

# 三河材の材質特性に関する研究

## —スギの丸太段階での芯持ち正角材の曲げ強さの推定—

平成2年度～平成4年度（単県）

菱田 重寿      大野 浩暉※1  
木方 洋二※2   祖父江信夫※3

### 要 旨

林齢26～27年生のスギの主に1番玉を用いて、丸太の状態では測定したヤング係数と製材後強度試験により得られた曲げ強さとの関連を調べた。相関係数は0.598、回帰式は $y=141.0+4.217x$ （ $x$ ：丸太のヤング係数 $\text{tf/cm}^2$ 、 $y$ ：曲げ強さ $\text{kgf/cm}^2$ ）となり、かなり高い相関が得られた。

さらに丸太の段階で一定のヤング係数以上とそれ未満に区分けし、曲げ強さの比較を行なった。その結果、丸太区分の有意性が認められた。また丸太の固有振動数と曲げ強さとの相関係数も0.568と、前報の生材での強度試験結果の場合（相関係数0.37）と異なり、今回の乾燥材ではヤング係数に近い相関が得られ、固有振動数に基づく丸太段階での区分の有意性が認められた。

#### I. はじめに

さきに、丸太の状態では測定したヤング係数とほぼ生材状態の製材の曲げ強さとの関係を調べ、丸太の段階でヤング係数の値により材を区分けすることに有意性が認められることを報告<sup>1)</sup>した。

今回は曲げ試験時の製材の含水率（全乾法による）が25%以下の材料について、前号報告同様調べたので報告する。なお、この報告の主な部分は日本木材加工技術協会第9回年次大会で発表した。

なお、材料の乾燥には静岡県林業技術センターにお世話になった。記して謝意を表す。

#### II. 方 法

##### 1. 供試木

前回と同じ林分スギ26～27年生から、前回とほぼ同じ太さの丸太を使い、またほぼ同じヤング係数の材料で試験した。

林分の状態、供試立木については表-1、表-2のとおりである。3mの丸太材を全て、10.5cmの芯持ち正角に挽いた。正角材の採取位置と本数は、1番玉31本、2番玉16本、3番玉2本であった。

丸太の樹皮を含む平均の末口径16.2cm元口径19.5cmから、丸太の細りは1m当たり1.1cmと計算された。供試立木平均の形状比が0.84であったことから、ほぼ本県地位級2の林分の平均的な材料と言える。

##### 2. 調査項目及び測定方法

###### (1) 丸太のヤング係数

丸太を自動車のタイヤを用いて中央で支持し、タッピング法による縦振動を利用して測定した。

丸太の断面積には樹皮も含めた。

###### (2) 正角材のヤング係数

※1 現知多事務所 林務課  
※2 名古屋大学農学部  
※3 現静岡大学農学部

丸太との比較のため、丸太と同様の方法により、製材直後の生材状態と乾燥後（全乾法による含水率25%以下）のヤング係数を測定した。

(3) J A S（製材等の日本農林規格）にもとづく正角材の調査

ア. 平均年輪幅

イ. 節径比

ウ. 丸身

(4) 正角材の曲げ強さ

製材後約4ヶ月屋内で棧積みし自然乾燥させ、さらに人工乾燥（除湿式）を行なったあと強度試験をした。

曲げ強さの測定は、スパン270cm、3等分4点荷重方式で背割り面から荷重をかけた。背割り面は節など材の欠点の状態に関係なく、製材と同時に自動背割り機により機械的に入れた。

強度試験後直ちに両木口端から60cmの位置で3cm厚の板を採り、含水率の測定に供した。

測定は全乾法により行ない、2枚の平均値をその材の含水率とした。

そして含水率が25%以下のもののみについて分析した。その本数は49本であった。

### Ⅲ. 結果及び考察

#### 1. 材料の概況

10.5cmの芯持ち正角に製材したところ、丸身を持った材が49本のうち31本を占めた。丸身のある材のみの全身丸身の値は平均17%であった。平均年輪幅は5.9mm、節径比は25%、集中節径比は42%であった。

供試材の含水率と密度を表-3に示す。

#### 2. 丸太のヤング係数

丸太の状態で測定したヤング係数は43.8~90.4tf/cm<sup>2</sup>の範囲にあり、平均値は68.3tf/cm<sup>2</sup>であった。

#### 3. 製材のヤング係数

まず製材後直ちに丸太の場合と同じ方法でヤング係数を測定した。

その値の範囲は32.7~84.8tf/cm<sup>2</sup>、平均値は58.9tf/cm<sup>2</sup>であった。

曲げ強さ試験時におけるヤング係数は、乾燥状態の材（含水率の平均値：19%）ではそれぞれ37.8~93.9tf/cm<sup>2</sup>、64.9tf/cm<sup>2</sup>となり、乾燥により平均で6tf/cm<sup>2</sup>ヤング係数の値が大きくなった。

丸太との比較も含め表-3に表わした。三者のヤング係数の平均値の大きさは、丸太>製材（乾）>製材（生）の順で、有意水準1%で差が認められた。それらの分布状態は図-1のとおりである。

ヤング係数は丸太から正角に製材することにより、9.4tf/cm<sup>2</sup>およそ14%小さくなった。

この現象はヤング係数の安定した辺材部が製材によって除去され、髓付近の未成熟材の影響が顕著に出たものと考えられる。そして乾燥することによって、ヤング係数は生材状態に比べ10%大きくなった。

丸太のヤング係数とそれを製材して生材状態で測定したヤング係数との関係を調べたところ相関係数は0.884、回帰式は

$$y = -8.5 + 0.986x$$

$x$  : 丸太のヤング係数 (tf/cm<sup>2</sup>)

$y$  : 製材（生）のヤング係数 (tf/cm<sup>2</sup>)

が得られた。

この結果を前回報告した値と比較したところ差はなかった。

また乾燥状態の製材についても丸太との関係を調べたところ相関係数は0.892、回帰式は

$$y = -8.5 + 1.075x$$

$x$  : 丸太のヤング係数 (tf/cm<sup>2</sup>)

$y$  : 製材（乾）のヤング係数 (tf/cm<sup>2</sup>)

となった。(図-2)

乾燥に伴い、回帰直線の傾きはいくらか強くなる傾向が見られる。

#### 4. 曲げ強さ

強度試験の結果、曲げ強さは平均429kgf/cm<sup>2</sup>、測定値の範囲は253~578kgf/cm<sup>2</sup>にあり、その分布は図-3のとおりである。

#### 5. 正角材のヤング係数と曲げ強さの関係

乾燥状態の正角材のヤング係数と曲げ強さの関係は相関係数0.701、回帰式

$$y = 162.7 + 4.102x$$

$x$  : ヤング係数 (tf/cm<sup>2</sup>)

$y$  : 曲げ強さ (kgf/cm<sup>2</sup>) となった。

ヤング係数以外の因子についても曲げ強さとの関係を調べた。その結果は表-4のとおりであり、ヤング係数が最も曲げ強さとの相関が高く、また固有振動数もかなり高い相関があった。

#### 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丸太のヤング係数と実大正角材の曲げ強さとの関係については、相関係数は0.598 (有意水準1%)、回帰式は

$$y = 141.0 + 4.217x$$

$x$  : 丸太のヤング係数 (tf/cm<sup>2</sup>)

$y$  : 曲げ強さ (kgf/cm<sup>2</sup>)

となった。

その関係を図-4に表わした。

ヤング係数以外の因子についても曲げ強さとの関係を調べた。その結果は表-5のとおりであった。製材の場合と同様、ヤング係数との相関が最も高かった。しかし固有振動数でもヤング係数にほぼ匹敵する相関が得られた。その状態を図-5に表わした。

#### 7. 丸太のヤング係数に基づく強度区分の有意性

先にみたように、丸太の状態で測定したヤング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。そこで一定のヤング係数で材を区分けし、境界値以上とそれ未満に分けた場合両者の強度の平均値に差が生ずるのか否か、また全く区分けしない場合に比べてもどうかを検討した。

まず、丸太のヤング係数が60tf/cm<sup>2</sup>以上とそれ未満に分け、曲げ強さを調べた。ヤング係数60tf/cm<sup>2</sup>以上では49本のうち38本を占め、その平均曲げ強さは452tf/cm<sup>2</sup>であった。ヤング係数60tf/cm<sup>2</sup>未満の材は11本で平均曲げ強さは348tf/cm<sup>2</sup>、全く区分けをしない場合の平均曲げ強さは429tf/cm<sup>2</sup>であった。さらに丸太のヤング係数が70tf/cm<sup>2</sup>以上とそれ未満で、また80tf/cm<sup>2</sup>以上とそれ未満で平均曲げ強さを求めた。

結果は表-6のとおりであった。

平均曲げ強さの大きさを比較すると有区分(以上) > 無区分 > 有区分(未満)の順となるが、平均値の差の検定を行なったところその結果は表-7のとおりになり、およそ各区分間には有意な差が認められた。

従って丸太の状態で一定のヤング係数を基に材を区分することによって、用途に必要な曲げ強さを備えた材を選別することが可能と考えられる。

次に区分された材の強さの信頼性について、分布の下側95%の信頼値で比較した。その値を表-8にまとめた。平均値の場合よりも有区分(以上)、無区分、有区分(未満)の差はさらに広がる傾向がみられ、丸太段階における区分の有意性がより明確になる。

以上の関係を図-6に示した。

#### 8. 丸太の固有振動数に基づく強度区分

丸太のヤング係数と曲げ強さの相関係数は、先にみたように0.598であったが、そのヤング係数の算出に用いる固有振動数についても、曲げ強さとの相関係数が0.568とヤング係数と大

差のない相関が得られた。

ヤング係数を算出するには、固有振動数の他に質量を計測する必要がある。しかし、固有振動数単独の相関がヤング係数の相関を大差ないことは実用上非常に重要な意味を持つ。なぜなら、丸太のような重量物の質量計測を省略できることになり、現場における計測が一層簡略化されるからである。

そのようなことから固有振動数に基づく丸太の強度区分を検討した。

丸太の状態で測定された固有振動数とヤング係数との関係は図-7のとおりであり、相関係数は0.900、回帰式は

$$Y = -74.9 + 0.3136 X$$

$X$  : 振動周波数 (Hz)

$Y$  : 丸太ヤング係数 (tf/cm<sup>2</sup>)

となった。

まずその回帰式から丸太のヤング係数が60、70、80tf/cm<sup>2</sup>に相当する周波数を計算し、それぞれ430、462、494Hzを得た。

そして、丸太の状態で測定した固有振動数が430Hz以上とそれ未満の丸太に区分し、それぞれ製材の強度試験によって得られた曲げ強さの平均値を算出した。続いて462Hz、494Hzについても同様算出し、丸太のヤング係数による区分の場合と比較して表-9に表わした。

固有振動数により区分された材の曲げ強さは、その固有振動数に対応するヤング係数により区分された材の曲げ強さと平均的にはほとんど差がないように思われる。

次にそれぞれの区分において、下側95%信頼限度の曲げ強さを算出し、平均曲げ強さの場合と同様比較し、表-10に表わした。

494Hz (80tf/cm<sup>2</sup>) 以上の材で少し大きな差があるが、標準偏差が大きく (67kgf/cm<sup>2</sup>) データ数の少ないことが影響していると考えられる。

(ヤング係数による区分80tf/cm<sup>2</sup>以上の場合32kgf/cm<sup>2</sup>)

他の区分では大きな差が見られない。因に、固有振動数により丸太を区分した場合についての平均値の差の検定結果を表-11に示した。

ヤング係数による区分に比べると、やや水準は落ちると思われる。しかし、区分を行った場合の曲げ強さの下側95%信頼の限度は明らかに無区分の場合よりもかなり高く、丸太の固有振動数のみで丸太の区分を行なっても、製材の強さのおおざっぱなランク分けは可能と推測される。

最後に、丸太状態で測定されたヤング係数及び固有振動数と曲げ強さとの相関を前報の生材における曲げ試験結果と比較した (表-12)。

生材の曲げ試験よりも、今回の乾燥材を用いた場合の方が相関はかなり高くなった。しかし両者の相関係数の値に有意な差は認められなかった。

#### IV. おわりに

前報の生材状態における製材の曲げ強度試験結果と同様、乾燥材においても丸太の段階でのヤング係数による強度区分の有意性が認められた。

従って構造用材を取り扱う製材工場等にとって、丸太の段階で区分することは、平均的には製材品の強度の向上が期待できると同時に、信頼強度の下限値も向上し、合理的な製材品の生産を図ることが出来ると思われる。

また、丸太材の固有振動数と曲げ強さとの間にも高い相関が認められ、固有振動数による丸太段階での強度区分の有意性が認められた。このことは、重い丸太の質量計測が省略できる可能性を意味し、現場における計測を容易にする道を開くものと考えられる。

従って木材の合理的な流通を図るための簡易な

選別方法として、素材市場あるいは工場に丸太を搬入する前に、山土場などで固有振動数の測定を行ない、丸太を強度性能に基づいて区分する方法が考えられる。

また丸太の含水率は伐倒後、葉がらし（枝葉をつけたまま伐倒木を林地に放置する）を行うことによってかなり急激に変化するが、それに従いヤング係数、固有振動数はどのような変化をするのか今後説明が必要と思われる。

V. 参考文献

- 1) 大野浩暉他：三河材の材質特性に関する研究  
愛知県林業センター報告No.28 1991
- 2) 愛知県：林分材積表・林分収積予想表  
スギ・ヒノキ人工林1983
- 3) 古川俊之・丹後俊郎：医学への統計学  
朝倉書店1983

表-1 林分の状態

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

D：平均胸高直径 H：平均樹高

表-2 供試立木の概要

林分	植栽本数	試験体本数	平均胸高直径	範囲
	本/ha	本	cm	cm
A	3,000	12	20.7	17.5~24.3
	6,000	13	19.5	18.3~21.3
B	8,000	7	19.6	16.9~23.4
	4,500	8	20.6	17.4~22.5

表-3 材料の状態別の比較

区分	製材		
	丸太	生材	乾燥材
含水率(%)	162 (15)	113 (21)	19 (2)
密度(g/cm³)	0.85 (0.06)	0.72 (0.08)	0.42 (0.03)
ヤング係数 (tf/cm²)	68.3 (11.8)	58.9 (13.1)	64.9 (13.9)

( )内は標準偏差

表-4 各種材質因子と曲げ強さとの相関  
(製材・乾燥状態)

因子(製材)	相関係数	有意水準
ヤング係数	0.70	(**)
固有振動数	0.58	(**)
平均年輪幅	-0.36	(*)
節径比	-0.22	(-)
集中節径比	-0.23	(-)
密度	0.40	(**)

(\*)：水準5% (\*\*):水準1%

表-5 各種材質因子と曲げ強さとの相関  
(丸太)

因子(丸太)	相関係数	有意水準
ヤング係数	0.59	(**)
固有振動数	0.56	(**)
末口径 1番玉	-0.27	(-)
2番玉	0.06	(-)
密度	0.26	(-)

(\*\*):水準1%

表-6 丸太区分別における  
曲げ強さの平均値(kgf/cm²)

種別	丸太のヤング係数 (tf/cm²)		
	60	70	80
無区分		429(49)	
有区分	ランク以上	452(38)	481(22)
	ランク未満	348(11)	386(27)

( )は本数

表-7 曲げ強さの平均値の有意差検定結果

種別	60 tf/cm²			70 tf/cm²			80 tf/cm²		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
無区分 A		-	**		**	*		*	-
有区分(以上) B			**			**			*
“(未満) C									

\*:水準5% \*\*:水準1%

表-8 曲げ強さにおける丸太区分別の下側95%信頼限度

種 別	丸太のヤング係数 (tf/cm <sup>2</sup> )		
	60	70	80
無区分		289 (49)	
有区分	ランク以上	325 (38)	427 (8)
	ランク未満	252 (11)	274 (41)

表-9 曲げ強さの平均値の比較

固有振動数 曲げ強さ 区分の種類	平 均 値			
	丸太frによる区分 (本) kgf/cm <sup>2</sup>		丸太Efによる区分 (本) kgf/cm <sup>2</sup>	
無区分 Hz (kgf/cm <sup>2</sup> )				
有区分 Hz (kgf/cm <sup>2</sup> )	(49)	429	(49)	429
430 (60) 以上	(39)	448	(38)	452
462 (70) 以上	(20)	482	(22)	481
494 (80) 以上	(8)	488	(8)	491
430 (60) 未満	(10)	356	(11)	348
462 (70) 未満	(29)	394	(27)	386
494 (80) 未満	(41)	417	(41)	417

fr: 固有振動数 Ef: 縦振動法によるヤング係数  
( ) 内のヤング係数: 振動数に相当するヤング係数

表-10 下側95%信頼限度の曲げ強さの比較

固有振動数..... 区分の種類.....	下側95%信頼限度の曲げ強さ		
		丸太frによる区分	丸太Efによる区分
無区分	Hz (kgf/cm <sup>2</sup> )	kgf/cm <sup>2</sup> 289	kgf/cm <sup>2</sup> 325
有区分	Hz (kgf/cm <sup>2</sup> )		
	430 (60) 以上	313	325
	462 (70) 以上	386	379
	494 (80) 以上	361	427
	430 (60) 未満	261	252
	462 (70) 未満	256	257
	494 (80) 未満	280	274

fr: 固有振動数 Ef: 縦振動法によるヤング係数  
( ) 内のヤング係数: 振動数に相当するヤング係数

表-11 曲げ強さ平均値の有意差検定結果  
(固有振動数による区分)

区 分	430Hz			462Hz			494Hz		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
無区分	A	*	*	A	-	*	A	-	-
有区分 (以上)	B	**		B	**		B	*	
" (未満)	C			C			C		

\*: 水準5% \*\*: 水準1%

表-12 丸太で測定されたヤング係数及び  
固有振動数と曲げ強さとの相関

	生 材	乾燥材	u 0	有意水準 u (0.05)=1.96
データ数	60	49		
ヤング係数	0.445	0.598	1.05	(-)
固有振動数	0.387	0.568	1.31	(-)

生材は前報の値

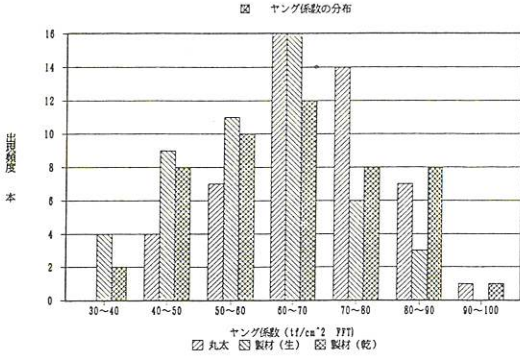


図-1: ヤング係数の分布

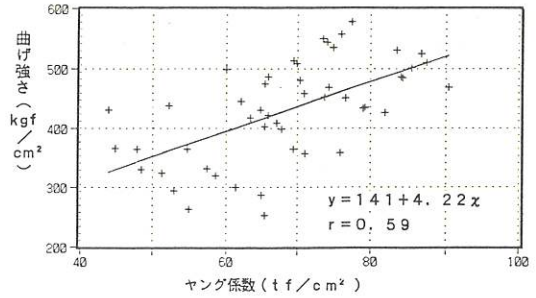


図-4: 丸太でのヤング係数と曲げ強さの関係

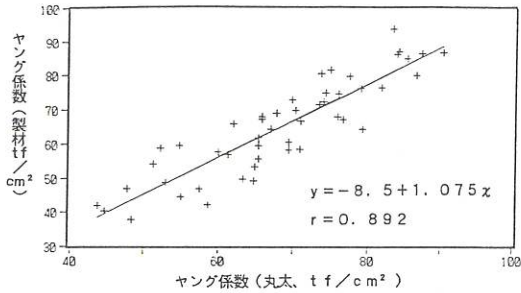


図-2: 丸太のヤング係数と製材(乾燥材)のヤング係数の関係 (FFT)

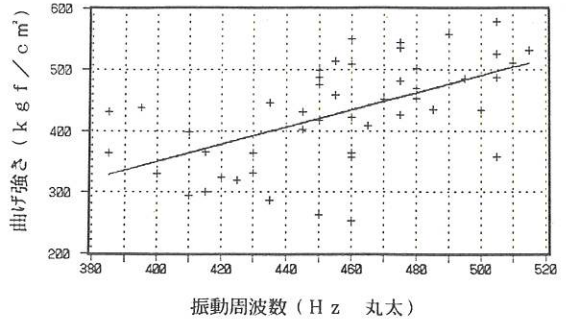


図-5: 振動周波数と曲げ強さの関係

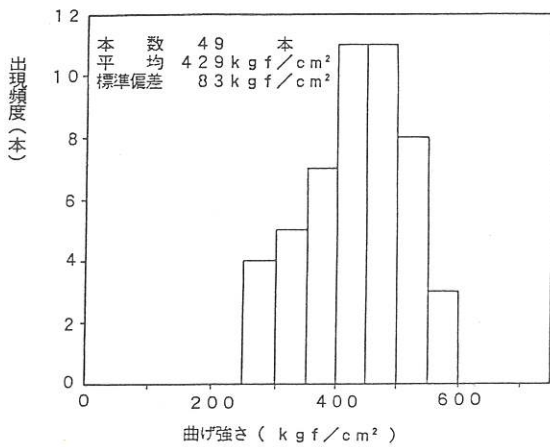


図-3: スギ芯持ち正角材曲げ強さの分布

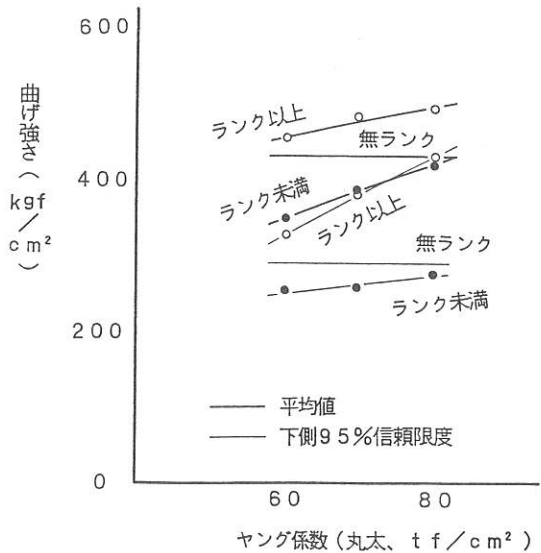


図-6: ヤング係数ランク分けによる曲げ強さの比較

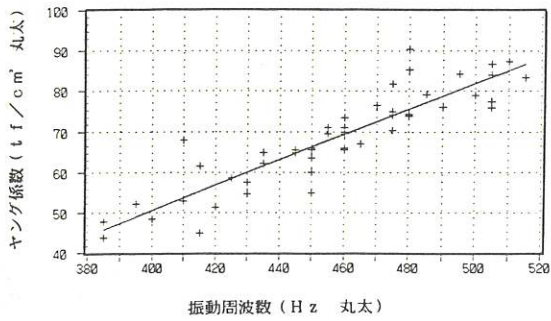


図-7:丸太における振動周波数とヤング係数の関係