

三河材の材質特性に関する研究

—スギの丸太段階での心持ち正角材の曲げ強さの推定—

(現知多事務所林務課) 大野 浩 暉 菱田 重 寿
(名古屋大学) 木方 洋 二 (静岡大学) 祖父江 信 夫

要 旨

スギ26～27年生の林分から、ほぼ10.5cm、3mの心持ち正角材が採れる立木を選び出し、伐倒玉切り直後にまず丸太を調査して、ヤング係数(縦振動法)を測定した。製材後、生材状態で実大材の強度試験を行って曲げ強さを測定し、丸太で求められたヤング係数と実大正角材曲げ強さとの関係を調べた。その結果、回帰式は $Y=254+1.674X$ (Y :曲げ強さ kgf/cm^2 、 X :ヤング係数 tf/cm^2)、相関係数は0.445が得られ、両者には有意水準1%で相関が認められた。さらに丸太の測定で得られたヤング係数をもとに、その値の大小で2区分し、それぞれの曲げ強さの平均値を比較した。その結果、平均値に差が認められ、丸太の段階での強さの等級区分の有意性が認められた。

I. はじめに

製材の非破壊的測定から得られる曲げヤング係数と強度試験による曲げ強さとの間には、かなり高い相関が認められている。この非破壊による曲げヤング係数を利用して木材を合理的に使用していくことは、木材の需要拡大の上からも重要なことと考えられる。

さらに、丸太の段階で強度区分が可能であれば、強度を基準とする製材品を目指す工場にとっても、有利となることが予想される。

今回生材状態の製材品の調査ではあるが、丸太のヤング係数とその丸太から製材された心持ち正角材の曲げ強さとの関連について、また丸太の段階で等級区分することの意義の有無について、26～27年生のスギで検討した。

II. 方 法

1. 供試材

(1) 供試立木を得た林分の状態

鳳来町内にある、およそ北向きの2つのスギ林分(両林分の距離は約600m)から材料を得た。一方の林分は26年生で、植栽時の密度3,000本/ha、6000本/ha、8,000本/haの3種が隣接している。それぞれ手入れは遅れ気味と言える。

もう一方の林分は27年生で植栽時の密度は4,500本/haであり、ほぼ適正に手入れがなされている林分である。

それらの林分の調査前の状態は表-1のとおりであり、両林分とも地位は中の上と言える。

(2) 供試立木及び供試丸太

上記林分の中から、10.5cmの正角材の採れる立木を選び出し、伐倒して3mに玉切った。1番玉、42本、2番玉18本計60本が得られ調査材料とした。伐倒時の含水率を調べるため、1番玉の直ぐ上で3cm厚の円板をとり、辺材部と心材部に分けそれ

表-1 林分の状態

林分	林齢 年	植栽密度 本/ha	\bar{D} cm	\bar{H} m	立木密度 本/ha
A	26	3,000	20.4	15.6	1,990
		6,000	16.8	15.8	2,789
		8,000	14.4	14.3	3,645
B	27	4,500	21.8	17.6	1,450

\bar{D} :平均胸高直径 \bar{H} :平均樹高

それぞれ全乾法で含水率を測定した。

供試した立木及び丸太の概要は表-2、表-3のとおりである。

2. 調査項目及びその測定法

(1) 丸太のヤング係数

立木を伐倒し、玉切り後、タッピング法による縦振動を利用しヤング係数の測定（以下「縦振動法」という）を行った。丸太の支持は中央1点とし、自動車のタイヤを用いた。

末口径、元口径は木口の円周を巻尺で測定した。ヤング係数は次式により求めた。

$$E = 4L \cdot W \cdot f r^2 / A \cdot g$$

ただし、Lは材の長さ(cm)、Wは質量(kg)、frは一次固有振動数(Hz)、Aは平均断面積(cm²)、gは重力加速度980cm/sec²である。

表-3 供要丸太の概要

林分	植栽密度 本/ha	本数			末口径 cm	含水率			容積密度 g/cm ³
		1番玉 本	2番玉 本	計 本		辺材 %	心材 %	全体 %	
A	3,000	14	6	20	16.5	198	85	154	0.83
	6,000	13	7	20	16.3	183	113	164	0.84
	8,000	9	1	10	16.4	173	105	167	0.82
B	4,500	6	4	10	16.6	189	108	167	0.91
平均(又は計)		(42)	(18)	(60)	16.4	191	102	162	0.85

全体の含水率:樹皮の部分を含まない(全乾法による)

表-2 供試立木の概要

林分	植栽密度 本/ha	本数 本	\bar{D} cm	D 範囲 cm	\bar{H} m
A	3,000	20	20.5	16.9~24.3	16.1
	6,000	20	19.3	17.4~20.8	16.8
	8,000	10	18.8	17.0~21.2	16.1
B	4,500	10	19.9	18.0~22.5	17.0
平均(又は計)		(60)	19.7	16.9~24.3	16.5

\bar{D} :平均胸高直径 D:胸高直径 \bar{H} :平均樹高

(2) 正角材のヤング係数

丸太の調査後、直ちに製材し生材状態でのヤング係数を求めた。その方法はア、縦振動法、イ、死荷重積載法(2等分3点荷重)、ウ、グレーディングマシンによる方法(飯田工業製MGN-101型、3等分4点荷重)の3方法である。

死荷重積載法による第1荷重は20kg、第2荷重は70kgで、グレーディングマシンによる方法はそれぞれ50kg、130kgで行った。なお、荷重は背割り面から行った。

(3) 正角材のJASに基づく調査

ア、平均年輪幅 両木口の測定値を平均した。
イ、節径比 最大1個節径比と最大集中節径比を測定した。

(4) 正角材の曲げ強さ

生材状態の正角材をスパン270cm、3等分4点荷重法で背割り面から荷重をかけ、実大材で強度試験を行った。たわみは試験体中央の全たわみを、電気式変位計とスケールを用いて破壊直前まで荷重50kgないし100kgごとに測定した。

試験後直ちに両木口から60cmの位置で板をとり、含水率の測定に供した。測定は全乾法で行い、2枚の測定値を平均し、その材の含水率とした。

なお、曲げ試験は製材6日後と22日後の2回に分けそれぞれ30本ずつ行った。

22日後の供試材の含水率は約2週間の間に109%から96%へと乾燥した。

III. 結果及び考察

1. 製材の基礎材質

平均末口径16.4cmの丸太を10.5cm心持ち正角に製材したところ、丸身を持った材が60本のうち38本を占めた。それら材の全角丸身の値は平均15%、であった。

平均年輪幅は5.6mm、最大の1個節径比は平均18%、最大の集中節径比は31%であった。

平均年輪幅6mm以上は18本であり、3割を占めた。含水率（強度試験時）は平均102%であった。

容積密度は平均0.68g/cm³であった。丸太の状態で測定したときの値は0.85g/cm³であり、それと比較すると製材の場合の値はかなり低い。しかし丸太の含水率は162%と高く、含水率を利用して試算したところ、容積密度の差はほぼ含水率による差と認められた。

それらの製材の概要を丸太と比較して表-4に示した。

2. 丸太のヤング係数

丸太で測定したヤング係数の測定値は42.4~94.3tf/cm²となった。平均値は66.5tf/cm²、標準偏差は12.5tf/cm²であった。

3. 正角材のヤング係数

表-4 供要材の概要

丸	太	心持ち正角材	
末口径	16.4cm	平均年輪幅	5.6mm
含水率	162%	節径比(1個)	18%
容積密度	0.85g/cm ³	同(集中)	31%
		含水率	102%
		容積密度	0.68g/cm ³

心持ち正角材の測定値は強度試験時の値

一方その丸太を製材し、直ちに同じ縦振動法でヤング係数を測定したところ、35.0~85.5tf/cm²の範囲にあった。平均値は58.3tf/cm²、標準偏差は12.4tf/cm²であった。

丸太の場合と比較すると、標準偏差にはないが、強さの指標となるヤング係数については小さな値となって測定された。その原因の一つには、正角材は心持ち材ということから、製材によって辺材部が除去され未成熟材の割合が相対的に増加したことの影響が考えられる。(1)

以上の丸太及び正角材のヤング係数の出現頻度を図-1に示した。

縦振動法による丸太のヤング係数と正角材のヤング係数との関係は、回帰式が $Y = -0.54 + 0.884X$ (Y:正角材のヤング係数、tf/cm²、X:丸太のヤング係数、tf/cm²)、相関係数が0.894となった。両者の関連を図-2に示した。

また、正角材を縦振動法で測定する際、同時に死荷重積載法及びグレーディングマシンで曲げヤング係数を測定した。死荷重積載法では平均の値が61.4tf/cm²、グレーディングマシンによる方法では65.8tf/cm²となった。(表-5)

今回の調査材は林齢が比較的若かったためか、既存の資料(3)、(4)と比べるとヤング係数はやや低い範囲に位置している。

なお、構造材のヤング係数は、建築物の部材の

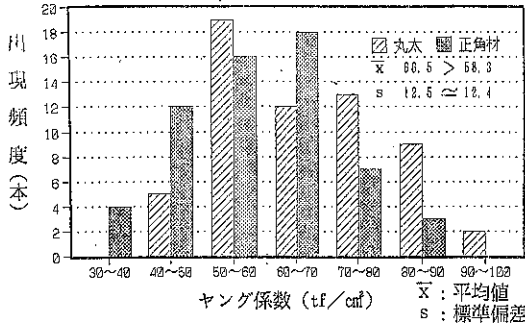


図-1 スギの丸太及び正角材のヤング係数分布

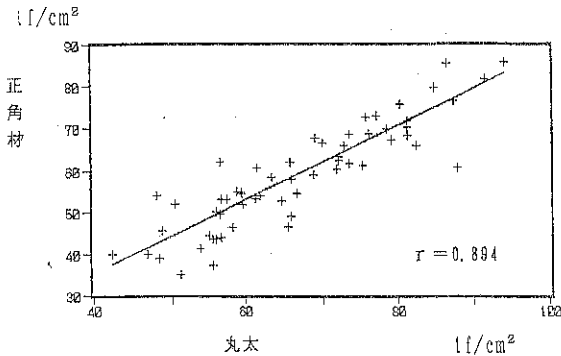


図-2 丸太のヤング係数と正角材のヤング係数の関係

変形（たわみ）に直接関係するパラメーターで、つぎの強度値と同様に構造設計の段階で重要な材料定数となっている。

4. 曲げ強さ

生材状態で正角材の曲げ強さを実大材で測定した。強度試験時のそれぞれの含水率は53~172%と広範囲にあった。

強度試験の結果、曲げ強さは243~471kgf/cm²の範囲にあった。平均の値は365tf/cm²、標準偏差は47kgf/cm²であった。

昭和58年度林業試験研究報告書4)によると、岩手県始め7県のスギ正角材の曲げ強さは、試験材の樹齢は明かではないが136~798kg/cm²の範囲にあり、平均は381kg/cm²である。それらの材の含水率は平均19.3%、また平均年輪幅は平均4.4mmである。因に、今回の本県三河材の含水率は平

表-5 ヤング係数の測定方法による差

測定方法	平均値	標準偏差
縦振動法	58.3	12.4
死荷重積載法	61.4	12.3
グレーディングマシンによる法	65.8	13.4

均102%、平均年輪幅は平均5.6mmであるので、材質的には少なくとも他県の平均的な強さがあると考えられる。

曲げ強さの値の分布は図-3のとおりである。

なお、最大たわみは10.2~25.5cmの範囲にあって、破壊に至らなかった試験材が2本あった。しかし負荷面側には圧縮破壊が肉眼で認められた。

5. 正角材のヤング係数と曲げ強さの関係等
ヤング係数は縦振動法、死荷重積載法、グレーディングマシンによる方法の3方法で測定したが、それぞれの曲げ強さへの回帰直線及び相関係数は表-6のとおりであった。それらの回帰直線の傾きはおおむね緩やかに思われる。

3者の相関係数の有意差の検定を行ったところ、差は認められなかった。

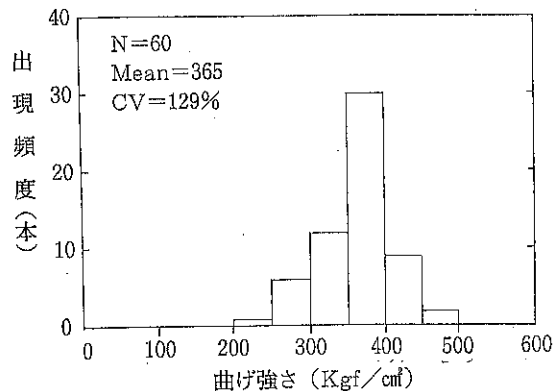


図-3 スギ10.5cm持ち正角材の強度分布

また、平均年輪幅、節径比、容積密度のそれぞれの曲げ強さとの関係は表-7のとおりであった。単独因子としては、ヤング係数が最も相関係数が大きい。

6. 丸太のヤング係数と曲げ強さの関係

縦振動法で測定したヤング係数と実大正角材の曲げ強さとの関係は、回帰直線式が $Y = 254 + 1.674X$ (Y : 曲げ強さ kgf/cm^2 、 X : ヤング係数 tf/cm^2)、相関係数が0.445となり、1%の有意な水準で相関が認められた。その関係を図-4に示した。

ヤング係数に対する曲げ強さの下側95%信頼限度は表-8のとおりであり、図-4にも示した。

7. 丸太の末口径及び容積密度の曲げ強さとの関係

例えば1番玉の末口の年輪数は樹高成長差だけの違いで、個々の丸太の年輪数差に大差はないと表-6 測定方法別ヤング係数と曲げ強さの関係

方法	回帰式	相関係数
縦振動法	$Y = 230 + 2,318X$	0.609
死荷重積載法	$Y = 216 + 2,441X$	0.639
グレーディングマシン	$Y = 217 + 2,247X$	0.640

Y : 曲げ強さ (kgf/cm^2) X : ヤング係数 (tf/cm^2)

表-7 単回帰分析結果 (正角材-正角材)

正角材の測定因子	曲げ強さとの相関係数	
ヤング係数	0.61 (**)	
平均年輪幅	-0.43 (**)	
節径比	1個	-0.29 (*)
	集中	-0.33 (**)
容積密度	0.36 (**)	

有意水準: (**) 1% (*) 5%

考えられる。2番玉についても同様に考えられる。そのような考えから、丸太の平均年輪幅の代わりに末口径を代用して、曲げ強さとの関係を調べた。その結果2番玉については10%の水準で負の相関が認められたが、1番玉については相関が認められなかった。

また、丸太の状態で比較的情報が得られ易い他の項目として、容積密度があげられるが、曲げ強さとの関係は5%の水準で有意な正の相関が認め

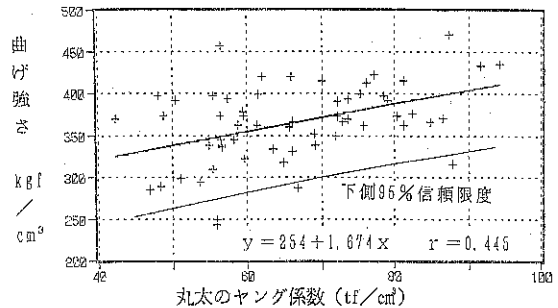


図-4 丸太のヤング係数と曲げ強さの関係

表-8 下側95%信頼限度の曲げ強さ

区分	ヤング係数					
	40	50	60	70	80	90
回帰線	321	338	354	371	389	404
下側95%信頼限度	247	263	282	299	316	330

単位: ヤング係数 (tf/cm^2) 曲げ強さ (kgf/cm^2)

られた。それらの関係を表-9に示した。

さらに曲げ強さの推定精度を高めるために、丸太のヤング係数の他に丸太の末口径、容積密度を独立変数として重回帰分析を行ったが、その重相関係数の値は0.460となり、ほとんどヤング係数単独の相関係数の値と変わらなかった。

8. 丸太のヤング係数に基づく強度区分の有意性

さきに見たように、丸太段階で測定したヤング

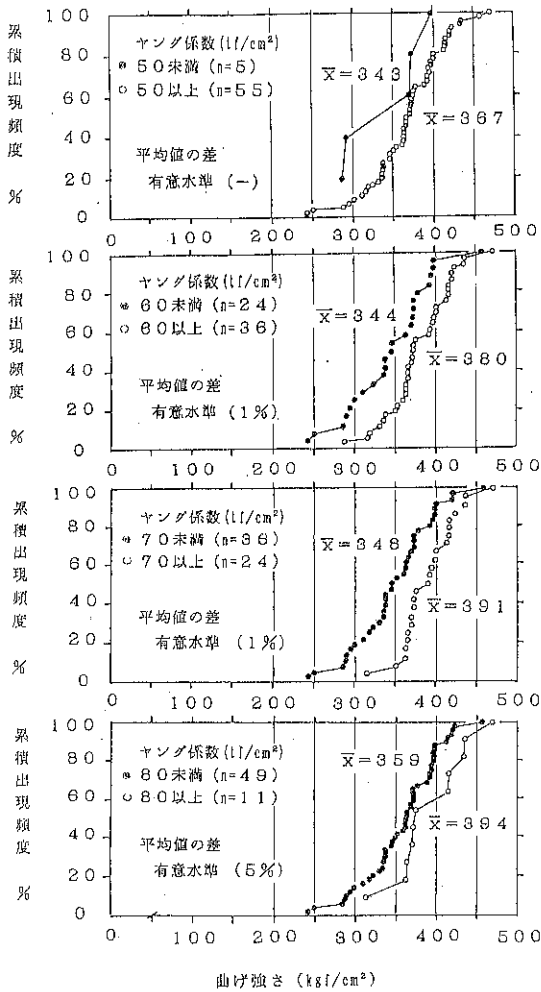


図-5 丸太のヤング係数の2区分によって得られた曲げ強さの分布

係数と正角材の曲げ強さとの間に正の相関が認められた。

さらに、そのヤング係数をもとに大小2区分し、正角材の曲げ強さに差が生ずるか否かを調べた。

まず一定のヤング係数の値以上と未満に分け、両者の平均値を比較した。両者の平均値の差はヤング係数 50tf/cm²以上と未満では 24kgf/cm²の差があった。同様に 60、70、80tf/cm²の以上と未満ではそれぞれ 36、43、35 tf/cm²の差があった。その差が有意か否かをt検定により調べたところ 60、70tf/cm²では1%の水準で、80tf/cm²では5%の水準で有意な差が認められた。

表-9 単回帰分析結果 (丸太-正角材)

丸太の測定因子		曲げ強さとの相関係数
ヤング係数		0.45 (**)
末口径	1番玉	-0.18 (-)
	2番玉	-0.46 (+)
容積密度		0.30 (*)
振動周波数		0.37 (**)

有意水準, (**) 1% (*) 5% (+) 10%

それらの曲げ強さの分布は図-5のとおりである。その図で、2つに区分したグループそれぞれの下側95%信頼限度で比較することを試みた。しかし、その図からは読みとることは難しく、従ってそれぞれのグループの曲げ強さは正規分布するとみなして、下側95%信頼限度の値を算出した。その結果を図-6に示した。その図から2区分した場合のヤング係数一定の値以上と未満の下側95%信頼限度の曲げ強さの差は、2者平均値の差以上に生ずることが、窺われた。

IV. おわりに

丸太の段階で製材品の強さをどの程度推定できるのか、また、丸太の段階で強さを区分することが有効であるか否かを検討した。

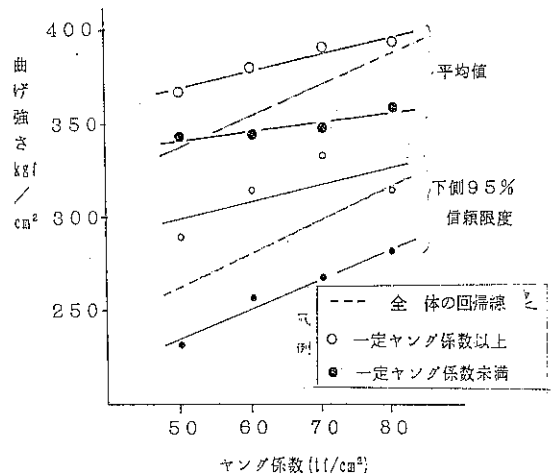


図-6 ヤング係数2区分に伴う曲げ強さの動き

製材品（生材状態）は心持ち正角材だけで、しかも1地域だけの材料ではあるが、丸太の段階での強さの区分は、それから製材された材の強さと関連があり、強度を目的とした製材を行う場合には有効であるという結果が得られた。

今回の試験はヤング係数の比較的低い材料で行われたが、ヤング係数の高い材料についても調べる必要があると思われる。

さらに、1本の丸太の内部の強さの分布状態も明らかにする必要があると思われる。

また、本研究を進めるに当たって、飯田工業株式会社からはグレーディングマシンを長期間お借りし、同社の野田道雄氏には機械の操作等の御指導をいただいた。お礼を申し上げる。

V. 参考文献

1. 渡辺治人:木材理学総論, 農林出版, 1978
2. 祖父江信夫他:タッピング法を用いた実大木材のダイナミック・ポータブル・グレーダーの開発, 平成2年度科学研究費補助金試験研究 (3)(2) 研究成果報告書, 1991
3. (財)日本住宅・木材技術センター:構造用製材の日本農林規格 考え方と素案, 1989
4. 林野庁:構造用製材の強度等級区分に関する研究, 昭和58年度林業試験研究報告書, 1985