

## 実大正角材のせん断弾性係数におよぼす 背割り深さの影響\*1

祖父江信夫\*2, 松尾圭造\*2, 池田潔彦\*3

### Effect of Depth of a Sawn Slit Parallel to the Fiber Direction on Shear Modulus of Commercial Size Square Timbers\*1

Nobuo SOBUE\*2, Keizou MATSUO\*2 and Kiyohiko IKEDA\*3

Effects of sawn slits on static and dynamic shear moduli of square timbers were studied experimentally using torsion tests.

Shear moduli decreased greatly with increasing slit depth, the reduction amounting to about 40% when the slit extended to one half of the timber thickness. The relationship between shear modulus and slit depth followed a cubic equation, with a high correlation coefficient of  $R=0.982$ .

Dynamic and static torsion test results showed a high degree of correlation of  $R=0.976$ . The dynamic torsion test is therefore recommended as a practical test method which can be used as a nondestructive proof test for structural timbers with a large slit.

*Keywords*: shear moduli, sawn-slit depth, static torsion tests, dynamic torsion tests, structural square timbers.

実大正角材の背割り深さが静的および動的せん断弾性係数におよぼす影響を実験的に検討した。

背割りによってせん断弾性係数は大きく低下し、背割り深さが材厚さの1/2で約40%低下した。背割り深さとせん断弾性係数の関係は、高い相関係数 ( $R=0.982$ ) を持つ3次曲線によって近似できた。乾燥割れでも実質上背割りと同じ様な効果が予想されるので、乾燥割れによるせん断弾性係数の低下にも注意が必要なことが示唆された。

背割りのようなスリットの状の欠陥を持つ実大木材でも、動的ねじり試験と静的ねじり試験の間に互換性があり、実大実験や産業レベルにおける非破壊試験法として、簡便な動的ねじり試験の有効性が明らかとなった。

#### 1. 緒 言

実大正角材は乾燥の過程で割れが入りやすいた

\*1 Received August 24, 1999; accepted November 19, 1999.

\*2 静岡大学農学部: Faculty of Agriculture, Ohya Shizuoka 422-8529

\*3 静岡県林業技術センター: Forest Technology Institute of Shizuoka prefecture, Hamakita 434-0016

め、予め鋸による背割りを入れることが産業的にはよく行われる。背割りは、圧縮や曲げのヤング係数にはあまり影響はしないとされているが、ねじりに関してはせん断弾性係数に大きく影響することが予想される。実大構造材のねじりの研究報告自体が少ない上<sup>1,2)</sup>、このような背割りの影響を直接的に調べた報告は見つからない。

弾性論では、フランジやウェブが薄い場合のチャネルの曲げやねじりの問題は、曲げとねじりが連成

する「薄肉開断面材の曲げねじり」の問題として論じられ<sup>3)</sup>、ワーブ効果が存在する場合の応用問題の解決に使われている。しかし、正角材に背割りが入った場合は、薄肉開断面材の曲げねじりで肉厚を単純に厚くした延長上の近似問題としては扱えない。

そこで、本研究では背割り深さを現実的な範囲で、背割りの無い状態から材厚の1/2まで入れる場合について、実験的に検討し、せん断弾性係数におよぼす背割り深さの影響を調べることにした。また、背割りのような大きなスリット状の欠陥が存在する場合の静的ねじり試験と動的ねじり試験の互換性についての検討も行った。

## 2. 実験方法

### 2.1 試験体

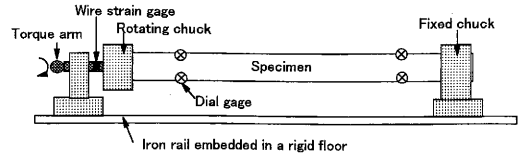
スギの心持ちで正角の気乾材を2本用いた。試験時の含水率のデータが欠落したので次のように推定した。供試試験体のロットは人工乾燥後1年以上実験室内に保存され、ねじり試験後に同ロットの11試験体の含水率を日本住宅・木材技術センター認定の誘電式含水率計で計測したところ、平均値13.5%、最大値16.5%、最小値10.5%であった。したがって、供試試験体の含水率も同程度の気乾の状態であったと考えられる。試験時の密度はそれぞれ、 $0.377 \text{ g/cm}^3$  および  $0.407 \text{ g/cm}^3$  で、寸法は、断面約  $12 \text{ cm} \times 12 \text{ cm}$  で、長さは  $286 \text{ cm}$  である。正角材の一面に丸鋸によって幅が約  $3 \text{ mm}$  の背割りを入れた。背割り深さは、 $0 \text{ cm}$  (背割り無し)、 $2 \text{ cm}$ 、 $4 \text{ cm}$ 、 $6 \text{ cm}$  の順に順次深くし、その都度、静的および動的せん断弾性係数を測定した。心持ち材であるため表面割れが生じていたが、試験体にはできるだけ割れの少ないものを2体選んだ。

### 2.2 静的ねじり試験方法

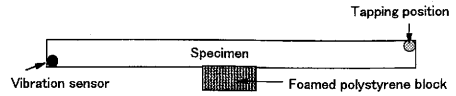
Fig. 1 に示す実大材用の静的ねじり試験装置を製作した。一端を固定、もう一端を回転端として試験体にねじりモーメントを与える。実験室のコンクリートフロアに埋め込まれた鉄製レールに、試験機の固定端と加力側の機構部分を固定して実験を行った。

試験体は両端部分をチャックでつかみ、回転トルクはレバーアームに小型油圧ジャッキで負荷することによって与え、回転軸に貼付したひずみゲージの出力によって測定した。試験体のねじり回転角の検出は中央部  $190 \text{ cm}$  の区間の両端に配置したダイヤルゲージによって行い、その差動変位から単位長さ当たりのねじり角を計算した。

静的せん断弾性係数  $G_s$  は、等方性体のねじり理



(a) Static torsion test



(b) Dynamic torsion test

Fig. 1. Static and dynamic torsion tests.

論から、次式で算出した<sup>4)</sup>。

$$G_s = \frac{T}{f_1 a^3 b \theta} \quad (1)$$

ここで、 $2a$  は断面の狭いほうの幅、 $2b$  は断面の広いほうの幅、 $\theta$  は単位長さ当たりのねじり角、 $T$  はトルクである。また、正角材では  $2a=2b$  の条件から、 $f_1=2.249$  が与えられる。したがって、 $G_s$  の計算には次式を用いた。

$$G_s = 7.11 \frac{T}{(2a)^4 \theta} \quad (2)$$

試験体の設置を、固定端で材料の背割り深さの方向と並行に固定板で挟む場合と直交して固定板で挟む場合の二通りの固定条件で、実験を行った。

### 2.3 動的ねじり試験方法

Fig. 1 に示すように、試験体の中央で発泡スチレンのブロックの上に試験体を静置し、材端の角をハンマで打撃して、試験体に両端自由条件のねじり振動を励起させた。他端の角に圧電振動センサを軽く押し当ててねじり振動の波形を検出し、FFT スペクトルアナライザによって1次の固有振動の周波数を決定した。

動的せん断弾性係数  $G_d$  は、 $G_s$  と同様に等方性体のねじり理論から次式で算出した<sup>5)</sup>。

$$G_d = 4l^2 \rho f_r^2 \frac{J}{K} = \frac{l^2 \rho f_r^2}{f_1} \left(1 + \frac{a^2}{b^2}\right) \quad (3)$$

ここで、 $l$  は試験体長さ、 $\rho$  は密度、 $f_r$  は1次の固有振動数、 $J$  は極慣性モーメント、 $GK$  はねじりこわさである。 $f_1$  は断面形状に依存する。正角材では  $2a=2b$  の条件から、 $f_1=2.249$  が与えられるので<sup>4)</sup>、 $G_d$  の計算には次式を用いた。

$$G_d = 4.743 l^2 \rho f_r^2 \quad (4)$$

### 3. 結果および考察

#### 3.1 静的および動的せん断弾性係数と背割り深さの関係

Fig. 2 に、静的ねじり試験における各背割り深さごとのトルク-比ねじり角（単位長さ当たりのねじり角）の関係を示す。ほぼ直線的な関係が見られ、背割り深さが深くなるにしたがって勾配は小さくなる傾向がみられる。

Fig. 3 に、背割り深さと静的せん断弾性係数  $G_s$  の関係を示す。固定端における試験体の固定の方向の違いによる差はほとんど見られない。背割り深さが増すにしたがって、 $G_s$  は単調に減少している。背割

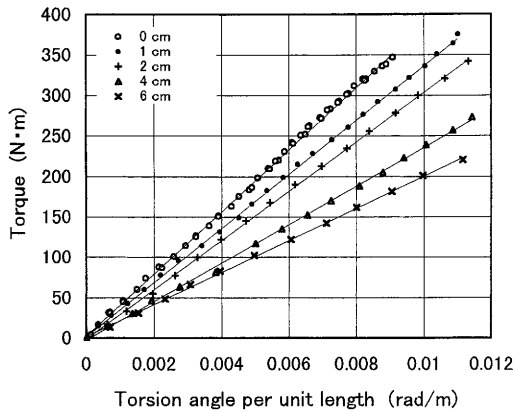


Fig. 2. Torque vs. torsion angle diagrams at different sawn-slit depths.

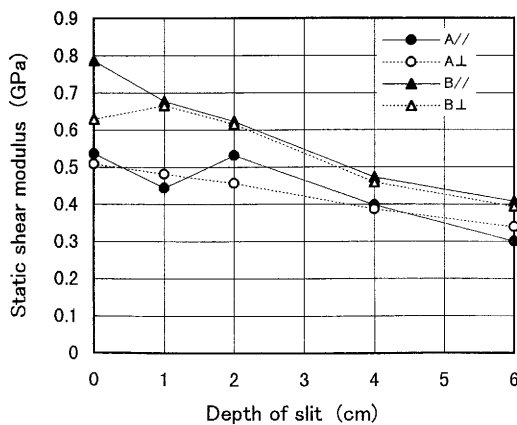


Fig. 3. Relationship between static shear moduli and sawn-slit depths.

Legend: // and  $\perp$  indicate slits parallel and perpendicular to plates of specimen chucks, respectively.

りの無いときのせん断弾性係数に較べ、材厚さの1/2の深さの背割りによって、約40%減少していることがわかる。したがって、背割り以外でも、乾燥などによる割れが発生するとせん断弾性係数には大きく影響することが予想される。

Fig. 4 に、動的ねじり振動のスペクトルを示す。周波数がほぼ整数倍のねじり振動（1～3次振動）に弱い曲げ振動のスペクトルが重畳していることがわかる。スペクトルの強さと周波数の規則性によって容易にねじり振動のスペクトルを特定することができる。

Fig. 5 に、背割り深さと動的せん断弾性係数  $G_d$  の関係を示す。静的ねじり試験の場合と同様に、 $G_d$  は背割り深さが増すにしたがって減少している。

背割り深さに対するせん断弾性係数の低下を背割りの無いときのせん断弾性係数  $G_0$  を基準にして比

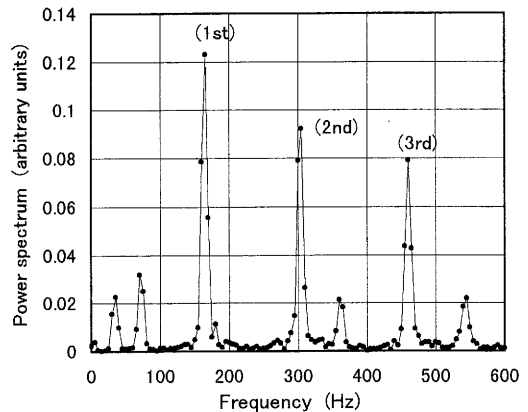


Fig. 4. Typical power spectrum of torsional vibration.

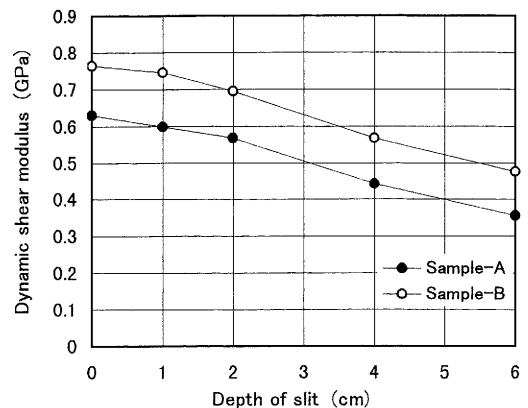


Fig. 5. Relationship between dynamic shear moduli and sawn-slit depths.

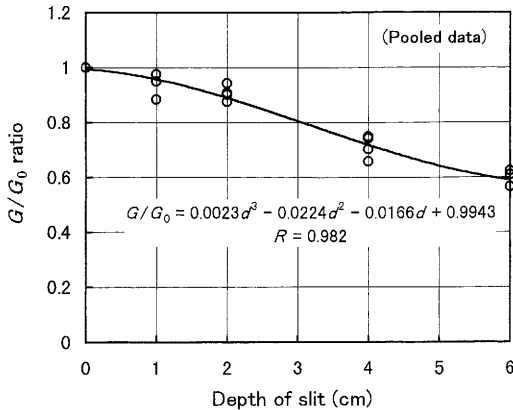


Fig. 6. Pooled data of static and dynamic tests as ratios of timbers with and without slit.  
Note: all data of static and dynamic tests were pooled.

$G/G_0$ で表し、静的と動的ねじり試験の結果をまとめて示すと Fig. 6 のようになる。背割り深さ  $d$  が材厚の1/2までの範囲では次の3次曲線の近似によって高い相関係数 ( $R=0.982$ ) の実験式が導かれた。

$$G/G_0 = 0.0023d^3 - 0.0224d^2 - 0.0166d + 0.9943 \quad (5)$$

なお、供試試験体にはわずかな表面割れが存在したため、割れが存在しない時の真のせん断弾性係数は  $G_0$  よりわずかに大きいかも知れないが、人為的な背割りのない状態を基準にした付加的な背割りによるせん断弾性係数の相対的な減少率を表す(5)式には影響しないと考えられる。

### 3.2 静的せん断弾性係数 $G_s$ と動的せん断弾性係数 $G_d$ の関係

Fig. 7 に静的せん断弾性係数  $G_s$  と動的せん断弾性係数  $G_d$  の関係を示す。直線回帰分析の結果では、次式のような高い相関係数 ( $R=0.976$ ) の回帰式が得られた。

$$G_d = 1.0184G_s + 0.0697 \quad (\text{GPa}) \quad (6)$$

上記のように両者の間に極めて高い相関関係があることは、背割りのようなスリットの状の欠陥を持つ実大木材でも、動的ねじり試験と静的ねじり試験の間に互換性があることを示している。このことは、実大材の試験や産業レベルにおける非破壊試験法として、簡便な動的ねじり試験が有効であることを示している。

$G_d$  は  $G_s$  に較べて平均値で16% (最大値29%, 最小値8%) 大きかった。このような動的な定数が静的な定数より大きくなることは、木材のヤング係数の測定においてもしばしば観察される。

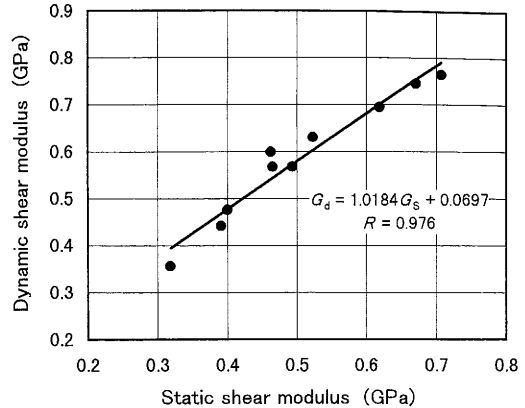


Fig. 7. Relationship between static and dynamic shear moduli of structural timbers with a sawn slit.

## 4. 結 論

実大正角材に背割りを入れ、背割り深さが静的および動的せん断弾性係数におよぼす影響を実験的に検討した。

- (1) 背割りによってせん断弾性係数は大きく低下することが明らかとなった。背割り深さとせん断弾性係数の関係を、3次曲線によって近似したところ極めて相関係数 ( $R=0.982$ ) の高い実験式が得られた。背割り深さが材厚の1/2でせん断弾性係数は約40%低下した。乾燥割れでも実質上背割りと同じ様な効果が予想されるので、乾燥割れによるせん断弾性係数の低下にも注意が必要なことを示している。
- (2) 背割りのようなスリットの状の欠陥を持つ実大木材でも、動的ねじり試験と静的ねじり試験の間に互換性があり、実大実験や産業レベルにおける非破壊試験法として、簡便な動的ねじり試験の有効性が明らかとなった。

## 文 献

- 1) Sobue, N.: *Mokuzai Gakkaishi* 34(8), 652-657 (1988).
- 2) 祖父江信夫, 池田潔彦: 木材学会誌 45(4), 289-296 (1999).
- 3) 川井忠彦: “マトリックス法振動および応答”, 培風館, 1972, pp. 108-122.
- 4) 鶴戸口英善: “弾性学”, 共立出版, 1971, pp. 65-73.
- 5) 坪井忠二: “振動論”, 現代工学社, 1973, pp. 456-458.