

複合応力下における木材のせん断弾性係数に関する一考察

名古屋大学 [院] 学○山崎真理子 名古屋大学 正 佐々木康寿
名古屋大学 正 安藤 幸世

1. 緒言

構造物を合理的に設計する上で、構成部材の破壊条件を知ることは重要である。ところで実際の構造物において、部材の応力状態が単純な場合は希で、一般に何らかのかたちで複合応力状態になると考えられる。著者らは角棒状の木材試片を用い、軸力・ねじり組合せ荷重下における木材の強度特性に関して、特に破壊条件について検討している。この中で、せん断応力は異方性角棒に関する弾性理論¹⁾により求めているが、式(1)に示すように、トルク-せん断ひずみ関係の初期剛性(k)及び断面寸法(a , b)を基に、せん断弾性係数(G)を求める過程がある。ここで、ヒノキ(*Chamaecyparis obtusa* Endl.)の繊維方向を軸とする角棒(17.5 mm角)を用いた静的複合加力試験により得られた k と G の関係について図1に示す。図中(a)は k と G の関係、(b)はLT・LR面で得られる k と G について、それぞれの両面の差の関係、さらに(c)はそれぞれの両面の比の関係である。式(1)より、 k と G の間には何らかの関係があることが推察されるが、図1に示すいずれの関係においても高い相関で比例関係が認められるという興味深い結果を得た。

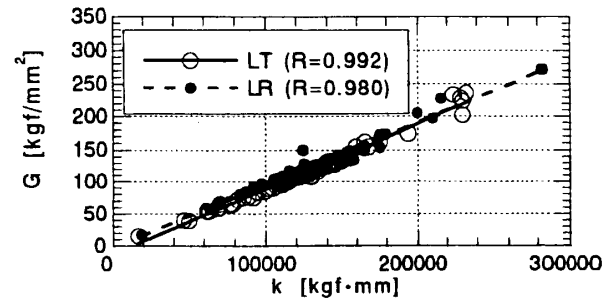
$$G_{LR} = \frac{k_{LR}}{a^2 b \phi} \left[-2 \left(\frac{2}{\pi} \right)^2 \sqrt{\frac{G_{LR}}{G_{LT}}} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^{n-1}}{(2n-1)^2} \tanh \frac{(2n-1)\pi b}{2a} \sqrt{\frac{G_{LR}}{G_{LT}}} \right]$$

$$G_{LR} = \frac{k_{LR}}{a^2 b \phi} \left[1 - 2 \left(\frac{2}{\pi} \right)^2 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{(2n-1)^2} \left\{ \cosh \frac{(2n-1)\pi b}{2a} \sqrt{\frac{G_{LR}}{G_{LT}}} \right\}^{-1} \right] \quad (1)$$

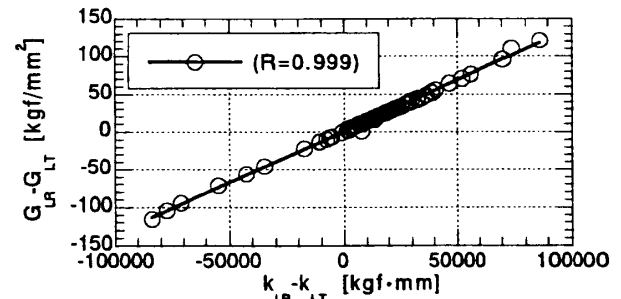
そこで、本研究では断面寸法の異なる角棒について、異方性角棒に関する弾性理論の数値シミュレーションを行い、 k と G の関係を検討すると共に、これらを実験的に検証した。

2. 数値シミュレーション

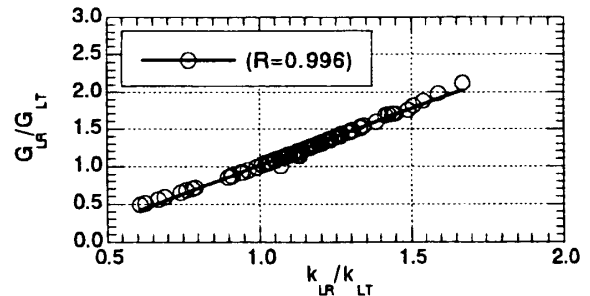
式(1)による k と G の関係を、パソコンを用いた数値シミュレーションにより調べた。この時、断面寸法は a と b をそれぞれ接線・半径方向の辺長として $(a, b) = (6, 50), (10, 30), (15, 20), (17.5, 17.5), (20, 15), (30, 10), (50, 6)$ mmの7



(a) k and G



(b) $k_{LR} - k_{LT}$ and $G_{LR} - G_{LT}$

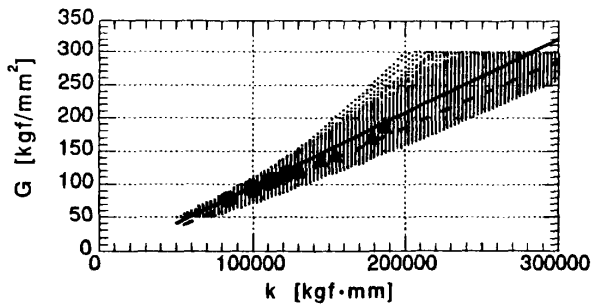


(c) k_{LR} / k_{LT} and G_{LR} / G_{LT}

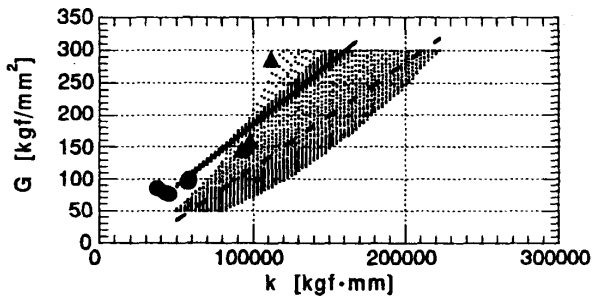
Fig. 1. Relations between k and G .
Legend: R: Correlation coefficients.

通りに、断面積を一定としたまま変化させた。 k の範囲は前述のヒノキ角棒の試験結果を参考に設定し、 k_{LT} および k_{LR} は設定範囲内で任意の値をとるものとし、その時 G_{LT} および G_{LR} が式(1)より算出される値を求めた。

数値シミュレーションにより得られた k と G の関係について、図2に一例を示す。 k と G の関係は各断面形状に応じてLT・LR面で特定の分布を示し、さらに断面形状における長辺と短辺の比が



(a) T=20mm, R=15mm



(b) T=50mm, R=6mm

Fig. 2. Relations between k and G .

Legend: Solid: Regression of LT plane; Dashed: Regression of LR plane; ●: LT plane; ▲: LR plane.

大きくなるにつれ LT・LR 面それぞれの分布が離れる傾向にあることがわかった。なお、同図には後述の実験結果も併せて示してある。

図3には数値シミュレーションにより得られた k と G に関して、それぞれの LT・LR 両面の比の関係の一例を示す。これより、両者の関係は2次関数で表されることがわかる。また、図3には前述および後述の静的複合加力試験の結果を併せて示したが、木材に関するこれらの関係は、図3に示す分布のうち、直線で表せる範囲内に存在するように見受けられる。

3. 実験的検証

数値シミュレーションと同様の断面形状を持つ木材角棒を対象に、単純ねじり試験および静的複合加力試験を行い、数値シミュレーションの結果について実験的に検証した。試験体にはブナ (*Fagus crenata* Bl.) とアガチス (*Agathis* spp.) の2樹種を用意し、形状は繊維方向を軸とする角棒とした。試験体は室温 25℃, RH 57% の室内において重量が恒量に達するまで調整した。実験には電気油圧サーボ式軸力・ねじり複合疲労試験機 (島津サーボパルス複合疲労試験機 EFHF-ED10/TD1型) を用いた。この試験機は、任意の軸およびねじり負荷を同時かつ独立に負荷するこ

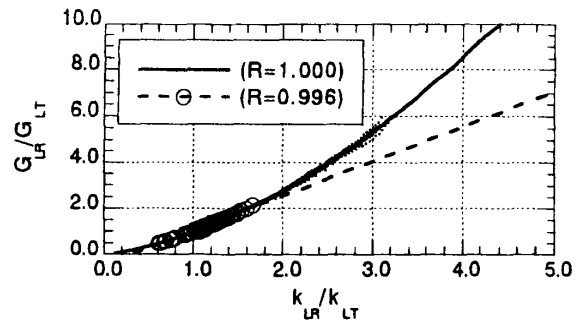


Fig. 3. Relations between k_{LR}/k_{LT} and G_{LR}/G_{LT} . Legend: Solid: Simulation; Dashed: Observed.

とができる。ロードセルより軸荷重とトルクを、試験体の LT・LR 面に貼った3軸ひずみゲージより縦・せん断ひずみを検出し、パソコンに取り込んだ。加力は全て変位制御による比例載荷方式で行い、変位速度の範囲は引張で 0.0008 ~ 0.01 mm/sec, 圧縮で 0.0009 ~ 0.01 mm/sec, ねじりで 0.01 ~ 0.06 deg/sec であった。なお、1章で述べたヒノキの静的複合加力試験の実験方法もこれと同様である。

実験結果の一例を、数値シミュレーションの結果と併せて図2に示す。図中の (a) は T・R 方向の辺長がほぼ等しい場合の、(b) は両方向の辺長が比較的異なる場合の断面形状である。

(a) では、実験結果とシミュレーション結果はよく一致しており、さらに k と G の関係はほぼ一直線上に存在した。これに対して、辺長比が大きくなるほど k と G の比例関係が見られなくなり、(b) に示すように実験結果がシミュレーションの分布内に存在しないものもあった。この傾向はいずれの樹種においても同様であった。ヒノキを含む3樹種の静的複合加力試験の結果、T・R方向の辺長比が1に近い断面形状では、樹種に関わらず、 k と G は明確な比例関係を示し、LT・LR両面のいずれにおいてもほぼ同様になることがわかった。これより、木材の軸力・ねじり複合応力下におけるトルク-ひずみ関係の初期剛性 (k) は、その値と式(1)より算出されるせん断弾性係数が比例関係となる範囲内に存在するものであると判断できるように思われる。さらに、T方向とR方向の辺長比が大きい断面形状において、 k と G が比例関係を示さなかったことは、異方性角棒の弾性理論の適用範囲の限界を示唆するものであると考えられる。

参考文献

1. Yoshihara, H., Ohta, M., *Mokuzaï Gakkaishi*, 42(6), 541-545 (1996).