

研究報告第468號  
BULLETIN No. 468

# 木材振動特性與動粘彈性之測定

黃 彥 三

Measurement of Vibration Properties and Dynamic  
Viscoelasticity of Wood

Yan-San Huang

臺灣省林業試驗所

臺灣 臺北

中華民國七十五年三月

TAIWAN FORESTRY RESEARCH INSTITUTE

TAIPEI, TAIWAN, REPUBLIC OF CHINA

March, 1986

# 木材振動特性與動粘彈性之測定

黃 彥 三

## 摘 要

本試驗就山毛櫸、美國側柏及美國雲杉三樹種之乾燥材進行縱振動與橫振動試驗，測定動彈性係數、內部摩擦及音速、音響幅射衰減率等特性。橫振動之對數衰減率分別以強制振動之共振曲線及自由振動之振幅衰減曲線加以測定。縱振動之共振頻率以 FFT 頻譜分析儀來測定。實大樑之共振頻率利用裝設於支點之荷重計加以測定。試驗之主要結果如下：

1. 縱振動所測動彈性係數較由橫振動所測得者大 7 ~ 9 %。
2. 對數衰減率不論由共振曲線或自由衰減曲線測得者，均甚接近。
3. 樂器用材需要較低的內部摩擦及較高音速與音響幅射衰減率，雲杉及側柏具備這些性質。
4. 木材音波抵抗較金屬材料為低，但尚難以此值之大小判定樂器用材品質之優劣。
5. 以靜曲試驗測定彈性係數時，撓度測定之方法對彈性係數測值具有相當影響，以振動方法測定時則不發生此種問題，故可作較精確之測定。

## 一、緒 言

木材之非破壞性強度試驗 (nondestructive strength test) 可藉振動試驗之方法瞬間測定其彈性係數，進而推定木材之強度性質，作為機械分級 (mechanical grading) 或結構設計之基礎。木材之振動試驗可分為自由振動 (free vibration) 與強制振動 (forced vibration) 二種。前者係將試材加以外力，例如打擊，促使其脫離靜止之狀態，而依其自然或共振頻率 (natural or resonant frequency) 作自由衰減振動<sup>(9)</sup>。後者係藉頻率可變之週期性外力，使試材發生共振。兩者皆藉自然或共振頻率之測定，進而計算木材之動彈性係數 (dynamic modulus of elasticity)。另一方面，木材為具有粘彈性 (viscoelasticity) 特性之高分子材料，即同時具有固體之彈性及液體之粘

性。粘彈性之研究方法可分為靜態與動態兩種。靜態方面多以潛變 (creep) 及應力緩和 (stress relaxation) 等作為探討對象，常須經長時間之試驗方能獲致成果。動態方面多利用振動法，瞬間測定動彈性係數，內部摩擦 (internal friction)，而易於分離彈性與粘性要素，且因測定時間較短，試材可重複使用，故為粘彈性研究上不可或缺的手段。木材之振動試驗過去已有不少研究<sup>(1,2,5,8,12,13)</sup>，近年科技發展迅速，計測技術愈為精密，新的研究不斷進行<sup>(6,7,15,16,17,18,22,23,24)</sup>，更有應用於樂器用材音響特性的研究上，對於木材的高價值利用上，極為重要。<sup>(14,19,20,21)</sup>

本試驗係利用日本名古屋大學林產學科之精密設備，在祖父江信夫博士指導下，以美國產雲杉、側柏及山毛櫸之乾燥材進行試驗，測定靜彈性係數、動彈性係數、內部摩擦、對數衰減率、音速、音

響幅射衰減率、音波抵抗等特性並互作比較。

## 二、材料與方法

(一)試材：

1. 美國雲杉 (sitka spruce)：氣乾比重 0.448，含水率 12.4%，年輪寬度 2.5mm。
  2. 美國側柏 (red cedar)：氣乾比重 0.363，含水率 12.1%，年輪寬度 1.04mm。
  3. 山毛櫸 (fagus) 氣乾比重 0.591，含水率 9.8%，年輪寬度 1.8mm。
- 試片長 40cm，寬 2.5cm，厚 1.0cm，寬面為徑切面。每一樹種試片六支均無缺點。另有三支雲杉實木樑試片長 233cm，寬 9cm，厚 3.8cm，其比重為 0.493，板面上有小節分散着。

(二)試驗方法：

### 1. 原理

具粘彈性之木材在振動時，應力 (stress) 與應變 (strain) 間有相位角  $\delta$  存在 (應力在先，應變在後)，此時之彈性係數可以複數式來表示<sup>(4,10)</sup>，即

$$E^* = E' + iE'' \quad (1)$$

$$\tan\delta = Q^{-1} = \frac{E''}{E'} \quad (2)$$

式中  $E^*$  為動複數彈性係數 (dynamic complex modulus)， $E'$  為動彈性係數， $E''$  為損失彈性係數 (loss modulus)， $\tan\delta$  為損失正切 (loss tangent) 或以  $Q^{-1}$  表示內部摩擦 (internal friction)。

### 2. 橫振動試驗

採用兩端自由樑 (free-free beam) 之撓曲振動方式，以張緊之細線將試片支持於一次共振之波節位置，即距離兩端點之長度為試片全長之 0.224 處<sup>(3)</sup>，相當於自端點 9cm 處。共振頻率及振幅衰減之測定回路如圖 1 所示，利用發振器 (Oscillator) 產生低周波變頻正弦波信號，經由電力增幅器 (amplifier) 使

電磁驅動器 (magnetic driver) 產生電磁吸引力，試片下方附着薄鐵片，故可產生振動，試片之振幅可由自由端上方的非接觸性位移探測器 (noncontact displacement pick up) 測得，當驅動信號頻率與試片共振頻率相等時，振幅最大。此時之共振頻率可由數值頻率計 (frequency counter) 顯示出來。又，為測定木材之內部摩擦起見，利用掃描發振方式，並將頻率經變換器、增幅器輸入  $x-y$  記錄器之  $x$  軸，同時將振幅經帶域濾波器 (band pass filter)，交直流變換器、增幅器，然後輸入  $x-y$  記錄器之  $y$  軸。如此便可測得共振點前後振幅衰減的曲線。試片之撓曲動彈性係數  $E_b'$  可由 (3) 式計算<sup>(3)</sup>

$$E_b' = \frac{48\pi^2 fr^2 l^4 \rho}{m^4 h^2} \quad (3)$$

$E_b'$  = 撓曲動彈性係數，dyne/cm<sup>2</sup>

$fr$  = 共振頻率，Hz

$l$  = 試片長度，cm

$h$  = 試片厚度，cm

$\rho$  = 試片密度，g/cm<sup>3</sup>

$m = 4.73004 \dots$

式中  $E_b'$  之單位為 dyne/cm<sup>2</sup>，除以 980,000 dyne/kgf，則可換算為常用的 kgf/cm<sup>2</sup> 單位。

又由圖 2 之共振——衰減曲線，可計算內部摩擦，圖中  $\Delta f$  為共振點前後，振幅衰減為共振振幅之  $1/\sqrt{2}$  時之頻率差。則內部摩擦可以 (4) 式表示<sup>(10)</sup>

$$Q^{-1} = \tan\delta = \frac{E''}{E'} = \frac{\Delta f}{fr} \quad (4)$$

對數衰減率 (logarithmic decrement) 之測定，係先調整發振器之頻率，使試片在共振點振動，然後瞬間切斷電源，試片便產生自由衰減振動，此時將衰減波形存入波形記憶器 (wave memory) 中，然後利用  $x-y$  記錄器

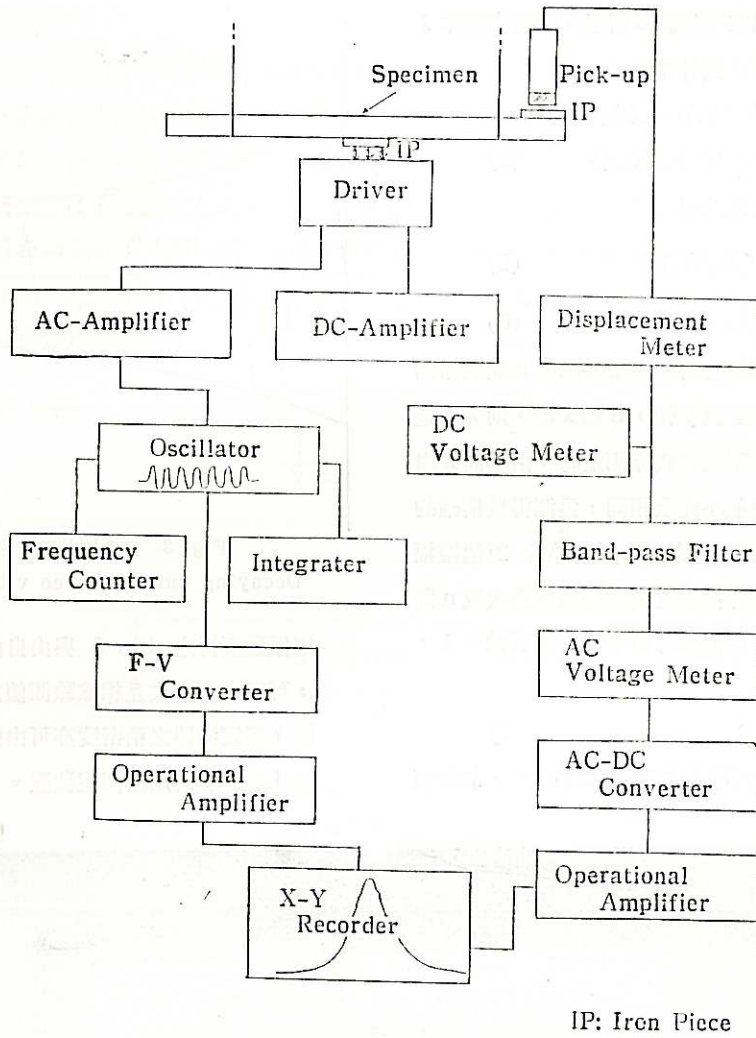


Fig. 1 橫振動試驗測定過程略圖  
Block diagram of measurement of transverse vibration.

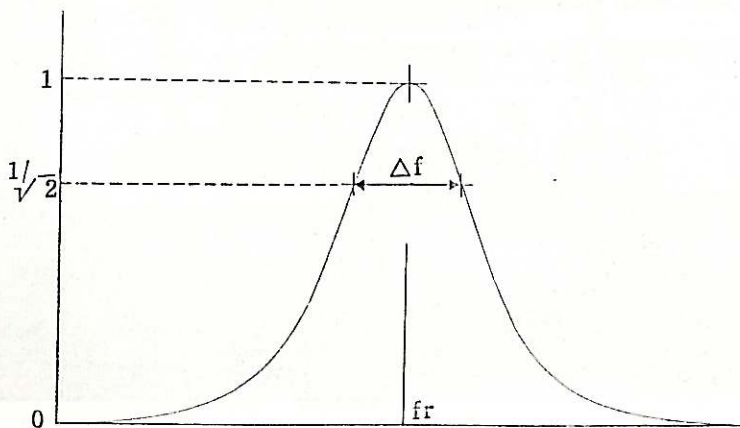


Fig. 2 共振—衰減曲線  
Resonant-damping curve.

把波形再現出來。如圖 3 所示，對數衰減率  $\lambda$  可由(5)或 (5)' 式計算

$$\begin{aligned} \lambda &= I_n(A_0/A_1) = I_n(A_1/A_2) \\ &= \dots = I_n(A_n/A_{n+1}) \end{aligned} \quad (5)$$

$\lambda$  為對數衰減率

或  $\lambda = \frac{1}{n} I_n(A_0/A_n) \quad (5)'$

$$\therefore I_n A_n = I_n A_0 - \lambda \cdot n \quad (6)$$

由 (6) 式知振幅之對數與振動回數  $n$  成直線關係，若以  $I_n A_n$  為  $y$  軸， $n$  為  $x$  軸，則  $\lambda$  便是直線的斜率，不過在實際測定時，由不同  $n$  處所算得之  $\lambda$  值並不完全相同，為測得較精確的  $\lambda$  值，本試驗測得  $A_0, A_1, \dots, A_{20}$  21 個振幅，以統計方法作振幅之對數值與振動次數  $n$  間之直線回歸，以直線之斜率為對數衰減率  $\lambda$ 。因理論上

$$\pi \tan \delta \doteq \lambda \quad (7)$$

$\tan \delta$  與  $\lambda$  有(7)式之交換算關係<sup>(1)</sup>，故由強

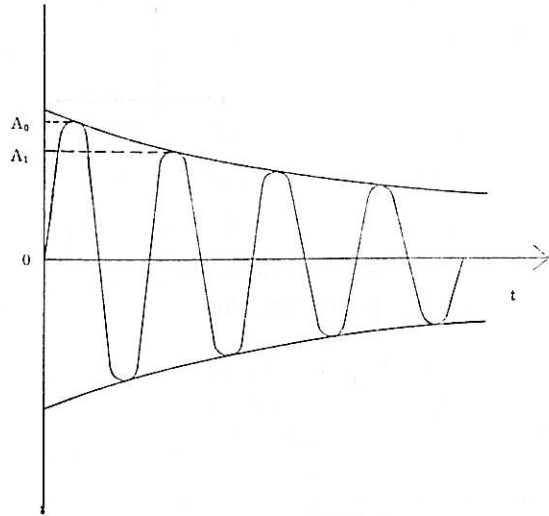


Fig. 3 自由振動衰減曲線  
Decaying curve of free vibration.

制振動測得之  $\tan \delta$  與由自由振動測得之  $\lambda$ ，可經由(7)式互相檢驗測值之準確性或可靠性，測定儀器之精密度亦可由此加以評鑑。圖 4 為試驗所用之測定裝置。

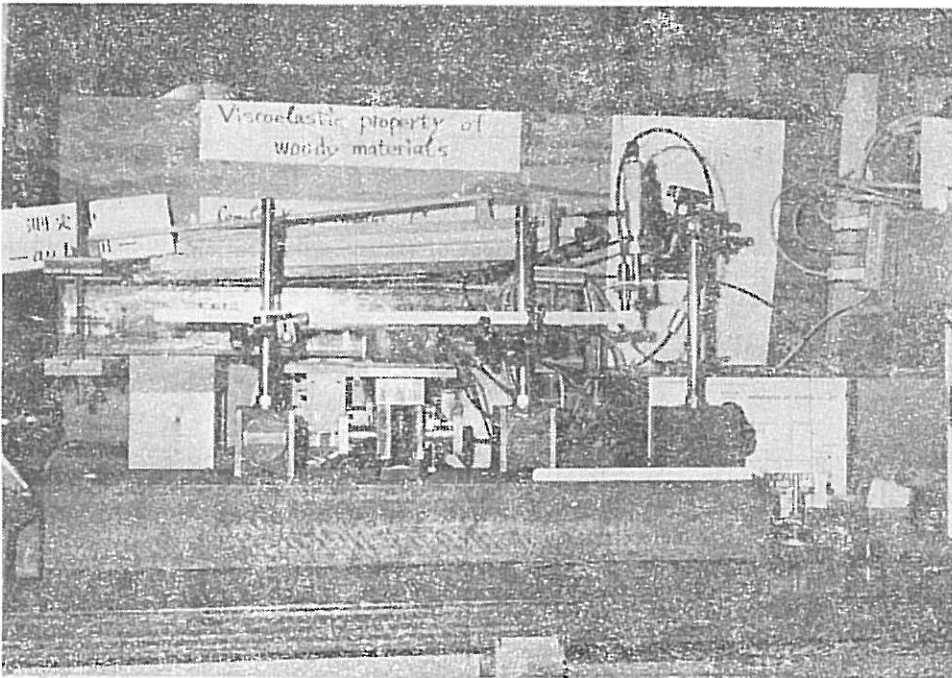


Fig. 4 橫振動試驗裝置  
Testing apparatus for transverse vibration.

### 3. 縱振動試驗<sup>(24)</sup>

如圖 5 所示，將試片中央固定，手持錘輕敲試片一端，振動音由置於另一端的麥克風檢出，經增幅器放大後，輸進 FFT 頻譜分析儀，此儀器能將成分複雜的波形迅速加以分解成頻譜，然後分析結果經 GP-IB 界面 (Interface) 輸入電腦，將頻譜輸出，並藉振動理論公式 (8)，算出動彈性係數  $[E_t']$

$$E_t' = 4f_m^2 l^2 \rho / m^2 \quad (8)$$

$E_t'$  = 動彈性係數, dyne/cm<sup>2</sup>

$m = 1, 2, 3 \dots$

$l$  = 試片長度, cm

$\rho$  = 木材密度 g/cm<sup>3</sup>

$f_m$  = 各  $m$  值時的共振頻率, Hz

本試驗以一次振動即  $m=1$  時之  $f_m$  來計算  $E_t'$ 。

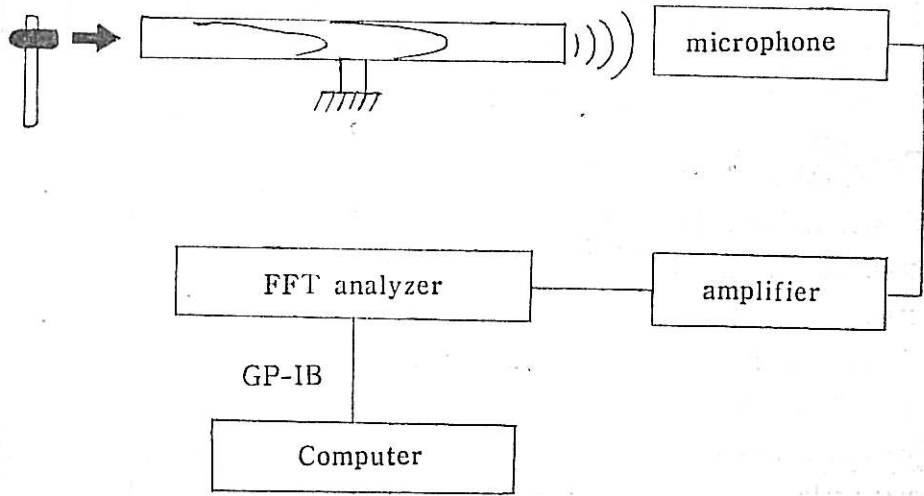


Fig. 5 縱振動試驗測定過程略圖

Block diagram of measurement of longitudinal vibration.

### 4. 實大樑的橫振動試驗<sup>(24)</sup>

採用兩端單純支持樑 (Simply supported beam) 之振動原理，如圖 6 所示，試片一端

以荷重計 (load cell) 來支持，用以檢出自由振動時支點的反作用力。試驗時以錘輕敲試

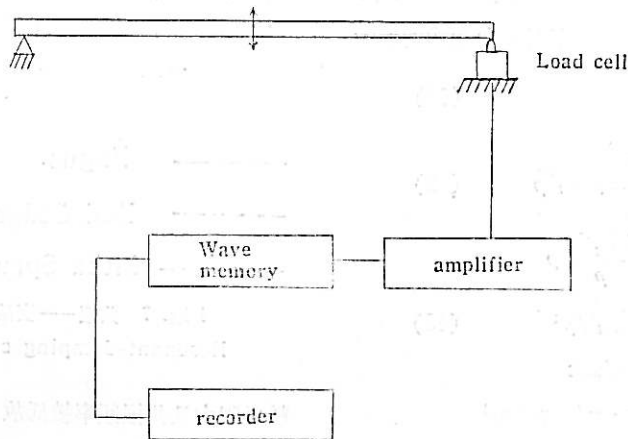


Fig. 6 實大樑單純支持之側定略圖

Block diagram of measurement of full size simply supported beam.

片中央，振動波形經增幅器放大後輸入波形記憶器，再以記錄器繪出。動彈性係數可利用式(9)算出

$$E_b' = \frac{48l^4 fr^2 \rho}{\pi^2 h^2} \quad (9)$$

(9)式之符號，單位與(3)式相同。此外尚可依前述方法測定對數衰減率。

### 5. 靜曲試驗

利用振動試驗之試片進行中央荷重靜曲試驗，跨距為試片厚度之14倍，測定靜曲彈性係數，以便與動彈性係數相比較，其計算式如(10)式

$$E_s = \frac{pl^3}{4yb h^3} \quad (10)$$

$E_s$  = 靜曲彈性係數，kgf/cm<sup>2</sup>

$p$  = 比例限度內荷重，kgf

$y$  = 撓度，cm

$l$  = 跨距，cm

$b$  = 試片寬度，cm

$h$  = 試片厚度，cm

### 6. 音響特性之計算

由縱振動試驗所測得之動彈性係數  $E_t'$  及木材密度  $\rho$ ，可算出木材中音速，音響輻射衰減率 (damping of sound radiation) 及音波抵抗 (sound wave resistance) 等對樂器用材品質極為重要的音響特性 (acoustic properties)。其計算式如(11)~(13)式所示<sup>(2)</sup>

$$v = \sqrt{\frac{E_t'}{\rho}} \quad (11)$$

$$w = \rho \sqrt{\frac{E_t'}{\rho}} = \sqrt{E_t' \rho} \quad (12)$$

$$\begin{aligned} \delta_t &= 5 \times 10^{-8} \sqrt{\frac{E_t'}{\rho}} / \rho \\ &= 5 \times 10^{-8} \sqrt{E_t' / \rho^3} \quad (13) \end{aligned}$$

$v$  = 音速，cm/sec

$w$  = 音波抵抗，g/sec-cm<sup>2</sup>

$\delta_t$  = 音響輻射衰減率，cm<sup>3</sup>/sec-g

## 三、結果與討論

由表 1 可知，橫振動所測得的平均動彈性係數  $E_b'$ ，山毛櫸為 91900 kgf/cm<sup>2</sup>，美國側柏為 97300 kgf/cm<sup>2</sup>，美國雲杉為 145900 kgf/cm<sup>2</sup>，山毛櫸之比重最大，但  $E_b'$  反而較低。內部摩擦  $Q^{-1}$  係表示振動能量中，在材內部以摩擦熱能而消耗所佔比例，圖 7 為三樹種之共振曲線，顯見山毛櫸之曲線

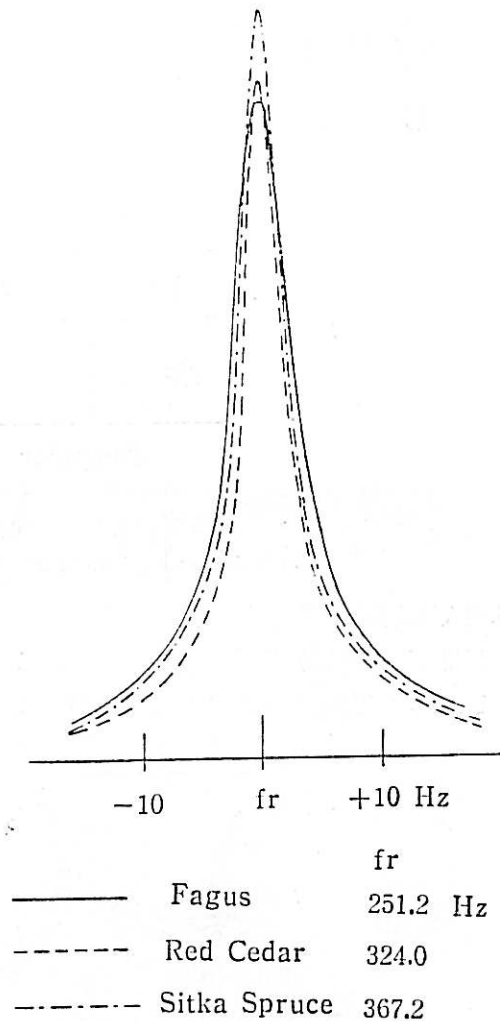


Fig. 7 共振——衰減曲線測定例  
Resonant-damping curve measured.

較為肥大且共振頻率較低故  $Q^{-1}$  或  $\tan \delta$  較大。山毛櫸之平均  $\tan \delta$  值為 0.0122，側柏為 0.00577，雲杉為 0.00662。圖 8 為三樹種之自由衰減曲線

Table 1 試驗結果  
The results of test

樹種 Species	山毛榉 Fagus	美國側柏 Red Cedar	美國雲杉 Spruce
density, g/cm <sup>3</sup>	0.591 <sup>(1)</sup> (0.539~0.621) <sup>(2)</sup>	0.363 (0.354~0.373)	0.449 (0.444~0.451)
試驗方法 test methods			
橫振動 transverse vibration			
natural frequency (f <sub>r</sub> ), Hz	249 (240~256)	328 (324~330)	361 (356~367)
dynamic elasticity (E <sub>d</sub> '), kgf/cm <sup>2</sup>	91900 (77500~101600)	97300 (92800~101500)	145900 (140700~151700)
loss modulus (E <sub>l</sub> ''), kgf/cm <sup>2</sup>	1120 (837~1180)	561 (534~574)	966 (957~979)
loss tangent (tanδ)	0.0122 (0.0108~0.0141)	0.00577 (0.00566~0.00597)	0.00662 (0.00651~0.00682)
logarithmic decrement (λ*)	0.0383 (0.0339~0.0443)	0.0181 (0.0178~0.0188)	0.0208 (0.0193~0.0214)
logarithmic decrement (λ**)	0.0368 (0.0330~0.0400)	0.0178 (0.0166~0.0192)	0.0203 (0.0197~0.0214)
縱振動 longitudinal vibration			
natural frequency (f <sub>m</sub> ), Hz	5110 (4910~5250)	6680 (6610~6750)	7430 (7350~7550)
dynamic elasticity (E <sub>e</sub> '), kgf/cm <sup>2</sup>	99300 (83200~110000)	104200 (99100~109400)	159300 (154400~165300)
sound speed (V), m/sec	4058 (3890~4170)	5305 (5238~5360)	5902 (5737~5993)
sound wave resistance (W), g/sec. cm <sup>2</sup>	2.40×10 <sup>5</sup> (2.09~2.59×10 <sup>5</sup> )	1.93×10 <sup>5</sup> (1.85~2.10×10 <sup>5</sup> )	2.64×10 <sup>5</sup> (2.59~2.70×10 <sup>5</sup> )
damping of sound radiation (δ <sub>r</sub> ), cm <sup>3</sup> /sec. g	0.0343 (0.0333~0.0362)	0.0730 (0.704~0.0740)	0.0659 (0.0654~0.0664)
MOE of static bending (E <sub>s</sub> ), kgf/cm <sup>2</sup>	74800 (64100~80400)	80400 (78900~82700)	110400 (107200~114400)
(E <sub>r</sub> '/E <sub>s</sub> ' )	1.08 (1.07~1.08)	1.07 (1.07~1.08)	1.09 (1.09~1.10)
(E <sub>l</sub> ''/E <sub>s</sub> )	1.23 (1.21~1.26)	1.21 (1.17~1.24)	1.34 (1.32~1.38)

\* 由  $\lambda \tan \delta$  換算

\*\* 由自由振動衰減曲線測得

(1) 平均值 (2) 括號內為最大最小值



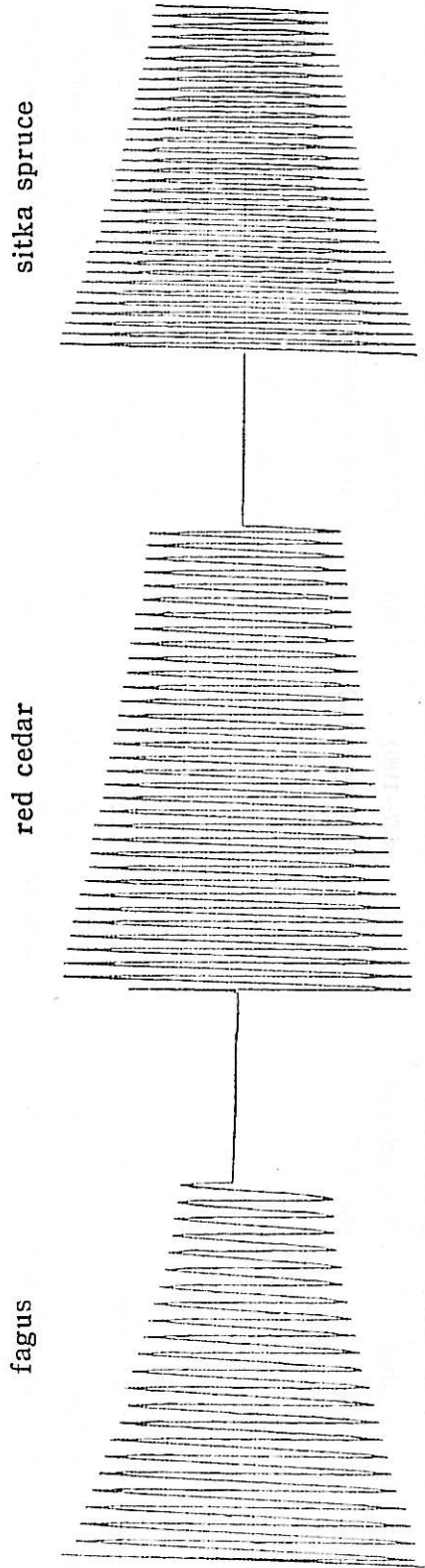


Fig. 8 自由振動衰減曲線

Decaying curve of free vibration.

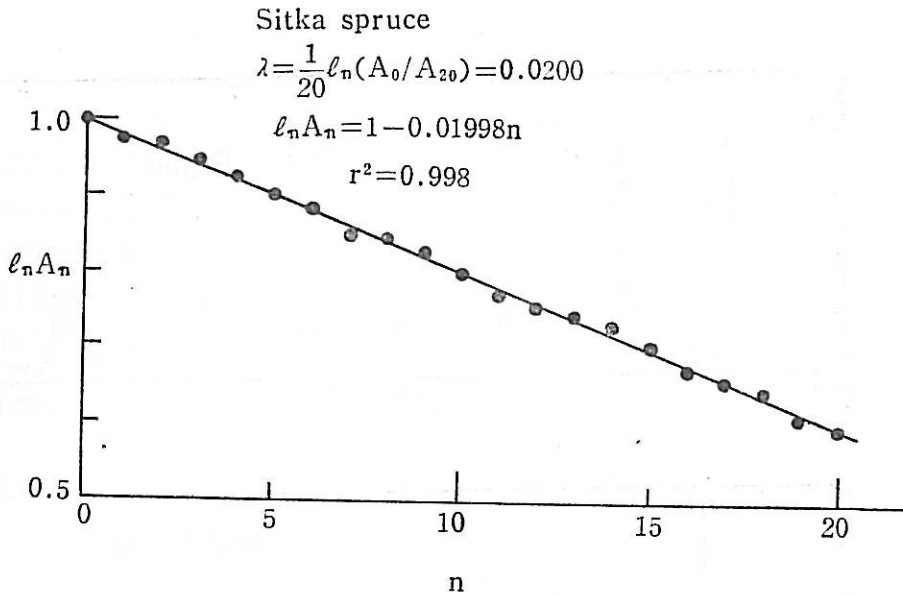


Fig. 9 對數振幅與振動數之關係  
Logarithmic value of amplitude vs. number of cycles.

由圖解可推定自然頻率及對數衰減率，以圖 9 為例，以振幅之自然對數值為 y 軸，振動回數 n 為 x 軸，則顯現出兩者成直線關係，由  $A_0, A_1, A_2, \dots, A_{20}$ ，中間有若干點並未完全落在直線上，故以(5)式就 20 點分別測定  $\lambda$  值時，其值分散於 0.0109~0.0308 間，平均為 0.01995，若以(5')式就  $A_0$  與  $A_{20}$  計算時，則得  $\lambda = 0.0200$ ，以直線回歸方式求出斜率為 0.01998，此可視為最精確之對數衰減率測定值，而以(5')式計算之數值與直線之斜率頗為接近，故實際上以(5')式計算即能獲滿意的結果，但若以(5)式計算時，則應連續測定許多點  $\ln(A_0/A_1), \ln(A_1/A_2), \dots$  的  $\lambda$  值並加以平均，才能獲得準確的數值。另一方面，對數衰減率尚可藉強制振動之共振曲線由  $\pi \tan \delta$  換算而得，表 1 之資料顯示兩者極接近，顯示不論強制振動或自由振動之測定結果均頗準確。

對數衰減率小時，振動之持續時間較長而音響較佳，雲杉與側柏屬針葉樹，其  $\lambda$  值遠較闊葉樹之山毛櫸為小，屬於優良樂器用材，雲杉以用於鋼琴

之響板 (sound board) 而著名<sup>(2)</sup>，側柏則多被用在吉他之面板<sup>(11)</sup>。雲杉之  $\lambda$  值與 Kollmann，淺野氏等之試驗結果極為接近<sup>(2,16)</sup>。

由表 1 知  $E_b'$  較靜曲彈性係數  $E_s$  為大，平均山毛櫸大 23%，側柏大 21%，雲杉大 34%，而筆者過去之試驗<sup>(8)</sup>及前人研究結果<sup>(1)</sup>， $E_b'$  較  $E_s$  大 10% 左右，這是因為過去之靜曲試驗採 ASTM 方式，試片斷面 5cm×5cm，且就樑之中立軸 (neutral axis) 測定撓度，本試驗試片厚僅 1cm，以 JIS 方式測定荷重點之撓度，亦即以 Instron 式試驗機荷重頭 (cross head) 之位移作為試片之撓度，試片在中央荷重點及兩端支點之局部變形均顯現在撓度中，致使測得之靜曲彈性係數偏低，且偏低量顯與樹種材質有關，因此可知以靜曲試驗測定彎曲彈性係數時應注意撓度測定法所造成的影響。振動試驗無此問題存在，在測定精度上顯然較為有利。

縱振動試驗係藉 FFT (fast fourier transformation) 頻譜儀來作頻率分析，如圖 10 所示，是 40KHz 範圍內的頻譜，20KHz 以下部分為

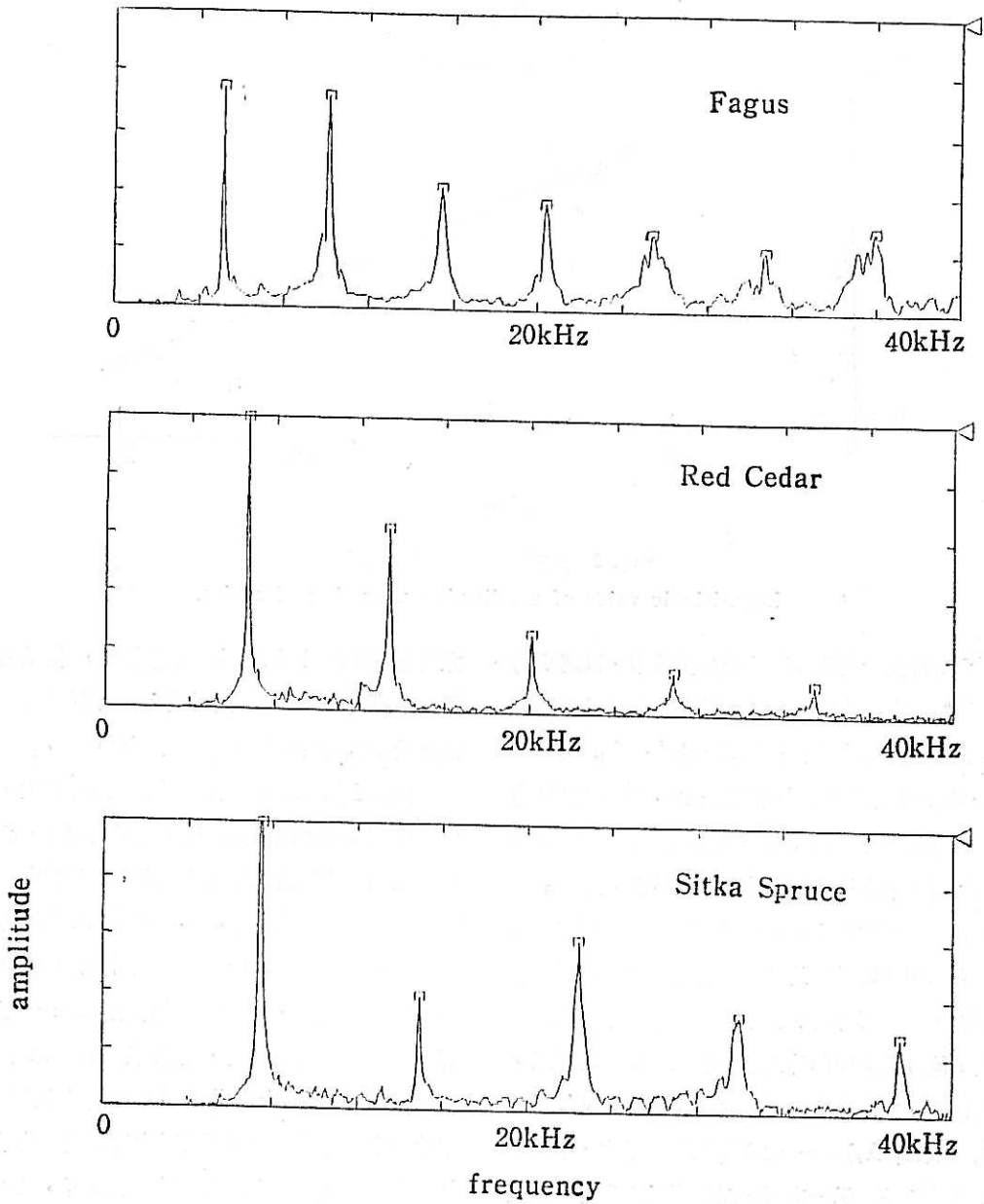


Fig. 10 縦振動之 FFT 頻譜分析  
FFT spectrum analysis of longitudinal vibration.

可聽領域，山毛櫸顯出 1~7 次共振頻率，側柏與雲杉則顯出 1~5 次。各次振動之頻率均接近 1 次振動之整數倍。高次振動因麥克風感度下降而減低頻譜強度，但 FFT 具有微分機能而易於檢出高次固有共振頻率。高次振動成分對樂器用材之音色 (timbre) 具有影響<sup>(21)</sup>，但這方面的問題鮮被探討。本試驗以 1 次共振頻率計算試片之動彈性係數  $E_b'$ ，表 1 顯示三樹種之  $E_b'$  較  $E_b$  大 7~9%，這是因為橫振動彈性係數  $E_b'$  未作剪力及回轉慣量效應 (effect of shearing force and rotatory inertia)<sup>(3)</sup> 之修正，此一趨勢與筆者及 Kollmann, Bell 等前人研究之結果一致<sup>(1,6)</sup>。

由縱振動之彈性係數及木材密度所推算之音速，音波抵抗及音響幅射衰減率等音響特性如表 1 所示，樂器用材需有較高之音速及音響幅射衰減率<sup>(1)</sup>，雲杉與側柏均遠比山毛櫸優越。尤其音響幅射衰減率可視為樂器用材適性之重要指標。至於音波抵抗，木材雖然較金屬為低<sup>(1)</sup>，但無法作為樂器用材適性之指標。因音波抵抗由彈性係數與密度之乘積決定，比重輕者，彈性係數常較低，其音波抵抗自然亦低，比重大者，彈性係數大，音波抵抗當然大，但兩者皆非鋼琴響板用材，響板需有高的音速及音響幅射衰減率，故需具備高彈性係數及低密度二條件，如雲杉等便符合此一條件，但其音波抵抗必屬中庸，難以顯示雲杉作為樂器用材之優越性，故難以音波抵抗之大小作為樂器用材品質之指標。

以雲杉實大樑所作兩端單純支持之橫振動試驗結果，其平均共振頻率為 16Hz， $E_b'$  為 130400 kgf/cm<sup>2</sup>，較上述無缺點小試片者小 11%，對數衰減率為 0.307 則較無缺點者大 48%，實大樑中分散之小節顯然對  $E_b'$  與  $\lambda$  具相當影響，且對  $\lambda$  值之效應更為明顯，故節之存在對樂器用材是相當不利的，因此， $\lambda$  值可作為材質評價之指標，Dunlop 氏之研究結果指出以對數衰減率檢查原木之腐朽情形較以音速檢查更為有效<sup>(7)</sup>。

#### 四、結 論

由縱振動與橫振動試驗可準確測定木材之動彈性係數，內部摩擦，為樂器用材品質評價上的最佳途徑。本試驗獲下列結論：

- (一) 兩端自由之橫振動試驗比較適於小試片之試驗研究。縱振動及兩端單純支持樑之橫振動試驗適於現場大尺寸材料之試驗。
- (二) 縱振動彈性係數約較橫振動彈性係數大 7~9%。
- (三) 由強制振動之共振曲線及自由振動之振幅衰減曲線所測得之對數衰減率均甚接近。
- (四) 音速大，音響幅射衰減率大及對數衰減率小的木材較適合作響板材料，顯示雲杉及側柏均有良好音樂用材性質。
- (五) 木材之音波抵抗雖然較金屬材料為低，但尚難以此值之大小判定樂器用材之優劣。
- (六) 節之存在使動彈性係數降低，對數衰減率增大，而以衰減率之增加幅度較大。故可以對數衰減率作為材質評價的指標。
- (七) FFT 頻譜分析儀除可迅速測定木材振動特性外，尚可應用在樂器用材音色之研究上。

#### 引用文獻

1. E. R. Bell, E. C. Peck, N. T. Krueger, 1954, Modulus of elasticity of wood determined by dynamic methods, FPL report No. 1977.
2. F. P. Kollmann, A. Côté, Jr. 1968, Principle of wood science and technology I Solid wood, p. 274~281, 300~302.
3. S. Timoshenko, D. H. Young, 1969, Vibration problems in engineering, p. 324~342.
4. A. A. Moslemi, 1967, Dynamic viscoelasticity in hardwood, FPJ Vol. 17, No. 1.

5. Hearmon, R. F. S. 1966, Theory of vibration testing of wood, F.P.J. Vol. 16, No. 8.
6. C. Gerhard, 1978, Comparison of two nondestructive instruments for measuring pulse transit time in wood, Wood, science Vol, 11 No. 1.
7. Dunlop J. I. 1981, Testing of poles by using acoustic pulse method, Wood science Vol. 15, No. 4.
8. 吳順昭、黃彥三、高健章, 1974, 強制振動法木材動彈性係之測定, 中華林學季刊, Vol. 7, No. 2.
9. 黃彥三, 1976, 木材在自由振動時之動粘彈性, 中華林學季刊, Vol. 9, No. 1.
10. 小野木重治, 1968, レオロジー要論, p. 81, 169~175.
11. 祖父江信夫, 1982, 木材の事典, p. 141~145.
12. 北原龍士、松本勗, 1973, 木材における衰減の機構, 日本木材學會誌, Vol. 19 No. 8.
13. 北原龍士、北村博嗣, 1972, 木材および塗裝木材の動的彈性率, 内部摩擦について, 宇都宮大學農學部演習林報告 No. 9.
14. 則元京, 1982, 樂器用材の物性 (第一報), 日本木材學會誌, Vol. 28. No. 7.
15. 祖父江信夫, 1983, 合板の動的彈性率, 損失正切の予測, 日本木材學會誌, Vol. 29, No. 1.
16. 淺野猪久夫等, 1983, 縦振動およびたわみ振動によるシトカスプルースの振動特性。
17. 中尾哲也等, 1983, 木材の損失正接におよぼす熱處理の影響, 日本木材學會誌, Vol. 29, No. 10.
18. 中尾哲也等, 1984, 兩端自由動的ねじれ試験による木材の直交異方性彈性係數の測定, 日本木材學會誌, Vol. 30, No. 11.
19. 祖父江信夫等, 1984, 樂器用スプルー合板の振動特性, 日本木材學會誌, Vol. 30, No. 1.
20. 外崎眞理雄等, 1985, 樂器用木材の試験法としての板振動の測定, 日本木材學會誌; Vol. 31, No. 3.
21. 矢野浩之等, 1985, 木材の音色に関する研究 (第一報), 日本木材學會誌, Vol. 31, No. 9.
22. 中尾哲也等, 1985, 高次のねじり振動による木材の直交異方性せん断彈性係數の測定方法, 日本木材學會誌, Vol. 31, No. 6.
23. 中尾哲也等, 1985, 木材板の振動的性質, 日本木材學會誌, Vol. 31, No. 10.
24. 祖父江信夫, 1985, 振動による木材の彈性率の瞬間測定, 日本木材學會シンポジウム要旨集。

## Measurement of Vibration Properties and Dynamic Viscoelasticity of Wood

Yan-San Huang

### Summary

The dynamic modulus of elasticity, internal friction and acoustical properties of wood of fagus, red cedar, and sitka spruce were measured by either transverse or longitudinal vibration method. The log-decrement was measured by forced and free vibration. In longitudinal vibration, FFT spectrum analyzer was used to measure the natural frequency.

The results were as follows:

1. The data showed that the longitudinal vibration modulus exceeded that of the transverse vibration by 7~9%.
2. The logarithmic decrement measured by forced and free vibration were close to equal.
3. Red cedar and sitka spruce are suited for musical instrument because of having low internal friction, high sound speed, and high damping of sound radiation.
4. Although the sound wave resistance of wood is lower than metal, it may not be a good index for the evaluation of wood used for musical instrument.