

木材の内部摩擦と強度の関係について

則 元 京*・角 谷 和 男*・山 田 正*

Misato NORIMOTO*, Kazuo SUMIYA* and Tadashi YAMADA*: On the Relationship between Internal Friction and Strength of Wood.

I 緒 言

強度は典型的に構造敏感な量であり、材料内部に存在する種々の微細な欠陥によつて決定的な影響を受けるため、同じく構造に敏感な量である内部摩擦との間に何らかの関連性が存在することが予測される。実際に JAYNE¹⁾, GALGINATIS, MILLER²⁾ および PELLERIN³⁾ らは非破壊試験の立場から強度と内部摩擦との相関について報告しており、中でも PELLERIN は含水率を厳密に規定した場合両者の間に非常によい相関が得られることを示している。しかしいずれの報告においても破壊機構との関連性については触れていない。

木材の組織構造と破壊機構に関係した研究には FREY-WYSSLING⁴⁾, GRAF⁵⁾, IVANOV⁶⁾, KISSER⁷⁾ および沢田⁸⁾ らの報告があるが、電子顕微鏡の発達に伴ない細胞膜の微細構造が明らかになり、またX線あるいは赤外線吸収スペクトルによる更にミクロな分子構造に関する知見が得られるに至つて、破壊および粘弾性と微細構造あるいは分子構造との関連性が論じられるようになってきた⁹⁾。

本報告では主に縦振動によつて得た動的弾性率および内部摩擦と引張および圧縮強度との関係について得られた若干の結果を資料として報告する。

II 実 験

木材試片として次の11樹種の気乾材を使用した。

1. ベイヒ (*Chamaecyparis lawsoniana* MURR.)
2. ジョ ン コ ン (*Dactylocladus stenostachys* OLIV.)
3. ランポー (*Afzelia bakeri* PRIN)
4. ブナ (*Fagus crenata* BLUME)
5. ヒバ (*Thujopsis dolabrata* SIEB. et ZUCC.)
6. タンギール (*Shorea polysperma* MERR.)
7. アピトン (*Dipterocarpus* sp.)
8. カポール (*Dryobalanops aromatica* GAERTN.)
9. スギ (*Cryptomeria japonica* D. DON)
10. アカマツ (*Pinus densiflora* SIEB. et ZUCC.)
11. パロサピス (*Anisoptera* sp.)

* 木材物理研究部門, Division of Wood Physics.

動的弾性率および対数減衰率測定用の試片寸法は $4 \times 4 \times 50$ (繊維方向) cm としたが、この寸法の試片では縦振動の場合に共振点が約 $4 \sim 5 \text{kc/s}$ の間に現われる。一般に対数減衰率は周波数によって敏感に変化する量であるが、KRÜGER らによれば縦振動では約 $2 \sim 11 \text{kc/s}$ の範囲でほとんど変化しないことを報告しているため¹⁰⁾、本実験では周波数による対数減衰率の変化は一応考慮しなかつた。縦圧縮および縦引張強度測定用の試片は JIS Z2111 および Z2112 に従い上述の試片より粘弾性測定後採取した。

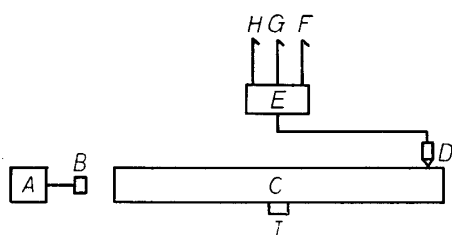


Fig. 1 Experimental apparatus.

- | | |
|--------------------|---------------|
| A. audiooscillator | B. microphone |
| C. specimen | D. pick up |
| E. amplifier | F. counter |
| G. volt meter | H. scope |
| I. sponge rubber | |

動的弾性率および対数減衰率の測定装置を Fig. 1 に示す。可聴周波数発振器 A より発振した音波をマイクロフォン B を通して試片 C に与えて共振させる。その振動をピックアップ D より増幅器 E に伝えて増幅し、周波数カウンター F、電圧計 G およびオシロスコープ H にそれぞれ入れる。

カウンターで得られた共振周波数 f より次式を用いて動的弾性率 E を求める。

$$E = \frac{4l^2 f^2 \rho}{g} \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここに l , ρ は試片の長さおよび密度であり、 g は重力の加速度である。

また共振点で発振器からの音波を遮断すれば、振動の振幅は指数関数的に減少するが、いま減衰振動の 1 周期毎の振幅を $x_1, x_2, \dots, x_n, \dots$ とすれば対数減衰率は次式で定義される。

$$\lambda = \ln \frac{x_n}{x_{n-1}} = \frac{1}{n} \ln \frac{x_1}{x_n} \quad \dots\dots\dots (2)$$

したがって電圧計およびカウンターによつて $x_1/x_n = e$ になるときの $1/n$ の値によつて対数減衰率が求められる。

III 結果と考察

比重と強度：比重と強度の関係については古くから多くの研究がなされており、両者の関係が直線、拋物線あるいは指数関数で近似され¹¹⁾¹²⁾、比重の増加に伴つて強度が増加することが報告されている。しかし JAYNE および MILLER らは非破壊試験の立場から曲げ強度と比重の相関関係を求め¹²⁾、相関係数が非常に低くばらつきが大きいことを示しており、また角谷はヒノキおよびブナの曲げ強度と比重のばらつきの比較について報告している¹³⁾。

Fig. 2 および Fig. 3 に比重と引張および圧縮強度の関係を示す。図から明らかなように一般に比重の増加とともに強度が増加するが、ばらつきが大きく特に引張の場合に著しい。これは後に述べる圧縮と引張破壊の機構の相違によつて説明される。またアピトン材で比重が大きい値を示す割に圧縮強度が小さいのは多量に含まれる樹脂分の影響によるものと考えられる。

動的弾性率と強度：弾性率と強度に関しては多くの報告があるが、たとえば SUNLEY らは曲げによつて Redwood と Whitewood の静的弾性率と強度の相関について調べ両者の間に直線関係を得ている¹⁴⁾。静的弾性率と動的弾性率は必ずしも同じではなく、動的弾性率は静的弾

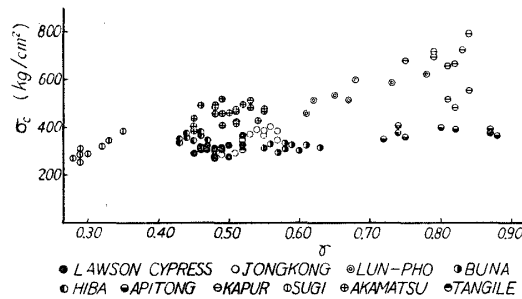


Fig. 2 Relationship between strength in compression σ_c and specific gravity γ .

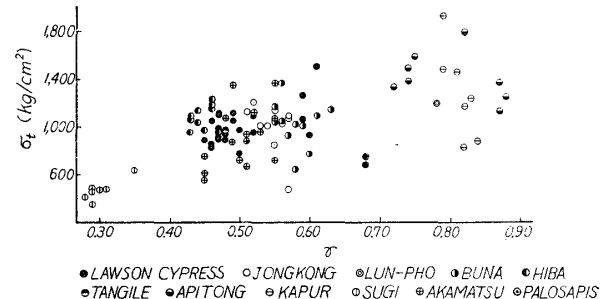


Fig. 3 Relationship between strength in tension σ_t and specific gravity γ .

性率に比べて一般に高い値をとることが報告されている¹⁵⁾。しかし両者の間に正の相関関係があり、相関係数が非常に高いことが報告されている¹⁾²⁾³⁾¹⁶⁾。動的弾性率と強度の関係については MILLER が maple について²⁾¹⁷⁾、JAYNE が Sitka spruce について¹⁾、PELLERIN が Douglas-fir について³⁾ 求めた報告があるが、いずれも非常によい相関を得ている。しかしいずれの報告も横振動によつて求められた結果が多く、種々の樹種について縦振動によつて求められた報告はみあたらない。

Fig. 4 と Fig. 5 に縦振動によつて求めた動的弾性率と引張および圧縮強度の関係を示しているが、引張および圧縮いずれの場合も相互の相関はかなりよい。しかし各樹種を比較すれ

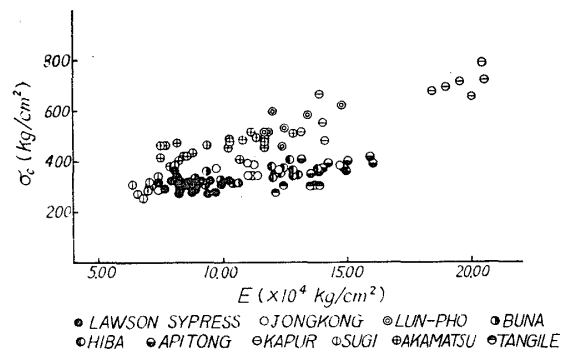


Fig. 4 Relationship between strength in compression σ_c and dynamic modulus of elasticity E .

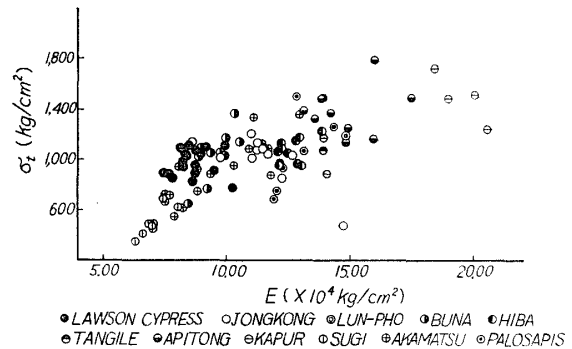


Fig. 5 Relationship between strength in tension σ_t and dynamic modulus of elasticity E .

ば樹種間で相関に若干の相違がみられる。

内部摩擦と強度：内部摩擦 $\tan\delta$ は物質内部で振動エネルギーが熱エネルギーとして消費される程度を表わし、振動の減衰が緩慢な場合対数減衰率 λ 、振動吸収係数 Q^{-1} らの諸量間に次の関係がある¹⁸⁾。

$$\tan\delta = \frac{\lambda}{\pi} = Q^{-1} \quad \dots\dots\dots(3)$$

木材の内部摩擦は周波数¹⁰⁾¹⁹⁾²⁰⁾ および温、湿度²¹⁾²²⁾²³⁾²⁴⁾²⁵⁾ に依存するだけでなく、木取り²⁰⁾ および材内部に含まれる種々の微細な欠陥によつて影響され²³⁾²⁶⁾²⁷⁾、構造に敏感な量と考えられる。

Fig. 6 および Fig. 7 に引張および圧縮強度と対数減衰率の関係を示している。図から明らかのように、引張の場合には両者の相関はほとんどみられない。しかし圧縮の場合には一般に対数減衰率の増加とともに強度は減少するようと思われる。これは MILLER が sugar maple の曲げ振動で求めた結果と同じ傾向であるが²⁾、PELLERIN が Douglas-fir の曲げ振動で得た結果は両者の相関はよくない³⁾。しかしもし両者の間に相関が存在するならば、振動エネルギー損失の多い部分が破壊と密接な関係にあるものと思われる。

WARDROP らが破壊の電子顕微鏡的観察を行なった結果によれば引張、圧縮あるいは剪断いずれの場合も破壊が主に二次膜の外層と中層間のすべりによつて生じることが示されており、原因として両層のミクロフィブリルの配列の相違が考えられている⁹⁾。一方可聴音波領域で求めた内部摩擦は分子構造の変化より微細構造あるいは高次構造の変化による寄与が大きいものと思われるが、MILLER, PELLERIN らの結果およびここで求めた圧縮の結果から強度と内部摩擦の間に相関が存在することを考えれば細胞膜の各層間の摩擦によるエネルギー損失がかなり大きいものと思われる。また各樹種間で強度と内部摩擦の間にみられるばらつきの原因は主に樹種による高次構造の相違によるものと考えられる。

Fig. 6 と Fig. 7 を比較すると、圧縮の場合には強度と対数減衰率との間に相関が存在するようと思われるが、引張の場合にはばらつきが大きくほとんど両者の相関がみられない。この

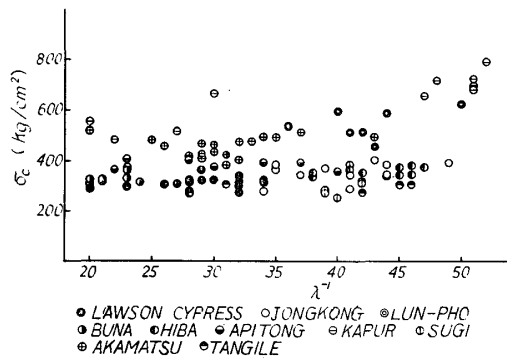


Fig. 6 Relationship between strength in compression σ_c and logarithmic decrement λ .

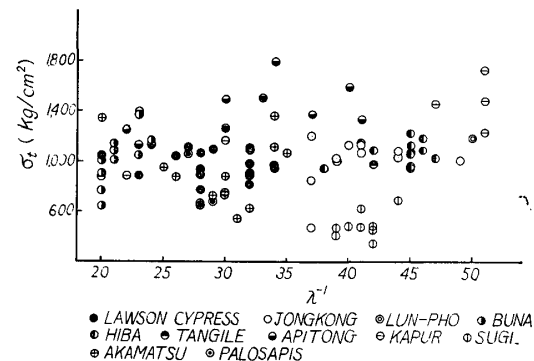


Fig. 7 Relationship between strength in tension σ_t and logarithmic decrement λ .

原因として引張と圧縮の場合の破壊機構の相違が考えられる。引張破壊の場合には GRAF らが引張強度と寸法効果に関する報告で強度が断面内に存在する最弱点部によつて決定されることを示したように⁵⁾、引張応力を受けると繊維方向にそつて現われる最初の裂け目によつて材の強度が完全に支配される。一方圧縮破壊の場合には圧縮応力を受けると抵抗の小さい多くの弱点部にそれぞれ局所的な応力集中を受け微細な分離を生じ、これが順次発達しお互に結合して顕微鏡的挫屈へと進みさらに肉眼可視の破壊へと発達するものと考えられる。したがつて破壊の核となり得る雰囲気にある多くの部分でのエネルギー損失の和、つまり内部摩擦と強度の相関は引張より圧縮においてよいものと考えられる。

IV 要 約

本報告では11樹種について比重、動的弾性率および内部摩擦と引張および圧縮強度の関係に

ついて調べた。動的弾性率と内部摩擦の測定は縦振動によつて行なつた。結果を要約すれば次のとおりである。

(1) 比重の増加とともに強度は増加するが、引張よりも圧縮において相関がよい。また各樹種間でばらつきが存在する。(Fig. 2 および Fig. 3).

(2) 動的弾性率の増加とともに引張および圧縮強度は増加し、よい相関が存在する。(Fig. 4 および Fig. 5)

(3) 内部摩擦の増加とともに一般に圧縮強度は減少するが、内部摩擦と引張強度の間にはほとんど相関がみられない。この原因として引張と圧縮破壊の機構の相違が考えられる。(Fig. 6 および Fig. 7)

Summary

In this report the correlations between strengths and dynamic properties by longitudinal vibration method are investigated on eleven wood species. And the results obtained are as follows:

(1) The values of strength increase with increasing specific gravity and there is some scatter among species. (See Fig. 2 and Fig. 3).

(2) The strength is well correlated with dynamic modulus of elasticity and the values of strength increase with increasing dynamic modulus of elasticity. (See Fig. 4 and Fig. 5).

(3) The values of strength generally decrease with increasing internal friction. The internal friction is better correlated with strength in compression than in tension and it seems to be caused by different mechanism of their failure. (See Fig. 6 and Fig. 7).

文 献

- 1) JAYNE, B. A., F. P. J. **9**, 413 (1959).
- 2) MILLER, D. G., F. P. J., **12**, 358 (1962).
- 3) PELLERIN, R. F., F. P. J., **15**, 93 (1965).
- 4) FREY-WYSSLING, A., Holz als Roh-u. Werkst., **11**, 283 (1953).
- 5) GRAF, O. und K. EGNER, Holz als Roh-u. Werkst., **1**, 384 (1938).
- 6) IVANOV, Y. M., Akad. Nauk SSSR, Trudy Instituta Lesa, **9**, 89 (1953).
- 7) KISSER, J. und STEININGER, A., Holz als Roh-u. Werkst., **10**, 415 (1952).
- 8) 沢田 稔, 北海道林試集報, **66**, 10 (1949)
- 9) WARDROP, A. B. and F. W. ADDO-ASHONG, C.S.I.R.O., Reprint No. 560, 169 (1963).
- 10) KRÜGER, F. and E. ROHLOFF, Z. Phys., **110**, 58 (1938).
- 11) BURMESTER, A., Holz als Roh-u. Werkst., **23**, 227 (1965).
- 12) 梶田茂編, 木材工学, 養賢堂, 213 (1961)
- 13) 角谷和男, 材料, **12**, 718 (1963)
- 14) SUNLEY, J. G. and W. M. HUDSON, F. P. J., **14**, 155 (1964).
- 15) 松本 昂, 岩手大学農学部報告, **4**, 73 (1958)
- 16) GALLIGAN, W. L. and R. F. PELLERIN, Materials Evaluation, **22**, 169 (1964).
- 17) MILLER, D. G., F. P. J., **14**, 179 (1964).

- 18) 深田栄一, 木材工業, **8**, 152 (1953)
- 19) 深田栄一, 小林理研報告, **1**, 21 (1951)
- 20) PENTONEY, R. E., Comp. Wood, **2**, 131 (1955).
- 21) JAMES, W. L., F. P. J., **11**, 383 (1961).
- 22) FUKADA, E., J. Phys. Soc. Japan, **6**, 417 (1951).
- 23) 松本 勲, 九大農学部演習林報告, No. 36, 1 (1962).
- 24) 鈴木, 中戸, 木材誌, **10**, 89 (1964)
- 25) 則元, 宮野, 山田, 木材研究, No. 34, 37 (1965).
- 26) JAYNE, B. A., F. P. J., **5**, 294 (1955).
- 27) 深田栄一, 小林理研報告, **1**, 278 (1951)