

木材の動的弾性に関する研究 (第1報)

木材の振動測定装置ならびに測定方法

中山 義雄

(高知大学農学部林産学研究室)

青木 昭男*

Studies on the Dynamic Elasticity of Wood

Part I. The Measuring Apparatus and the Measuring Methods of Vibration of Wood

Yoshio NAKAYAMA

(Laboratory of Forest Products, Faculty of Agriculture)

Akio AOKI

I. 緒 言

従来、木材の強度試験は節・腐れ・割れその他のキズがなく、かつ繊維が通直な小試験体について行なわれている。

しかし実用に供される木材には各種の欠点が存在するため、上記の強度値をそのまま用いて構造物設計の基準とすることができない。

よって、木構造計算基準によれば、短期許容力度は強度下限値の約35%となり、また長期許容応力度においては、前者の50%の値を採用するので、結局下限強度の20%程度しか認められないことになる。

最近、国内産材では天然大径木が漸減し、造林による小径木が漸増傾向にあるので強度部材として使用する場合、心持材・欠点材なども多くなってきたので、無欠点材の下限値および欠点係数を基礎とした許容応力度計算値の実用的価値は殆んどなくなるであろう。

そこで筆者等は各種欠点を内蔵している実用的ディメンションのものについて動的弾性に関する研究を行ない、強度値の判定および欠点のおよぼす影響などについて究明しようとするものである。

本論文は、予備実験として本研究室において試作した低周波撓み振動装置を用いて、動的ヤング率、対数減衰比の分散および同一試験体における春・秋材部の振幅を求めたものである。

II. 測定装置

装置 (Fig. 1) は周波数可変のCR発振器を用い、その出力を機械的な出力に変換して、供試材を強制励振させ、その固有共振振動数、対数減衰率、その他振動挙動について可及的正確に判定しようとするものであり、両端自由梁測定と片持梁測定用となっている。おのこのについて説明する。

1. 両端自由梁測定装置 (Fig. 2)
CR 発振器, 励振用増幅器,

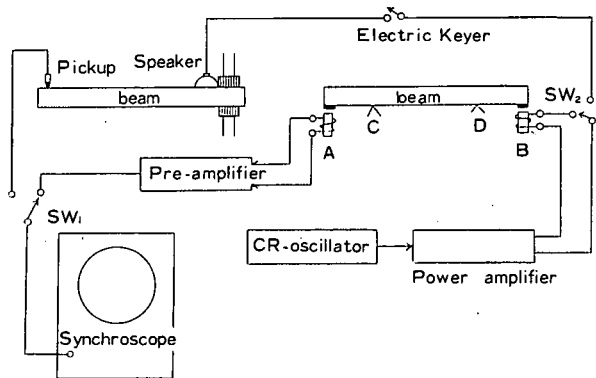


Fig. 1 Schematic diagram of the measuring apparatus and the methods of vibration. A is the magnetic pick up; B is the magnetic vibrator; C and D are supports at 0.2242 l from the each ends.

* 高知県技師 (昭和42年3月高知大学林学科卒業) Engineer, Kochi prefectural office

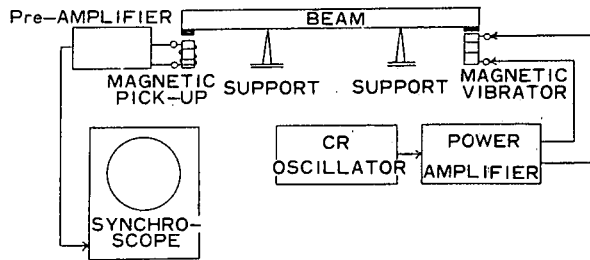


Fig. 2 Schematic diagram of the measuring apparatus and the measuring method of dynamic Young's modulus.

Synchroscope, 電源部, 前置増幅器, 励振器および Pick up より構成されており, その定格は次の通りである。

a. CR発振器 (LAG-55型)

発振周波数は 20 c/s~200 kc を 4 range に分け周波数はダイヤルにより直読する。

周波数校正精度; $\pm 2\%$ 以内

周波数特性; 100 c/s~5000 c/s 間, ほとんど平坦

出力電圧; 8 V (RMS)

b. 励振用増幅器

発振器の電氣的出力を増幅する。

構成は 6 AV 6, 6 V 6 の 2 段増幅で A 級で動作させている。

動的ヤング率測定の場合は終段の 6 V 6 のスクリーン電圧を 150 V に下げて, 励振器の入力を制御する。本器は本研究室において制作したものである。

c. Synchroscope (S-5022型)

振幅および周波数を測定できると同時に, 現象の時間的変化を波形として捕えることができる。

d. 電源部

励振用増幅器に適正な直流および交流を供給する。

出力および電流

DC 300 V, 100 mA

AC 6.3 V, 3 A

e. 前置増幅器

Pick up の出力電圧をそのまま Synchroscope に入れたのでは入力電圧が低いため, pick up の出力電圧を 12 AT 7 で 2 段増幅し利得を増している。本器は本研究のため筆者等が製作したものである。

f. 励振器

magnetic receiver の電磁コイルと試験体に接着した出力トランスの core を構成するパーマロイの薄片とが振動系を構成させるように本研究室で製作したものである。

g. Pick up

励振器と同じく magnetic receiver の電磁コイルを利用した電磁変換器で, 振動の強弱に比例した出力電圧を発生する。

h. 両端自由梁の支持台

2. 片持梁測定装置 (Fig. 3)

CR発振器, Synchroscope, 励振用増幅器, 自動回路開閉器, 励振器, Pick up などより構成

され、その定格は

- a. CR発振器 (LAG-55型) 励振用増幅器, Synchroscope (S-5022型) および電源部は両端自由梁測定装置と兼用
- b. 励振器
励振用増幅器からの出力を機械的振動に変換するための装置であり magnetic speaker を改造して製作した。
- c. Pick up
レコード用クリスタル型 Pick up を使用した。
- d. 周波数特性; 100~1000 c/s はほぼ平坦出力; 2.3V (1000 c/s)
- e. 自動回路開閉器 (Electric Keyer)
減衰状態を Synchroscope で観測するため CR発振器の出力を周波数に応じて一定間隔で切断するためのものである。
- f. 片持梁の支持台
本研究室で製作したもので Hydraulic Jack を使用し、試験体の一端を固定する。

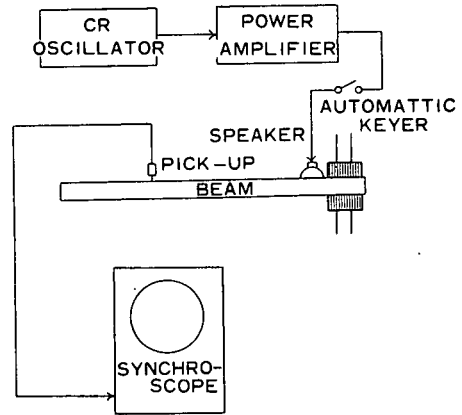


Fig. 3 Schematic diagram of the measuring apparatus and the measuring method of logarithmic decrement.

III. 測定方法

1. 撓み振動法による動的ヤング率の測定 (両端自由梁測定装置, Fig. 2 使用)

(1) 試験体の保持

接着剤によってパーマロイ薄片を貼りつけた試験体を支持台上に保持する。

この際、基本共振振動数 (1次共振振動数) を測定するためには $0.2242l$ と $0.7758l$ (l は試験体の長さ) の2箇所 node が正しく支持されるように注意する。

試験体のパーマロイ薄片と励振器との間隔は 1mm 程度とした。これはパーマロイ薄片と励振器の磁石が接触すると誤差の原因となり、あまり間隔が開きすぎると励振勢力が不足するからである。

(2) 共振周波数の求め方

発振周波数を低位から高位に漸変しながら出力電圧を Synchroscope で読みとれば、共振点では急に振幅が増大するので、この時、CR発振器の dial を読めば共振振動数が求められる。

(3) 動的ヤング率の算出

動的ヤング率は

$$f = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{m^2}{2\sqrt{3}} \cdot \frac{h}{l^2} \cdot \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

f ; 共振振動数 c/s

h ; 試験体の断面の振動方向の厚さ (cm)

l ; 試験体の長さ (cm)

E ; 試験体の動的ヤング率 (dyn/cm²)

m ; 常数 (1次共振の場合 4.730)

ρ ; 密度 (g/cm³)

により算出する。この装置を用いて試験体の寸法と共振振動数、動的ヤング率および樹種別の動

的ヤング率の測定をおこなった。

2. 片持梁による対数減衰率の測定 (片持梁測定装置, Fig. 3)

(1) 対数減衰率の測定

測定にあたっては試験体の一端を固定して励振器によって固定端に振動を与えその自由端にピックアップを載せて受振した。

対数減衰率を測定するには、励振を自動回路開閉器によって一定時間間隔で切断し、その間の減衰振動を Synchronoscope に描かせて写真撮影した。

(2) 対数減衰比の算出

写真撮影をした減衰振動波形から次の方法によって対数減衰率が求められる。

ある周期の振幅を x_n , それから1周期後の振幅を x_{n+1} とすれば対数減衰率 λ は

$$\lambda = \ln \cdot \frac{x_n}{x_{n+1}}$$

となる。

また、対数減衰をする時は、相次ぐ振幅は一定の比をもって減衰する。

この時の減衰比 v は次のようにあらわされる。

$$v = \frac{|y_1|}{|y_2|} = \frac{|y_2|}{|y_3|} = \frac{|y_3|}{|y_4|} = \dots = \frac{|y_{k-1}|}{|y_k|} = \frac{|y_k|}{|y_{k+1}|}$$

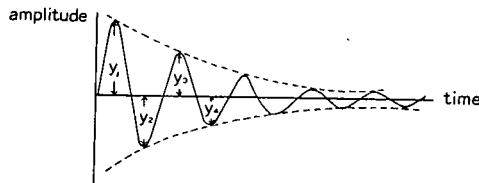


Fig. 4 Sketch showing the decay of vibration

あるいは、 $W_1 = |y_1| + |y_2|$, $W_2 = |y_2| + |y_3|$... $W_k = |y_k| + |y_{k+1}|$ とすれば減衰比は

$$v = \frac{|y_1| + |y_2|}{|y_2| + |y_3|} = \frac{|y_2| + |y_3|}{|y_3| + |y_4|} = \dots = \frac{|y_{k-1}| + |y_k|}{|y_k| + |y_{k+1}|} = \frac{W_1}{W_2} = \frac{W_2}{W_3} = \dots = \frac{W_{k-1}}{W_k}$$

と表わすことができる。

したがって $W_1 \cdot W_2 \dots W_k$ の比をもって減衰比とすることができる。

モミおよびプラスチックの減衰比について測定した。

3. 春材部および秋材部の振幅測定

(1) 測定法

春材と秋材ではその物理的の性質に差異があるが、同一試験体においてそれぞれ振動的の性質にどのような影響があるか片持梁測定装置で実験した。

固定端を励振させ、自由端の春材部、秋材部で受振し、振幅を求めた。

(2) 試験体

樹種 スギ

寸法 1000 mm × 150 mm × 10 mm

IV. 試 験 体

1. 樹種名および産地

スギ	<i>Cryptomeria japonica</i> D. Don.	高知県
モミ	<i>Abies firma</i> Sieb. et Zucc.	高知県
ツガ	<i>Tsuga Sieboldii</i> Carr.	高知県
ミズメ	<i>Betula grossa</i> Sieb. et Zucc.	高知県
ケヤキ	<i>Zelkova serrata</i> Makino	高知県

2. 気乾材

3. 寸法

次の3種を用いた。

- 1) 235 mm×200 mm×0.1~1.2 mm
- 2) 260 mm×98 mm×3 mm
- 3) 1000 mm×150 mm×10 mm

なお、比較のために用いたプラスチック板の寸法は 260 mm×98 mm×3 mm である。

V. 測定結果

1. 試験体の寸法と共振振動数との関係

試験体はモミで長さ 23.5 cm, 幅 2.0 cm に一定しておき, 厚さを 1 mm から 11.5 mm まで変化させた場合の共振振動数と厚さの関係を Fig. 5 に示す。

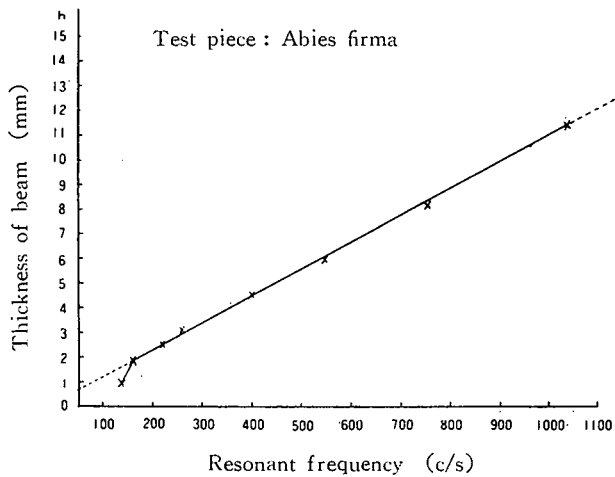


Fig. 5 Relationship between thickness of beam and resonant frequency.

共振振動数は 100~1000 c/s の間では直線的に変化する。

2. 試験体の寸法と動的ヤング率

長さ/厚さに対応する共振振動数および動的ヤング率との関係については Fig. 6, Fig. 7 の結果を得た。動的ヤング率はモミ, ツガとも長さ/厚さ=15 に変曲点があり, 長さ/厚さが15以下になると動的ヤング率は急に減少し, 15以上ではほぼ一定の値となる。

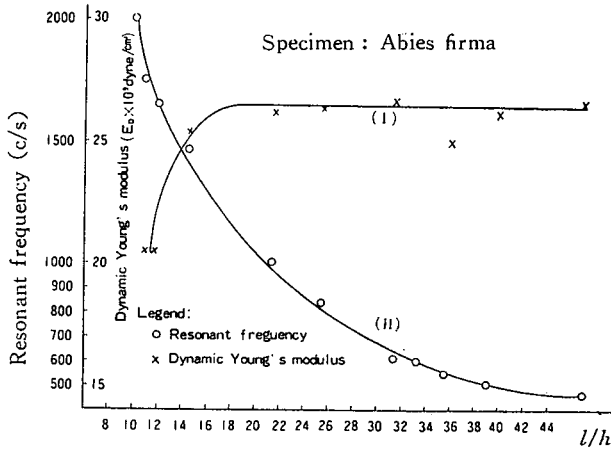


Fig. 6 Relationship between dynamic Young's modulus and l/h (I); resonant frequency and l/h (II).

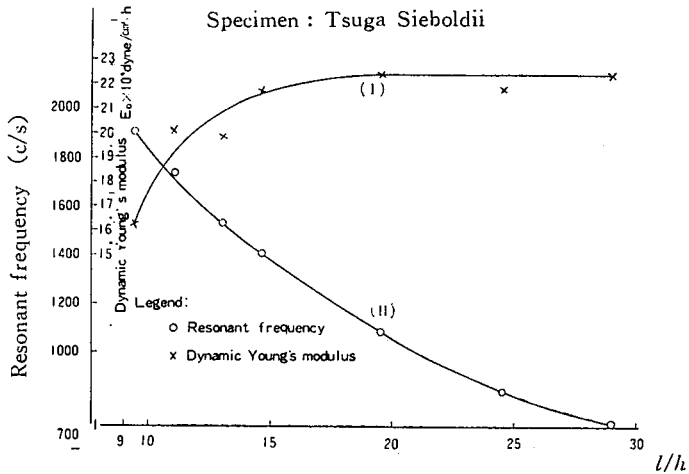


Fig. 7 Relationship between dynamic Young's modulus and l/h (I); resonant frequency and l/h (II).

3. 樹種別の動的ヤング率

動的ヤング率, ならびに対数減衰率に影響をおよぼす因子のうち, 両端自由梁測定装置を用いて各樹種について実験した結果を示せば Table. 1 のとおりである。

4. 木理傾斜角と動的ヤング率

試験体はモミで 235 mm × 20 mm × 6 mm の寸法とし, 軸方向と木理方向とのなす角度を 0°, 15°, 30°, 45°, 60° の 5 段階に分け, それぞれ 5 個の試験体 (年輪巾, 比重の近似したもの) を 1 組とし, その平均値を求めた結果は Fig. 8 に示す。

動的ヤング率は木理傾斜角が大きくなるにしたがって著しく減少する。

5. モミとプラスチックの減衰比

対数減衰の減衰比は理論的には $v_1 = v_2 = v_3 = \dots = v_n$ となるが, 本実験においては, $v_1 \neq v_2 \neq v_3 \neq \dots \neq v_n$ となった。

Table. 1 DYNAMIC YOUNG'S MODULNS of SPECIES

	SPECIES	DIMENSION			No.	SPECIFIC GRAVITY	RESONANT FREQUENCY (c/s)	DYNAMIC YOUNG'S MODULUS $E_D \times 10^9$ dyn/cm ²
		cm <i>l</i>	cm <i>h</i>	cm <i>b</i>				
N	Cryptomeria japonica	23.5	1.9	1.9	1	0.27	1500	11.95
					2	0.28	1590	13.92
					3	0.28	1550	13.22
					4	0.26	1550	12.28
					5	0.36	1300	11.37
	Abies firma	23.5	1.9	1.9	1	0.41	1550	19.37
					2	0.40	1610	22.71
					3	0.40	1680	23.43
					4	0.38	1680	21.09
					5	0.36	1720	19.94
	Tsuga Sieboldii	23.5	1.9	1.9	1	0.48	1600	22.55
					2	0.50	1480	22.54
					3	0.48	1600	22.55
					4	0.48	1600	22.55
	L	Betula grossa	23.5	1.9	1.9	1	0.82	1530
2						0.76	1580	37.61
3						0.75	1600	38.39
4						0.75	1610	38.33
5						0.76	1500	32.63
Zelkova serrata		23.5	1.9	1.9	1	0.57	1200	16.99
					2	0.56	1200	16.59
					3	0.57	1170	16.29
					4	0.57	1200	16.99
					5	0.59	1310	19.27

モミとプラスチックの減衰振動波形を片持梁測定装置で写真撮影した例を示せば、それぞれ Photo. 1, Photo. 2 となる。

この減衰比の分散は Table. 2 に示すように、モミがプラスチックより大きい結果を得た。

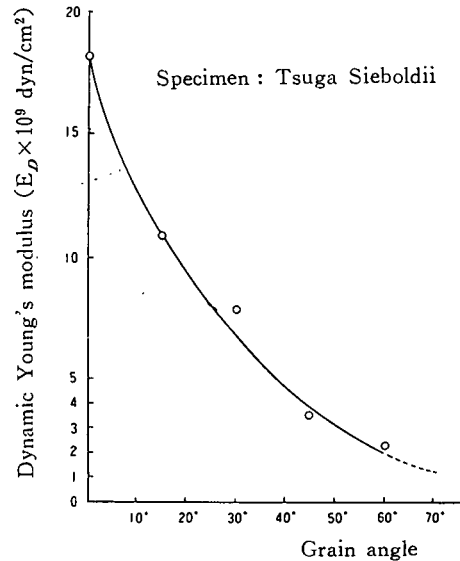


Fig. 8. - Relationship between Grain angle and Dynamic Young's modulus.

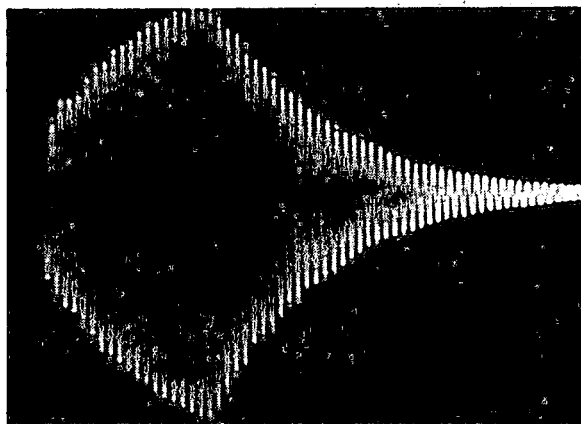


Photo. 1 Damped oscillation of Abies.

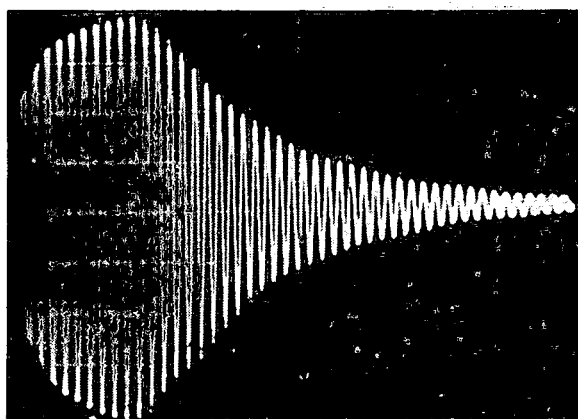


Photo. 2 Damped oscillation of plastic.

Table 2 Variance of damping ratio of Abies and plastic.

TEST PIECE	DIMENSION			No.	RESONANT FREQUENCY (c/s)	VARIANCE σ^2
	cm <i>l</i>	cm <i>b</i>	cm <i>h</i>			
Abies firma	26.0	9.8	0.3	1	440	0.0035
				2	440	0.0050
				3	440	0.0014
				4	440	0.0017
				5	440	0.0018
				6	440	0.0025
				7	440	0.0024
				8	440	0.0022
				9	440	0.0020
				10	440	0.0021
Plastic	26.0	9.8	0.3	1	340	0.0007
				2	340	0.0003
				3	340	0.0005
				4	340	0.0008
				5	340	0.0011
				6	340	0.0004
				7	340	0.0013
				8	340	0.0005
				9	340	0.0005
				10	340	0.0011

6. 春材部および秋材部の振幅

スギ 100.0 cm×15.0 cm×1.0 cm の寸法のもを片持梁測定装置により、その自由端で振幅を測定し Table. 3 の結果を得た。

秋材部の振幅は春材部の振幅の平均 1.3 倍であった。

Table 3 Amplitude of Spring wood and Summer wood.

Amplitude	No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Spring wood (cm)		2.2	2.4	2.2	2.3	2.2	2.8	3.3	1.7	2.0
Summer wood (cm)		3.0	2.7	2.7	3.0	3.4	4.0	4.0	2.9	2.7	3.1
Amplitude of Sm. wood Amplitude of Sp. wood		1.4	1.1	1.2	1.3	1.5	1.4	1.2	1.7	1.4	1.2

VI. 総 括

1. 低周波撓み振動測定のため、両端自由梁測定装置と片持梁測定装置とを製作した。
2. 両端自由梁測定装置によって、試験体の厚さと共振振動数、長さ/厚さ と動的ヤング率、共振振動数、木理傾斜角と動的ヤング率および樹種別の動的ヤング率を求めた。
3. 片持梁測定装置では対数減衰比の分散および同一試験体における春秋材部の振幅を求めた。対数減衰比に分散がありモミの場合は、プラスチックのそれより大であった。スギの春秋材部の振幅は秋材部の振幅が春材部の平均 1.3 倍であった。
4. 静的方法に較べ動的方法でヤング率を測定する場合には、応力が極めて小さく、負荷時間も極めて短いので塑性ひずみをほとんど無視する測定が可能である。励振、受振では直接試験体に接触する方法より、電磁的に励振、受振させる方法が他の因子の混入が少く適切である。

1. The authors manufactured the measuring apparatus of wood for trial as shown in Fig. 2 and Fig. 3; the former was for the measuring of free-free beam, and the latter was for the measuring of cantilever beam by the transveres vibration method.
2. The relationship between the dynamic young's modulus of wooden beams and factors of physical properties of wood was measured by using the measuring apparatus of free-free beam, and the results are shown in Fig. 6 ~ Fig. 8 and Table 1.
3. The value of the variance of logarithmic damping ratio of Abies was greater than that of plastics.
4. Compared the value of the amplitude of summer wood with that of spring wood in the same beam of Cryptomeria by using the measuring apparatus of Cantilever beam, the former was over 1.3 times as higher as the latter.

文 献

- 1) 松本 昶：木材の動的弾性率 特に撓み振動によるヤング率と対数減衰率とに関する研究 九大農演報 36 (1962)
- 2) 深田栄一：楽器用木材の振動的性質 日本音響学会誌 72 (1951)

- 3) 深田栄一：木材の振動的性質 小林理研報 11 (1951)
- 4) 鳥飼安生・松沢喜一郎：振動法による圧延真鍮のヤング率測定 応用物理 26 (1950)
- 5) Brown, H. P., Panshin, A. J., Forsaith, C. C. : Textbook of Wood Technology. II (1949)

(昭和42年9月30日受理)