

木材内部温度の計算方法

大 沼 加 茂 也⁽¹⁾

1. ま え が き

合板用原木の前処理としての蒸煮あるいは熱水加熱、接着操作時の熱圧加熱などにおいて、木材内の温度上昇経過を追求することは加熱条件を決定する重要な因子であり、実用上の応用面はひろい。それゆえ従前から多くの研究者によつて木材の熱伝導率または熱拡散率（温度伝導度）の測定値が報告され、この係数を用いた熱伝導方程式解が導かれている。

とくに熱伝導に関して永年にわたり研究をつまめた MacLEAN J. D. 氏、満久崇磨京大教授らの業績はその主なるものであろう¹⁾²⁾³⁾⁴⁾。また、近年 KOLLMANN F. および MALMQUIST L. 氏は木材および木質材料の熱伝導率について含水率、比重を parameter にとつた関係式を求め実測値によく適合することを認めている⁵⁾。

本小論文はこれら木材の熱伝導に関する既往の研究成果を基にして、温度上昇経過および所要加熱時間を容易に算出するためのノモグラフを作成し、実用的に利用しうよう取りまとめたものである。

なお木材表面から水分の吸脱湿がはげしい場合、高含水率材を 100°C 以上の高温で加熱した場合などのように、加熱媒体 (heating medium) の温度が加熱直後ただちに木材表面温度に等しくならない条件の温度上昇経過は簡易な計算方法を導くことが困難であるので省略し、蒸煮、煮沸および熱圧加熱のように加熱媒体の熱伝達率が非常に高く、加熱直後の木材表面温度と加熱媒体の温度が等しいとみなしうる条件について検討したものである。

本研究資料を取りまとめるにあたり有益な御教示をあおいだ當場小倉武夫木材部長、上村武木材材料科長、および井阪三郎木材物理研究室長に深謝する。

2. 熱伝導方程式解の近似計算法

木材の温度上昇経過を計算的にもとめる基本式は熱伝導方程式であり、この一般解はもとめがたいので加熱条件に適する境界条件を設定して特殊解を導き、任意の加熱時間にたいする木材内部の温度が計算される¹⁾⁶⁾⁸⁾。

しかし、この特殊解をいちいち計算することは工場実務者にとつて非常に煩勞であり、利用されないのが現状である。それゆえ、この特殊解を忠実に変型して簡易な計算式になおすため次のごとき方法を採用した。すなわち、熱伝導方程式解は一般に無限級数の形で示されるので、この級数の第何項まで用いれば精度上満足されるかを検討し、さらに木材中心温度のみを求める式に置換してある一定基準条件の温度上昇経過曲線をえがき、他の任意条件との関係をもとめた。

2. 1. 熱伝導方程式の相似則

基準の条件と任意の条件との関係をもとめるために熱伝導における相似則⁹⁾が採用される。すなわち 2

(1) 木材部木材材料科木材物理研究室員

つの類似の熱伝導現象にたいする偏微分方程式の相似条件を満足させるためには、まず対応する変数の割合が所定領域を通じて一定であるという条件が必要である。この相似則にしたがつて 2 つの熱流の一方の熱伝導方程式の変数に Suffix 1 をつけ、他方に Suffix 2 をつけて 2 つの変数間の関係をもとめる。

2. 1. 1. 丸太材の場合

両者の変数関係を次に示す。

$$\left. \begin{array}{l} \text{時} \quad \quad \quad \text{間: } t_2 = k_t t_1 \\ \text{温} \quad \quad \quad \text{度: } \theta_2 = k_\theta \theta_1 \\ \text{丸太中心からの距離: } r_2 = k_r r_1 \\ \text{熱 拡 散 率: } \alpha_2 = k_\alpha \alpha_1 \end{array} \right\} \dots\dots\dots (1)$$

いま、Suffix 1 で示される長丸太材の熱伝導方程式は

$$\frac{\partial \theta_1}{\partial t_1} = \alpha_1 \left[\frac{\partial^2 \theta_1}{\partial r_1^2} + \frac{1}{r_1} \cdot \frac{\partial \theta_1}{\partial r_1} \right] \dots\dots\dots (2)$$

で示されるので、suffix 2 で示される方程式に (1) 式を用いて Suffix 1 に置換すると、

$$\frac{k_\theta}{k_t} \cdot \frac{\partial \theta_1}{\partial t_1} = k_\alpha \alpha_1 \left[\frac{k_\theta}{k_r^2} \cdot \frac{\partial^2 \theta_1}{\partial r_1^2} + \frac{1}{k_r r_1} \cdot \frac{k_\theta \partial \theta_1}{k_r \partial r_1} \right] \dots\dots\dots (3)$$

がえられる。

(2) 式と (3) 式は全く一致した型であるので、各項の係数 $\frac{k_\theta}{k_t}$ 、 $\frac{k_\alpha k_\theta}{k_r^2}$ を等しいとおき、次式のごとき条件式がえられる。

$$\frac{k_\theta}{k_t} = \frac{k_\alpha k_\theta}{k_r^2} \dots\dots\dots (4)$$

(4) 式を (1) 式に代入すると $\frac{t_1}{t_2} = \frac{r_1^2 \alpha_2}{r_2^2 \alpha_1}$ になり、丸太中心からの距離 r を半径の長さ a とおくと次の関係式がえられる。

$$\frac{t_1}{t_2} = \frac{a_1^2 \alpha_2}{a_2^2 \alpha_1} \dots\dots\dots (5)$$

(5) 式から加熱時間は半径の 2 乗に比例し、熱拡散率に逆比例することがわかる。

2. 1. 2. 板材の場合

(1) 式の変数関係に厚さ方向の任意点 x と幅方向の任意点 y の変数関係 $x_2 = k_x x_1$ 、 $y_2 = k_y y_1$ を加えて、板材の熱伝導方程式

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \alpha \left(\frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial y^2} \right) \dots\dots\dots (6)$$

に代入し、前回と同様な計算を行うと、

$$\frac{1}{k_t} = \frac{k_\alpha}{k_r^2} = \frac{k_\alpha}{k_y^2} = \frac{2 k_\alpha}{k_x^2 + k_y^2} \dots\dots\dots (7)$$

がえられる。

いま x および y を板厚 h および板幅 b に置換すると

$$\frac{t_1}{t_2} = \frac{\alpha_2}{\alpha_1} \left(\frac{h_1}{h_2} \right)^2 = \frac{\alpha_2}{\alpha_1} \left(\frac{b_1}{b_2} \right)^2 = \frac{\alpha_2}{\alpha_1} \frac{2}{\left(\frac{h_2}{h_1} \right)^2 + \left(\frac{b_2}{b_1} \right)^2} \dots\dots\dots (8)$$

になり、加熱時間は板厚あるいは板幅の2乗に比例し、熱拡散率に逆比例する。

2. 2. 木材中心温度を求める計算式

熱伝導方程式の特殊解から中心温度を計算する簡易式になおすため次の方法を採用した。

2. 2. 1. 丸太材の場合

半径 a の長丸太材の中心から任意距離 r 点の解は次式で示される¹⁾。

$$\frac{\theta_1 - \theta}{\theta_1 - \theta_0} = 2 \sum_{m=1}^{\infty} e^{-\alpha \left(\frac{\lambda_m}{a}\right)t} J_0\left(\frac{\lambda_m}{a} \cdot r\right) \cdot \frac{J_1(\lambda_m)}{\lambda_m \{J_0^2(\lambda_m) + J_1^2(\lambda_m)\}} \dots\dots\dots (9)$$

記号 θ_1 : 加熱温度 °C

θ_0 : 木材の初期温度 °C

α : 木材の熱拡散率 m^2/hr

θ : t 時間後の r 点の温度 °C

J_0, J_1 : 0 次および 1 次の Bessel 函数で Fig. 1 にその実変数値を示す。

いま (9) 式の $J_0\left(\frac{\lambda_m}{a} r\right)$ に中心位置 ($r = 0$) を代入して Fig. 1 から $J_0(0)$ をもとめると 1 になる。また λ_m の値は熱伝導率 λ' ($kcal/mh^\circ C$), 加熱媒体の熱伝達率 h' ($kcal/m^2 \cdot h^\circ C$), および丸太材半径 a (m) によつて変化し次の関係がある。

$$\frac{h'}{\lambda'} \cdot a = \lambda_m \frac{J_1(\lambda_m)}{J_0(\lambda_m)} \dots\dots\dots (10)$$

(10) 式の λ_m の根は $m=1 \sim 5$ の範囲で Fig. 2 が示され⁶⁾, また h' は加熱媒体が、運動している液体: $200 \sim 5,000 kcal/m^2 h^\circ C$, 沸騰している液体: $4,000 \sim 6,000 kcal/m^2 h^\circ C$, 凝結しつつある蒸気: $7,000 \sim 12,000 kcal/m^2 h^\circ C$ 程度であるので⁶⁾, 普通の丸太材を熱水あるいは蒸気加熱した場合,

$$\frac{h'}{\lambda'} \cdot a > 50 \text{ とみなしうる。}$$

それゆえ、近似的に $\frac{h'}{\lambda'} \cdot a \rightarrow \infty$ の値として λ_1

≈ 2.405 , $\lambda_2 \approx 5.520, \dots\dots$ を用い, (9) 式内の各項を計算すると Table 1 のごとく $m \geq 2$ からは無視しうる。すなわち $J_0(2.405) = 0$, $J_1(2.405) = 0.520$ を (9) 式に代入して中心温度を求める式になおすと次式が成立する。

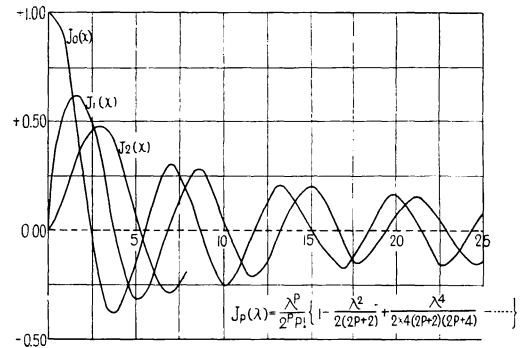


Fig. 1 実変数の Bessel 函数
Bessel functions of the zeroth; first and second order

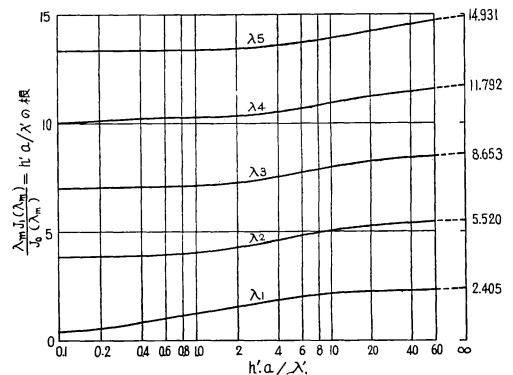


Fig. 2 m の値を 1~5 に変化させたときの $\frac{\lambda_m J_1(\lambda_m)}{J_0(\lambda_m)}$ の根

Root of $\frac{\lambda_m J_1(\lambda_m)}{J_0(\lambda_m)}$ varied with term m from one to five

Table 1 計算例 Example of calculation

Value of m	m=1	m=2	m=3	m=4
$\frac{J_1(\lambda_m)}{\lambda_m \{J_0^2(\lambda_m) + J_1^2(\lambda_m)\}}$ の値	+0.800	-0.532	+0.426	-0.365
$e^{-\alpha \left(\frac{\lambda_m}{a}\right)^2 \cdot t}$ の値	0.2615	0.0008	0.2×10^{-7}	0.5×10^{-14}

注 $t=1 \text{ hr}$, $\alpha=6 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{hr}$, $a=0.05 \text{ m}$

$$\frac{\theta_1 - \theta_m}{\theta_1 - \theta_0} = 1.60 e^{-\alpha \left(\frac{\lambda_1}{a}\right)^2 \cdot t} \dots\dots\dots (11)$$

記号 θ_m : 木材中心温度 $^{\circ}\text{C}$

いま基準の加熱条件として初期温度 $\theta_0=0^{\circ}\text{C}$, 熱水による (または蒸気による) 加熱温度 $\theta_1=100^{\circ}\text{C}$, 丸太材の直径 0.1 m , 熱拡散率の値 $\alpha=6 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{hr}$ として (11) 式から各加熱時間ごとの中心温度 θ_m を計算すると Table 2 がえられる。

Table 2. 計算例 Example of calculation

加熱時間 (heating time)	$e^{-\alpha \left(\frac{\lambda_1}{a}\right)^2 \cdot t}$	$1.60(\theta_1 - \theta_0) e^{-\alpha \left(\frac{\lambda_1}{a}\right)^2 \cdot t}$ $^{\circ}\text{C}$	θ_m $^{\circ}\text{C}$
1/2 hr	0.5016	80.2 $^{\circ}\text{C}$	19.8
1	0.2516	40.3	59.7
2	0.0640	10.3	89.7
3	0.0158	2.5	97.5
4	0.0040	0.64	99.4

2. 2. 2. 板材の場合

板材の厚さを h , 幅を b とし長さは他方向より十分長い材 (他方向の 10 倍以上) の熱伝導方程式 (6 式) の解は次式で示される⁹⁾。

ただし, 板目方向の熱拡散率 α_t と柃目方向の α_r はほとんど差異が認められないので, $\alpha_t = \alpha_r = \alpha$ とする。

$$\frac{\theta_1 - \theta}{\theta_1 - \theta_0} = \left(\frac{4}{\pi}\right)^2 \frac{1}{m \cdot n} \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} e^{-\pi^2 \alpha t \left\{ \left(\frac{m}{h}\right)^2 + \left(\frac{n}{b}\right)^2 \right\}} \sin \frac{m\pi y}{h} \cdot \sin \frac{n\pi y}{b} \dots\dots (12)$$

m, n は奇数

本式から中心温度 θ_m を計算するには, $x = \frac{h}{2}$, $y = \frac{b}{2}$ において展開すると,

$$\begin{aligned} \frac{\theta_1 - \theta_m}{\theta_1 - \theta_0} = & \frac{16}{\pi^2} \left[A \left(\frac{1}{h^2} + \frac{1}{b^2} \right) - \frac{1}{3} A \left(\frac{9}{h^2} + \frac{1}{b^2} \right) - \frac{1}{3} A \left(\frac{1}{h^2} + \frac{9}{b^2} \right) + \frac{1}{5} A \left(\frac{25}{h^2} + \frac{1}{b^2} \right) \right. \\ & \left. + \frac{1}{5} A \left(\frac{1}{h^2} + \frac{25}{b^2} \right) - \dots\dots \right] \dots\dots\dots (13) \end{aligned}$$

$$A = e^{-\pi^2 \alpha t}$$

になる。

丸太材と同じく基準の温度条件として、初期木材温度 $\theta_0 = 0^\circ\text{C}$ （温度分布一様）、加熱温度 $\theta_1 = 100^\circ\text{C}$

とし、板厚を 0.1 m 、板幅を厚さの 1 倍、 1.5 倍、 2.0 倍、 4.0 倍として各級数の $\frac{1}{m \cdot n} A \left\{ \left(\frac{m}{h} \right)^2 + \left(\frac{n}{b} \right)^2 \right\}$

項を計算すると Table 3 のごとく示される。本表から $b/h=1$ では第 2 項以下を無視しうるが、 $b/h=1.5, 2.0, \dots$ と幅広の板材になるにつれて第 3 項あるいは第 5 項と奇数項の計算を加味しないと十分な精度がえられない。しかし $b/h \geq 4$ からは熱流が厚さ方向のみの 1 次元式の第 1 項 (14 式) で十分な精度がえられることを認めた。

Table 3. 計算例 Example of calculation

	$A \left(\frac{1}{h^2} + \frac{1}{b^2} \right)$	$\frac{1}{3} A \left(\frac{9}{h^2} + \frac{1}{b^2} \right)$	$\frac{1}{3} A \left(\frac{1}{h^2} + \frac{9}{b^2} \right)$	$\frac{1}{5} A \left(\frac{25}{h^2} + \frac{1}{b^2} \right)$	$\frac{1}{5} A \left(\frac{1}{h^2} + \frac{25}{b^2} \right)$
$\frac{h}{b} = 0.1$	0.3055	0.00089	0.00089	$\rightarrow 0$	$\rightarrow 0$
$\frac{h}{b} = 0.15$	0.4257	0.00125	0.0173	$\rightarrow 0$	$\rightarrow 0$
$\frac{h}{b} = 0.2$	0.4771	0.00138	0.0488	$\rightarrow 0$	0.0027
$\frac{h}{b} = 0.4$	0.5350	0.00160	0.1320	$\rightarrow 0$	0.044

注： $t = 1$ 時間， $\alpha = 6 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{hr}$

1 次元式として次式が与えられる。

$$\frac{\theta_1 - \theta_m}{\theta_1 - \theta_0} = \frac{4}{\pi} A \frac{1}{h^2} \dots \dots \dots (14)$$

Table 4 は前述の方法で θ_m を計算した結果を示す。

Table 4. 計算例 Example of calculation

加熱時間 (heating time)	$\frac{h}{b} = 0.1$	$\frac{h}{b} = 0.15$	$\frac{h}{b} = 0.2$	$\frac{h}{b} = 0.4$	$\frac{h}{b} = \infty$
1 hr.	50.3 °C	32.8 °C	30.1 °C	29.7 °C	29.2 °C
2	84.9	70.7	64.0	61.0	60.9
3	95.3	86.8	82.1	78.4	78.4
4	99.6	94.6	91.5	88.1	88.1
5	—	97.7	96.0	93.5	93.4
6	—	—	98.1	96.5	96.4
8	—	—	—	98.9	98.9
10	—	—	—	—	99.7

注： $h = 0.1$ $b = \infty$ の計算は 1 次元の熱伝導方程式解から求めたものである。

2. 3. 基準条件と任意条件との関係式

任意の温度条件としての初期木材温度 θ_0' 、加熱温度 θ_1' と基準の温度条件である $\theta_0 = 0^\circ\text{C}$ 、 $\theta_1 = 100^\circ\text{C}$

との間の関係を導くために次の方法が考えられる。

(11) 式, (13) 式あるいは (14) 式の右辺は熱拡散率が一定ならば, つねに等しいので

$$\frac{\theta_1 - \theta_m}{\theta_1 - \theta_0} = \frac{\theta_1' - \theta_m'}{\theta_1' - \theta_0'} \text{ が成立し次式がもとめられる。}$$

$$\theta_m' = \theta_1' - \frac{(100 - \theta_m)(\theta_1' - \theta_0')}{100} \dots\dots\dots (15)$$

ここで θ_m' は基準木材条件における任意温度条件の中心温度である。

それゆえ任意寸法および熱拡散率があたえられるときは, (5) 式あるいは (8) 式を用いて基準寸法, 基準熱拡散率になおした加熱時間を計算し, この値を (15) 式に適用すればすべての任意条件に対する中心温度が求められる。

なお中心以外の任意点の温度を求めるには丸太材では $J_0\left(\frac{\lambda_m}{a} \cdot r\right)$, $b/h \geq 4$ の板材では $\sin \frac{\pi x}{h}$ の値が影響するので, これら位置補正の係数を K で代表して関係式を導くと,

$$\frac{\theta_1 - \theta}{\theta_1 - \theta_0} = \frac{\theta_1 - \theta_m}{\theta_1 - \theta_0} K \text{ あるいは } \frac{\theta_1' - \theta'}{\theta_1' - \theta_0'} = \frac{\theta_1' - \theta_m'}{\theta_1' - \theta_0'} K \text{ から}$$

$$\left. \begin{aligned} \theta &= 100 - K(100 - \theta_m) \\ \theta' &= \theta_1' - K(\theta_1' - \theta_m') \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (16)$$

がえられる。

Fig. 3 および Fig. 4 は丸太材および板材 ($b/h \geq 4$) の K 値を示す。

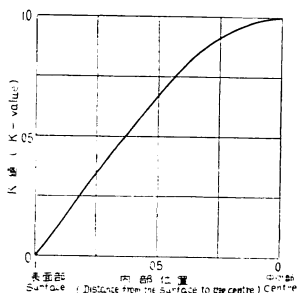


Fig. 3 丸太材の位置補正係数
Relation between correction factor
and distance from the surface to
the centre for long round timber

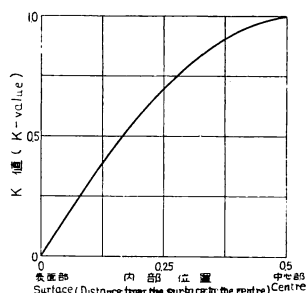


Fig. 4 板材 ($b/h \geq 4$) の位置補正係数
Relation between correction factor
and distance from the surface to the centre
for board of width/thickness ≥ 4

以上基準条件の温度上昇経過と (5), (8), (15), (16) の各式を用いれば, いかなる任意条件でも容易に温度計算ができるが, さらに工場実務者にも利用しうるようにノモグラフを作成すると Fig. 5, Fig. 6 のごとくなる。

〔計算例 1〕

初期木材温度 $\theta_0' = 20^\circ\text{C}$, 丸太直径 $a_2 = 0.30\text{ m}$, 熱拡散率 $\alpha_2 = 4.5 \times 10^{-4}\text{ m}^2/\text{hr}$ の長丸太材を 80°C の熱水で加熱した場合, 加熱後 10 時間の中心温度 θ_m' および表面と中心の中間点 $x/r = 0.5$ の位置の温度をノモグラフから求める。

もともめ

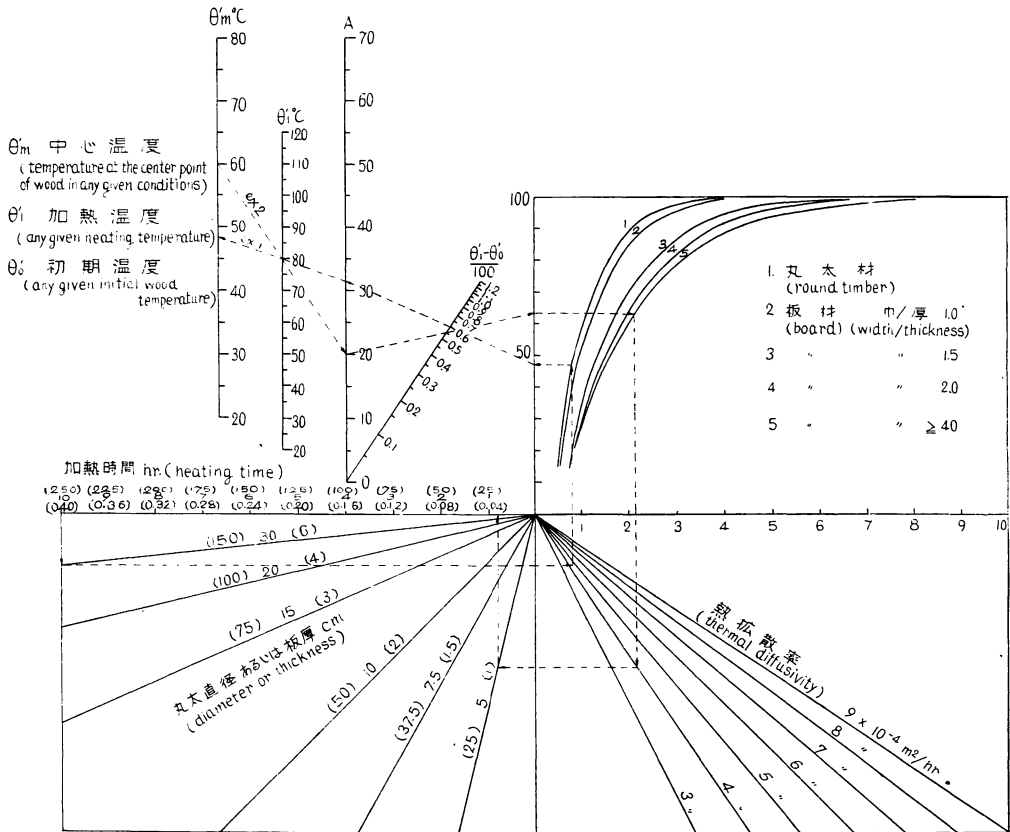


Fig. 5 任意条件における中心温度あるいは加熱時間をもとめるノモグラフ
Nomograph to find a heating time or temperature at the centre of wood in any given heating conditions

Fig. 5 の第 3 象限の横軸に示す加熱時間=10 時間の点から垂線を下し、直径 30 cm との交点をもとめ、この交点から横軸に平行線をひいて第 4 象限の熱拡散率 $4.5 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{hr}$ との交点から、第 1 象限の丸太材の基準温度上昇曲線 1 にむかつて縦軸に平行線をたてて交点をむすぶ。さらに第 2 象限の $\frac{\theta' - \theta_0}{100} = \frac{80 - 20}{100} = 0.6$ の点と A 線をむすび、 $\theta_i' = 80^\circ\text{C}$ との点を延長して θ_m' の値をよむと約 48°C がもとめられる。

$x/r = 0.5$ の位置の温度は Fig. 6 の θ_m' の線上に 48°C をとり、 $\theta_i' = 80^\circ\text{C}$ の点をむすんで B 線に延長し、Fig. 3 から $x/r = 0.5$ の位置補正係数 $K = 0.670$ をもとめて、K 線上の 0.67 との交点を延長し C 線とむすび、この点から $\theta_i' = 80^\circ\text{C}$ との交点をさらに延

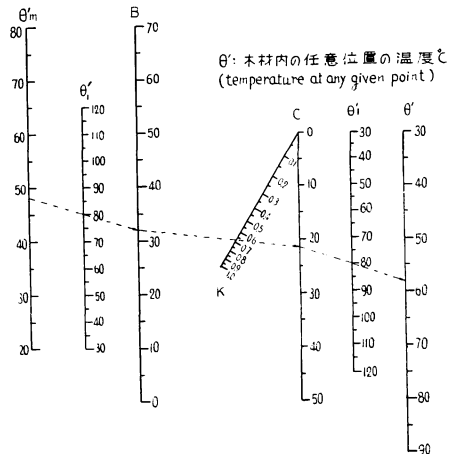


Fig. 6 中心温度から任意位置の温度をもとめるノモグラフ
Nomograph to find a temperature at any given point from the definite centre temperature

長して θ' 線上の温度をよむと 58.5°C がもとめられる (ex. 1 の点線で示す)。

以上ノモグラフからもとめた値と、簡易な計算式からもとめた値を比較すると、まず (5) 式から基準木材条件に対する加熱時間を計算する。

$$10 = t \left(\frac{0.3}{0.1} \right)^2 \left(\frac{6.0 \times 10^{-4}}{4.5 \times 10^{-4}} \right) \quad \therefore t = 0.83 \text{ 時間}$$

t に対する中心温度を (11) 式あるいは Fig. 5 の第 1 象限からもとめると 47.0°C になる。それゆえ、 $\theta_m = 47^{\circ}\text{C}$, $\theta_0' = 20^{\circ}\text{C}$, $\theta_1' = 80^{\circ}\text{C}$ を (15) 式に代入すると、

$$\theta_{m'} = 80 - \frac{(100 - 47)(80 - 20)}{100} = 48.2 (^{\circ}\text{C})$$

が中心温度になる。

表面と中心の中間点 $x/r = 0.5$ の温度は (16) 式から

$$\theta' = 80 - 0.670(80 - 48.2) = 58.7 (^{\circ}\text{C})$$

がもとめられる。

これらはいずれもノモグラフで求めた値とよく一致していることを知る。

〔計算例 2〕

厚さ 5 cm , 幅 25 cm の板材を 80°C の熱水で加熱した場合、板中心温度が 60°C に達するまでの時間をもとむ。ただし板材の初期温度を 25°C , 熱拡散率を $4.0 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{hr}$ とする。

もとめ方

ノモグラフでもとめるには、前例とまったく逆の方法で追跡すれば加熱時間がもとめられ、点線(ex.2)でたどると約 0.8 時間がえられる。

いま簡易計算法で算出すると、 $\theta_0' = 25^{\circ}\text{C}$, $\theta_1' = 80^{\circ}\text{C}$, $\theta_{m'} = 60^{\circ}\text{C}$ における基準木材条件の中心温度 θ_m

Table 5. 熱 拡 散 率 の 値

Thermal diffusivity varied with heating medium, spcific gravity and moisture content

含水率% m. c.	比重 g/cm^3 (specific gravity)	熱 水 加 熱 (hot water heating)	熱 圧 加 熱 (hot press heating)	蒸 煮 加 熱 (steam heating)	クレオソート加熱 (creosot heating)	
		below 100°C	above 100°C	above 100°C	below 100°C	above 100°C
0	0.8		5.1×10^{-4}			
	0.7		5.1			
	0.6		5.2			
	0.5		5.3			
	0.4		5.4			
	0.3		5.6			
20	0.8	4.0×10^{-4}	4.4	4.9×10^{-4}	3.6×10^{-4}	4.0×10^{-4}
	0.7	4.0	4.5	5.0	3.6	4.0
	0.6	4.1	4.6	5.0	3.6	4.1
	0.5	4.2	4.7	5.2	3.7	4.1
	0.4	4.3	4.8	5.2	3.8	4.2
	0.3	4.4	4.8	5.3	4.0	4.3
60	0.8	4.3	4.7	5.2	4.0	4.3
	0.7	4.3	4.7	5.1	4.0	4.3
	0.6	4.4	4.6	5.1	4.0	4.4
	0.5	4.5	4.8	5.3	4.1	4.5
	0.4	4.6	4.8	5.3	4.2	4.6
	0.3	4.7	4.9	5.4	4.3	4.7

注：(1) 100°C 以下の熱圧加熱の場合は熱水加熱の熱拡散率を使用する。

(2) パーティクルボードの熱拡散率は同一比重の木材の 0.8 倍、ファイバーボードは 0.5 倍 (比重 1.00 g/cm^3 以下に適用)⁵⁾¹¹⁾

を (15) 式から計算すると、

$$60 = 80 - \frac{(100 - \theta_m)(80 - 25)}{100}$$

から $\theta_m = 63.6^\circ\text{C}$ がえられ、 63.6°C に対する加熱時間を Fig. 5 の第 1 象限の $b = 10\text{ cm}$, $h/b \geq 4$ から $t_1 = 2.15$ 時間をもとめられる。

$t_1 = 2.15$ 時間は厚さ 10 cm , 熱拡散率 $6.0 \times 10^{-4}\text{ m}^2/\text{hr}$ の基準条件に対する値であるゆえ、(8) 式から

$$t_2 = 2.15 \times \left(\frac{0.05}{0.10} \right)^2 \cdot \frac{6 \times 10^{-4}}{4 \times 10^{-4}} = 0.81 \text{ (時間) あるいは } 48.6 \text{ 分がもとめる値になる。}$$

なお木材の熱拡散率の値は樹種 (主に比重), 加熱媒体, 含水率などによつて多少異なるが, 熱伝導率にくらべて安定している。Table 5 は大略の熱拡散率の値を示したが実用上さしつかえない⁽²⁾⁽⁵⁾⁽¹⁰⁾。

3. む す び

以上丸太材および板材の温度を容易に計算するため、従前から発表されている熱伝導方程式の解をもとにして、一定基準の加熱条件, 木材条件における中心部の温度上昇経過をもとめ他の任意条件との間の関係式を導いて簡易な計算方法を検討しノモグラフを作成した。

本方法は加熱媒体の温度が, 加熱木材の表面温度にただちに等しくなり, しかも加熱媒体の熱伝達率は熱水, 蒸気加熱, 熱板加熱などのように非常に高い場合に適合する計算方法である。なお繊維飽和点以上の木材を 100°C 以上の高温で加熱する場合, あるいは空気加熱の場合の簡易計算法についてさらに検討してゆくつもりである。

文 献

- 1) 満久崇磨: Studies on the Heat Conduction in Wood, 木材研究, No. 13, (1954) p. 1~80.
- 2) MacLEAN, J. D.: Studies of heat conduction in wood. Results of steaming green round southern pine timbers A. W. P. A. Proc. Vol. 26, (1930) p. 197~219.
- 3) MacLEAN, J. D.: Studies of heat conduction in wood. Results of steaming green sawed southern pine timbers. A. W. P. A. Proc. Vol. 28, (1932) p. 303~330.
- 4) MacLEAN, J. D.: Rate of temperature change in short length round timbers, A. S. M. E. T. Vol. 68, No. 1, (1946) p. 1~16.
- 5) KOLLMANN, F., MALMQUIST, L.: Über die Wärmeleitzahl von Holz und Holzwerkstoffen, Holz als Roh-und Werkstoff. Heft 6, (1956) p. 201~204.
- 6) 川下研介: 熱伝導論, 応用数学, 21, (1941), p. 124~253.
- 7) 弥永昌吉・矢野健太郎 (共訳): 万能数値表, (1952) p. 739~746.
- 8) 高橋安人 (訳): 応用伝熱, (1953) p. 56~60.
- 9) KOLLMANN F.: Technologie des Holzes und der Holzwerkstoff, Erster Band (1951) p. 520~527.
- 10) 大沼加茂也: 木材の熱拡散率に関する一考察, 日林講 63 回 (1955)
- 11) 大沼加茂也: 硬質繊維板の熱拡散率に関する二, 三の実験, 木材学会誌, 3, 4, (1957) p. 121~

Method for Calculation of Temperature in Wood During the Heating Period

Kamoya OHNUMA

(Résumé)

The purpose of the present paper is to extend and simplify the application of the differential equation for heat conduction in wood.

This has been done by means of graphs showing the relation of time, temperature, dimension and distance from the surface; after the calculations have been made at the centre of wood for the assumed initial wood and heating temperatures ($=0^{\circ}\text{C}$ and 100°C), the thermal diffusivity ($=6 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{hr}$) and the diameter of round timber or thickness of board ($=0.1 \text{ m}$), the proportional relations (Fig. 5, 8, 15, 16) which exist between temperatures obtained under different heating conditions make it possible to use the computed data when the wood and heating conditions are different from those assumed in making the original computations.

Also obtained is a temperature at various distance from the surface by use of Fig. 4 and 5. From the standpoint of practical use, the nomographs of Fig. 6 and 7 are applicable to easy calculation in any given heating conditions.

For example, the broken line (ex. 2) of Fig. 6 shows the tracing one required to find the heating time needed to obtain a temperature of $60^{\circ}\text{C} = \theta_m'$ at the centre of thickness when the following conditions are given: thickness of board $= 5 \text{ cm}$, width $= 25 \text{ cm}$ (width/thickness > 4.0), heating medium of water, water temperature during heating period $= 80^{\circ}\text{C} = \theta_1'$, initial wood temperature $= 25^{\circ}\text{C} = \theta_0'$ and thermal diffusivity of wood $= 4.0 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{hr}$.