HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	壓縮及び捻り實驗による木材の剪斷彈性係數の比較に就て
Author(s)	金, 俊三
Citation	北海道大學工學部彙報, 1, 144-156
Issue Date	1948-12-20
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/40439
Type	departmental bulletin paper
File Information	1_144-156.pdf

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

壓縮及び捻り實驗による木材の剪斷彈性係數の比較に就て

金　　俊　三*

The comparative study upon the modulus of rigidity of wood by the methods of compression and torsion.

Tosizô KON.

Synopsis.

For the flexural deformation and the failure of a wooden structural member, the shear mudulus is of so great a significance that the determination of its magnitude shall be very prudent and scientific. In the present study, the author treats the wood material as an orthogonally anisotropic, that is, as an orthotropic body, and he tries to obtain three shear moduli in the directions of three symmetrical axes which are perpendicular to each other, through two quite different ways, the one by means of the compression of 45° -specimens, and the other by the torsion. Under the comparative study of these results thus obtained, he gives some conclusions, one of which says that values from the 45° -compression tests are greater than those from the torsion in the most scope, another says that G_y shows the minimum value of three shear moduli for both sorts of tests, and so on; furthermore, he has pointed out some new relations between the apparent shear moduli G'_x, G'_y, G'_z and the shear elastic constants s_{44}, s_{55}, s_{66}. As the material three species are selected from the structural timbers in Hokkaido.

目　　次

I. 緒　　言 …… 145
II. 剪斷彈性係數の理論 …… 145
1. 壓縮の方法の理論 …… 145
2. 捻りの方法の理論 …… 147
III. 實　　驗 …… 151
1. 45°-試驗片の壓縮實驗 …… 151
2. 捻りの實驗 …… 152
VI. 結　　論 …… 153

* 北大敎授，北海道大學工學部構造工學研究室.

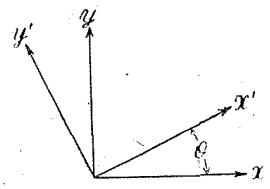
I. 緒　　言

木製構造に普通に見られる木材の木取方法によると．梁などの E/G[1] は濶葉樹で約 15 內外，針葉樹で約 25 內外の大きな値を示すので，剪斷曲げ部材に於ける曲げ剛さに對する剪斷項の影響は最早無視できないものとなつて來る．又破損に就ても Mises-Hencky-Schleicher の學說に徹して明かな樣に，剪斷歪エネルギーが非常に大きくなつて早く破損を招くことになる．從つて剪斷彈性係數 G の有する力學的意義は木材では特に重大で，其の量的決定は細心を要するものである．この研究では木材を，年輪に切線方向，繊維方向，年輪に直角な半徑方向の相互に直交する方向に對稱軸を有する直交異方性體 (orthotropic body) と見なして，北海道產構造用主要樹種中濶葉樹よりマカンバ，ナラ，針葉樹よりエゾマツの 3 樹種をえらむで，その各々について 3 個の對稱軸方向の剪斷彈性係數を，一つは壓縮の方法により，他は捻りの方法によつて求めて，その結果を比較してみた．

II. 剪斷彈性係數の理論

1. 壓縮の方法の理論

この方法は 2 次元直交異方性體の平面應力問題として解析することが出來る．今この平面內の直交異方性體の對稱軸を x, y とし，この對稱軸系に對して，同一平面內に於て任意角 θ だけ傾く座標系を (x', y') とすれば (圖—1)，3 次元直交異方性體の彈性理論の特殊化により (方向餘弦 $l=\cos\theta$, $m=\sin\theta$)，新座標軸 x' に關する彈性係數，ポアソン比，剪斷彈性係數は次のやうに表はし得る．



圖—1

$$\frac{1}{E_\theta}=\frac{\cos^4\theta}{E_x}+\frac{\sin^4\theta}{E_f}+\left(\frac{1}{G}-\frac{2\nu_{xy}}{E_x}\right)\sin^2\theta\cos^2\theta \qquad \cdots\cdots\cdots (1.\ 1)$$

$$\nu_\theta=\frac{\frac{\nu_{x'}}{E_\zeta}\left(1+\tan^4\theta\right)+\left(\frac{1}{G}-\frac{1}{E_x}-\frac{1}{E_f}\right)\tan^2\theta}{\frac{1}{E_x}+\frac{1}{E_f}\tan^4\theta+\left(\frac{1}{G}-\frac{2\nu_{xy}}{E_x}\right)\tan^2\theta} \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots (1.\ 2)$$

$$\frac{1}{G_\theta}=\left(\frac{1}{E_x}+\frac{1}{E_f}+\frac{2\nu_{xy}}{E_x}\right)\sin^2 2\theta+\frac{1}{G}\cos^2 2\theta \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots (1.\ 3)$$

但し　E_x, E_f ：夫々對稱軸 x, y 方向の彈性係數．

$G\equiv G_{xy}\equiv G_z$ ：x, y 方向に剪斷應力を受けた場合の z 軸の周りの剪斷彈性係數．

ν_{xy} ：x 方向の垂直應力による歪みに對する y 方向の歪みを表すポアソン比．

$E_\theta\equiv E_{x'}$ ：x' 方向の彈性係數．

---

1) E：梁の長軸方向の彈性係數．
G：梁の長軸を含む鉛直面に垂直な軸の周りの剪斷彈性係數．

$G_\theta \equiv G_{x'y'} \equiv G_{z'}$: x', y' 方向に剪断應力を受けた場合の z' 軸(このときは z 軸と一致する)の周りの剪断彈性係數.

$\nu_\theta \equiv \nu_{x'y'}$: x' 方向の垂直應力による歪みに對する y' 方向の歪みをあらはすポアソン比.

從て (1), (2) 式より

$$\frac{4\nu_\theta}{E_\theta} = \frac{4\nu_{xy}}{E_x} + \left\{\frac{1}{G} - \left(\frac{1}{E_x} + \frac{1}{E_y} + \frac{2\nu_{xy}}{E_z}\right)\right\} \sin^2 2\theta \quad \cdots\cdots\cdots (a)$$

故に (a) 式から

$$\frac{\nu_\theta}{E_\theta} = \frac{\nu_{\theta+90^\circ}}{E_{\theta+90^\circ}} \quad \cdots\cdots (1.\ 4)$$

これは對稱軸 x, y に關して成り立つ法則 $\nu_{xy}/E_x = \nu_{yx}/E_y$ と同樣の法則が任意の直交方向にも一般的に成り立つことを示す. (3), (a) 式から

$$\frac{1}{G_\theta} + \frac{4\nu_\theta}{E_\theta} = \frac{1}{G} + \frac{4\nu_{xy}}{E_x} = \frac{1}{G} + \frac{4\nu_{yx}}{E_y} = \text{不變量(invariant)} \quad \cdots\cdots (1.\ 5)$$

(1) より $1/E_{\theta+90^\circ}$ を作り, これと (1) より

$$\frac{1}{E_\theta} + \frac{1}{E_{\theta+90^\circ}} - \frac{2\nu_\theta}{E_\theta} = \frac{1}{E_x} + \frac{1}{E_y} - \frac{2\nu_{xy}}{E_z} = \text{不變量} \quad \cdots\cdots (1.\ 6)$$

$$\frac{1}{E_\theta} - \frac{1}{E_{\theta+90^\circ}} = \left(\frac{1}{E_x} - \frac{1}{E_y}\right) \cos 2\theta \quad \cdots\cdots (1.\ 7)$$

(3) に $\theta = 45^\circ$ 及び $\theta + 45^\circ$ を代入すると

$$\frac{1}{G_{45^\circ}} = \frac{1}{E_x} + \frac{1}{E_y} + \frac{2\nu_{xy}}{E_x} \quad \cdots\cdots (1.\ 8)$$

$$\frac{1}{G_\theta} + \frac{1}{G_{\theta+45^\circ}} = \frac{1}{G} + \frac{1}{G_{45^\circ}} = \frac{1}{E_x} + \frac{1}{E_y} + \frac{2\nu_{xy}}{E_x} + \frac{1}{G} = \text{不變量} \quad \cdots\cdots (1.\ 9)$$

(9) 式右邊は (5), (6) 式の和であるから結局次の關係を得る.

$$\frac{1}{G_{\theta+45^\circ}} = \frac{1}{E_\theta} + \frac{1}{E_{\theta+90^\circ}} + \frac{2\nu_\theta}{E_\theta} \quad \cdots\cdots (1.10)$$

これは直交する任意 2 方向 $(\theta, \theta + 90^\circ)$ の彈性係數によつて $(\theta + 45^\circ)$ 方向の剪断彈性係數を表した式で, (8) 式の一般化である. (10) 式に $\theta = 45^\circ$ を入れると

$$\frac{1}{G_{90^\circ}} = \frac{1}{E_{45^\circ}} + \frac{1}{E_{135^\circ}} + \frac{2\nu_{45^\circ}}{E_{45^\circ}}$$

然るに (3) 式により $G_{90^\circ} = G$, (7) 式により $E_{135^\circ} = E_{45^\circ}$ となり, 從つて[1]

1) 日本航空學會誌, 第 8 卷, 第 79 號, 1139 頁, (昭 16).

$$G = \frac{E_{45°}}{2(1+\nu_{45°})} \quad \cdots\cdots (1.11)$$

即ち2次元直交異方性體では $\theta = 45°$ なる特殊の場合に限つて，等方性體と全く同型の關係が G, $E_{45°}$, $\nu_{45°}$ の間に成立することを知る．

今これを對稱軸 x, y, z 方向について一般的に表すと

$$\left[G\right]_{\binom{z}{x}{y}} = \left[\frac{E_{45°}}{2(1+\nu_{45°})}\right]_{\binom{xy}{yz}{zx}} \quad \cdots\cdots (1.11.a)$$

となる．從つて $(x, y), (y, z), (z, x)$ 平面内に於て對稱軸が試驗平面應力方向と 45° の傾きをなす 45°-試驗片を作り，之に壓縮應力或は引張應力を加えて應力方向の彈性係數 $E_{45°}$ 及びこれと直角方向のポアソン比 $\nu_{45°}$ を測定するときは (11.a) によつて G_z, G_x, G_y を夫々求めることを得るのである．本研究では壓縮應力を用ひることとした．

又應力方向歪みと直角方向歪みが異符號の場合は $\nu_{45°}$ に正符號を附して (11.a) 式に入れる．反對に同符號の場合は，これに負符號を附する．後者は結晶體やベニヤ合板の場合に次の條件が成り立つときにのみ稀に起り得る．

$$\left.\begin{aligned}
\frac{2E_x}{E_{45°(xy)}} &< \frac{E_x}{E_y} + (1-2\nu_{xy}) \\
\frac{2E_y}{E_{45°(yz)}} &< \frac{E_y}{E_z} + (1-2\nu_{yz}) \\
\frac{2E_z}{E_{45°(zx)}} &< \frac{E_z}{E_x} + (1-2\nu_{zx})
\end{aligned}\right\} \quad \cdots\cdots (1.12)$$

今木材の纖維方向を y，年輪に切線方向を x とすると，斯る (x, y) 2次元板或は合板の場合にのみ，針，濶葉兩樹種に亙る多くの種類に就て (12) の最初の式の右邊の第1項は第2項に比べて殆ど無視することを得て，從つて

$$E_{45°} > \frac{2E_x}{1-2\nu_{xy}} \quad \cdots\cdots (1.12.a)$$

がその條件となる．然しそれ以外の場合では一般に (12) の形を適用すべきである．

2. 捻りの方法の理論

G を求むるために壓縮應力或は引張應力を 45°-試驗片 に用ひる方法は直交異方性體に特有なものである．本節で述べむとする捻りの方法は直交異方性體のみならず，等方性體に於ても普通に用ひられるものであり，唯前者の場合に於て剪斷彈性係數を求むる理論は異方性體であるだけに複雜である．

捻り試驗では普通に試驗片に圓斷面或は正方形斷面などを用ひるが，圓斷面試驗片の捻りから

剪斷彈性係數を求むる理論は斜方晶系(即ち直交異方性體)のみならず一般結晶系にも適用され得るものであつて，從つて木材が嚴密な直交異方性體の條件から若干偏位したり，或は又試驗片軸が木材を直交異方性體と見た場合の對稱軸に嚴密には一致しなくても(これらは普通に起り得ることである)，大きな實驗誤差の起る危險が少ない．之に對して正方形斷面試驗片の捻りから剪斷彈性係數を求むる理論は斜方晶系にのみ特有な理論で，從つて上記誤差が大きく起り得る危險は正方形斷面では大きい．故に木材の捻り試驗は成る可く圓斷面試驗片によるべきである[1]．しかして圓斷面捻りの G の理論は (2. 1), (2. 2) 式であらはされる(對稱軸 x, y, z については 圖—2 參照．G の添字 $_\circ$ 印を以て圓斷面なることを示す)．

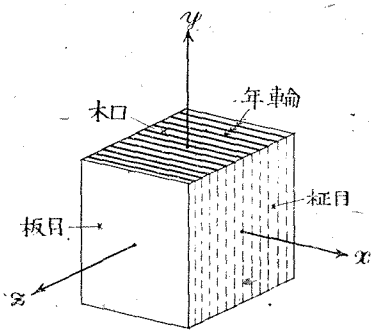


圖 — 2

$$\left.\begin{aligned} G'_{x_\circ} &= \frac{2}{\pi}\left(\frac{Nl}{\varphi r^4}\right)_x = \frac{1}{a_\circ}, \quad a_\circ = \frac{s_{55}+s_{66}}{2} \\ G'_{y_\circ} &= \frac{2}{\pi}\left(\frac{Nl}{\varphi r^4}\right)_y = \frac{1}{b_\circ}, \quad b_\circ = \frac{s_{66}+s_{44}}{2} \\ G'_{z_\circ} &= \frac{2}{\pi}\left(\frac{Nl}{\varphi r_4}\right)_z = \frac{1}{c_\circ}, \quad c_\circ = \frac{s_{44}+s_{55}}{2} \end{aligned}\right\} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (2.\ 1)^{2)}$$

但し N： 捻りモーメント
l： 捻り角測定長
φ： 捻り角
r： 圓斷面の半徑

從つて剪斷彈性係數は次式の如くして求められる．

$$\left.\begin{aligned} s_{44} &= \frac{1}{G_x} = b_\circ + c_\circ - a_\circ, \\ s_{55} &= \frac{1}{G_y} = c_\circ + a_\circ - b_\circ, \\ s_{66} &= \frac{1}{G_z} = a_\circ + b_\circ - c_\circ \end{aligned}\right\} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (2.\ 2)$$

G_x, G_y, G_z は剪斷彈性係數 („Gleitmodul"), G'_x, G'_y, G'_z は見掛けの剪斷彈性係數 („Drillungsmodul") であり，異方性體では兩者は等しくないが等方性體では $s_{44}=s_{55}=s_{66}$, 從つて $a_\circ=b_\circ=c_\circ$ となり兩者は等しくなる．即ち

1) H. Hörig: Ingenieur-Archiv, VI, H. 1. (1935), S. 8/14.
2) Voigt: Lehrbuch der Krystallphysik, §316, 1928, Leipzig. Voigt は $\frac{S_{ii}+S_{kk}}{2}$ のことを "Drillungsmodul" と稱し，普通の表し方とは逆數の關係になつてゐるから注意を要する．

$$G = \frac{2}{\pi}\left(\frac{Nl}{\varphi r^4}\right) \qquad \cdots\cdots (2.\ 2.\ a)$$

正方形斷面捻りのときの G の理論は，正方形の邊長を $2r$ とすると次の樣になる[1]．

$$\left.\begin{aligned} G'_{x\square} &= \frac{1}{g}\left(\frac{Nl}{\varphi r^4}\right)_x = \frac{1}{a_\square}, \quad a_\square = \frac{1}{2} R_x (s_{55} + s_{66}) \\ G'_{y\square} &= \frac{1}{g}\left(\frac{Nl}{\varphi r^4}\right)_y = \frac{1}{b_\square}, \quad b_\square = \frac{1}{2} R_y (s_{66} + s_{44}) \\ G'_{z\square} &= \frac{1}{g}\left(\frac{Nl}{\varphi r^4}\right)_z = \frac{1}{c_\square}, \quad c_\square = \frac{1}{2} R_z (s_{44} + s_{55}) \\ g &= 2.2492^{2)} \end{aligned}\right\} \qquad \cdots\cdots (2.\ 3)$$

從つて

$$\left.\begin{aligned} s_{44} &= \frac{1}{G_x} = -\frac{a_\square}{R_x} + \frac{b_\square}{R_y} + \frac{c_\square}{R_z}, \\ s_{55} &= \frac{1}{G_y} = +\frac{a_\square}{R_x} - \frac{b_\square}{R_y} + \frac{c_\square}{R_z}, \\ s_{66} &= \frac{1}{G_z} = +\frac{a_\square}{R_x} + \frac{b_\square}{R_y} - \frac{c_\square}{R_z}, \end{aligned}\right\} \qquad \cdots\cdots (2.\ 4)$$

上式に於て

$$\left.\begin{aligned} R_x &= \frac{g}{q_x}, \quad R_y = \frac{g}{q_y}, \quad R_z = \frac{g}{q_z}, \\ \left.\begin{matrix} q_x \\ q_y \\ q_z \end{matrix}\right\} &= \frac{16}{3} - \frac{1}{2}\left(\sqrt{\frac{s_{kk}}{s_{ii}}}\, f_{ii,kk} + \sqrt{\frac{s_{ii}}{s_{kk}}}\, f_{kk,ii}\right), \quad i,k = \left\{\begin{matrix} 6,5 \\ 4,6 \\ 5,4 \end{matrix}\right. \\ f_{ii,kk} &= \left(\frac{4}{\pi}\right)^5 \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^5}\, \mathfrak{T}\mathfrak{g}\left[\frac{(2n+1)\pi}{2}\sqrt{\frac{s_{ii}}{s_{kk}}}\right] \end{aligned}\right\} \qquad \cdots\cdots (2.\ 5)$$

双曲線級數について

$$f_{ii,kk} = \left(\frac{4}{\pi}\right)^5 S_{i,kk}, \qquad f_{kk,ii} = \left(\frac{4}{\pi}\right)^5 S_{kk,ii} \qquad \cdots\cdots (2.\ 6)$$

---

1) Voigt: Kristallphysik, Kapt. VII, §§ 319/323. Love: Elasticity, p. 324, 1934. Hörig: Ing.-Arch., IV, (1933), S. 570/576.

2) Föppl は $g = 2.281$ とし，等方性體に對して $G = 7.014\,\frac{Nl}{\varphi d^4}$ (d = 邊長) とし，多くの文獻にこの式が記載されてゐるが，これは $G = 7.1135\,\frac{Nl}{\varphi d^4}$ とした方が正確である．Roark: Formulas for stress and strain, p. 154, 1938. の表の $K = 0.1406\,d^4$ なども正確な値である．この $g = 2.2492$ は Hörig の計算値である．

と置くと

$$\left.\begin{aligned} S_{kk,ii} &= \frac{p^3 - p + \kappa\, S_{ii,kk}}{\kappa\, p^4} \\ \text{但し}\quad \sqrt{\frac{s_{ii}}{s_{kk}}} &= p \quad , \quad \frac{3}{16}\left(\frac{4}{\pi}\right)^5 = \kappa \end{aligned}\right\} \qquad \cdots\cdots (2.\ 7)$$

なる關係があるので，$f_{ii,kk}$ がわかれば $f_{kk,ii}$ は直ちに與えられる．今

$$\left.\begin{matrix} p_x \\ p_y \\ p_z \end{matrix}\right\} = \sqrt{\frac{s_{ii}}{s_{kk}}} \quad , \qquad i.\,k = \begin{cases} 6,\ 5 \\ 4,\ 6 \\ 5,\ 4 \end{cases} \qquad \cdots\cdots (2.\ 8)$$

として $p > 1$ である如く i, k をえらぶと，

$$R_{\left(\begin{smallmatrix} x \\ y \\ z \end{smallmatrix}\right)} = f\left[p_{\left(\begin{smallmatrix} x \\ y \\ z \end{smallmatrix}\right)}\right]$$

で，從つて p の値を與えると R は (5), (6), (7) 式によつて計算することが出來る．$p = 1 \sim 10$ の値に對して R-値 を Hörig は 1 個の表に整備して居る[1]．吾々の目的は s_{44}, s_{55}, s_{66} の値を正しく求めるにあるが，これが與えられなければ p を與えることが出來ない事情にあるので，之に對して次に述べる所謂 $\boldsymbol{R(p)}$**-方法** を採用する．

此の方法では，捻りの實驗値から

$$a'_{\square} = g\left(\frac{\varphi r^4}{Nl}\right)_x \quad , \qquad b'_{\square} = g\left(\frac{\varphi r^4}{Nl}\right)_y \quad , \qquad c'_{\square} = g\left(\frac{\varphi r^4}{Nl}\right)_z \qquad \cdots\cdots (2.\ 9)$$

を求める．圓斷面實驗でも，正方形斷面實驗でも G' は可成り接近した値であることが考えられるので，先づ圓斷面の條件及び $R = 1$ を假定して (R は 1 に極めて近い),

$$s_{44} = b'_{\square} + c'_{\square} - a'_{\square}\,, \quad s_{55} = c'_{\square} + a'_{\square} - b'_{\square}\,, \quad s_{66} = a'_{\square} + b'_{\square} - c'_{\square} \qquad \cdots\cdots (2.10)$$

によつて $s_{44} \cdots s_{66}$ の第 1 近似値を求める．從つて (8) 式で p が決まるから R が (5), (6), (7), 或は Hörig の表によつて與えられる．かく R が決まると (4) 式によつて $s_{44} \cdots s_{66}$ の第 2 近似値が計算され，第 1 近似値よりも正確なものを得る．以上を $s_{44} \cdots s_{66}$ の所要の精度を得るまで繰返すのである．斜方晶系でも異方性の强いものほど $R(p)$-方法 の收斂が惡い．從つて木材ならば針葉樹が濶葉樹よりも異方性が强いので $R(p)$-方法 をより多く繰返す必要があることになる．

等方性體の場合には $s_{44} = s_{55} = s_{66}$, $q_x = q_y = q_z = q$, $R_x = R_y = R_z = 1$ となり，從つて次の周知の關係が得られる．

---

1) Hörig: Ing.-Arch., IV. (1933), S. 570/576. 曲線 $R(p)$ は $p = 1$ で水平切線，$p = 2.2$ の邊で反曲點をもち，$p = \infty$ で $R(p) = 0.84346$ である．即ち $R(p)$ はかなり 1 に近い値である．

$$G = \frac{1}{g}\left(\frac{Nl}{\varphi r^4}\right),$$

$$g = \frac{16}{3} - \left(\frac{4}{\pi}\right)^5 \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^5} \operatorname{Tg} \frac{(2n+1)\pi}{2} \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots (2.10)$$

$$= 2.2492$$

III. 實　　驗

1. 45°-試驗片の壓縮實驗

試驗片は 圖—3 に見る如き木取りをなして製作し，45° 回轉軸によつて X-, Y-, Z-試驗片と稱する．試驗片寸法は日本標準規格により壓面 30 × 30 mm，高さ 60 mm とした．試驗片の內容を 表—1 に示す．

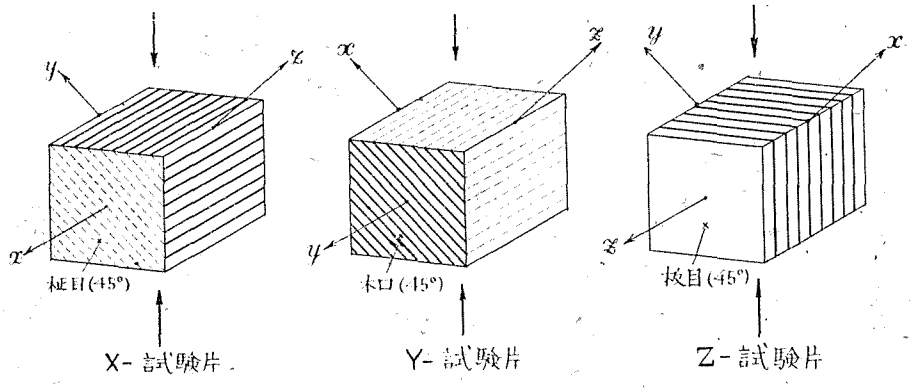


圖 — 3

表 — 1

樹　種	實驗種類	X-試驗片 本數	X-試驗片 比重 {最小 最大}	Y-試驗片 本數	Y-試驗片 比重 {最小 最大}	Z-試驗片 本數	Z-試驗片 比重 {最小 最大}	本數計
マカンバ	破　壞*	1		1		1		3
	彈　性	3	0.668 690	3	0.656 668	3	0.668 682	9
ナ　ラ	破　壞	1		1		1		3
	彈　性	3	537 566	3	490 532	3	489 516	9
エゾマツ	破　壞	1		1		1		3
	彈　性	3	435 460	3	420 429	3	432 438	9

*) 破壞試驗は 1 本と限らず補充實驗をしたものもある．

破壞試驗により彈性試驗の荷重段階を 表—2 の如くに豫定した．

表 — 2

樹種	マカンバ			ナラ			エゾマツ		
試験片	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
破壊荷重 (kg)	2930	4450	4650	2750	700	1950	1120	550	1300
$\frac{1}{4}$ × (破壊荷重) (kg)	732.5	1112.5	1162.5	687.5	175.0	487.5	280.0	137.5	325.0
彈性試験荷重刻み (kg)	50	20	50	30	10	20	10 20	10	10
同上段階數	14	31	18	23	17	25	24 12	13	25

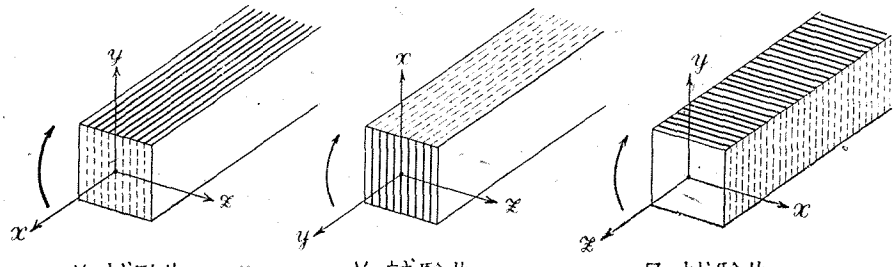
以上の如き計畫にもとづいて實驗を行つたところ剪斷彈性係數に關して表—3の結果を得た.

表 — 3 (含水率 15%, 單位 : kg/cm.²)

樹種	マカンバ			ナラ			エゾマツ		
試験片	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
剪斷彈性係數	9273	2388	17842	8290	2519	7326	6466	334	9690

2. 捻りの實驗

研究室保有資材の寸法の關係上, 圖—4の捻り試驗片中, X-, Z- 兩種試驗片は太さも長さも充



X-試驗片　Y-試驗片　Z-試驗片

圖 — 4

表 — 4

樹種	實驗種類	X-試驗片 本數	X-試驗片 比重 最小	X-試驗片 比重 最大	Y-試驗片 本數	Y-試驗片 比重 最小	Y-試驗片 比重 最大	Z-試驗片 本數	Z-試驗片 比重 最小	Z-試驗片 比重 最大	本數計
マカンバ	破壊	1			1			1			3
	彈性	3	0.711	884	3	0.704	843	3	0.669	706	9
ナラ	破壊	1			1			1			3
	彈性	3	0.522	643	3	0.471	603	3	0.428	551	9
エゾマツ	破壊	1			1			1			3
	彈性	3	0.442	478	3	0.437	484	3	0.397	432	9

分大きく木取ることは非常に困難であつたのと，試驗機のチヤツクの摑み斷面も亦小さい關係から細く且つ短い試驗片を採用せねばならなかつた．

しかして細い材料から圓斷面試驗片を製作するときの材料に與える惡影響を慮つて止むを得ず正方形斷面とし，試驗片寸法は 10×10×140 mm，測點距離 85 mm とした．試驗片の內容は表—4 の如くである．

破壞試驗により彈性試驗の負荷段階を表—5 の如く豫定した．

表 —— 5

樹種	マカンバ			ナラ			エゾマツ		
試驗片	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
破壞荷重 (kgcm)	21.2	62.0	25.7	20.0	33.8	21.0	7.0	23.0	6.8
$(\frac{1}{4}\sim\frac{1}{5})$* 破壞荷重	5.3 kgcm	12.4kgcm	6.4 kgcm	13.5°	8.5 kgcm	5.25kgcm	14.3°	5.8 kgcm	10.4°
彈性試驗荷重刻み	1 kgcm	2 kgcm	1 kgcm	0.5°	1 kgcm	0.5 kgcm	0.5°	1 kgcm	0.5°
同上段階數	6	6	6	10	7	10	14	6	13

*) 破壞荷重の小さいものは實驗の都合上荷重刻みを捻り角度であらはした．

彈性實驗の結果，G'_x, G'_y, G'_z は表—6 のやうになる．

表 —— 6

(含水率 15%，單位 kg/cm²)

樹種	G'_x	G'_y	G'_z
マカンバ	3383	11897	3058
ナラ	2598	8244	3014
エゾマツ	535	6241	541

表—6 の結果から $R(p)$-方法 を反覆して收斂した R で剪斷彈性係數を計算すると表—7 のやうになる．

表 —— 7

樹種	$R(p)$ 反覆回數	R_x R_y R_z	s_{44} s_{55} s_{66} (cm²/kg)	G_x G_y G_z (kg/cm²)
マカンバ	5	0.95893 99642 97781	0.000110600 000558330 000058110	9042 1791 17209
ナラ	5	0.98573 99443 96421	0.000075550 000612674 000168414	13236 1632 5938
エゾマツ	11*	0.93145 99979 92710	0.00014917 00384133 00017135	6704 260 5836

*) R_y だけは收斂が非常に早かつた．

IV. 結　論

前節の實驗結果を表—8 にまとめて比較し，且つ實驗を通じて次の事柄がわかる．

(1) 此の實驗では 45° 壓縮試驗より得られた剪斷彈性係數は，捻り試驗のそれよりも大となる傾向を示し，G_x について**ナラ**，**エゾマツ**が逆の現象を示すのみである．兩者の差のかなり大きいもののあるのは次の理由によるものと考えられる．

(a) 試驗片を木取つた木材が直徑の比較的に小さい原木より製材したものであるため，試驗片は嚴密な直交異方性の條件に合致してゐない．捻り X-試驗片はそれが特に著しい．

(b) 45° 壓縮及び捻り試驗片の長軸と 45° 軸及び對稱軸との間の製作上の誤差が可成り大きいものがある．

(c) 捻り試驗片を短かくせねばならなかつたために捻りの測點と試驗片摑み部分との距離が近くなり，從つて試驗片の固定が斷面變位を拘束する影響が測點にも相當あつたことと思はれる．この影響は矩形斷面は圓斷面（異方性體では圓斷面の場合にもある）の場合よりも更に悪い．

表——8 (含水率 15%)

樹種	$\left.\begin{matrix}G_x\\G_y\\G_z\end{matrix}\right\}=\left\{\begin{matrix}1/s_{44}\\1/s_{55}\\1/s_{66}\end{matrix}\right.$ (單位：kg/cm²)		差
	45° 壓縮	捻 り	(%)
マカンバ	9273	9042	+ 2.6
	2388	1791	+ 33.3
	17842	17209	+ 3.7
ナ ラ	8290	13236	− 59.7
	2519	1632	+ 54.3
	7326	5938	+ 23.4
エゾマツ	6466	6704	− 3.7
	334	260	+ 28.2
	9690	5836	+ 66.0

(2) 45° 壓縮試驗の方が捻り試驗よりも實驗操作は簡單であり，(1)—(c) の様な悪い事情もなく，最も好ましいことには荷重の段階數を捻りの場合よりも遙かに多くとり得る．又試驗片の製作が容易なので資材に特別な條件は要らない．結局 45° 試驗片壓縮の方が信賴度の高い剪斷彈性係數を普通には與えるものと思はれる．

(3) 剪斷彈性係數に關する異方性は，針葉樹（**エゾマツ**）の方が濶葉樹（**マカンバ**，**ナラ**）よりも遙かに顯著である．

(4) いづれの場合を問はず，剪斷彈性係數の對稱軸方向の最小値は G_y である．

(5) **マカンバ**では 45° 壓縮，捻り試驗とも $G_x < G_z$，**ナラ**では兩試驗とも $G_x > G_z$，**エゾマツ**は 45° 壓縮 $G_x < G_z$，捻り $G_x > G_z$ となつてゐる[1]．

(6) 見掛けの剪斷彈性係數（„Drillungsmodul"）G'_x, G'_y, G'_z と純正の剪斷彈性係數 G_x, G_y, G_z とは其の値に於ても，亦その値の大小配列の順序に於ても全く異なるものである．

(7) 捻り試驗に關する**表—6,7** によつて，各樹種に於て G'_x, G'_y, G'_z の大小配列の順序は夫々 s_{44}, s_{55}, s_{66}（即ち剪斷彈性係數の逆數）のそれと全く合致する．この場合 G'_y は常に對稱軸上の最大値であり，且つ G'_x, G'_z は可成り接近した値をもつ．而してこの法則は s_{55} が s_{44}, s_{66} に比して非常に大きい直交異方性體である木材に於て，凡ての樹種を通じて一般的に適用し得るものであることは次の關係が證明する．圓斷面に就て[2]

1) Stamer の捻り實驗では，カバ $G_x > G_z$，カシ，ナラの類 $G_x > G_z$，トウヒ $G_x > G_z$ となつてゐる．
Stamer: Ing.-Arch., VI (1935), S. 1.; Hörig: Do., S. 8.

2) Stamer の實驗では G' の圓斷面及び正方形斷面に於ける差は，大約針葉樹 10% 以下，濶葉樹 5% 以下である (Stamer の前記論文)．

$$\left.\begin{aligned} G'_x &= \frac{2}{s_{55}+s_{66}} = \frac{2}{s_{55}}\left(\frac{1}{1+\frac{s_{66}}{s_{55}}}\right) \fallingdotseq \frac{2}{s_{55}} \\ G'_z &= \frac{2}{s_{44}+s_{55}} = \frac{2}{s_{55}}\left(\frac{1}{1+\frac{s_{44}}{s_{55}}}\right) \fallingdotseq \frac{2}{s_{55}} \\ G'_y &= \frac{2}{s_{44}+s_{66}} \fallingdotseq \frac{1}{s_{44}} \quad \text{或は} \quad \frac{1}{s_{66}} \end{aligned}\right\} \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (4.\ 1)$$

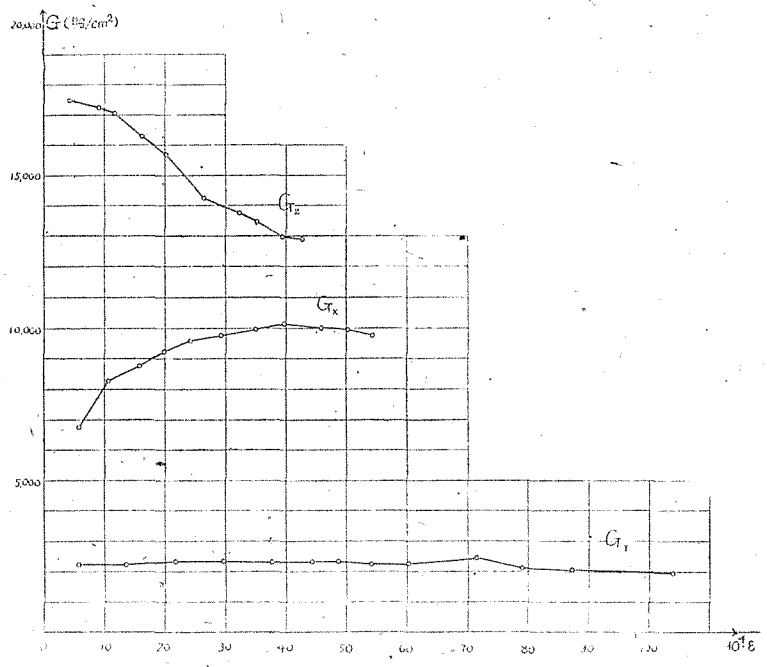
となるから G'_y は，常に最大値となり，他の2者にあつては

$$G'_x \gtrless G'_z \quad , \qquad s_{44} \gtrless s_{66}$$

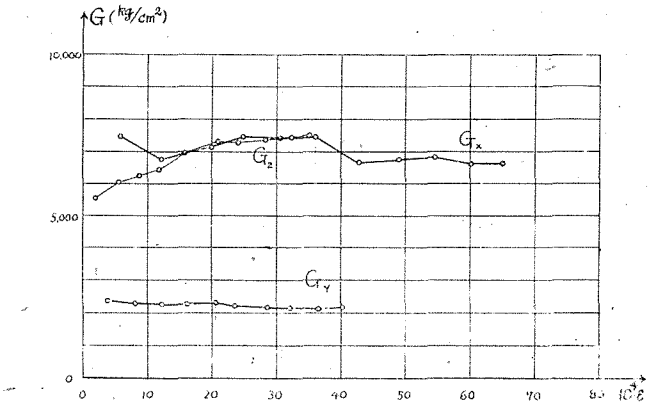
なる對應する關係で G'_x, G'_z の大小の順序が決まり，從つて上の法則が一般的なものであることがわかるのである．

尙ほ參考のために 45°-壓縮試驗の剪斷彈性係數-歪曲線を掲げることとした(圖—5, 6, 7).

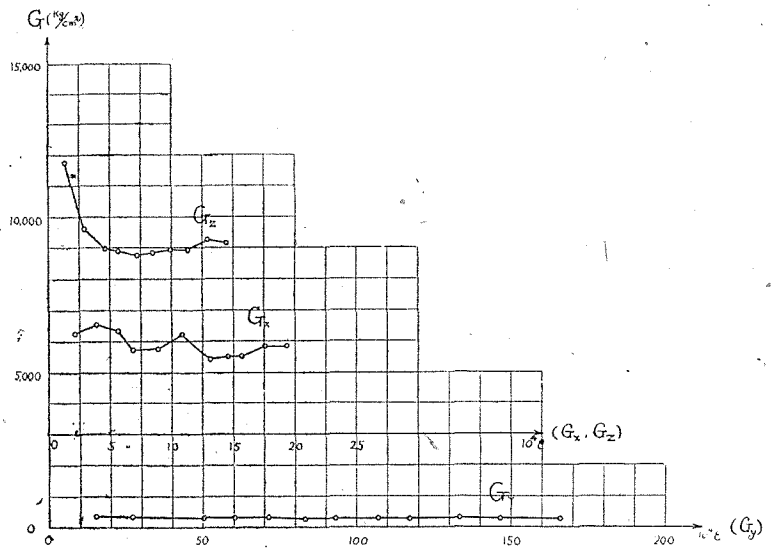
終りに本研究に關する實驗は昭和23年1月より2月に亙つて行はれたが，配電制限の困難とたたかつて終始實驗と其の計算の遂行に盡力された研究室前田幸雄，宮內一彥，加々美定雄の諸氏並に當時學生の小林和郎，山田照一(この實驗の部分は兩君の昭和23年度卒論.)の兩君に厚く感謝の意を表する次第である．



圖—5　マカンバ剪斷彈性係數-歪曲線



圖－6　ナラ剪斷彈性係數 歪曲線



圖－7　エゾマツ剪斷彈性係數-歪曲線