

県産材による建築構造用部材の開発

1996年度～1998年度（県単）

菱田重寿 近藤和幸 豊嶋 勲
榊原弘修 大林育志 浅岡郁雄*

要 旨

スギ中目材は、構造用にも造作用にも幅広く利用できるが、それぞれ求められる性能が異なるため、合理的に利用するには丸太での種類分けが必要となる。また、消費者からは信頼性の高い建築材料の要求がますます高まることが予想される。そのようなことから、強度的に信頼性の高いスギの平角を合理的に生産する方法を、丸太の選別方法を究明することにより検討した。その結果、ヤング係数が70tf/cm²以上の平角を得るには、丸太のヤング係数が82tf/cm²以上である必要があった。そのような丸太は今回の試験材では37%を占めた。従って、丸太のヤング係数の測定は製材前の用途区分に有用であり、さらに県産スギ材の高信頼構造部材を供給する上でも有利であると思われた。また、丸太表面の節の状態は、曲げ強さに大きく影響するが、ヤング係数への影響は小さいと思われた。

I はじめに

建築用構造材は、一定の強度が要求され、強さのはっきりした建築材の要求は今後ますます強くなると予想される。そのような時代の流れの中にあつて、急務となっている木材の利用拡大の一方策に、強度が保証された建築材の供給体制の整備が考えられる。

とくにスギは蓄積量も多く、今後の供給が期待される。なかでも中目材はその比重が高い。その中目材は柱角用の丸太と異なり、製材目標が構造材にも造作材にもなり万能型の木材という特徴がある。しかしながら、両者に求められる性能が異なることから、丸太を用途に合わせて利用するには、丸太の選別が必要となる。

「針葉樹の構造用製材の日本農林規格」（平成

3年1月31日制定）に基づいた、建設省通達のスギの機械等級区分製材の許容応力度によると、スギは他の木材に比べ大きく劣ることはない判断できる。しかしスギはヤング係数が低いことから、建築の梁や桁に用いる場合たわみ易く、ベイマツなどと比較すると競争力がかなり小さいという問題がある。

そのため曲げ材としての性能が低位にあるスギにとって、強度的に信頼性が高く、効率的に供給されるような生産方法を開発する必要がある。その技術のポイントの一つとして丸太の用途区分があり、丸太の選別技術を検討した。

II 方法

1. 材 料

鳳来町地内の樹齢42～55年の山林から産出され

た1～3番玉の丸太63本を用いた。それらの丸太の末口径は18～30cmで、長さは3mまたは4mであった。丸太はかなり長期間工場土場に置かれていたため、表面に干割れの入ったものが多かった。

丸太を製材して得られた平角は全て心持ちであり、幅は10.5または12cmで、せい（高さ）は15～24cmであった。

2. 調査項目

丸太および平角の状態、それぞれ測定した。平角では製材直後と乾燥後の2回測定した。

1) 丸太

a. 節および最大枝径

丸太表面に認められる節の種類を死節（枯枝の切り跡）、腐節（腐れが認められる枝跡）および生節（生枝の切り跡）に分け、丸太の種類を枝が巻き込んで樹皮に被われてしまった無節の丸太、死節または腐死が認められる丸太、および死節または腐節に生節が認められる丸太の3種類に区分した。最大枝径は丸太表面に観察された切り取られた枝跡の長径と短径を測定した。

b. 径

素材の日本農林規格に基づいた径（JAS径）および末口と元口で円周の長さから算出した樹皮付きの直径を測定した。

c. 平均年輪幅

末口直径（樹皮付き）を末口の2倍の年輪数で除して求めた。

d. 未成熟材平均年輪幅

末口面で、髓から15年輪目の長径と短径を測定して平均し、30で除して求めた。

e. 未成熟材径比

未成熟材の平均径を末口直径で除して求めた。

f. 密度

丸太の重さを体積で除して求めた。体積の算出には、丸太の末口径と元口径の平均値を利用した。

g. ヤング係数

縦振動法により測定した。単位は tf/cm^2 を使用した。

2) 平角

a. JAS等級

「針葉樹の構造用製材の日本農林規格」甲種構造用Ⅱの基準に従って等級を決めた。

b. 平均年輪幅

末口で曲げ試験の際、引張りの力が働く下半部において測定した。

c. 未成熟材径比

丸太の末口で測定した未成熟材の径を、平角のせいで除して求めた。

d. 密度

平角の重さを体積で除して求めた。

e. 含水率

曲げ試験後、試験材から切片をとり全乾法により測定した。

f. ヤング係数

縦振動法、および曲げ試験の荷重と中央たわみの関係から求める方法の2つの方法で測定した。単位は tf/cm^2 を使用した。

g. 曲げ強さ

支点間の長さを4m材では360cmに、3m材では270cmとし、3等分点4点荷重法により曲げ試験を行って曲げ強さを測定した。単位は kgf/cm^2 を使用した。

III 結果および考察

まず丸太の状態を調査、測定を行い、その後丸太の寸法に応じた寸法の心持ち平角に製材し、未乾燥状態の平角の測定を行った。平角の乾燥は天然乾燥で行ったが、天然乾燥後密度の大きかった一部については人工乾燥を行った。

丸太および乾燥後の平角について、調査結果の概要を表-1に示した。

丸太の表面が無節のものは、1番玉が多かった。生節も認められる丸太は2番玉と3番玉が多く、

表-1 試験材(丸太および平角)の概要

種類	項目		丸太表面の区分による種類		
			無節	死節・腐節	死節・腐節・生節
丸太	本数	本	17	27	19
	玉番	番玉	1.2	1.7	2.3
	末口直径	cm	24.4	23.1	22.4
	平均年輪幅	mm/年	3.2	3.0	2.9
	未成熟材 //	mm/年	4.8	4.8	4.5
	未成熟材径比		0.60	0.63	0.61
	密度	g/cm ³	0.41	0.45	0.46
	最大枝径	mm	-	26×20	52×43
平角 (乾燥材)	JAS等級	級	1.9	2.0	2.5
	平均年輪幅	mm/年	4.5	4.7	5.0
	未成熟材径比		0.80	0.83	0.81
	密度	g/cm ³	0.41	0.42	0.45
	含水率	%	16.7	16.8	16.0

未成熟部径比：髓から15年輪目の位置の直径÷丸太断面の直径(または平角長径)
含水率：全乾法による

生節のない死節と腐節だけの丸太は2番玉が多かった。生節も認められた種類の丸太は、最大枝径が大きな値を示したが、生節の径は死節、腐節の径よりも大きいことが原因であった。

丸太の密度は製材直後の平角の密度とほとんど差がなく、辺材等の丸太の表面はかなり乾燥していたと想像された。

平角のJAS等級は、ほとんど節による等級によって決定された。

1. 丸太のヤング係数等

試験材として用いた丸太のヤング係数は47.6 tf/cm²から102.8 tf/cm²の範囲にあり、平均値は77.1 tf/cm²であった。丸太の表面が無節のもの、死節・腐節のもの及び死節・腐節・生節の3種類に分

表-2 丸太種類別ヤング係数

測定区分	無節 tf/cm ²	死節・腐節 tf/cm ²	死節・腐節・生節 tf/cm ²	全体 tf/cm ²
丸太	74.4	78.5	77.6	77.1
	54.4	52.5	56.0	54.8
平角(未乾燥材)	74.8	70.9	71.7	72.2
	58.8	46.4	51.3	51.5
平角(乾燥材)	79.8	76.5	77.3	77.6
	63.1	50.0	55.6	55.6

ヤング係数：縦振動法による，上段：平均値，下段：95%信頼下限値

けて、丸太および平角の縦振動法により測定したヤング係数を表-2に示した。

無節の丸太のヤング係数の平均値は74.4tf/cm²で、他の2種類の丸太のそれよりもやや小さい値であった。その理由として、表面が無節の丸太は1番玉が多いことがあげられる。スギの1番玉は、2番玉以上の丸太に比べヤング係数がやや小さい傾向があるといわれ、今回の測定結果にもそれが現れていると考えられた。しかし分散分析の結果Foは0.485となり、3種類の平均値に有意な差は無かった。また、95%信頼の下限値についても3者に差は無かった。

丸太の節以外の調査項目について、それらが丸太のヤング係数とどのような関係があるかを調べ表-3に示した。丸太の平均年輪幅、密度および縦振動による固有振動数は丸太のヤング係数と1%の有意水準で相関が認められた。

表-3 丸太のヤング係数との相関

材料	変数	相関係数	有意水準
丸太	平均年輪幅	0.348	1%
	未成熟材 //	0.192	-
	未成熟材径比	0.174	-
	密度	0.349	1%
	固有振動数	0.505	1%

2. 平角のヤング係数等

製材直後の未乾燥の平角の平均ヤング係数は72.2tf/cm²となり、丸太のときの平均ヤング係数の値に比べ6.4%小さくなった。この原因として、製材によって丸太中心部の未成熟材の占有率が増加したためと考えられる。しかし材が乾燥するに伴ってヤング係数の値は大きくなり、乾燥後の平

角の平均ヤング係数は丸太の時のヤング係数の値とほぼ同じになった。なお曲げ試験から得られた平均曲げヤング係数は77.8tf/cm²（標準偏差は14.1tf/cm²）となり、縦振動法による値とほぼ同じであった。両者の相関係数は0.945となり標準偏差は4.50tf/cm²であった。

丸太表面上の節による種類別のヤング係数は、無節の丸太では他の2種類の丸太に比べやや大きな値を示したが差はなかった（Fo=0.326）。

表-2には、95%信頼の下限値も表示した。平均値は丸太、平角とも丸太表面上の節の状態でヤング係数に差はなかったが、95%信頼の下限値については、表面が無節の丸太は他の2種類の節の見られる丸太に比べ、ヤング係数の値は大きかった。試験材全体の下限値と比べると、13%大きかった。

また丸太および平角の各調査項目について、乾燥後の平角のヤング係数との関係を調べ表-4に示した。最も相関の高かったのは、乾燥後の密度で、相関係数は0.546であった。未成熟材の平均年輪幅は、平角で測定した平均年輪幅と同程度の相関があった。JAS等級との関連はなかった。

表-4 平角（乾燥材）のヤング係数との相関

材料	変数	相関係数	有意水準
丸太	平均年輪幅	0.268	5%
	未成熟材 //	0.299	5%
	未成熟材径比	0.013	-
	密度	0.276	5%
平角 (乾燥材)	JAS等級	0.136	-
	平均年輪幅	0.267	5%
	未成熟材径比	0.040	-
	密度	0.546	1%

3. 丸太のヤング係数と平角のヤング係数との関係

ともに縦振動法により測定した丸太のヤング係数と製材直後の未乾燥平角のヤング係数との関係は、相関係数が0.857となり、表-4にまとめられた調査項目に比べはるかに高い相関があった。回帰式は $y = 10.4 + 0.867x$ (x : 丸太のヤング係数 tf/cm^2 : 未乾燥平角のヤング係数 tf/cm^2) が得られた。また乾燥後の平角について、同様に丸太のヤング係数との関係を調べたが、相関係数は0.857となり乾燥前と同程度の相関であった。因みに乾燥前の平角のヤング係数と乾燥後のそれとの相関係数は0.990であった。

さらに丸太のヤング係数と未乾燥の平角のヤング係数との関係を丸太表面の節の状態別に図-1に示した。無節の丸太はやや高いヤング係数の平角が得られる傾向が見られ、3本の回帰線の間には傾きにおいて有意な差はなかったが、切片において 5.9tf/cm^2 の差があった。従って、表面が無節の丸太から得られる平角のヤング係数は、表面に節のある丸太からのものに比べ、やや高くなる傾向があると思われる。しかしその差は小さいと考えられる。

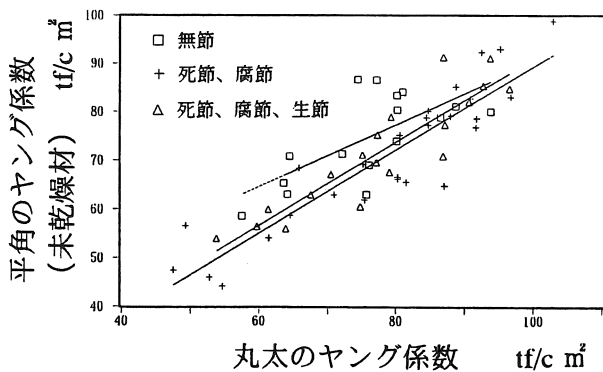


図-1 丸太のヤング係数と平角 (未乾燥材) のヤング係数との関係

4. 丸太のヤング係数による95%信頼の平角のヤング係数の推定

ともに縦振動法により測定した丸太のヤング係

数と乾燥後の平角のヤング係数の関係を図-2に示した。また同図には、下側95%信頼限界の平角のヤング係数の線も書き込んだ。木構造計算規準 (日本建築学会、1988) が示すスギの普通構造材の繊維方向のヤング係数 70tf/cm^2 の平角を得るには、丸太の状態で測定されるヤング係数が 82tf/cm^2 以上である必要があった。そのような丸太は、今回の試験材では37%を占めた。

またヒノキ並のヤング係数を有する平角を得るには丸太のヤング係数が 106tf/cm^2 以上の丸太を、ベイマツ並では 118tf/cm^2 以上の丸太を必要とすると計算された。そのような丸太は今回の試験材の中には存在しなかった。

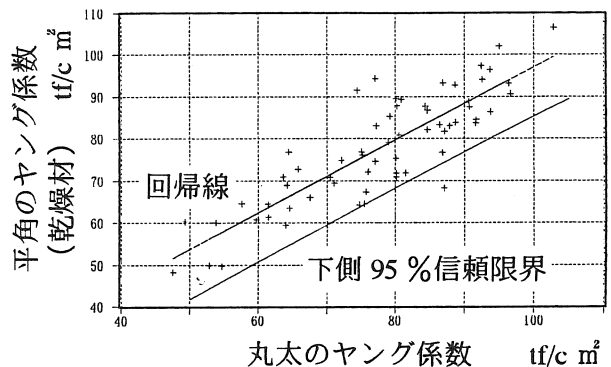


図-2 丸太のヤング係数と平角 (乾燥材) のヤング係数との関係

5. 曲げ強さ

実大材の曲げ試験による曲げ強さの平均値は 40kgf/cm^2 であり、標準偏差は 94.3kgf/cm^2 であった。95%信頼の曲げ強さの下限値を推定すると 248kgf/cm^2 となった。

丸太表面の節の状態別に曲げ強さを表-5に示した。平均曲げ強さは、3者に差は認められなかった。しかしそれぞれの95%信頼の下限値は、表面が無節の丸太では他の2種類の丸太に比べ高い値となった。(図-3)

さらに「針葉樹の構造用製材の日本農林規格」

表-5 丸太種類別曲げ強さ

種類	無節	死節・腐節	死節・腐節・生節	全体
	kgf/cm ²	kgf/cm ²	kgf/cm ²	kgf/cm ²
曲げ強さ	$\frac{399}{302}$	$\frac{412}{242}$	$\frac{402}{220}$	$\frac{406}{248}$

上段：平均値， 下段：95%信頼下限値

表-6 平角のJAS等級別曲げ強さ

項目	1級	2級	3級	全体
本数	8本	40本	13本	60本
丸太種類別本数	A(4) B(4) C(0)	A(10) B(20) C(10)	A(2) B(3) C(8)	A(16) B(27) C(17)
曲げ強さ	$\frac{428}{301}$	$\frac{415}{258}$	$\frac{364}{175}$	$\frac{406}{248}$
ヤング係数 (乾燥材)	$\frac{73.5}{36.0}$	$\frac{77.8}{56.2}$	$\frac{79.3}{61.1}$	$\frac{77.5}{55.4}$

丸太種類別本数：Aは無節の丸太、Bは死節・腐節の丸太、Cは死節・腐節・生節の丸太、()内は本数。
 曲げ強さ：単位はkgf/cm²、上段は平均値、下段は95%信頼下限値。
 ヤング係数：単位はtf/cm²、上段は平均値、下段は95%信頼下限値、縦振動法による。

の甲種構造材Ⅱの基準により目視の等級区分を行い、曲げ強さとヤング係数についてとりまとめ表-6に示した。3者の平均曲げ強さは1級では428kgf/cm²、2級では415kgf/cm²、3級では364kgf/cm²となったが有意な差は認められなかった (Fo=1.056)。しかし曲げ強さの分布を正規分布と仮定し、それぞれの分布状態を調べたところ、下限値において差があると思われた。

またJAS等級別の平角の平均ヤング係数は表-6のとおりであり、等級間に差はなかった (Fo=0.487)。しかし95%信頼の下限値はJAS1級の試験材では著しく低く、表-2に示した平角のヤング係数の結果と相反する結果となった。これは標準偏差が2級の12.8tf/cm²、3級の10.2tf/cm²に比べ19.8tf/cm²と高かったことが影響し、等級

別のデータ不足が原因と思われる。

さらに丸太の各調査項目と曲げ強さとの相関を調べ、結果を表-7に示した。全体的には、表-4に示したヤング係数との関係よりも高い相関があった。

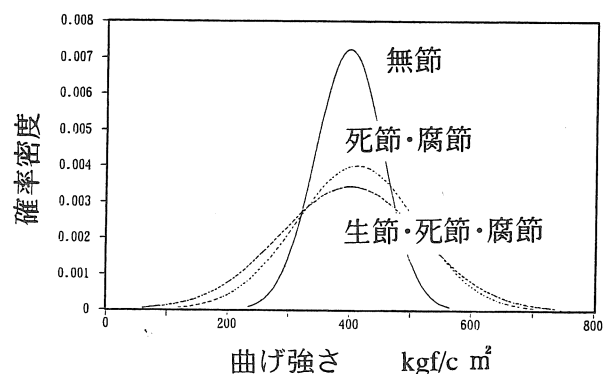


図-3 丸太の種類別曲げ強さの分布

表-7 曲げ強さとの相関

材料	変数	相関係数	有意水準
丸太	平均年輪幅	0.406	1%
	未成熟材 //	0.202	-
	未成熟材径比	0.276	5%
	密度	0.469	1%
	ヤング係数	0.517	1%

6. 丸太のヤング係数と曲げ強さの関係

丸太のヤング係数の値から平角の曲げ強さを推定するため両者の関係を調べ、図-4に示した。相関係数は0.517となり、回帰式は $y=116.7+3.733x$ (x :丸太のヤング係数 tf/cm^2 , y :曲げ強さ kgf/cm^2) が得られた。報告済みの三河材のスギ正角材の曲げ試験結果(相関係数は0.598)と比べると、相関はかなり低かった。図-4には曲げ強さの下側95%信頼限界も書き入れたが、一定の強さの平角を生産する場合、丸太でのヤング係数の測定は有効と思われる。

また、曲げ試験から得られた平角の曲げヤング係数と曲げ強さの関係では、相関係数は0.575となり、丸太のヤング係数の場合よりもやや高い相関が得られた。しかし、さきに報告した三河材のスギ正角材の相関係数0.701に比べるとやや値が小さいが、平角と正角の両者の相関係数に有意な差はなかった ($u_0=1.094$)。

回帰式は $y=101.9+3.906x$ (x :曲げヤング係数 tf/cm^2 , y :曲げ強さ kgf/cm^2) が得られた。

IV おわりに

スギはヒノキ、ベイマツ等に比べヤング係数の点では不利であるが、断面の大きな無垢の建築材が容易に得られるという利点がある。この点を生かして利用の拡大を図るため、強度的に信頼性の高いスギの平角を合理的に得る方法を検討した。

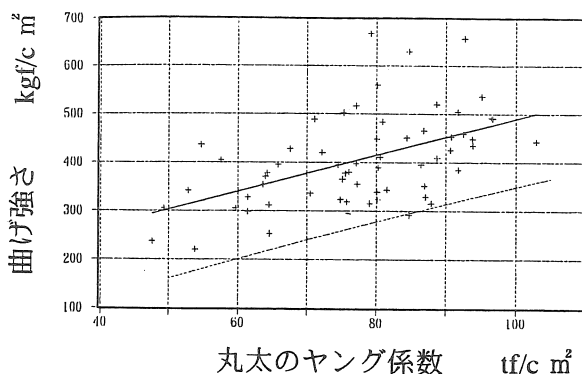


図-4 丸太のヤング係数と曲げ強さの関係

その結果、ヤング係数が70 tf/cm^2 以上のスギの平角を得るには、丸太のときのヤング係数が82 tf/cm^2 以上であることが必要であった。そのような丸太は、今回の試験材の中にはおよそ3分の1存在した。従って、建築構造用部材として、強度的信頼性の高い県産のスギ材を供給する上で、丸太の強度等級区分技術は有効と考えられた。しかし今回の試験材の中にはヒノキ並、ベイマツ並のヤング係数を有する平角を予測できる丸太はなく、そのような平角を得るには、製材後にヤング係数を再測定する必要があった。

また、丸太表面の節の状態は、曲げ強さに対し大きく影響する傾向が見られた。従って曲げ強さを主目的とする丸太の強度等級区分では、ヤング係数による区分を行う前に、丸太の表面の状態を予備的選別する方法も考えられる。ヤング係数への影響については小さいと思われたが、両者とも実用に当たってはさらにデータを蓄積し、効果の程度を明らかにする必要がある。

V 参考文献

- 1) 菱田重寿他：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 1991
- 2) 菱田重寿他：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 1992
- 3) 秋田県林務部：秋田杉の強度材質と木質構造 建築 1996

- 4) 日本建築学会：木構造計算規準・同解説 技報堂 1992
- 5) 豊川裕之他：医学・保健学の例題による統計学 現代数学社 1982
- 6) 古川俊之他：医学への統計学 朝倉書店 1983
- 7) 吉川英夫：電卓による統計解析手順集 日科技連出版局 1984