

スギ心持ち平角材の動的ねじり試験*¹祖父江信夫*², 池田潔彦*³Torsional Vibration Test of
Sugi Boxed Heart Squared Sawn Timber*¹Nobuo SOBUE*² and Kiyohiko IKEDA*³

Torsional vibration tests were conducted to clarify their effectiveness as a practical testing method of boxed heart squared sawn timbers. Shear moduli were calculated not only by the isotropic torsional vibration theory but also by Goens' solution based on Timoshenko's beam theory of flexural vibration.

A regression analysis between shear modulus and longitudinal Young's modulus or density was done. These tests were applied to sugi (*Cryptomeria japonica* D. Don) squared sawn timbers of 159 specimens in green condition and 29 kiln dry treated specimens, whose dimensions were about 4000 mm in length and 100 mm×200 mm in cross-sections.

The average values of shear moduli were 0.73 and 0.75 GPa for specimens in a green condition and kiln dry treated specimens, respectively, and were about one tenth of the average value of longitudinal Young's modulus. The shear moduli of the D20 specimens of which the moisture content became less than 20% increased by 7% after the kiln dry treatment. The shear modulus showed a weak negative correlation with the longitudinal Young's modulus. Timoshenko's beam flexural vibration method is not recommended for such large commercial-size specimens, because the accuracy of the resolved shear modulus is not sufficient.

The torsional vibration method is recommended to evaluate the shear modulus of commercial-size specimens, because it is easy to handle and analyse compared with the standard static bending and torsion methods.

Keywords: squared sawn timbers, sugi, shear modulus, torsional vibration, Timoshenko's beam vibration

実大平角材のせん断弾性係数の測定に動的ねじり試験法を適用することの有意性を確かめるための実験を行った。これと同時にチモシェンコ梁の曲げ振動理論に基づいてせん断弾性係数を算出する方法の適用性を検討した。また、せん断弾性係数と縦振動ヤング係数および密度との相関についても検討した。

スギ心持ち平角材の生材159本、人工乾燥処理材29本で実験した結果、せん断弾性係数の平均値はそれぞれ0.73 GPa および0.75 GPa で、繊維方向ヤング係数の平均値のおよそ1/10であった。含水率20%以下に乾燥した材(D20材)では、乾燥によってせん断弾性係数の平均値は約7%増加した。実大平角材では、曲げ振動法によるせん断弾性係数の測定は適さないことがわかった。ねじり振動法は試験体の取り扱いの容易さにおいて、従来の静的な曲げやねじり試験法に比べて優れており、平角材のような実大材のせん断弾性係数の測定に推奨される。

*¹ Received July 15, 1998; accepted January 21, 1999. 本研究の一部は第47回日本木材学会大会(1997年4月, 高知)において発表した。

*² 静岡大学農学部 Faculty of Agriculture, Ohya 836, Shizuoka 422-8529

*³ 静岡県林業技術センター Forest Technology Center of Shizuoka Prefecture, Negashi, Hamakita, Shizuoka 434-0016

1. 結 言

針葉樹構造用製材の JAS 規格が制定され、ヤング係数に基づく製材品の機械等級区分が普及しつつあるが、最近、比較的梁せいの高い大きな梁桁材を使用するために木質軸材料のせん断弾性係数を計測したいという要望がでてきている。

現在のところ実大材のせん断弾性係数の測定は、ASTM-D198¹⁾ に代表されるチモシェンコの梁理論に基づく静的曲げ実験による方法か、直接ねじりモーメントを加える方法によらざるをえない。しかし、これらの方法は特殊な大型材料試験機を必要とするか、一つのせん断弾性係数を得るためにスパン長を数段階（少なくとも 3 段階）変えた曲げ実験を必要とし、さらに重量物を扱うために人手と多くの時間を必要とする。したがって、これらの方法は、商業的な目的には適用が難しい試験法である。これに対し、動的なタッピング法は容易に材料にねじり振動を励振させることができるので、大型梁桁材でもせん断弾性係数を簡単に測定できる実用的な方法として期待される。

本研究ではスギ心持ち平角材を供試材として用い、実大軸材料のせん断弾性係数の測定に動的ねじり試験法を適用することの有用性について検討した。また、たわみ振動を用い、チモシェンコ梁の曲げ振動理論から解析的にせん断弾性係数を誘導する方法の適用についても併せて検討した。さらに、測定しやすい材質値や弾性係数から間接的にせん断弾性係数を推定することを期待し、密度との相関および縦振動ヤング係数との相関についても検討した。

2. 試験体および実験方法

2.1 供試試験体

スギ (*Cryptomeria japonica* D. Don) の心持ち平

Table 1. Apparent density and moisture content of specimens.

	Green		Kiln dry treated	
	ρ	MC*	ρ	MC
Ave.	0.50	39	0.42	25
Max.	0.79	90	0.55	51
Min.	0.38	20	0.35	14
CV.	16	45	12	40
N	159		29	

Note: ρ : apparent density (g/cm^3), MC: moisture content (%), MC*: moisture content of 42 oven dried specimens, CV.: coefficient of variation (%), N: number of specimens.

角材を用いた。静岡県春野町産60年生スギの丸太(末口径約300 mm)から製材した。3月に伐採し、約6ヶ月間林地で葉枯らしを行ったのちに製材し、屋根付きの土場で約2ヶ月間棧積みして自然乾燥させた。その結果、含水率は Table 1 に示すように最低でも20%、平均値が39%であることから判断し、以降では生材または生材状態と呼ぶことにする。寸法はおおよそ、長さ4000 mm、断面100 mm×200 mmであった。生材状態で実験した試験体の一部についてはさらに蒸気加熱乾燥を施し、再度振動実験を行った。しかし、これらの材の含水率は Table 1 に示したように繊維飽和点を超えるような場合が含まれており、厳密には乾燥材とはいえないので人工乾燥処理材と呼ぶことにした。また、このうち含水率が20%以下となったもの特に乾燥材として区別し、D20材と呼ぶことにする。人工乾燥処理を施した試験体29体の抽出は次のようにした。まず生材試験体の縦振動ヤング係数を調べて大きさの順に序列をつけ、抽出される試験体の縦ヤング率に偏りができないように採取した。供試材の個数、密度、含水率を Table 1 に示す。なお、曲げ振動によるせん断弾性係数の測定では、生材試験体は159体の中から無作為に46体だけを抽出して実験を行った。

2.2 実験方法

振動波形の周波数解析には FFT スペクトラムアナライザを用いた。なお、ねじり振動試験においてカーソル機能によってスペクトルピークの帰属を容易に行うため、2現象の装置を準備した。波形の検出には、圧電式加速度センサを用いた。

2.2.1 たわみ振動試験

両端自由条件で試験を行った。Fig. 1 (a) に示すよ

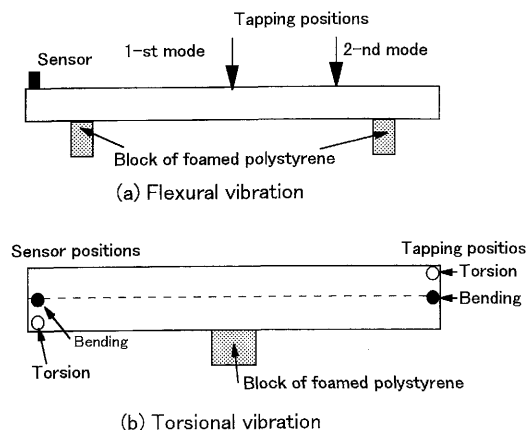


Fig. 1. Vibration tests.

うに、試験体をエッジワイズおよびフラットワイズ状態にして、発泡スチレンのブロックの上に静置した。試験体の支持位置は1次振動と2次振動の節の位置とした。その理由は、低次の振動モードでは支持点が節の位置からずれると振動の拘束の影響が大きいが高次振動モードでは影響が少ないこと、および緩衝材によって拘束を緩和するためである。打撃はプラスチックハンマと指で行った。前者は高次振動を有効に励起させるためであり、後者は指の柔らかさによって高次振動の刺激を吸収して低次振動のみを励起させるためである。打撃位置は、1次振動の節で支持する場合は中央、2次振動の節で支持する場合は材端から材長の約1/4点の位置とした。振動波形は、振動センサを材端で軽く押し当て検出し、記録した。

高次振動まで含めたたわみ振動の解析には、材料の回転慣性とせん断変形の影響を考慮したチモシェンコの梁理論に基づく次のGoensの解法²⁾を適用した。

真のヤング係数を E 、回転慣性とせん断変形の影響を含んだ見掛けのヤング係数を E_A とすれば、次式となる。

$$E = E_A T = \frac{4\pi^2 l^4 \rho f_r^2}{m^4 i^2} \cdot T \tag{1}$$

$$T = 1 + \frac{i^2}{l^2} \left[F_1(m) + \frac{sE}{G} F_2(m) \left\{ 1 - \frac{m^4 i^2}{F_2(m) l^2 T} \right\} \right] \tag{2}$$

ここで、 l は材長、 ρ は密度、 f_r は固有振動数、 i^2 は回転半径である。また、 m^4 、 $F_1(m)$ および $F_2(m)$ は振動次数によって決まる定数で Hearmon の論文²⁾ から引用した。上式の解法には前報³⁾と同様に5次振動までの固有振動数の結果を適用した。また、上式の s はせん断係数とよばれ、前報の結果³⁾ から 1.17 を用いた。

2.2.2 ねじり振動試験

両端自由条件の試験を行った。Fig. 1 (b)のように、試験体をエッジワイズ状態にして中央で発泡スチレンのブロックの上に静置した。この支持条件とした理由は、奇数モードの振動の節が試験体中央の位置にあること、および中央は偶数モードの振動の腹と一致するが緩衝材によって拘束を緩和するためである。

試験体は二度打撃した。一度目は試験体側面の中心線上の材端を打撃し、もう一方の材端の中心線上に振動センサを軽く押し当てて振動波形を記録する。二度目は試験体の材端の隅角部を打撃し、もう一方の材端の隅角部に振動センサを軽く押し当てて振動波形を記録した。一度目は純粋な曲げ振動を励

起させるためであり、二度目はたわみーねじり複合振動を励起させるためである。

せん断弾性係数 G は次式で計算される⁴⁾。

$$G = 4l^2 \rho \frac{f_r^2 I_p}{n^2 J} \tag{3}$$

$$I_p = \frac{4}{3} ab(a^2 + b^2) \tag{4}$$

また、供試体が心持ち材であることから等方性を仮定し、 J には次式を用いた。

$$J = \frac{16}{3} kba^3 \tag{5}$$

ここで、 l は材長、 ρ は密度、 f_r は固有振動数、 n は振動次数、 a は短辺長さの1/2、 b は長辺長さの1/2である。また、 k は断面形状 b/a によって決まる定数で⁵⁾、 $b/a=2$ の場合は0.688となる。

2.2.3 縦振動試験

両端自由条件の試験を行った。試験体をエッジワイズ状態にして中央で発泡スチレンのブロックの上に静置した。

縦振動によるヤング係数 E_1 は次式によって計算する⁶⁾。

$$E_1 = 4l^2 \rho f_r^2 \tag{6}$$

ここで、 l は材長、 ρ は密度、 f_r は1次の固有振動数である。

3. 結果および考察

3.1 ねじり振動法によるせん断弾性係数の測定

Fig. 2 に、ねじり振動試験を適用して試験体の中心線上と隅角部を打撃した場合の周波数スペクトルを示す。隅角部を打撃した場合の周波数スペクトルには、ねじり振動と曲げ振動のスペクトルが現れて

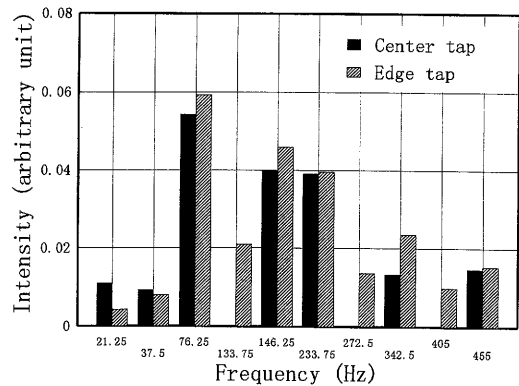


Fig. 2. Typical spectra of center tap and edge tap vibrations.

Note: spectral peaks of 133.75, 272.5, and 405 Hz are resolved as those of torsional vibrations.

いる。そこで、両者に共通するスペクトル成分、すなわち中心線上を打撃したときに現れる曲げ振動のスペクトルを除くと、ねじり振動のスペクトルがえられる。

Fig. 3 に生材の固有振動数 f_r と振動次数 n の関係を示す。縦軸は n 次の固有振動数 f_r を基本振動の固有振動数 f_1 と振動次数 n で除した値 ($f_r/f_1/n$) で示している。高次の固有振動数は基本振動のそのほぼ整数倍 (n 倍) となっており、ほぼ理論通りに規則的なねじり振動が励起されていることがわかる。試験体を中央で支持したため、中央で振動の腹と一致する偶数モードの振動に拘束の影響がわずかに認められる。前報のディメンションランパーの結果では 2 次振動の拘束がより明瞭に認められたが³⁷⁾、平角材では質量が大きいことがねじりモーメントを増大させ、発泡スチレンを容易に変形させるため、相対的に拘束の影響を減じたと考えられる。また、ねじりの高等理論では、高次の固有振動数が基本振動数の整数倍からずれていくワーブ効果があることがわかっている⁸⁾。試験体の支持による振動の拘束がない奇数モードに注目すると、振動次数の増加につ

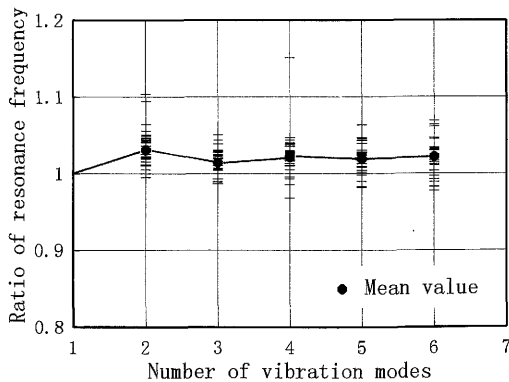


Fig. 3. Ratios of frequencies to the fundamental frequency at higher ordered vibration modes.

れて周波数の比が 1~2% 増加する傾向が認められる。しかしワーブ効果は小さいので、基本振動の固有振動数を用いれば、実用上測定精度に問題はない。

実大平角材のせん断弾性係数については、公表されたデータは容易にみつからない。得られた主な結果を Table 2 に示す。また、Fig. 4 に供試材のせん断弾性係数の分布を示す。人工乾燥処理によって若干せん断弾性係数の平均値が大きくなり、変動係数が小さくなったが、生材と人工乾燥処理材のせん断弾性係数の値には、ほとんど差は見られない。

ここで人工乾燥処理材の含水率のばらつきの影響をもう少し詳しく考察してみる。Table 1 に示したように試験体の含水率にはばらつきがあり、試験体内部の含水率分布も大きいように推測される。Fig. 5 に、試験体の横断面を 15 分割 (幅方向 5 分割、厚さ方向 3 分割) した断面含水率分布を、生材と人工乾燥処理材について代表的なものを示す。生材は断面全体に含水率が高い様子がわかる。長期間軒先で積みしてあったので、中には 20% 程度まで乾燥している試験体もあった。一方、蒸気加熱による人工乾

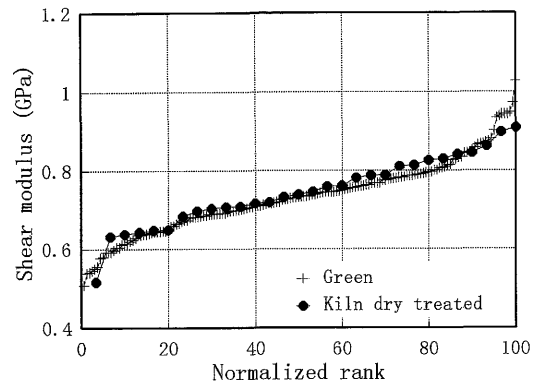


Fig. 4. Normalized rank presentation of shear modulus at green and kiln dry treated conditions.

Table 2. Basic data of shear moduli and longitudinal Young's moduli.

	Shear moduli (GPa)				G_{D20}/G_{Pg}	Young's moduli (GPa)				E_{D20}/E_{Pg}	E/G		
	G_g	G_{kdt}	G_{Pg}	G_{D20}		E_g	E_{kdt}	E_{Pg}	E_{D20}		g	kdt	D20
Ave.	0.73	0.74	0.70	0.76	1.07	7.33	7.19	6.27	6.80	1.09	10.2	9.9	9.3
Max.	1.03	0.91	0.79	0.86	1.19	11.9	9.64	7.70	8.35	1.17	17.3	16.2	16.2
Min.	0.51	0.52	0.51	0.52	1.00	3.90	4.56	3.90	4.56	1.03	4.4	6.2	6.2
CV.	13	12	10	12	4.7	18	17	18	16	3.3	23	26	28
N	159	29	13	13	13	159	29	13	13	13	159	29	13

Legend: G : shear modulus, E : longitudinal Young's modulus, g: green condition, kdt: kiln dry treated, pg: pair specimen in green condition to D20 specimen, D20: moisture content is equal to/or less than 20%, CV.: coefficient of variation (%), N: number of specimens.

乾燥処理材は、表面付近の含水率が全乾法で15%付近まで下がっており、乾燥処理を行った試験体の含水率の平均値は全乾法で24%まで下がっている。しかし、中には心材付近の水分の抜けにくい試験体もあり、全体の含水率としては30%を超える試験体もあった。そこで、同一試験体で生材状態と人工乾燥処理状態のせん断弾性係数の変化を示したのが Fig. 6 である。含水率が20%以下となった試験体 D20 を区別して、●印で示した。乾燥によるせん断弾性係数の変化を生材時の値の比で示すと、人工乾燥処理材

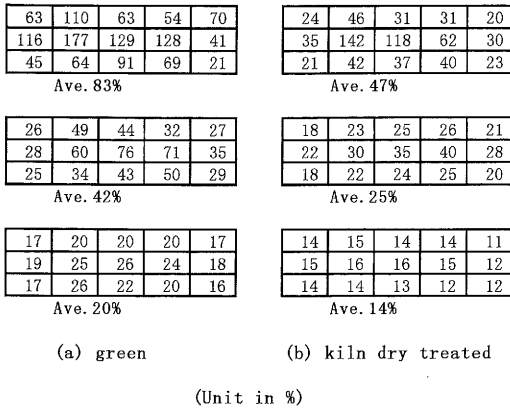


Fig. 5. Some examples of the distribution of moisture contents at cross-sections.

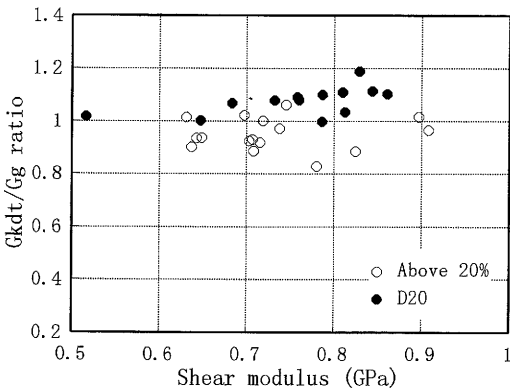


Fig. 6. Ratios of shear modulus between kiln dry treated and green conditions.
 Legend: Gkdt: shear modulus of kiln dry treated specimens,
 Gg: shear modulus of specimens in green conditions,
 Above 20%: moisture content is above 20%,
 D20: moisture content is equal to or less than 20%.

全体で平均値は1.01となり Fig. 4 の結果とほぼ一致している。しかし含水率が20%以下となった試験体に限ると、Table 2 に示すように、その比 G_{D20}/G_{PG} は平均値で1.07、変動係数は4.7%となる。●印のプロットは縦軸が1より大きい側に散布している。すなわち、乾燥により平均すると約7%せん断弾性係数は増加したことになる。また、D20材のせん断弾性係数の平均値は0.76 GPa、変動係数は12%であった。この値は人工乾燥処理材全体の値とほとんど差はなかったため、人工乾燥処理材と D20材の両グループの平均値の差の検定を危険率0.05で行ったところ、有意でなかった。人工乾燥処理材の中には平均含水率が繊維飽和点を超えるものも含まれていたが、D20材と有意差がないこと、一度乾燥操作を経て表面付近は15~20%に乾燥しており、同じ様な平均含水率の生材試験体とは履歴が異なることから、以降では人工乾燥処理材を一つのグループとして取り扱うことにする。

一般に木材の密度とヤング係数の間には比較的よい相関がみられるので、せん断弾性係数についても同様な検討を行ってみた。Fig. 7 に人工乾燥処理材の見かけの密度 ρ とせん断弾性係数 G の関係を示す。この場合、人工乾燥処理材といっても含水率が繊維飽和点に近いものも含まれており、密度の計算過程で水分の影響があるので、試験体密度は見かけの密度と解釈すべきである。直線回帰分析の結果(7)式が得られ、単相関係数は0.035で非常に小さく、危険率0.05の検定でも有意とはならなかった。

$$G = 0.0607\rho + 0.72 \quad (\text{GPa}) \quad (7)$$

したがって、実大のスギ心持ち平角材のせん断弾性係数には見かけの密度に対する依存性はないと考え

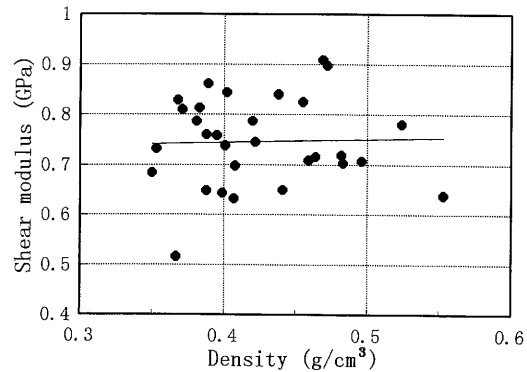


Fig. 7. Relationships between shear moduli and apparent densities of kiln dry treated specimens.
 Note: solid line is regression line, where $r=0.04$.

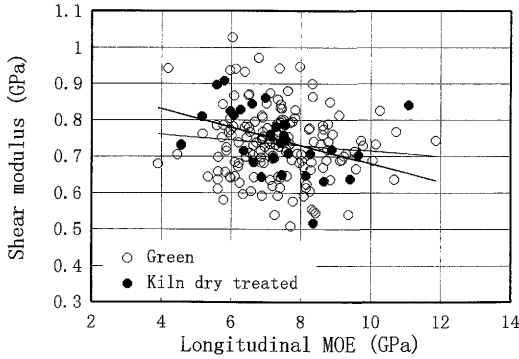


Fig. 8. Relationships between shear moduli and longitudinal Young's moduli.

Note: fine and bold lines are regression lines for green specimen and kiln dry treated specimens, respectively, where r s are -0.10 and -0.40 .

てよい。すなわち、木材の見かけの密度をせん断弾性係数の簡便な予測因子とすることはできない。

次に、測定しやすい縦振動ヤング係数をせん断弾性係数の予測因子として用いることの有効性を検討した。Fig. 8 に、縦振動ヤング係数 E_1 とせん断弾性係数の関係を示す。直線回帰分析の結果からは生材で単相関係数が -0.1 となり、危険率 0.05 では有意でなかったが、わずかに負の傾斜を示した。

$$G = -0.0075E_1 + 0.79 \quad (\text{GPa}) \quad (8)$$

人工乾燥処理材では単相関係数が -0.40 となり、危険率 0.05 で有意な負の相関が得られた。

$$G = -0.025E_1 + 0.93 \quad (\text{GPa}) \quad (9)$$

すなわち、縦振動ヤング係数の増加につれてせん断弾性係数が低下する傾向があった。しかし、縦振動ヤング係数をせん断弾性係数の予測因子として用いるにはデータのばらつきが大きく、十分な相関は得られていない。

ところで、交差積層型直交異方性体では単層の弾性主軸の傾斜の増加につれて、ヤング係数が減少し、せん断弾性係数が増加する⁹⁾。スギ小試験体における結果では、細胞壁のマイクロフィブリル傾角の増加につれて、繊維軸方向のヤング係数が減少し、面内繊維軸平行方向のせん断弾性係数が増加することが確かめられている¹⁰⁾。スギ立木においても心材部のマイクロフィブリル傾角は辺材に比べて大きく¹¹⁾、上記の心持ちの実大平角材の傾向でも同様に細胞壁のマイクロフィブリル傾斜が弱いながら影響しているものと考えられる。

曲げ変形におよぼすせん断変形の影響の度合いを示すパラメータにヤング係数とせん断弾性係数の比

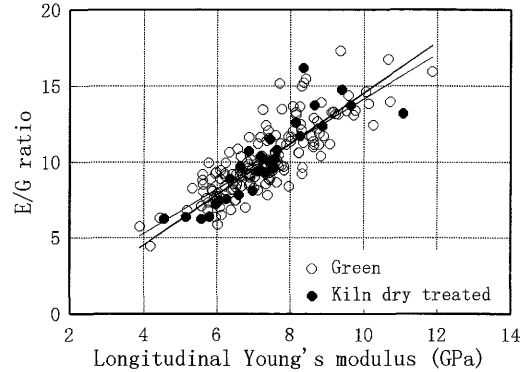


Fig. 9. Relationships between longitudinal Young's modulus/shear modulus ratios and longitudinal Young's moduli.

Note: fine and bold lines are regression lines for specimens in green condition and kiln dry treated specimens, respectively, where r s are 0.83 and 0.87 .

E/G がある。 E/G の分布の統計値を Table 2 に示す。すなわち、スギ心持ち平角材の E/G の平均値は約 10 と考えてよいことがわかる。ただしここでは、 E には動的縦振動試験から求めた値、 G には動的ねじり振動試験から求めた値を用いている。

また、Fig. 9 に縦振動による繊維方向ヤング係数 E_1 とねじり振動によるせん断弾性係数 G の比 E_1/G の結果を縦振動ヤング係数との関係で示す。両者の直線回帰分析では、生材で次式が得られた。

$$\frac{E_1}{G} = 1.48E_1 - 0.665, \quad r = 0.83 \quad (10)$$

また、人工乾燥処理材では次式が得られた。

$$\frac{E_1}{G} = 1.67E_1 - 2.768, \quad r = 0.87 \quad (11)$$

いずれも、単相関係数 r は 0.83 および 0.87 と高く、繊維方向のヤング係数が大きいほど E/G が大きくなることからわかる。しかし、この結果は、Fig. 8 に示されたようにせん断弾性係数が繊維方向のヤング係数に依存しない(生材)か、あっても依存性が弱い(人工乾燥処理材)ために E_1 に比例する関係が生じるからであり、(10)、(11)式を用いて繊維方向ヤング係数からせん断弾性係数を逆算できることを意味していない。

3.2 曲げ振動法によるせん断弾性係数の測定

曲げ振動は振動試験としてはポピュラーな方法で、測定方法も比較的簡単な特徴がある。また、チモシェンコの梁の振動理論を適用すると、静的曲げ試験と同様にせん断弾性係数を求めることができる。Figs. 10, 11 に曲げ振動試験の結果に Goens の

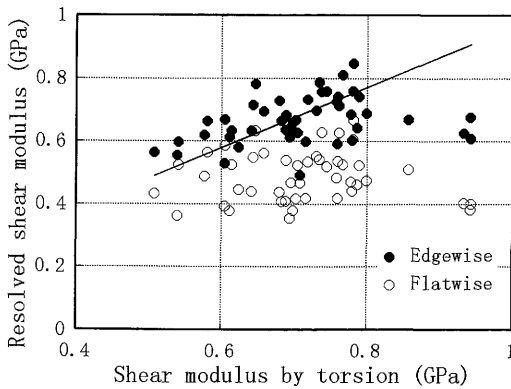


Fig. 10. Relationships between resolved shear moduli by Timoshenko's theory and shear moduli by torsional vibration for green specimens.

Note: solid line is regression line for edgewise specimens, where $r=0.28$.

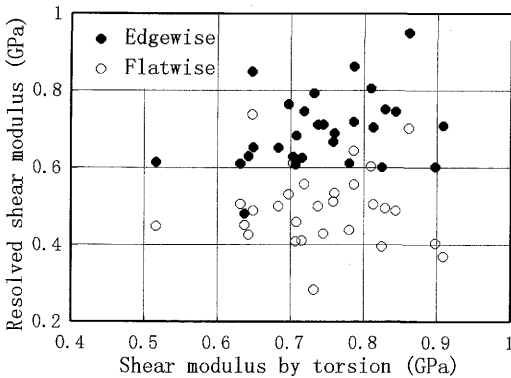


Fig. 11. Relationships between resolved shear moduli by Timoshenko's theory and shear moduli by torsional vibration for kiln dry treated specimens.

解法を適用して求めたせん断弾性係数とねじり振動によるせん断弾性係数の関係を示す。Fig. 10は生材, Fig. 11は人工乾燥処理材の結果である。いずれも、ねじり振動によるせん断弾性係数が0.8 GPa程度までの範囲では、エッジワイズの場合には両者は比較的良好に対応している。比較的良好性がよいと思われる生材のエッジワイズ試験体で、ねじり振動によるせん断弾性係数が0.8 GPa以下のデータについて直線回帰分析をした。原点を通る直線では単相関係数は0.28(危険率0.05で有意でない)、定数項を含む直線の場合でも0.52(危険率0.01で有意)であった。したがって、この方法は実大平角材のせん断弾性係数の測定法としては十分な精度を持つとはいえない。前報のディメンションランバーの結果でもチ

モシェンコ梁の振動理論によるせん断弾性係数とねじり振動によるそれとの関係は大きなばらつきを示した⁷⁾。しかし、同様な検討を無欠点小試験体について行った結果では⁹⁾両者は良い一致を示していたことから、実大材では試験体内部の材質分布や水分傾斜がチモシェンコ梁の理論の適用を困難にしているものと考えられる。

曲げ振動によるせん断弾性係数の測定では、フラットワイズの場合にはばらつきが更に大きく、ねじり振動から求めた値の2/3程度となった。ばらつきが拡大する理由は、梁せい/長さ比が1/40であるため、チモシェンコ梁の理論を適用する際にせん断変形による補正項の寄与がわずかであり、ヤング係数との分離精度が低下したためと考えられる。したがって、平角材でもせん断変形の効果が大きくなる5次以上の次数の振動スペクトルを利用すれば分離精度が向上することも期待されるが、ねじり振動試験の簡便さを考えると実大材では曲げ振動を適用してせん断弾性係数を測定するメリットは少ない。

3.3 振動測定法の留意点

曲げとねじり振動のスペクトルはほぼ同じ周波数帯に出現するため、ときどきスペクトルの重畳が起こる。このような場合は、ねじりの高次振動の周波数が基本振動のそのほぼ整数倍になることに注目し、高次モードのピークを特定できた。

たわみ振動でも、ねじり振動成分の出現が時々あった。たわみ振動における高次振動モードの固有振動数と基本振動モードのその比は整数倍にはならないので、ピークの帰属に迷うことがある。このような場合、次のような実際的な方法で解決できた。すなわち、打撃位置を変えることによって強調されるピークの現れ方に注目する。中央部は奇数振動モードの腹となるので、中央を打撃すると奇数モードのピークが強調される。また、中央部をはずして2次や4次モードの腹の位置を打撃すると、偶数モードのピークが強調されるようになる。さらに、偏心した位置を打撃してねじりモードのピークを確認し、目的波形スペクトルからねじりモードのスペクトルを削除すれば、確実に帰属することができた。

4. 結 論

スギ心持ち平角材にねじり振動、たわみ振動、および縦振動試験を適用し、次の結論を得た。

1) 平角材のような実大材のせん断弾性係数を測定するには、ねじり振動法が適していることがわかった。大型特殊装置を必要としないこと、重量物を取り扱う際の簡便性が従来の静的な曲げ試験法やね

じり試験法に比べて優れている。

2) 生材および人工乾燥処理を施したスギ心持ち平角材のせん断弾性係数の平均値はそれぞれ0.73 GPa および0.75 GPa となった。これらの値は、繊維方向ヤング係数の平均値の約1/10であった。含水率20%以下に乾燥した材では、乾燥によってせん断弾性係数の平均値は生材状態のそれに比べて約7%増加した。

3) 実大材にチモシェンコ梁の曲げ振動理論を適用してせん断弾性係数を求める場合、ばらつきが大きく十分な精度がえられなかった。特に、フラットワイズのように梁せい/スパン比が小さい場合には適用できないことがわかった。

4) 木材の見かけの密度および繊維方向ヤング係数とせん断弾性係数の相関は低く、これらをせん断弾性係数の予測パラメータとすることはできなかった。

文 献

- 1) American Society for Testing and Material: "Annual Book of ASTM Standard", Section
- 2) Hearmon, R. F. S.: *Br. J. Appl. Phys.* **9**, 381-388 (1958).
- 3) Sobue N.: *Mokuzai Gakkaishi* **32**, 274-279 (1986).
- 4) 坪井忠二: "振動論", 現代工学社, 東京, 1973, pp. 456-458.
- 5) 鶴戸口英善: "弾性学", 共立出版, 東京, 1971, pp. 65-73.
- 6) 妹沢克惟: "振動学", 現代工学社, 東京, 1980, pp. 62-68.
- 7) Sobue, N.: *Mokuzai Gakkaishi* **34**, 652-657 (1988).
- 8) Nakao, T., Okano, T., Asano, I.: *Mokuzai Gakkaishi* **31**, 435-439 (1985).
- 9) 赤坂 隆: "複合材料工学", 林 毅編, 日科技連出版社, 東京, 1971, pp. 546-550.
- 10) 祖父江信夫, 浅野猪久夫: 木材学会誌 **22**, 211-216 (1976).
- 11) 祖父江信夫, 平井信之, 浅野猪久夫: 木材学会誌 **16**, 262-266 (1970).