

針葉樹アテ細胞膜の力学的構造模型

山井, 良三郎
林業試験場

<https://doi.org/10.15017/21229>

出版情報 : 九州大学農学部学藝雑誌. 13 (1/4), pp.234-237, 1951-11. 九州大学農学部
バージョン :
権利関係 :

針葉樹アテ細胞膜の力学的構造模型

山井良三郎

The mechanical model of cell wall of
compression wood

Ryozaburo Yamai

1. 緒言

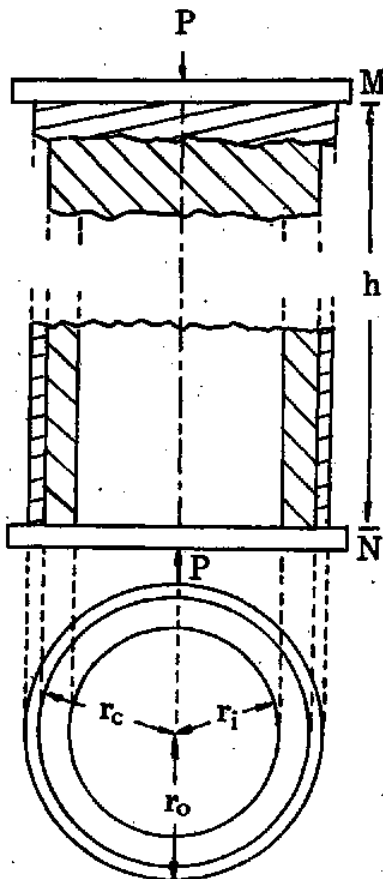
針葉樹アテ材の縦弾性係数に関しては実験観察方法の個人的差異、或は又供試材に於けるアテ形成程度の定量的表現の困難性等の為必ずしも定則的結論を得るに至つてはいないが、圧縮並びに引張弾性係数はいずれも同比重の正常材に比し甚だ僅少であるという事実が多く研究者により実証され、又この原因に就いても細胞膜の構造的特性その他との関連に於て種々考察が加えられている。

著者もこの原因の一つが細胞膜のヒブシル構造、就中第二次肥厚膜の中層に於けるヒブシル傾斜が正常材に比し甚だ緩であることに帰せられると考え、バネ弾性を応用せる纖維膜の力学的構造仮説模型を想定し、これに縦軸方向の荷重を作用せしめ、その際の応力と歪の関係よりバネの螺旋傾斜角の変化に対応する縦弾性係数増減の力学的解析を試みた。

尚、本研究に際し種々御指導、御便宜を賜りたる渡辺治人教授並びに沢田稔技官に対し深甚の謝意を表す。

2. 纖維膜の力学的構造仮説模型

細胞膜の構造を数学的に模型化することは不可能に近いが、便宜上第1図の如く軸長等しく厚さを異にする組合せ厚肉円筒と考え、更にこの両円筒は夫々傾斜角及び直径を異にする同一材料の巻卷バネの特性に従つて変形をするものと仮定する。即ち外側の円筒は第二次肥厚膜の外層に、内



第1図. 細胞膜の模型構造.
Fig. 1. The model of cell wall.

側の円筒は中層に、又螺旋傾斜角はヒプリル傾斜角に対応せしめた。

3. 計 算 式

i) 組合せ厚肉円筒の歪算定式

第1図の如き組合せ円筒を初応力零なる如く丁度よく嵌合し、その両端に筒壁の変形には何等影響を及ぼさない様な平行板 MN で縦軸方向に荷重 P を加えると両円筒の接触面には単位面積当り q の圧力が誘発せられ、内筒には P_1 、外筒には $P - P_1$ なる荷重が作用するが、今各部の変形は筒軸に関して対称で且つ縦軸に沿うて一様で挫屈が起らないものとするれば、フックの法則内では両筒の接触面に於ける円周歪 ϵ_t 及び縦歪 ϵ_z は夫々相等しく次の諸式で与えられる。

$$\epsilon_{ti} = \frac{-r_i^2 q}{(r_o^2 - r_i^2) E_i} \left\{ \frac{m_i + 1}{m_i} \frac{r_i^2}{r_o^2} + \frac{m_i - 1}{m_i} \right\} + \frac{P_1}{m_o E_o \pi (r_o^2 - r_o^2)} \dots (1)$$

$$\epsilon_{to} = \frac{r_o^2 q}{(r_o^2 - r_o^2) E_o} \left\{ \frac{m_o + 1}{m_o} \frac{r_o^2}{r_o^2} + \frac{m_o - 1}{m_o} \right\} + \frac{P - P_1}{m_o E_o \pi (r_o^2 - r_o^2)} \dots (2)$$

$$\epsilon_{zi} = -P_1 / E_i \pi (r_o^2 - r_i^2) + 2r_o^2 q / m_i E_i (r_o^2 - r_i^2) \dots (3)$$

$$\epsilon_{zo} = -(P - P_1) / E_o \pi (r_o^2 - r_o^2) - 2r_o^2 q / m_o E_o (r_o^2 - r_o^2) \dots (4)$$

尚式中の弾性係数 E 及びポアソン数 m は次に述べる蔓巻ベネの特性値を用いた。

ii) 円筒形蔓巻ベネの特性値算定式

第2図の如く蔓巻ベネの針金の中心線が円筒横断面と α なる傾斜をなして居り、最初の円筒の半径を R、高さを h、針金の直径を d、長さを l、巻数を n、弾性係数を E_s 、剪断弾性係数を G_s とし、更に

$$l = \frac{2\pi}{\cos \alpha} = \frac{h}{\sin \alpha} \dots (5)$$

なる条件を満足するものとし、これに荷重 P を加えた時の蔓巻ベネの高さ及び半径の変化量 Δh 、 ΔR を求め、m 及び E を次式により算定した。

$$\Delta h = \frac{32PR^2h}{d^3 \sin \alpha} \left\{ \frac{2 \sin^2 \alpha}{E_s} + \frac{\cos^2 \alpha}{G_s} \right\} \dots (6)$$

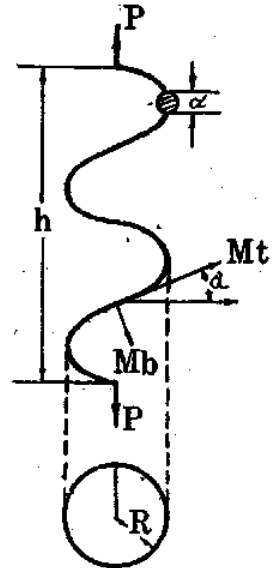
$$\Delta R = \frac{\Delta h R}{h \cot^2 \alpha} \dots (7)$$

$$\frac{1}{m} = \frac{\Delta R / R}{\Delta h / h} \dots (8)$$

$$E = \frac{P}{\Delta h / h \cdot 2\pi R d} \dots (9)$$

4. 計算結果及び考察

今 $G_s = 0.85 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$ 、 $E_s : G_s = 5 : 2$ の鋼線を使用し、第1表に示す大きさの模型を想定し、これに荷重 P を加えた時の内外円筒に於ける螺旋傾斜角と縦歪の関係を計算すれば第2表の如くなる。単位は cm と kg とする。



第2図. 蔓巻ベネ.
Fig. 2. The helical spring.

第1表. 模型の大きさ. Dimension of model.

	外 半 径	内 半 径	針金の直径	バネの半径	高 さ
外 側 円 筒	10.0	9.0	1.0	9.5	2000.0
内 側 円 筒	9.0	7.0	2.0	8.0	2000.0

第2表. 螺旋傾斜角と縦歪との関係. Relation between the longitudinal strain and the inclined angle of coil.

内側 \ 外側	40°	45°	50°	60°	70°
5°	68×10^{-6}	61×10^{-6}	55×10^{-6}	46×10^{-6}	35×10^{-6}
10°	67×10^{-6}	60×10^{-6}	54×10^{-6}	44×10^{-6}	57×10^{-6}

この表に依ると応力が一定ならば、外側の傾斜が 5°, 10° いづれの場合も内側の傾斜角が小になるにつれて縦弾性係数が低減してゆくことがわかる。

5. 考 察 及 び 結 論

細胞膜の微細構造に関する観察が不十分であるため、模型そのものの具象性が乏しく検討の余地は多々あるが、ヒブリン傾斜の差異が弾性係数を支配する一つの素因となるのではないかと予見される。更に分子論的考察及び単繊維構造と材構造の関連性等の検討を俟たなければならぬが、針葉樹ア材の縦弾性係数が正常材に比し甚だ劣る原因の一つは中層に於けるヒブリン傾斜が甚だ緩であることに帰せられるのではなからうか。

参 考 文 献

- 1) Münch, E. : Flora. 32:357 (1938).
- 2) Trenderenburg, R. : Allg. Forst u. Jagdzeit. 181:1 (1932).
- 3) Rothe, G. : Tharandt. Forst. Jahrbuch. 81:204 (1930).
- 4) Pillow, M. Y. & Luxford, R. F. : U. S. Dept. Agr. Tech. Bull. 546 (1937).
- 5) 尾中文彦: 木村研究第1号 (1949).
- 6) 沢田 稔: 第59回日本林学会大会講演 (1951).

(林業試験場)

R é s u m é

The main purpose of this study is to discuss mechanically the relation between the angle of fibrillar orientation and the longitudinal strain for the assumed model of tracheid which is compounded by two different thick cylinders consisted of steel helical spring, and to analyse the cause of small

modulus of longitudinal elasticity in compression wood. If the head of model (Fig. 1) is uniformly compressed without buckling to the axial direction by force P below elastic limit the pressure q per unit area of contact surface of compound cylinders develops, then the longitudinal strain of model ϵ_x and the tangential strain ϵ_t at contact circumferential surface shall be expressed by the following equation.

$$\epsilon_{ti} = \frac{-r_o^2 q}{(r_o^2 - r_i^2) E_i} \left(\frac{m_i + 1}{m_i} \frac{r_i^2}{r_o^2} + \frac{m_i - 1}{m_i} \right) + \frac{P_i}{m_i E_i \pi (r_o^2 - r_i^2)} \dots (1)$$

$$\epsilon_{to} = \frac{r_o^2 - q}{(r_o^2 - r_i^2) E_o} \left(\frac{m_o + 1}{m_o} \frac{r_o^2}{r_o^2} + \frac{m_o - 1}{m_o} \right) + \frac{P - P_i}{m_o E_o \pi (r_o^2 - r_o^2)} \dots (2)$$

$$\epsilon_{xi} = -P_i / E_i \pi (r_o^2 - r_i^2) + 2r_o^2 q / m_i E_i (r_o^2 - r_i^2) \dots (3)$$

$$\epsilon_{xo} = -(P - P_i) / E_o \pi (r_o^2 - r_i^2) - 2r_o^2 q / m_o E_o (r_o^2 - r_o^2) \dots (4)$$

where suffix i & o: inside cylinder and outside cylinder

E : Modulus of elasticity

m: Poisson's ratio

r_o : contact radius of compound cylinders

r_i : inmost radius of model

r_o : outmost radius of model

then q will be determined from the two conditions that $\epsilon_{xi} = \epsilon_{xo}$ and $\epsilon_{ti} = \epsilon_{to}$.

For the calculation of E and m, I assume the helical spring which the total length of steel wire l is satisfied with the next conditions;

$$l = 2\pi Rn / \cos \alpha = h / \sin \alpha \dots (5)$$

and use the following equations;

$$E = Ph / \Delta h \cdot 2\pi R d \dots (6)$$

$$1/m = \Delta R h / \Delta h R \dots (7)$$

$$\Delta h = \frac{32PR^2 h}{d^3 \pi \sin \alpha} \left(\frac{2 \sin^2 \alpha}{E_s} + \frac{\cos^2 \alpha}{G_s} \right) \dots (8)$$

$$\Delta R = \Delta h R / h \cot^2 \alpha \dots (9)$$

where d : diameter of steel wire

E_s : modulus of elasticity of steel wire

G_s : modulus of rigidity of steel wire

n : number of coil

α : initial angle of coil to the lateral axis of spring

P : load

h : initial length of spring

Δh : total deformation in the length after loading

R : initial radius of helix

ΔR : total deformation in the radius after loading

An example of results obtainable by these equations is shown in Table 2. From this table it is evident that as α in the inside cylinder decreases ϵ_x increases, consequently the modulus of longitudinal elasticity of the model decreases.

From the above-mentioned results one of the causes that the modulus of longitudinal elasticity of compression wood is ever very small to comparison with normal wood may be existed in the lower fibrillar slope in the center layer of the secondary wall of compression wood tracheid.