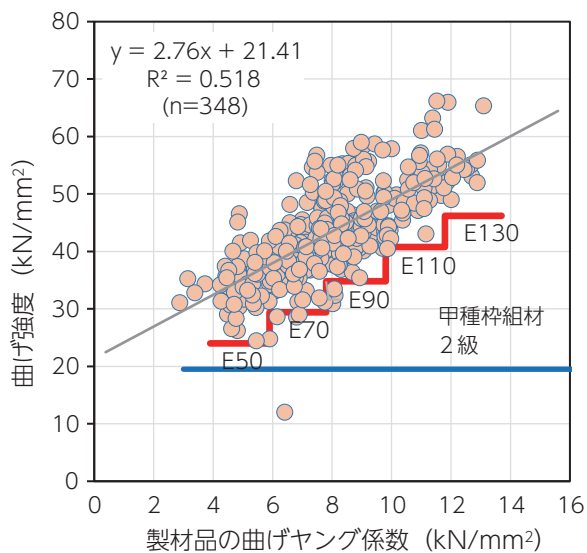


図1 製材品のヤング係数と曲げ強度との関係 (上:スギ、下:カラマツ)

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 $3.2\text{kN/mm}^2 \sim 7.7\text{kN/mm}^2$ 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）。

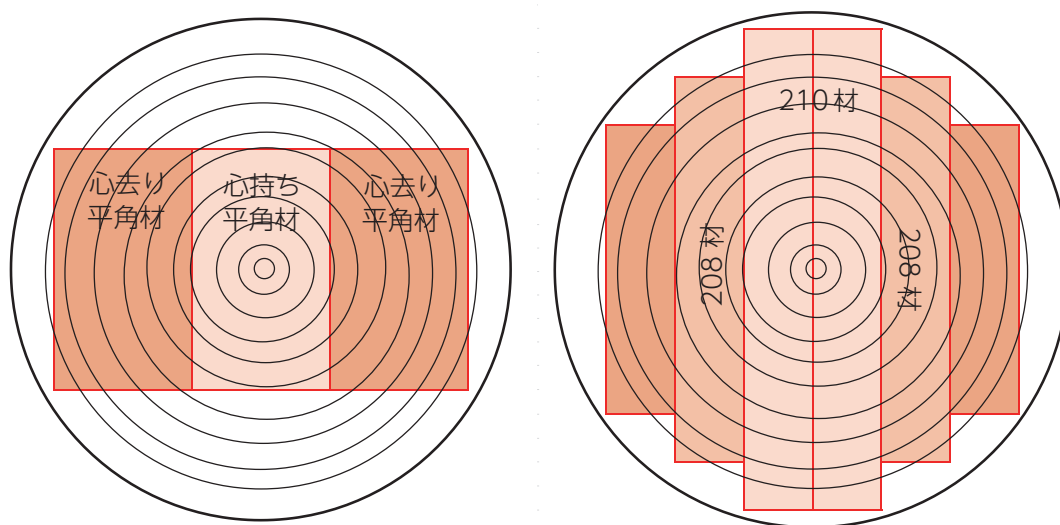


図1 末口径40cm以上の大径材の木取り例

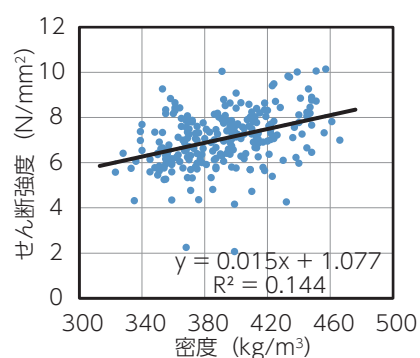
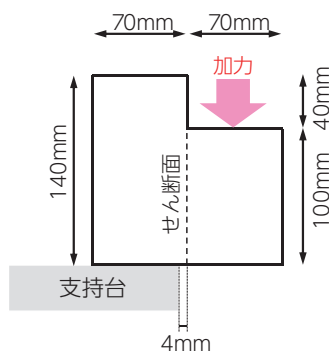
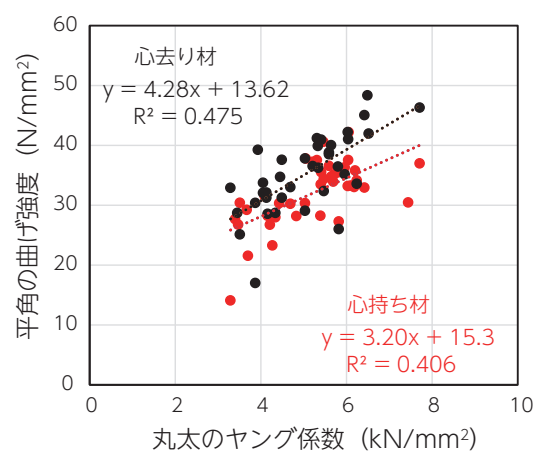
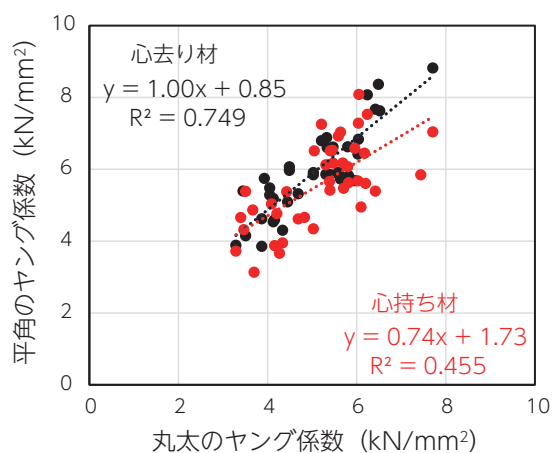
図2 スギの枠組壁工法用の製材品によるせん断試験の概要と結果
(左:試験の様子、中:試験のセットアップ状態、右:密度とせん断強度との関係)

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。

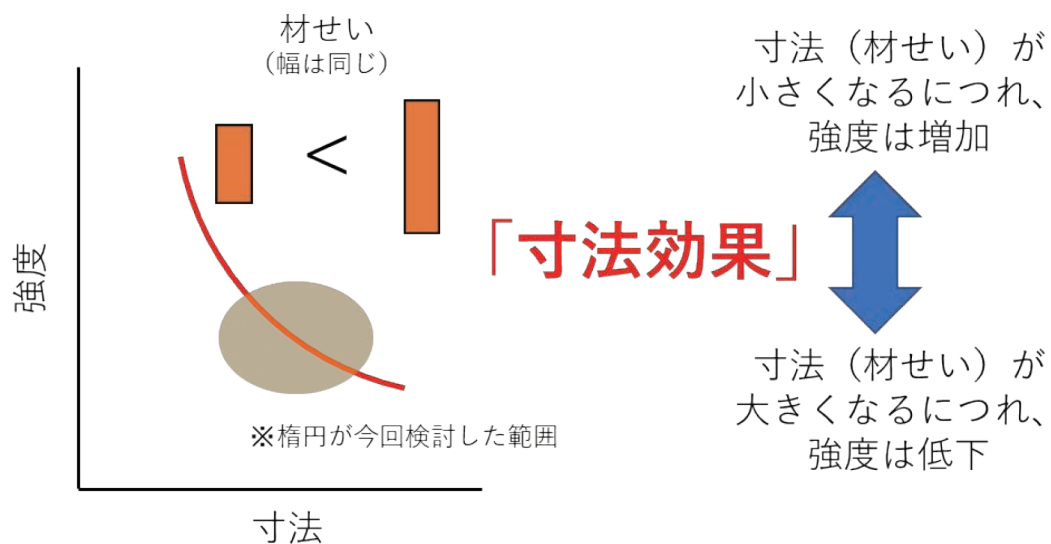


図1 寸法効果のイメージ

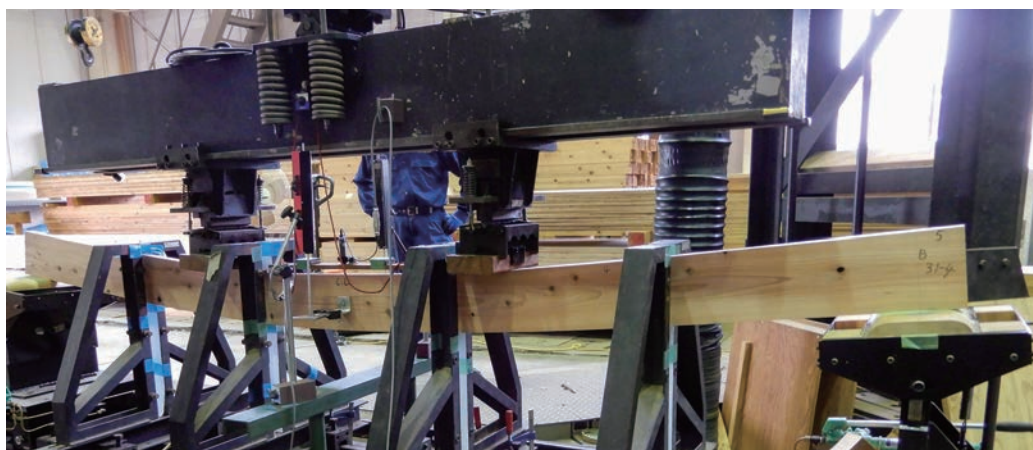


写真1 枠組材 (208材：材せい184mm) の曲げ試験の様子

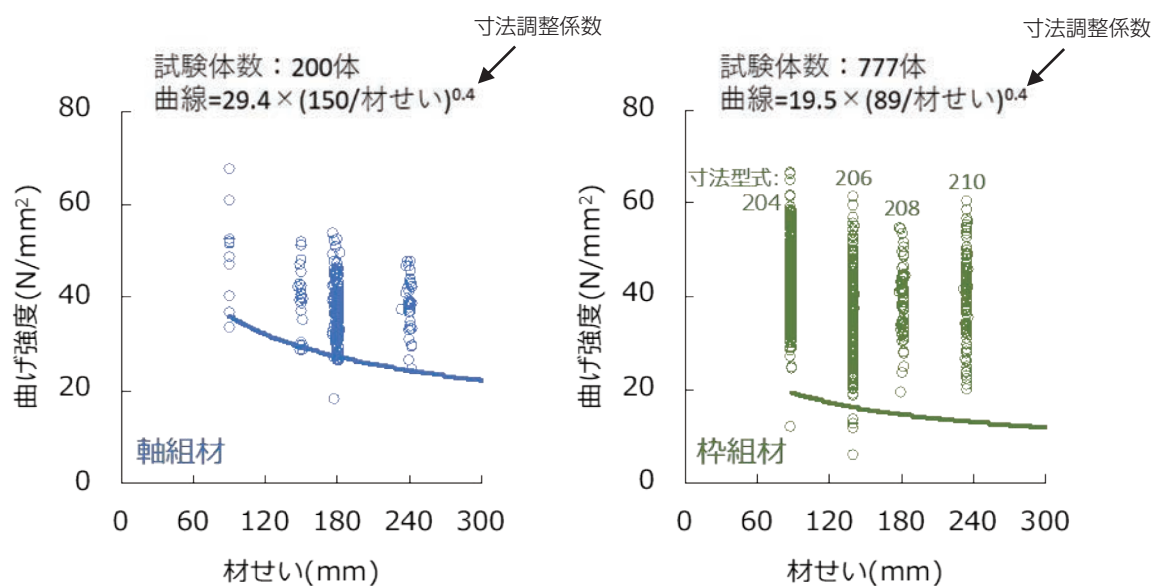


図2 材せいと曲げ強度との関係 (左：軸組材、右：枠組材)

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。

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

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

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

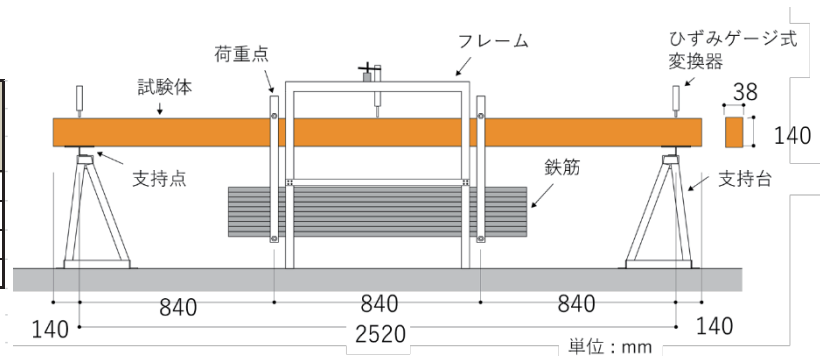


図1 実験装置の概要



写真1 実験風景



写真2 たわみ測定

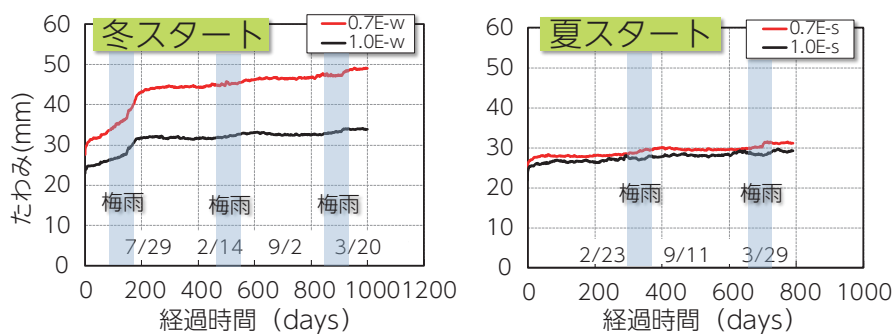


図2 たわみの推移

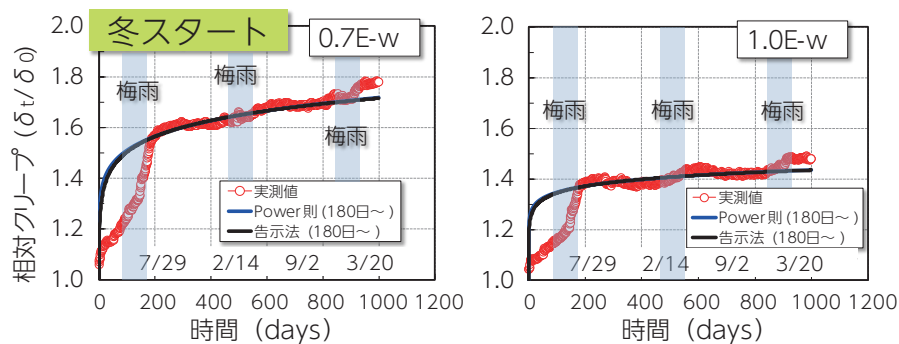


図3 冬スタートの相対クリープ予測

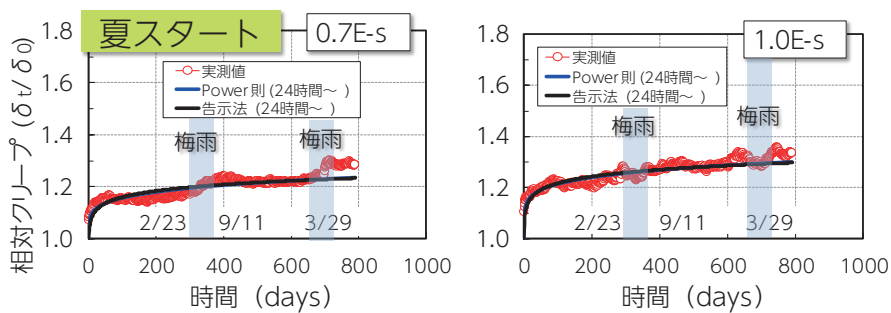


図4 夏スタートの相対クリープ予測

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 榎本敬大、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桝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桝組壁工法用部材（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。

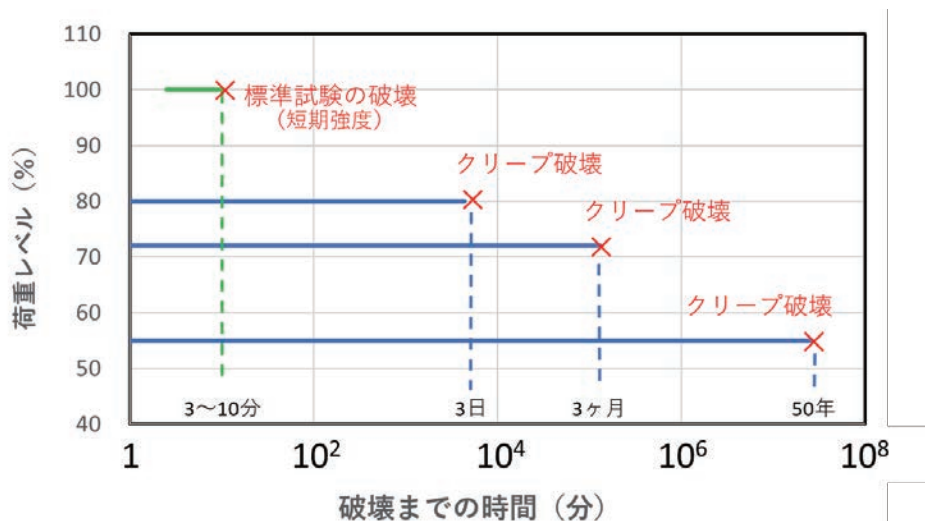


図1 クリープ破壊するまでの時間 (荷重継続時間) と荷重レベルとの関係 (イメージ)



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)

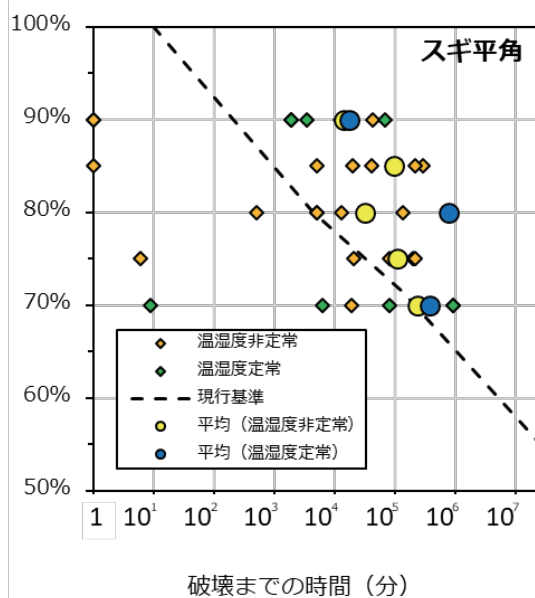
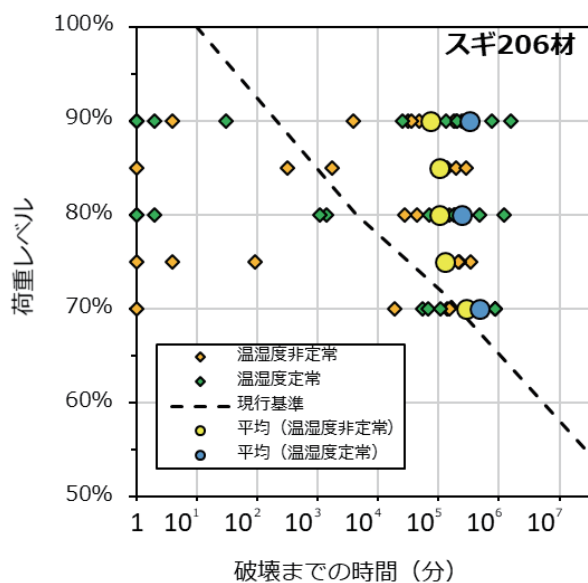


図2 破壊までの時間と荷重レベルとの関係 (左: スギ206材、右: スギ平角)