

県産スギ正角材の強度

主任専門研究員 東野 正
上席専門研究員 中野 正志

要 旨

戦後、造林されたスギの強度性能について、県北地方産のスギ正角材を対象に検討し、併せて強度性能と外観的特性の関係を検討した。

- 1 スギ10.5cm正角材を供試材とした。
- 2 重錘法で測定した生材時の曲げヤング係数の平均値は64.9tonf/cm²で、気乾時の曲げヤング係数は生材時より12%増加した。
- 3 実大曲げ試験時の曲げ破壊係数は406kgf/cm²・曲げヤング係数は76.6tonf/cm²であった。
- 4 生材時の曲げヤング係数と気乾時の強度性能には高い相関があり、気乾材の強度推定の可能性が認められた。
- 5 非破壊的に気乾材の強度を推定することにより、要求される強度に応じた材を合理的に供給することが可能と考えられる。

1 はじめに

戦後、造林された人工林は主間伐期を迎えつつあり、これらの大半を占める針葉樹造林木は主として建築用材として使用されている。そのため、建築材としての強度性能の基準値を満たしているか明らかにする必要がある。

本試験では特に建築構造用材として利用されているスギ心持ち正角材についての強度性能と、外観的特性から強度性能を推定することの可能性について、県北産スギを対象に検討した。今回は県北産スギを供試材としたが、順次産地別に強度試験を実施したいと考えている。

なお、本試験は林野庁メニュー試験「構造用製材の強度等級区分に関する研究」¹⁾²⁾の一環として実施したものである。

2 試験方法

(1) 供試材

供試材は、県北産（軽米・浄法寺町）の長さ4mの10.5cm心持ち正角のスギとした。供試材の選定にあたっては、民間製材工場において無差別に抽出した。供試材は主として比較的生長の良好な間伐木から採材したものである。

供試数は生材600本で、そのうち150本を実大曲げ強度試験に供した。

(2) 調査・測定

(ア) 生材状態

製材直後の生材状態の供試材600本について、次の項目を調査した。

曲げヤング係数：スパン270cm、三等分四点荷重方式で重錘法（分銅载荷 10kg×3回）により測定した。

品等区分：材面に現われた節及び丸身等について日本農林規格にしたがって品等格付けを行なった。

(イ) 気乾状態

供試材の600本のうち150本について気乾状態に達したとき、次の項目を試験した。

材質調査：比重、含水率、平均年輪幅、節径比、節面積比、繊維傾斜を測定した。

実大材の曲げ破壊試験：実大試験機（100ton 東京衡機）を使用し、スパン 270cm、三等分四点荷重方式で実大材の曲げ破壊試験を行なった。

無欠点小試験体による解析試験：実大材の曲げ破壊試験後、非破壊部分よりJIS試験用として2本の無欠点小試験体を採材し、静的曲げ試験を行ない、実大材との曲げ破壊係数の比を算出した。

3 結 果

(1) 生材時の曲げヤング係数

曲げヤング係数は一定の歪を生じさせるのに必要な力の程度を示すもので、曲げヤング係数の大きな材は、歪みにくく強度が高い。生材時の供試材600本の、曲げヤング係数の平均値は64.9tonf/cm²であった。

節、丸身及び総合等級による品等区分別の曲げヤング係数を表-1に示した。

表-1 等級別の生材時曲げヤング係数

等 級	節			丸 身			総 合			平均
	特等	1等	2等	特等	1等	2等	特等	1等	2等	
本 数 本	316	261	23	437	148	15	221	341	38	
平均 tonf/cm ²	65.6	64.6	60.5	64.1	67.3	67.4	64.4	65.6	63.2	64.9
標準偏差	14.5	14.5	10.6	14.7	13.6	10.4	15.0	14.4	11.0	14.4
変動係数 %	22.1	22.7	17.5	22.9	20.2	15.4	23.3	22.0	17.4	22.2

節による品等区分では、2等材が少なかったため、各等級間の比較はできないが、特等材と1等材の曲げヤング係数にはほとんど差は認められなかった。

丸身及び総合等級による品等区分にも同様な傾向が認められる。このように日本農林規格による節、丸身についての外観的な等級区分と、曲げヤング係数との関連性は認められなかった。

(2) 乾燥による曲げヤング係数、曲げ剛性の変化

曲げ破壊試験用の供試材150本の生材時及び気乾時（平均含水率19.9%）の曲げヤング係数の出現頻度、累加頻度を図-1に示した。

曲げヤング係数の平均値は、生材時と気乾時でそれぞれ61.5、68.9tonf/cm²であった。

生材時と気乾時の曲げヤング係数の比を表-2に示した。気乾時の曲げヤング係数は生材時の1.12倍となり、乾燥するにつれて曲げヤング係数は増加する傾向が認められた。

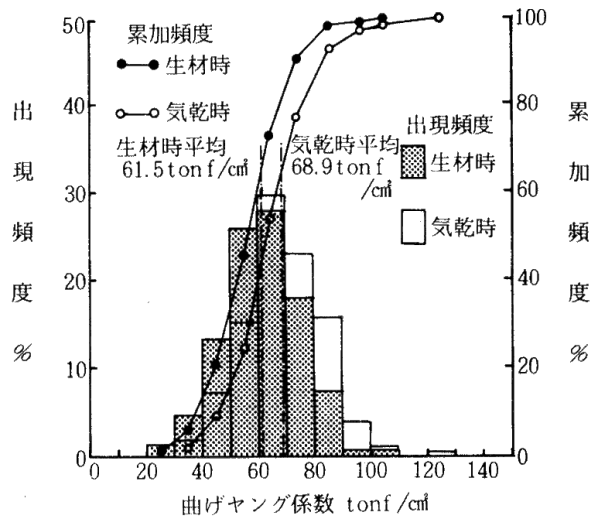


図-1 生材時及び気乾時の曲げヤング係数（重錘法）の出現・累加頻度

表-2 曲げヤング係数、曲げ剛性の変化

比	曲げヤング係数	曲げ剛性
	気乾時 生材時	気乾時 生材時
平均	1.12	1.07
範囲	0.96~1.27	0.95~1.18

含水率の変化と曲げヤング係数の変化の関係は、無欠点小試験体では含水率が1%減少すると、曲げヤング係数は2%増加するといわれているが、実大材の試験体では約1.3%で、無欠点小試験体よりやや低い値となっている。これは実大材の場合、節などの欠点を多く含むためと考えられる。

また、同様に曲げヤング係数と断面二次モーメントの積で表わされる曲げ剛性でみると、乾燥による収縮によって、断面二次モーメントは減少するものの曲げヤング係数が増加して曲げ剛性は増加し、生材時と気乾時の比は1.07となった。

(3) 外観的特性

気乾時における供試材の外観的特性を表-3に示した。

表-3 供試材の外観的特性（供試材数 150本）

	含水率 %	比重	年輪幅 mm	最大節径比%		集中節径比%		節面積比 %	繊維傾斜 mm/m
				中央1/3区間	全区間	中央1/3区間	全区間		
平均	19.0	0.37	5.3	21.7	23.9	33.5	39.0	0.05	21.6
標準偏差	0.8	0.03	1.3	5.5	5.4	8.6	9.6	0.03	15.0
変動係数%	3.9	8.5	23.7	25.6	22.5	25.7	24.5	48.0	69.4

外観的特性を平均値で示すと気乾比重は0.37、平均年輪幅は5.3mm、最大節径比および集中節径比は中央1/3区間でそれぞれ21.7、23.9、全区間でそれぞれ33.5、39.0であった。

また、破壊に関与したとみられる節について、供試材の断面積に対する節の面積比は0.05、最大でも0.17の値を示し、今回供試したスギ心持ち10.5cm角程度の断面では大きな節は少ないものと考えられる。

(4) 実大材曲げ破壊試験

曲げ破壊係数、曲げヤング係数、及び比重は、曲げ破壊試験時の含水率から以下の式³⁾で含水率15%時の強度値に換算した。

$$MOE = E \{ 1.1 (1 + \phi) / (1.44 - 0.02MC) \}$$

MOE : 曲げヤング係数 (換算値)

E : 曲げヤング係数 (実測値)

MC : 含水率 (%)

$$\phi = 38.4 \times \frac{h^2}{2L^2 + 2SL - S^2}$$

h : 梁せい L : スパン S : 荷重点間隔

$$MOR = S_{max} \{ 1.25 / (1.75 - 0.0333MC) \}$$

MOR : 曲げ破壊係数 (換算値)

S_{max} : 曲げ破壊係数 (実測値)

$$r_{15} = \frac{(1 + \alpha_T \cdot MC / 100) (1 + \alpha_R \cdot MC / 100) \cdot 1.15 \cdot r_u}{(1 + 0.15 \alpha_T) (1 + 0.15 \alpha_R) (1 + MC / 100)}$$

r₁₅ : 含水率15%時の比重 (換算値)

r_u : 含水率u%時の比重 (実測値)

$$\alpha_T = 0.25 \quad \alpha_R = 0.10$$

実大材の曲げ破壊試験結果を表-4に、等級別の強度性能を表-5に示した。また、曲げ破壊係数及び

表-4 実材大の曲げ破壊試験結果

	曲げヤング係数 EL tonf/cm ²				モーメント 一定区間の 曲げヤング 係数 EI 換算値 ton f/cm ²	曲げ比 例度 σ _{bp} 換算値 kgf/cm ²	曲げ破 壊係 数 σ _b 換算値 kgf/cm ²	σ _{bp} /σ _b	σ _b /EL	強度比 SR	比 重 換算値
	重 錘 法		実大曲げ試験								
	生材時	気乾時	実測値	換算値							
平 均	61.5	68.9	72.2	76.6	78.6	244	406	0.60	0.0053	0.79	0.36
標 準 偏 差	13.8	15.1	16.3	17.5	18.2	62.0	82.6	0.10	0.0009	0.13	0.03
変動係数%	22.4	21.9	22.6	22.8	23.2	25.4	20.4	16.7	14.0	17.3	8.6

曲げヤング係数の出現頻度、累加頻度を図-2～3に示した。

曲げ破壊係数の平均値は406kgf/cm²、95%の信頼下限値は270kgf/cm²で、建築基準法施行令で規定されたスギの材料強度225kgf/cm²を十分に満足していた。

曲げ比例限度の平均値は244kgf/cm²であった。

曲げヤング係数は平均値で76.6tonf/cm²を示し、木構造設計基準に示されているスギの普通構造材の70tonf/cm²以下の材が35%を占めた。反面、同じく上級構造材の80tonf/cm²

表-5 等級別の強度性能

		等級		
		特等	1等	2等
本数	本	59	84	7
曲げヤング係数 E L	平均 ton f / cm ²	74.4	78.4	73.9
	標準偏差	17.7	17.4	15.7
	変動係数%	23.8	22.2	21.3
曲げ破壊係数 σ b	平均 kg f / cm ²	407	408	360
	標準偏差	75.5	87.3	78.7
	変動係数%	18.5	21.4	21.9

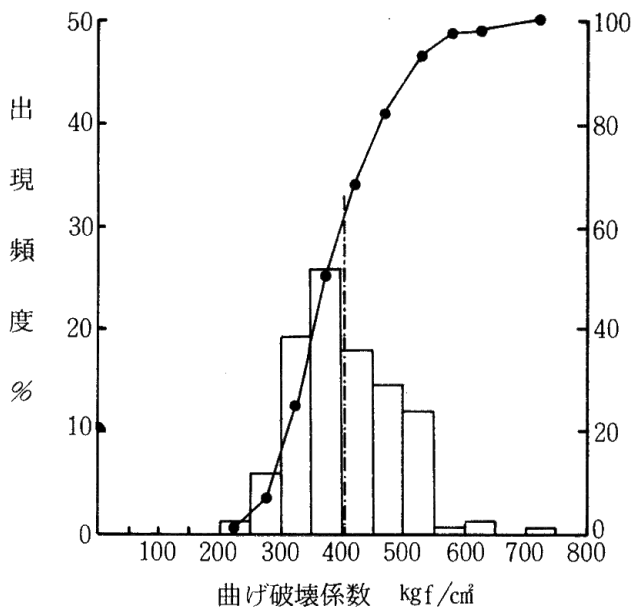


図-2 曲げ破壊係数の出現・累加頻度

を上回る材は43%であった。曲げヤング係数の95%の信頼下限値は47.9tonf/cm²であった。

曲げヤング係数の生材時、気乾時および換算値の正規化順位曲線を図-4に示した。

曲げヤング係数の含水率15%時換算値は生材時の約1.3倍の値を示した。

曲げヤング係数と曲げ破壊係数の等級別正規化順位曲線を図-5～6に示した。

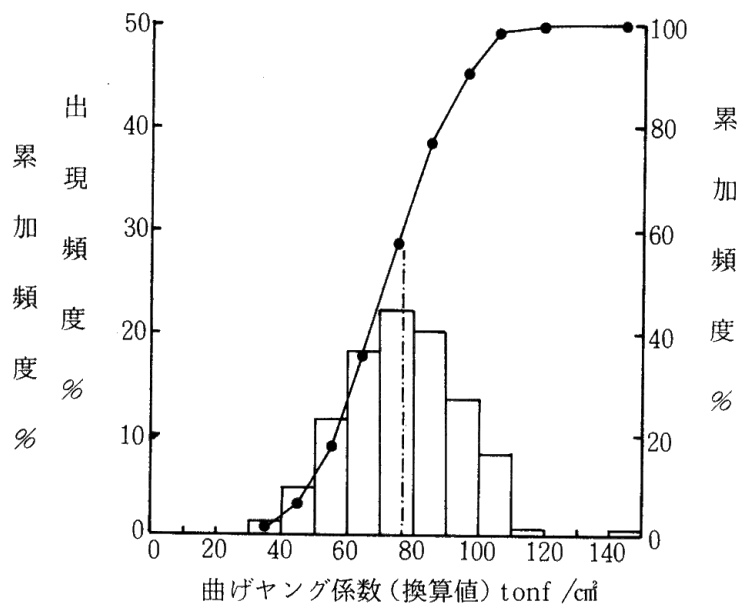


図-3 曲げヤング係数(換算値)の出現・累加頻度

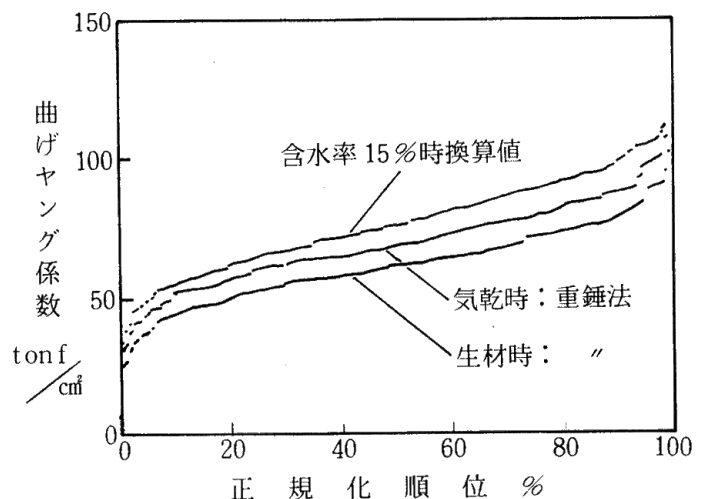


図-4 各含水率時の曲げヤング係数の正規化順位曲線

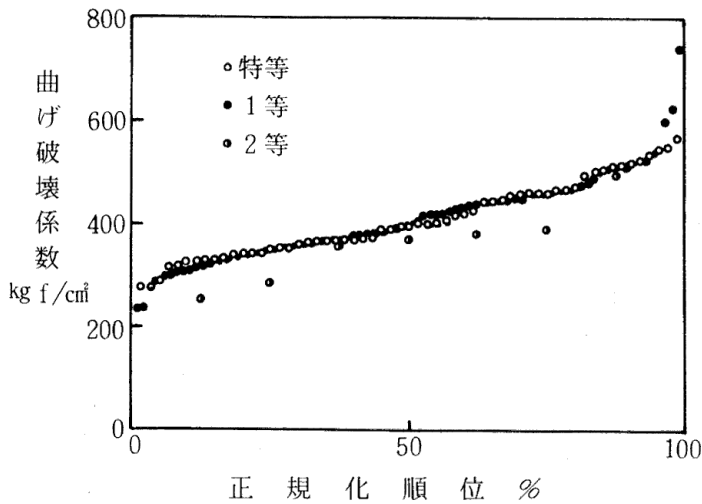


図-5 曲げ破壊係数の等級別正規化順位曲線

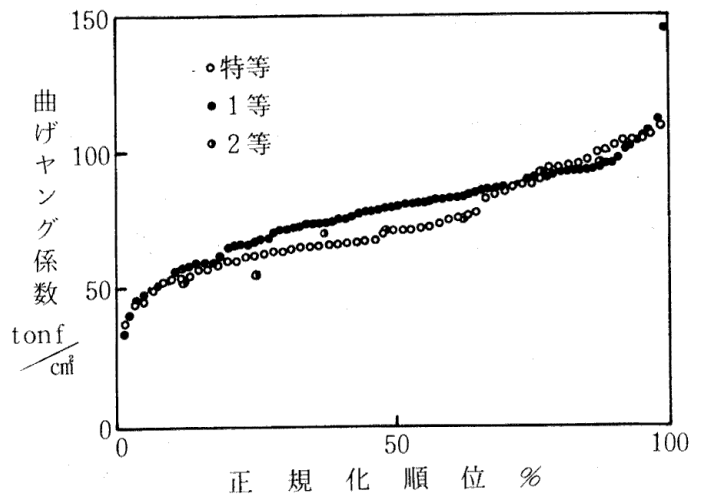


図-6 曲げヤング係数の等級別正規化順位曲線

外観的な等級区分と、曲げヤング係数との関連性は認められなかった。曲げ破壊係数については2等材が低い傾向を示したが、供試数が少なかったため、等級区分と強度性能の関連性については今後の検討を要する。

(5) 無欠点小試験体の解析結果

無欠点小試験体の曲げ試験結果を表-6に、実大材に対する前記結果との比を表-7に示した。

曲げ破壊係数は実大材よりも高い値を示したが、曲げヤング係数は下廻る傾向が認められた。

実大材と無欠点小試験体の曲げ破壊係数に対する比（強度比）は0.79であった。

表-6 無欠点小試験体の曲げ試験結果

(供試材数 300本)

	比 重	年 輪 幅 mm	曲げヤング 係数 E L ton f / cm ²	曲げ比例 限度 σ_{bp} kg / cm ²	曲げ破壊 係数 σ_b kg f / cm ²
平 均	0.355	4.89	64.3	292	521
標準偏差	0.039	1.67	15.5	70.5	92.8
変動係数%	9.6	34.2	24.0	24.1	17.8

表-7 実大材に対する無欠点小試験体の比

(供試材数 150本)

実大材	比 重	年輪幅	曲げヤング 係数 E L	曲げ比例 限度 σ_{bp}	曲げ破壊 係数 σ_b
無欠点小 試験体					
平 均	1.12	1.11	1.24	0.86	0.79
標準偏差	0.06	0.25	0.20	0.86	0.79
変動係数	5.1	22.9	16.3	22.2	17.3

(6) 外観的特性と強度性能

生材時、気乾時、および曲げ破壊試験の強度性能と外観的特性の相関係数を表-8に示した。

表-8 強度性能と材質の相関係数

	生材時曲げヤング係数 (重錘法)	気乾時曲げヤング係数 (重錘法)	曲げ試験時曲げヤング係数 (換算値)	曲げ破壊係数 (換算値)	比重 (換算値)	平均年輪幅	木口面全数	1/2区間最大比	1/2区間集中比	節面積比	繊維傾斜
生材時曲げヤング係数 (重錘法)	1.000	0.968 **	0.921 **	0.743 **	0.505 **	-0.471 **	0.215 **	-0.034	-0.119	0.068	-0.013
気乾時曲げヤング係数 (重錘法)		1.000	0.926 **	0.739 **	0.549 **	-0.472 **	0.249 **	-0.040	-0.112	0.047	-0.051
曲げ試験時曲げヤング係数 (換算値)			1.000	0.785 **	0.552 **	-0.499 **	0.227 **	-0.045	-0.149	0.011	-0.048
曲げ破壊係数 (換算値)				1.000	0.582 **	-0.370 **	0.146	-0.233	-0.276 **	0.036	-0.081

有意水準 **: $\sigma = 1\%$

* : $\sigma = 5\%$

生材時の曲げヤング係数と、曲げ破壊係数及び含水率15%時換算値の曲げヤング係数との関係は図-7~8に示したが、それぞれの相関係数は0.74、0.92と高い相関を示した。生材時の曲げヤング係数と気乾時の強度性能には高い相関があり、気乾材の強度推定の可能性が認められた。

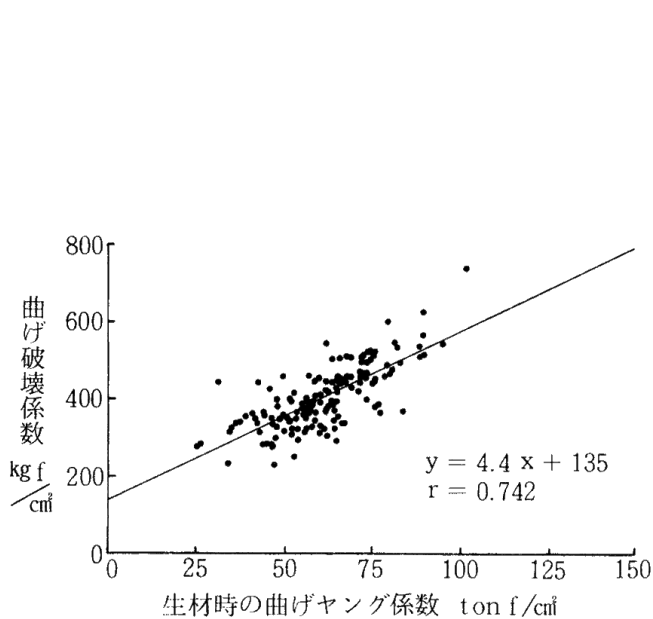


図-7 生材時の曲げヤング係数と曲げ破壊係数の関係

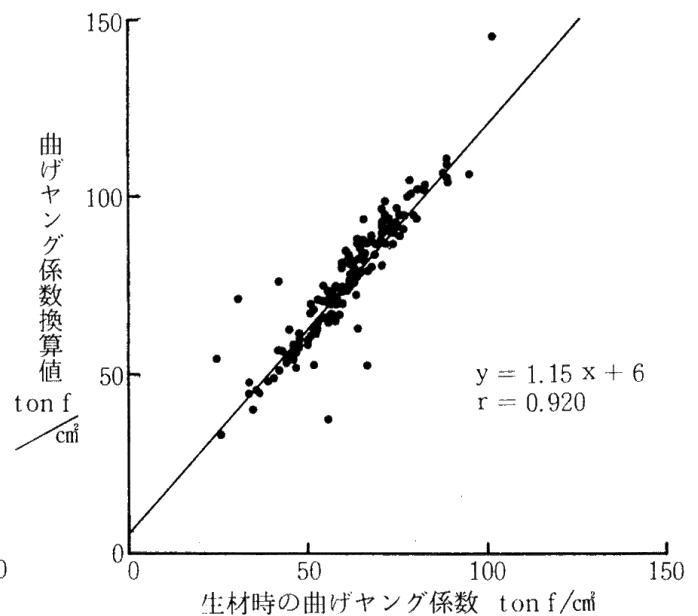


図-8 生材時と換算値の曲げヤング係数の関係

曲げヤング係数と曲げ破壊係数の関係は図-9に示し、相関係数は0.78であった。

曲げヤング係数と比重、平均年輪幅、木口面完全年輪数との間にはそれぞれ相関が認められたが、最大節径比、集中節径比、節面積比、繊維傾斜との間には相関が認められなかった。

(7) 重回帰法による強度性能の推定

非破壊的に曲げ破壊係数を推定する可能性の検討のために、重錘法で測定した曲げヤング係数と節などの外観的特性から算定する式を重回帰分析法⁴⁾により検討した。

その結果、次のモデル三式が得られた。

モデル1式

$$y = 3.44 X_1 + 811.98 X_2 - 3.87 X_3 - 42.47$$

重相関係数 : 0.665

X_1 : 生材時の曲げヤング係数

X_2 : 比重

X_3 : 最大節径比

モデル2式

$$y = 3.11 X_1 + 789.61 X_2 - 3.80 X_3 - 38.02$$

重相関係数 0.651

X_1 : 気乾時の曲げヤング係数

X_2 : 比重

X_3 : 最大節径比

モデル3式

$$y = 1489.03 X_1 - 4.33 X_2 - 16.83 X_3 - 2.16$$

重相関係数 : 0.483

X_1 : 比重

X_2 : 最大節径比

X_3 : 平均年輪幅

モデル1、2式では、曲げ破壊係数の予測にあたっては、曲げヤング係数が最も有効な因子であり、次いで比重、最大節径比が有効な因子である。

曲げヤング係数を因子から除いたモデル3式では、比重が最も有効な因子であり、次いで最大節径比、平均年輪幅が有効となっている。

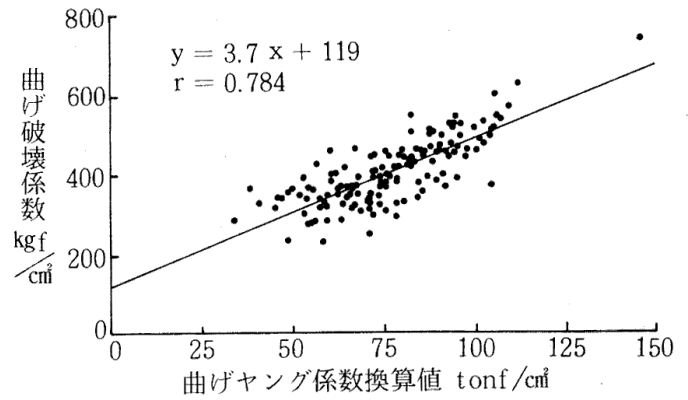


図-9 曲げヤング係数と曲げ破壊係数の関係

実測値と推定値の差（回帰誤差率）はモデル1式が48.2%、モデル2式が49.2%、モデル3式が59.9%となっている。

上記三式についてみると、モデル1、2式の方法は曲げヤング係数を測定しなければならないが、測定の容易な外観的特性のみによっているモデル3式よりは精度がやや高い。

4 ま と め

戦後造林された比較的若齢木の、構造用材としての強度性能を把握するために、県北産のスギ正角材を対象に、曲げ破壊試験を行なった。その結果、大部分の供試材は建築基準法施行令で規定されたスギの材料強度225kgf/cm²を十分に満足しているが、曲げヤング係数の低い材がやや多いことが明らかになった。

また、気乾後の曲げ強度性能は、生材時の曲げヤング係数から推定することが可能であることも判明した。

今後、増大する人工造林木の利用にあたっては、非破壊的な強度測定により強度等級区分を行ない、強度に応じて合理的に使用する体制を整えることが、木材の材料性能を活かした需要拡大につながっていくと考えられる。

5 文 献

- 1) 昭和58年度林業試験研究報告書 p196~218, 構造用製材の強度等級区分に関する研究
- 2) 木材工業 第39巻11号, p42~46, (1984). 中井 孝: 国産造林木の材質—スギ正角材の実大曲げ強度—
- 3) 日本建築学会北陸支部講演集 p13~16, (1988). 飯島泰男: 富山県産スギ小径材の強度性能について
- 4) 木材と技術 63号, p1~11, (1985). 飯島泰男・中谷浩: 実大構造材の曲げ強度性能 (第1報)