

木材表面の組織構造と摩耗抵抗

鈴木 正 治⁽¹⁾Masaharu Suzuki: Relation between the Structural Features
of Wooden Surface and the Abrasive Resistance

要 旨：木材の表面は樹種によって固有な組織で形成されている。それゆえ、木材の耐摩耗性は組織の耐圧縮、耐せん断強さを求めることによってある程度明らかにできる。理論的考察に基づいて、木材の一定容積を完全に摩滅させるに要するエネルギーから、耐摩耗性を表わす摩耗抵抗の算出式を導いた。実験では特殊な装置を用いて、37樹種の年輪内の各位置における微小部分の摩耗抵抗を測定した。年輪内の組織（要素率、細胞の寸度）の変化と摩耗抵抗を対応させ、樹種の表面の耐摩耗性能を示すと共に、とくに各樹種の摩耗抵抗に最も寄与する組織的因子（特性因子）の分析を行った。針葉樹材の特性因子は、たとえばヒメコマツのように細胞壁の厚さ、トドマツのように仮道管の直径、ヒノキのように比重などがある。広葉樹の環孔材の特性因子は、道管要素率、比重などで、シオジ、ヤチダモの摩耗がよく説明できる。散孔材の特性因子は樹種によってかなり異なるが、木部繊維の細胞壁の厚さ、直径、細胞壁率などがあげられる。摩耗過程で、木材表面の崩壊の進み方を摩擦係数の変化で追跡した。摩耗が進むと、針葉樹材（春材）のように摩擦係数が次第に減るもの、マカンバのようにほぼ一定で、変化のないもの、ブナのように次第に増加するもの、などのタイプがあり、表面の崩壊について知見が得られた。

目 次

I はじめに	52
II 摩耗抵抗（その理論的背景）	52
III 実験法	55
1. 摩耗試験装置	56
2. 試料	56
3. 消耗仕事量	57
4. 測定条件の影響	57
(1) 垂直荷重および研摩紙の番数の影響	57
(2) 試片の幅の影響	58
(3) 試片の厚さの影響	58
5. 細胞の形状測定	59
IV 結果と考察	59
1. 結果の表示	59
2. 年輪内における構成因子の変動の実験式	59
3. 年輪内における構成因子の相互関係と摩耗抵抗	61
4. 摩耗抵抗に影響する構成因子 (1) (比重の効果)	66
5. 摩耗抵抗に影響する構成因子 (2) (樹種の特)	67
(1) 針葉樹材の場合	67
(2) 広葉樹材の場合	72
6. 摩耗抵抗に影響する構成因子 (3) (因子の総合効果)	78
7. 摩耗過程の摩擦係数の変化	79

V 摘 要.....86
 文 献.....87
 Summary88
 付 表 Table 10~14.....90
 付 図 Fig. 40~65 104

I はじめに

既報²⁾のテーバー法による摩耗実験では、年輪内の位置によって摩耗深さに差があり、木材の組織、方向性の影響があると推定された。木材の表面が樹種固有の組織で構成されるので、組織の摩耗に対する性質を調べる必要がある。本報では、木材を分割して組織の特徴が摩耗に鋭敏に現われる小試片を作り、特殊な装置で摩耗抵抗を測定した。一方、理論の立場から摩耗抵抗の式を導き、実験と組み合わせて、摩耗に影響する因子の分析を行った。この報告は、テーバー法、木材の摩耗の標準化試験³⁾など一連の仕事の基礎であり、任意の木材面の摩耗の予測、研削への応用が考えられる。

原稿を校閲いただいた加納 孟部長、山井良三郎科長をはじめ、電子計算機の利用で、ご教示を受けた、経営部川端幸蔵氏らに厚くお礼申し上げます。

II 摩耗抵抗 (その理論的背景)

I で記述したように、木材表面の摩耗には、比重の影響がつよいが、細部を検討すると、表面の組織および細胞の構成と密接に関係する。たとえば、木部繊維の要素率が大きい木材は、表面の形態変化も少ない場合が多く、比重も大きくなって厚さ摩耗量が小さい。この場合、摩耗抵抗が大きいと考えるのであるが、これを定式化すると次のごとくである。

砂粒やと粒のような突端が鋭い突起を仮に円錐形と仮定して、これが被摩耗材料と接触する場合を考える。垂直荷重 P に対して、被摩耗材料の内圧を p とし、Fig. 1 (A) のように、直径 $2r$ の境界接触円⁴⁾で接触しながら、円錐状突起が平面上を移動しているとする。 P および被摩耗材料を押しつける力 (流動圧力) F は

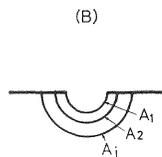
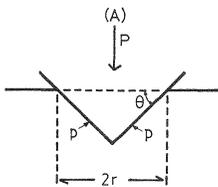
$$P = p \cdot \pi \cdot r^2 \tag{1}$$

$$F = p \cdot \tan \theta \cdot r^2 \tag{2}$$

押しつけられた体積 V は、移動距離を L とすると

$$V = \tan \theta \cdot r^2 \cdot L \tag{3}$$

Eq. 1 と Eq. 3 より



$$V = \frac{\tan \theta}{\pi} \cdot \frac{P}{p} \cdot L \tag{4}$$

Eq. 1 と Eq. 2 より

$$\frac{F}{P} = \frac{\tan \theta}{\pi} = \mu \tag{5}$$

Eq. 5 の μ は摩擦係数に相当する。これを用いて Eq. 4 を書き直すと

Fig. 1 円錐子による摩耗痕 (断面)
 Cross section of abrasive track produced by the cone.

$$V = \mu \cdot \frac{P}{p} \cdot L = \frac{\tau \cdot L}{p} \quad (6)$$

ここに τ は摩擦力であり、摩擦量 V と比例関係になる。このような円錐突起の走行は、被摩擦材料の表面に条痕を生ぜしめるから、摩擦鋼板やテーバー摩擦輪の作用と相似している。

突起の繰り返しの摩擦による材料表面の疲労破壊、突起の繰り返しの圧入による材料内部の疲労破壊などが生じる。これを式で表わすため、次の機構を考えた。

試験面上の砂粒、研摩紙のと粒は無秩序に分散しているが、統計的には縦横の平均間隔 s で配列されている。前述と同じモデルである円錐状突起が試験面を摩擦させて L だけ走行したとすれば、試験面上の任意の点 A は L/s 回だけ突起と接する。 A 点のある半球部分 A_1 (容積 ΔV_1 , Fig. 1 の B) が破壊あるいは結合を弱められ、やがて微粉末 A_1 になって遊離するときの接触回数を n_1 とする。同時に、次の半球部分 A_2 (容積 ΔV_2) が微粉末 A_2 になって遊離するときの接触回数は n_2 となる。半球部分 A_i への接触回数を n_i とすると

$$n_1 + n_2 + \dots + n_i \dots = \frac{L}{s} \quad (7)$$

を得る。 i 番目の部分が破壊して、遊離したときの円錐突起の走行距離は $n_i \cdot s$ である。このとき円錐突起のなした仕事を $\tau \cdot n_i \cdot s$ とおけば、これは遊離した部分 (容積 ΔV_i) の結合のエネルギーに等しい。

$$\tau \cdot n_i \cdot s = \delta \cdot \Delta V_i \quad (8)$$

ここに δ は単位容積あたりの結合のエネルギーである。全長 L では

$$\tau \cdot \sum n_i \cdot s = \delta \cdot \sum \Delta V_i \quad (9)$$

となる。これから V は

$$V = \frac{1}{\delta} \cdot \tau \cdot L \quad (10)$$

Eq. 6 のように流動が原因して生じた摩擦容積を V_p , Eq. 10 のように結合の破壊により生じた摩擦容積を V_δ とすると、全摩擦容積 V_t は

$$V_t = V_p + V_\delta = \left(\frac{1}{p} + \frac{1}{\delta} \right) \cdot \tau \cdot L \quad (11)$$

で表現できる。この結果、摩擦容積は消耗仕事量 $\tau \cdot L$ に比例し、被摩擦材料の内圧および結合のエネルギーに逆比例する。ここで、

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{p} + \frac{1}{\delta} \quad (12)$$

とおくと

$$V_t = \frac{1}{U} \cdot \tau \cdot L \quad (13)$$

となって、 U の値が大きいほど、耐摩擦性が大きいことから、この量を摩擦抵抗と定義する。したがって、 U は下式となる。

$$U = \frac{\tau \cdot L}{V_t} \quad (14)$$

既報²⁾ (p. 20) で定義した摩擦されやすさ (摩擦係数) a は U の逆数となる。 $\tau \cdot L = 1$ のとき、 $V_t = V_0$ とおくと

$$\frac{1}{U} = a = V_0 \quad (15)$$

となって、 a は比摩耗量を表わすことになる。

被摩耗材料の比重を ρ とすると、Eq. 14 は

$$U = \frac{\tau \cdot L}{V_t} = \frac{\tau \cdot L}{W_t} \cdot \rho = \xi \cdot \rho \quad (16)$$

となる。ここに W_t は摩耗重量である。木材表面の比重が摩耗抵抗に比例することがわかる (Fig. 24, Fig. 27, Table 12~14 など参照)。

次に針葉樹材について検討を進める。仮道管横断面の接線方向と半径方向の外径 (細胞間層間の距離) を T と R , 細胞壁の平均厚さを W , 細胞壁率を C で表わす。いま、細胞壁の比重を ρ_0 とすると、よく知られるように

$$\rho \doteq C \cdot \rho_0 \quad (17)$$

また、仮道管横断面を長方形に仮定すると

$$C \doteq \frac{2(T+R)}{T \cdot R} \cdot W = 2\left(\frac{1}{R} + \frac{1}{T}\right) \cdot W \quad (18)$$

Eq. 17, Eq. 18 を Eq. 16 に代入すると

$$U \doteq \xi \cdot C \cdot \rho_0 \doteq 2 \cdot \xi \cdot \rho_0 \cdot \left(\frac{1}{R} + \frac{1}{T}\right) \cdot W \quad (19)$$

を得る。この式から、 U は C , W に比例し、 R , T に逆比例することが導かれた。

板目表面から内部の任意点までの深さを x (半径方向、ただし $0 < x <$ 年輪幅) とすると、Eq. 16 は

$$\frac{dU}{dx} = \xi \cdot \frac{d\rho}{dx} \quad (20)$$

実験的に、 $d\rho/dx = k_\rho$ (定数) が得られたとすると

$$U = \xi \cdot k_\rho \cdot x + [C] \quad [C]: \text{積分定数} \quad (21)$$

Eq. 19 でも上と同様な考え方で、 C , R , T , W が x の関数として与えられるとすると

$$U = \xi \cdot \rho_0 \cdot k_C \cdot x + [C] \quad (22)$$

および

$$\frac{dU}{dx} = 2 \cdot \xi \cdot \rho_0 \cdot \left(\frac{dW}{dx} \cdot R^{-1} + \frac{dR^{-1}}{dx} \cdot W + \frac{dW}{dx} \cdot T^{-1} + \frac{dT^{-1}}{dx} \cdot W \right) \quad (23)$$

右辺の微分 dW/dx , dR^{-1}/dx , dT^{-1}/dx は実験より定数で表わせるとして、 k_W , k_R , k_T とおくと

$$U = 2 \cdot \xi \cdot \rho_0 \left\{ k_W \int R^{-1} dx + \int T^{-1} dx \right\} + (k_R + k_T) \int W dx + [C] \quad (24)$$

となって、 U は関数 R , T , W の和として与えられる。換言すれば、針葉樹材の板目の摩耗抵抗は年輪の半径方向の細胞寸度の影響を受け、その関数形で表現できる。

広葉樹材では、その主な要素は道管、木部繊維、仮道管、放射組織などである。各々の構成要素率を E_i , 細胞壁の比重を ρ_i , 細胞壁率を C_i とすると

$$\rho = \sum E_i \cdot C_i \cdot \rho_i \quad (25)$$

となるため、板目表面からの深さ x , $\rho_i \doteq \rho_0$ (一定) とすると

$$\begin{aligned} \frac{dU}{dx} &= \xi \cdot \rho_0 \cdot \sum \frac{d(E_i C_i)}{dx} \\ &= \xi \cdot \rho_0 \cdot \sum \left(\frac{dE_i}{dx} \cdot C_i + \frac{dC_i}{dx} \cdot E_i \right) \end{aligned} \quad (26)$$

前述のごとく、板目を想定し、年輪界を $x=0$ にとり、 $0 \leq x \leq$ 年輪幅とする。 dE_i/dx , dC_i/dx が単純に定数で表わされるとき、それぞれ、 k_{E_i} , k_{C_i} とすれば

$$U = \xi \cdot \rho_0 \cdot \Sigma (k_{E_i} \int C_i dx + k_{C_i} \int E_i dx) + [C] \quad (27)$$

となって、 U は関数 C , E の和によって表わされる。

放射組織の板目断面の要素率は x の如何によらず一定である。柔組織および仮道管の年輪内の分布は同一樹種でもかなり異なっており、これらの x の関数としての定量化は困難である。これに対して、道管の要素率 E_V と木部繊維の細胞壁率 C_F の測定は可能であるから、 ρ を

$$\rho = \beta \cdot (1 - E_V) \cdot C_F \cdot \rho_0 = \beta \cdot F \cdot C_F \cdot \rho_0 \quad (28)$$

とおく。ここに β は補正係数である。これを用いると、Eq. 27 より

$$U = \xi \cdot \beta \cdot \rho_0 \cdot \Sigma (k_F \int C_F dx + k_{C_F} \int F dx) + [C] \quad (29)$$

となる。

U を木部繊維の接線方向と半径方向の外径で次のように表わす。

$$\begin{aligned} U &= \xi \cdot \beta \cdot F \cdot C_F \cdot \rho_0 \\ &= \xi \cdot \beta' \cdot \rho_0 \cdot F \left(\frac{1}{T} + \frac{1}{R} \right) W \end{aligned} \quad (30)$$

$\beta' = 2\beta$ である。Eq. 30 より dU/dx を求めると

$$\begin{aligned} \frac{dU}{dx} &= \xi \cdot \beta' \cdot \rho_0 \cdot \left(\frac{d(F \cdot W \cdot T^{-1})}{dx} + \frac{d(F \cdot W \cdot R^{-1})}{dx} \right) \\ &= \xi \cdot \beta' \cdot \rho_0 \cdot \left(\frac{dF}{dx} \cdot W \cdot T^{-1} + \frac{dW}{dx} \cdot T^{-1} F + \frac{dT^{-1}}{dx} \cdot F \cdot W \right. \\ &\quad \left. + \frac{dF}{dx} \cdot W \cdot R^{-1} + \frac{dW}{dx} \cdot R^{-1} \cdot F + \frac{dR^{-1}}{dx} \cdot F \cdot W \right) \end{aligned} \quad (31)$$

dF/dx , dW/dx が定数 k_F , k_W に単純化されると

$$\begin{aligned} U &= \xi \cdot \beta' \cdot \rho_0 \cdot \left\{ k_F \left(\int W \cdot T^{-1} dx + \int W \cdot R^{-1} dx \right) + k_W \left(\int T^{-1} \cdot F dx + \int R^{-1} \cdot F dx \right) \right. \\ &\quad \left. + \int \left(\frac{dT^{-1}}{dx} \right) \cdot F \cdot W dx + \int \left(\frac{dR^{-1}}{dx} \right) \cdot F \cdot W dx \right\} + [C] \end{aligned} \quad (32)$$

となって、 U は関数 F , T , R , W の積和で与えられる。

以上の考察から、 U は理論的に比重と密接な関係を持ち、これから U は構成要素および寸度と関連づけることができた。さらに、年輪内における U の変化を木材の細胞寸度の時系列的変化から推定できる可能性も示された。すなわち、板目面に現われる組織と細胞の状態から U を評価することができる。

既報のテーバー法²⁾、JIS Z 2141 の標準化試験法などによる摩耗現象はこの理論によって概要を説明できる。逆に、この理論 (Eq. 14) に適合した実験を行うのも、実証的に大切である。次に、これに適した実験法を述べる。

III 実 験 法

テーバー法や JIS Z 2141 では、厚さ摩耗量を重量法によって算出するため、微粉末の充てんが多いと、厚さ摩耗量が過小に求められ、摩耗容積の正確度が落ちる。前節の理論に適合するためには、一定の摩耗の刺激によって、木材構成要素の特定な組織の一定量 (容積) が完全に消失する機構の実験でなければ

ばならない。

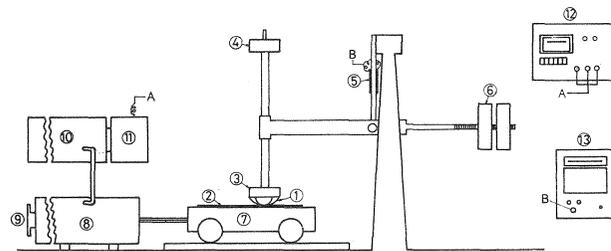
1. 摩耗試験装置

試験機の模型図を Fig. 2 に示す。試片は後述の方法で作製した、大きさが長さ 4 cm×幅 7 mm×厚さ 200 μ である薄片状のものである。試片①を試料アタッチメント③にとりつける。試料アタッチメントの先端は、直径 10 mm、厚さ 7 mm の鋼製の円板で、これに緩衝紙をはさんで試片を巻きつけ、図のように両端を固定する。大きさ 8 cm×7 cm の # 180 研摩紙②を台車⑦にクランプする。つりあい用分銅⑥で両翼の平衡を整えて、垂直荷重④ 200 g をのせる。台車は油圧調節バルブ⑨で調節された一定速度で往復運動を繰り返すので、往路のとき、研摩紙に試片の曲率をつけた部分を接触させる。研摩紙面には摩耗による試片の微粉が付着するので、試料台移動装置によって、新しい研摩紙面を順次送り出す。試片と研摩紙の間で働く摩擦力は歪ゲージ⑤で検出され、記録計⑫へ送られる。これら一連の運動は制御器⑩の指示によって、試片の曲率部分が両断されるまで進行する。切断に至るまでに摩滅された部分の容積は、試片の幅と厚みが一定ならば、樹種や試片によらず一定になる。次に、と粒と接触している摩耗方向の長さは、試片の厚みの減少によって、次第にかわる。いま、厚さ 200 μ の試片の切断後、微量天びんを用いて、摩耗重量を測定した。試片の比重が既知であるから、摩耗容積を計算すると 2.8 mm³、また、摩耗方向の長さは $2.8 / (7 \times 0.2) = 2 \text{ mm}$ となる。

実験では、試片の厚さは、多くの樹種で 170~230 μ の範囲に意図して違えてある。これらの試片の摩耗方向の長さを上記の手順で求めると 1.65~2.37 mm の範囲になり、平均は 1.99 mm となる。一方、同試片の摩耗の初段階で、損傷を受けた曲率部分の摩耗方向の長さは 1.0~1.05 mm、摩耗の終点で、切断寸前の長さは 2.7~2.95 mm であった。両者の中央値は 2.0 mm と推定できる。この検討から、摩耗方向の長さは 2.0 mm に収れんしている。

2. 試料

国産材 31 樹種、南洋材 6 樹種（文献 3）の Table 11 を参照）を供試した。繊維方向 4 cm、接線方向 7 mm、半径方向 1~2 cm の試片を水またに熱水中で軟化した。年輪（生長輪）内から、生長にそって厚さ（半径方向）約 200 μ の薄片をマイクロームで切り出した。この試片の表面は生長にそって変化する一連の樹種特有の材面であり、樹種固有の組織の種類をもうらしている。この試片を順次 1 年輪にわたっ



- ① 試片 Specimen, ② 研摩紙 Abrasive paper # 180, ③ 試片とりつけ Attachment,
- ④ 垂直荷重 Normal load, ⑤ 歪ゲージ Strain gauge, ⑥ 釣合用重錘 Balance weight,
- ⑦ 台車 Carriage, ⑧ 油圧調節シリンダー Oil pressure cylinder, ⑨ 油圧調節バルブ Valve for controlling oil pressure,
- ⑩ 油圧ポンプ Oil pressure pump, ⑪ 油圧駆動モーター Motor for generating oil pressure, ⑫ 操作・制御装置 Operating system,
- ⑬ 摩擦力記録計 Recorder for frictional force

Fig. 2 摩耗抵抗測定装置

The apparatus for measuring abrasive resistance.

て前節の試験法で、試片が両断されるまで摩耗させた。

3. 消耗仕事量

記録計には1回の走行（5.5 cm）ごとに発生している摩擦力を自記させた。1例を示すと、年輪中央位置の試片の摩擦力（平均）は

アカマツ	137.5 gF (n=12回, t=200 μ)
カヤ	134.1 gF (n=13回, t=204 μ)
マカンバ	132.6 gF (n=20回, t=180 μ)
ブナ	133.4 gF (n=19回, t=200 μ)
ケヤキ	132.5 gF (n=16回, t=220 μ)

ここに、垂直荷重 200 g, n は走行回数, t は試片の厚みである。この例で、摩擦力を 134 gF とすると、摩擦係数は 0.67 程度になる。通常、摩擦力は摩耗過程で同じでない。初期には小さいが、摩滅が進むと大きくなるもの、あるいはこの逆のもの、変化のないものなどがある。したがって、各走向ごとの摩擦力 τ を

$$\tau_1(\text{初回}), \tau_2, \dots, \tau_n(\text{切断時})$$

として、次の式より消耗仕事量を計算した。

$$\left(\sum_{i=1}^n \tau_i\right) \cdot L_0 \equiv \tau \cdot L \quad (\text{g} \cdot \text{cm}) \quad (33)$$

$$L_0 = 5.5, \quad L = 5.5 \cdot n \quad (\text{cm})$$

ここに、 L は 1 試片についての全走行距離, n は走向回数である。単位容積を摩滅させるに要する仕事量は、試片の幅を b , 厚みを t , 摩耗方向の長さ（接触長）を d とすると

$$\frac{\tau \cdot L}{b \cdot t \cdot d} = U \quad (\text{g} \cdot \text{cm}/\text{cm}^3) \quad (34)$$

から求められる。 U は樹種固有の摩耗に対する特性値で、すでに摩耗抵抗と定義している。

4. 測定条件の影響

本実験の前に、測定条件について検討したので、その主要点を説明する。

(1) 垂直荷重および研摩紙の番数の影響

1. の実験法にて、垂直荷重を 50~300 g の間で 50 g ずつかえ、研摩紙も #100~#320 の間で 5 種類かえて測定した。その一部を Fig. 3 に示す。同じ番数に対して、荷重が増加すると、 U は #180 のようにほとんど一定とみてよいものもあるが、#100 のようにやや減少するものが多い。一方、同じ荷重に対して、番数が大きくなるほど U は増大する。この結果、と粒の粒径の影響が最も著しいので、以下の実験では荷重依存性の少ない #180 を用い、垂直荷重を 200 g と定めた。次に研摩紙 #180 の特性値を示す。

粒径：55~84(平均)~114 μ と粒の

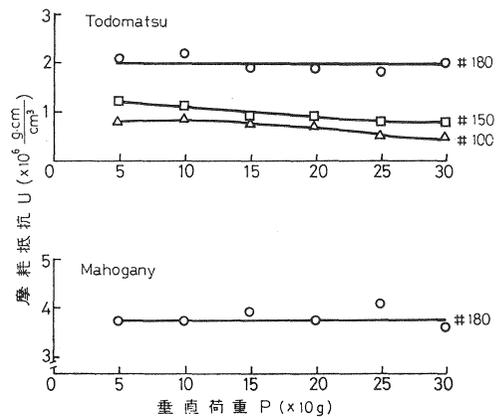
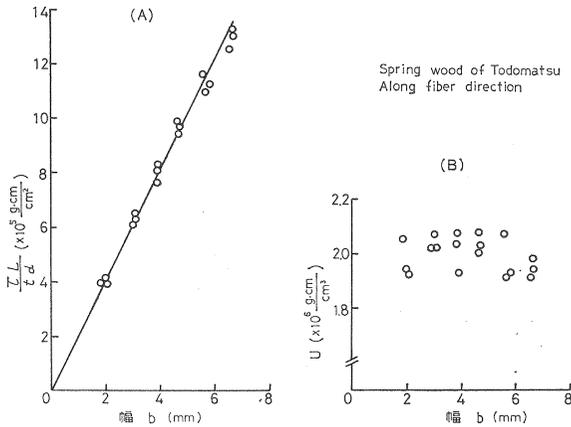


Fig. 3 垂直荷重の摩耗抵抗への影響
The effect of normal load (P) on abrasive resistance (U).

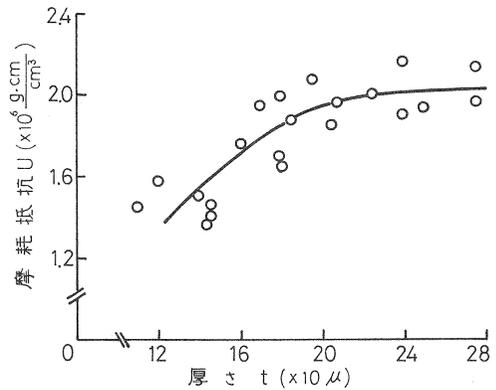


τ : 摩擦力 Frictional force
 L : 摩擦長 Frictional length
 t : 試片の厚さ Thickness
 d : 試片の平均長さ Mean length
 b : 試片の幅 Width
 U : 摩耗抵抗 Abrasive resistance

Fig. 4 試片幅と摩耗抵抗
Abrasive resistance related to width of the specimen.

トドマツ春材の繊維に平行方向
Spring wood of Todomatsu ($f//$)

Fig. 5 試片厚さと摩耗抵抗の関係
Relation between thickness of specimen (t) and abrasive resistance (U).



有効高さ20~50 μ

頂角: 104° に頻度で最大ピーク, 83° に小ピーク

と粒突起間隔: 平均 250 μ

と粒密度: 25 個/mm²

(2) 試片の幅の影響

試片の幅が7mm 以下では, 接触すると粒の数は少なくなるが, (1) の実験から U は一定のはずである。Fig. 4 では幅を2~8mm にかえたときの $\tau \cdot L / t \cdot d$ を求めた。関係直線は原点を通る直線になる。また, U は (B) のように, $2.0 \pm 0.08 (\times 10^6 \text{ g} \cdot \text{cm} / \text{cm}^3)$ となって, 誤差は4%程度であるから, U に変化がなかったとみてよい。この結果, と粒の並びと接触は均等で, とくに小幅になっても異常な応力集中は現われないようである。

(3) 試片の厚さの影響

試片の厚さをできるだけ薄くすることは, 木材表面の種類が増すことであり, 多くの情報が得られる。Fig. 5 はトドマツ春材試片の厚さが120~280 μ における U の状態を示す。トドマツのように摩耗に弱い樹種では, 厚さが約200 μ 以上でない U が一定化しない。イタヤカエデでは, 120~280 μ の間ではほぼ一定である。この結果から, 試片の厚さは200 μ とし, 直径の大きい道管を含む試片は280 μ 程度まで厚くした。

5. 細胞の形状測定

針葉樹材では、仮道管の直径は115倍(または600倍)で顕微鏡写真を撮り、一定長さに含まれる細胞数から、平均の細胞径を算出した。これとマイクロメーターによる直接測定の結果とを照合した。細胞壁の厚さは600倍の写真を拡大して1細胞で4点、1試片で20細胞以上を測定した。試片の横断面の写真から、試片の性質を代表するところで、細胞壁率を写真切り抜き法で測定した。放射組織の要素率は100倍の板目面写真から、放射組織の横断面を切りぬき、板目面に対する面積率で表わした。

広葉樹材では、木部繊維の細胞径と細胞壁の厚さを、600倍で撮影して、抽出した個々の細胞ごとに測定した。かなり不定形断面の木部繊維の直径は隅角部分を外径として測定した。測定数は1試片で20~40個である。同じ細胞から、細胞壁率を写真切り抜き法で測定した。道管、放射組織の要素率は横断面、接線面の60~80倍の写真から切り抜き法によって求めた。

IV 結果と考察

1. 結果の表示

摩耗抵抗, 比重, 細胞の形状などの年輪内の変化を, 次の2方法で整理した。摩耗抵抗 U を例にして説明する。

春材の初めを $x=0$, 夏材の終わりを $x=1$ として, 年輪内の各位置を相対的距離で表わす。 x を横軸, U を縦軸で示すと, 厚さ $4x$ の試片の摩耗は, 1年輪内で, 多数の不連続な棒線で示される。Fig. 6は同一年輪についての2系列の測定結果を示したものである。通常の場合, 同一年輪で3~5系列の測定を行い, この中から, 図のように平均的な2系列を選び, 次の方法で年輪内の特定位置の U を定めた。 x の

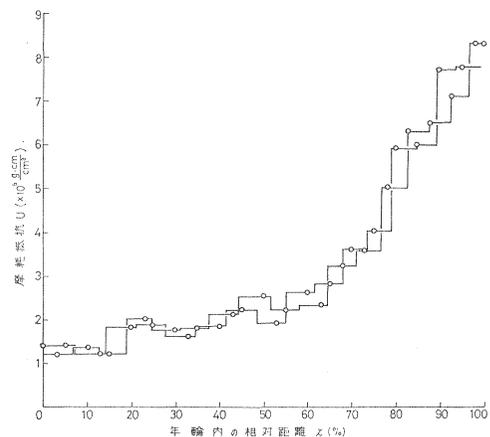
0, 0.03, 0.05, 0.1, 0.13, 0.15, 0.18, 0.20, 0.23, 0.25, 0.28, 0.30, 0.33,
0.35, 0.38, 0.40, 0.43, 0.45, 0.50, 0.53, 0.55, 0.60, 0.63, 0.65, 0.68, 0.70,
0.73, 0.75, 0.78, 0.80, 0.83, 0.85, 0.88, 0.90, 0.93, 0.95, 1.0

の位置に立てた垂線と U の棒線との交点を求める。棒線は2系列あるから, 多数の交点ができるが, U の年輪内の変化を予測しながら, 原則として2系列の棒線から交互に選ぶ。Fig. 6のマル印は上の手順によって求められたものである。Fig. 7は上記の方法で得たヒノキ(仮道管)の摩耗抵抗 U , 比重 SG , 細胞壁率 CW , 接線方向の直径 TD , 半径方向の直径 RD , 細胞壁の厚さ WT などの年輪内変化である。なお, この形式の図を利用して, 5.で重回帰分析を行う。

第2の方法は, 測定数全部を帯状の部分で囲む。同じヒノキの例をFig. 8に示す。

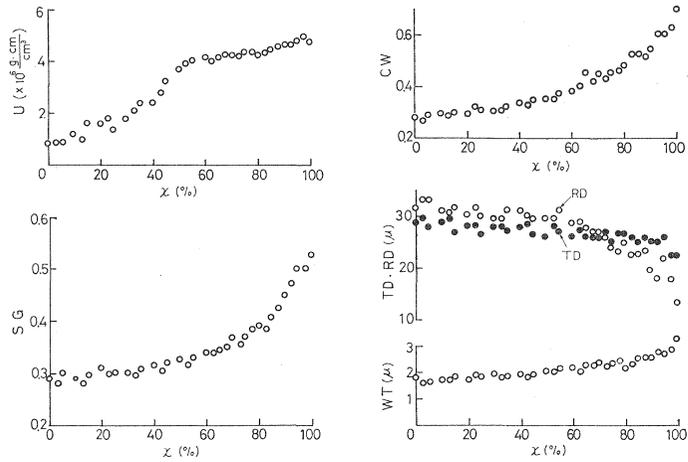
2. 年輪内における構成因子の変動の実験式

年輪内で, 細胞の直径, 細胞壁厚さなどは, Fig. 7のごとく微妙に変化しているの, 適合度



年輪幅 3.4 mm のモミ材
Momi wood of 3.4 mm in annual ring width
 x : Relative distance within an annual ring

Fig. 6 摩耗抵抗の年輪内変化
Variation of abrasive resistance (U) within an annual ring.



U : 摩耗抵抗 Abrasive resistance, SG : 比重 Specific gravity
 CW : 細胞壁率 Per cent of cell wall area
 TD : 仮道管の接線方向の直径 Tangential diameter of tracheid
 RD : 仮道管の半径方向の直径 Radial diameter of tracheid
 WT : 細胞壁の厚さ Cell wall thickness

Fig. 7 ヒノキ材の因子の年輪内変化 (年輪幅 1.8mm)

Variation of structural factors within an annual ring of Hinoki wood
 (The annual ring width : AR=1.8mm).

の良い実験式を定めるのはかなり困難である。これに対して、年輪内の位置 x の範囲を適当に区分して、その領域ごとに直線回帰を求める方が簡単であり、樹種間の比較も容易となる。領域は樹種によって少しずつ異なるが、まとめると下のごとくである。

	領域-1	領域-2
針葉樹材	$x = 0 \sim 0.65$	$0.65 \sim 1.0$
広葉樹材 (i)	$x = 0 \sim 0.5$	$0.5 \sim 1.0$
〃 (ii)	$x = 0 \sim 0.4$	$0.4 \sim 1.0$

(i) の広葉樹材は、キリ、アサダ、カツラ、イタヤカエデ、ブナ、マコンバ、クスノキ、ミズナラ、ヤチダモ、アカガシ、ホオノキなど、(ii) の広葉樹は、ケヤキ、シオジ、ハルニレ、セン、ヤマグワ、トチノキ、シナノキなどである。なお、本文中には、たとえばヒノキ材の領域-1 のことをヒノキ-1 と略して書く。

全樹種について、2つの領域における回帰式の係数を求めて付表 (Table 10, 11) に示す。木材を構成する組織、細胞の量、大きさなどを構成因子 (以下、因子と略す) とすると、因子 ϕ は $\phi = m_1x + m_2$ となる。係数 m_1, m_2 には樹種によって種々の特徴が現われる。これは5でまとめて考察する。

針葉樹材の $\phi-x$ の相関係数 156 個の中で、0.7 以下が 19 例あり、0.8 以下は 33 例となる。これらの因子の年輪内の状態を調べると、年輪内での変動が少なく、ほぼ一定であるものが多い。たとえば、Fig. 7 の TD のごとくである。逆に、相関係数が 0.8 以上では、年輪内で因子の変化 (増加または減少) が目立つものが多い。Fig. 7 の SG の例のごとくである。1つの領域の中で因子が x に対して増減するとき、直線式は使えない。ツガ-1 の SG, サワラ-1 の RD, トドマツ-1 の TD, シラベ-2 の RD にはこの傾

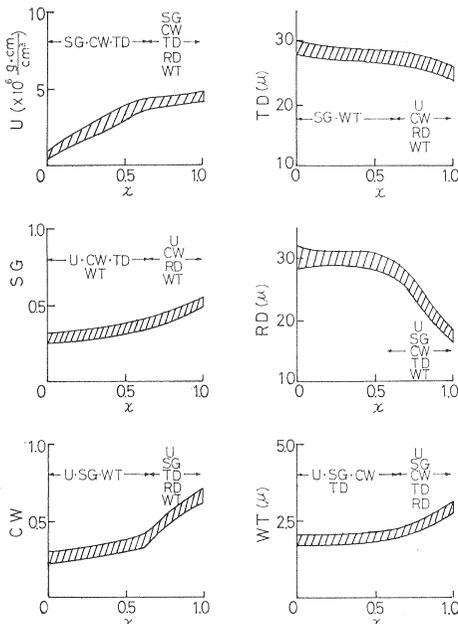
向があり、このため、相関係数が低下している。

広葉樹材の相関係数 252 個の中で、0.7 以下のものが 79 例、0.8 以下は 117 例となる。この相関性の低いものには、上述の針葉樹材の場合と同じく、年輪内の変動が少ない樹種である。

3. 年輪内における構成因子の相互関係と摩耗抵抗

年輪内因子の相互関係は、全体的には単相関係数の大小で判断するのが便利である。各樹種について得られた相関マトリックスを付表 (Table 12) に示す。略号は針葉樹材の場合は既述の通りで、広葉樹材では、比重 SG、1-(道管要素率)=道管除外を WF、木部繊維の細胞壁率と細胞壁の厚さを CW と WT、木部繊維の接線方向と半径方向の直径を TD と RD、摩耗抵抗を U で表わす。付表はかなり複雑であるので、若干の樹種について、単相関係数が 0.75 以上の因子について検討すると次のごとくである。

Fig. 8 のヒノキでは、1つの因子に対して5つの単相関係数が存在する。この中で 0.75 以上は、たとえば SG では領域-1、-2 に各 4 個あり、図の SG ところに相手因子の略号、 U , CW, TD, WT および U , CW, RD, WT が示されている。矢印の範囲は領域-1 と領域-2 である。ヒノキの領域-2 は領域-1 より相関がよいのは、図上の因子の数が多いことからわかるが、各図の曲線の増加と減少部分が相互に対応することからも推定できる。ヒノキの RD-1 は相関が低い。これに対して Fig. 9 のアカマツの TD-1 も低い。アカマツは TD を除くと因子間の相関が高い樹種である。しかし、付表 (Table 12) のように、相関の低いものも含まれる。これについては後で、単相関係数を平均して樹種間で比較する。



矢印の範囲で、相関係数が 0.75 以上の対応する因子を記入してある。

The structural factors above 0.75 in correlation coefficient are pointed out in each range.

Fig. 8 ヒノキ材の因子の年輪内変化 (年輪幅 1.5~2.1mm).

Variation of structural factors within an annual ring of Hinoki wood (AR=1.5~2.1mm).

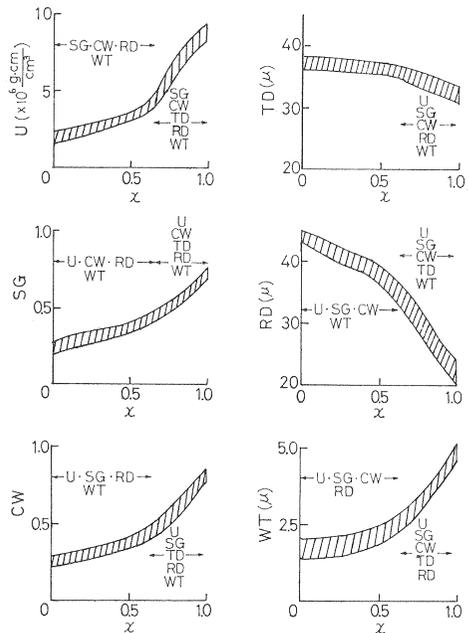


Fig. 9 アカマツ材の因子の年輪内変化 (年輪幅 2.1~2.5mm)

Variation of structural factors within an annual ring of Akamatsu wood (AR=2.1~2.5 mm).

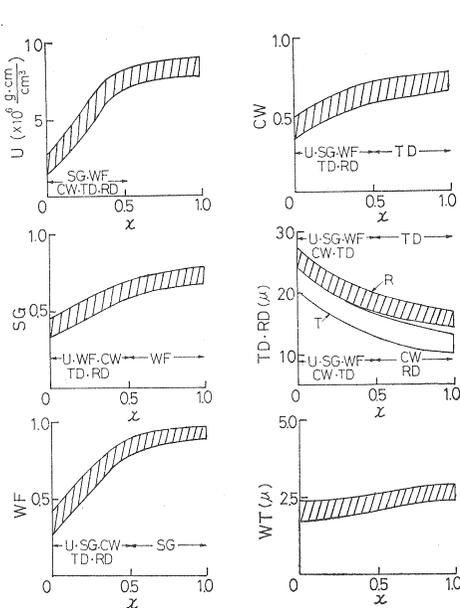


Fig. 10 ミズナラ材の因子の年輪内変化
(年輪幅 2.3~3.4mm)

Variation of structural factors within an annual ring of Mizunara wood (AR=2.3~3.4 mm).

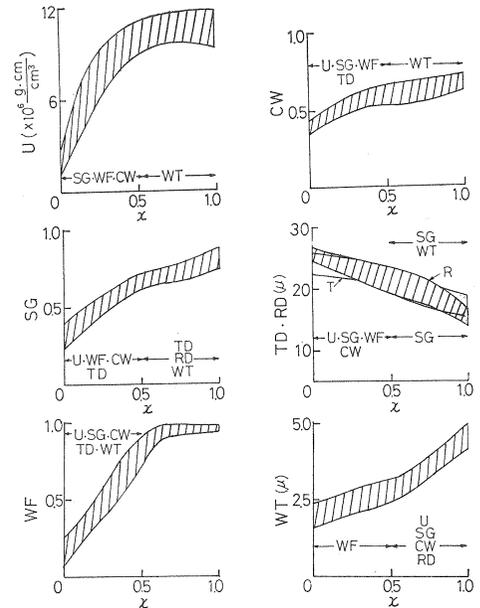
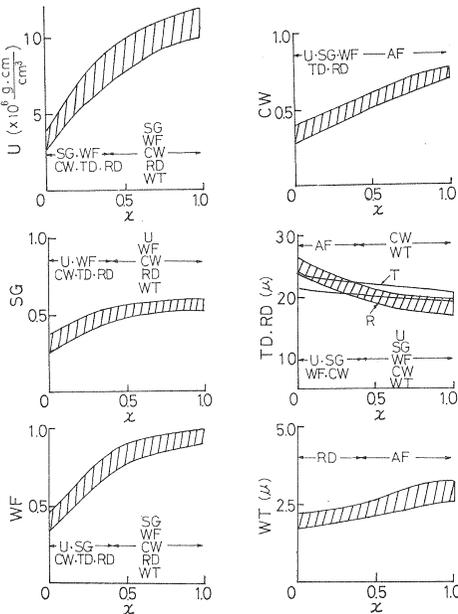


Fig. 11 ヤチダモ材の因子の年輪内変化
(年輪幅 2.6~3.7mm)

Variation of structural factors within an annual ring of Yachidamo wood (AR=2.6~3.7 mm).



AF: 全因子 Denoting all structural factors

Fig. 12 シオジ材の因子の年輪内変化
(年輪幅 2.1~2.7mm)

Variation of structural factors within an annual ring of Shioji wood (AR=2.1~2.7 mm).

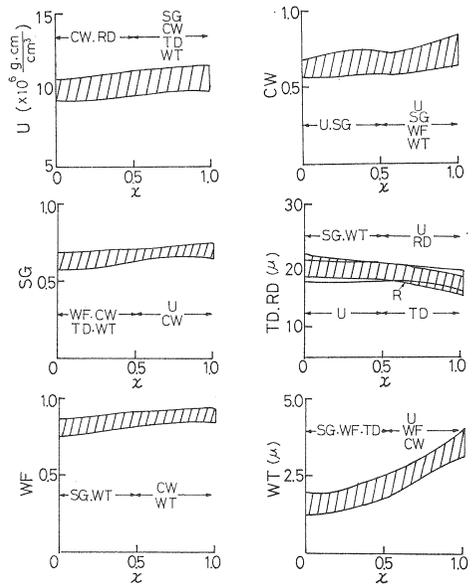


Fig. 13 マカンバ材の因子の年輪内変化
(年輪幅 2.8~3.9mm)

Variation of structural factors within an annual ring of Makanba wood (AR=2.8~3.9 mm).

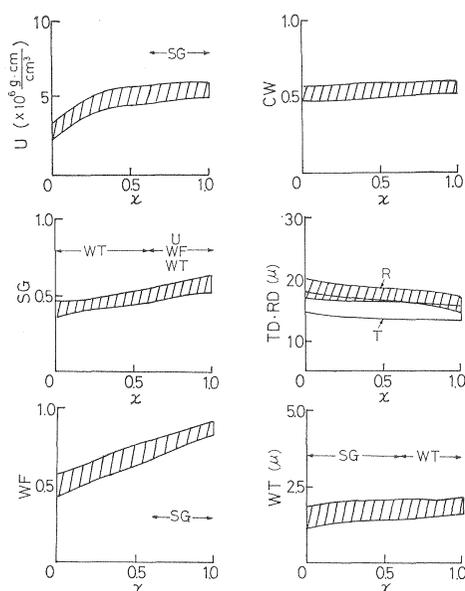


Fig. 14 トチノキ材の因子の年輪内変化 (年輪幅 2.5~3.2mm)
Variation of structural factors within an annual ring of Tochinoki wood (AR=2.5~3.2 mm).

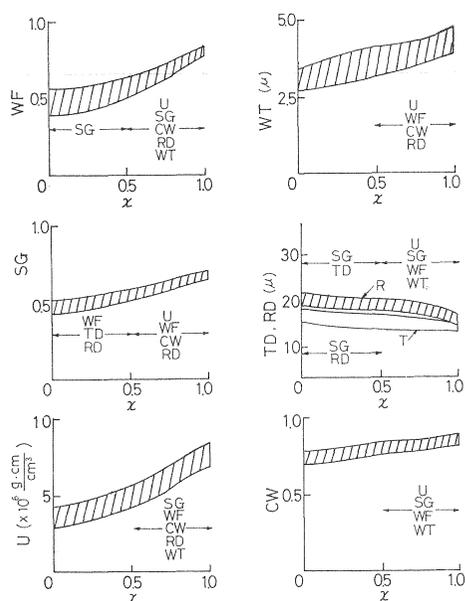


Fig. 15 ブナ材の因子の年輪内変化 (年輪幅 2.3~2.5mm)
Variation of structural factors within an annual ring of Buna wood (AR=2.3~2.5mm).

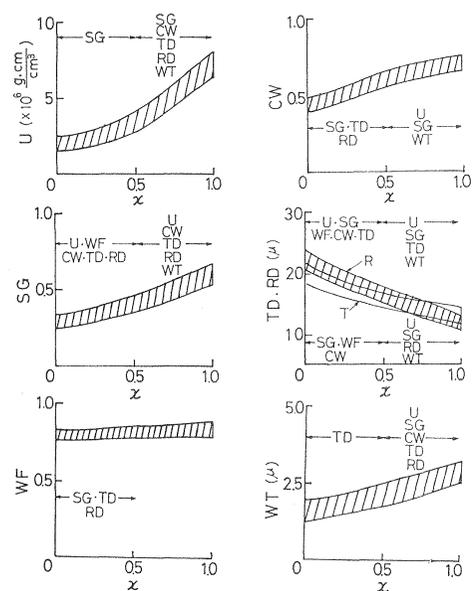


Fig. 16 クスノキ材の因子の年輪内変化 (年輪幅 3.2~3.5mm)
Variation of structural factors within an annual ring of Kusunoki wood (AR=3.2~3.5 mm).

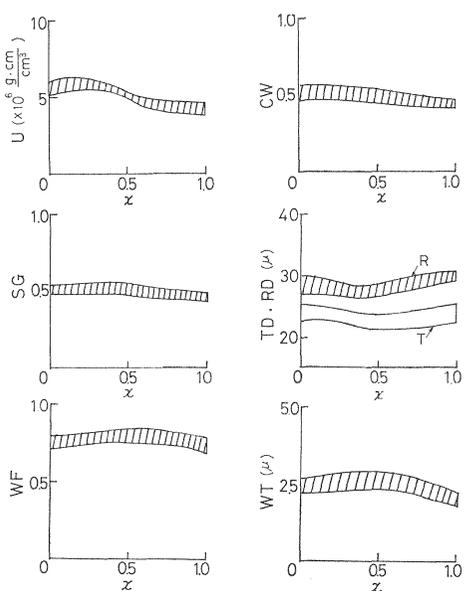


Fig. 17 レッドラワン材の因子の変化
Variation of structural factors of Red lauan.

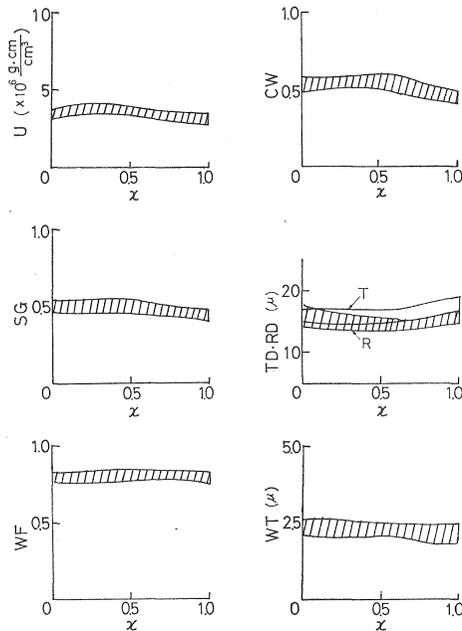


Fig. 18 マホガニー材の因子の変化
Variation of structural factors of Mahogany.

環孔材では、Fig. 10 の領域-1 のように、環孔部で因子の変化が大きいため、単相関係数は高い値となる。この図の WT, Fig. 11 の U, WF のように带状曲線が特殊な形であると、他因子との相関性が低下する。Fig. 12 のシオジの場合は、領域-1, -2 を通じて、因子間の相関性が極めて高い。

散孔材では、Fig. 13 のカバのごとく、年輪内で因子の変化が少ないと相関は低く、相関係数は環孔材より小さい。Fig. 14 のトチノキでは、WF のように带状曲線の変化が大きいが、他の因子との関係は低い。Fig. 15 のブナのように、春材に比して夏材の特徴が現われる樹種では、領域-2 の因子間の相関が高くなっている。

特殊なものに、Fig. 16 のクスノキでは、TD, RD, SG が相関の中心になる。Fig. 17, 18 などの南洋材は年輪構造を有しないため、因子間の相

Table 1. 構成因子間の単相関係数の平均
Averages of correlation coefficients between structural factors

範 囲 Range	平均単相関係数の順位 Ranking of mean correlation coefficients
>0.80	NH モミ (Momi) 0.838, アカマツ (Akamatsu) 0.837, ヒノキ (Hinoki) 0.812 LH シオジ (Shioji) 0.805
0.70~0.79	NH スギ (Sugi) 0.788, ツガ (Tsuga) 0.779, エゾマツ (Ezomatsu) 0.754, カヤ (Kaya) 0.750, ヒバ (Hiba) 0.743, ヒメコマツ (Himekomatsu) 0.740, トドマツ (Todomatsu) 0.738, シラベ (Shirabe) 0.711 LH ヤマゲワ (Yamaguwa) 0.722, マカンバ (Makanba) 0.717, クスノキ (Kusunoki) 0.714, ハルニレ (Harunire) 0.708, ミズナラ (Mizunara) 0.704
0.60~0.69	NH トウヒ (Tōhi) 0.610 LH セン (Sen) 0.687, シナノキ (Shinanoki) 0.674, ブナ (Buna) 0.670, アサダ (Asada) 0.638, カツラ (Katsura) 0.632, ヤチダモ (Yachidamo) 0.625
0.50~0.59	NH サワラ (Sawara) 0.517 LH イタヤカエデ (Itayakaede) 0.596, ケヤキ (Keyaki) 0.582
<0.49	LH キリ (Kiri) 0.478, トチノキ (Tochinoki) 0.403, チーク (Teak) 0.287, ホオノキ (Hōnoki) 0.268, マホガニー (Mahogany) 0.254, レッドラワン (Red lauan) 0.227, アピトン (Apitong) 0.227, アカガシ (Akagashi) 0.226, ホワイトメランチ (White meranti) 0.182, ウオルナット (Walnut) 0.170

関は極めて低い。

樹種べつに因子間の相関性について指標値を得るため、単相関係数の平均を計算した。SG, WF, CW, TD, RD, WT 相互間の単相関係数の平均値、上記の各因子と U の単相関係数の平均値を計算した。前者を因子間、後者を U 間の平均単相関係数と略称して Table 1, 2 に示す。表では、5 ランクに分類し、平均単相関係数の大小の順に並べてある。因子間の平均の単相関係数は 0.6~0.8 に集中するが、針葉樹材の方が広葉樹材より大きい傾向がある。年輪構造を有しない南洋材の平均単相関係数は最も低い。これらの表から、一般には、年輪の半径方向に不均質度の高いものは、平均の単相関係数も大きくなる傾向が見出される。

一方、摩耗抵抗 U と各因子の単相関係数の平均値は、針葉樹材では 0.8 以上に集中してくる。広葉樹材では 0.6~0.8 となり、やや低い。 U 間と因子間の平均単相関係数を Fig. 19 のように表わ

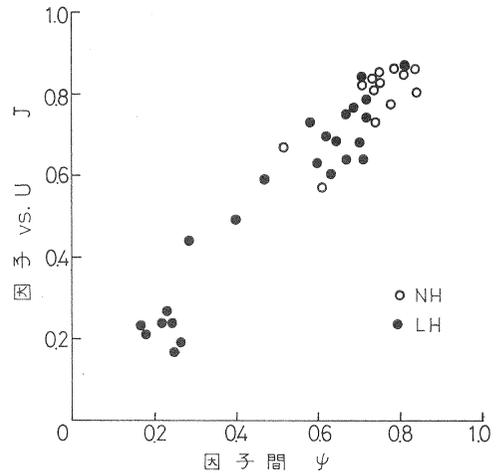


Fig. 19 構成因子間および因子 vs. U の平均の相関係数の関係

Relation between mean correlation coefficient (ψ) of structural factors and that of structural factors vs. U .

Table 2. 摩耗抵抗と因子との単相関係数の平均
Averages of correlation coefficient of each structural factor vs. abrasive resistance

範 囲 Range	平均単相関係数の順位 Ranking of mean correlation coefficients	
> 0.8	NH	スギ (Sugi) 0.862, アカマツ (Akamatsu) 0.858, ヒノキ (Hinoki) 0.850, カヤ (Kaya) 0.846, ヒメコマツ (Himekomatsu) 0.842, エゾマツ (Ezomatsu) 0.831, シラベ (Shirabe) 0.819, トドマツ (Todomatsu) 0.809, モミ (Momi) 0.802
	LH	シオジ (Shioji) 0.863, クスノキ (Kusunoki) 0.838
0.70~0.79	NH	ツガ (Tsuga) 0.769, ヒバ (Hiba) 0.726
	LH	ヤマグワ (Yamaguwa) 0.794, セン (Sen) 0.760, ブナ (Buna) 0.750, マカンバ (Makanba) 0.741, ケヤキ (Keyaki) 0.733
0.60~0.69	NH	サワラ (Sawara) 0.667
	LH	ヤチダモ (Yachidamo) 0.693, アサダ (Asada) 0.689, ミズナラ (Mizunara) 0.681, シナノキ (Shinanoki) 0.638, ハルニレ (Harunire) 0.635, イタヤカエデ (Itayakaede) 0.631
0.50~0.59	NH	トウヒ (Tōhi) 0.571
	LH	カツラ (Katsura) 0.599, キリ (Kiri) 0.591
< 0.499	LH	トチノキ (Tochinoki) 0.496, チーク (Teak) 0.445, アピトン (Apitong) 0.274, アカガシ (Akagashi) 0.238, レッドラワン (Red lauan) 0.238, ウオルナット (Walnut) 0.234, ホワイトメランチ (White meranti) 0.206, ホオノキ (Hōnoki) 0.197, マホガニー (Mahogany) 0.167

す。これから、因子の相互関係のつよい年輪構造を有する樹種は、この効果が U にも反映していることがわかる。

4. 摩耗抵抗に影響する構成因子(1) (比重の効果)

付表 (Table 12) の U と各因子間との単相関係数を度数分布で表わす。横軸は単相関係数のランク、縦軸には各ランクに属している樹種数 (領域-1, -2を含む) を示すと, Fig. 20~22 になる。

針葉樹材では、単相関係数の範囲 0.9~1.0 にある SG の樹種数は 16 であり、その割合は 62% となる。

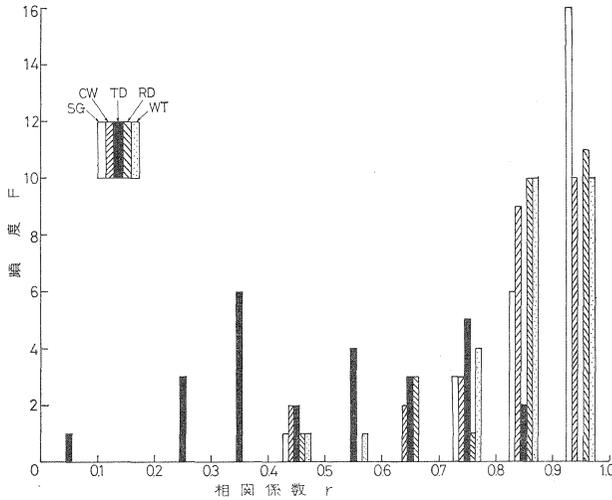


Fig. 20 針葉樹材の U に対する因子の相関係数の頻度
Frequency (F) of each correlation coefficient (r) of structural factor against U of softwood.

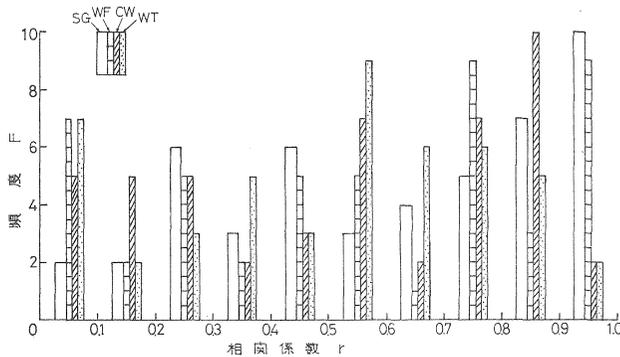


Fig. 21 広葉樹材の U に対する因子の相関係数の頻度
Frequency (F) of each correlation coefficient (r) of structural factor against U of hardwood.

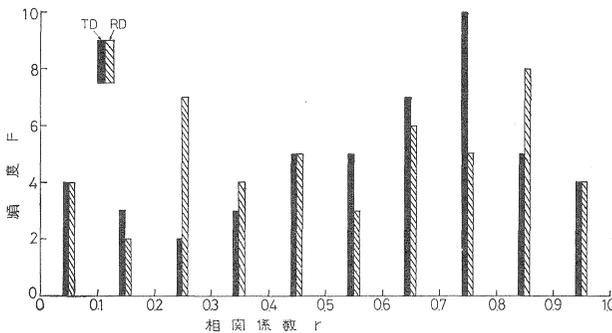


Fig. 22 広葉樹材の U に対する因子の相関係数の頻度
Frequency (F) of each correlation coefficient (r) of structural factor against U of hardwood.

0.8~1.0に属するのは22であるから、割合は85%まで上昇する。同様に、0.8~1.0に属するCWは73%、RDは81%、WTは77%となり、この因子は*U*と比較的相関性がよい。これらの因子に対して、TDは広いランクに分散している。

広葉樹材の場合では、0.8~1.0に属するSGの樹種数は17であり、割合は35%である。南洋材を除くと47%まで上昇する。これは、南洋材の因子の*U*に対する単相関係数が0.4以下のものが多いためである。WFは広い範囲にあり、CWは0.7~0.9でピークが推定される。WTは0.5のランクを中心に両側に広がる。TDは0.6~0.8にピークがある。これらの事実から、*U*に対しては全樹種を通してみると、SGの効果が最も大きいことがわかる。付表（Table 13, 14）には領域-1, -2における*U*に対するSGの直線回帰式の係数を記載した。

5. 摩耗抵抗に影響する構成因子（2）（樹種の特性）

摩耗抵抗は理論的には比重、細胞の寸度などによって表わされる。この実験的証明として、年輪内における比重、細胞構造（因子）の変化は摩耗抵抗の変動に対応していることが単相関係数の解析などから明らかとなった。これらの理論と実験による解析はさらに重回帰分析による数値解と対応させることができる。

重回帰分析では、ガウスの最小二乗法の考え方から、偏差平方和 s

$$s = \sum (y_i - b_0 - b_1x_{i1} - b_2x_{i2} - \dots - b_kx_{ik})^2 \quad (35)$$

が最小になるように、パラメータ b をきめる。したがって、 y の動きに最も適した偏回帰係数（最良不偏推定値）が得られる。しかし、説明変数 (x_k) 間の相互の関係から、 y に対して寄与の大きい説明変数（因子）の偏相関係数が小さいこともあり、一方、 y に対して関係の少ない説明変数が計算の上から抽出されたりする。これらをチェックしながら、次の立場で重回帰分析を行った。

（1）針葉樹材の場合

説明変数は、①SG、②CW、③TD、④RD、⑤WTを用い、⑥*U*の重回帰分析を行った。変数の選択は、全変数①~⑤を用いる、実験と理論より①のみを用いる、①の代用として②または③④⑤を用いる、細胞壁量に形態因子を加えたもの②④または②③を用いる、測定が簡単な④または⑤を用いる、④の測定で誤差が伴われているとき、①を補かんする意味から①②④または①②③⑤を用いる、などの場合を電算機（プログラム¹⁾）で計算した。その他、重相関係数、偏相関係数、偏回帰係数なども求めた。

*U*の年輪内の変化とよく対応する（年輪内の変化に影響する）因子（特性因子）を選ぶ場合、*U*と特性因子の単相関係数が大きいことが必要である。これに加えて、各重回帰式で特性因子が主要な働きをしていること、すなわち、特性因子の偏回帰係数の t 値が有意となり、標準偏回帰係数が最大になること、さらに、*U*の特徴的な変化を固有に説明できる因子であること（偏相関係数が大であること）などをあげることができる。この観点に立って、重回帰分析の結果をまとめ、特性因子を選ぶ基準を作ると下記のごとくである。

a) *U*に対する単相関係数が0.8以上。

b) ①~⑤:⑥の重回帰において、*U*に対する偏相関係数が0.5以上（相関表より、 $n=20$ における5%有意点は0.497であるから）

c) 標準偏回帰係数が最大のもの

a)~c) にもとづいて、各樹種ごとに抽出された特性因子を Table 3 に示す。因子は因子番号で示す。

欄 [1] で記載した因子は単相関係数が 0.8 以上であり、偏相関係数も 0.5 以上を原則としている。偏相関係数が 0.5 以下のものは、0.5 以上がない樹種で、0.5 以下で代用したものである。() は 5 個の標準偏回帰係数の総和を記入している。これから [1] の因子の標準偏回帰係数の大きさを比較でき、U への寄与の程度が推定される。[2] は [1] を補かする補助因子で、[1] について U への寄与が大きいものである。しかし、補助因子は上記の a)~c) の 3 条件をすべて満足していない。

2 つ以上の因子間で相互に相関性が高い場合、U に対して、その 1 つの因子の偏相関係数が大きいと、他の因子の U に対する偏相関係数は小さくなることもある。このように、第 2 の U の特性因子が隠れる可能性もあるので、この防止のため因子を組み合わせたチェックも行った。

既述のように、Table 3 の [1] は U に最も寄与の大きい特性因子であるが、この因子の年輪内の変

Table 3. 針葉樹材の特性因子の偏相関係数
Partial correlation coefficient of main structural factor of softwood

樹種 Wood species (-1: x=0~0.65 -2: x=0.65~1.0)	[1]		[2]		重相関係数 (自由度修正) Multiple correlation coefficient adjusted in D. F. (1% level of significance)			
	偏相関係数 Partial correlation coefficient	標準偏回帰係数 Standard regression coefficient (全係数の合計) Sum of SRC	偏相関係数 Partial correlation coefficient	標準偏回帰係数 Standard regression coefficient	U vs. RD	変数組合せによる 最大値 Maximum of multiple correlation		
ヒノキ Hinoki	-1	② 0.491	0.73 (1.12)	⑤ 0.410	0.32	0.660	②	0.947
	-2	① 0.772	1.28 (2.19)			0.849	①②③⑤	0.948
サワラ Sawara	-1	④ -0.521	-0.37 (1.21)	⑤ 0.359	0.41	0.722	③④⑤	0.856
	-2	④ -0.785	-1.04 (3.17)	⑤ 0.654	1.01	0.938	①~⑤	0.956
ヒバ Hiba	-1	① 0.471	1.48 (2.66)			0.644	①②④	0.798
	-2	④ -0.447	-1.43 (2.26)			0.920	②④	0.937
モミ Momi	-1	⑤ 0.551	0.87 (2.05)	① 0.277	0.47	0.638	⑤	0.837
	-2	① 0.422	0.56 (1.31)	④ -0.310	-0.28	0.954	①②③⑤	0.966
トドマツ Todomatsu	-1	④ -0.595	-0.68 (1.18)	① 0.340	0.33	0.843	①②④	0.888
	-2	④ -0.526	-0.79 (2.65)	② 0.420	0.64	0.973	④	0.973
シラベ Shirabe	-1	① 0.445	-0.51 (1.23)	④ -0.368	-0.30	0.863	①②④	0.922
	-2	⑤ 0.868	0.80 (1.16)	① 0.306	0.20	0.892	①②③⑤	0.980
エゾマツ Ezomatsu	-1	① 0.235	0.44 (0.97)	⑤ 0.188	0.22	0.863	①	0.911
	-2	① 0.398	0.30 (1.02)	④ -0.312	-0.28	0.948	①②④	0.964
トウヒ Tōhi	-1	⑤ 0.511	0.38 (1.00)	① 0.409	0.54	0.807	①②③⑤	0.918
	-2	⑤ 0.597	2.40 (7.72)	② 0.463	1.31			
アカマツ Akamatsu	-1	② 0.387	0.39 (1.24)	① 0.234	0.36	0.892	①②③⑤	0.955
	-2	① 0.928	1.22 (1.77)			0.832	①②③⑤	0.982
ヒメコマツ Himekomatsu	-1	⑤ 0.652	0.57 (1.20)	④ -0.333	-0.18	0.871	①~⑤	0.972
	-2	⑤ 0.580	0.78 (1.67)	② 0.354	0.53	0.901	⑤	0.967
ツガ Tsuga	-1	④ -0.598	-0.49 (1.02)	② 0.291	0.29	0.931	①②④	0.951
	-2	④ -0.594	-0.80 (2.94)	⑤ 0.436	0.64	0.834	①~⑤	0.905
カヤ Kaya	-1	③ -0.548	-0.31 (1.09)	④ -0.271	-0.26	0.887	③④⑤	0.943
	-2	④ -0.697	-0.72 (1.74)	① 0.555	0.50	0.949	①②④	0.965
スギ Sugi	-1	① 0.707	0.67 (1.21)	④ -0.286	-0.18	0.934	①②④	0.976
	-2	② 0.469	0.42 (1.34)	④ -0.296	-0.33	0.961	②④	0.968

全因子 (All factors) : ① SG, ② CW, ③ TD ④ RD, ⑤ WT

化率 (付表 Table 10, 11 の m_1) も他の因子より大きいことが予想される。年輪内の各因子の m_1 を直接比較できないので、 m_1 を次のように変換する。

x, y (ここでは因子) の領域-1 または -2 における平均を \bar{x}, \bar{y} とすると、直線回帰式は

$$y - \bar{y} = m_1(x - \bar{x}) \tag{36}$$

x, y の標準偏差を σ_x, σ_y とし、 $X = x - \bar{x}/\sigma_x$ とおくと、 Y は

$$Y = \frac{y - \bar{y}}{\sigma_y} = m_1 \cdot \frac{x - \bar{x}}{\sigma_x} = m_1 \cdot \frac{\sigma_x}{\sigma_y} \cdot X = m_1' \cdot X \tag{37}$$

で表わされる。各樹種ごとに、SG~WT の 5 因子について m_1' を計算した。 m_1' の順位を下の例のようにつけた。

ヒノキ-1

	SG	CW	TD	RD	WT
m_1	0.080	0.165	-3.716	-4.920	0.699
σ_x	0.183	0.183	0.183	0.183	0.183
σ_y	0.018	0.034	1.027	1.272	0.150
m_1'	0.813	0.888	-0.662	-0.708	0.853
m_1' の順位	3	1	5	4	2

ヒノキ-2

	SG	CW	TD	RD	WT
m_1	0.519	0.674	-7.778	-31.233	2.095
σ_x	0.108	0.108	0.108	0.108	0.108
σ_y	0.060	0.081	1.236	3.786	0.272
m_1'	0.934	0.898	0.680	0.891	0.832
m_1' の順位	1	2	5	3	4

ヒノキ-1, -2 では、 m_1' の順位から、CW と SG の年輪内の変化勾配が最も大きいことがわかる。針葉樹材の場合、SG と CW は、 $SG = k \cdot CW$ より知れるごとく、多くの樹種で同じ性質とみなしてよい。ゆえに、ヒノキの年輪内では SG (CW) が注目すべき因子である。一方、Table 3 の重回帰分析の結果でも、②CW と ①SG の単相関、偏相関、標準回帰の各係数が大きく、 U をよく説明している。これらの結果から、SG (CW) を特性因子と考える。各樹種について、同じような考察を進める。それらをまとめたのが Table 4 である。表より、特性因子は大別すると 3 つになる。特性因子の各樹種における m_1 の順位をカッコで示す。多くの樹種で、特性因子の m_1' は 1 位であるから、年輪内で変化の大きい因子が U の変化をよく説明していることになる。

WT の m_1' を 13 樹種 -2 で比較すると

0.92 以下のもの：ヒノキ (0.83), ヒバ (0.86), エゾマツ (0.86), カヤ (0.90), シラベ (0.90), トドマツ (0.91), サワラ (0.91)

0.92 以上のもの：モミ (0.92), アカマツ (0.92), ツガ (0.93), トウヒ (0.93), ヒメコマツ (0.94), スギ (0.95)

カッコ内は m_1' である。0.92 以下のグループは RD-type のものに多く、0.92 以上は SG, WT-type

Table 4. 針葉樹材の特性因子の分類
Classification of main structural factors of softwood

特性因子 Main factor	該 当 樹 種 Wood species of U caused by main factor
SG(CW)-type	ヒノキ Hinoki-1 (1), -2 (1); エゾマツ Ezomatsu-1 (1), -2 (1); アカマツ Akamatsu-1 (2), -2 (1); スギ Sugi-1 (1), -2 (3); モミ Momi-2 (1); シラベ Shirabe-1 (1); ヒバ Hiba-1 (3)
WT-type	トウヒ Tōhi-1 (3), -2 (3); ヒメコマツ Himekomatsu-1 (3), -2 (3); モミ Momi-1 (2); シラベ Shirabe-2 (1)
RD-type	サワラ Sawara-1 (3), -2 (1); トドマツ Todomatsu-1 (1), -2 (2); ツガ Tsuga-1 (1), -2 (1); カヤ Kaya-2 (4); ヒバ Hiba-2 (1)
TD-type	カヤ Kaya-1 (5)

カッコは m_1' の順位 Brackets indicate the order of m_1'

に多い。すなわち、針葉樹材の春材より夏材に至る細胞壁の肥厚の状態が U の変化に影響することがわかる。次に各樹種で注目すべき点を列記する。ここでは各相関係数を単相、偏相、重相と略す。重回帰式で、TD, RD, WT の単位は μ , U の単位は $\times 10^6 \text{ g} \cdot \text{cm} / \text{cm}^3$ である。

ヒノキ-1 の CW, WT は U に対して単相が最も大きく、因子の組み合わせをかえても、両者の偏相は最大である。CW と SG の単相は 0.947 で、ヒノキ-2 の SG と併せて U の変化を十分説明している。-2 の SG は CW, WT, RD と単相が 0.9 程度で、 U に対して典型的な SG-type となる。適切な回帰式は

$$(-1) \quad U = 32.141 \cdot \text{CW} - 8.107 \quad (R = 0.947^{**})$$

$$(-2) \quad U = 3.570 \cdot \text{SG} + 2.919 \quad (R = 0.941^{**})$$

ここに R は自由度修正した重相関係数である。

サワラ-1 では因子間の相関が低いが、-2 になると RD を中心として、相互に 0.9 程度の高い単相関にかわる。これが U の増加につながっている。-1 に比し -2 における RD の m_1 は他樹種に比しかなり大きい。適切な回帰式は

$$(-1) \quad U = -0.0645 \cdot \text{TD} - 0.0932 \cdot \text{RD} + 1.446 \cdot \text{WT} + 4.912 \quad (R = 0.856^{**})$$

$$(-2) \quad U = -0.294 \cdot \text{RD} + 14.132 \quad (R = 0.938^{**})$$

ヒバ-1 の SG は RD と 0.958 の高い単相関で、それらが -2 の RD と関連している。因子組み合わせをかえても、RD が含まれると U との重相が高くなる。したがって、RD-type といえる。

$$(-1) \quad U = 4.846 \cdot \text{SG} - 0.105 \quad (R = 0.767^{**})$$

$$(-2) \quad U = -0.231 \cdot \text{RD} + 6.941 \quad (R = 0.920^{**})$$

モミ-1 の WT は U との偏相、標回が最大で、SG との単相は 0.885 と高い。-2 の SG の m_1 は針葉樹の中で、一番大きい。因子間の単相 (平均) も樹種間で最大である。SG-type といえる。

$$(-1) \quad U = 1.399 \cdot \text{WT} - 1.736 \quad (R = 0.837^{**})$$

$$(-2) \quad U = 12.160 \cdot \text{SG} - 1.236 \quad (R = 0.955^{**})$$

トドマツ-1, -2 では、RD の m_1 が他樹種に比べて大きい。

$$(-1) \quad U = 4.810 \cdot SG + 0.520 \cdot CW - 0.039 \cdot RD + 1.982 \quad (R = 0.888^{**})$$

$$(-2) \quad U = -0.0734 \cdot RD + 4.841 \quad (R = 0.973^{**})$$

シラベ-1 と -2 を通じて, SG, WT, RD が主体的に U に関係する。因子間の相関は低い。

$$(-1) \quad U = 12.938 \cdot SG + 66.535 \cdot CW - 0.089 \cdot RD + 0.938 \quad (R = 0.922^{**})$$

$$(-2) \quad U = -0.251 \cdot TD - 0.033 \cdot RD + 4.657 \cdot WT + 3.188 \quad (R = 0.980^{**})$$

エゾマツ-1 では, TD を除くと, U との単相は高く, それぞれが寄与している。しかし, SG がやや優位になり, -2 と関連する。-2 は SG, CW, RD が主体的で, とくに SG が中心となって U に寄与している。

$$(-1) \quad U = 24.338 \cdot SG - 5.999 \quad (R = 0.911^{**})$$

$$(-2) \quad U = 11.636 \cdot SG + 8.002 \cdot CW - 0.089 \cdot RD - 1.746 \quad (R = 0.964^{**})$$

トウヒ-1 では WT, SG が U に対して, 偏相, 標回が高く, -2 では U に変化がなくなるため, 各因子の単相は低くなる。因子間の単相 (平均) も低いから, 別の観点では均質な年輪構造といえる。

$$(-1) \quad U = 11.398 \cdot SG + 1.853 \cdot CW - 0.011 \cdot TD + 1.321 \cdot WT - 4.785 \quad (R = 0.918^{**})$$

アカマツ-1 では, CW, SG が U に対して, 偏相, 標回が高いが, 因子を組みかえると, その他の因子も U に寄与してくる。因子間の単相 (平均) が最大である。-2 では SG がつよく U に作用し, この因子の m_1' も他樹種より大きい。

$$(-1) \quad U = 4.705 \cdot SG + 3.242 \cdot CW - 0.040 \cdot RD + 1.769 \quad (R = 0.951^{**})$$

$$(-2) \quad U = 15.429 \cdot SG - 1.944 \quad (R = 0.979^{**})$$

ヒメコマツ-1, -2 では, U に対する WT の偏相, 標回が大きい, m_1' は SG, CW とほとんど同じである。WT は SG, CW と 0.9 程度の単相関になる。

$$(-1) \quad U = 1.318 \cdot WT - 0.213 \quad (R = 0.952^{**})$$

$$(-2) \quad U = 0.947 \cdot WT - 1.400 \quad (R = 0.967^{**})$$

ツガ-1, -2 を通じて, RD が特性因子になるが, -1 では CW, -2 では SG, CW らと 0.9 程度の単相関になるから, RD-type に SG-type が重なっている。しかし, RD の m_1 は他樹種に比べると大きいので, RD を主要なものとするべきである。

$$(-1) \quad U = 13.219 \cdot CW - 0.111 \cdot RD + 3.550 \quad (R = 0.953^{**})$$

$$(-2) \quad U = -0.0504 \cdot RD + 6.700 \quad (R = 0.834^{**})$$

カヤ-1 では, TD, WT, RD, -2 では, RD, SG の U に対する偏相, 標回が大きい。各因子が一様に関係する。

$$(-1) \quad U = -0.163 \cdot TD - 0.071 \cdot RD + 1.100 \cdot WT + 7.030 \quad (R = 0.943^{**})$$

$$(-2) \quad U = -0.715 \cdot RD + 25.533 \quad (R = 0.948^{**})$$

スギ-1 では SG, -2 では CW の U に対する偏相, 標回が大きい。この因子の m_1 も大きいランクにはいり, RD も補助因子となっている。このような年輪は U に対して典型的な SG-type になる。

$$(-1) \quad U = 7.649 \cdot SG + 8.890 \cdot CW - 0.0344 \cdot RD - 1.368 \quad (R = 0.976^{**})$$

$$(-2) \quad U = 9.720 \cdot CW - 0.177 \cdot RD + 6.669 \quad (R = 0.968^{**})$$

実験式 $U = m_1 x + m_2$ (付表 Table 10, 11) は調査した年輪に限定して使用するしかない。一方, U -因子の重回帰式は, より一般的になって, 類似の年輪に広く適用できる。

(2) 広葉樹材の場合

説明変数として、① SG, ② WF (=1-V, V は道管要素率), ③ CW, ④ TD, ⑤ RD, ⑥ WT を用いて、⑦ U の重回帰分析を行った。U に対して全変数 ①~⑥ を用いる場合と以下のように適当な変数を組み合わせる場合について計算した。すなわち、既述した実験と理論から ①, ① に代わるもの ②③, または ②④⑤⑥ などを用いる。さらに、細胞壁量に形態的因子を加えたもの ②③⑤, 測定が簡単なもの ②⑤, ① の測定で誤差を生じたとき、これを補かんするもの ①③⑤, または ①②④⑥ などの場合を検討した。

広葉樹材の因子間および U に対する各因子の単相関係数は針葉樹材に比べてかなり低いので、針葉樹材で定めた特性因子を求めるための基準に次の修正を施した。

a') U に対する単相関係数は 0.7 以上。

b), c) は針葉樹材と同じ。

樹種によっては、上記の条件のいずれかが満足されないとき、それに次ぐもので代用した。Table 5 の [1] で列記したものが特性因子で、[2] は補助的な因子である。[1] の () は標準偏回帰係数の総和である。

Table 5 の各樹種の特性因子をみると、-1 と -2 で特性因子が異なるものがある。これは年輪内で、U への寄与の推移を示唆する。南洋材では、チークを除くと、-1 と -2 は試料採取時に便宜的につけたもので、国産材のような年輪構造上の特別な位置を表わすものでない。

-1 では、SG と WF が単独あるいは両者で特性因子になるもの、TD が共通項として特性因子になるもの、などに分けられる。-2 では、SG に CW と WT が重なる場合が多い。年輪を通してみると、環孔

Table 5. 広葉樹材の特性因子の偏相関係数
Partial correlation coefficient of main structural factor of hardwood

樹種 Wood species	[1]		[2]		重相関係数 (自由度修正) Multiple correlation coefficient adjusted in D. F. (1% level of significance)	
	偏相関係数 Partial correlation coefficient	標準偏回帰係数 Standard regression coefficient (全係数の合計 Sum of SRC)	偏相関係数 Partial correlation coefficient	標準偏回帰係数 Standard regression coefficient	U vs. RD	変数組合せによる 最大値 Maximum of multiple correlation
セ ン Sen	(-1) ⑤ -0.862	-0.67 (1.21)	⑥ 0.573	0.20	0.968	②④⑤⑥ 0.982
	(-2) ① 0.625	1.01 (2.45)	② 0.435	0.32	0.717	①②④⑥ 0.843
ミズナラ Mizunara	-1 ① 0.467	0.42 (1.55)	④ -0.470	-0.35	0.917	①②④⑥ 0.957
	-2 ③ 0.477	0.78 (1.97)	⑥ 0.220	0.27		②③ 0.556*
ヤマグワ Yamaguwa	(-1) ① 0.564	0.52 (1.23)	② 0.471	0.38	0.960	①~⑥ 0.961
	(-2) ③ 0.368	0.56 (1.03)	① 0.207	0.20	0.855	①③⑤ 0.878
ヤチダモ Yachidamo	-1 ① 0.606	0.93 (1.40)	② 0.260	0.23	0.940	① 0.973
	-2 ⑥ 0.418	0.59 (2.26)	① 0.322	0.58	0.666	②④⑤⑥ 0.779
シオジ Shioji	(-1) ② 0.597	0.63 (1.79)	① 0.403	0.51	0.969	②⑤ 0.969
	(-2) ⑤ -0.629	-0.73 (2.21)	⑥ 0.472	0.49	0.900	①~⑥ 0.941
ハルニレ Harunire	(-1) ① 0.743	0.65 (1.12)	② 0.423	0.31	0.953	①③⑤ 0.973
	(-2) ③ 0.339	0.64 (2.02)	① 0.263	0.47	0.492	②⑤ 0.492*
ケヤキ Keyaki	(-1) ② 0.377	0.46 (1.12)	③ 0.416	0.25	0.882	②③ 0.920
	(-2) ② 0.479	0.47 (1.28)	⑤ -0.254	-0.27	0.862	②③⑤ 0.870

樹種 Wood species	[1]		[2]		重相関係数 (自由度修正) Multiple correlation coefficient adjusted in D. F. (1% level of significance)		
	偏相関係数 Partial correlation coefficient	標準偏回帰係数 Standard regression coefficient (全係数の合計 Sum of SRC)	偏相関係数 Partial correlation coefficient	標準偏回帰係数 Standard regression coefficient	U vs. RD	変数組合せによる 最大値 Maximum of multiple correlation	
イタヤカエデ Itayakaede	-1	③ 0.474	0.61 (1.46)	④ -0.274	-0.21	0.878	①③⑤ 0.912
	-2	④ -0.727	-1.12 (2.53)				②④⑤⑥ 0.797
マカンバ Makanba	-1	⑤ -0.809	-0.58 (2.12)	③ 0.655	0.46	0.857	①~⑥ 0.928
				④ 0.544	0.40		
	-2	⑥ 0.551	0.54 (1.44)	④ -0.330	-0.29	0.751	①②④⑥ 0.889
アサダ Asada	-1	④ -0.696	-1.14 (2.91)	⑥ 0.449	0.42		②④⑤⑥ 0.745
	-2	⑥ 0.642	0.76 (1.39)	① 0.523	0.30	0.825	①②④⑥ 0.959
カツラ Katsura	-1	④ -0.613	-1.07 (2.21)			0.614*	①②④⑥ 0.779
	-2	① 0.650	0.56 (1.29)	⑥ 0.540	0.39	0.668	①②④⑥ 0.914
ブナ Buna	-1	⑥ 0.617	0.56 (1.68)	④ -0.308	-0.39	0.579*	②④⑤⑥ 0.809
				① 0.265	0.39		
	-2	② 0.672	0.38 (1.06)	① 0.490	0.34	0.955	①②④⑥ 0.974
トチノキ Tochinoki	(-1)	② 0.619	0.60 (1.33)	③ 0.352	0.26	0.718	②③ 0.776
	(-2)	① 0.635	1.48 (2.41)			0.682	① 0.814
クスノキ Kusunoki	-1	① 0.576	0.32 (1.46)	③ 0.431	0.36	0.822	①~⑥ 0.920
				⑥ 0.458	0.30		
	-2	① 0.687	0.64 (1.15)	④ -0.648	-0.25	0.959	①②④⑥ 0.990
ホオノキ Hōnoki	-1	④ 0.609	0.96 (2.83)				
	-2	① 0.497	0.68 (2.57)				
キリ Kiri	-1	① 0.752	0.61 (2.21)	③ 0.728	0.48	0.706	①~⑥ 0.896
				② 0.598	0.45		
	-2	① 0.644	0.92 (1.84)	③ 0.456	0.38	0.785	①③⑤ 0.875
シナノキ Shinanoki	(-1)	④ -0.866	-0.70 (1.57)	② 0.744	0.48	0.907	①②④⑥ 0.978
	(-2)	③ 0.378	-0.62 (1.39)	⑤ -0.210	-0.40		①③⑤ 0.670
アカガシ Akagashi	-1	② 0.399	0.49 (1.64)	⑤ -0.379	-0.31	0.517*	①③⑤ 0.622*
				① 0.280	0.30		
	-2	⑥ 0.577	0.61 (1.71)				
ウォルナット Walnut	-1	④ -0.547	-0.62 (1.46)	⑤ -0.434	-0.36		②④⑤⑥ 0.611*
	-2	⑤ -0.464	-0.42 (1.30)	④ -0.297	-0.26		
アピトン Apitong	-1	⑥ 0.418	0.37 (1.79)	⑤ -0.322	-0.39		
				① 0.317	0.29		
レッドラワン Red lauan	-2	④ -0.560	-0.57 (2.00)	⑤ -0.559	-0.54		①~⑥ 0.672*
ホワイト メランチ White meranti	-1	③ 0.335	0.31 (1.21)	② 0.328	0.34		
	-2	① 0.465	0.56 (1.66)				
チーク Teak	-1	④ -0.723	-0.70 (1.57)	① 0.539	0.40		①②④⑥ 0.784
	-2	② 0.812	0.95 (1.36)	① 0.344	0.11	0.938	①②④⑥ 0.953
マホガニー Mahogany	-1	③ 0.542	0.64 (1.36)	④ 0.249	0.34		
	-2	⑥ 0.302	0.33 (1.19)				

* 印は有意水準 5% Mark (*) indicates 5% level of significance
 全因子 (All factors) : ① SG, ② WF, ③ CW, ④ TD, ⑤ RD, ⑥ WT

Table 6. 広葉樹材の特性因子の分類
Classification of main structural factors of hardwood

- 1		- 2
SG·WF-type	TD-type	SG·CW·WT-type
〔環孔材 Ring-porous wood〕		
ヤマグワ Yamaguwa (SG : 1, WF)		ミズナラ Mizunara (CW : 6, WT)
ヤチダモ Yachidamo (SG : 1, WF)		ヤマグワ Yamaguwa (CW : 2, SG)
シオジ Shioji (WF : 2, SG)		ヤチダモ Yachidamo (WT : 3, SG)
ハルニレ Harunire (SG : 2, WF)		ハルニレ Harunire (CW : 3, SG)
ミズナラ Mizunara (SG : 5, TD)		セン Sen (SG : 2, WF)
ケヤキ Keyaki (WF : 1, CW)		シオジ Shioji (RD : 3, WT)
〔散孔材 Diffuse-porous wood〕		
トチノキ Tochinoki (WF : 2, CW)	カツラ Katsura (TD : 1)	アサダ Asada (WT : 1, SG)
クスノキ Kusunoki (SG : 3, CW)	ホオノキ Hōnoki (TD : 5)	カツラ Katsura (SG : 5, WT)
キリ Kiri (SG : 4, CW)	シナノキ Shinanoki (TD : 3, WF)	トチノキ Tochinoki (SG : 1)
アカガシ Akagashi (WF : 6, RD)	イタヤカエデ Itayakaede (CW : 3, TD)	ホオノキ Hōnoki (SG : 1)
	マカンバ Makanba (RD : 6, CW, TD)	アカガシ Akagashi (WT : 6)
	アサダ Asada (TD : 1, WT)	ブナ Buna (WF : 2, SG)
	ブナ Buna (WT : 6, TD)	キリ Kiri (SG : 1, CW)
		マカンバ Makanba (WT : 1, TD)
		クスノキ Kusunoki (SG : 1, TD)
		シナノキ Shinanoki (CW : 4, TD)
チーク Teak (TD : 1, SG)	ウォルナット Walnut (TD : 2, RD)	ホワイトメランチ White meranti (SG : 1, CW)
	レッドラワン Red lauan (TD : 2, RD)	マホガニー Mahogany (CW : 2, WT)
		アピトン Apitong (WT : 4, RD)
		ケヤキ Keyaki (WF : 3, RD)
		イタヤカエデ Itayakaede (TD : 4)
	セン Sen (RD : 3, WT)	

カッコは (特性因子 : m_1' の順位, 補助因子)

Brackets : (Main factor : order of m_1' , subsidiary factor)

材では SG が主となり、-1 ではとくに WF (換言すれば、道管の要素率) の影響が目立っている。散孔材の場合、道管の径が小さく、比重が大きくなる年輪後半では、SG (重量系) が関与するが、前半 (-1) では、樹種によって異なる因子が現われている。これらを Table 6 にまとめて示す。樹種名の次の特性因子に付した数字は m_1' の順位である。針葉樹材ほどでないが、特性因子の m_1' の順位は比較的上位になっている。次に各樹種の問題点を概説する。

セン-1 の特性因子 RD は SG, WF との単相が高く、両者の m_1' の順位も 1, 2 位である。これは -2 の特性因子である SG につながる。SG を支配する CW と WF が他の樹種に比べて小さいわりに、 U が大きい。CW の m_1, m_1' の樹種間、因子間の順位はそれぞれ 1 位である。適切な回帰式は

$$(-1) \quad U = 2.162 \cdot WF - 0.150 \cdot TD - 0.581 \cdot RD + 1.204 \cdot WT + 16.989 \quad (R = 0.982^{**})$$

$$(-2) \quad U = 14.921 \cdot SG - 1.009 \quad (R = 0.812^{**})$$

ミズナラ-1 の道管が集中する孔圏では、SG および他の因子も U と相関がよい。WT は無関係である。孔圏外では U の変化が少なくなり、どの因子との相関も低くなる。

$$(-1) \quad U = 11.043 \cdot SG + 1.041 \cdot WF - 0.245 \cdot TD + 1.396 \cdot WT - 0.142 \quad (R = 0.957^{**})$$

$$(-2) \quad U = 2.059 \cdot WF + 3.710 \cdot CW + 3.855 \quad (R = 0.557^*)$$

ヤマグワの各因子と U との単相 (平均) は大きく、中でも SG, WF, CW が中心となる。

$$(-1) \quad U = 10.577 \cdot WF - 0.379 \cdot RD + 5.033 \quad (R = 0.960^{**})$$

$$(-2) \quad U = 4.426 \cdot SG + 5.601 \cdot CW - 0.014 \cdot RD + 4.243 \quad (R = 0.878^{**})$$

ヤチダモ-1 では、SG, WF のほかに CW, TD が U と 0.8 以上の単相になり、-2 では SG に WT が加わってくる。他樹種に比べて、-1 では WF と放射組織量が少なく、-2 では木部繊維の直径が大きいのであるが、WT の効果によって U を大きくしている。

$$(-1) \quad U = 27.464 \cdot SG - 7.606 \quad (R = 0.973^{**})$$

$$(-2) \quad U = 10.474 \cdot SG + 3.455 \quad (R = 0.710^{**})$$

シオジの U は比較的急増して大きくなる。-1 の急増部分は SG, WF と関係し、大きい単相になっている。つづいて孔圏外では、RD と WT が関係し、比較的大きい U になる。年輪内で、各因子間の単相、各因子と U との単相が大きいのが特徴である。

$$(-1) \quad U = 8.934 \cdot WF - 0.401 \cdot RD + 9.508 \quad (R = 0.969^{**})$$

$$(-2) \quad U = 2.456 \cdot WF - 0.956 \cdot RD + 25.800 \quad (R = 0.899^{**})$$

ハルニレ-1 の SG, WF, TD は相互に密で、 U とも単相が大きい。-2 になると、 U と WT は他の因子と相関が低くなり、重相も小さいものになる。

$$(-1) \quad U = 21.876 \cdot SG + 5.037 \cdot CW - 0.130 \cdot RD - 5.156 \quad (R = 0.973^{**})$$

$$(-2) \quad U = 5.644 \cdot SG + 4.817 \quad (R = 0.501^*)$$

ケヤキ-1 では、因子間の単相は広い範囲の値をとり、その平均は小さい。しかし、 U に対する WF, CW, SG の単相は、0.895, 0.801, 0.867 と大きく、適切な説明変数になる。孔圏の U が小さいのは WF の小さいためで、道管周辺の弱点部は少量の木部繊維で保護されている。この関係は -2 で道管が少なくなると、WF の効果がつよく現れる。また、因子間の相関も比較的高くなってくる。

$$(-1) \quad U = 3.755 \cdot WF + 9.577 \cdot CW - 4.878 \quad (R = 0.920^{**})$$

$$(-2) \quad U = 3.315 \cdot WF + 2.761 \cdot CW - 0.055 \cdot RD + 1.461 \quad (R = 0.870^{**})$$

イタヤカエデ-1では、CW-WFの単相0.901，CW-WTは0.868，CW-Uは0.830となって，CWが中心となる。他の各単相は小さい。-2では， U の変化も少なく，各因子も同様な傾向を示すから，単相0.751のTDが残って特性因子になっている。この現象は，年輪内で均一な木材でよく現れるので，一つの特徴といえる。-2における回帰式は適切でないので，省略する。

$$(-1) \quad U = 15.179 \cdot SG + 12.985 \cdot CW - 0.070 \cdot RD - 9.106 \quad (R = 0.912^{**})$$

マカンバ-1ではRDが関係し，CW，TDも補助的な作用をする。-2ではWTが年輪界に近づくと肥厚して， U を増大させている。年輪を通して，各因子とも変化が少ないが，相互関係は，たとえば単相(平均)で0.717， U とは単相(平均)0.741であるから，全樹種の中で中位よりやや上である。SGも大きいから， U も大きいクラスになる。

$$(-1) \quad U = 0.125 \cdot WF + 2.787 \cdot CW - 0.167 \cdot RD + 11.752 \quad (R = 0.908^{**})$$

$$(-2) \quad U = 15.968 \cdot SG + 0.295 \quad (R = 0.777^{**})$$

アサダ-1では，TD-Uの単相が-0.718，TD-RDの単相が0.818で，木部繊維の直径と関係が深い。TDの m_1' は目立って大きく，因子間での順位は1位である。-2ではWTが肥厚するので， U にもその影響が現れる。

$$(-1) \quad U = 16.919 \cdot SG - 2.077 \quad (R = 0.528^*)$$

$$(-2) \quad U = 13.557 \cdot SG + 7.948 \cdot CW - 0.259 \cdot RD - 0.259 \quad (R = 0.934^{**})$$

カツラ-1では，因子間および U との間の単相は低い。ただ，TD-RDの単相が0.875で，TDが U を説明するタイプになる。両者の m_1' はそれぞれ1，2位である。両者の m_1 の樹種間の順位は，それぞれ6位と3位で，けっこう大きい。しかし，全体的に U との相関が低く，-2では特性因子がSGにかわる。

$$(-2) \quad U = 5.567 \cdot SG + 0.674 \quad (R = 0.883^{**})$$

ブナ-1では，WT-SG，TD-Uの単相がそれぞれ0.7程度で関係し，春材の中で道管要素率の大きいところで，肥厚する細胞壁の強さが U を支えている。-2ではWFの m_1' が1位となって，SG，WTと共に U に関係する。しかし，年輪界に近いところでも，道管の割合が多いから， U は比重に対応せず小さい。

$$(-1) \quad U = 5.500 \cdot SG + 1.636 \cdot CW - 0.054 \cdot RD + 1.120 \quad (R = 0.603^*)$$

$$(-2) \quad U = 12.997 \cdot SG + 5.471 \cdot WF - 0.055 \cdot TD + 0.486 \cdot WT - 6.365 \quad (R = 0.974^{**})$$

トチノキ-1では，因子間の相関は低く， U とはWF，SGの単相が比較的大きい。-2でも，SG-WF-Uの関係が密である。

$$(-1) \quad U = 9.953 \cdot WF + 10.283 \cdot CW - 6.971 \quad (R = 0.775^{**})$$

$$(-2) \quad U = 5.790 \cdot SG + 2.408 \quad (R = 0.814^{**})$$

クスノキ-1では U に対して，SG，CW，WTが中心であるが，SGがベースになる。-2でもSGが主になり，これと U および他因子との単相も0.7以上となる。SGの m_1 は供試樹種の中で最大である。クスノキは春材の初期でも道管が少なく，木部繊維の直径も小さいグループになるが，摩耗されやすい。年輪界に近づくとWTが増加して， U も大きくなる。

$$(-1) \quad U = 7.473 \cdot SG + 2.707 \cdot WF - 0.080 \cdot TD + 0.257 \cdot WT - 1.023 \quad (R = 0.918^{**})$$

$$(-2) \quad U = 8.544 \cdot SG + 1.828 \cdot CW - 0.465 \cdot RD + 6.386 \quad (R = 0.981^{**})$$

ホオノキは年輪を通じて各因子の単相が小さく、年輪内が均一な樹種で共通的な④TDが特性因子となる。

キリでは、SGとUの関係が最もよい。-1、-2で0.767、0.882である。他の因子のUあるいは相互の単相は小さいものが多い。キリはWFが大きい、Uは小さい。これはCW、WTが小であり、TD、RDが大であることに原因するようである。

$$(-1) \quad U = 20.286 \cdot SG - 3.334 \quad (R = 0.748^{**})$$

$$(-2) \quad U = 12.731 \cdot SG + 3.730 \cdot CW - 0.044 \cdot RD - 1.164 \quad (R = 0.875^{**})$$

シナノキでは、WF、TD、RD、CWなどが相互およびUとの単相で0.7程度となり、均質な年輪構造に対応して、-1ではTDが特性因子になっている。シナノキのWT、CWが小で、RDとTDが大きいので、Uはやはり小となる。キリよりCWが大、放射組織が多い。

$$(-1) \quad U = 3.959 \cdot WF - 0.103 \cdot RD + 4.822 \quad (R = 0.907^{**})$$

$$(-2) \quad U = 0.067 \cdot WF + 4.277 \cdot CW + 3.037 \quad (R = 0.653^{**})$$

アカガシの因子間、Uとの間の単相は極めて低い。-2ではWTの偏相が大きいのが特徴的となる。Uが大きいのは、WF、CW、すなわち、SGが大きいこと、TD、RDが小、放射組織もUを増加させる方向に作用している。

$$(-1) \quad U = 13.096 \cdot SG - 0.465 \quad (R = 0.614^{**})$$

ウオルナットでは、TD、RDとUとの相関が高く、たとえば、-2のUの急増には、木部繊維の直径の減少がよく対応している。

$$(-1) \quad U = 3.240 \cdot WF - 0.263RD + 9.486 \quad (R = 0.426)$$

アピトンのUには、SG、WTなど重量系が関与するが、因子間、Uとの間の相関はきわめて低い。これは南洋材に共通している。

レッドラワン-2では、Uが減少するところの因子を調べたものである。SG、WF、CW、WTなどは減少し、TDの増加するのに対応している。

ホワイトメランチのUが変化するところは少なく、Uのやや減少するところでSGと対応が認められた。因子間、Uとの間の単相は極めて低い。

チークは生長輪が認められる位置で採取した試料である。-1の道管量が多いところでは、SG、TD、CW、-2の道管量が漸次的にかわるころはWFが関係する。WFとUの単相は0.946である。

$$(-1) \quad U = 25.093 \cdot SG - 11.650 \quad (R = 0.406)$$

$$(-2) \quad U = 6.347 \cdot SG + 2.996 \cdot WF - 0.015 \cdot TD + 0.286 \cdot WT - 2.855 \quad (R = 0.953^{**})$$

マホガニーでは、最も目立った変化をするCWがUと相関が高い。

南洋材では、チークを除くと、SG、TD、RDが中心となってUに関係する。これは国産材の散孔材の傾向と通じている。南洋材の因子のばらつきは、国産散孔材の年輪内における因子のばらつきより大きい。このため、南洋材の因子間の単相は極めて小さいものになっている。

Table 3, 5では、UとRDの重相関係数と因子の組み合わせをかえた場合の最大の重相関係数を掲げた。*印のあるものは5%有意であり、無印は1%有意を表わす。

説明変数2個 (x_1, x_2) の場合を例にとると、一般に、重回帰式は下のようである (y を目的変数)。

$$y = \bar{y} + b_1(x_1 - \bar{x}_1) + b_2(x_2 - \bar{x}_2) \quad (38)$$

y と x_2 を x_1 で説明する。その単回帰式は

$$Y(x_1) = \bar{y} + c(x_1 - \bar{x}_1) \tag{39}$$

$$X_2(x_1) = \bar{x}_2 + d(x_1 - \bar{x}_1) \tag{40}$$

となり、 y と x_2 との残差は

$$y - Y(x_1) = \Delta y \tag{41}$$

$$x_2 - X_2(x_1) = \Delta x_2 \tag{42}$$

となる。これから

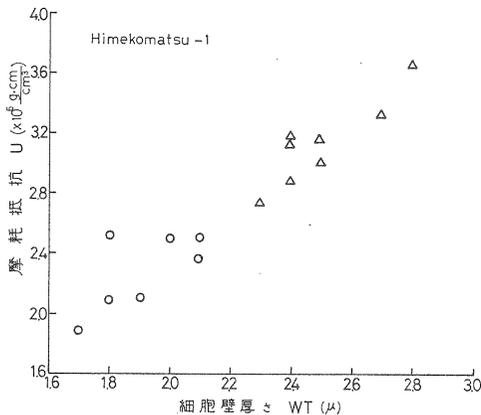
$$\Delta y = b_2 \cdot \Delta x_2 \quad b_2 = \frac{\sum \Delta y \cdot \Delta x_2}{\sum \Delta x_2^2} \tag{43}$$

$$r_{y \cdot x_2} = \frac{\sum \Delta y \cdot \Delta x_2}{\sqrt{\sum \Delta y^2 \sum \Delta x_2^2}} \tag{44}$$

ここに $r_{y \cdot x_2}$ は y と x_2 の偏相関係数である。 x_1 が注意の範囲でほぼ一定であると、 y は Eq. 38 の b_2 項だけで説明できる。この範囲での y と x_2 の単相関係数も $r_{y \cdot x_2}$ に近いものになる。この例をヒメコマツ (-1) で示す。測定値の中から、変化する 1 因子を除いて、ほぼ一定な他の因子を下の 2 つのグループに分ける。

	(1)	(2)
SG	0.32~0.34	0.355~0.405
CW	0.28~0.32	0.35~0.43
TD	29.2~31.4(μ)	27.6~29.6(μ)
RD	37.6~43.2(μ)	33.0~37.8(μ)

U と WT の関係で、(1) のグループにはいる U - WT の関係を○印、(2) のグループにはいる U - WT を△印でそれぞれ示すと Fig. 23 になる。(1), (2) 別に、 U - WT の単相関係数を求めると、(1) は 0.656, (2) は 0.886 となる。(1), (2) を含めた全体の 5 因子による重回帰分析の結果、得



○, △: 他の因子がほぼ同じ値の 2 グループ。
Other factors of each mark are approximately same values.

Fig. 23 他の因子の影響がないときの細胞壁厚さ (WT) と U の関係
Cell wall thickness (WT) vs. U without influence of other structural factors.

られた偏相関係数は 0.652 となる。その他の樹種について同様な検討をすると、偏相関係数が各単相関係数より小さくなる場合が多い。これはグループの分け方 (ほぼ一定とみなす範囲の大小) によって異なるが、他の要因をほぼ一定にしたときの 2 因子間の固有な単相関係は、大体偏相関係数程度を指標にしておけば十分であることがわかる。この考え方に立つと、Table 3, 5 に記載した U に対して最大の偏相関係数を示す因子は、既述のように単相関係数も大きいから、 U の変化をよく説明する主要な因子である。

6. 摩擦抵抗に影響する構成因子 (3)

(因子の総合効果)

年輪内で $x=0.2, 0.5, 0.8$ における各因子と U の関係をプロットしたのが Fig. 24~29 であ

る。針葉樹材では、 U に対して SG, CW, WT は 0.8 以上の比較的高い相関になる。相関係数は回帰係数と併せて Table 7 に示す。TD は U に対してほとんど無相関に近い。特定の樹種では U は TD と関連するが、各樹種をまとめて、総合的に判断すると、TD と RD は寄与がちがうようである。Table 7 より、RD の方がその増加によって、 U は減少する傾向がうかがえる。既に求めたように、RD と WT の直線回帰は

$$R = R_1x + R_2 \quad (45)$$

$$W = W_1x + W_2 \quad (46)$$

であるから、半径方向の内こう径を L_R とおくと、細胞の横断面が長方形あるいはこれに近いものでは

$$L_R = R_1x + R_2 - 2(W_1x + W_2) \quad (47)$$

Eq. 46, 47 より

$$u = \frac{dL_R}{dW} = \frac{R_1}{W_1} - 2 \quad (48)$$

となって、 u は細胞壁の厚さと内こうの変化の関係を表わす。 R_1 , W_1 は付表 (Table 10) の値を用い、 u を計算した。 u と領域-1, -2 における U の平均値 (Table 8, 9) と対応させたのが Fig. 30 である。領域-1 ($x=0\sim0.65$) は針葉樹材の春材であるが、細胞壁の厚さの増加に対して、半径径の減少の大なるものが U を増大させる。領域-2 では-1の逆で、見かけ上、半径径の減少が摩耗を生じやすくする。しかし夏材では、WT, CW の効果が優勢であると考えた方がよい。そのため、RD の減少が U と特に関係するのではない。

広葉樹材では、各因子と U の関係は Table 7 の相関係数から判断して低い。しかし、Fig. 27~29 の方が U の変化をよく現している。南洋材を除いて、国産材広葉樹材だけで相関を調べると、SG と U の関係が著しくつよく出てくる。つづいて、RD, WF などが大きい。

Table 8, 9 は領域-1, -2 における各因子および U の平均値である。放射組織量と U の関係を Fig. 31, 32 と Table 7 に示す。針葉樹材は無相関に近いが、広葉樹材では、放射組織量が多いほど、摩耗抵抗が大きい傾向が認められる。Table 8, 9 のその他の因子と U との関係は、その相関係数が 0.5 以下のものが多い。ただ、南洋材を除くと比重とは最も高い相関になる。すなわち、針葉樹材-1 では 0.783, 広葉樹材 (国産材) の -1, -2 で各々、0.886 と 0.836 となり、広葉樹材 (国産材+南洋材) の -1, -2 では 0.778, 0.764 などである。樹種間で U の大小を評価するときも、比重を中心に推定できることがわかる。

7. 摩耗過程の摩擦係数の変化

摩耗の各走行ごと摩擦力を測定しているので、試片が摩滅、崩壊するプロセスを摩擦係数の追跡から追求できる。ここでは、1 試片の摩耗開始より破壊までの摩擦係数の変化と 1 年輪内で構造の異なる試片の摩耗の経過の 2 点より調べた。紙数の都合で、代表例だけを示すと次の 5 例になる。

i) 下降・一定型

アカマツ、カラマツ、ヒノキ、モミ、トドマツ、エゾマツ、シオジ、ケヤキ、ミズナラなどに見られる。

Fig. 33 はアカマツの例である。1 年輪を 11 に区分し、No. 1 が春材初期、No. 11 が夏材である。春材部からとった試片の摩擦係数 μ は横軸の摩耗回数に対して右下がりになり、被摩耗面のひっかき抵抗が急速に減じて、崩壊が急速に進む。上記の全樹種では現れないが、No. 7 のように、春材の後期で山形の

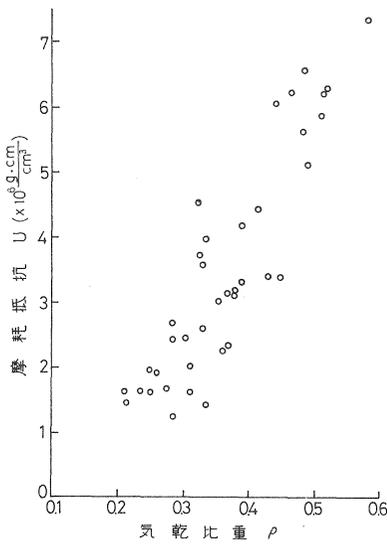


Fig. 24 針葉樹材の気乾比重と U
Specific gravity in air dry (ρ) vs. U
of softwood.

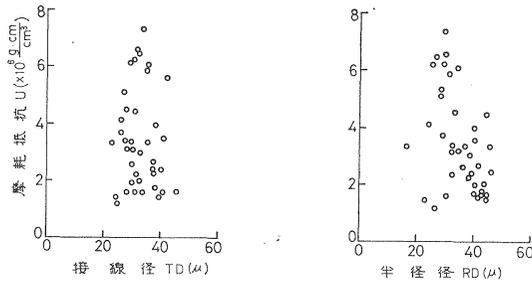


Fig. 26 針葉樹材仮道管の接線方向と半径方向の
直径と U
Tangential or radial diameter (TD, RD) vs. U
of softwood tracheid.

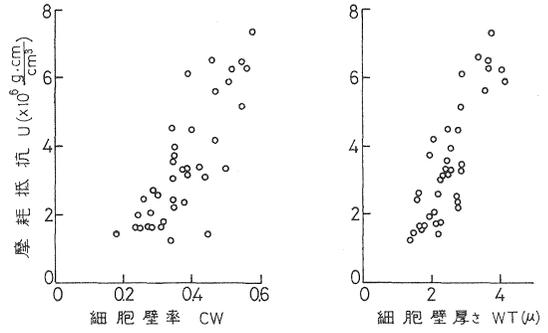


Fig. 25 針葉樹材の細胞壁率, 細胞壁厚さと U
Cell wall area (CW) and cell wall thickness
(WT) vs. U of softwood.

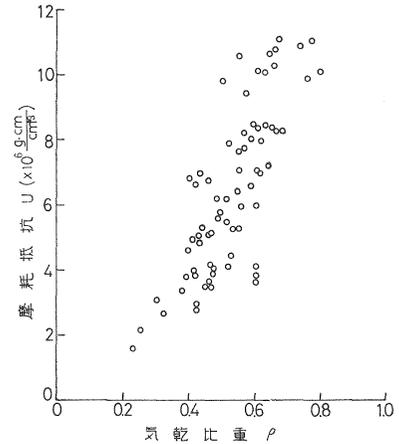
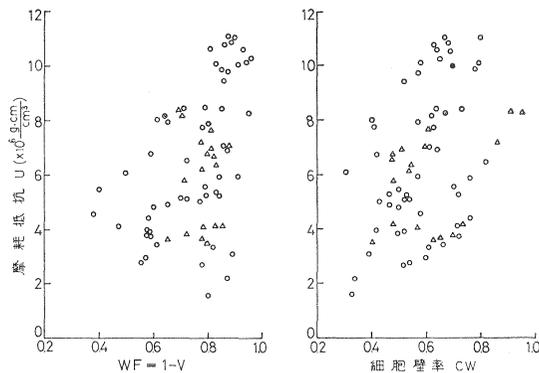


Fig. 27 広葉樹材の気乾比重と U
Specific gravity in air dry (ρ) vs. U
of hardwood.

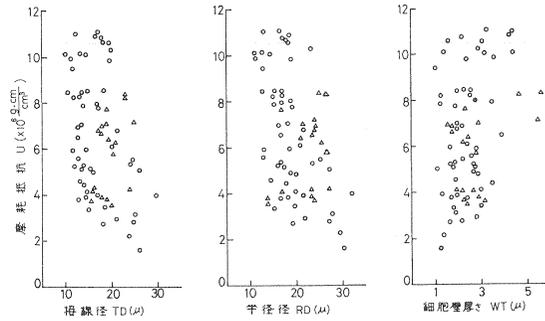


Δ : 南洋材 Tropical wood
Fig. 28 広葉樹材の道管要素, 細胞壁
率と U
Vessel element (V) and cell wall
area (CW) vs. U of hardwood.

△: 南洋材 Tropical wood

Fig. 29 広葉樹材の木部繊維の直径, 壁厚さと U

Tangential or radial diameter (TD, RD) and cell wall thickness (WT) of fiber vs. U of hardwood.



L : 半径方向の内こう径
Radial diameter of the lumen
 W : 細胞壁厚さ
Cell wall thickness

Fig. 30 dL/dW vs. U of softwood.

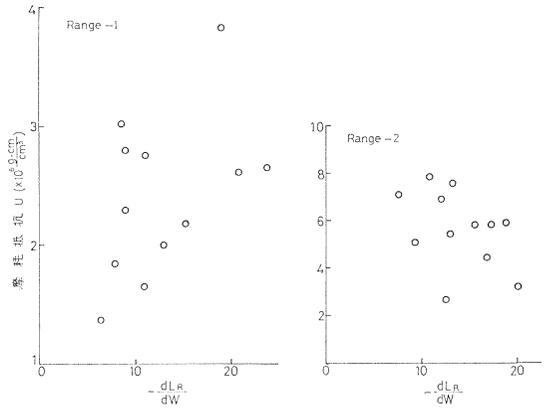


Table 7. Fig. 24~29 の相関係数と回帰係数
Correlation coefficients and regression coefficients on Figs. 24~29

関係図 See each Fig.	SG	WF	CW	TD	RD	WT	Ray 31, 32		
	24, 27	28	25, 28	26, 29	26, 29	25, 29	-1	-2	
針葉樹材 Softwood	r	0.895		0.800	-0.080	-0.456	0.848	-0.208	0.059
	b	16.473		13.842	-0.026	-0.108	1.959	-0.0908	0.059
	a	-2.567		-1.799	4.310	7.246	-1.590	2.843	5.363
広葉樹材 Hardwood	r	0.543	0.466	0.396	-0.681	-0.421	0.321	0.567	0.409
		(0.856)	(0.528)	(0.442)	(-0.376)	(-0.546)	(0.371)	(0.524)	(0.443)
	b	11.892	8.761	7.409	-0.394	-0.219	0.849	0.270	0.219
		(18.631)	(9.515)	(9.479)	(-0.222)	(-0.313)	(1.213)	(0.255)	(0.244)
	a	0.047	-0.250	1.958	13.294	10.673	4.231	1.665	4.000
		(-3.312)	(-0.576)	(0.998)	(10.326)	(12.447)	(3.660)	(1.800)	(3.914)

$U = bE + a$ $E = \text{SG or WF (CW, TD, RD, WT, Ray)}$

r : E と U の相関係数 Correlation coefficient of E vs. U

(): 国産広葉樹のみ Japanese hardwood only

Table 8. 針葉樹年輪内の因子の平均値
Mean value of each structural factor within an annual ring of softwood

樹種 Wood species	各領域における平均値 Mean values in each range							
	SG	CW	TD (μ)	RD (μ)	WT (μ)	Ray (%)	U	
ヒノキ Hinoki	-1	0.306	0.323	27.7	30.4	1.84	5.9	2.29
	-2	0.414	0.515	25.1	22.4	2.45	"	4.39
サワラ Sawara	-1	0.230	0.249	30.5	41.3	1.77	4.1	1.64
	-2	0.370	0.430	28.5	28.3	2.64	"	5.79
ヒバ Hiba	-1	0.305	0.391	25.1	24.9	1.73	3.8	1.37
	-2	0.462	0.558	23.6	16.3	3.02	"	3.15
モミ Momi	-1	0.277	0.324	37.3	40.6	2.56	7.4	1.84
	-2	0.572	0.555	33.8	27.6	4.14	"	5.72
トドマツ Todomatsu	-1	0.226	0.224	41.3	45.6	1.70	6.3	1.41
	-2	0.405	0.437	38.0	30.2	3.10	"	2.61
シラベ Shirabe	-1	0.305	0.290	37.9	42.3	1.84	4.9	3.02
	-2	0.457	0.448	35.4	31.2	3.07	"	7.56
エゾマツ Ezomatsu	-1	0.336	0.346	30.2	40.1	2.23	8.8	2.18
	-2	0.504	0.613	28.2	24.1	3.92	"	6.87
トウヒ Tōhi	-1	0.399	0.393	30.0	44.6	2.76	3.8	3.81
	-2	0.545	0.537	31.0	26.3	3.77	"	5.81
アカマツ Akamatsu	-1	0.328	0.335	36.5	39.6	2.07	5.1	2.80
	-2	0.583	0.630	34.0	28.0	3.78	"	7.05
ヒメコマツ Hime-komatsu	-1	0.356	0.343	29.3	37.3	2.25	4.3	2.75
	-2	0.498	0.560	27.4	25.8	3.86	"	5.06
ツガ Tsuga	-1	0.310	0.301	43.1	44.4	2.26	7.8	2.61
	-2	0.537	0.506	39.1	26.4	3.78	"	5.36
カヤ Kaya	-1	0.384	0.374	30.8	36.4	2.94	4.8	2.65
	-2	0.523	0.557	28.0	24.8	3.86	"	7.78
スギ Sugi	-1	0.281	0.294	34.0	40.2	2.00	5.5	2.00
	-2	0.522	0.483	31.3	25.5	3.61	"	6.84

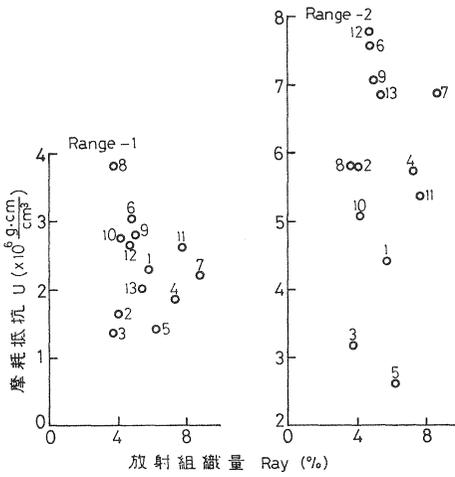
U: $\times 10^6 \frac{\text{g cm}}{\text{cm}^3}$

Table 9. 広葉樹年輪内の因子の平均値
Mean value of each structural factor within an annual ring of hardwood

樹種 Wood species	各領域における平均値 Mean values in each range								
	SG	WF	CW	TD (μ)	RD (μ)	WT (μ)	Ray (%)	U	
イタヤカエデ Itayakaede	-1	0.591	0.835	0.575	14.9	19.7	1.73	17.2	5.96
	-2	0.605	0.861	0.656	13.2	17.2	2.13	"	7.02
セン Sen	-1	0.482	0.511	0.314	20.6	21.1	2.49	11.0	5.72
	-2	0.601	0.665	0.501	17.6	17.7	3.14	"	7.97
マカンバ Makanba	-1	0.654	0.820	0.623	18.5	18.5	1.78	13.9	10.50
	-2	0.668	0.880	0.660	17.7	16.9	2.86	"	10.98

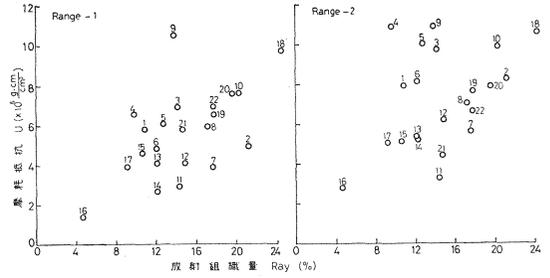
樹種 Wood species	各領域における平均値 Mean values in each range							
	SG	WF	CW	TD (μ)	RD (μ)	WT (μ)	Ray (%)	U
アサダ -1 Asada	0.577	0.773	0.612	17.0	18.5	2.05	20.2	7.69
-2	0.635	0.872	0.676	14.5	14.8	3.06	"	9.88
カツラ -1 Katsura	0.426	0.521	0.571	23.6	25.6	2.29	14.4	2.93
-2	0.473	0.591	0.640	19.3	19.8	2.90	"	3.30
ブナ -1 Buna	0.511	0.503	0.747	15.6	19.3	3.35	14.9	4.11
-2	0.599	0.668	0.810	13.3	16.5	3.78	"	6.19
アカガシ -1 Akagashi	0.780	0.868	0.735	12.7	12.2	4.21	24.6	9.75
-2	0.796	0.897	0.784	12.5	11.9	4.32	"	10.61
ミズナラ -1 Mizunara	0.516	0.604	0.545	17.6	21.2	2.23	21.3	4.98
-2	0.674	0.912	0.676	12.3	16.7	2.64	"	8.24
トチノキ -1 Tochinoki	0.425	0.573	0.517	15.2	17.8	1.54	12.1	4.06
-2	0.508	0.762	0.525	13.9	16.7	1.83	"	5.35
クスノキ -1 Kusunoki	0.338	0.793	0.526	18.1	18.4	1.78	12.0	2.65
-2	0.482	0.821	0.661	13.2	13.7	2.48	"	5.33
ホオノキ -1 Hōnoki	0.435	0.648	0.472	16.5	20.5	2.98	10.6	4.65
-2	0.462	0.711	0.490	16.5	18.5	3.06	"	5.07
ヤマグワ -1 Yamaguwa	0.506	0.746	0.429	13.7	15.6	1.16	14.2	6.98
-2	0.591	0.903	0.543	11.0	12.1	1.27	"	9.72
ヤチダモ -1 Yachidamo	0.514	0.505	0.531	23.4	24.1	2.26	9.76	6.51
-2	0.709	0.963	0.651	17.3	18.8	3.76	"	10.88
シオジ -1 Shioji	0.412	0.582	0.443	21.7	21.6	2.18	12.8	6.06
-2	0.533	0.906	0.626	19.7	18.8	2.75	"	10.01
キリ -1 Kiri	0.238	0.781	0.311	25.3	30.1	1.22	4.7	1.49
-2	0.294	0.876	0.365	23.9	26.8	1.61	"	2.77
シナノキ -1 Shinanoki	0.414	0.593	0.390	29.4	31.0	1.07	9.2	3.98
-2	0.430	0.830	0.447	24.8	25.0	1.51	"	5.00
ハルニレ -1 Harunire	0.417	0.416	0.580	14.3	15.3	1.41	12.1	4.89
-2	0.585	0.683	0.683	10.9	13.2	1.83	"	8.12
ケヤキ -1 Keyaki	0.402	0.552	0.704	13.6	17.0	2.30	17.6	3.94
-2	0.552	0.869	0.746	11.7	13.7	2.68	"	5.64
ウォルナット -1 Walnut	0.549	0.845	0.598	19.6	21.7	2.73	17.8	6.52
-2	0.565	0.846	0.607	19.3	17.5	2.97	"	7.62
アピトン -1 Apitong	0.646	0.706	0.896	24.1	25.5	5.08	19.6	7.63
-2	0.671	0.725	0.894	23.3	24.9	4.95	"	7.96
レッドラワン -1 Red lauan	0.507	0.766	0.499	22.5	27.6	2.55	14.7	5.76
-2	0.483	0.767	0.465	22.4	28.7	2.43	"	4.42
ホワイト メランチ -1 White	0.449	0.797	0.510	18.6	23.7	1.61	17.8	6.90
-2	0.432	0.800	0.498	18.1	23.8	1.63	"	6.65
チーク -1 Teak	0.601	0.677	0.695	19.0	23.5	3.02	23.1	3.44
-2	0.606	0.834	0.711	17.3	23.4	2.81	"	4.04
マホーガニ -1 Mahogany	0.496	0.787	0.548	16.0	14.9	2.32	21.4	3.54
-2	0.481	0.796	0.522	17.1	14.7	2.18	"	3.32

U: $\times 10^6 \frac{\text{g cm}}{\text{cm}^3}$



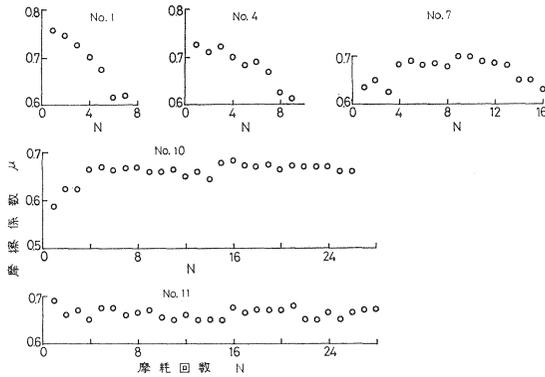
1. Hinoki 2. Sawara 3. Hiba 4. Momi
5. Todomatsu 6. Shirabe 7. Ezomatsu
8. Tōhi 9. Akamatsu 10. Himekomatsu
11. Tsuga 12. Kaya 13. Sugi

Fig. 31 針葉樹材の放射組織量とUの関係
Per cent of ray vs. U of softwood.



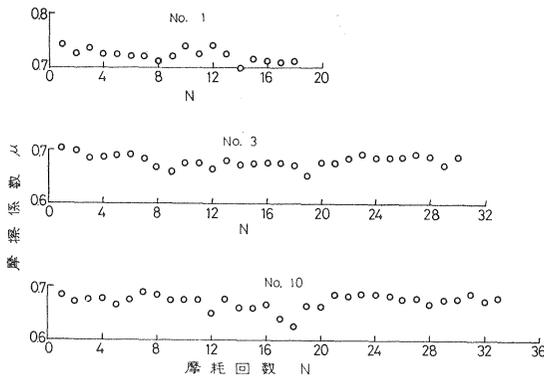
1. Sen 2. Mizunara 3. Yamaguwa 4. Yachidamo
5. Shioji 6. Harunire 7. Keyaki 8. Itayakaede
9. Makanba 10. Asada 11. Katsura 12. Buna
13. Tochinoki 14. Kusunoki 15. Hōnoki 16. Kiri
17. Shinanoki 18. Akagashi 19. Walnut
20. Apitong 21. Red lauan 22. White meranti

Fig. 32 広葉樹材の放射組織量とUの関係
Per cent of ray vs. U of hardwood.



- No. 1, No. 4, No. 7 : Spring wood
No. 10, No. 11 : Summer wood

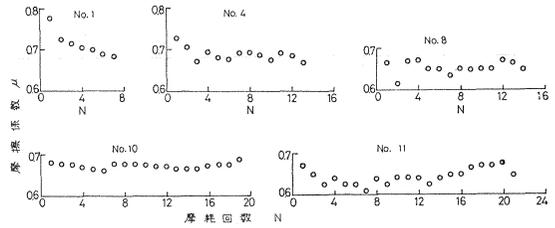
Fig. 33 アカマツ材の摩擦係数の変化
Variation of frictional coefficient of Akamatsu wood.



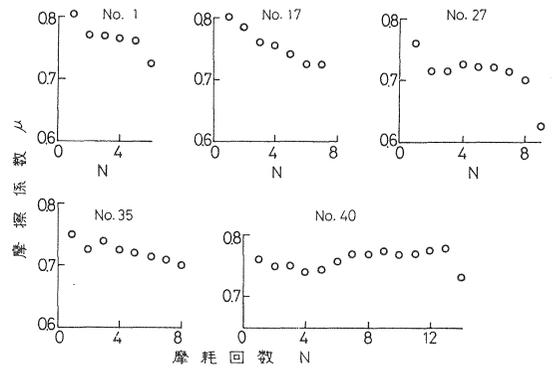
- No. 1, No. 3 : Spring wood
No. 10 : Summer wood

Fig. 34 シオジ材の摩擦係数の変化
Variation of frictional coefficient of Shioji wood.

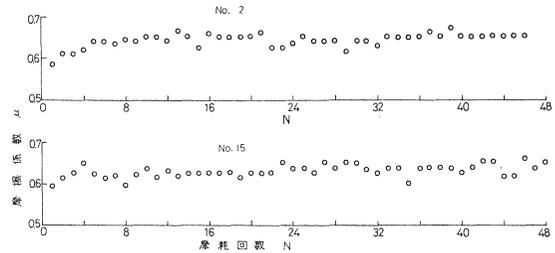
No. 1, No. 4, No. 8 : Spring wood
 No. 10, No. 11 : Summer wood
 Fig. 35 シナノキ材の摩擦係数の変化
 Variation of frictional coefficient of
 Shinanoki wood.



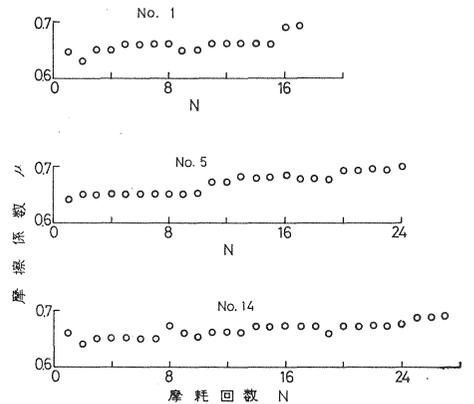
No. 1, No. 17, No. 27, No. 35 :
 Spring wood No. 40 : Summer wood
 Fig. 36 キリ材の摩擦係数の変化
 Variation of frictional coefficient of
 Kiri wood.



No. 2 : Spring wood
 No. 15 : Summer wood
 Fig. 37 マカンバ材の摩擦係数の変化
 Variation of frictional coefficient of
 Makanba wood.



No. 1, No. 5 : Spring wood
 No. 14 : Summer wood
 Fig. 38 ブナ材の摩擦係数の変化
 Variation of frictional coefficient of
 Buna wood.



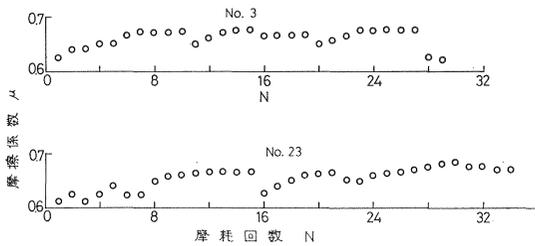


Fig. 39 ウォルナット材の摩擦係数の変化
Variation of frictional coefficient of
Walnut wood.

変化が現れる場合がある。表面の崩壊によって、いったん、ひっかき部分がふえ、 μ を増加させている。夏材での μ はほぼ一定で、表面の崩壊は一樣に進む。各図とも、摩耗方向は繊維に平行である。Fig. 34はシオジで、孔圏では No. 1, No. 3 のごとく右下がり、木部繊維の発達した No. 10 では一定である。

ii) 下降・上昇型

シナノキ、カツラ、キリなどのほか、まれに、ケヤキ、ミズナラで見られる。

Fig. 35 のように、春材部の No. 1, 4 で右下がりになる。道管径が大きい崩壊しやすい。No. 10, 11 の夏材部では、下降のあと上昇がつづく。アカマツの夏材のように、細胞壁率も大で、高い比重では、摩耗の進行によってひっかき部分が増加することはない。シナノキのように夏材の程度が弱いと、ひっかかれる部分がふえ、摩擦力を大きくさせる。

iii) 下降型

サワラ、ヒバ、トウヒでは年輪の大部分にわたって下降傾向を表わす。

iv) 一定型

マカンバに見られ、年輪内の各位置の試片で、摩耗の進行に対して μ はほぼ一定である。Fig. 36 では、摩耗開始よりしばらくの間では、 μ はやや増加するが、全体的にはほぼ一定である。

v) 上昇型

ブナ、イタヤカエデのほか、南洋材では、ウォルナット、チーク、アピトン、レッドラワン、マホガニーなどが該当する。Fig. 38 のブナの例のごとく、各試片とも μ は増加する傾向になる。摩耗によって生じた崩壊点は、と粒との摩擦力を増加させる。Fig. 39 のウォルナットのように、 μ の部分的な低下が認められることもある。

V 摘 要

木材の表面に現れる組織と摩耗（と粒による表面のせん断強さ）の関係を調べた。その際、これまでの実験を背景にして、理論式を定め、これに適した実験を行い実証した。

(1) と粒や砂粒のような先端が鋭い摩耗材料が、荷重下で木材面に繰り返して接する状況から、摩耗される容積 V は

$$V = \left(\frac{1}{\rho} + \frac{1}{\delta} \right) \cdot \tau \cdot L = \frac{1}{U} \cdot \tau \cdot L$$

ρ : 木材の内圧, δ : 単位体積当たりの木材の結合エネルギー, τ : 摩擦力, L : 摩擦長, U は木材の単位容積を摩滅させるための仕事量であり、摩耗抵抗と定義する。上式は、比重を ρ とすると、 $U = \xi \cdot \rho$ と変形できる。 ρ は木材の構成要素とその量で定まるから、 U は各構成要素の関数として表現できる。ま

た、構成要素とその量は年輪内の位置で異なるので、 U も変化する。

(2) 上式を実験的に証明するため、 $\tau \cdot L/V$ ($g \cdot cm/cm^3$) を測定した。表面の組織の種類異なる試片は年輪内の小部分を切り出す方法によって作製した。測定条件では、研摩紙 #180 が垂直荷重の影響を受けず、試片の厚さも、摩滅されやすい試片では 200μ 以上にすればよいことがわかった。

測定試片に対応させて、仮道管、木部繊維の直径、細胞壁の厚さ、細胞壁率、道管要素率、放射組織量などの年輪内推移を実験式で表わした。比重も含めて、これらを因子と呼ぶ。

(3) 年輪内の因子相互または U との関係は樹種特有のものである。針葉樹材では比重、細胞壁率の相関が高く、 U の変化と対応する。環孔材では孔圏における各因子相互と U の相関が高い。散孔材では年輪内の各因子の変化が乏しいと U との相関が低下し、南洋材ではこれが著しい。年輪の半径方向に不均質度高いとき、因子相互の相関も高く、 U もこれに対応して変化する。因子間の単相関係数を平均すると、 $0.6 \sim 0.8$ で、針葉樹材の方がやや大となる。因子の中でも、比重は U と最も高い相関になる。因子と U の単相関係数を平均すると、 0.8 以上が針葉樹材、 $0.6 \sim 0.8$ が広葉樹材となる。

(4) 各木材の U の年輪内変化に最も影響を与える因子（特性因子）を偏相関などの解析から推定した。針葉樹材では、比重、細胞壁の厚さ、半径径の3つの依存タイプがあり、Table 4 にまとめてある。広葉樹材は、環孔材では比重と孔圏の道管、散孔材では年輪の前半部分で、樹種によっていろいろな作用因子があり、後半部分では比重、細胞壁の厚さなどが特性因子になる。樹種と対応させたのが Table 6 である。

放射組織は、針葉樹材では U への効果がないようであり、広葉樹材ではその量が多いほど U を増加させる。

(5) 摩耗の初めから、摩滅点までの摩擦係数を追跡すると次のタイプがある。春材仮道管、道管の多い孔圏部では、摩擦係数は摩耗回数に対して右下がり、夏材仮道管と木部繊維の発達したところでは、変化が少なく一定になる。しかし、低比重および中比重の散孔材で摩擦係数が右上がりのものもある。これらは組織の崩壊の進み方によって変化している。

文 献

- 1) 川端幸蔵：重回帰分析，林試研報，266，61～114，(1974)
- 2) 鈴木正治：木質系内装材の摩耗，林試研報，282，1～48，(1976)
- 3) ——：木材の摩耗の標準化試験と摩耗の異方性，林試研報，298，111～141，(1977)

**Relation between the Structural Features of Wooden Surface
and the Abrasive Resistance**

Masaharu SUZUKI⁽¹⁾

Summary

The resistance of abrasion on wood differs with each part of the surface of wood. In practical wear, there are many kinds of peculiar appearance changes and some distribution in the abraded depth. It is necessary to clarify the effect of inhomogeneity due to wood tissue on the abrasive property.

The test of abrasion has been conducted using small specimens which were made 40 mm longitudinally, 7 mm tangentially and 200 μm radially (in thickness) from each position within an annual ring. It is clear that the abrasive property of the small specimen presents that of the wood tissue in its part.

On the other hand, a theory to systematize the complicated phenomena in abrasion has been investigated. The removed volume V by abrasion is given by

$$V = \left(\frac{1}{p} + \frac{1}{\delta} \right) \cdot \tau \cdot L = \frac{1}{U} \cdot \tau \cdot L \quad (1)$$

where p is the inside pressure induced by the contact action of the abrasives, δ is the cohesive energy of wood substance, τ is the frictional force and L is the length of friction. Abrasive resistance U is defined as the amount of the work which remove a unit volume from wood. The Eq. 1 finally becomes a simplified form by introducing a variable ξ ;

$$U = \xi \cdot \rho \quad (2)$$

where ρ is specific gravity. As a result, the abrasive resistance is in proportion to specific gravity. If we have some assumptions on the dimensions of the tracheid element of the softwood, Eq. 2 becomes

$$U = \frac{2}{3} \xi \cdot \rho_0 \cdot \left(\frac{1}{R} + \frac{1}{T} \right) \cdot W \quad (3)$$

where ρ_0 is the specific gravity of the cell wall, R or T indicates the radial or tangential diameter of the tracheid, and W is the thickness of the cell wall. From Eq. 3, the abrasive resistance is proportional to the cell wall thickness, and in inverse proportion to the cell diameter. In the case of hardwood, a similar equation is derived in approximations;

$$U = \frac{2}{3} \xi \cdot \beta' \cdot \rho_0 \cdot F \cdot \left(\frac{1}{R} + \frac{1}{T} \right) \cdot W \quad (4)$$

where β' is a constant and F is a parameter related to per cent of the vessel element. The dimensions of the structural elements of 32 kinds of wood species were measured under the microscope (magnification 900×).

The apparatus for measuring the abrasive resistance is outlined in Fig. 2. A small specimen is wound round the attachment and slid on the abrasive paper (#180) which is 80 μm in the grit size and 104 degree in the edge angle. The frictional force is successively recorded and the end of abrasion is detected by the break of the specimen. As the volume removed

Received July 15, 1977

(1) Wood Technology Division

is constant (1.8 mm^3), U can be calculated from $\tau \cdot L/V$, where τ is $130 \sim 140 \text{ gF}$ to every specimen. The effect of thickness on the abrasive resistance is shown in Fig. 5, and U seems to be constant above $200 \mu\text{m}$ in thickness.

The variations of the structural factors (such as cell wall thickness and the diameter of the fiber etc.) within an annual ring are expressed in the linear equation ($\phi = m_1x + m_2$, $x=0 \sim 1$: relative distance within an annual ring). The regression coefficients on each of the wood species are listed in Tables 10 and 11.

The correlation coefficients between the structural factors of each wood are listed in Table 12. Some instances of them are shown in Figs. 8~18 which illustrate the variations of the structural factors across the growth. In these figures, the correlation coefficients above 0.75 are pointed out.

Tables 1 and 2 present the averages of the correlation coefficients of the structural factors in each other and those of each structural factor vs. U . It is clear from Fig. 19 that the mean correlation coefficient to U of each wood has a tendency to increase with the increase of the mean correlation coefficients of the structural factors.

The specific gravity contributes more strongly to the change of the abrasive resistance (Figs. 20~22). The relations between the specific gravity, the cell wall thickness and the abrasive resistance in Figs. 24 and 25 present a good agreement with the theory above mentioned. The plots of the abrasive resistance against the diameter of the tracheid and the fiber are not basically different from the theoretical prediction (Figs. 26 and 29). The increase of the ray volume of the hardwood presumably contributes to increasing of the abrasive resistance as shown in Fig. 32.

A changing profile of U across an annual ring is fairly influenced by the intrinsic behavior of a structural element (major structural factor). From the analysis of the partial correlation coefficient, the major structural factor of each wood is decided and listed in Tables 3 and 5. The values in the column 1 of the tables indicate the major structural factors whose partial correlation coefficients are quite large compared with other structural factors.

The major structural factors of the softwood are classified into the specific gravity, the radial diameter and the cell wall thickness. The wood species belonging to each of them are listed in Table 4. The major structural factors of the ring porous wood are mainly the specific gravity and the vessel element. Those of the diffuse porous wood are in variety by wood species and the specific gravity is effective in the late part of these annual rings.

The frictional coefficients in process of abrasion are influenced by the conditions of the scratched and crushed wooden surface. The profiles of the curves of the frictional coefficients are mainly classified into three styles as shown in Figs. 33, 37 and 38. The wood species of the decreasing type are Akamatsu, Hinoki, Sawara, Shioji and Mizunara. The increasing type are Buna, Itayakaede and Walnut. The unchanged type is Makanba which denotes strong resistance to abrasion.

付 表

Appendix-Table 10. 針葉樹年輪内の因子の変動を示す実験式
Experimental formula of each structural factor within
an annual ring of softwood

樹 種 Wood species		-1				-2			
		回帰係数 ¹⁾ Regression coefficient		xの範囲 Range of x	相関係数 Correlation coefficient	回帰係数 ¹⁾ Regression coefficient		xの範囲 Range of x	相関係数 Correlation coefficient
		m ₁	m ₂			m ₁	m ₂		
ヒノキ Hinoki	SG	0.080	0.281	0~0.63	0.900	0.519	-0.014	0.68~1.0	0.968
	CW	0.165	0.272	0~0.63	0.951	0.674	-0.042	0.63~1.0	0.935
	TD	-3.716	28.86	0~0.63	-0.714	-7.778	31.60	0.65~1.0	-0.704
	RD	-4.920	32.01	0~0.63	-0.762	-31.23	48.27	0.63~0.98	-0.922
	WT	0.699	1.628	0~0.63	0.917	2.095	-0.719	0.65~1.0	0.861
	U	5.697	0.522	0~0.6	0.970	1.892	2.834	0.6~1.0	0.933
サワラ Sawara	SG	0.099	0.200	0~0.73	0.964	0.965	-0.428	0.73~0.95	0.914
	CW	0.044	0.235	0~0.70	0.493	1.326	-0.667	0.7~1.0	0.921
	TD	-0.706	30.81	0~0.65	-0.170	-0.429	28.93	0.68~1.0	-0.044
	RD	-8.108	43.85	0~0.70	-0.684	-75.23	90.58	0.7~1.0	-0.952
	WT	0.900	1.491	0~0.70	0.875	4.916	-1.421	0.75~1.0	0.951
	U	2.225	0.955	0~0.70	0.828	24.09	-14.13	0.7~1.0	0.977
ヒバ Hiba	SG	0.171	0.252	0~0.55	0.946	0.390	0.140	0.55~1.0	0.975
	CW	0.250	0.314	0~0.65	0.955	0.614	0.051	0.7~1.0	0.901
	TD	-2.002	25.77	0~0.63	-0.691	-2.593	25.77	0.65~1.0	-0.400
	RD	-9.036	27.76	0~0.6	-0.915	-26.63	38.40	0.6~1.0	-0.986
	WT	2.079	1.090	0~0.63	0.955	1.462	1.811	0.68~1.0	0.898
	U	0.886	1.099	0~0.6	0.787	6.306	-2.059	0.6~1.0	0.935
モミ Momi	SG	0.143	0.233	0~0.63	0.983	1.333	-0.530	0.65~1.0	0.974
	CW	0.156	0.276	0~0.68	0.911	1.255	-0.484	0.68~1.0	0.974
	TD	-5.007	38.93	0~0.68	-0.711	-15.02	46.28	0.7~1.0	-0.798
	RD	-9.257	43.50	0~0.65	-0.907	-57.38	75.10	0.65~1.0	-0.977
	WT	1.582	2.069	0~0.55	0.919	4.174	0.694	0.55~1.0	0.953
	U	2.279	1.137	0~0.63	0.801	17.01	-8.347	0.65~1.0	0.981
トドマツ Todomatsu	SG	0.090	0.199	0~0.6	0.854	0.719	-0.190	0.65~1.0	0.989
	CW	0.143	0.180	0~0.65	0.853	0.932	-0.333	0.65~1.0	0.969
	TD	-6.674	43.40	0~0.65	-0.546	-8.052	44.68	0.65~1.0	-0.794
	RD	-18.98	51.57	0~0.68	-0.902	-75.72	92.92	0.7~1.0	-0.979
	WT	0.482	1.556	0~0.65	0.617	7.013	-2.695	0.65~1.0	0.948
	U	1.328	0.999	0~0.70	0.930	5.584	-2.003	0.7~1.0	0.959
シラベ Shirabe	SG	0.151	0.259	0~0.55	0.953	0.357	0.161	0.60~1.0	0.801
	CW	0.163	0.240	0~0.70	0.876	0.808	-0.219	0.70~1.0	0.936
	TD	-5.941	39.81	0~0.65	-0.674	-7.082	41.35	0.7~1.0	-0.716
	RD	-12.42	46.19	0~0.63	-0.854	-40.43	64.73	0.65~1.0	-0.664
	WT	1.842	1.273	0~0.65	0.925	3.558	0.130	0.7~1.0	0.939
	U	4.113	1.746	0~0.63	0.897	19.45	-8.529	0.68~1.0	0.947
エゾマツ Ezomatsu	SG	0.181	0.280	0~0.65	0.972	0.637	-0.023	0.65~0.95	0.978
	CW	0.254	0.265	0~0.68	0.927	1.198	-0.378	0.7~1.0	0.960
	TD	-6.021	32.11	0~0.63	-0.727	-3.765	31.38	0.65~1.0	-0.341
	RD	-23.98	47.58	0~0.65	-0.946	-74.02	85.41	0.7~1.0	-0.940
	WT	1.787	1.680	0~0.6	0.898	3.362	1.138	0.65~1.0	0.897
	U	4.650	0.741	0~0.7	0.935	23.76	-12.78	0.7~1.0	0.957

樹種 Wood species		-1				-2			
		回帰係数 ¹⁾ Regression coefficient		x の範囲 Range of x	相関係数 Correlation coefficient	回帰係数 ¹⁾ Regression coefficient		x の範囲 Range of x	相関係数 Correlation coefficient
		m_1	m_2			m_1	m_2		
トウヒ Tōhi	SG	0.182	0.343	0~0.6	0.964	0.395	0.219	0.6~1.0	0.987
	CW	0.136	0.351	0~0.63	0.900	0.543	0.089	0.63~1.0	0.950
	TD	3.644	28.90	0~0.63	0.741	1.931	29.46	0.65~1.0	0.166
	RD	-16.97	49.94	0~0.63	-0.862	-61.85	77.53	0.63~1.0	-0.971
	WT	0.992	2.452	0~0.63	0.867	3.643	0.759	0.65~1.0	0.970
	U	3.589	2.699	0~0.6	0.899	1.484	4.589	0.65~1.0	0.408
アカマツ Akamatsu	SG	0.277	0.243	0~0.63	0.972	0.741	-0.030	0.65~1.0	0.981
	CW	0.257	0.255	0~0.63	0.968	0.876	-0.094	0.63~1.0	0.980
	TD	-2.738	37.43	0~0.7	-0.655	-12.80	44.69	0.7~1.0	-0.838
	RD	-14.30	44.13	0~0.6	-0.844	-38.34	59.78	0.6~1.0	-0.914
	WT	2.055	1.437	0~0.7	0.944	6.784	-1.827	0.7~1.0	0.959
	U	2.792	1.938	0~0.63	0.954	11.44	-2.417	0.7~1.0	0.962
ヒメコマツ Himekomatsu	SG	0.139	0.313	0~0.63	0.946	0.492	0.092	0.63~1.0	0.994
	CW	0.225	0.274	0~0.70	0.927	0.883	-0.170	0.7~1.0	0.983
	TD	-2.824	30.20	0~0.63	-0.486	1.890	25.85	0.65~1.0	0.301
	RD	-15.55	42.14	0~0.63	-0.912	-50.89	67.98	0.7~1.0	-0.960
	WT	1.721	1.721	0~0.70	0.915	6.956	-1.888	0.7~1.0	0.977
	U	2.465	1.993	0~0.6	0.950	6.796	-0.560	0.6~1.0	0.977
ツガ Tsuga	SG	0.146	0.265	0~0.55	0.782	0.673	-0.019	0.55~1.0	0.949
	CW	0.167	0.249	0~0.55	0.811	0.530	0.068	0.55~1.0	0.957
	TD	-6.523	45.17	0~0.65	-0.880	-8.395	46.09	0.65~1.0	-0.624
	RD	-23.79	51.80	0~0.7	-0.933	-60.82	76.78	0.7~1.0	-0.975
	WT	1.266	1.867	0~0.63	0.828	5.425	-0.709	0.63~1.0	0.967
	U	5.076	1.034	0~0.6	0.901	3.152	2.758	0.65~1.0	0.849
カヤ Kaya	SG	0.171	0.332	0~0.58	0.949	0.326	0.254	0.58~1.0	0.994
	CW	0.272	0.290	0~0.7	0.944	0.657	0.014	0.7~1.0	0.955
	TD	-5.089	32.47	0~0.65	-0.762	-6.335	33.34	0.65~1.0	-0.525
	RD	-20.50	42.83	0~0.75	-0.937	-42.30	59.82	0.75~1.0	-0.931
	WT	0.940	2.653	0~0.73	0.796	4.717	-0.036	0.73~1.0	0.935
	U	3.444	1.586	0~0.7	0.955	32.42	-19.03	0.73~1.0	0.950
スギ Sugi	SG	0.323	0.181	0~0.65	0.967	0.729	-0.081	0.65~1.0	0.973
	CW	0.115	0.258	0~0.65	0.871	0.928	-0.284	0.65~1.0	0.961
	TD	-5.021	35.65	0~0.63	-0.691	-3.957	34.63	0.63~1.0	-0.479
	RD	-15.89	45.17	0~0.7	-0.937	-60.59	75.66	0.7~1.0	-0.956
	WT	1.443	1.552	0~0.63	0.963	5.985	-1.339	0.63~1.0	0.985
	U	4.154	0.720	0~0.65	0.971	20.14	-9.820	0.68~1.0	0.961

1) $\phi = m_1x + m_2$

x : 年輪内の相対距離 Relative distance within an annual ring ϕ : 因子 Structural factor

単位 (Unit): TD, RD, WT: μ U: $\times 10^6 \frac{\text{g cm}}{\text{cm}^3}$

Appendix-Table 11. 広葉樹年輪内の因子の変動を示す実験式
Experimental formula of each structural factor within an annual ring of hardwood

樹 種 Wood species		-1				-2			
		回 帰 係 数 ¹⁾ Regression coefficient		x の 範 囲 Range of x	相 関 係 数 Correlation coefficient	回 帰 係 数 ¹⁾ Regression coefficient		x の 範 囲 Range of x	相 関 係 数 Correlation coefficient
		m_1	m_2			m_1	m_2		
イ タ ヤ カ エ デ Itayakaede	SG	0.055	0.578	0~0.5	0.686	0.033	0.581	0.55~0.1	0.553
	WF	0.080	0.816	0~0.45	0.692	0.060	0.816	0.5 ~1.0	0.586
	CW	0.152	0.539	0~0.5	0.836	0.152	0.543	0.5 ~1.0	0.824
	TD	-6.959	16.61	0~0.43	-0.879	-2.447	15.09	0.5 ~1.0	-0.697
	RD	-5.950	21.18	0~0.5	-0.886	-5.266	21.13	0.55~1.0	-0.852
	WT	1.348	1.409	0~0.45	0.862	0.926	1.443	0.5 ~1.0	0.736
	U	3.529	5.107	0~0.5	0.952	0.459	6.682	0.5 ~1.0	0.417
セ Sen	SG	0.605	0.356	0~0.33	0.955	0.124	0.516	0.35~1.0	0.899
	WF	0.786	0.347	0~0.35	0.944	0.116	0.585	0.38~1.0	0.693
	CW	0.291	0.253	0~0.43	0.842	0.560	0.112	0.45~1.0	0.961
	TD	-7.458	22.23	0~0.4	-0.786	-4.625	20.85	0.43~1.0	-0.749
	RD	-12.84	23.81	0~0.4	-0.914	-3.557	20.17	0.4 ~1.0	-0.772
	WT	1.082	2.266	0~0.35	0.568	2.092	1.691	0.4 ~1.0	0.890
	U	11.52	3.303	0~0.33	0.961	2.087	6.524	0.35~1.0	0.828
マ カ ン バ Makanba	SG	0.056	0.641	0~0.4	0.955	0.045	0.635	0.5 ~1.0	0.840
	WF	0.189	0.774	0~0.45	0.864	0.110	0.798	0.48~1.0	0.811
	CW	0.151	0.586	0~0.4	0.787	0.116	0.574	0.5 ~1.0	0.910
	TD	-2.020	18.95	0~0.45	-0.765	-2.247	19.38	0.5 ~1.0	-0.690
	RD	-3.254	19.28	0~0.5	-0.765	-2.314	18.63	0.53~1.0	-0.732
	WT	1.278	1.476	0~0.53	0.826	3.218	0.469	0.53~1.0	0.947
	U	1.021	10.25	0~0.50	0.829	1.060	10.18	0.50~1.0	0.892
ア サ ダ Asada	SG	0.088	0.556	0~0.55	0.724	0.272	0.434	0.6 ~1.0	0.907
	WF	0.122	0.744	0~0.5	0.534	0.259	0.680	0.5 ~1.0	0.843
	CW	0.089	0.591	0~0.5	0.547	0.202	0.527	0.5 ~1.0	0.775
	TD	-9.442	19.34	0~0.48	-0.916	-2.977	16.80	0.5 ~1.0	-0.606
	RD	-10.09	21.03	0~0.5	-0.866	-4.416	18.16	0.53~1.0	-0.776
	WT	1.114	1.778	0~0.5	0.712	3.000	0.831	0.5 ~1.0	0.913
	U	2.734	7.028	0~0.50	0.757	6.546	5.012	0.50~1.0	0.860
カ ツ ラ Katsura	SG	0.043	0.416	0~0.45	0.565	0.138	0.371	0.45~1.0	0.711
	WF	0.135	0.489	0~0.5	0.627	0.155	0.477	0.5 ~1.0	0.664
	CW	0.159	0.533	0~0.6	0.722	0.223	0.474	0.65~1.0	0.807
	TD	-11.21	26.36	0~0.5	-0.926	-5.473	23.37	0.5 ~1.0	-0.836
	RD	-12.89	28.78	0~0.5	-0.922	-8.850	26.44	0.53~1.0	-0.902
	WT	1.570	1.911	0~0.45	0.823	1.338	1.905	0.5 ~1.0	0.748
	U	0.600	2.785	0~0.5	0.734	1.076	2.508	0.5 ~1.0	0.885
ブ Buna	SG	0.106	0.485	0~0.53	0.879	0.278	0.393	0.53~1.0	0.968
	WF	0.161	0.463	0~0.5	0.735	0.459	0.328	0.5 ~1.0	0.946
	CW	0.121	0.717	0~0.5	0.738	0.133	0.711	0.5 ~1.0	0.836
	TD	-7.287	17.36	0~0.35	-0.834	-3.22	15.77	0.5 ~1.0	-0.704
	RD	-5.265	20.63	0~0.5	-0.858	-5.94	20.92	0.5 ~1.0	-0.861
	WT	0.877	3.143	0~0.45	0.694	1.397	2.748	0.5 ~1.0	0.836
	U	1.423	3.764	0~0.5	0.865	7.027	0.971	0.5 ~1.0	0.984

樹種 Wood species		-1				-2			
		回帰係数 ^D Regression coefficient		xの範囲 Range of x	相関係数 Correlation coefficient	回帰係数 ^D Regression coefficient		xの範囲 Range of x	相関係数 Correlation coefficient
		m ₁	m ₂			m ₁	m ₂		
アカガシ Akagashi	SG	0.026	0.774	0~0.5	0.220	0.029	0.774	0.5~1.0	0.259
	WF	0.031	0.861	〃	0.169	0.106	0.818	〃	0.625
	CW	0.154	0.698	〃	0.630	0.117	0.697	〃	0.582
	TD	-2.442	13.31	〃	-0.358	-1.993	13.99	〃	-0.440
	RD	-2.155	12.70	〃	-0.369	-1.179	12.84	〃	-0.288
	WT	0.778	4.022	〃	0.380	-0.302	4.549	〃	-0.189
	U	0.707	9.578	〃	0.299	0.487	10.24	〃	0.314
ミズナラ Mizunara	SG	0.447	0.408	0~0.58	0.836	0.105	0.596	0.58~1.0	0.820
	WF	1.077	0.342	0~0.48	0.960	0.175	0.783	0.48~1.0	0.796
	CW	0.457	0.434	0~0.45	0.914	0.152	0.563	0.48~1.0	0.736
	TD	-18.70	22.17	0~0.48	-0.954	-4.069	15.41	0.48~1.0	-0.807
	RD	-18.06	25.69	0~0.43	-0.967	-4.095	19.75	0.43~1.0	-0.749
	WT	0.944	2.000	0~0.5	0.660	1.032	1.876	0.55~1.0	0.767
	U	12.99	1.816	0~0.48	0.977	0.881	7.588	0.48~1.0	0.581
トチノキ Tochinoki	SG	0.115	0.402	0~0.43	0.797	0.235	0.345	0.45~1.0	0.950
	WF	0.343	0.502	0~0.4	0.772	0.398	0.486	0.4~1.0	0.935
	CW	0.109	0.495	0~0.35	0.493	0.047	0.493	0.4~1.0	0.446
	TD	-2.224	15.75	0~0.4	-0.410	-1.897	15.23	0.43~1.0	-0.618
	RD	-2.466	18.34	0~0.4	-0.424	-2.061	18.02	0.45~1.0	-0.496
	WT	1.233	1.285	0~0.35	0.636	0.681	1.365	0.38~1.0	0.540
	U	6.109	2.777	0~0.35	0.922	1.267	4.473	0.35~1.0	0.729
クスノキ Kusunoki	SG	0.135	0.305	0~0.5	0.920	0.452	0.146	0.5~1.0	0.491
	WF	0.104	0.768	0~0.45	0.817	0.073	0.767	0.5~1.0	0.613
	CW	0.269	0.461	0~0.5	0.910	0.188	0.522	0.55~1.0	0.599
	TD	-13.87	21.47	0~0.5	-0.955	-4.096	16.30	0.5~1.0	-0.616
	RD	-11.41	21.23	0~0.53	-0.920	-6.835	18.78	0.53~1.0	-0.919
	WT	1.024	1.532	0~0.5	0.660	1.942	1.043	0.5~1.0	0.877
	U	2.754	1.980	0~0.5	0.848	7.621	-0.331	0.5~1.0	0.973
ホオノキ Hōnoki	SG	0.011	0.432	0~0.5	0.127	0.081	0.402	0.5~1.0	0.678
	WF	0.032	0.640	〃	0.185	0.142	0.605	〃	0.610
	CW	0.102	0.448	〃	0.547	0.030	0.468	〃	0.197
	TD	0.027	16.46	〃	0.008	-1.702	17.78	〃	-0.413
	RD	-5.460	21.82	〃	-0.676	-2.561	20.38	〃	-0.394
	WT	-0.011	2.984	〃	-0.007	0.213	2.904	〃	0.206
	U	0.202	4.601	〃	0.112	0.976	4.343	〃	0.490
ヤチダモ Yachidamo	SG	0.619	0.363	0~0.4	0.979	0.275	0.504	0.4~1.0	0.956
	WF	1.533	0.131	0~0.55	0.966	0.109	0.883	0.55~1.0	0.508
	CW	0.507	0.408	0~0.40	0.940	0.114	0.566	0.43~1.0	0.654
	TD	-13.74	26.75	0~0.5	-0.904	-6.045	21.88	0.55~1.0	-0.825
	RD	-10.78	26.74	0~0.5	-0.860	-13.13	28.61	0.55~1.0	-0.922
	WT	1.909	1.803	0~0.5	0.829	3.769	0.959	0.5~1.0	0.884
	U	17.26	2.307	0~0.40	0.967	3.054	8.611	0.45~1.0	0.741

Appendix-Table 11. (つづき) (Continued)

樹 種 Wood species		-1				-2			
		回帰係数 ¹⁾ Regression coefficient		x の範囲 Range of x	相関係数 Correlation coefficient	回帰係数 ¹⁾ Regression coefficient		x の範囲 Range of x	相関係数 Correlation coefficient
		m ₁	m ₂			m ₁	m ₂		
シ オ ジ Shioji	SG	0.431	0.326	0~0.4	0.980	0.121	0.450	0.4~1.0	0.953
	WF	0.956	0.391	0~0.48	0.977	0.214	0.759	0.5~1.0	0.918
	CW	0.502	0.343	0~0.35	0.916	0.339	0.391	0.38~1.0	0.930
	TD	-8.480	23.45	0~0.35	-0.819	-1.140	20.46	0.35~1.0	-0.690
	RD	-11.05	23.79	0~0.35	-0.919	-3.335	21.16	0.35~1.0	-0.927
	WT	1.043	1.976	0~0.4	0.738	1.410	1.780	0.4~1.0	0.906
	U	13.30	3.397	0~0.4	0.979	3.977	7.253	0.4~1.0	0.913
キ リ Kiri	SG	0.056	0.225	0~0.5	0.661	0.177	0.163	0.5~1.0	0.943
	WF	0.403	0.683	0~0.4	0.911	0.089	0.810	0.4~1.0	0.660
	CW	0.125	0.281	0~0.5	0.859	0.171	0.238	0.55~1.0	0.742
	TD	-4.118	26.34	0~0.5	-0.563	-2.181	25.60	0.55~1.0	-0.386
	RD	-7.566	31.98	0~0.5	-0.711	-8.019	32.83	0.55~1.0	-0.832
	WT	0.682	1.059	0~0.5	0.458	1.495	0.507	0.5~1.0	0.828
	U	1.651	1.094	0~0.5	0.718	3.339	0.292	0.55~1.0	0.886
シ ナ ノ キ Shinanoki	SG	0.039	0.406	0~0.45	0.470	0.061	0.388	0.5~1.0	0.815
	WF	0.844	0.416	0~0.4	0.970	0.247	0.659	0.4~1.0	0.886
	CW	0.181	0.352	0~0.35	0.756	0.213	0.300	0.4~1.0	0.885
	TD	-13.08	32.18	0~0.45	-0.913	-5.975	28.998	0.45~1.0	-0.927
	RD	-16.09	34.43	0~0.4	-0.918	-9.170	31.42	0.43~1.0	-0.938
	WT	0.828	0.901	0~0.4	0.536	1.706	0.327	0.45~1.0	0.785
	U	5.250	2.880	0~0.35	0.944	0.958	4.342	0.35~1.0	0.645
ハ ル ニ レ Harunire	SG	0.503	0.312	0~0.40	0.954	0.156	0.478	0.43~1.0	0.923
	WF	0.981	0.210	0~0.4	0.977	0.252	0.509	0.4~1.0	0.879
	CW	0.177	0.543	0~0.40	0.716	0.227	0.526	0.40~1.0	0.870
	TD	-11.38	16.76	0~0.40	-0.905	-4.344	13.95	0.40~1.0	-0.894
	RD	-4.381	16.27	0~0.4	-0.613	-5.338	16.97	0.43~1.0	-0.876
	WT	1.033	1.201	0~0.40	0.531	0.961	1.166	0.40~1.0	0.721
	U	12.79	2.212	0~0.43	0.960	1.036	7.403	0.45~1.0	0.586
ケ ヤ キ Keyaki	SG	0.486	0.301	0~0.48	0.942	0.110	0.477	0.48~1.0	0.871
	WF	1.064	0.329	0~0.45	0.950	0.260	0.689	0.45~1.0	0.861
	CW	0.190	0.665	0~0.38	0.804	0.074	0.696	0.4~1.0	0.588
	TD	-2.876	14.27	0~0.4	-0.505	-2.016	13.19	0.45~1.0	-0.576
	RD	-4.281	17.97	0~0.45	-0.676	-10.15	20.76	0.5~1.0	-0.953
	WT	1.325	2.028	0~0.35	0.769	1.192	1.857	0.4~1.0	0.823
	U	6.215	2.637	0~0.4	0.966	1.635	4.512	0.4~1.0	0.823
ヤ マ グ ワ Yamaguwa	SG	0.304	0.442	0~0.4	0.979	0.115	0.512	0.4~1.0	0.935
	WF	1.099	0.515	0~0.30	0.936	0.102	0.832	0.33~1.0	0.784
	CW	0.217	0.384	0~0.45	0.876	0.270	0.356	0.45~1.0	0.934
	TD	-6.271	15.04	0~0.5	0.839	-3.566	13.51	0.5~1.0	-0.895
	RD	-7.090	17.15	0~0.4	-0.811	-9.441	18.71	0.5~1.0	-0.936
	WT	0.585	1.040	0~0.4	0.524	0.687	0.797	0.45~1.0	0.674
	U	15.00	3.837	0~0.35	0.951	2.152	8.235	0.35~1.0	0.865

樹種 Wood species		-1				-2			
		回帰係数 ¹⁾ Regression coefficient		x の範囲 Range of x	相関係数 Correlation coefficient	回帰係数 ¹⁾ Regression coefficient		x の範囲 Range of x	相関係数 Correlation coefficient
		m_1	m_2			m_1	m_2		
ウォルナット Walnut	SG	0.025	0.544	0~0.5	0.206	0.030	0.543	0.5 ~1.0	0.297
	WF	-0.023	0.851	"	-0.169	-0.026	0.865	"	-0.170
	CW	0.022	0.593	"	0.155	0.002	0.606	"	0.010
	TD	-1.124	19.92	"	-0.306	-1.485	20.42	"	-0.391
	RD	-3.129	22.46	"	-0.615	-2.377	19.29	"	-0.516
	WT	0.372	2.640	"	0.180	0.086	2.911	"	0.042
	U	1.834	6.076	"	0.758	4.087	4.583	"	0.949
アピトン Apitong	SG	0.046	0.635	0~0.5	0.376	0.050	0.634	0.5 ~1.0	0.541
	WF	0.020	0.701	"	0.111	-0.012	0.734	"	-0.064
	CW	0.047	0.885	"	0.216	0.033	0.870	"	0.128
	TD	-6.891	25.74	"	-0.794	-4.508	26.67	"	-0.336
	RD	-4.729	26.65	"	-0.662	7.380	19.45	"	0.552
	WT	0.451	4.977	"	0.142	-0.420	5.268	"	-0.142
	U	1.515	7.261	"	0.707	-0.150	8.073	"	-0.076
レッドラワン Red lauan	SG	-0.019	0.512	0~0.5	-0.254	-0.076	0.540	0.5 ~1.0	-0.597
	WF	0.022	0.761	"	0.114	-0.058	0.811	"	-0.258
	CW	-0.072	0.517	"	-0.324	-0.135	0.566	"	-0.528
	TD	-7.094	24.23	"	-0.679	3.241	20.05	"	0.367
	RD	-5.425	28.92	"	-0.778	4.483	25.38	"	0.637
	WT	0.230	2.500	"	0.189	-1.756	3.731	"	-0.877
	U	0.168	5.727	"	0.100	-2.017	5.923	"	-0.691
ホワイトメランチ White meranti	SG	-0.018	0.454	0~0.5	-0.345	-0.039	0.462	0.5 ~1.0	-0.559
	WF	0.022	0.792	"	0.143	-0.008	0.806	"	-0.042
	CW	-0.006	0.511	"	-0.046	0.027	0.478	"	0.340
	TD	-1.177	18.87	"	-0.239	-1.214	19.03	"	-0.254
	RD	0.740	23.54	"	0.137	0.678	23.38	"	0.177
	WT	0.013	1.609	"	0.015	-0.007	1.630	"	-0.006
	U	-0.401	6.999	"	-0.467	-0.752	7.209	"	-0.604
チーク Teak	SG	0.023	0.596	0~0.5	0.491	0.015	0.595	0.5 ~1.0	0.570
	WF	0.094	0.655	"	0.479	0.564	0.415	"	0.975
	CW	0.074	0.677	"	0.488	0.023	0.694	"	0.235
	TD	-2.384	19.67	"	-0.723	-8.455	23.62	"	-0.894
	RD	-0.181	23.54	"	-0.101	-0.010	23.41	"	-0.105
	WT	-0.460	3.137	"	-0.464	-0.635	3.284	"	-0.481
	U	2.018	2.945	"	0.832	1.767	2.731	"	0.956
マホガニー Mahogany	SG	-0.042	0.506	0~0.5	-0.345	-0.064	0.529	0.5 ~1.0	-0.505
	WF	-0.005	0.789	"	-0.034	0.016	0.785	"	0.110
	CW	0.114	0.521	"	0.444	-0.238	0.699	"	-0.238
	TD	-1.395	16.35	"	-0.212	2.931	14.93	"	0.124
	RD	-2.310	15.49	"	-0.305	2.931	12.53	"	0.690
	WT	0.024	2.312	"	0.022	-0.309	2.417	"	-0.360
	U	0.679	3.380	"	0.462	-1.097	4.134	"	-0.741

1) $\phi = m_1x + m_2$

x : 年輪内の相対距離 Relative distance within an annual ring ϕ : 因子 Structural factor

単位 (Unit): TD, RD, WT: μ U: $\times 10^6 \frac{\text{g cm}}{\text{cm}^3}$

Appendix-Table 12. 相 関 表
Matrix of correlation coefficients

1. ヒ ノ キ Hinoki							4. モ ミ Momi						
	SG	CW	TD	RD	WT	U		SG	CW	TD	RD	WT	U
SG		0.947	-0.779	-0.612	0.865	0.896	SG		0.894	-0.720	-0.914	0.885	0.783
CW	0.965		-0.718	-0.724	0.898	0.950	CW	0.983		-0.696	-0.837	0.832	0.728
TD	-0.744	-0.794		0.547	-0.756	-0.701	TD	-0.848	-0.843		0.772	-0.506	-0.441
RD	-0.912	-0.937	0.822		-0.619	-0.682	RD	-0.944	-0.956	0.679		-0.842	-0.662
WT	0.899	0.927	-0.851	-0.917		0.911	WT	0.915	0.918	-0.750	-0.940		0.846
U	0.945	0.896	-0.786	-0.860	0.876		U	0.959	0.956	-0.752	-0.958	0.934	
2. サ ワ ラ Sawara							5. ト ド マ ツ Todomatsu						
	SG	CW	TD	RD	WT	U		SG	CW	TD	RD	WT	U
SG		0.549	-0.173	-0.630	0.895	0.801	SG		0.875	-0.251	-0.651	0.562	0.788
CW	0.980		-0.356	-0.342	0.467	0.403	CW	0.982		-0.347	-0.703	0.690	0.781
TD	-0.032	0.063		0.233	-0.186	-0.298	TD	-0.773	-0.784		0.736	-0.430	-0.498
RD	-0.940	-0.956	-0.079		-0.551	-0.739	RD	-0.979	-0.976	0.830		-0.534	-0.852
WT	0.965	0.974	-0.029	-0.942		0.798	WT	0.942	0.907	-0.861	-0.944		0.556
U	0.856	0.885	0.030	-0.942	0.917		U	0.956	0.962	-0.801	-0.974	0.928	
3. ヒ バ Hiba							6. シ ラ ベ Shirabe						
	SG	CW	TD	RD	WT	U		SG	CW	TD	RD	WT	U
SG		0.873	-0.662	-0.958	0.927	0.781	SG		0.786	-0.737	-0.862	0.908	0.903
CW	0.850		-0.612	-0.848	0.905	0.696	CW	0.936		-0.577	-0.753	0.894	0.832
TD	-0.350	-0.435		0.629	-0.640	-0.550	TD	-0.349	-0.237		0.682	-0.637	-0.668
RD	-0.984	-0.900	0.434		-0.860	-0.667	RD	-0.929	-0.957	0.169		-0.860	-0.871
WT	0.866	0.872	-0.387	-0.874		0.779	WT	0.913	0.887	-0.239	-0.910		0.883
U	0.925	0.749	-0.394	-0.926	0.796		U	0.933	0.886	-0.342	-0.900	0.977	

対角線に対して右上が領域-1における相関係数, 左下が領域-2における相関係数

The right side (or the left side) of the diagonal indicates correlation coefficients in the range-1 (or the range-2).

SG: 気乾比重 Specific gravity in air dry.

CW: 針葉樹仮道管 (広葉樹木部繊維) の細胞壁率 Cell wall area of softwood tracheid (or hardwood fiber).

TD: 針葉樹仮道管 (広葉樹木部繊維) の接線方向の直径 Tangential diameter of softwood tracheid (or hardwood fiber).

RD: 針葉樹仮道管 (広葉樹木部繊維) の半径方向の直径 Radial diameter of softwood tracheid (or hardwood fiber).

WT: 針葉樹仮道管 (広葉樹木部繊維) の細胞壁の厚さ Cell wall thickness of softwood tracheid (or hardwood fiber).

WF(=1-V): Vは道管要素率 V is per cent of vessel element.

U: 摩耗抵抗 Abraside resistance

7. エゾマツ Ezomatsu							11. ツガ Tsuga							
	SG	CW	TD	RD	WT	U		SG	CW	TD	RD	WT	U	
SG		0.927	-0.745	-0.913	0.941	0.916	SG		0.901	-0.536	-0.826	0.840	0.868	
CW	0.934		-0.661	-0.908	0.851	0.873	CW	0.903		-0.581	-0.898	0.903	0.932	
TD	-0.322	-0.427		0.684	-0.693	-0.672	TD	-0.682	-0.645		0.452	-0.571	-0.546	
RD	-0.927	-0.957	0.395		-0.846	-0.871	RD	-0.921	-0.915	0.654		-0.849	-0.934	
WT	0.822	0.885	-0.402	-0.851		0.882	WT	0.939	0.937	-0.675	-0.936		0.885	
U	0.944	0.959	-0.375	-0.952	0.871		U	0.812	0.721	-0.333	-0.847	0.820		
8. トウヒ Tōhi							12. カヤ Kaya							
	SG	CW	TD	RD	WT	U		SG	CW	TD	RD	WT	U	
SG		0.901	0.340	-0.884	0.810	0.906	SG		0.840	-0.650	-0.898	0.687	0.855	
CW	0.907		0.142	-0.812	0.802	0.859	CW	0.936		-0.715	-0.892	0.789	0.891	
TD	0.221	0.172		-0.186	0.251	0.275	TD	-0.569	-0.556		0.767	-0.481	-0.804	
RD	-0.947	-0.960	-0.241		-0.757	-0.818	RD	-0.924	-0.939	0.635		-0.646	-0.893	
WT	0.949	0.917	0.065	-0.951		0.870	WT	0.907	0.903	-0.427	-0.838		0.783	
U	0.403	0.461	0.252	-0.406	0.467		U	0.952	0.912	-0.546	-0.952	0.879		
9. アカマツ Akamatsu							13. スギ Sugi							
	SG	CW	TD	RD	WT	U		SG	CW	TD	RD	WT	U	
SG		0.958	-0.640	-0.903	0.950	0.951	SG		0.879	-0.692	-0.928	0.938	0.967	
CW	0.947		-0.673	-0.852	0.911	0.932	CW	0.927		-0.868	-0.893	0.841	0.923	
TD	-0.826	-0.875		0.444	-0.630	-0.523	TD	-0.514	-0.411		0.706	-0.631	-0.765	
RD	-0.903	-0.917	0.855		-0.823	-0.898	RD	-0.949	-0.956	0.338		-0.914	-0.937	
WT	0.926	0.955	-0.878	-0.895		0.912	WT	0.982	0.932	-0.525	-0.939		0.905	
U	0.980	0.903	-0.751	-0.845	0.892		U	0.929	0.960	-0.336	-0.964	0.935		
10. ヒメコマツ Himekomatsu							14. イタヤカエデ Itayakaede							
	SG	CW	TD	RD	WT	U		SG	WF	CW	TD	RD	WT	U
SG		0.929	-0.705	-0.812	0.893	0.932	SG		0.226	0.324	-0.534	-0.794	0.484	0.661
CW	0.984		-0.756	-0.857	0.789	0.862	WF	0.811		0.901	-0.654	-0.426	0.777	0.708
TD	0.271	0.220		0.653	-0.714	-0.680	CW	0.285	0.361		-0.789	-0.609	0.868	0.830
RD	-0.960	-0.957	-0.255		-0.826	-0.878	TD	-0.174	-0.306	-0.738		0.788	-0.798	-0.840
WT	0.971	0.958	0.371	-0.934		0.955	RD	-0.439	-0.428	-0.712	0.743		-0.756	-0.798
U	0.950	0.951	0.334	-0.908	0.970		WT	0.549	0.768	0.618	-0.661	-0.529		0.796
							U	0.239	0.384	0.571	-0.751	-0.354	0.646	

Appendix-Table 12. (つづき) (Continued)

15. セ Sen								19. ブ Buna							
	SG	WF	CW	TD	RD	WT	U		SG	WF	CW	TD	RD	WT	U
SG		0.948	0.720	-0.737	-0.823	0.690	0.919	SG		0.788	0.663	-0.811	-0.822	0.401	0.675
WF	0.534		0.754	-0.728	-0.805	0.625	0.904	WF	0.866		0.511	-0.553	-0.736	0.458	0.561
CW	0.836	0.664		-0.656	-0.757	0.402	0.805	CW	0.818	0.793		-0.533	-0.643	0.587	0.559
TD	-0.824	-0.568	-0.678		0.673	-0.456	-0.774	TD	-0.697	-0.595	-0.561		0.831	-0.503	-0.738
RD	-0.768	-0.533	-0.714	0.652		-0.307	-0.940	RD	-0.859	-0.777	-0.666	0.510		-0.518	-0.636
WT	0.770	0.650	0.879	-0.766	-0.697		0.549	WT	0.741	0.812	0.799	-0.458	-0.776		0.740
U	0.823	0.629	0.764	-0.608	-0.686	0.722		U	0.952	0.937	0.850	-0.672	-0.864	0.819	
16. マ カ Makanba								20. ア カ ガ シ Akagashi							
	SG	WF	CW	TD	RD	WT	U		SG	WF	CW	TD	RD	WT	U
SG		0.780	0.803	-0.865	-0.635	0.809	0.726	SG		0.311	0.193	0.202	-0.294	-0.111	0.646
WF	0.686		0.704	-0.712	-0.709	0.840	0.735	WF	0.068		-0.154	-0.473	-0.267	0.073	0.485
CW	0.801	0.892		-0.746	-0.618	0.627	0.804	CW	0.411	0.420		-0.385	-0.297	0.164	0.159
TD	-0.658	-0.640	-0.650		0.576	-0.788	-0.557	TD	0.134	-0.301	0.087		0.391	-0.188	-0.065
RD	-0.492	-0.647	-0.722	0.794		-0.632	-0.859	RD	-0.595	0.029	-0.251	-0.082		-0.007	-0.476
WT	0.744	0.786	0.840	-0.627	-0.706		0.583	WT	0.019	-0.452	-0.147	0.138	-0.149		-0.061
U	0.794	0.725	0.768	-0.778	-0.706	0.855		U	-0.009	0.082	0.225	-0.042	0.209	0.407	
17. ア サ Asada								21. ミ ズ ナ ラ Mizunara							
	SG	WF	CW	TD	RD	WT	U		SG	WF	CW	TD	RD	WT	U
SG		0.784	0.241	-0.684	-0.542	0.738	0.572	SG		0.952	0.867	-0.884	-0.914	0.567	0.934
WF	0.641		0.396	-0.583	-0.657	0.585	0.402	WF	0.797		0.844	-0.883	-0.916	0.610	0.923
CW	0.748	0.741		-0.514	-0.665	0.261	0.350	CW	0.590	0.379		-0.876	-0.869	0.505	0.887
TD	-0.657	-0.576	-0.823		0.818	-0.523	-0.718	TD	-0.691	-0.460	-0.861		0.913	-0.658	-0.932
RD	-0.692	-0.604	-0.625	0.492		-0.499	-0.422	RD	-0.547	-0.368	-0.643	0.763		-0.594	-0.886
WT	0.867	0.794	0.919	-0.759	-0.725		0.569	WT	0.698	0.678	0.572	-0.616	-0.620		0.695
U	0.910	0.757	0.828	-0.669	-0.766	0.951		U	0.482	0.458	0.579	-0.432	-0.403	0.564	
18. カ ツ Katsura								22. ト チ ノ キ Tochinoki							
	SG	WF	CW	TD	RD	WT	U		SG	WF	CW	TD	RD	WT	U
SG		0.489	0.215	-0.413	-0.509	0.683	0.427	SG		0.648	0.499	-0.282	-0.191	0.862	0.676
WF	0.598		0.514	-0.526	-0.623	0.567	0.066	WF	0.951		0.203	-0.223	-0.021	0.563	0.737
CW	0.748	0.539		-0.848	-0.759	0.701	0.460	CW	0.517	0.463		0.019	-0.167	0.489	0.476
TD	-0.664	-0.521	-0.579		0.875	-0.761	-0.705	TD	-0.594	-0.565	-0.394		0.531	-0.103	-0.199
RD	-0.761	-0.639	-0.672	0.807		-0.823	-0.569	RD	-0.379	-0.396	-0.196	0.555		-0.110	-0.207
WT	0.749	0.466	0.785	-0.546	-0.662		0.559	WT	0.478	0.508	0.391	-0.557	-0.259		0.584
U	0.891	0.505	0.779	-0.662	-0.717	0.852		U	0.825	0.723	0.491	-0.425	-0.238	0.378	

23. クスノキ Kusunoki								27. キリ Kiri							
	SG	WF	CW	TD	RD	WT	U		SG	WF	CW	TD	RD	WT	U
SG		0.771	0.750	-0.910	-0.782	0.629	0.902	SG		0.655	0.392	-0.446	-0.551	0.458	0.767
WF	0.700		0.704	-0.811	-0.837	0.516	0.789	WF	0.617		0.560	-0.516	-0.637	0.321	0.738
CW	0.832	0.499		-0.785	-0.861	0.360	0.788	CW	0.670	0.649		-0.450	-0.454	0.301	0.693
TD	-0.869	-0.489	-0.634		0.880	-0.748	-0.924	TD	-0.184	-0.136	-0.122		0.052	0.182	-0.539
RD	-0.926	-0.516	-0.684	0.926		-0.597	-0.830	RD	-0.797	-0.242	-0.554	0.341		-0.712	-0.363
WT	0.776	0.336	0.745	-0.754	-0.803		0.721	WT	0.707	0.650	0.744	-0.394	-0.538		0.274
U	0.972	0.599	0.793	-0.930	-0.957	0.849		U	0.882	0.498	0.719	-0.207	-0.749	0.666	
24. ホオノキ Hōnoki								28. シナノキ Shinanoki							
	SG	WF	CW	TD	RD	WT	U		SG	WF	CW	TD	RD	WT	U
SG		0.523	0.247	0.407	-0.320	0.382	0.280	SG		0.518	0.532	-0.422	-0.487	0.361	0.318
WF	0.510		0.016	0.329	0.018	-0.129	0.085	WF	0.748		0.731	-0.853	-0.890	0.566	0.908
CW	0.460	0.302		0.180	-0.588	0.232	0.047	CW	0.710	0.729		-0.624	-0.681	0.608	0.623
TD	-0.185	-0.022	-0.389		0.063	-0.299	0.525	TD	-0.770	-0.846	-0.869		0.888	-0.424	-0.952
RD	-0.499	0.106	-0.281	0.459		-0.050	0.060	RD	-0.761	-0.817	-0.804	0.836		-0.540	-0.875
WT	0.342	0.097	-0.290	0.154	-0.173		0.141	WT	0.534	0.504	0.727	-0.657	-0.787		0.494
U	0.424	0.232	-0.070	0.281	-0.217	0.001		U	0.428	0.516	0.700	-0.604	-0.644	0.594	
25. ヤチダモ Yachidamo								29. アカダモ Akadamo							
	SG	WF	CW	TD	RD	WT	U		SG	WF	CW	TD	RD	WT	U
SG		0.941	0.962	-0.890	-0.294	0.718	0.975	SG		0.935	0.676	-0.869	-0.627	0.565	0.973
WF	0.557		0.887	-0.906	-0.166	0.798	0.947	WF	0.812		0.771	-0.866	-0.596	0.516	0.950
CW	0.746	0.559		-0.883	-0.189	0.658	0.937	CW	0.751	0.812		-0.654	-0.622	0.501	0.723
TD	-0.817	-0.290	-0.479		0.143	-0.667	-0.885	TD	-0.838	-0.804	-0.843		0.581	-0.634	-0.857
RD	-0.787	-0.408	-0.488	0.725		-0.186	-0.194	RD	-0.796	-0.684	-0.828	0.828		-0.645	-0.672
WT	0.895	0.546	0.766	-0.667	-0.751		0.709	WT	0.555	0.639	0.650	-0.749	-0.592		0.558
U	0.733	0.453	0.557	-0.436	-0.695	0.801		U	0.540	0.567	0.577	-0.438	-0.438	0.327	
26. シオジ Shioji								30. ケヤキ Keyaki							
	SG	WF	CW	TD	RD	WT	U		SG	WF	CW	TD	RD	WT	U
SG		0.954	0.929	-0.826	-0.954	0.743	0.961	SG		0.898	0.699	-0.499	-0.648	0.701	0.867
WF	0.878		0.947	-0.855	-0.899	0.683	0.961	WF	0.831		0.687	-0.384	-0.686	0.720	0.895
CW	0.809	0.866		-0.828	-0.844	0.588	0.901	CW	0.368	0.445		-0.479	-0.466	0.734	0.801
TD	-0.589	-0.663	-0.763		0.839	-0.501	-0.861	TD	-0.477	-0.535	-0.347		0.325	-0.651	-0.564
RD	-0.921	-0.901	-0.794	0.638		-0.780	-0.932	RD	-0.796	-0.809	-0.463	0.630		-0.217	-0.670
WT	0.890	0.802	0.849	-0.759	-0.877		0.675	WT	0.753	0.634	0.304	-0.482	-0.815		0.763
U	0.829	0.844	0.866	-0.711	-0.909	0.905		U	0.739	0.852	0.557	-0.670	-0.815	0.601	

Appendix-Table 12. (つづき) (Continued)

31. ヤ マ グ ワ Yamaguwa								35. ホワイトメラランチ White meranti							
	SG	WF	CW	TD	RD	WT	U		SG	WF	CW	TD	RD	WT	U
SG		0.939	0.843	-0.814	-0.781	0.543	0.951	SG		-0.256	-0.232	0.097	-0.091	0.223	-0.164
WF	0.693		0.856	-0.731	-0.805	0.487	0.957	WF	-0.073		-0.112	-0.188	0.225	-0.260	0.246
CW	0.847	0.755		-0.783	-0.795	0.573	0.849	CW	-0.190	-0.230		-0.034	-0.038	-0.091	0.281
TD	-0.843	-0.686	-0.859		0.624	-0.534	-0.729	TD	0.601	0.068	-0.180		-0.073	-0.526	0.310
RD	-0.841	-0.628	-0.916	0.841		-0.301	-0.844	RD	0.117	-0.034	-0.322	-0.112		-0.163	-0.059
WT	0.692	0.552	0.745	-0.664	-0.708		0.462	WT	-0.000	-0.450	-0.038	-0.223	0.211		-0.371
U	0.821	0.713	0.890	-0.787	-0.839	0.692		U	0.347	-0.232	0.106	0.069	-0.264	-0.030	
32. ウオルナット Walnut								36. チーク Teak							
	SG	WF	CW	TD	RD	WT	U		SG	WF	CW	TD	RD	WT	U
SG		0.168	0.156	-0.493	-0.005	-0.207	0.270	SG		0.390	-0.134	-0.262	-0.065	0.716	0.469
WF	0.118		-0.285	-0.218	0.236	0.192	0.049	WF	0.529		0.419	-0.532	-0.397	-0.000	0.360
CW	0.187	0.099		-0.054	-0.122	-0.000	0.032	CW	0.016	0.170		-0.427	-0.468	-0.473	0.306
TD	-0.267	-0.165	-0.112		0.289	0.424	-0.605	TD	-0.455	-0.905	-0.255		0.225	0.085	-0.738
RD	0.082	0.005	-0.076	0.172		0.153	-0.510	RD	-0.219	-0.075	0.042	0.165		0.059	-0.118
WT	0.072	0.135	-0.517	0.042	0.042		-0.067	WT	-0.324	-0.555	0.056	0.474	0.264		-0.266
U	0.268	-0.156	-0.012	-0.359	-0.437	0.038		U	0.566	0.946	0.268	-0.873	-0.045	-0.385	
33. アピトン Apitong								37. マホガニー Mahogany							
	SG	WF	CW	TD	RD	WT	U		SG	WF	CW	TD	RD	WT	U
SG		0.238	0.195	-0.507	-0.264	0.258	0.396	SG		-0.220	-0.143	0.226	-0.150	0.213	-0.067
WF	0.220		-0.115	-0.188	-0.150	0.267	-0.228	WF	-0.030		0.237	-0.563	0.100	-0.004	0.145
CW	0.309	-0.290		-0.439	-0.445	0.163	0.242	CW	0.480	-0.130		-0.427	-0.239	-0.093	0.523
TD	-0.063	-0.047	0.361		0.739	-0.105	-0.420	TD	-0.165	0.109	-0.643		-0.176	0.455	-0.094
RD	0.418	-0.135	0.274	-0.151		0.039	-0.386	RD	-0.625	0.399	-0.707	0.263		-0.199	-0.099
WT	0.017	-0.201	-0.141	-0.044	0.040		0.286	WT	-0.040	-0.060	0.091	0.119	-0.304		-0.026
U	0.292	0.032	0.259	0.324	0.308	-0.120		U	0.232	-0.021	0.134	-0.100	-0.244	0.304	
34. レッドラワン Red lauan															
	SG	WF	CW	TD	RD	WT	U								
SG		0.086	-0.179	0.122	0.342	-0.158	0.145								
WF	0.122		0.159	-0.052	-0.047	0.105	0.022								
CW	0.168	0.217		-0.107	0.207	-0.034	-0.034								
TD	-0.370	0.438	-0.329		0.554	-0.048	-0.133								
RD	-0.144	-0.022	-0.509	0.126		0.074	0.149								
WT	0.726	0.159	0.401	-0.297	-0.521		-0.033								
U	0.435	-0.206	0.100	-0.521	-0.511	0.562									

Appendix-Table 13. 針葉樹材の気乾比重 (ρ) と摩耗抵抗 (U) の回帰係数
Regression coefficient of the relation between specific gravity (ρ) and abrasive resistance (U) of softwood

樹種 Wood species (-1: $x=0\sim0.65$ -2: $x=0.65\sim1.0$)	回帰係数 Regression coefficient		気乾比重の範囲 (下線は平均値) Range of specific gravity (Underlines: mean values)	年輪幅 Annual ring width (mm)	
	$U=r_1\cdot\rho+r_2^{1)}$				
	r_1	r_2			
ヒノキ Hinoki	-1	58.179*	-15.541	0.275..... <u>0.306</u>0.340	1.53~2.07
	-2	3.569*	2.919	0.345..... <u>0.414</u>0.525	
サワラ Sawara	-1	20.788*	-3.150	0.200..... <u>0.230</u>0.265	1.28~1.50
	-2	19.987*	-1.614	0.250..... <u>0.370</u>0.635	
ヒバ Hiba	-1	4.846*	-0.104	0.265..... <u>0.305</u>0.380	1.96~2.21
	-2	15.590*	-4.050	0.390..... <u>0.462</u>0.525	
モミ Momi	-1	15.211*	-2.375	0.230..... <u>0.277</u>0.335	3.55~4.40
	-2	12.160*	-1.235	0.380..... <u>0.572</u>0.780	
トドマツ Todomatsu	-1	10.490*	-0.967	0.205..... <u>0.226</u>0.285	3.16~3.79
	-2	7.637*	-0.478	0.295..... <u>0.405</u>0.560	
シラベ Shirabe	-1	25.852*	-4.875	0.265..... <u>0.305</u>0.375	1.96~2.52
	-2	42.841*	-12.016	0.375..... <u>0.457</u>0.530	
エゾマツ Ezomatsu	-1	24.338*	-5.999	0.285..... <u>0.336</u>0.415	1.77~1.96
	-2	35.940*	-11.264	0.400..... <u>0.504</u>0.655	
トウヒ Tōhi	-1	19.119*	-3.815	0.355..... <u>0.399</u>0.480	2.01~2.67
	-2	3.647	3.828	0.485..... <u>0.545</u>0.615	
アカマツ Akamatsu	-1	9.745*	-0.398	0.260..... <u>0.328</u>0.440	2.10~2.46
	-2	15.429*	-1.944	0.430..... <u>0.583</u>0.690	
ヒメコマツ Himekomatsu	-1	16.299*	-3.044	0.320..... <u>0.356</u>0.410	1.89~2.01
	-2	13.290*	-1.560	0.420..... <u>0.498</u>0.605	
ツガ Tsuga	-1	26.004*	-5.470	0.260..... <u>0.310</u>0.380	1.24~1.88
	-2	4.247*	3.082	0.425..... <u>0.537</u>0.630	
カヤ Kaya	-1	17.088*	-3.919	0.350..... <u>0.384</u>0.450	1.77~2.17
	-2	98.104*	-43.554	0.465..... <u>0.523</u>0.580	
スギ Sugi	-1	12.352*	-1.464	0.180..... <u>0.281</u>0.400	2.26~3.03
	-2	25.997*	-6.736	0.405..... <u>0.522</u>0.625	

1) $U: \times 10^6 \frac{\text{g cm}}{\text{cm}^3}$

Appendix-Table 14. 広葉樹材の気乾比重 (ρ) と摩耗抵抗 (U) の回帰係数
Regression coefficient of the relation between specific gravity (ρ) and abrasive resistance (U) of hardwood

樹種 Wood species ($-1 : x=0\sim 0.5$ $-2 : x=0.5\sim 1.0$ (-1): $x=0\sim 0.4$ (-2): $x=0.4\sim 1.0$)	回帰係数 Regression coefficient		気乾比重の範囲 (下線は平均値) Range of specific gravity (Underlines : mean values)	年輪幅 Annual ring width (mm)
	$U=r_1\cdot\rho+r_2^1)$			
	r_1	r_2		
セ シン (-1) Sen	17.400*	- 2.678	0.315..... <u>0.482</u>0.580	2.28~2.95
	14.921*	- 1.008	0.550..... <u>0.601</u>0.640	
ミズナラ (-1) Mizunara	23.178*	- 6.989	0.385..... <u>0.516</u>0.640	2.30~3.37
	5.903*	4.263	0.625..... <u>0.674</u>0.700	
ヤマグワ (-1) Yamaguwa	48.053*	-17.340	0.440..... <u>0.506</u>0.560	2.78~3.56
	16.469*	- 0.014	0.555..... <u>0.591</u>0.630	
ヤチダモ (-1) Yachidamo	27.464*	- 7.606	0.335..... <u>0.514</u>0.660	2.60~3.66
	10.473*	3.455	0.625..... <u>0.709</u>0.785	
シオジ (-1) Shioji	29.611*	- 6.158	0.320..... <u>0.412</u>0.485	2.14~2.66
	28.041*	- 4.961	0.485..... <u>0.533</u>0.565	
ハルニレ (-1) Harunire	24.584*	- 5.364	0.325..... <u>0.417</u>0.535	2.10~2.58
	5.644*	4.816	0.520..... <u>0.585</u>0.630	
ケヤキ (-1) Keyaki	10.815*	- 0.411	0.310..... <u>0.402</u>0.525	1.81~2.66
	11.168*	- 0.526	0.510..... <u>0.552</u>0.585	
イタヤカエデ (-1) Itayakaede	28.794*	-11.058	0.565..... <u>0.591</u>0.610	1.76~2.06
	3.958	4.627	0.585..... <u>0.605</u>0.620	
マカンバ (-1) Makanba	14.318*	1.125	0.635..... <u>0.654</u>0.670	2.78~3.86
	15.968*	0.295	0.655..... <u>0.668</u>0.685	
アサダ (-1) Asada	16.919*	- 2.077	0.540..... <u>0.577</u>0.605	3.45~3.88
	22.114*	- 4.175	0.565..... <u>0.635</u>0.720	
カツラ (-1) Katsura	4.491	1.016	0.405..... <u>0.426</u>0.450	1.63~2.12
	5.566*	0.674	0.415..... <u>0.473</u>0.520	
ブナ (-1) Buna	9.238*	- 0.606	0.480..... <u>0.510</u>0.540	2.31~2.51
	23.760*	- 8.052	0.530..... <u>0.599</u>0.680	
トチノキ (-1) Tochinoki	30.231*	- 8.816	0.395..... <u>0.425</u>0.450	2.50~3.24
	5.789*	2.408	0.420..... <u>0.508</u>0.580	
クスノキ (-1) Kusunoki	18.189*	- 3.498	0.310..... <u>0.338</u>0.385	3.22~3.50
	16.545*	- 2.641	0.380..... <u>0.482</u>0.600	

1) $U : \times 10^6 \frac{\text{g cm}}{\text{cm}^3}$

2) 半径方向の測定長さ Measured length along radial direction.

樹種 Wood species (-1 : x=0~0.5) (-2 : x=0.5~1.0) (-1) : x=0~0.4 (-2) : x=0.4~1.0)	回帰係数 Regression coefficient		気乾比重の範囲 (下線は平均値) Range of specific gravity (Underlines : mean values)	年輪幅 Annual ring width (mm)	
	$U=r_1 \cdot \rho + r_2 \cdot D$				
	r_1	r_2			
ホ オ ノ キ Hōnoki	-1	5.664	2.185	0.415..... <u>0.435</u>0.460	2.66~3.15
	-2	7.041	1.818	0.415..... <u>0.461</u>0.485	
キ Kiri	-1	20.286*	-3.334	0.215..... <u>0.238</u>0.260	3.60~5.14
	-2	17.542*	-2.394	0.240..... <u>0.294</u>0.345	
シ ナ ノ キ Shinanoki	(-1)	21.271	-4.825	0.395..... <u>0.414</u>0.430	2.38~2.71
	(-2)	8.347	1.414	0.400..... <u>0.430</u>0.460	
ア カ ガ シ Akagashi	-1	13.096*	-0.465	0.755..... <u>0.780</u>0.810	2.72~3.15
	-2	-0.150	10.725	0.775..... <u>0.795</u>0.825	
ウオルナット Walnut	-1	6.518	2.942	0.520..... <u>0.549</u>0.580	2.56~2.82 ²⁾
	-2	11.464	1.141	0.545..... <u>0.565</u>0.600	
アピトン Apitong	-1	6.825	3.217	0.615..... <u>0.646</u>0.685	1.66~2.88 ²⁾
	-2	6.109	3.860	0.650..... <u>0.671</u>0.700	
レッドラワン Red lauan	-1	3.104	4.193	0.485..... <u>0.507</u>0.525	1.33~2.43 ²⁾
	-2	9.811	-0.323	0.435..... <u>0.483</u>0.510	
ホワイトメランチ White meranti	-1	-2.600	8.069	0.435..... <u>0.449</u>0.460	1.87~2.95 ²⁾
	-2	5.863	4.114	0.415..... <u>0.432</u>0.455	
チーク Teak	-1	25.093	-11.650	0.590..... <u>0.601</u>0.610	2.08~2.37
	-2	35.052*	-17.216	0.600..... <u>0.606</u>0.615	
マホガニー Mahogany	-1	-0.799	3.941	0.470..... <u>0.496</u>0.530	1.60~2.19 ²⁾
	-2	2.668	2.032	0.455..... <u>0.481</u>0.525	

付 図

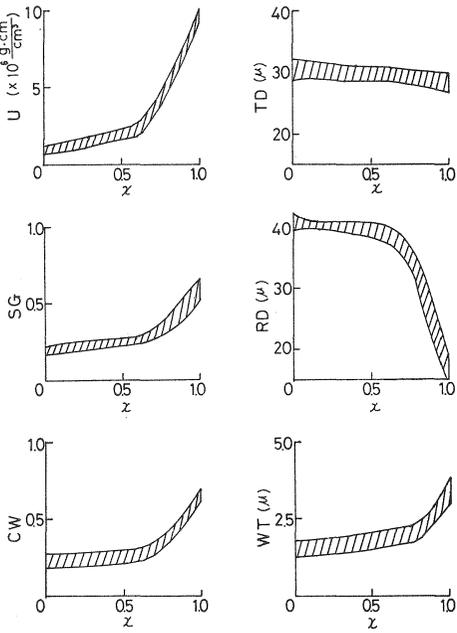


Fig. 40 サ ワ ラ
Sawara

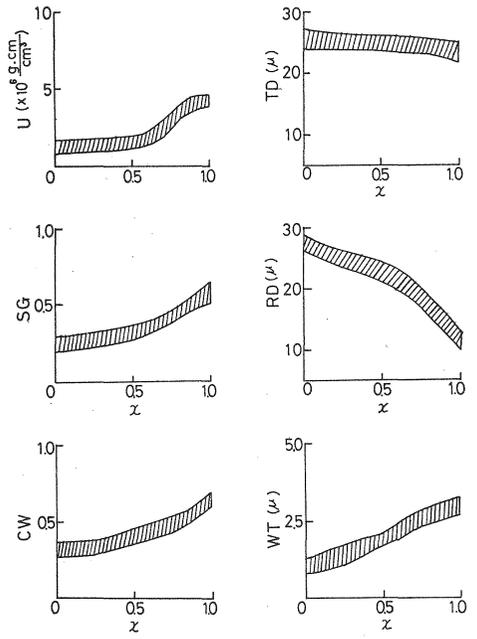


Fig. 41 ヒ
Hiba

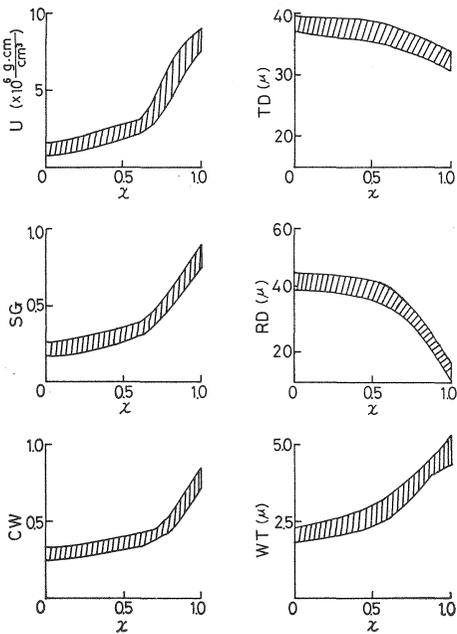


Fig. 42 モ
Momi

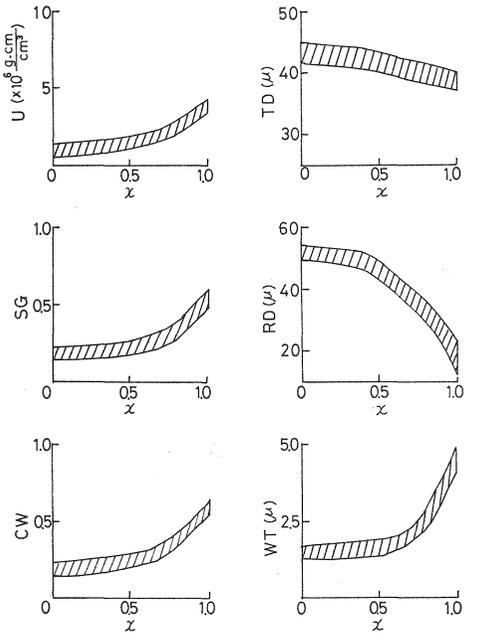


Fig. 43 ト ド マ ツ
Todomatsu

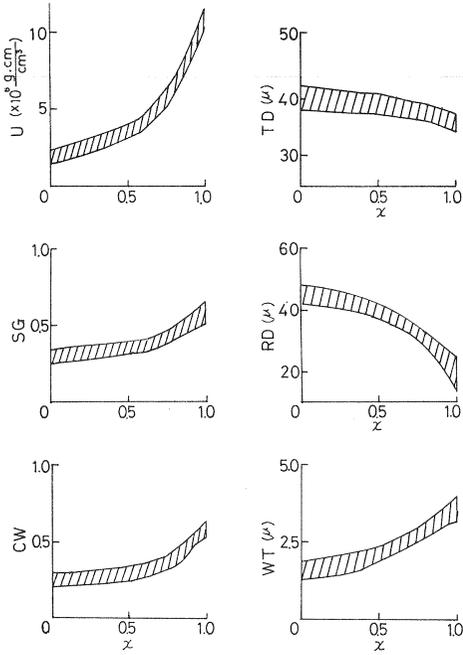


Fig. 44 シラベ
Shirabe

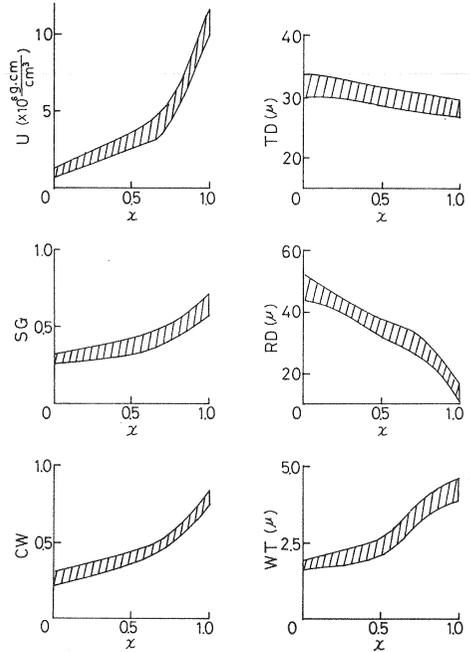


Fig. 45 エゾマツ
Ezomatsu

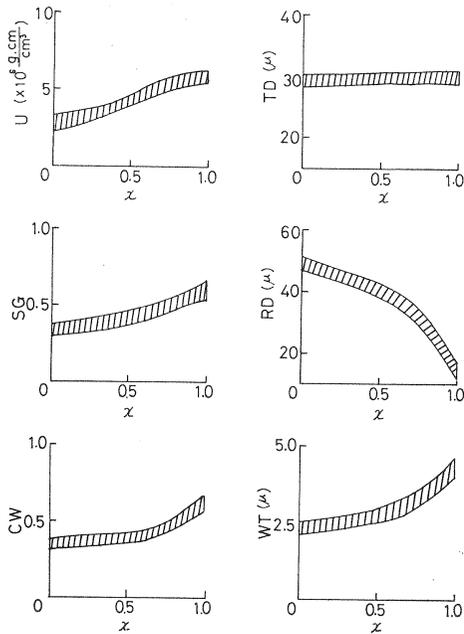


Fig. 46 トウヒ
Tōhi

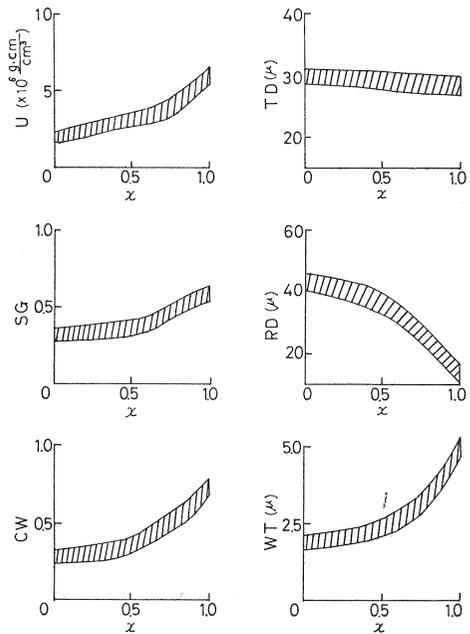


Fig. 47 ヒメコマツ
Himekomatsu

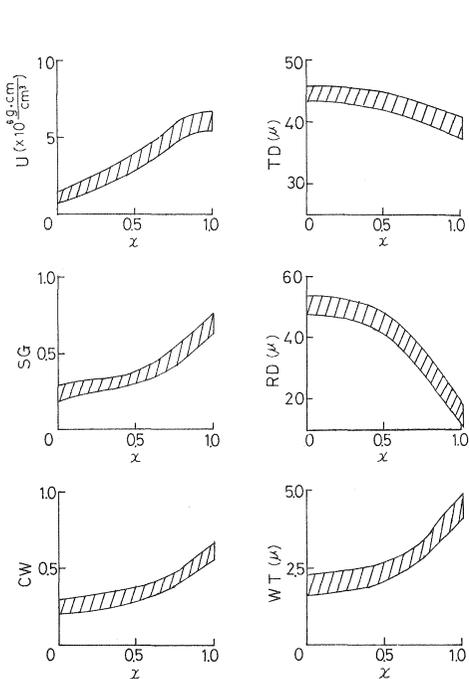


Fig. 48 ツ
Tsuga

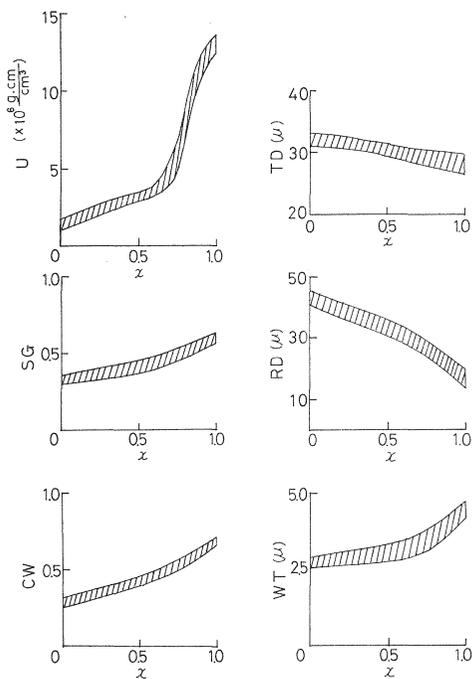


Fig. 49 カ
Kaya

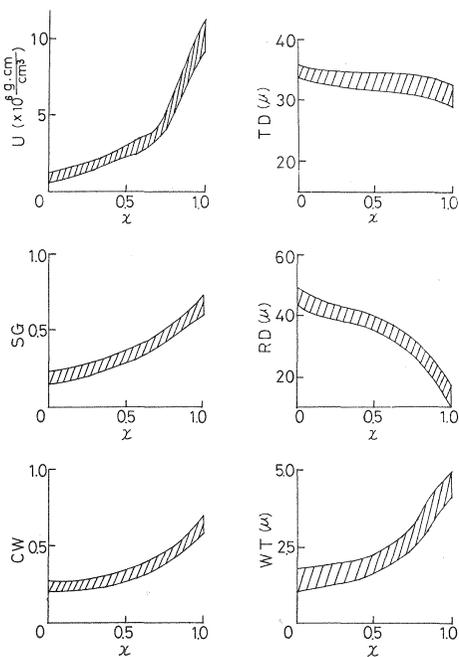


Fig. 50 ス
Sugi

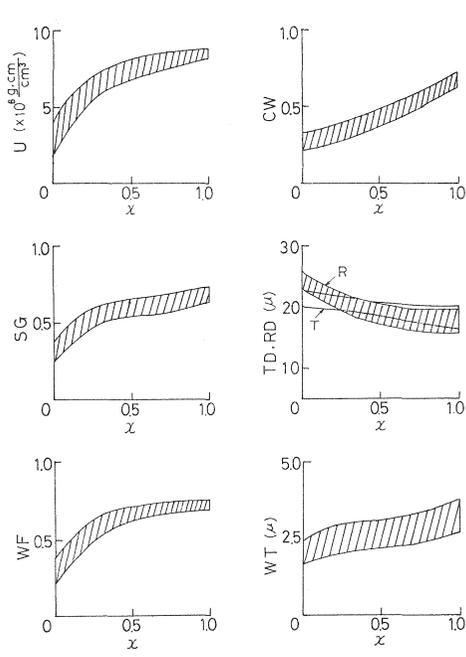


Fig. 51 セ
Sen

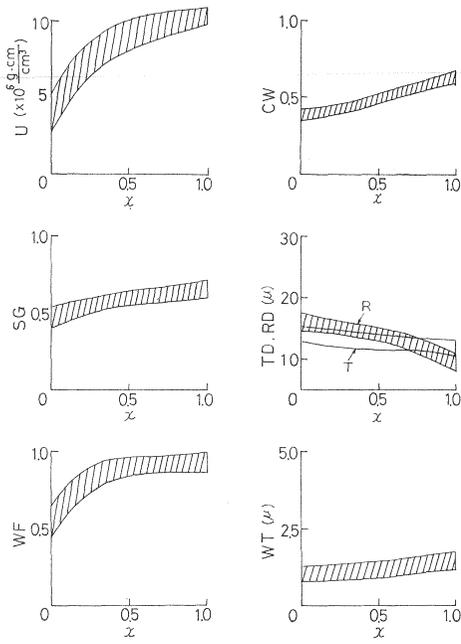


Fig. 52 ヤマグワ
Yamaguwa

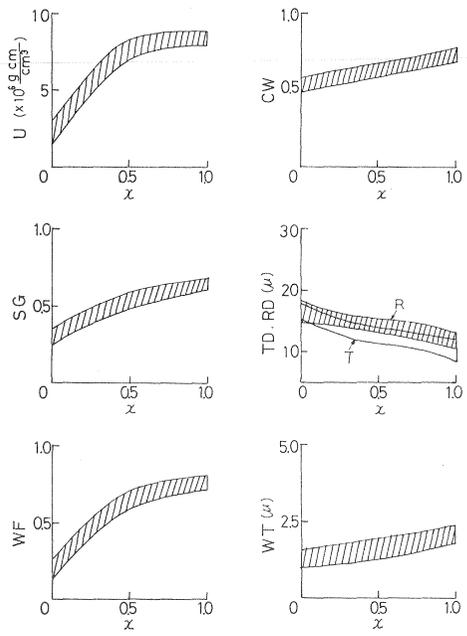


Fig. 53 ハルニレ
Harunire

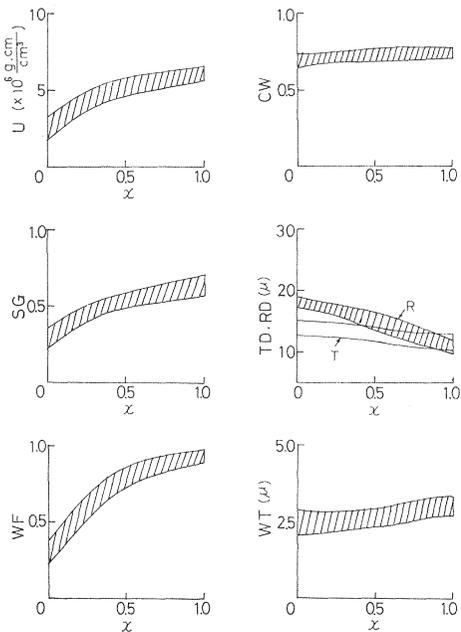


Fig. 54 ケヤキ
Keyaki

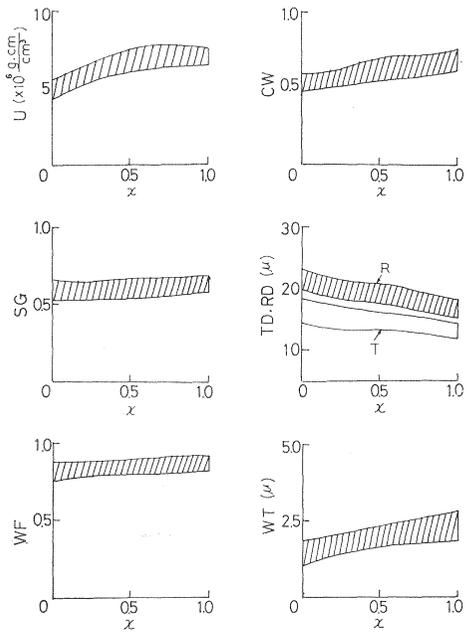


Fig. 55 イタヤカエデ
Itayakaede

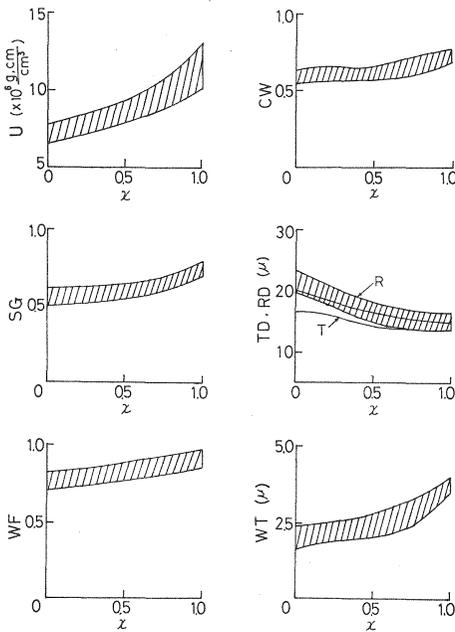


Fig. 56 ア サ ダ
Asada

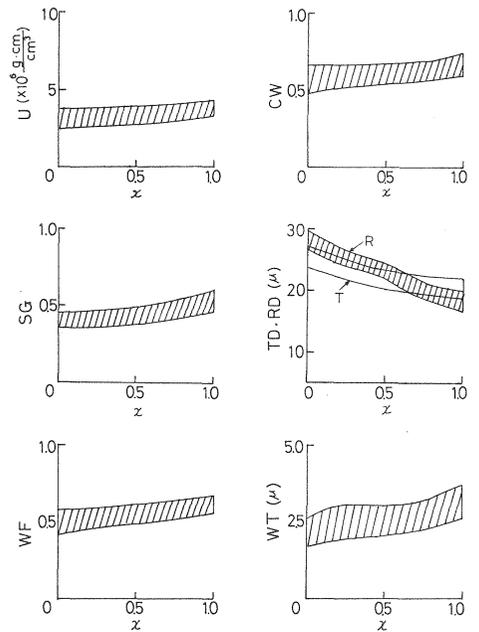


Fig. 57 カ ツ ラ
Katsura

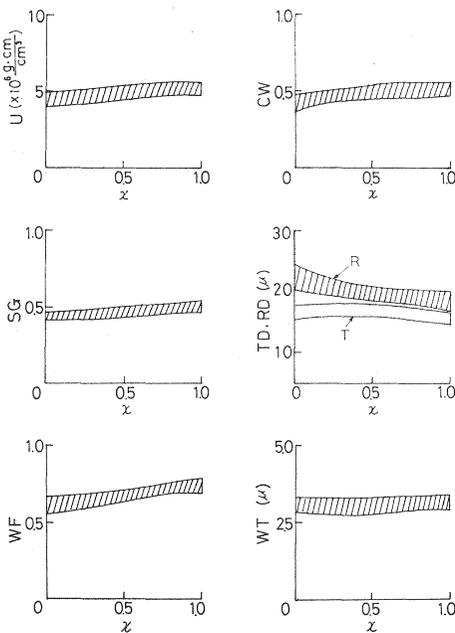


Fig. 58 ホ オ ノ キ
Hōnoki

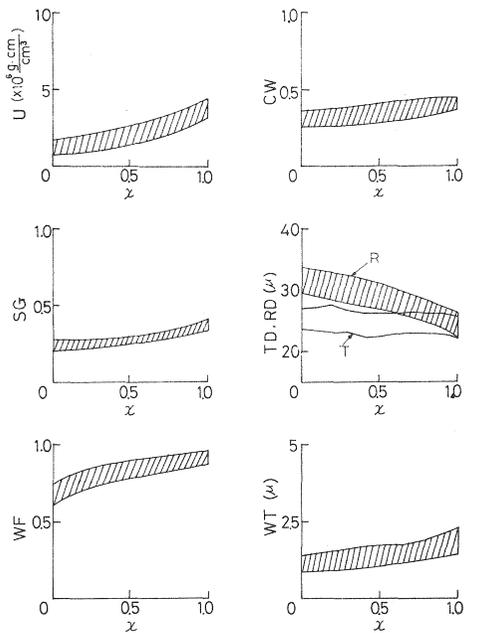


Fig. 59 キ リ
Kiri

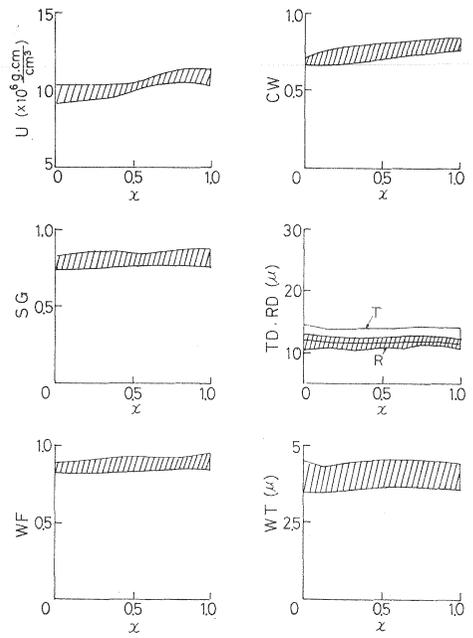
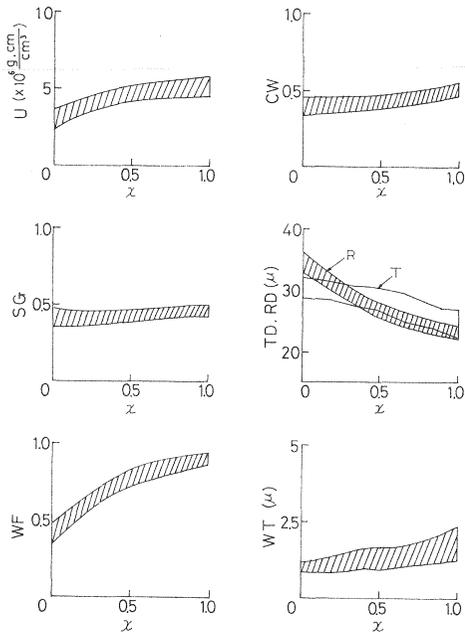


Fig. 60 シ ナ ノ キ
Shinanoki

Fig. 61 ア カ ガ シ
Akagashi

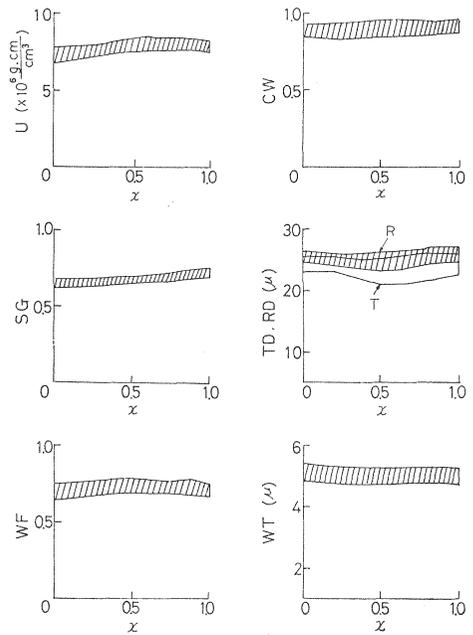
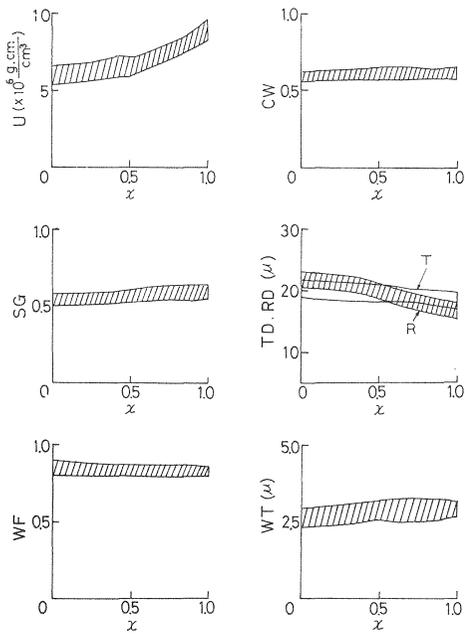


Fig. 62 ウ オ ル ナ ッ ト
Walnut

Fig. 63 ア ピ ト ン
Apitong

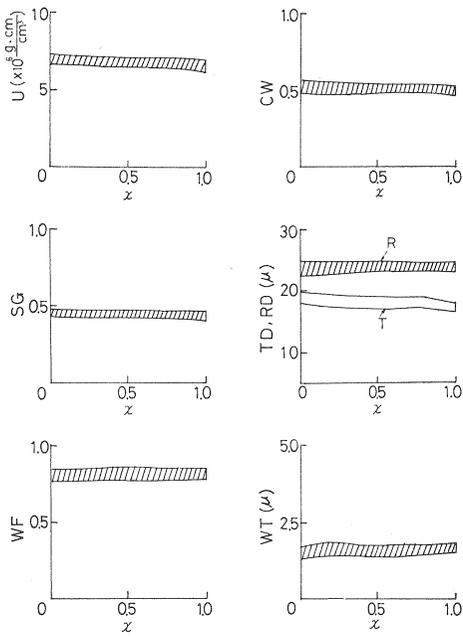


Fig. 64 ホワイトメランチ
White meranti

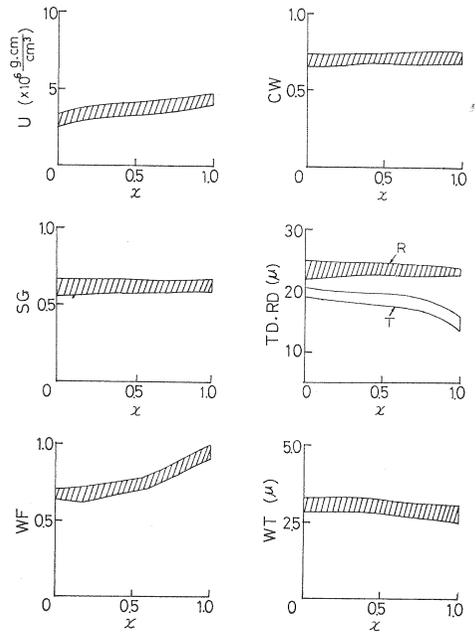


Fig. 65 チーク
Teak