

木材の乾燥機構に関する研究

第2報 水分伝導度と拡散係数について

Takeo OGURA: Study on the mechanisms of wood drying.

(2). On the moisture-conductivity and the diffusion-coefficient

農林技官 小 倉 武 夫

I 緒 言

第1報においては水分伝導度 K は拡散係数 λ と $K \equiv \frac{100 \lambda}{r_0}$ なる関係にあり, 厚さに影響されることを述べた。水分伝導度は水分減少の経過から簡単に求められるが, 拡散係数は水分々布の時間的変化を知る必要があるので同一供試材について求めることは不可能に近い。併し水分伝導度 K から計算により分布状態が推定出来れば水分々布の時間的変化も容易に求められ拡散係数が算出される。

斯様になれば単なる水分減少の経過を測定するだけで複雑な λ を推定出来ることになり, 木材乾燥の基礎方面に寄与する処あるものと思われる。従つて第1報に報告した実験資料に基き此等の事項を検討して若干の結果を得たので発表する次第である。

終始御援助を賜つた斎藤木材部長, 並びに計算の労を煩わした大沼加茂也, 富井和子両助手に謝意を表す。

II 水分伝導度による水分減少量の算出

1. 水分伝導度より水分々布の推定

木材中の水分が繊維飽和点以下になつた場合の水分移動は含水率差に基く拡散に因るものとして, その状態は

$$\frac{\partial u}{\partial t} = K \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \dots \dots \dots (1)$$

で表わされ, この特別解は近似的に

$$u = u_0 + (u_b - u_0) \frac{4}{\pi} e^{-\left(\frac{\pi}{s}\right)^2 K t} \sin \frac{\pi x}{s} \dots \dots \dots (2)$$

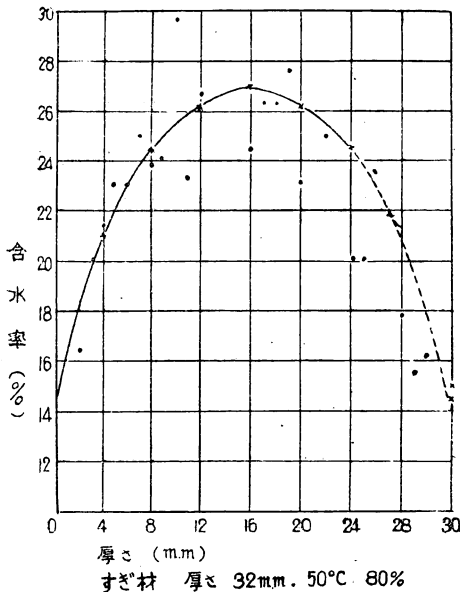
となる⁽¹⁰⁾。この式は乾燥経過中の或時刻において材の表面よりの或点 (x) における含水率を示しているの、凡ての点において求めた値を連続すれば材中の水分々布状態を知ることが出

来るわけであるが、式 (2) の右辺の中 $\sin \frac{\pi x}{s}$ の項以外は樹種 (K)、時刻 (t) が定まれば定数となり、分布状態に関係するのは \sin の項のみであるので、或時刻における水分々布は \sin 曲線の一部として表わされることになる。

併し果して乾燥経過中における材の水分々布がこの様な型で示されるかは検討する必要がある。そこで簡単に次の実験を試みた。

即ち、すぎ材桁目板 (長さ 20 cm、巾 15 cm、厚さ 3.2 cm) の生材を 50°C、80% の恒温恒湿器の中で乾燥せしめ中心部の含水率が繊維飽和点附近に低下したと思われる時期に厚さの方向に略 1 mm の薄片に切断して速かに秤量し、100°C の定温器で乾燥して絶乾重量を求め、各々切片の含水率を算出して第 1 図の水分々布状態を得た。この分布状態が \sin 曲線的であるかを検討してみる。

第 1 図 水分分布状態



図上から中心部の含水率は 27% と見做され、他の部分即ち材の表面より厚さ (s) の $1/8$, $1/4$, $3/8$ の位置に於ける含水率は夫々 26.2, 24.5, 21.0% であつて、表面含水率は此等分布状態から表面に対し挿外的に求めると 14.5% になつた。この値は既に Kollmann, Loūghborough⁽¹¹⁾ 等によつて求められた 50°C、80% における木材の平衡含水率に略等しい値である。この事は乾燥の経過中に表面含水率は略その条件に相応する平衡含水率になつてしていると想像しても差支えない事を示している。

従つて中心部の含水率を 27.0%，表面の含水率を 14.5% とし、水分々布状態が \sin

曲線的であるとした場合の表面より $3/8s$, $1/4s$, $1/8s$ の位置における含水率は夫々第 1 表の如

第 1 表 水分々布の比較表

位置	$u_c; u_s$ %	$\sin (s)$	$u-u_c$ %	計算含水率 %	実測含水率 %	差 %
$\frac{1}{2}S$	$u_c=27.0$	1.00	12.5	27.0	27.0	—
$\frac{3}{8}S$	—	0.924	11.5	26.0	26.2	-0.2
$\frac{1}{4}S$	—	0.707	8.9	23.4	24.5	-1.1
$\frac{1}{8}S$	—	0.383	4.8	19.3	21.0	-1.7
0	$u_s=14.5$	0.00	0.0	14.5	14.5	—

くなり、実測含水率と殆んど差異のないことが認められた。

従つて乾燥経過中の水分々布状態は中心部の含水率に対して略 sin 曲線的であると見做しても実用的には支障なく、水分々布状態を式 (2) で推定しても近似的には差支えないと言えよう。只この場合水分伝導度 K の値が適当でなければ不正確な結果になることは言う迄もない。

更に別途に吟味を加えるため、上述の計算上推定した水分々布状態の時間的变化からの水分減少量と実際の水分減少量とを次項の方法で比較してみた。

2. 水分減少量の推定と実際

一般に板材の含水率が $u_1\%$ から $u_2\%$ に低下した場合の減少量 m は

$$m = \frac{r_0}{100} (u_1 - u_2) x \cdot A \cdots \cdots (3)$$

但し r_0 : 絶乾比重 (g/cm^3)

A : 板材の表面積 (cm^2)

x : 板材の厚さ (cm)

で表わされる。この式の中 $(u_1 - u_2) \cdot x$ の項は含水率と厚さを直角座標にとつた場合水分々布状態を示す線で囲まれた面積であり、水分々布の時間的变化を示しているが、実際の水分々布状態は複雑であつて、一般に $\left[\int u(t) dx \right]$ で表わされるので、その時間的变化は $\left[\int u(t) dx \right]_{t_2}^{t_1}$ になる。従つて水分々布状態を考慮した場合の水分減少量は式 (3) の代りに

$$m = \frac{r_0}{100} \left[\int u(t) dx \right]_{t_2}^{t_1} \cdot A \cdots \cdots (4)$$

で表わすのが妥当である。

既に述べた如く乾燥経過中の木材の水分々布状態が式 (2) で表わされるものとすれば、これ

第2表 水分々布の計算例 ($t=20h$)

No. 16 $S=1.1\text{cm}$ $K=7.15 \times 10^{-3}$ $u_b=69.7\%$ $u_0=9.1\%$

$$u = u_0 + \frac{4}{\pi} (u_b - u_0) e^{-\left(\frac{\pi}{s}\right)^2 kt} \sin \frac{\pi x}{s}$$

位置 (表よりの距離) x (cm)	$\sin \frac{\pi x}{s}$	$\frac{4}{\pi} (u_b - u_0) e^{-\left(\frac{\pi}{s}\right)^2 kt}$ (%)	$\sin \frac{\pi x}{s}$	含水率 (%)
0.55	1.00	24.0		33.1
0.5	0.99	23.8		32.9
0.4	0.91	21.9		31.0
0.3	0.76	18.2		27.3
0.2	0.54	13.0		22.1
0.1	0.28	6.8		15.9
0.05	0.14	3.4		12.5
0.0	0.00	0.0		9.1
平均含水率	—	—		24.1

但し平均含水率は本表の各含水率値の平均ではなく、水分分布状態から求めたものである。

を式 (4) に適用して水分減少量を算出することが出来る。この様な計算によつて推定される水分減少量と実測値を前回報告した実験資料 (実験番号 No.16) に就いて比較検討してみよう。

No. 16 の実験結果は第1報第 14 図に示した様に乾燥時間 20 時間以後では計算値と実測値が極めて良く一致し、水分々布も式 (2) で正確に表わされると認められるので 20 時間以後に就いてのみ検討を加える。それには先ず水分々布状態から求める平均含水率が果して実測の含水率に一致するかを吟味しておく必要がある。

今 $t=20h$ における水分々布状態を求める計算例を示せば第2表の如くである。計算含水率は 24.1% であり、実測含水率は 25.0% である。更に $t=25, 30, 40$ 及び $50h$ に就いて同様に求めた水分々布は第2図の如くであつて、各時刻における計算による平均含水率と実測値とを比較すれば、第3表の様にいずれも 1% 以内の誤差であり、この方法による平均含水率の推定も可能であると言う事が出来る。只この場合最も問題となるのは水分伝導度 K の値

第3表 計算値と実測値の比較

時 刻 (h)	計算含水率 %	実測含水率 %	差 %
20	24.1	25.0	-0.9
25	20.3	21.2	-0.9
30	17.5	18.1	-0.6
40	13.7	13.2	+0.5
50	11.8	10.8	+1.0

であつて、本例では前に実験により求めた値を用いたので略一致した結果が得られた事は言うまでもない。

次に斯様にして得た水分々布状態の時間的变化から求められる推定の水分減少量が実測値とどれ程一致するかを下記の様に明らかにした。

即ち供試片 No. 16 の乾乾比重 $r_0=0.6$ であり、表面積 A は $4cm \times 7cm$ であるので、 (t_1-t_2) 時間内に減少した水分量を示す式 (4) は

$$m=0.168 \left[\int_{t_2}^{t_1} u(t) dx \right] \dots \dots \dots (5)$$

第4表 水分減少量の比較

計 算			実 測			差 (g)
時間	$\left[\int_{t_2}^{t_1} u(t) dx \right]$ (%×cm)	減少重量 (g)	時刻	重 量 (g)	減少重量 (g)	
t_1-t_2	4.28	0.72	t_1	22.25	0.78	-0.06
t_2-t_3	3.34	0.56	t_2	21.47	0.62	-0.06
t_3-t_4	4.36	0.73	t_3	20.85	0.85	-0.12
t_4-t_5	2.32	0.39	t_4	20.00		
			t_5	19.50	0.50	-0.11

になる。この式の $\left[\int u(t) dx \right]_{t_2}^{t_1}$ は水分々布状態を示している第2図で、 t_1 及び t_2 に対する水分々布曲線で囲まれた面積 [%×cm] を表わしているのでこの面積を測定すれば容易に計算される。これらの曲線で囲まれた面積を Planimeter で測定した。かくて求めた計算値を実測値と対比すれば第4表の如く、僅かの差は認められるとしてもその重量に対しては極めて僅少であり、含水率に換算すれば 1% 以内であつて近似的な計算法としては充分である。

Ⅲ 拡散係数の算出

1. Egner 法による拡散係数

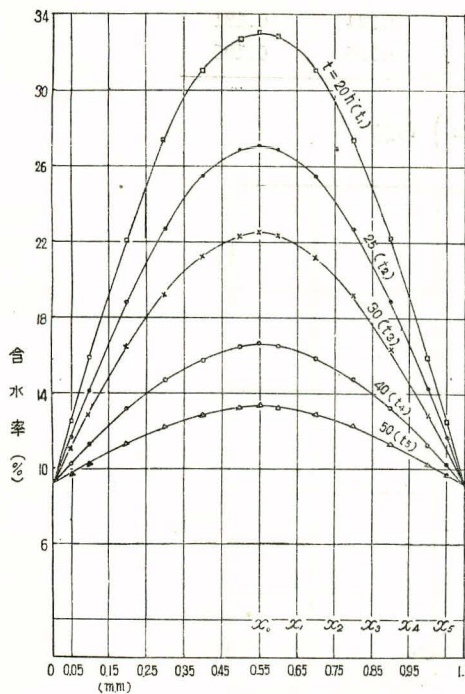
木材中の水分移動性は一般に単位面積において距離 1 cm の処を含水率の差 1% ある場合に水分の移動した量で表われ、これを拡散係数 [g/cm・h・%] と称している。故に拡散係数を λ とすれば移動量 q は次式で与えられる。

$$q = -\lambda \frac{du}{dx} \cdot A \dots \dots \dots (6)$$

但し $\frac{du}{dx}$: 水分傾斜 (%/cm)

A : 表面積 (cm²)

第2図 水分分布状態



既に Martley⁽⁸⁾ は実験的に λ を求め含水率に関係すると述べ、Lüdwig⁽⁷⁾ は水分移動が含水率差でなくて木材中の水分に應ずる蒸気圧傾斜に因るものとし、 λ の Dimension を g/cm・h・mmHg としてその値を求めた。亦 Egner⁽²⁾ は乾燥経過中の水分々布の時間的変化から算出した。前節で述べた様に水分々布は水分伝導度を用いて推定されるので Egner 法によると λ が求められる。その概要は次の如きものである。

第2図の様な或時刻 t_1 における水分々布は一般に $\int_{x_0}^{x_n} u dx t_1$ で示され、その時間的变化は $\frac{\partial}{\partial t} \left[\int_{x_0}^{x_n} u dx \right]$ で表わされる。時刻 t_1 より t_2 迄に移動した水分量は式 (4) で示されるからこれを適用すれば式 (6) から

$$\lambda = \frac{r_0}{100} \frac{\frac{\partial}{\partial t} \left[\int u dx \right]}{\frac{du}{dx}} \dots \dots \dots (7)$$

で表わされる。Egner はこの式の中 $\frac{\partial}{\partial t} \left[\int u dx \right]$ に就いては、先ず実際の水分々布曲線

$\left[\int u dx \right]$ を各時刻について求めて図示し、図上から $\frac{\partial}{\partial t} \left[\int u dx \right]$ を求め、更に分母 du/dx を分布曲線から測定して式 (7) により λ を算出した。而もこの値は他の研究者の求めた値とよく一致していた。それ故此の方法が適当であるとしてこゝに用いたのである。

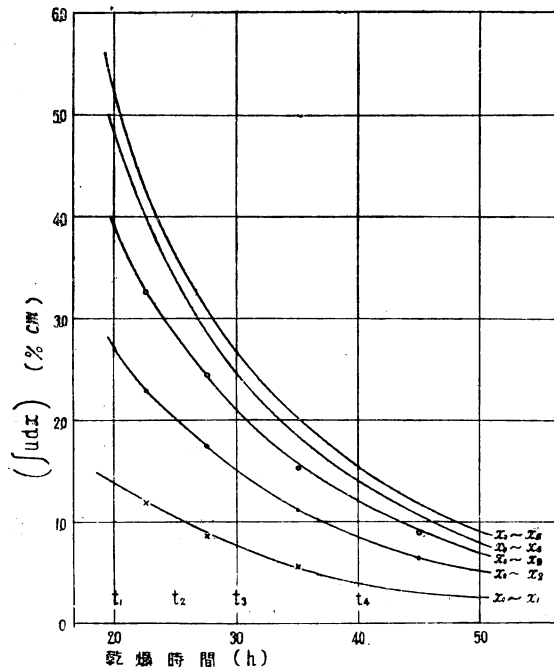
2. 拡散係数の値

第1報の実験資料について上述の方法で λ を求めたが、その中供試片 No. 16 の結果を一例として述べる。供試片 No.16は $s=1.1$ cm ; $K=7.15 \times 10^{-3}$ で、これから求めた水分々布曲線は第2図である。此の図から $t_1 \sim t_2$, $t_2 \sim t_3$ ……………等の各時刻の曲線で囲まれた面積を Planimeter で測定し $\left[\int u dx \right]$ の Dimension たる $[\% \times \text{cm}]$ に換算すると第5表の如くで

第5表 $\int u dx$ の値 ($\% \times \text{cm}$)

	t_1-t_2	t_2-t_3	t_3-t_4	t_4-t_5
x_0-x_1	1.200	0.886	0.585	0.344
x_1-x_2	1.124	0.838	0.527	0.304
x_2-x_3	0.932	0.704	0.434	0.252
x_3-x_4	0.686	0.418	0.324	0.181
x_4-x_5	0.342	0.258	0.195	0.105

第3図 $\left(\int u dx \right)$ の図



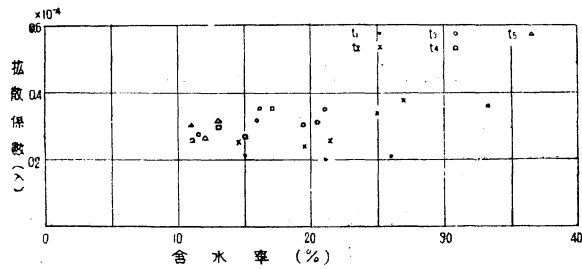
これに $r_0/100$ を乗すれば各層の間を拡散した水分量となる。次に第5表の各時刻における数値を累計したのが、第3図でこれは各層の間を拡散した水分量に相応する値と乾燥時間との関

第6表 $-\frac{\partial}{\partial t} \left[\int u dx \right]$ の値

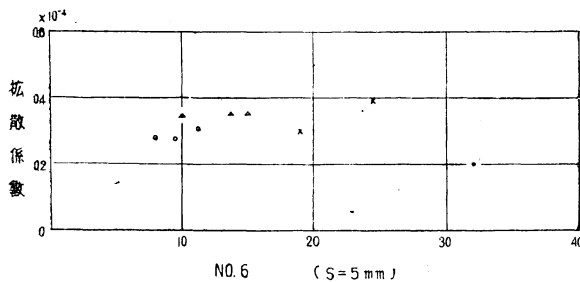
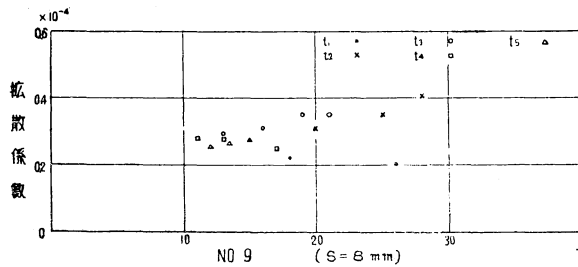
	x_0-x_1	x_0-x_2	x_0-x_3	x_0-x_4	x_0-x_5
t_1	0.075	0.125	0.155	0.200	0.225
t_2	0.065	0.115	0.150	0.180	0.200
t_3	0.045	0.090	0.125	0.150	0.160
t_4	0.025	0.050	0.070	0.085	0.086
t_5	0.015	0.027	0.035	0.050	0.051

係を示している。従つて此の曲線を時間 t で微分すれば式 (7) の分子となり、その値は第6表の通りである。亦同式の分母は水分傾斜 du/dx であるから第2図の曲線の各位置に於ける接線のなす傾斜角として与えられる。これらを式 (7) に代入して拡散係数 λ を求めた。此の方法で明らかな如く、 λ の値は算出の時刻と位置に対して求められ、而も夫々含水率も異なるの

第4図 含水率と拡散係数 (No. 16) $S=11\text{mm}$



第5図 含水率と拡散係数



で種々の含水率に対する λ の値が得られる。第4図はこの関係を示したものである。

同様の方法ですべての資料に対し算出した結果から、各厚さ毎の結果の一例を示せば第5図の如く λ はいずれも略 0.30×10^{-4} で、含水率には関係しないと言う結果を得た。只第1報で述べた如く、 $S=2.0\text{mm}$ の薄い場合は水分減少量に対する実験値と計算値とが一致しなかつた。此の様な場合には K から水分分布状態を推定することは不正確であり、無意味でもあるので割愛した。

Ⅳ 拡散係数値に対する考察

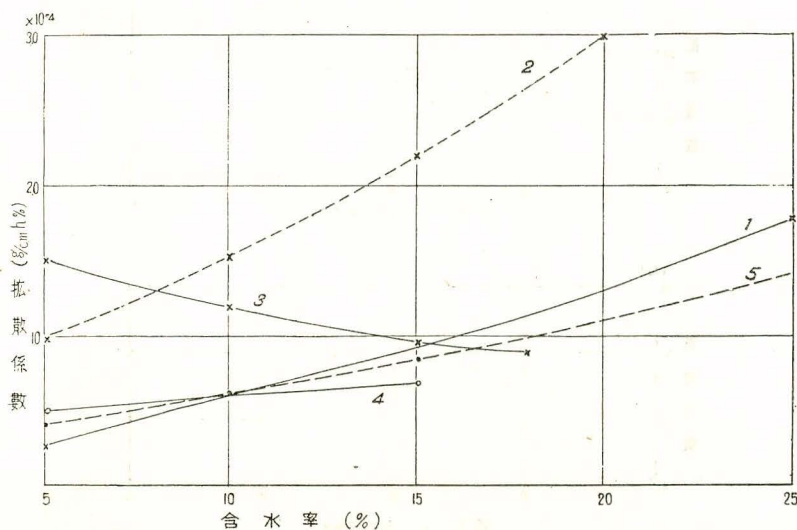
1. 厚さとの関係

前節で示した拡散係数の定義から判断して明らかな様にこれは厚さには全く関係されない性質のものである。厚さ 5, 8 及び 11 mm の各段階の夫々異なる水分伝導度 $4.19, 6.41, 7.15 \times 10^{-3}$ を用いて拡散係数を算出した処、 λ は何れも略 $0.30 \times 10^{-3} \text{ g/cm} \cdot \text{h} \cdot \%$ となり、厚さには影響をうけないことが明らかになった。これは本結果が理論と何等矛盾するものでない事を示している。

2. 数値に就いて

本法によつて算出した拡散係数の値が実際に測定して得た既往の実験結果に対し適当なりやを検討してみよう。既に実験的に λ を求めたのは Egner⁽²⁾, Martley⁽⁸⁾, Schlüter & Fessel⁽¹¹⁾ 等で此等の結果は第6図に示した如く多くは含水率の増加と共に大きくなつてい

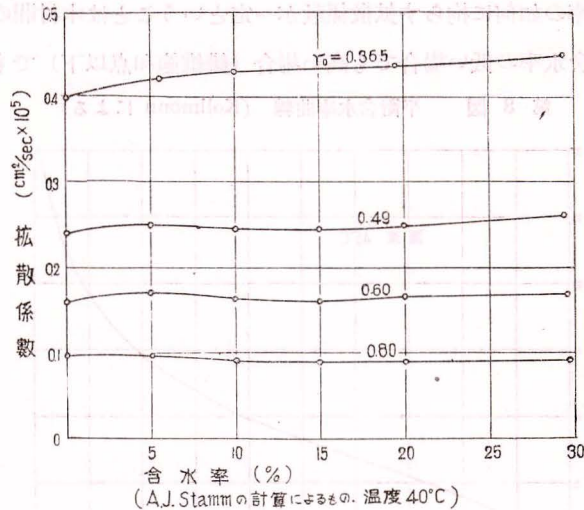
- 第6図 拡散係数
1. たうひ材 (40°C Egner による)
 2. たうひ材 (50°C Egner による)
 3. はんき材 (75°C Schlüter & Fessel による)
 4. たうひ材 (75°C 同上)
 5. まつ材 (90°C Martley による)



が、本実験の温度 45°C における値は針葉樹で $0.3 \sim 2.2 \times 10^{-4}$ の範囲内である。従つて計算で求めた本結果が 0.30×10^{-4} 程度であることは、樹種が針葉樹より水分移動の困難であるぶな材なることを考慮すれば、これらの値より若干小さくなることは当然である。

亦次項で述べるが、最近 A. J. Stamm⁽¹³⁾ が数式から拡散係数を求める方法を発表した。これによると比重 0.6 に於ける値は含水率に無関係で約 $0.16 \times 10^{-3} \left(\frac{\text{cm}^2}{\text{sec}} \right)$ であつて、その用いている Dimension が異なる為この値に比重を乗じ、%を考慮に入れて $[\text{g}/\text{cm} \cdot \text{h} \cdot \%]$ に

第7図 拡散係数



換算すると 0.35×10^{-4} となつて、本法で得た値とよく一致している。

この様に本法で求めた値は既往の結果と大差なく、適正な数値ということが出来よう。

3. 含水率との関係

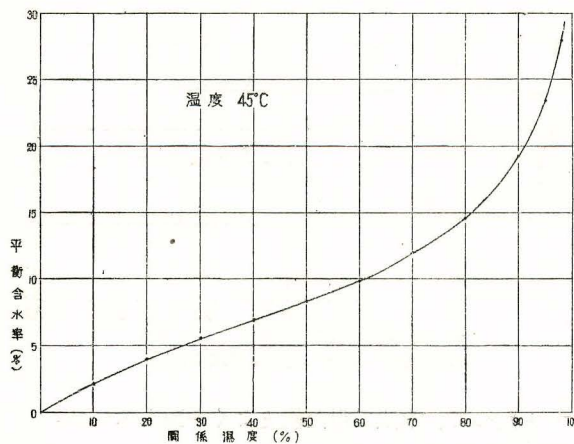
本法によると拡散係数は含水率には関係なく一定となつたが、従来の研究成果の中第6図に示した様に Martley⁽⁶⁾, Egner⁽²⁾, Stillwell⁽¹⁴⁾ 等は含水率と共に大きくなると報じ、反対に Schlüter & Fessel⁽¹¹⁾ は はんのき について含水率の増加に対し却つて減少の傾向ある如く報じている。併し一定の条件の下で木材を乾燥させた場合の水分減少の経過からみれば、含水率の減少に伴つて蒸発量の減少することは明白な事実であつて、その為内部水分の移動も含水率と共に低下するものと考えられ Martley, Egner 等は実験的にこれを示したものといえよう。

併し最近 A. J. Stamm⁽¹³⁾ は拡散係数 $\left(\frac{\text{cm}^2}{\text{sec}} \right)$ が含水率には関係なしとして次の如く述べている。即ち木材内部の水分移動ということは、水分が木材を構成する細胞の空隙、細胞膜毛細管、紋孔及び紋孔毛細管等の中を拡散によつて移動することであつて、拡散に対する此等の抵抗に相当する係数を夫々定め、木材をこれらが凡て直列及び並列に結合して構成されている

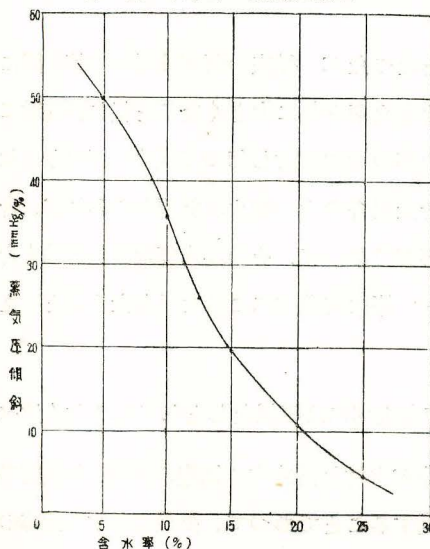
ものと見做し、その水分移動は恰も電流における伝導度計算と同様に計算出来るものとし、空气中の水蒸気及び媒液中の溶質の拡散に関する基本方程式から式をたて、これに上述の係数を代入して拡散係数 $\left(\frac{\text{cm}^2}{\text{sec}}\right)$ を算出して第7図の結果を得た。更に彼は Martley, Kollmann, Batemann & Hohf, Loughborough 等の結果を自己の用いた Dimension に換算して比較したが、略一致した結果を得たと報じ、而も最も軽い材（比重 0.25）を除いては含水率には関係しないことを述べている。

斯様に Stamm, 並びに本法の拡散係数が含水率に関係しないとの結果は如何に解釈さるべきであろうか。含水率の如何に拘らず拡散係数が一定ということは木材間の2点に於ける含水率差が同じであれば含水率の低い場合でも高い場合（繊維飽和点以下）でもその2点間の水分

第8図 平衡含水率曲線 (Kollmann による)



第9図 含水率と蒸気圧傾斜



拡散量が同じであることを意味している。併し木材中の水分は空气中の関係湿度（温度は一定）、即ち蒸気圧と平衡を保つがその関係は第8図の様に含水率により著しく異なる。水分の拡散は含水率差により起るが、又蒸気圧の差によつて生ずると考えることも出来るので、第8図から各含水率における蒸気圧傾斜 dp/du を求めてみると第9図の如く、含水率差の同じものに対して低含水率においては高含水率におけるより、蒸気圧差が著しく大きいことを知るのである。従つて拡散係数が含水率に無関係であつても理論上矛盾ではないということが出来る。

亦宮部⁽⁹⁾ は木材ではないが、種々の繊維板に

ついで湿流(拡散量)は蒸気圧差に直線的関係のあることを示しているが、木材の場合でも同様と思われる。

そこで拡散係数に含水率の代りに蒸気圧を考慮に入れると式(6)の代りに

$$q = -\lambda_P \frac{dP}{dx} \dots\dots\dots (8)$$

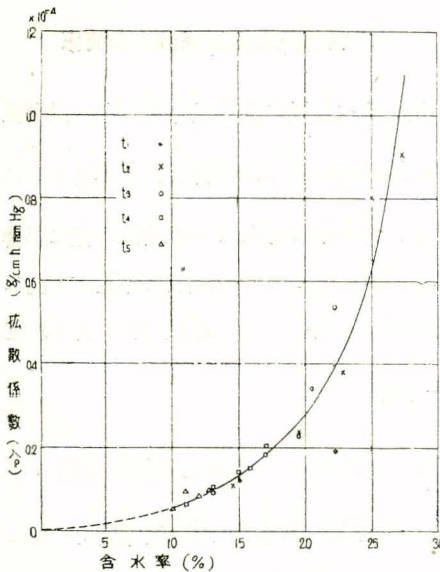
但し λ_P : g/cm²・h・mmHg

$$A = 1 \text{ cm}^2$$

を用うべきであつて、 q は前と同様に求められるから λ_P は

$$\lambda_P = \frac{r_0}{100} \frac{\frac{\partial}{\partial t} \left[\int u dx \right]}{dP/dx} \dots\dots\dots (9)$$

第 10 図 拡散係数 (λ_P) と含水率



で与えられる。この式から求めた λ_P は勿論含水率とは第 10 図の様に顕著な関係があつて、低含水率では高含水率より著しく水分拡散が困難になることを示している。

既に Ludwig⁽⁷⁾ はこの Dimension で拡散係数を表わし、まつ材に対して $0.12 \sim 1.4 \times 10^{-4}$ (g/cm²・h・mmHg) と報じている。(彼の $0.3 \sim 3.3 \times 10^{-3}$ g/cm²・24 h・mmHg から換算した。) この値から、ふな材を推定しても本結果と大差がない。

斯様に拡散量が含水率差でなくて蒸気圧差に起因するという問題は実験的に解決出来るので今後の研究に俟ちたい。

次に Krischer⁽⁶⁾ の拡散抵抗係数との関係を附記しておく。Krischer は拡散に関する Stefan

の法則を湿気を含んだ物質に応用して次式をたて

$$g'_D = -\frac{k}{\mu_\varphi} \cdot \frac{1}{R_D T} \cdot \frac{P_0}{P_0 - P_D} \frac{dP_D}{dx} \dots\dots\dots (10)$$

但し g'_D : 1時間に単位面積を通過する蒸気量 $\left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \text{h}}\right)$

k : 水蒸気の拡散係数 (m²/h)

R : 水蒸気の気体常数 (mkg/kg⁰K)

P_0 : 水蒸気と空気との全圧 (kg/m²)

P_D : 水蒸気の方圧

μ_φ : 含水率 φ なる多孔物質の拡散抵抗係数

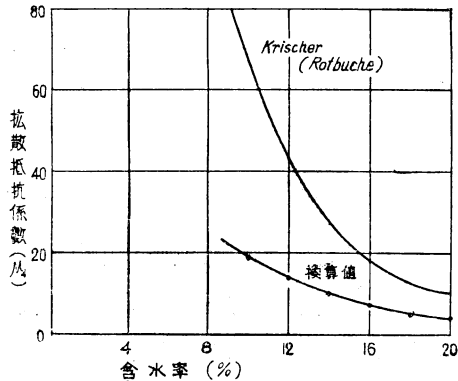
巧みな理論と実験とから拡散抵抗係数 μ_φ を求めた。この μ_φ と λ_P とを比較する為式(8)と

式 (10) とから

$$\mu_{\varphi} = \frac{k}{\lambda_P} \cdot \frac{1}{R_D T} \cdot \frac{P_0}{P_0 - P_D} \dots\dots\dots (11)$$

なる関係を得るので、 λ_P を μ_{φ} に換算し Krischer の値と比較して第 11 図の如くその値は

第 11 図 拡散抵抗係数
(Krischer の実験値との比較)



全般にそれより低くはあつたが、含水率との相対的な関係は同じ結果を得た。

以上本法で求めた拡散係数について考察を試みたが、その数値は従来の実験による値と大差なく、亦含水率とは無関係であるという点も理論上の矛盾もないので、この方法による数値は適正なるものと見做し得るであろう。

V 水分伝導度と拡散係数との関係

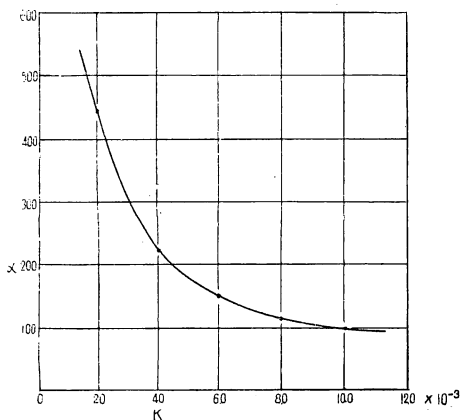
第 1 報で述べた様に水分伝導度 K は拡散係

数 λ との間に $K \equiv \frac{100}{r_0} \lambda$ なる関係がある。併し K の値は板の厚さに影響されるが含水率には無関係であるのに対し、 λ は板の厚さには勿論のこと、含水率に対しても本結果の様に影響を受けたい一定の値と仮定する。斯様に厚さに対し異なる関係をもつ 2 つの定数を等置する為には、その影響を消去する如き因子を挿入して考えなければならない。この因子を α とすれば

$$K \equiv \frac{\alpha}{r_0} \lambda \dots\dots\dots (12)$$

であつて、 K は厚さ S と $K = K_0 \left(\frac{S_0}{S} \right)^{n-2}$ なる関係にあるため α もこれと同様の関係 $\alpha = \alpha_0 \left(\frac{S_0}{S} \right)^{n-2}$ でなければならない。 λ は厚さに関係のない値であるから、水分伝導度を一定の

第 12 図 K と α の関係



厚さに対する値 K_0 に換算したものをを用い、これに応じ α を決定しておけば、 K から直ちに λ を求めることが出来る。水分伝導度 K の厚さによる影響を除く為常に 1 cm に対する値 K_0 を用いるとして、今種々の K_0 に応ずる λ の値を上述した Egner の方法で求めて α を決めた結果第 12 図を得た。従つて厚さ 1 cm に掲算した K_0 の値さえ求めれば、この図からその値に応ずる α を定めて式 (12) により λ の値を知る事が出来る。例えば第 1 報で報告した実験結果の厚さ 1 cm に対する水分伝導度 $K_0 =$

6.9×10^{-3} から拡散係数 λ を求めてみるとこの K_0 の値に対する α は第 12 図から略 132 であり, $r_0 = 0.6$ であるから $\lambda = 0.31 \times 10^{-4}$ を得, 上に求めた値とよく一致することを知る。従つてこの α の値と比重さえ知れば単に K_0 を求めるのみで, 煩雑な計算を行う必要なく K_0 から簡単に拡散係数に換算出来ることになる。

Ⅵ 摘 要

本研究は水分伝導度 $K \left(\frac{\partial u}{\partial t} = K \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \right)$ の係数 K と拡散係数 λ との関係を求めたものである。拡散係数は水分々布の時間的変化から求める Egner の方法によつて算出した。この為には水分々布を求める必要があるので, 先ず K から水分々布を推定することが出来るか否かを前回報告した実験資料に就て検討した。その結果は次の如くである

$$(1) \quad \text{微分方程式} \quad \frac{\partial u}{\partial t} = K \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \quad \text{の特別解}$$

$$u = u_0 + (u_b - u_0) \frac{4}{\pi} e^{-\left(\frac{\pi}{s}\right)^2 kt} \sin \frac{\pi x}{S}$$

は水分々布状態を示す筈であるが, これが略事実であることを乾燥進行中の試料について実験的に確かめた。

(2) 水分々布の時間的変化から計算によつて求めた水分減少量 m

$$m = \frac{r_0}{100} \left[\int u dx \right]_{t_2}^{t_1} \cdot A$$

は実測値と良く一致した。

従つて K の値から水分々布を推定出来るものとして, 厚さ 5, 8 及び 11 mm の資料について夫々の K から各時刻における水分々布を推定して λ の値を算出し次の結果を得た。

(3) λ の値として $0.30 \times 10^{-4} (\text{g/cm} \cdot \text{h} \cdot \%)$ を得た。而も何れの厚さについても同一の値であつた。

(4) λ の値は含水率の如何を問はず一定となつたが, この結果が理論的に矛盾するものでないことを明らかにした。併し含水率との関係については今後の実験によつてその真否を決めた。

(5) 第 1 報で報告した如く, K の値は厚さに関係されるので, 厚さ 1.0 cm の値を K_0 とすれば, λ の値との間には

$$\lambda = \frac{r_0}{\alpha} K_0$$

なる関係がある。但し α は K_0 の値に応じて第 12 図から求められる係数である。

従つて単に水分伝導度を求めれば, この式から簡単に水分拡散係数を知る事が出来る。

引用文献

- (1) Bateman, E., Hohf, J. P., and Stamm, A.J.
Unidirectional drying of wood. Indus. and Engin. Chem. 1939. 1150—1154.
- (2) Egner, K.
Beiträge zur Kenntnis der Feuchtigkeitsbewegung in Hölzern, vor allem in Fichten Holz während der Trocknung unterhalb des Fasersättigungspunktes. Forschungsberichte Holz. Heft 2 1934.
- (3) Hawley, L. F.
Wood-Liquid Relations. U. S. Dept. Agr. Tech. Bull. 248. 1931.
- (4) Kollmann. F.
Technologie des Holzes. 1936.
- (5) Saburo Kamei
Untersuchung über die Trocknung fester Stoffe. Memoirs of the College of Engineering Kyoto University 1934—1937.
- (6) Voigt, H., Krischer O., und Schauss H.
Die Feuchtigkeitsbewegung bei der Verdunstungstrocknung von Holz. Holz als Roh-und Werkstoff. Heft 10. 1940.
- (7) Lüdwig, K.,
Beiträge zur Kenntnis der künstlichen Holztrocknung mit besonderer Berücksichtigung des Einflusses der Temperature. Diss. Tech, Hochschule Berlin. 1936.
- (8) Martley, J. F.
Moisture movement through wood. The Steady State. Dept. Sci. and Indus. Res., Forest Prod. Res. Tech. Paper. No. 2. 1926.
- (9) 宮部 宏：材料の湿气的性能
早稲田大学理工学研究所報告 第1輯 昭和19年
- (10) 小倉武夫：
木材の乾燥機構に関する研究 第1報 表面蒸発速度及水分伝導度と板の厚さとの関係 林業試験場研究報告 第42号 1949.
- (11) Schlüter R. und Fessel F.
Neue praktische Erfahrungen bei der künstlichen Holztrocknung, Trocken-technik. Holz als Roh-und Werkstoff. Heft 5. 1939.
- (12) Sherwood. T. K.
The drying of Solids. I. Indus. and Engin. Chem. 21. 1929.
- (13) Stamm A. J.
Passage of Liquids, Vapors and dissolved Materials through Soft-woods. U. S. Dept. Agr. Tech. Bul. No. 929. 1946.
- (14) Stillwell, S. T. C.
The movement of moisture with reference to Timber seasoning. Dept. Sci. and Indus. Res., Forest Prod. Res. Tech. Paper. 1. 1926.
- (15) Tuttle. F.
A mathematical theory of the drying of wood. Jour. Franklin Inst. 200. 1925.

Study on the mechanisms of wood drying.

(2) On the moisture-conductivity and the diffusion-coefficient

The relations between the moisture-conductivity K (coefficient K of $\frac{\partial u}{\partial t} = K \frac{\partial^2 u}{\partial x^2}$) and the diffusion-coefficient λ are determined in this research.

The diffusion-coefficient have been calculated by Egner method, which is determined by the change of the moisture-distribution from one time to another. Therefore, from necessity to infer the moisture-distribution, it was, at first, investigated on the data reported in preceding research, whether the moisture-distribution could be assumed from K or not. Results obtained are as follows.

1. A particular solution of the differential equation $\frac{\partial u}{\partial t} = K \frac{\partial^2 u}{\partial x^2}$

$$u = u_0 + (u_0 - u_1) \frac{4}{\pi} e^{-\left(\frac{\pi}{S}\right)^2 kt} \sin \frac{\pi x}{S}$$

ought to show the distribution of moisture, and it is experimentally ascertained on the samples in process of drying that this equation shows a right distribution.

2. The decreased quantities of moisture m , calculated from the change of distribution from one time to another,

$$m = \frac{r_0}{100} \left[\int u \cdot dx \right]_{t_2}^{t_1} \cdot A$$

were in good agreement with measurement values.

Therefore, provided that the moisture-distribution could be inferred from K , the values of λ would be able to calculated by the moisture-distribution inferred from the values of K at each time respectively, by the samples of thickness 5, 8 and 11 mm. Results obtained are as follows.

3. The values of λ were $0.30 \times 10^{-4} (\text{g/cm} \cdot \text{h} \cdot \%)$ and were much the same for all thickness.

4. The values of λ were constant independent of moisture-contents, and it was proved that this results are not in conflict with theoretical values.

But it will be experimentally determined, whether the relation between λ and moisture content like this are correct or not, in future.

5. As expressed in the report No.1 the values of K is related to the thickness. So the relation $\lambda = \frac{r_0}{\alpha} K_0$ exists between K_0 and λ , if it takes K_0 for the thickness 1.0 cm. (where α is the coefficient corresponding to K_0 in Fig. 12.)

And then, if we get the moisture-conductivity K_0 by a simple experiment, so the diffusion-coefficient will be able to calculated simply by this equation.