

振動法によるスギ節材の曲げ破壊係数の推定

中山 義雄・吉開 泰夫

(農学部林産学研究室)

Estimation of Modulus of Rupture in Bending of Sugi Beam with Knots by Vibrational Method

Yoshio NAKAYAMA, Yasuo YOSHIKAI

Laboratory of forest Products, Faculty of Agriculture

Abstract : This paper deals with the estimation of modulus of rupture of samples with knots in bending by dynamic Young's modulus (E_d). Samples with knots (*Cryptomeria japonica* D. Don) taken from mature wood, 15 mm by 30 mm in cross section, and 450 mm in length were tested in transverse vibrational method by free type and static bending by the method of two equal concentrated loads. Knots appeared at random in these samples.

Estimated value of modulus of rupture in bending was calculated by equation (3), where the E_d in equation (3) was calculated by equation (2).

The relationship between the estimated values and the experimental values were shown Fig. 1 and Fig. 2.

In the case of the perpendicular bending moment to the plain with Knots, the average of estimated values was less than the average of experimental values. But in the case of the parallel bending moment to the plain with Knots, the average of the estimated values was almost equal to the average of experimental values.

In Fig. 1 and Fig. 2 those plots were scattered near the line $\sigma_{be} = \sigma_{be}$, and some plots were located in the risk area for the structural timber, so that each estimated value had to be calculated larger than each experimental value.

Now, the estimated value of safety was calculated by equation (15) when the level of significance in 5 % and the result was shown Fig. 8.

It was estimated that the average of the estimated values was about 1.7 times to the average of the experimental values, but the average of the estimated values was calculated about 40 % larger than the value by the present working stress calculation in Japan.

はじめに

わが国において木材を構造用材料として用いる場合の許容応力度誘導方式は一般に無欠点小型材の基準的強度値（普通構造材は下限値，上級構造材は平均値）に比例限度係数（ $\frac{2}{3}$ ），欠点係数（ $\frac{1}{2}$ ）および荷重時間による影響係数（長期は $\frac{1}{2}$ ，短期は1）を乗じて算出している¹⁾。

このようにして決められる許容応力度についても構造物の安全を期すために現実には上級構造材でも基準値として強度下限値をとることが多い²⁾ ために，実際の値よりかなり過少な値で使用されているのが実態であり，合理的に利用されているとはいえない。

また，日本建築学会で採用されている応力等級区分も主として強度低減因子を外観検査によって判別するもので，個々の材料強度そのものについてのものではない。

このように，これまでは基準となる無欠点材の強度値そのものに著しい変動があることについては考慮されることが少なかった³⁾ といえよう。

こうしたことから木材の形質とくに強度に応じた個々の木材の等級区分ならびに強度値を示す方法を確立する必要が認められ，近年 stress grading machine³⁾⁻⁷⁾ の研究開発が主として静的な方法によって進められている。

一方、動的な方法での研究では、従来主に無欠点試験体の強度値推定に関し、とくにヤング率との相関性において良好な結果^{8),9)}を得ている。ここでは、振動を利用した動的方法によって、欠点をもつ木材のヤング率を測定しこれから強度値を推定しようとする非破壊試験の一環として、スギ有節材を用いてこの動的ヤング率を求め、これから非破壊で個々の曲げ破壊係数を推定する方法について考察し、得られた推定値と実験値とを比較することからこの方法の妥当性を検討した。

記 号

- P_e : 面外曲げ (perpendicular bending moment to the plane containing cross section of knot)
- P_a : 面内曲げ (parallel bending moment to the plane containing cross section of knot)
- σ_{be} : 曲げ破壊係数 (modulus of rupture in bending by bendig test) (kg/cm²)
- σ_{bc} : 推定曲げ破壊係数 (estimated modulus of rupture in bending by calculation) (kg/cm²)
- σ_{bcs} : 安全側の推定曲げ破壊係数 (estimated modulus of rupture in bending in safety area by calculation) (kg/cm²)

実 験

試験体 供試木は高知県香美郡土佐山田町穴内にある高知大学農学部附属演習林産の42年生スギ (*Cryptomeria japonica* D. DON) 造林木丸太を用い、この供試木の髄から放射方向に厚さ約35 mm のひき板を製材し、1ヶ年余り室内で乾燥させた。このひき板から系統的に厚さ15 mm、幅30 mm、長さ450 mm の板目木取り試験体を作成し、厚さおよび幅は±0.1 mm、長さは±0.5 mm の精度に仕上げた。これらの試験体から成熟材で生き節をもつ試験体を選んだ。試験体作成の方法から節の位置および数はランダムに出現している。

装置 動的試験にはCR発信器、励振用増幅器、シンクロスコープ、電磁変換器(励振器および受振器)、周波数カウンターおよび試験体支持台で構成された低周波たわみ振動測定装置¹⁰⁾を、静的試験にはアムスラー型木材万能試験機(最大能力4 ton)を用いた。

方法 実験は試験体の節の横断面をもつ面すなわち板目面に垂直に曲げモーメントが加わる場合(面外曲げ)および節の横断面をもつ面内に曲げモーメントが加わる場合(面内曲げ)についておこない、面外曲げ試験に67本、面内曲げ試験には69本、合計136本の試験体を用いた。

動的試験は、上記装置を用い試験体の支持条件を両端自由としてその固有振動数を測定し、動的ヤング率を算出した。

静的試験は、スパンを420 mmとし、2個の荷重をスパンの3分点(荷重点間の距離は140 mm)に加える4点荷重方式で曲げ破壊試験をおこなった。荷重は面内曲げの場合は試験体中央付近の節が引張り側にくるようにし、面外曲げの場合は木表から荷重した。平均荷重速度は毎分150 kg/cm²以下として、連続して荷重を加え、荷重が加わるとに試験体中央のたわみ量をダイヤルゲージで読みとり、stress-strain diagram を作成した。

比重、節の測定 節以外の木質部の比重 (ρ_w : specific gravity of wood except the knots in air dry) は次式によって求めた。

$$\rho_w = \frac{W_s - W_k}{V_s - V_k} \dots \dots \dots (1)$$

where W_s : weight of sample
 W_k : weight of knots
 V_s : volume of sample
 V_k : volume of knots

節の比重はこの供試木の節の比重を測定した結果、0.82~0.99の範囲となり、平均値は0.88であった。中村³⁾もスギの節の比重は0.85~0.95であるとしている。そこで、この報告では節の比重を0.9と仮定した。

節径比 (b/B) は用材の日本農林規格¹¹⁾に基づいて測定した。

節の位置は試験体の一端から両板目面にあらわれる節の中心までの距離を測定し平均値を用いた。また幅方向の位置については試験体の一方の縁辺から両板目面に現われる節の中心部までの距離を測定し平均値を用いた。

Ed の算出式 有節試験体の動的ヤング率は節の重量を節が存在する位置における集中質量に置き換えて、レーリー法で導びいた式(2)により算出した¹⁹⁾。

$$Ed = \frac{8 \cdot l^3 f^2}{\pi^2 \cdot I} \left[0.094 \mu_s - \rho_w \left\{ V_{k1} \left(\sin \frac{\pi \cdot Pd_1}{l} - \frac{2}{\pi} \right)^2 + V_{k2} \left(\sin \frac{\pi \cdot Pd_2}{l} - \frac{2}{\pi} \right)^2 \right. \right. \\ \dots + V_{ki} \left(\sin \frac{\pi \cdot Pd_i}{l} - \frac{2}{\pi} \right)^2 \left. \left. \right\} + 0.9 \left\{ V_{k1} \left(\sin \frac{\pi \cdot Pd_1}{l} - \frac{2}{\pi} \right)^2 + V_{k2} \left(\sin \frac{\pi \cdot Pd_2}{l} - \frac{2}{\pi} \right)^2 \right. \right. \\ \dots + V_{ki} \left(\sin \frac{\pi \cdot Pd_i}{l} - \frac{2}{\pi} \right)^2 \left. \left. \right\} \right] \quad \dots \dots \dots (2)$$

where f : fundamental resonant frequency (Hz)
 l : length of sample (cm)
 μ_s : weight of sample (g)
 Pd_i : distance of a knot from one end of sample (cm)
 V_{k_i} : volume of a knot (cm³)
 I : moment of inertia area (cm⁴)

Es, σ_{bs} の算出式 静的ヤング率および破壊係数の算出はそれぞれ式(3)および式(4)によった。

$$\sigma_{bs} = \frac{P \cdot (l_1 - l')}{4z} \quad \dots \dots \dots (3)$$

$$E_s = \frac{P_p \cdot a(3l_1 - l')}{48 \cdot I \cdot y} \quad \dots \dots \dots (4)$$

where l_1 : span in bending (cm)
 l' : distance between two equal loaded points (cm)
 a : distance from one supporting point of sample to a loaded point (cm)
 y : deflection at proportional limit (cm)
 P_p : load at proportional limit (kg)

曲げ破壊係数の推定法

節は材面に現われる枝条の切断面であるので、節が存在すればその周辺は繊維が乱れている。この繊維の乱れは強度に影響をおよぼすが、この試験体のように節がランダムに現われる場合、強度上からみれば試験体縁辺との距離的な相互関係および節の大きさによって複雑で多様性をもつので、法則的に簡易化してとらえることは困難である。ここでは実用的な見地から計算上の複雑さを

避けるため、推定法の一つとして節の大きさおよび位置のみを強度低減因子としてとらえることとした。

とくに無欠点材についていえば、比重、年輪幅、対数減衰率など数多くある非破壊で計測できる因子と曲げ破壊係数との間の相関性に関する研究によると、静的あるいは動的ヤング率と曲げ破壊係数との相関性ももっとも高く、したがって破壊係数はヤング率から推定するのが優れている^{3),4),8)}。

式(2)から求める動的ヤング率は、試験体の固有振動数を測定し、振動形を仮定し、節部の重量を集中質量とみなして加え算出される。このことは、このヤング率が近似的には節部以外の木質部のヤング率に相当する値をあらわすとみてよい。

そこで、このヤング率は仮りに節がなく、木質部のみであった場合の試験体のヤング率を表わすと仮定すると、ヤング率と曲げ破壊係数との関係を表わす式(5)から、節がない木質部の曲げ破壊係数が求められる。なお、式(5)はこの実験に用いた供試木から得られた無節試験体の実験結果から得たものである。

$$\sigma_{b0} = 5.84 \times E_{d0} \times 10^{-9} + 165.8 \quad \dots\dots\dots (5)$$

$$(r = 0.534)$$

where σ_{b0} : modulus of rupture in bending of clear sample (kg/cm²)
 E_{d0} : dynamic young's modulus of clear sample (dyne/cm²)
 r : correlation coefficient

この回帰式の σ_{b0} と E_{d0} との関係は中村³⁾ が南九州産ひき板で求めた結果と類似する。

次に節の曲げ破壊係数におよぼす影響については Gaber¹²⁾ の研究、またこれをさらに展開させた森の研究¹³⁾ があるが、これは、節軸(節の縦中心線)が完全断面の引張側に存するはりに面内曲げが加わる場合の節の影響を理論的に考察し、無節材に対する節材の強度低減を求めたものである。

しかし、面内曲げにおいても実際のはりでは節がランダムにあらわれるし、この試験体でも1試験体内にいくつかある節がすべて引張側に位置するとは限らない。そこで節の位置に関係なく、しかも面外曲げも含めてすべての場合を統一的に取り扱える近似的に有効な推定法を検討した。

まず、森¹⁴⁾ は節が圧縮強さにおよぼす影響を $y = (1 - y)/x$ であらわし、(ここに、 y : 有節材と無節材との圧縮強度比、 x : 試験体の幅/節径、 y_1 : 節の品質に支配される値で生節の場合は 0.5 ~ 0.6)、また久田¹⁵⁾ らは節径比が 0.3 の死節がある場合においても柱材においては無節材に比べてその強度低下は 10% にすぎないとしている。一方、節が引張強さにおよぼす影響については森¹⁵⁾ が $y = 1 - x$ (ここに、 y : 有節材と無節材の引張強度の比、 x : 節径/試験体の幅) であらわし、すなわち直径比と強度比との関係は直線式¹⁵⁾ で表わせるとしている。これらの結果から考察すると、ことに生節の影響は圧縮強さに対してはきわめて小さく、引張強さにおよぼす影響は節径比にしたがい直線的に低下し、圧縮の場合に比べて強度低減におよぼす影響はかなり大きい。

このことから、曲げ破壊に対しては、試験体の節のある断面の断面係数は、無節部の断面係数(完全断面)に比べて、試験体の中立軸より引張り側にある節の部分だけ減少すると仮定してもよいであろう。また、曲げに対しては中立軸が引張り側に移行するがこれは無視した。

以上のことから試験体の固有振動数を測定し、曲げ破壊係数を推定するために次の(1)~(3)の仮定を採用する。

- (1) 式(2)から算出される動的ヤング率 (Ed) は近似的に そのはりの節部を除いた木質部のヤング率をあらわす。
- (2) 無欠点ばりのヤング率 (Ed) と曲げ破壊係数との間には 1 次の直線関係が存在し、無欠点ばりの曲げ破壊係数は式(5)から求められる。

(3) はりの中立軸より引張り側にある節の部分は断面欠損とみなす。

この仮定のもとついで式(6)を導いた。

$$\sigma_{be} = (5.84Ed \times 10^{-9} + 165.8) \cdot \frac{Z_m}{Z_0} \quad \dots\dots\dots (6)$$

where Ed : calculated value by formula (2) (dyne/cm²)

Z_0 : section modulus of clear sample to the neutral axis of the sample (cm³)

Z_m : $Z_m = Z_0 - Z_k$ (cm³)

Z_k : section modulus of knots in which located tention side of the sample to the neutral axis of the sample (cm³)

式(6)は式(5)すなわち無欠点試験体における動的ヤング率と曲げ破壊係数との回帰式に引張り側にある節の断面を欠損とみなして算出した修正断面係数を乗じたものである。

式(5)における回帰直線は1%の有意水準で有意なものであるが、それでもなお直線式の周辺はかなりの分散を示す。したがって、式(6)で算出された推定値はむしろ多数の sample の平均的な値を示すはずであり個々の試験体についての実験値と推定値を比較すれば推定値が実験値より大きいものも当然でてくる。これは、強度部材としては危険側の値となる。そこで、これらの値の下限信頼限界を求めてこれを用いれば安全側の推定値が得られる。

結果と考察

式(6)から算出した推定値と実験値との関係について面外曲げの場合を Fig. 1 に、面内曲げの場

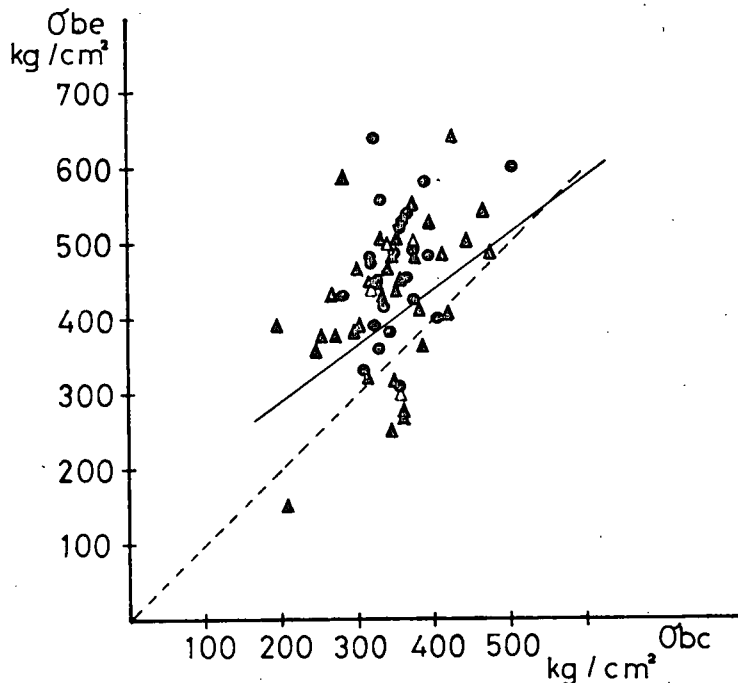


Fig. 1. Relationship between σ_{be} and σ_{bc} in Pe .
 — regression line
 - - - $\sigma_{be} = \sigma_{bc}$
 ● position of knot : in the inside of the two equal load points
 ▲ position of knot : through the length of sample
 △ position of knot : in the outside of the two equal load points

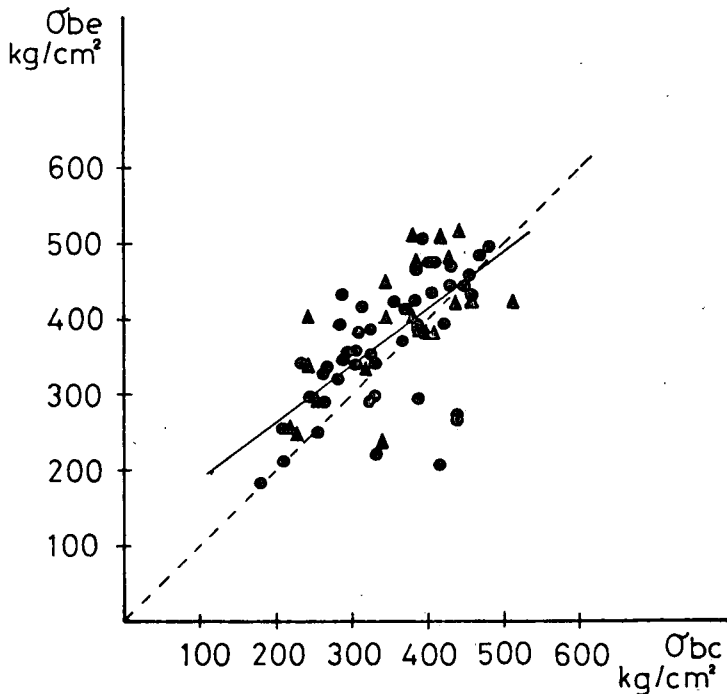


Fig. 2. Relationship between σ_{be} and σ_{bc} in Pa.
Key to symbols, see Fig. 1.

合を Fig. 2 に示す。図の中で実線は推定値と実験値との回帰式をあらわし、破線は $\sigma_{be} = \sigma_{bc}$ の直線をあらわす。

推定値が理想的に推定されるならば、図中のプロットは $\sigma_{be} = \sigma_{bc}$ の直線上に載るが、木材が不均質なものであり、またさまざまな形をした節が存在するために応力状態、破壊性状も異なり実際にはかなりの分散を示している。Fig. 1 (面外曲げ) をみると、プロットは $\sigma_{be} = \sigma_{bc}$ の直線より上側に多く分布し、推定値は実験値よりもいくぶん小さい値が得られた。個々の試験体ごとに推定値/実験値を求めその結果を平均すると 0.82 となる。また、Fig. 2 (面内曲げ) ではプロットは Fig. 1 よりも $\sigma_{be} = \sigma_{bc}$ に近づいて分散しており、 σ_{bc}/σ_{be} は 0.96 となる。

従来、節を断面欠損として考えてその近くの無欠点材との強度比を求める考え方は節周辺の微小断面の破壊応力も断面欠損をとまわらない無欠点材部の破壊応力に等しいと考えさらに断面減少部分に応力ひずみの集中も伴わないものとし、節を角欠の断面欠損と仮定して計算されてきたが、一般には有節材の強度比はこの計算値より大きいものと推察されている³⁾。

ここでの推定法では仮定を変えて、有節材の節部を除いた木質部のヤング率を推定しこの値からその試験体に仮りに節がないとしたときの基礎強度を推定し、これにはりの引張り側に存在する節のみを断面欠損と仮定して算出した。結果は面外曲げでは平均値としては小さい値となったが、面内曲げではほぼ満足できる値が得られた。

しかし、図から明らかなように個々の試験体については推定値が実験値よりも大きく構造用材としては危険側に推定されたものがかなりの割合を占めている。有節材を構造用強度部材として考える場合、推定値は実験値よりも小さい値つまり安全側になければならない。

そこで、まず σ_{bc} と σ_{be} との関係調べると Fig. 1 においては式(7)、Fig. 2 においては式(8)の

相関関係が認められる。

$$\sigma_{be} = 0.72 \sigma_{bc} + 133.70 \quad \dots\dots\dots (7)$$

($r = 0.630$)

$$\sigma_{be} = 0.68 \sigma_{bc} + 133.70 \quad \dots\dots\dots (8)$$

($r = 0.630$)

これらの回帰式の下限信頼限界を式(9)¹⁷⁾ で求めることとする。

$$\hat{Y} - t \cdot s\hat{y} \quad \dots\dots\dots (9)$$

where \hat{Y} : standard deviation
 t : t-distribution
 $s\hat{y}$: standard error

この下限信頼限界は、一双曲線の一部である。しかし、ここでは計算を簡略化するために、推定値が 100 kg/cm² と 500 kg/cm² の場合の下限信頼限界の値を算出し、この値を直線で結んで直線式を求めた。面外曲げにおいての有意水準を10%とした場合を式(10)に、5%とした場合を式(11)に示し、面内曲げの同じ関係をそれぞれ式(12)、式(13)に示した。

level of significance : 10%

$$\sigma_{be_s} = 0.75 \sigma_{bc} + 25.87 \quad \dots\dots\dots (10)$$

level of significance : 5%

$$\sigma_{be_s} = 0.75 \sigma_{bc} - 6.78 \quad \dots\dots\dots (11)$$

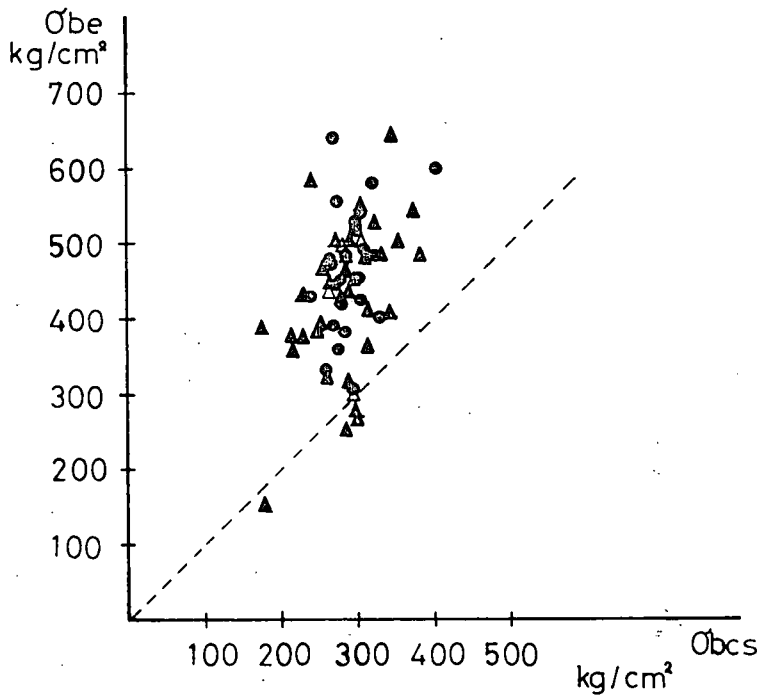


Fig. 3. Relationship between σ_{be_s} and σ_{bc} in *Pe*. (level of significance : 10%)
 Key to symbols, see Fig. 1.

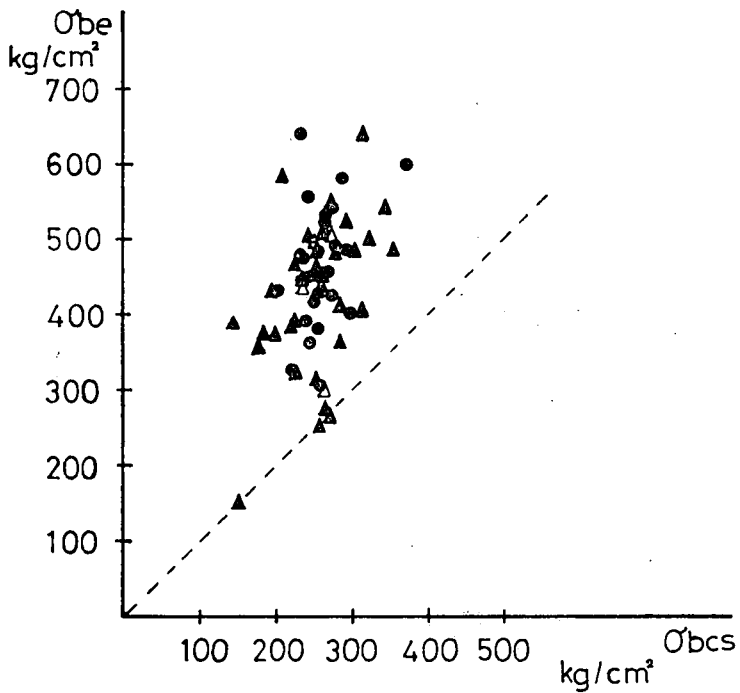


Fig. 4. Relationship between σ_{be} and σ_{bs} in *Pa.* (level of significance : 5%)
Key to symbols, see Fig. 1.

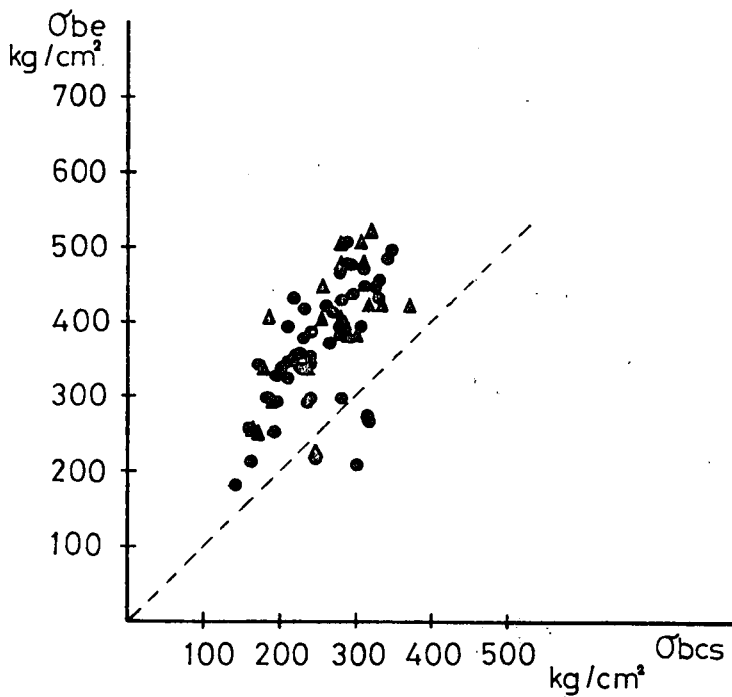


Fig. 5. Relationship between σ_{be} and σ_{bs} in *Pe.* (level of significance : 10%)
Key to symbols, see Fig. 1.

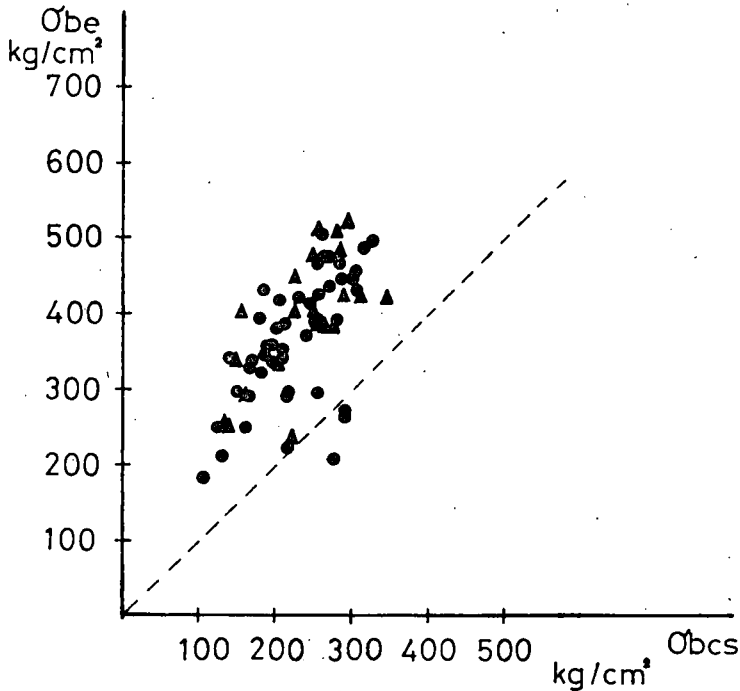


Fig. 6. Relationship between σ_{bcs} and σ_{bc} in Pa. (level of significance: 5%)
Key to symbols, see Fig. 1.

level of significance : 10%

$$\sigma_{bcs} = 0.69 \sigma_{bc} + 13.64 \quad \dots\dots\dots (12)$$

level of significance : 5%

$$\sigma_{bcs} = 0.72 \sigma_{bc} - 25.42 \quad \dots\dots\dots (13)$$

式(10)~式(13)から計算した推定値と実験値との関係をそれぞれ Fig. 3 ~ Fig. 6 に示した。

面外曲げの場合、式(10)からの推定値では試験体の約 6%, 式(11)からの推定値では約 5%が安全側からはずれた。また、実験値の平均値は 441 kg/cm², 式(10)からの推定値の平均値は 287 kg/cm² で実験値の平均値の1.5倍, 式(11)からの推定値の平均値は 257 kg/cm² で実験値の平均値の1.7倍となった。

面内曲げの場合には式(12)からの推定値では約 6%, 式(13)からの推定値では約 3%の試験体が安全側よりはずれ、実験値の平均値が 372 kg/cm² であるのに対し、式(12)からの推定値の平均値は 257 kg/cm² で実験値の平均値の 1.5 倍, 式(13)からの推定値の平均値は 229 kg/cm² で、実験値の平均値の 1.6 倍となった。

以上、安全側の推定値について面外曲げ、面内曲げ別に検討してきたが、面内面外曲げを統一して検討すると、有意水準10%の場合には式(14)が得られ、有意水準 5%の場合には式(15)が得られた。それぞれの関係を Fig. 7 および Fig. 8 に示す。

level of significance : 10%

$$\sigma_{bcs} = 0.69 \sigma_{bc} + 22.00 \quad \dots\dots\dots (14)$$

level of significance : 5%

$$\sigma_{bcs} = 0.69 \sigma_{bc} - 6.48 \quad \dots\dots\dots (15)$$

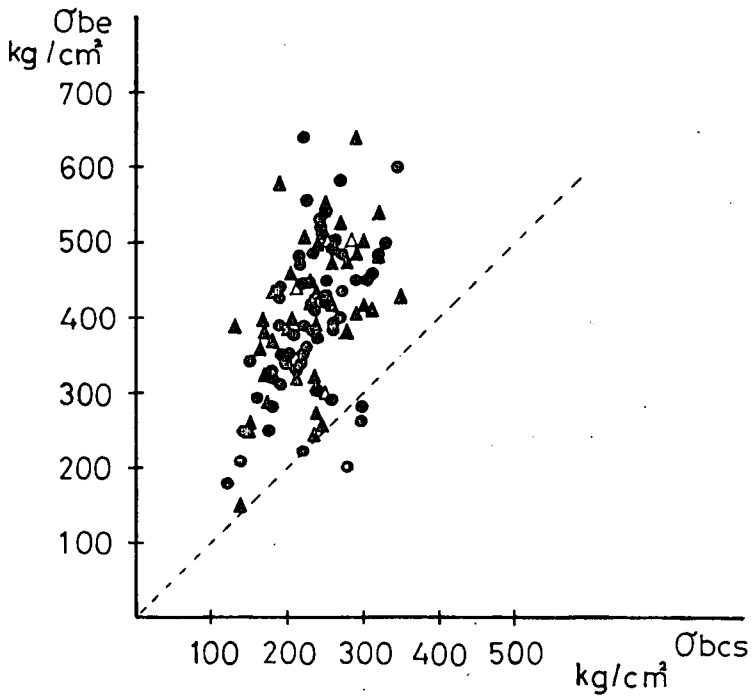


Fig. 7. Relationship between σ_{be} and σ_{bc} in *Pe* and *Pa*. (level of significance : 10%)
Key to symbols, see Fig. 1.

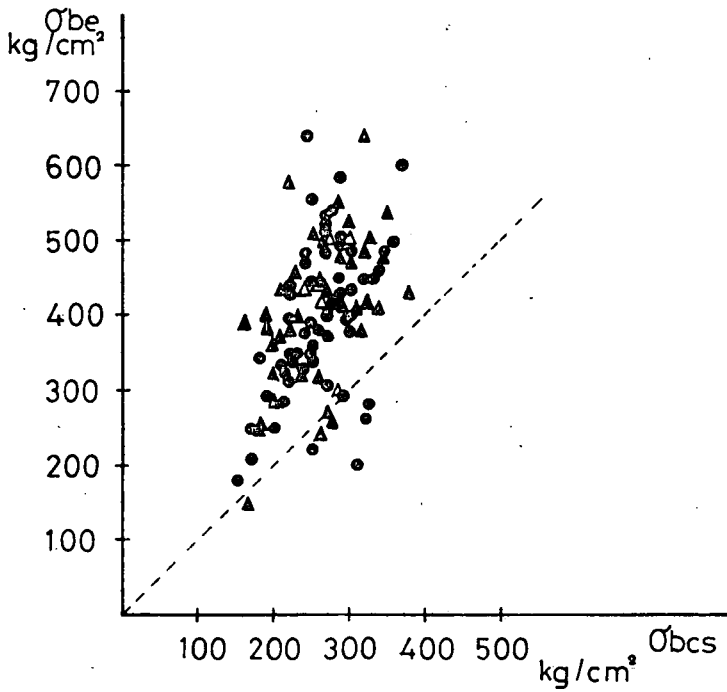


Fig. 8. Relationship between σ_{be} and σ_{bc} in *Pe* and *Pa*. (level of significance : 5%)
Key to symbols, see Fig. 1.

式(14)からの推定値では約6%, 式(15)からの推定値では約3%の試験体が安全側よりはずれた。また、式(14)からの推定値の平均値は 264 kg/cm^2 , 式(15)からの推定値の平均値は 237 kg/cm^2 で実験値の平均値に対しそれぞれ1.5倍, 1.7倍となり、面外, 面内を統一して安全側の推定値を求めても結果にほとんど差は認められない。

以上のように、安全側の推定値の平均値は実験値の平均値の1.5~1.7倍といくぶん高い値となった。しかし、この試験体は節の大きさ、位置、数がランダムに現われる有節材であり、しかも天然の節はほぼ円形状をなすとはいえ実際には形状もさまざまで、しかも節のまわりの繊維の乱れや傾斜も多様性をもち応力集中状態もかなり複雑なものである。こうした材料に対し、このような画一的な方法で推定した値としては、まず一応の成果が得られているといえよう。

ここで許容応力度を現行の方法で計算すると、スギ曲げ強さの値は一般に $500 \sim 650 \sim 850 \text{ kg/cm}^2$ といわれており、この試験体は普通構造材に属するので、基準強度値にこの下限値をとり許容応力度(短期)を計算すると、 167 kg/cm^2 となる。式(15)から求めた推定値の平均値 237 kg/cm^2 は、現行の許容応力度の142%となり約40%高い値で使用できることとなるし、また、強度等級を区分して使用すれば、より有利に利用できるといえよう。

ま と め

スギ造林木のまさ目ひき板から系統的に板目試験体を作成し節がランダムにあらわれている有節試験体を用いて、振動法による動的ヤング率から曲げ破壊係数を推定した。

この実験の条件の範囲内では次のことがいえる。

1. 試験体の固有振動数から式(2)で求められる動的ヤング率を用いて面外面内曲げについての統一的な推定計算式(7)によって計算した個々の有節材の曲げ破壊係数の推定値(σ_{oe})を計算し曲げ破壊係数の実験値(σ_{oe})とを比較した結果、面外曲げの場合は $\sigma_{oe}/\sigma_{oe}=0.82$ とやや過少な値となったが、面内曲げの $\sigma_{oe}/\sigma_{oe}=0.96$ と推定値の平均値は実験値の平均値とほぼ等しい値を得た。

2. しかし、実験および推定結果のプロットは $\sigma_{oe}=\sigma_{oe}$ 直線の近辺に分布するがかなりの分散を示めている。強度部材としては安全側に推定されねばならない。そこで、面外面内曲げおよび、有意水準別に式(10)~式(13)を面内面外曲げを統一的にとりあつかった式(14)および式(15)を求め比較した結果、あまり差は認められなかった。有意水準5%で、推定する式(15)による結果、試験体の3%が下限信頼限界より小さくなったが他は安全側に配置され推定値の平均値は実験値の平均値の1.7倍となった。また現行の許容応力度計算式(短期)による結果に対し推定値は1.4倍の値が得られ約40%有利に算出できた。したがって実用的な推定法の基礎としては有効なものといえよう。

文 献

- 1) 日本建築学会, 木構造設計規準・同解説 108, (1961)
- 2) 山井良三郎, 構造材料としての木材, 日本林業技術協会, 19, 東京 (1969)
- 3) 中村徳孫, 宮崎大学農学部演習林報告, No. 6, 1-82 (1972)
- 4) MULLER, P. H., Wood Scienc. and Tech., 2, 43-72 (1968)
- 5) HOYLE, R. J., For. Prod. Jour., 11, 251-254 (1961)
- 6) WOOD, L. W., For. Prod. Jour., 14, 41-43 (1964)
- 7) SUNLEY, L. G. and HUDSON W. M., For. Prod. Jour., 14, 155-158 (1964)
- 8) 中山義雄, 高知大学農学部演習林報告, No. 2, 18-32, (1968)
- 9) MILLER, D. G., For. Prod. Jour., 12, 358-362 (1962)
- 10) 中山義雄・青木昭男, 高知大学学術研究報告, 16, 167-176 (1967)
- 11) 全国木材組合連合会編, 用材等の日本農林規格解説並に材積表, 改訂版, 東京 147-155 (1965)
- 12) GABER, E., Die Bautechnik, 5, 64-68 (1936)

- 13) 森徹, 建築学会大会論文集, No. 13, 8—16 (1939)
- 14) 森徹, 建築学会大会論文集, No. 5, 1—10 (1937)
- 15) 久田俊彦・寺本俊彦, 日本建築学研究会報告, 18, 127—128 (1952)
- 16) 森徹, 建築学会大会論文集, No. 8, 1—10 (1938)
- 17) SNEDECOR, G. W. and COCHRAN, W. G., Statistical Methods, Iowa state, 6 edition, 154, IOWA (1967)
- 18) 木材工業編集委員会, 日本の木材, 日本木材加工技術協会, 27, 東京 (1966)
- 19) 中山義雄, 高知大学農学部紀要, No. 26, 1—59 (1974)

昭和49年9月28日受理