

液体滲透による木材毛細管半径の計算

小 西 行 雄・山 本 登 久 男

(木材化学第3研究室)

Yukio KONISHI and Tokuo YAMAMOTO ; Calculations of the Capillary diameter in Wood from the Liquid Absorption data.

此の研究では木材の吸液は主として毛細管現象にもとずくと考え、木材毛細管半径を簡単に求めることを案出した。此の研究は昭和 22 年に工業化学会年会講演及び昭和 23 年日本化学会年会の 2 講演に続くものであり、昭和 26 年 5 月繊維学会関西支部講演会で講演した。

なお本文で用いる符号は次の様である。

- l : 木材内の毛管の長さ. (Length of capillary in wood.)
- r : 毛管の半径. (Diameter of capillary.)
- λ : 時間 t に於ける滲透した長さ. (Liquid-penetrated length in time t .)
- λ_e : 平衡含水量に達した時の λ . (λ at absorption equilibrium)
- P_0 : 外界の圧力. (External pressure.)
- P_i : 木材内の空気の最初の圧力. (Initial pressure of air in wood capillary.)
- P' : 時間 t に於ける木材内の空気の圧力. (Air pressure in wood capillary at time t)
- H : 液の表面張力. (Surface tension of liquid.)
- n : 材内の毛管数. (Number of capillaries.)
- Q : 時間 t に於ける液の滲透量. (Penetrated liquid quantity at t .)
- w : 試片の風乾重. (Air-dry weight of wood sample.)
- We : 液の平衡滲透量. (Absorbed liquid.)
- χ : 空隙を完全に満した液体重量. (Weight of liquid which filled all capillaries of wood.)
- d : 液体の比重. (Liquid density.)

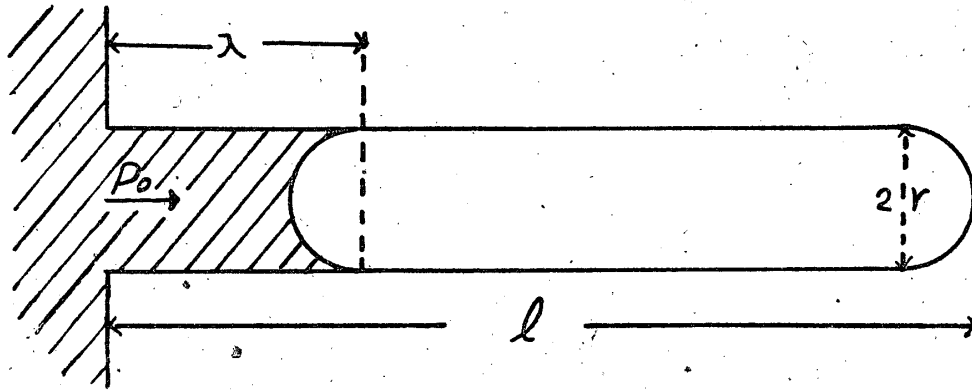
木材小試片に液体が滲透するとき空気は完全には洩れないとすれば第一図の様な模型が考えられる。此の模型では外圧 P_0 の下に半径 r の盲毛細管の中へ液体が侵入して行くとする。此の際盲毛管の奥に圧縮された空気は完全気体の法則に従うとし、浸入した液が平衡に達したとすれば、圧縮された空気の圧力は $P_0 + \frac{2H}{r}$ であるから、次の式が成り立つ。

$$Pd = (P_0 + \frac{2H}{r})(l - \lambda) \dots \dots (a)$$

今 $n\pi r^2 \lambda d / w = We$, $n\pi r^2 l d / w = \chi$ の関係を考慮すれば毛細管半径 r が求められる。

$$r = \left(\frac{\chi}{We} - 1 \right) \times \frac{2H}{P_0} \dots\dots(b)$$

第一図



盲毛細管へ液体が浸入する模型

(Model which illustrates the penetration of liquid into the closed capillary..)

大気圧中では $P_0 = 1 \text{ atm}$, である. r を求めるには χ , We , H を知る必要があるが, H はともかくとして, We 及 χ は実測困難である. しかるに次の様に考察すれば, We , χ の各々の他は知り得なくても χ/We の値を簡単に求めることが出来る. 今木材へ液体が滲透する時には木材内部の空気が完全に洩れる場合と洩れぬ場合とが考えられる.

I 空気が完全に洩れる場合

管の中の液体の流動はたとえ液体が管壁に吸収されようとも, 少なくとも圧力勾配には比例するだろうから, 次の式が成立するとしてよい.

$$\frac{d\lambda}{dt} = K \frac{P}{\lambda} \dots\dots(1)$$

(K は常数)

然るに,

$$P = P_0 + \frac{2H}{r} - P' \dots\dots(2).$$

$$\frac{d\lambda}{dt} = K \frac{\left(P_0 + \frac{2H}{r} - P' \right)}{\lambda} \dots\dots(3)$$

$t = 0$ のとき $\lambda = 0$ の条件を考慮すれば(3)より次の式を得る.

$$\lambda^2 = 2K \left(P_0 - P' - \frac{2H}{r} \right) t \dots\dots(4)$$

然るに,

$$Q = n\pi r^2 \lambda d \text{ であるから } \lambda = Q/n\pi r^2 d.$$

故に風乾試料の吸液率 $\frac{Q}{\omega}$ は $n\pi r^2 d/\omega$ である. 従がつて(4)より次の式が得られる.

$$\frac{Q^2}{\omega^2} = \frac{2 K n^2 \pi^2 r^4 d^2 \left(P_0 - P' + \frac{2H}{r} \right)}{\omega^2} t = \frac{4 K H n^2 \pi^2 r^4 d^2}{\omega^2} t \dots\dots\dots(5)$$

何んとなれば完全に洩れるから、 $P_0 = P_i = P'$ である。

いま、 $A = 2 n \pi d r^2 \sqrt{KH/\omega}$ とおけば、

$$\frac{Q}{\omega} = A \sqrt{t} \dots\dots\dots(6)$$

II 空気が完全に洩れない場合

やはり(1)式より出発することが出来る。

空気が洩れることがないから毛細管の奥に圧縮せられる空気（水蒸気をも含む）は完全気体の法則によつて圧縮せられるとすれば次の式が成立する。

$$P_i \ell = P'(\ell - \lambda) \dots\dots\dots(7)$$

(1), (2), (7)より

$$\frac{d\lambda}{dt} = K \frac{\left(1 - \frac{P_i}{P_0 + \frac{2H}{r}} \right) \ell - \lambda}{\lambda (\ell - \lambda)} \left(P_0 + \frac{2H}{r} \right) \dots\dots\dots(8)$$

然るに

$$1 - P_i/P_0 + \frac{2H}{r} = \lambda_e/\ell = dn\pi r^2 \lambda_e / dn\pi r^2 \ell = We/\chi \text{ であり, 又 } K' = K \left(P_0 + \frac{2H}{r} \right) \text{ とおけば,}$$

(8)式は次の様に書きなおせる。

$$\frac{d\lambda}{dt} = K' \frac{\frac{We}{\chi} \ell - \lambda}{\lambda (\ell - \lambda)} \dots\dots\dots(9)$$

$t = 0$ の時 $\lambda = 0$ であるから(9)式は、

$$\frac{\lambda^2}{2} - \left(1 - \frac{We}{\chi} \right) \ell \left\{ \lambda + \frac{We}{\chi} \ell \log_e \left(1 - \frac{\lambda}{\frac{We}{\chi} \ell} \right) \right\} = K' \left(P_0 + \frac{2H}{r} \right) t \dots\dots\dots(10)$$

(10)に $\lambda = Q/n \pi r^2 d$, $dn \pi r^2 \ell = \chi$ を代入し、両辺に $n^2 \pi^2 r^4 d^2/\omega^2$ を乗ずれば、

$$\begin{aligned} \frac{\left(\frac{Q}{\omega} \right)^2}{2} - (\chi - We) \left\{ \frac{Q}{\omega^2} + \frac{We}{\omega^2} \log_e \left(1 - \frac{Q}{We} \right) \right\} &= \frac{k n^2 \pi^2 r^4 d^2 \chi}{We \omega^2} \left(P_0 - P_i + \frac{2H}{r} \right) t \\ &= \frac{2 K n^2 \pi^2 r^4 \chi H}{We \omega^2} t, \quad (P_0 = P_i = 1) \\ &= \frac{A^2 \chi}{2 We} t \dots\dots\dots(11) \end{aligned}$$

然し $A = 2 \pi d r^2 \sqrt{KH/\omega}$ とおいた。

$\frac{Q}{We}$ は1より大きくない値であるが、いま1にくらべ十分に小さい場合を考えれば、次の2つの場合を生ずる。

(i)

(11)の左辺の対数を含む項は第1次近似的に取扱えば次の如くなる。

$$\begin{aligned} \frac{\left(\frac{Q}{\omega}\right)^2}{2} - (\chi - We) \left[\frac{Q}{\omega^2} + \frac{We}{\omega^2} \log \left(1 - \frac{Q}{We} \right) \right] &= \frac{\left(\frac{Q}{\omega}\right)^2}{2} - (\chi - We) \left(\frac{Q}{\omega^2} - \frac{Q}{\omega^2} \right) \\ &= \frac{\left(\frac{Q}{\omega}\right)^2}{2} \end{aligned}$$

故に(11)より

$$\frac{\left(\frac{Q}{\omega}\right)^2}{2} = \frac{A^2 \chi}{2We} t \dots\dots\dots(12)$$

故に

$$\frac{Q}{\omega} = A \sqrt{\frac{\chi}{We}} t \dots\dots\dots(13)$$

(ロ)

(11)を第2次近似的に取扱えば次の式を得る。

$$\begin{aligned} \frac{\left(\frac{Q}{\omega}\right)^2}{2} - (\chi - We) \left[\frac{Q}{\omega^2} + \frac{Q}{\omega^2} \log \left(1 - \frac{Q}{We} \right) \right] &= \frac{\left(\frac{Q}{\omega}\right)^2}{2} - (\chi - We) \left(\frac{Q}{\omega^2} - \frac{Q}{\omega^2} - \frac{Q^2}{2We^2} \right) \\ &= \frac{\left(\frac{Q}{\omega}\right)^2}{2} + (\chi - We) \frac{Q^2}{2We\omega^2} \end{aligned}$$

故に(11)より

$$\begin{aligned} \left(\frac{Q}{\omega}\right)^2 + (\chi - We) \frac{Q^2}{We\omega^2} &= \frac{A^2 \chi}{We} t \\ \left(\frac{Q}{\omega}\right)^2 \left(1 + \frac{\chi}{We} - 1 \right) &= \frac{A^2 \chi}{We} t \dots\dots\dots(14) \end{aligned}$$

故に

$$\frac{Q}{\omega} = A \sqrt{t} \dots\dots\dots(15)$$

故に

$$\left(\frac{\left(\frac{d\left(\frac{Q}{\omega}\right)}{d\sqrt{t}} \right)_{(1) \text{ の場合}}}{\left(\frac{d\left(\frac{Q}{\omega}\right)}{d\sqrt{t}} \right)_{(ロ) \text{ の場合}}} \right)^2 = \frac{\chi}{We}$$

従つて Q/ω と $\sqrt{t}$ の関係図を利用すれば簡単に $\sqrt{\chi/We}$ が求められる。即ち第2図の切線1の傾角の $\tan(\tan\theta_1)$ は $\left[\frac{d(Q/\omega)}{d\sqrt{t}} \right]_{(1)}$ であり、切線2の傾角の $\tan(\tan\theta_2)$ は $\left[\frac{d(Q/\omega)}{d\sqrt{t}} \right]_{(ロ)}$ に当つている。故にこうした2本の切線を引けば其等の $\tan$ より χ/We の値が求められる。こうして得られた χ/We を (b) に代入すれば、毛管半径が計算できるわけである。

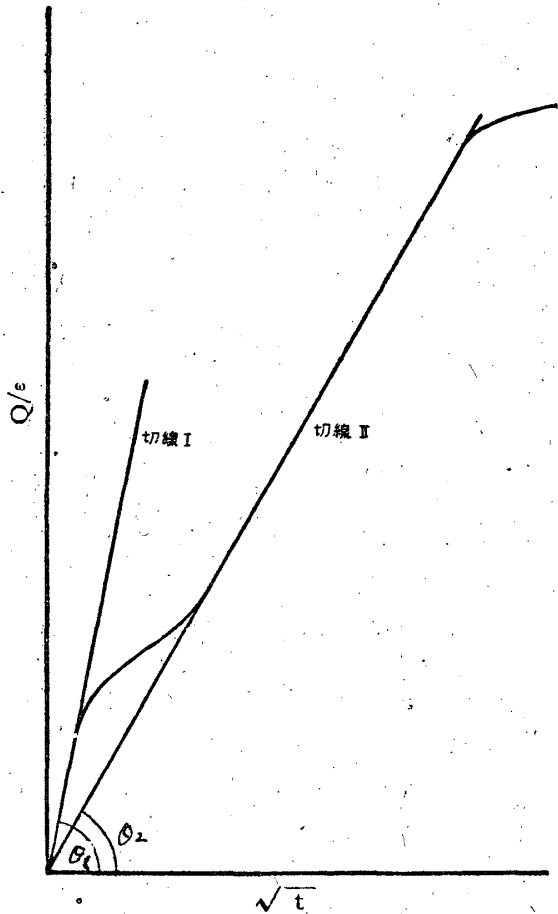
風乾及び繊維飽和点にあるスギ、ヒノキ、ヒバ、ブナの辺材を用い、2方柱で、試片の大きさは、 $0.6 \times 0.6 \times 10\text{cm}$ 。繊維方向の長さを 10cm 。にした。

一定温度の水中に試片を完全に浸し適当な時間毎にとり出し、濾紙にて過剰の液を十分にぬぐ

第二図

吸液量 $\left(\frac{Q}{\omega}\right)$ と $\sqrt{\text{吸液時間}}\left(\sqrt{t}\right)$ との関係

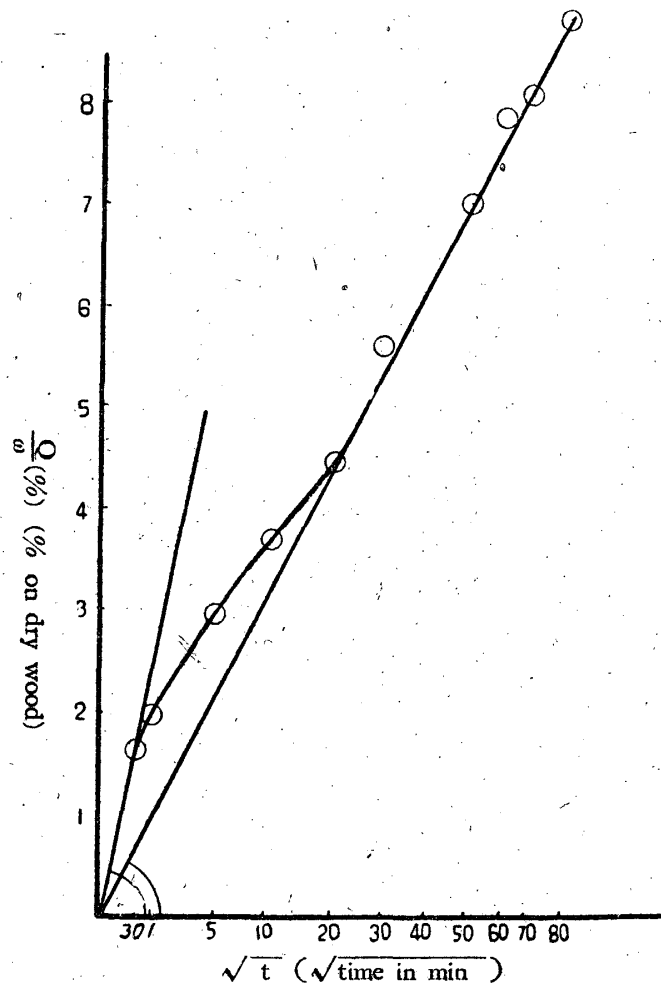
(The relationship between the quantity of absorbed water and $\sqrt{\text{time of absorption}}$)



第三図

繊維飽和点 (ヒノキ) の吸液量と $\sqrt{\text{吸液時間}}$ との関係

(The relationship between the quantity of absorbed water and $\sqrt{\text{time of absorption}}$ in water-vapored saturated woods.)



い。重量を測定した。此の場合繊維に直角な方向はスチロール樹脂で封じて、繊維方向のみに水が滲透するようにした。

吸水量と $\sqrt{\text{吸水時間}}$ との関係の1例を図示すれば、第二図の様である。

こうした図について前記で説明した様に、原点より2本の切線を引き、其等の $\tan$ の比を求め (b) より毛細管半径を求むれば、次の表の通りである。なお、 r の値は5本の試片についての平均値である。

第 1 表

風乾試料の場合 (含水率13%)
(air-dried woods, water-content 13%)

	実験した吸水量の範囲(%)	x/we	$r(\mu)$
ヒノキ	0 ~ 21	1.66	0.93
ヒバ	0 ~ 11	1.43	0.59
スギ	0 ~ 11	1.40	0.57
ブナ	0 ~ 3	2.11	1.58

第 2 表

繊維飽和点にある試料の場合
(water-vapored saturated woods)

	実験した吸水量の範囲(%)	x/we	$r(\mu)$
ヒノキ	0 ~ 8	7.71	9.46
スギ	0 ~ 1	8.79	11.00
ブナ	0 ~ 2	13.76	18.30

此の様な毛細管の大きさは植物解剖学上からしても不合理でない。風乾試料の場合より繊維飽和点にある試料の場合の方が r が大きく出ている。

木材内には種々の大きさの毛細管がある。 r は其等の平均の大きさになつていてと考えられる。然るに繊維飽和点試料では小さい毛細管には毛管凝縮現象で、既に水が満されているとすれば当然こうした結果になろう。

Résumé

Theories were developed on the liquid absorption of woods, from which the air did not escape. It was found to be able to calculate the mean diameter of the capillaries in wood utilizing the figures which showed the relationship between the quantity of absorbed water and $\sqrt{\text{time of absorption}}$. The results were as follows.

Mean diameter of capillaries (μ)

	Air-dried woods	water-vapored saturated woods
Hinoki (Japanese Cypress)	0.93	9.46
Hiba (Japanese Thuja)	0.59	—
Sugi (Japanese Cedar)	0.57	11.00
Buna (Beech)	1.58	18.30