木材防腐処理法に関する研究 (2) クレオソート油を用いる開槽式温冷浴法によつて 処理された木材の材内温度変化ならびに

圧力変化とその処理条件について

雨	宮	昭	<u> </u>
井	上		衛 ⁽²⁾

1. まえがき

木材の防腐処理において,防腐剤としてクレオソート油を使用する場合が非常に多いので,クレオソー ト油により加熱冷却された丸太の材内温度変化を知ることは,各種の防腐処理法の処理条件を決定するた めに参考となる資料がえられると考えて,本実験を行なつた。このことに関しては,J.D. MacLEAN が すでに米国産樹種を用いて,多くの実験結果を発表しているが,日本産樹種に関しては,著者らが,第1 報において水溶液の場合について報告しているくらいで¹¹,クレオソート油による場合の資料に乏しい。

本報告ではクレオソート油による温冷浴法の処理中における材内温度変化を熱電対により,スギ,アカマツ,ブナの末口径 10~20 cm,長さ 180 cm の気乾丸太について測定した結果について報告する。

測定結果から,第1報と同じような2,3の法則の成立を確かめ,それらの実験値から,木材内部温度 計算式を用いて,丸太の位置の補正係数,熱拡散率などを計算してみた。これらの数値は丸太という欠点 の多い材料からえた数値であるから,厳密な意味ではその絶対値にかなり不安があるが,幅の広い許容限 界を設けるなら,これらの数値を用いて実用的に各種の防腐処理法,とくにブルトン法などの前処理法に おける材内温度の計算に使用できるのではないかと考えられる。

また,温冷浴法の処理条件を検討するには,この方法が木材を加熱して,材内の空気を膨脹させること により,材外に排出させ,その後冷却して,材内の空気を収縮させて生じる減圧,すなわち吸引力を利用 して,防腐剤を吸収させる方法であるから,処理中の材内圧力変化を知ることが非常に重要なことと考え られるので,材内温度変化を測定すると同時に,同じ丸太の材中に銅パイプを埋めこんで,水銀マノメー タを用いて,材内圧力変化を測定し,さらに板目面のみ暴露した小試験片の空気の通導性と温冷浴法処理 による材内圧力の変化を測定して,それらの結果から検討した同法の2,3の処理条件について報告する。

ただ,本実験における材内圧力の測定法には多少の問題があるから,その測定値は絶対値としてはあま り重要な意味をもたせられないが,相対的な比較値とすれば,処理条件の検討に十分利用できるものと考 えられる。

なお,本実験結果の一部は第5回,第7回日本木材学会大会において,発表したものである。

2. 実 験 方 法

2.1 材内温度の測定

処理装置は第1報で使用したものと同じで、温度測定も第1報と同じように銅-コンスタンタンの熱電 対を材内に埋めこんで行なつたが、その線の被覆はビニール管では熱クレオソート油に対して弱いので、 磁製の碍管を通して行なつた。

また第1報において、木口面からの熱電導の影響をうける部分は、小径木においては非常に少ないとい うことが明らかになつたので、本実験においては、木口面の影響を受けない部分、すなわち、側面からの み熱伝導の影響を受ける部分の温度変化を測定せんとして、丸太の長さの中点を選び、その部分におい て、主として表面から半径の深さと、その1/2の深さの点における温度を測定した。

2.2 材内圧力の測定

丸太の場合には,温度測定部の付近で,深さも表面から半径の深さと,その半分の深さの2種類の孔を あけ,外径約 8 mm の銅パイプをさしこんで,木材とパイプの間隙を,パイプの開孔部付近のみを残し て他は完全に合成樹脂で充てんし,液が浸入しないようにし,そのパイプと水銀マノメータとをゴム管で 連結して,材内の圧力をそのマノメータで,大気圧との差によつて読むようにした。



小試験片においては Fig.1 のように,一方の板目面の みを残して,他の5 面は完全にフルフラール樹脂で被覆 して,空気が通導しないようにし,被覆した板目面のほ ぼ中心部に深さ 20 mm,径 8 mm の孔をあけ,この孔 に外径 6 mm,長さ 150 mm のガラス管の先をさしこ み,空気がもれないように合成樹脂でガラス管と木材と の間隙を完全に埋めて実験に供した。

材の髄線方向の空気の通導性をみる場合には Fig.1 の ように,ガラス鐘中に試験片を入れ,その試験片に埋め こんだガラス管を,鐘の頭部の孔のゴムせんから外につ き出し,そのガラス管と水銀マノメータを連結する。ガ

Fig. 1 空気の通導性測定装置 Equipment for measuring air permeability

ラス鐘の中は真空ポンプにより減圧され,試験片を通して水銀マノメータと連絡しているから,鐘中の減 圧度に応じた材内圧力の変化を水銀マノメータにより,大気圧との差によつて測定した。

本実験では減圧度 710 mm(絶対圧力 50 mm)の減圧で,1時間後の材内圧力を大気圧との差で表わしたものを空気の通導性とした。

温冷浴法の処理工程中の材内圧力変化を知る場合には,同じ試験片のガラス管と水銀マノメータとを直 結し,その試験片をクレオソート油中に入れて,その際の材内圧力を測定した。

これらの温冷浴法処理中の材内圧力測定においては,木材と水銀マノメータを連結するためのパイプ中 の空気は,処理中の温度変化により圧力が変化し,材内の圧力変化に対して,一種のクッションの役割を なしているから,マノメータに表われた圧力は材内の真の圧力を示していない。しかし,だいたい同種類 の試験においては,マノメータ付近の温度は同温度になるようにし,木材からマノメータまでの距離を等 しくしたから,木材以外の部分の圧力変化は,いずれの場合も同様に起こるものとみなし,マノメータに 現われた圧力変化は樹種,処理条件による差であると考えた。それゆえに,多くの場合絶対値にはたいし た意味がなく,相対的な値としてのみ意味がある。

3. 実験結果ならびに考察

3.1 丸太内の温度変化



Temperature change and pressure change

in timber (rapid cooling) 樹種 Species: AKAMATSU, 長さ Length: 180 cm, 直径 Dia.:(1)....16 cm (2 r), (2).... 11 cm (2 r), 加熱温度 Heating temp.: 110°C, 冷却温度 Cooling temp.: 50°C (クレオソート 油を用いて with creosote oil)

実験方法でしるしたように, クレオ ソート油を用いて, 温冷浴法により処 理された気乾丸太のアカマツ, スギ, ブナの材内温度を熱電対を用いて, 加 熱時および冷却時を通じて測定した結 果の一例を, Fig.2, 3, 4, 5 に示す。

これらの処理条件は,加熱温度は 110°C,冷却温度は50°Cを用い,材 の初期温度は室温から行なつた。その ため,材の初期温度が冬期では5°C, 夏期では20°Cまで変化したので,そ の間の比較を行なうために(3.3.4)式 を用いて,基準条件としては加熱温度 110°C,冷却温度50°C,木材の初期温



Temperature change and pressure change in timber (rapid cooling)

樹種 Species:SUGI,長さ Length:180 cm,直径 Dia.:(1)....16 cm (2 r),(2)....13 cm(2r), 加熱温度 Heating temp.: 110°C, 冷却温度 Cooling temp.:50°C(クレオソート油を用いて with creosote oil)



Fig.4 ブナの材内の温度変化と圧力変化 (急冷) Temperature change and pressure change in timber (rapid cooling)

樹種 Species: BUNA, 長さ Length: 180 cm, 直径 Dia.: 20 cm (2 r), 加熱温度 Heating temp.: 110°C, 冷却温度 Cooling temp.: 50°C (クレオソート油を用いて with creosote oil) 林業試験場研究報告 第123号



Fig.5. スギの材内の温度変化と圧力変化 (放冷) Temperature change and pressure change in timber (gradual cooling)

度 15℃ として,異なる初期 温度から出発した測定値をす べて換算し,その結果の一例 を樹種ごとに図に示した。

1)実験結果によれば、各 樹種とも同じ位置であるな ら、丸太の直径が小なるもの は大なるものより、同一丸太 では表面より半径の1/2の深 さの点は、半径の深さの点よ り、また加熱冷却開始後の初 期の間、すなわち液温と材内 温度との温度差が大なるとき

樹種 Species: SUGI, 長さ Length: 180 cm, 直径 Dia.: 15 cm(2 r), 加熱温度 Heating temp.: 110°C (クレオソート油を用いてwith creosote oil)

は、小なるときより、おのおのとも温度変化速度は大となり、第1報の水溶液で処理した場合とほとんど 同じ傾向を示した。

2)第1報の場合は、加熱温度を水溶液のため最高 90°C としたから、加熱時間が経過してくると、し だいに材内温度は加熱温度に近づいたが、本実験でも加熱温度が 90°C の場合は、 もちろん材内温度は 90°C にしだいに近づいたが、加熱温度が 110°C の場合には、 加熱時間が相当経過しても、 材内温度は なかなか 100°C を越えず、相当長時間 100°C を保持しているようであつた。

スギ丸太の実験結果によれば、末口径 16 cm の場合加熱を開始してから、5~6時間経過後、まず半径の 1/2 の深さの点が 100°C に達し、その後この点は 100°C を保持しつづけ、1~2時間おくれて中心 点も 100°C に達して、両点が 100°C を数時間保持しつづけた後に、前者の点は数時間でせいぜい 2~3°C くらいの割合で、非常にゆつくり温度を上昇しはじめる。 ところが、中心点の温度は相変わらず 100°C を保持しつづけて、けつきよく、15 時間加熱したが、材内温度が液温の 110°C に達するまで測定で きなかつた。

これらの結果から,加熱温度が 100°C より高い場合には,材内温度が 100°C に達すると材中の水が 沸騰して,当分の間,すなわち材中に相当の水が存在している間は,100°C を保持しつづけ,表面から内 部に向かつてしだいに乾燥してきてはじめて,表面からしだいに 100°C をこえてゆくが,内部から約 100°C の水蒸気が表面に向かつて出てゆくから,それによつて影響をうけ,なかなか表面に近い部分とい えども,110°C に近づけないのではないかと考えられる。

3)本実験に用いたアカマツ丸太は,第1報に用いたものと同種の材料であるから,両者の場合の同一 加熱時間ごとの温度を比べてみると,だいたい水溶液で加熱した場合の方が,クレオソート油で加熱した 場合より高くなつているようである。このことは J. D. MacLEAN⁵¹⁷ によつても,すでに発表されている。

4) どの樹種でも急冷法の場合には, 材の中心点の温度が表面に比べてかなり低いときに 冷却される と,一度温度が上昇してから下降し,比較的に表面との温度差が少なくなつてから冷却されると,直ちに 下降するという現象は,直径の大なる材の場合に明りように現われる⁶⁰。

5) 放冷の場合には、 液温が下降しはじめても、Fig. 5 に示すように、 しばらく材内温度の変化はな

f

— 72 —

く,液温が 100°C 以下に下がりだすと,それより少しおくれて下がりだし,材の中心点で約 9~10°C, 表面から半径の 1/2 の深さの点で,5~6°C 液温より高い温度で,液温と同じような曲線を描きながら下 降してゆき,長時間経過すると,両者の間隔がしだいに狭くなつてゆく。これらの冷却の場合の各種の傾 向は水溶液で処理された場合とほとんど同じである。

3.2 丸太内の温度分布

前記の温度測定法でしるしたように、本実験では丸太の長さの中点で測定を行なつたから、繊維方向の 温度分布はわからないが、水溶液で処理した場合の結果から考えて、同じような傾向を示すものとするな らば、木口面の影響は大したことはないであろうと考えられる^{いい}。 そこでここでは髄線方向の温度分布 についてのみしるす。

実際に温度を測定した点は、主として表面から半径の深さの点と、その半分の深さの点であり、同一加

熱時間における2点の温度を結ぶことによ り,ある程度髄線方向の温度分布が推定でき ると考えた。その結果をFig.6に樹種別に示 す。この図は加熱時における各時間ごとに測 定した2点の温度を実線で結び,その直線を 破線で表面の位置まで延長して示した。

一般に、丸太を加熱した場合、その丸太の 髄線方向の温度分布は表面が高くて、中心に 向かつてしだいに低くなり、その曲線が放物 線のようになるが、加熱時間が経過すると、 表面から中心まで温度傾斜は少なくなつて、 放物線からしだいに近似的に直線に近くなる と考えてもさしつかえないであろう⁶⁰⁷¹。 こ のことは水溶液を用いて 90°C で加熱した場 合に¹⁰, 表面温度を液温に等しいと仮定して 90°Cとし、丸太の半径の半分の深さの点の温 度と丸太の中心点の温度の3点を結ぶ線は、



はじめは放物線のような曲線を描いているが,時間の経過とともに,3点がほとんど一直線上に乗るよう になる。この事実を逆に考えることが許されるならば,図において,丸太の中心点の温度と,半径の半分 の深さの点の温度を結んだ直線の延長と表面の位置と交わつた点が示す温度を表面温度と考えることがで きる。

Fig.6 において,破線が表面の位置と交わる点をみるに,どの樹種でもはじめは低いが,時間の経過と ともに上昇してゆき,数時間後からは 100°C に集中している。もちろん,材内温度分布をはじめから直 線と考えるのは不合理であるから,図に示すはじめの時期の表面の位置との交点はあまり意味がないが, 上記のように,ある時間たつと直線的になるということから考えると,数時間後から,その交点が 100°C 付近に集中するようになるということは,加熱温度がたとえ 110°C であつても,表面温度は 100°C を 保持しつづけているのではないかと考えられる。以上のことは表面温度を実測せずに,図から外挿法に

- 73 -

より表面温度を推定した。実験においても,正確な表面温度は測定できなかつたが,表面から 5 mm の深 さの点の温度を実際に測定した結果では,加熱の初期にすでに100°Cに達するが,その後,かなり長時間100 ~102°C を保持していることが明らかになり,前記の推定表面温度とだいたい一致した結果がえられた。

これらのことから,クレオソート油で100°C以上の温度で丸太を加熱した場合,その表面温度は相当長い間,水の沸点の温度を保つており,あたかもその丸太は水の沸点の温度で加熱されているような温度分 布を示すものと考えられる。

3.3 材内温度変化において成立する関係式とその係数の計算

3.3.1 材内温度変化速度

Fig. 2, 3, 4 の材の中心点の温度上昇曲線を,縦軸を液温と材内温度との差の対数,横軸を加熱時間に とつて,同一結果を実線は液温を 110°C とし、点線は液温を 100°C として計算して表わすと,Fig. 7 の



Fig.7 液温(t₁)と丸太の中心温度(t_m)との差と加熱時間との関係 Relation of heating period and difference between oil temperature and temperature at center of timber 加熱温度 Heating temp.: 110°C, 木材の初期温度 Initial temp. of timber: 15°C

(a) is the line calculated as $t_1 = 110^{\circ}$ C, (b) is the line calculated as $t_1 = 100^{\circ}$ C

ようになり、いずれの場合でも、加熱の初期と材内温度が 100°C に近づくと、 直線からはずれる場合が 多いが、その他の部分はだいたい直線となる。それゆえ、この直線部では次式が成り立つ。

 t_1 :加熱媒体の温度, θ :加熱時間, t_m : θ 時間加熱後の丸太の中心温度,k, C:常数 参考のため, Fig. 7 の各樹種の k, Cを計算してみると次のとおりである。

*t*₁=110°C のとき

ス ギ 末口径=16.5 cm 測定深さ=8 cm のとき k=0.361 C=4.61
 末口径=13 cm 測定深さ=6 cm のとき k=0.522 C=4.46
 アカマツ 末口径=16 cm 測定深さ=8 cm のとき k=0.446 C=4.86
 末口径=11 cm 測定深さ=5.5 cm のとき k=0.925 C=4.75
 ブ ナ 末口径=20 cm 測定深さ=10 cm のとき k=0.228 C=4.84

(3.3.1) 式を θ で微分すると (3.3.2) 式となる。

$$\frac{dt}{d\theta} = k \left(t_1 - t_m \right) \qquad (3.3.2)$$

— 75 —

(3.3.2) 式は材内温度変化速度は加熱温度と材の中心温度の差に比例することを示す。

ここで問題になることは, 加熱温度を 110°C とすべきか, 100°C (推定表面温度) とすべきかである か, スギ, マツの場合はいずれにしても直線に乗る部分は変わらないが, ブナは後者の場合, 加熱の終期 に直線からはずれる。

3.3.2 任意条件と基準条件における材内温度

任意条件と基準条件との関係式は水溶液で加熱した場合に用いた式と同じ次式を用いた。この式は熱拡 散率が等しければ成り立つ^{33,677}。

$$\frac{t_1 - t_m}{t_1 - t_0} = \frac{t_1' - t_{m'}}{t_1' - t_0'} \quad \dots \qquad (3.3.3)$$

本実験の基準条件は $t_0=15$ °C, $t_1=110$ °C に定め,初期木材温度 t_0' が,実験により種々異なるので, 測定された木材の中心温度 t_m を次式を用いて基準条件の木材の中心温度 t_m に換算して実験結果を比較 した。

$$t_m = 110 - \frac{t_1' - t_{m'}}{t_1' - t_0'} \times 95$$
 (3.3.4)

3.3.3 丸太の直径と加熱時間

熱伝導方程式において、相似条件を満足させるための丸太の条件式は次式に示される³¹⁷¹。

$$\frac{\theta_1}{\theta_2} = \frac{a_1^2 \alpha_2}{a_2^2 \alpha_1} \qquad (3.3.5)$$

α₁: 直径 a₁ なる丸太の熱拡散率, α₂: 直径 a₂ なる丸太の熱拡散率

(3.3.5) 式において, 同じ樹種の丸太では a1 と a2 が等しいと考えてさしつかえないから, 次式のよ

Table 1. 2つの丸太の加熱時間の実測値と $\theta_2 = \frac{a_2^3}{a_2^3} \theta_1$ による計算値

Relation between calculated value by $\theta_2 = \frac{a_2^2}{a_1^2} \theta_1$ and

measured value of heating period in two timbers

スギ SUGI							
丸太 Temperatur	の中心温 re at cen	度 °C ter of timber	59	70	86	93	98
直径 a ₁ =13cm Diameter	θ_1	実測值 hrs. Meas. value	1.0	1.4	2.0	3.0	4.0
直径 a₂=17cm		計算值 hrs. Calc. value	1.7	2.4	3.4	5.1	6.8
Diameter	σ ₂ {	実測值 hrs. Meas. value	1.8	2.5	3.6	5.0	6.5

アカマツ AKAMATSU

丸太 Temperatur	の中心温 e at cent	专 °C er of timber	64	81	92
直径 $a_1 = 11cm$ Diameter	θ1	実測值 hrs. Meas.value	1.0	1.5	2.0
直径 $a_2 = 16cm$	Ha J	計算值 hrs. Calc. value	2.1	3.2	4.2
Diameter		実測值 hrs. Meas. value	2.3	3.3	4.2

うになる。

$$\frac{\theta_1}{\theta_2} = \frac{a_1^2}{a_2^2} \quad \dots \quad (3.3.6)$$

この関係を利用して、同樹種の異なる2種類の直径の丸太の中心温度が、同一温度に達するに必要な加 熱時間を、一方の丸太の実測値から、他の径の丸太の値を計算して、実測値と比較してみたが、Table 1 のように、スギ、アカマツともにだいたい一致しており、この関係式が成り立つことを示している。

3.3.4 材内温度の位置補正係数

丸太の中心以外の任意点の温度 t を求めるために、位置の補正係数を K で代表させると、次式が成り 立つ²⁰⁷⁷。

$$\frac{t_1 - t}{t_1 - t_0} = \frac{t_1 - t_{m}}{t_1 - t_0} K \quad \quad (3.3.7)$$

(3.3.7) 式を変形して K を求めると,

(3.3.8) 式に加熱温度 $t \ge 110$ °C とし、アカマッ、スギ、ブナの材の中心温度 t_m の 50~90°C の範 田と半径の半分の深さの点の材内温度 t の 70~95°C の範囲の各加熱時間ごとの実測値を代入して、 表 面から半径の半分の深さの位置の補正係数を求めると、次のとおりである。

		最低 Min.	平均 Aver.	最高 Max.
アカ	マツ	0.589	~0.677	~0.761
ス	ギ	0.667	~0.697	~0.761
ブ	ナ	0.611	~0.622	~0.629

どの場合でも,材内温度が液温に近づくと,補正係数の値は大きくなるが,各樹種とも大約の値は 0.6 ~0.7 の範囲にあるようである³⁾。

3.3.5 熱拡散率

直径 10 cm で,熱拡散率の値が 6×10⁻⁴ m²/hr の丸太の中心温度が基準の加熱条件において, ある一 定温度に達するに必要な加熱時間(大沼加茂也の計算による値²⁰)と本実験に使用した丸太の中心温度が, 同一条件で同一温度に達するに必要な加熱時間の実測値のうち, 60~90°C の間の値を(3.3.5)式に代入 して, スギ, アカマツ, ブナの熱拡散率の値を計算してみると次のとおりである。

 $7 \pi = 9 5.4 \sim 5.6 \times 10^{-4} m^2/hr$

- ス ギ 5.4~5.7× //
- ブ ナ 4.3~4.8× //

基準の加熱条件は熱水で行なつたとして計算しているが,本実験ではクレオソート油で加熱しており, 実物大の欠点の多い丸太を使つているから,これらの計算された値はあまり正確ではないが,だいたいの 範囲を示すものとして参考に示した。

3.4 材内圧力変化

3.4.1 丸太内の温度変化による圧力変化

材内の温度変化による材内圧力変化の実験結果を樹種別にみると次のようになる。

アカマツの場合は、Fig.2 に示すように、油温 110°C で加熱すると、材の中心温度が約60°Cで、すで

- 76 -

にその付近の圧力は大気圧より 30~50 mm 高くなり,材内温度がそれ以上上昇しても,圧力の方はほとんど変化ないか,わずかに上昇してゆくにすぎない。材の中心温度が 100°C に達してから油温 50°C で 急に冷却すると,約1時間後に材の中心温度はまだ 10°C ぐらいしか下がらないのに,同部分の圧力は急 激に低下して大気圧より低い圧に転じ,ついに大気圧より約 200 mm 低い圧まで低下する。その後,材内 温度が低下すると,逆に材内圧力は少しずつ上昇しはじめる。

スギの場合は、油温 110°C で加熱すると、Fig. 3 に示すように、材内温度の上昇と材内圧力の関係は フカマツの場合と同じように温度上昇に比べて圧力の上昇は非常に早く、加熱後1時間で、材の中心温度 は小径木で 60°C、大径木で 40°C にすぎないのに、 その部分の圧力はすでに最大に近く、 大気圧より 100~200 mm 高い圧力に達しており、加熱をつづけて材の温度がそれ以上にかなり上昇しても、 圧力は あまり変化ないか、逆にしだいに低下してゆく場合が多い。ところが、表面から半径の 1/2 の深さの部分 の圧力をみると、最大に達するのはやはりだいたい 1時間であるが、その大きさは非常に小さく、大気圧 より 10~20 mm 高くなるにすぎない。その丸太を 50°C の液に急に冷却すると、材の中心温度の低下に 比べて、その部分の圧力の低下は非常に激しく、冷却 1時間で温度は 15~20°C しか低下しないのに、圧 力は大気圧より低い圧に転じ、しだいに大気圧より 200~300 mm 低い圧力に低下してしまう。さらに温 度が下がればますます圧力は低下して、最低、大気圧より 400 mm 低い圧力まで低下して、長時間その圧 力を保持する。この点アカマツとことなる。しかし、表面から半分の深さの部分の圧力はアカマツの場合 と同じような変化をする。

ところが、 材の中心温度を 80°C までしか上昇させないで冷却すると、 その部分の圧力は大気圧より 100 mm 低い圧力までしか低下しない。

ブナ偽心材の場合は、Fig.4 に示すように、加熱時において、材の中心温度が相当高くなつても、材内 圧力は大気圧より 30 mm 高い圧力までしか上昇せず、冷却時においても、圧力の降下は少なく、大気圧 との差がほとんど0になる程度までしか変化しない場合が多い。

以上の現象は次にしるす小試験片を用いて行なつた実験でさらに検討を加えてみた。

3.4.2 小試験片における材内圧力変化

cold-bain method					
樹 種 ¹⁾ Species	試料数 Number of test piece	空気の通導性 ²⁰ Air permeability (Under vacuum of 710 mm) Min.~av.~max.	材内 Pressure 温浴時の極大値 Max. value in hot bath Min.~av.~max.	圧力 in timber ³⁰ 冷浴時の極大値 Max. value in cold bath Min.~av.~max.	
AKAMATSU (Pinus densiflora)	20	$\begin{array}{ccc} mm & mm & mm \\ -455 \sim -560 \sim -643 \end{array}$	$\begin{array}{cccc} mm & mm & mm \\ + & 37 \sim + & 64 \sim + & 79 \end{array}$	$\begin{array}{cccc} mm & mm & mm \\ - 23 \sim - 55 \sim - 83 \end{array}$	
SUGI (Cryptomeria japonica)	10	- 28~- 48~- 82	+ 67~+145~+170	- 19~- 42~- 63	
BUNA (Fagus crenata)	20	- 16~- 60~-124	+ 57~+ 77~+136	- 11~- 21~- 27	
BUNA-heart (Fagus crenata)	10	0~- 3~- 12	+ $9 \sim + 34 \sim + 54$	$-2 \sim -4 \sim -8$	
KARAMATSU (Larix Kaempferi)	20	-560~-660~-690	~+ 63~	~ − 49 ~	

Table 2. 髄線方向の空気の通導性と温冷浴法における材内圧力 Air permeability on radial direction and pressure in timber treated by hot and

1) BUNA-heart 以外はすべて辺材 Species except BUNA-heart are sapwood.

2) 真空度 710 mm 下における大気圧と材内圧力の差 Difference between atmospheric pressure and pressure in timber after 1 hour under vacuum of 710 mm.

3) 大気圧との差として示す Difference between atmospheric pressure and pressure in timber.

- 77 -

(1) 樹種別の通導性と材内圧力変化

Table 2 においては各試験片の 2 の項でしるしたような髄線方向の通導性と、温冷浴時の圧力変化のうちの大気圧との差の極大値の絶対値としての最大、平均、最小値を示す。

この実験結果によれば、空気の通導性は外界が -710 mm の減圧下において、1時間後の材内圧力はア カマツ、カラマツの辺材が最も大きく減圧となつて通導がよく、-450~-690 mm の範囲までになり、 スギ、プナの辺材がこれについで、約 -100 mm 付近までになり、プナ偽心材は通導が悪くてほとんど減 圧にならない。

これらの試験片の温浴時の材内圧力はスギ辺材が最も大となり、 大気圧より最大は 170 mm も高くな り、ブナ辺材がこれにつぎ、アカマツ、カラマツの辺材はさらに小さくなつて、大気圧より約 60 mm 高 くなるにすぎない。とくにブナ偽心材は最も小さくなつて、約 30 mm 高くなるにすぎない。これに対し て冷浴時における材内圧力はアカマツ、カラマツの辺材が大気圧よりも約 50 mm 低い圧力まで低下する のに対して、スギ辺材は約 40 mm、ブナ辺材は約 20 mm で、 ブナ偽心材は約 5 mm と空気の通導性と



Fig.8 急冷法による材内圧力変化の例 Example of pressure change in timber by rapid cooling 加熱温度 Heating temp.: 110°C 冷却温度 Cooling temp.: 50°C 関連のある圧力変化を示した。

これらの材内圧力の測定値の,時間的な変化の形の 樹種別の代表的な例を示すと、Fig.8 となる。

この試験片は 110°C のクレオソート油で加熱した 時の材の中心温度は,約 15 分でほとんど 100°C に 達し,50°C で急冷したときは 20~30 分で液温に近 くなる。

Fig.8 をみると,加熱後約 15 分で各樹種とも材内 圧力は最大に達し,その後加熱をつづけた場合,ほと んど材内圧力が変化しないものは,ブナ心辺材とカラ マツ辺材であり,多少低下してくるのはスギ辺材,最 も低下するのはアカマツ辺材である。

これらの試験片を冷却すると,だいたい 15 分以内 に材内圧力は各樹種とも減圧に転じ,最も大きな減圧 を生じるのはアカマツ辺材であるが,冷却時間が経過 してくると,しだいにまた圧力が上昇してくる。他の 樹種は最初急激に低下するが,その後はゆるやかに低 下しつづけて,アカマツのように圧力が再上昇するよ

うなことはない。

(2) 温浴時間と材内圧力変化

アカマツの試験片を 110°C のクレオソート油で加熱し, 温浴時間を 15 分, 30 分, 60 分の3 種類に 分け, その後, ただちに 50°C のクレオソート油に移して急冷した場合の材内圧力変化を示すと Fig. 9 の とおりである。

これらの結果をみると,温浴 15 分でだいたい材内は最大の圧力に達し,その後加熱をつづけるとしだ いに材内圧力は低下しはじめる。これらの試験片を急冷すると,ただちに材内圧力は急激に低下をはじめ

- 78 -

て大気圧より低くなり、冷却開始後 15 分で、各試験片 ともだいたい減圧の最大の値に達し、その低下の大きさ は加熱時間が長いほど大きくなる。その後冷却をつづけ るとしだいにその減圧は減少をはじめる。

また加熱温度を 90°C にした場合, 温浴時間を 30 分 にしても, 材内の圧力は 110°C で15 分加熱した材より 低く, 急冷後の減圧の大きさも 110°C で 15 分間加熱し た場合より小さい。

3.4.3 材内圧力変化に対する考察

(1) 測定圧力と真の材内圧力

本実験において測定した圧力は相対的な値で,絶対値 はあまり意味がないと2の項でしるしたが,これは圧力 測定のためのマノメータ内と木材までのパイプ内の空気 の存在のため,材内圧力の真の値がマノメータに表われ ないからである。しかし,測定圧力と真の材内圧力との 関係を考えてみる。



樹種 Species: AKAMATSU, 寸法 Size: 4×4×4cm, 冷却温度 Cooling temp.: 50°C Fig.9. 温浴時間と材内圧力変化 Period of hot bath and pressure change in timber

木材内に埋めこんだパイプとマノメータ内の空間の合 計の容積を a とし、マノメータに影響を与える木材内の

空間の容積をvとする。a は圧力変化によつて水銀が上下するため,多少容積が変化するが,その大きさ はaの大きさに比べてあまり大きくないものとして,a,vとも圧力,温度変化による容積変化を無視して 一定とみなして,マノメータと木材内とが連結される前の両者の空間の気体の圧力をそれぞれ p_a , p_t とす る。 p_a は大気圧に等しく, p_t は木材内の真の圧力に相当する。 両者をつないでマノメータにより測定し た圧力を p_t' とすれば,次のような関係が成り立つ。

ស: パイプとマノメータ内の気体が 𝑥+𝔊 の容積内に広がつたときの分圧。

*p*₂: 木材内の気体が *a*+*v* の容積内に広がつたときの分圧。

 $p_n \ge p_1 \ge on間には次の関係がある。$

$$p_{a}a = p_{1}(a+v)$$

$$p_{1} = \frac{p_{a}a}{a+v} \qquad (3.4.2)$$

 p_2 と p_t とのに間は次の関係がある。

$$p_t v = p_2(a+v)$$

$$p_2 = \frac{p_t v}{a+v} \qquad (3.4.3)$$

ゆえに (3.4.2) 式と (3.4.3) 式を (3.4.1) 式に代入すると,

— 79 —

林業試験場研究報告 第123号

(3.4.4) 式は測定圧力と真の材内圧力との関係を示す。

(3.4.4) 式において,

i) *v*≫*a* の場合

 $\frac{a}{d} = 0 \ge t_x b$, $p_t' = p_t \ge t_x \delta_o$

このような場合は, マノメータに影響をおよぼす木材内の空間が, パイプの埋めこみ位置を中心として, かなり広い範囲にわたつていることで, このことは木材内の各細胞間の通導が非常によいことを示し, 測定圧力は真の材内圧力に等しい。

ii) v≪a の場合

 $\frac{v}{a} = 0$ となり、 $p_t' = p_a$ となる。

この場合は、マノメータに影響をおよぼす木材内の空間が非常に小さいということで、このことは木材 内の各細胞間の通導が非常に悪いことを示し、測定圧力は大気圧と大差ない。ただ、この場合の真の材内 圧力は各細胞内において、気体の定容変化における圧力と絶対温度*T*との関係に示される材内圧力を示す であろう。それゆえ、加熱時においてはかなり高い圧力を示すであろう。

(2) 気体の状態方程式よりみた材内圧力変化

理想気体の状態方程式,いわゆるボイル・シャールの法則によれば,圧力 P, P',体積 V, V',絶対温 度 T, T' の2つのことなる状態の気体の間には次の関係がある。

$$\frac{PV}{T} = \frac{P'V'}{T'} = R \qquad (3.4.5)$$

R: 気体常数

実在気体の場合には近似的にこの式に従うので、ここではこの式を用いて材内圧力変化を考察する。 材内の中心部の温度が *t*, 圧力が *p* である丸太がクレオソート油中にあつて、 その材の内外の圧力が 平衡状態にあるときは、最も単純化して考えれば、次のような関係にある。

 $P_a + P_h = p_t$

 P_a : 大気圧, P_h : 液面から丸太の中心までの落差による液圧

丸太の位置を液面からあまりはなさなければ、 P_{h} はほとんど無視しうるから、

$P_a \doteq p_t$

材内の圧力はだいたい空気と水蒸気の分圧 p_n, p_w からなつていると考えれば、 P_t は次の式で示される。 $p_t = p_n + p_w$ (3.4.6)

 $t=15^{\circ}$ C のときの材内圧力 p_{15} が、大気圧(760 mm)と平衡状態にあり、 材内の空気は水蒸気で飽和 され、しかも液体の水が共存しているとすれば、

$p_{15} = 760 \ mm$

15°C のときの水の飽和蒸気圧 $p_{15w} = 12.8 \text{ mm}$, ゆえに (3.4.6) 式より, このときの空気の分圧 p_{15n} は 次のとおりである。

 $p_{15a}=p_{15}-p_{15w}=760-12.8=747.2 mm$

この状態の丸太を加熱したときの材内圧力を計算してみる。

加熱の際に、材内の空間の容積変化、気体の漏出、液体の浸入はないものとし、材内の空気は水蒸気で

飽和され,水が共存しており,しかも液体の膨脹は無視するとすれば,15°Cから100°Cまで丸太を加熱 したときの材内圧力 *p*100 は次のようになる。

 $p_{100} = p_{100a} + p_{100w}$ (3.4.6')

空気が 15°C から 100°C まで加熱されたときの分圧は (3.4.5) 式から計算すると,

$$p_{100n} = p_{15n} \times \frac{T_{110}}{T_{15}} = 747.2 \times \frac{373}{288} = 967 \ mm$$

ゆえにこの2つの値を(3.4.6')式に代入すれば,

$$p_{100} = 967 + 760 = 1,727 mm$$

となる。

15°C から 90°C まで加熱したときの材内圧力 poo は次のようになる。

$$p_{90w} = 526 \ mm$$

$$p_{900} = p_{15} \times \frac{T_{90}}{T_{15}} = 941 \ mm$$

ゆえに,

$$p_{90} = p_{90a} + p_{90w} = 1,467 \ mm \qquad (3.4.6'')$$

これらの加熱後の材内圧力は木材が完全な密閉容器と考えた場合に示す圧力であるが、実際には膨脹した気体の多くが材外へ気泡となつて逃げてゆく。

いま膨脹した量の気体がすべて材外に排出されたと仮定すれば,材内圧力は大気圧と等しくなる。その ときの空気の分圧は次のとおりである。

15°→100°C の場合

p100=760 mm p100w=760 mm であるから、p100n=0 となり、空気は材中に存在しなくなる。

15°→90°C の場合

p=0=760 mm p=0w=526 mm であるから、p=0a=234 mm となる。

これらの丸太を 50°C まで冷却し、液が材内に浸透してこないとすると材内圧力 p_{50} は、100°C→50°C の場合

材中に空気はなく,水蒸気のみであるから,冷却すれば水が凝縮してきて 50°C の水の飽和蒸気圧ま で下がる。すなわち,

$$p_{50} = p_{50w} = 93 = (760 - 667) mm$$

で、大気圧より 667 mm 低くなる。

90°C→50°C の場合

$$p_{50} = p_{50n} + p_{50w} = p_{90n} \times \frac{T_{50}}{T_{90}} + 93 = 301 = (760 - 459) mm$$

で、大気圧より 459 mm 低くなる。

これらの計算の結果は、材の組織が気体の通導に対して、全く抵抗をもつていない場合温冷浴法処理に おいて、100°C または 90°C から 50°C まで冷却したときに達しうる 材内圧力の 最大の減圧を示してい る。ただ、実際の場合には、温浴時に材内圧力は大気圧まで下がらないし、冷浴時にクレオソート油が浸 透してくるから、このような減圧はあらわれないであろう。

- 81 -

(3) 木材の通導性と材内圧力変化

実験結果によると、丸太の場合でも小試験片の場合でも、その絶対値は異なつても、樹種別に材内圧力 変化に一定の傾向がある。そこで木材の通導性から樹種別に材内圧力変化を考察してみる。

アカマッとカラマツの辺材は髄線方向の通導性の実験結果から,非常に通導がよいことが明らかにされ たので、材が加熱されて材内の気体が膨脹し、材内の圧力 p_i が高くなろうとすると、材の組織が高い圧 力を保持することができずに、材外に気体を排出して、 p_i はあまり高くならない。たとえば、材の中心温 度が 15°C から 100°C まで高くなつたとき、材内の気体が全然材外に排出されなければ (3.4.6') 式に 示すように大気圧より 967 mm も高くなるはずであるが、アカマツの丸太、小試験片ともにマノメータに よる測定値は大気圧より 30~50 mm 高くなるにすぎない。また、アカマツ丸太では (3.4.4) 式の $v \gg a$ の場合に相当するとすれば、真の材内圧力はこの測定値よりいくぶん高い値であるが、だいたい等しいと 仮定すれば、この材を 50°C まで冷却した場合に、もし液の浸入を考えなければ材内に生じる減圧は次の とおりである。

 $p_{100} = p_{100n} + p_{100w} = 810 mm$ (大気圧より 50 mm 高い圧力)

しかるに $p_{100w} = 760 mm$ であるから $p_{100u} = 50 mm$ となる。この丸太を 50° C まで冷却すると、

$$p_{50a} = p_{100a} \times \frac{T_{50}}{T_{100}} = 50 \times \frac{323}{373} = 43 \ mm$$

 $p_{50w} = 93 \, mm$

ゆえに,

$$p_{50} = p_{50n} + p_{50n} = 136 = (760 - 624) mm$$

すなわち,水蒸気の凝縮により大気圧より 624 mm 低い減圧まで達することができる。

しかるに測定値が大気圧より 200 mm 低い圧力までしか達せず,しかも時間の経過とともにしだいに大 気圧にもどつてくるのは材内圧力が大気圧以下に転じると,しだいにクレオソート油が材内に浸透して, 減圧の程度を弱めるのであろう。しかも,減圧の速度が弱まると,液がしだいに深くまで浸透して,一度 下がつた材内圧力をふたたび大気圧に近づけるものと考えられる。これは処理丸太を切断してみると,圧 力測定部付近まで完全にクレオソート油が浸透していることからも推定される。

スギ, ブナの辺材の髄線方向の通導性は,実験結果ではあまり良くはないが,繊維方向の通導性は比較 的良いと考えられているから,材が加熱されると,材内の膨脹した気体は繊維方向を通つて材外にも,マ ノメータにも多量の気体が移動すると考えられる。しかし,髄線方向の通導が悪いため,材内圧力はアカ マツより高い圧力を保持する。スギ丸太の測定値は 15°C から 100°C まで材の中心を加熱した場合,大 気圧より 100~200 mm 高くなり,小試験片ではスギは 160 mm,ブナは 80 mm 高くなり,他の樹種よ り高い。

スギ丸太の場合も(3.4.4)式の *v*≫*a* の場合に相当すると考えれば, 真の材内圧力はこの測定値より 少し高い程度で,比較的近い値であると考えられるから,丸太の測定値を用いて,50°C まで材を冷却し た場合に,液の浸入がないとして,材内に生じる減圧を計算すると次のとおりである。

 $p_{100}=p_{100n}+p_{100w}=760+200=980(大気圧より 200 mm 高い圧力)$ $しかるに <math>p_{100w}=760$ mm であるから, $p_{100n}=200$ mm となる。 50° C まで丸太を冷却すると,

- 82 -

木材防腐処理法に関する研究 (2) (雨宮・井上)

 $p_{50w} = 93 mm$

ゆえに,

 $p_{50} = p_{50n} + p_{50w} = 266 = (760 - 494) mm$

すなわち,液の浸入が完全になければ、大気圧より 494 mm 低い減圧まで達するはずである。 測定値 においても、材の中心の最低減圧が大気圧より 400 mm 以上も低くなつている。これはスギ丸太の中心部 では冷却の際、かなりの減圧になつても、クレオソート油の浸透が非常に因難なため、アカマツのように 液の浸透による圧力の変化が生じないためであろう。ただこれに対して、同じスギ丸太でも、表面から半 径の 1/2 の深さの圧力変化はアカマツの圧力変化の形と似ていて、液の浸透の影響が現われている。

ブナ偽心材の髄線方向の通導性はほとんどないか,わずかにある程度であり,しかも繊維方向の通導性 も非常に悪いと考えられているから,材が加熱されても材内の各部にある気体はお互いに連絡することな く,小さな独立した密閉容器に封じこめられているような変化をしていると考えられる。それゆえに,材 外に気体を排出する部分は丸太の表面部分だけであり,マノメータに影響をあたえる部分は,材内に埋め こんだパイプの付近の非常に狭い範囲の部分にあろうと考えられる。それゆえに,ブナ偽心材の丸太では (3.4.4) 式の *a*≫*v* に相当する場合と考えると,測定値が大気圧よりあまり変化しないのも当然である。 しかし,その材内の各部分が圧力・温度の変化に対して,容積が変化しない理想的な密閉容器のような状 態であるとすれば,この丸太を 100°C まで加熱した場合,材の中心部付近の真の圧力は当然 (3.4.6′) 式により計算された値に近いであろう。もしこの状態の丸太を冷却しても,加熱前の圧力すなわち大気圧 にもどるだけで,減圧にはならないであろう。それゆえにクレオソート油もほとんど浸透しないのである。

以上のように考察してくると、樹種別に材内圧力変化が一定の傾向を示すのは、各樹種の各方向の通導 性が材内圧力変化に大きな影響をあたえているからであることがわかる。

(4) 温浴時間と材内圧力変化

実験結果によれば温浴時間が長い方が, 冷却の際に材内に発生する減圧が大きくなることがわかつた が,このことは次のようにして説明される。

(3.4.6) 式において,材内圧力 p_t は材の通導性と材内の温度によつて定まる値であるが,水の飽和蒸 気圧 p_w は温度のみによつて定まる値であるから,空気の分圧 p_u は当然材の通導性と材内の温度によつ て支配される。

いま材が一定の温度に達した後、その温度を保持するように加熱しつづけると、はじめ材内の気体中で 水蒸気が不飽和であつたものが、しだいに飽和に近づき、材内圧力もそのため高くなつてきて、材の通導 性とその温度に応じて最高圧力に達するが、圧力の増加が停止すると、気体の材外への漏出のみが、材の 組織を通して、継続して行なわれ、材内圧力をしだいに低下させるようになる。それゆえに温浴時間が長 ければ、それだけ材の組織を通じて材外に排出される気体が多くなつて、一度上昇した材内圧力は低下し てくるのである。 この場合、 材内において水蒸気の補給が十分に行なわれるならば、(3.4.6) 式におい て、 p_w が変化せずに p_t が小さくなるのであるから、 p_a も小さくなる。 このことは温浴時間が長くなれ ば材内の気体中の空気の分圧が小さくなることである。

それゆえに,この状態の材を冷却すれば,温浴時間が短くて,*pa*が大きい場合に比べて,材内に生じる減圧が大きくなるのである。

— 83 —

以上のことから温浴時間は材内温度が上昇しなくなつても、長くした方が短いものに比べて冷浴に移し たときに材内に発生する減圧を大ならしめ、防腐剤をより多く吸収するであろう。

(5) 材内中心温度と材内圧力変化

加熱温度にかかわらず,材内中心温度 tm を 100°C まで上昇させた場合と,100°C まで達しない場合 とでは、それらの材を冷却した場合に材内に発生する減圧にいちじるしい差を生じる。

いま,材の中心温度が 80°C と 90°C まで加熱された丸太と,100°C まで加熱されたものとが, 冷却 する前の材内圧力が等しい圧力を保持するとしたならば,そのおのおのの気体中の空気の分圧は次のよう になる。

tm=100°C のとき

 $p_{100a} = p_{100} - p_{100w} = p_{100} - 760$

 $p_{100} = p_{90} = p_{80}$ とすると,

 $t_m = 90^{\circ}$ C $p_{90n} = p_{90} - p_{90w} = p_{100} - 526$ $t_m = 80^{\circ}$ C $p_{80n} = p_{80} - p_{80w} = p_{100} - 355$

 $t_m = 80^{\circ}$ C と 90° C のときの丸太の空気の分圧と $t_m = 100^{\circ}$ C のときの空気の分圧の差をみると,

 $p_{90a} - p_{100a} = 760 - 526 = 234 mm$

 $p_{80a} - p_{100a} = 760 - 355 = 405 \ mm$

となり、これだけ前者の丸太の空気の分圧が高くなる。このような丸太を 50°C まで冷却した場合に、材 内に生じる圧力を、100°C まで加熱された丸太が 50°C まで冷却されたときに生じる圧力と比べると次の ようになる。

100°C→50°C の場合

$$p_{100\to 50} = p_{100a} \times \frac{323}{373} + p_{50w}$$

90°C→50°C の場合

 $p_{90\to 50} = p_{900} \times \frac{323}{363} + p_{50w}$

しかるに, *p*_{90n}=*p*_{100n}+234 であるから,

$$p_{90\to50} = (p_{100n} + 234) \times \frac{323}{363} + p_{50n}$$

$$p_{90\to50} - p_{100\to50} = 0.024 p_{100n} + 208$$

80°C→50°C の場合はさらにその差は大きくなる。

けつきよく,材内の温度を 100°C まで上げた場合と,それ以下の温度,たとえ 90°C,80°C の場合と を比べても,それぞれの水蒸気の飽和蒸気圧の差が非常に大きいため,冷却した場合に材内に生じる減圧 も,実験結果に現われたように,後者の方が小さくなり,したがつて,防腐剤を吸収する力も小さくなる。

それゆえに温冷浴法処理を十分に効果的に行なうには、クレオソート油の加熱温度を 100°C より高く して、材内温度を 100°C まで上昇させた方がよい。

3.5 放冷と急冷

温冷浴法において,冷却の方法に2種類あるが,そのひとつは温浴後,材を急に冷たい液に移して冷却 する急冷法と,他のひとつは材を加熱した液中に入れたまま長時間かけて,自然に冷却する放冷法とであ る。 Т

水溶液で温冷浴法を行なつた場合,急冷より放冷の方が吸収量が大となつたが,この原因として,材中 に生じた吸引力を前者は十分に利用せず,後者は十分に利用するからであるとした。

クレオソート油で行なつた場合に,材内温度変化と同時に圧力変化を測定したが,その結果によれば, 上記の原因もたしかに放冷の方が吸収量がよくなる1因子かもしれないが,もうひとつ興味あることが明 らかとなつた。

もし,上記のような原因のみであれば急冷でも,Table 3 の 2-2, 7-1 のように冷却後の時間を放冷の 時間ほど長くすれば,同じような吸収量を示してよいはずであるが,実験の結果では Table 3 の 2-1, 2-2, 3-1 や 7-1, 7-2, 8-1 に示すようにどうしても,放冷の方が必ず吸収量が多くなり, この点 が説明できない。

ところが、110°C で加熱後、放冷による Fig. 5 のスギ丸太や、 Fig. 10 のアカマツの小試験片の圧力の変化と液温の変化をみると、液が冷却をはじめて、100°C 以下に下がりだすと急激に材内の圧力は低下

		Dia of	Specific	Treating period		Absor	Absorption		Cooling
Species	Species No.		top end gravity $cm kg/m^3$		Cold bath hrs.	kg kg/m³		of absorption %	method
SUGI	$\begin{array}{c} 1 - 1 \\ 1 - 2 \\ 2 - 1 \\ 2 - 2 \\ 3 - 1 \\ 3 - 2 \\ 4 - 1 \\ 4 - 2 \\ 6 - 1 \\ 6 - 2 \\ 7 - 1 \\ 7 - 2 \\ 8 - 1 \\ 8 - 2 \\ 9 - 1 \\ 9 - 2 \\ 10 - 1 \\ 10 - 2 \end{array}$	17 15 16 16 15 17 16 16 18 17 18 17 18 17 18 17 16 18 17	449 481 405 376 354 365 294 301 414 408 317 335 438 495 356 364 348 307	7 7 6 6 6 6 6 3 3 3 3 3 3 1 1 1 1	17 17 17 17 17 17 17 17 21 21 21 21 21 21 21 20 20 20 22 22 22	$5.1 \\ 4.6 \\ 8.4 \\ 5.1 \\ 4.9 \\ 12.9 \\ 8.1 \\ 6.4 \\ 11.1 \\ 8.9 \\ 3.6 \\ 4.8 \\ 3.4 \\ 7.7 \\ 4.2 \\ 7.8 \\ 3.8 \\ 4.6 \\ $	93.8 127.2 173.5 113.0 96.4 301.0 139.0 234.0 139.0 234.0 144.5 65.3 78.0 62.5 126.0 83.0 172.0 73.0 94.0	$\begin{array}{c} 20.9\\ 26.4\\ 42.8\\ 30.2\\ 27.2\\ 82.2\\ 47.4\\ 43.6\\ 56.6\\ 35.4\\ 20.6\\ 23.3\\ 14.3\\ 25.5\\ 23.3\\ 14.3\\ 25.5\\ 23.3\\ 47.3\\ 21.1\\ 20.7\\ \end{array}$	R R G R R G G R G R G R G R G R G R G R
AKAMATSU {	48 28 32 55 192 149 150 101 195 194 <i>"</i> 197 <i>"</i> 199 <i>"</i>	11 10 11 10 16 15 14 16 16 17 16 17 16 17 16 17 17 16 17 17 16 17 17 16 17 17 10 16 17 17 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10	414 502 531 665 % 585 483 486 490 429 448 515 % 444 % 423 % %	5 5 2 1 % 5 8 7 7 5.5 5.5 2 % 1 %	18 5 2.5 1 20 5 8 7 16 5 17 2 17 1 2 17 1 2 2 22	11.8 7.3 12.2 3.8 7.1 12.6 25.4 22.1 24.1 31.6 27.5 21.6 22.2 15.9 17.6 13.2 14.5 18.4	474.6 352.1 473.0 168.4 314.1 755.0 533.0 529.0 663.6 664.1 401.8 412.9 330.0 365.0 314.0 344.0 437.0	114.5 70.1 89.0 47.5 88.7 130.0 108.6 109.0 134.0 155.0 136.8 77.9 79.7 74.4 82.2 74.2 81.5 103.3	G R R R R R R R R R R R R R R R R R R R

Table 3. クレオソート油を用いた温冷浴法による処理結果 Results of timber treated by hot and cold-bath method with creosote oil

1) Hot bath 110°C, Cold bath 50°C. 2) G: Gradual cooling, R: Rapid cooling.

3) Length of timber 180cm. 4) Ratio of absorption = (absorption/one timber weight) $\times 100$

— 85 —



し、大気圧より低くなる。さらに液温が低下すれば、ま すます減圧の程度は大となる。このように減圧、いいか えれば材中の吸引力が比較的液の温度の高い時期にすで に生ずるということは、クレオソート油の場合は、とく に油の温度が高いと粘度が非常に低くなるので、材中に 非常に浸透しやすい状態のときに、吸引されるというこ とであり,このことが急冷より放冷の方が吸収量が多く なる原因のひとつと考えられる。

しかし、これはクレオソート油のように、温度による 粘度変化のはげしい場合にのみ、適用されることで、水 溶液のように温度による粘度変化の少ないものは、あま り問題にならないことかもしれない。

Pressure change in timber by gradual cooling

AKAMATSU Hot bath temperature 90°C No. 18.... 11

No. 14....温浴温度 小試験片を用いて行なつた Fig. 10 に示す結果をみる 110°C と、クレオソート油を用いてアカマツを処理する場合に は加熱温度が110°Cでないと、放冷後に急激に圧力が低下せず、液温が高い間に減圧が生じないことを示

している。これは前記の効果が生じないからできるだけ放冷では100°Cより高い温度で加熱した方が効果 的であることがわかる。

3.6 クレオソート油を用いての温冷浴法による丸太の処理結果

温冷浴法の処理条件には,温冷浴時の各クレオソート油の温度,温冷浴時間,冷却法などがあるが,その うち材内圧力変化より冷却法,温浴温度のことについてはすでにしるしたが、その他の条件については、 丸太を処理した結果から、明らかにされたことについてしるす。

使用した丸太は、スギ、アカマツの気筋材で長さは約 180 cm、直径は末口径で 16~18 cm のものと、 10~11 cm のものを用いた。その処理結果の一例を Table 3 に示す。

この結果から,スギ丸太では温浴時間6時間で,長時間冷浴時間を与えても,せいぜいクレオソート油 の吸収量は 200 kg/m³ どまりであることがわかり, 浸潤長は, 髄線方向では多くて 5 mm であり, 木口 方向では 400 mm である。ただ,だいたいの傾向として温浴時間が長い方が吸収量が多くなり,同一処理時 間ならば放冷の方が急冷より多くなつている。また,スギの No. 2-2 と 3-1,7-1 と 8-1 のように 各グループの前者が急冷法で温浴時間と等しい冷浴時間,後者が約20時間という長い冷浴時間の場合 に、いくぶん後者の方が吸収量が大になつているが、水溶液の処理の場合ほど顕著ではない。

アカマツの場合は、やはり温浴時間が長い方が吸収量は多くなるが、短時間でもかなり吸収量は大とな る。温浴時間は1時間でも,300 kg/m³の吸収量を示し,最も大なるものは 600 kg/m³の吸収量を示して いる。 これゆえに浸潤長は 中央部でも 辺材に完全に 浸透 しており、 辺材幅の大なるものでは浸潤長が 70mm に達するものもあつた。

このようにアカマツは浸透が良好なので,急冷,放冷の差が顕著でないものもあるが,だいたいスギと 同じような傾向を示している。けつきよく、これらの結果から、スギはいかに処理時間を長くしても、こ の程度の吸収量が限度であると考えられ、アカマツの場合には、かなりの吸収量が期待できるであろう。

本実験では冷浴温度を 50°C に定めて、それ以外の温度では丸太の数が不足のためできなかつたので、

-- 86 ---

木材防腐処理法に関する研究 (2) (雨宮・井上)

はつきりしたことはいえないが、冷浴温度の決定には次のようなことが考えられる。JISA 9003 (1952)の 木材の開ソウ式防腐処理方法では 40°C 以下と定めているが、クレオソート油の温度と粘度の関係からみ ると、40°C から 50°C に油温が上がると急激に粘度の低下を示すので、これ以下の冷浴温度を採用するよ り、50°C 付近の方が木材中にクレオソート油が浸透しやすい状態にある。ただ、木材を冷却する効果は温 浴温度と差が大なる方が効果的であるが、50°C でも、本実験のように十分な吸引力を材中に生ずることか ら考えれば、多量の吸収量を望む場合にはあまり低温度で行なう必要はないのではないかと考えられる。

4. 摘 要

本報告はクレオソート油を用いて,開槽式温冷浴法により処理された木材の内部の温度変化と圧力変化 を測定した結果と,それらの結果から考察した温冷浴法の処理条件について報告する。

材内温度測定は銅―コンスタンタンの熱電対を用い,第1報と同様にして測定し,丸太の材内圧力測定 は,材内に外径約8mmの銅パイプの1方の口をさしこみ,そのまわりを合成樹脂で完全に封鎖し,他方 の口を材外に出して,これと水銀マノメータとを連結して,大気圧と材内圧力との差として測定した。

丸太はスギ, アカマツ, プナむき芯を用い, 寸法は長さ 180 cm で末口径 10~11 cm と 16~17 cm の 2 種類を用い, 丸太における温度, 圧力の測定点は長さの中点において, 半径の深さと半径の 1/2 の深さ の 2 点について行なつた。 実験装置は第 1 報と同じものを用いた。 空気の通導性測定のための小試験片 は, 4×4×4 cm の大きさで, 一方の板目面のみを残して他の面を合成樹脂で封鎖し, ガラス管の一部を 埋めこんだものを用いて, Fig. 1 に示すような方法で板目面の空気の通導性を測定し, 同じ試験片を用い て, 温冷浴法中における材内圧力を大気圧との差として測定した。材内圧力の測定値は実験方法に多少の 問題があるから, 相対的な値として, 圧力の変化に対して主として考察を加えた。

えられた実験結果は次のとおりである。

(1) 材内温度変化

処理時間と材内温度変化との関係は、アカマツ、スギ、ブナについてはそれぞれ Fig. 2, 3, 4 に示す。 温度変化については、第1報の水溶液の場合と同一の傾向を示した。

クレオソート油で加熱の場合,油温が 90℃ のときは材の中心温度は,しだいに 90℃ に近づくが,油 温が 110℃ の場合は,材の中心温度は 100℃ に近づき,それ以上にはなかなか上昇しない。

クレオソート油で加熱する方が,水溶液で加熱するより,温度上昇速度は少しおそくなつている。

冷却の場合の材内温度変化は、急冷でも、放冷でも水溶液の場合とだいたい同じ変化を示した。

(2) 材内温度分布

材内温度分布は材の長さの中点において表面から半径の深さの点と、半径の 1/2 の深さの点の温度を測 定することにより、髄線方向の温度分布のみを測定し、その結果を Fig. 6 に示す。110°C で加熱した場 合、2 つの測定点における処理時間ごとの温度を結んで、その延長と、表面の位置における縦軸との交点 をみると 100°C にだいたい集中している。これらのことから、 表面温度は 100°C を保持している時間 が相当長いのではないかと考えられる。

(3) 材内温度において成立する関係式とその係数の計算

i. 材内温度変化速度

Fig. 7 をみると加熱時間の初期と終期を除いて、加熱時間(θ)と、加熱温度(t_1)と材内温度(t_m)の

— 87 —

差の関係はだいたい直線で表わされるから、次の式が成り立つ。

 $\log(t_1 - t_m) = k\theta + C \qquad (1)$

(1) 式を θ で微分して、温度変化速度を求めると、(2) 式となる。 結局、材内温度変化速度は液温 (t_1) と材内温度(t_m) との差に比例する。

$$\frac{dt}{d\theta} = k(t_1 - t_m) \quad \quad (2)$$

ii. 丸太の直径と加熱時間との関係

$$\frac{\theta_1}{\theta_2} = \frac{a_1^2 \alpha_2}{a_2^2 \alpha_1} \quad \dots \qquad (3)$$

同一樹種で径のみ異なる場合は、本実験においても Table 1 のように、だいたい(4)式が成り立つ。 iii. 材内温度の位置補正係数

(5)式の K を位置の補正係数とし,実験結果から,表面から半径の半分の深さの K の値を樹種別に 求めると次のとおりである。

 最少
 平均
 最大

 アカマツ
 0.58~0.67~0.76

 ス
 ギ
 0.66~0.69~0.76

 ブ
 ナ
 0.61~0.62~0.63

iv. 熱拡散率

(3) 式を利用して、 材内中心温度 60~90°C に達するに必要な加熱時間から熱拡散率を求めると次の とおりである。

アカマツ 5.4~5.6×10⁻⁴ m^2/hr

 $x \neq 5.4 \sim 5.7 \times 10^{-4} m^2/hr$

ブ ナ $4.3\sim 4.8\times 10^{-4} m^2/hr$

(4) 材内圧力変化

i. 丸太の場合

アカマツ,スギ,プナ偽心材の丸太の急冷法の場合の圧力変化は,それぞれ Fig.2, 3,4 に示す。

これらの結果をみると、樹種別にそれぞれ異なつた圧力変化を示す。アカマッ,スギは冷却時に材内は かなりの減圧となるが、アカマッは液がしだいに浸入してきて減圧は小となり、スギは低下したままであ る。ブナ偽心材は加熱冷却時の圧力変化が少なく、減圧にほとんどならない。

ii. 小試験片の場合

樹種別に,板目面よりの空気の通導性と温冷浴法中の材内圧力の極大値の最大, 最少, 平均値を示す と, Table 2のとおりであり,空気の通導性と温冷浴時の材内圧力とは明らかに関係があるようである。 処理された試験片の材内圧力変化の一例は Fig.8 に示し,丸太の場合と絶対値はちがうが,だいたい類似 の変化を示している。

温浴時間と材内圧力変化との関係は Fig.9 に示すが、温浴時間が長い方が、冷浴時の減圧が大となる。

- 88 --

また加熱温度は、90°Cより110℃の方が冷浴時に材内に発生する減圧は大となる。

(5) 放冷と急冷

クレオソート油を用いて温冷裕法を行なう場合は, Table 3 に示すように 2-1, 2-2, 3-1, 7-1, 7-2, 8-1 のごとく急冷後, 放冷と同じくらい長時間浸漬しておいても, 放冷の方が少し吸収量が大と なる。これは, Fig.5 や Fig.10 に示すように, 液温がかなり高いとき, すなわち, クレオソート油の粘 度が低くて浸透しやすいときに, 材内の圧力が減圧に転じて, 吸引するからであろうと考えられる。とく に Fig.10 で示すように, 加熱温度が 110°C の方がこの傾向は顕著であるから, 放冷の場合は加熱温度 を100°C以上にした方が効果的であることがわかる。

(6) 温冷浴法による丸太の処理結果

Table 3 に処理結果を示す。この結果からみると,スギ,アカマツともに処理時間が長い方が吸収量は大 となるが,スギは 200 kg/m³ が限度であり,アカマツはよく乾燥していると 600 kg/m³ までも吸収する。 冷浴温度はクレオソート油の粘度のことを考えれば必ずしも 40°C 以下の低温がよいとはいえない。

汝 献

- 1) 雨宮昭二:木材防腐処理に関する研究(1),林試報,106,(1958) p. 179~200
- 2) 大沼加茂也:木材内部温度の計算法,林試報,111,(1959) p. 133~142
- 3)林業試験場編:木材工業ハンドブツク, (1958) p. 121, p. 989~991
- 4) MACLEAN, J. D.: Relation of wood density to rate temperature change in wood in different heating medium. A. W. P. A. Proc. 36 (1940) p. 220~248
- 5) MACLEAN, J. D.: Rate of temperature change in short length round timbers. Amer. Soc.
 Mech. Engin. Trans. 68, 1, (1946) p. 1~16
- 6) MACLEAN, J. D.: Temperatur obtained in timbers when the surface temperature is changed after various periods of heating. A. W. P. A. Proc. 42, (1946) p. 87~139
- 7) MACLEAN, J. D.: Preservative treatment of wood by pressure methods. U.S. Dep. Agri. Handbook 40, (1952) p. 53~58, p. 138~146

Research on Wood Preserving Treatment (2) Changes of temperature and pressure of wood treated by hot and cold-bath method with creosote oil and its treating conditions

Shôzi Amemiya and Mamoru Inoue

(Résumé)

In hot and cold-bath method, wood is treated according to the change of the pressure which takes place in wood when it is heated and cooled in creosote oil. Thus, in order to determine the treating conditions of this method, we measured changes of temperature and pressure of wood during heating and cooling periods with thermo couple and mercury manometer.

Woods used in this study were air-seasoned logs of AKAMATSU (Pinus densifiora), SUGI

— 89 —

(Cryptomeria japonica), and BUNA (Fagus crenata), and their sizes were about 180 cm in length, and $11 \sim 17 \text{ cm}$ in diameter.

The treating equipment used in this study and the measuring method of temperature of wood are the same as in Report (1).

The two measuring points of temperature and pressure of wood are the one at a depth equal to the radius (center of the timber) and the other at a depth of half the radius from the surface, at the middle of the test piece (90 cm from end). The pressure in wood was measured with mercury manometer that is connected with the copper pipe of 8 mm diameter which is put into wood. The pressure is shown as the difference between atmospheric pressure and pressure of wood.

The size of small test pieces used in this study were $4 \times 4 \times 4 cm$. One tangential surface of each test piece was not sealed; the other surfaces were sealed with synthetic resin and a glass pipe was put into each piece on the sealed tangential surface as shown in Fig. 1.

The air permeability on a tangential surface was measured by means of the method as shown in Fig. 1. The air permeability is shown as the difference between atmospheric pressure and pressure of wood after one hour under vacuum of about 710 mm (absolute pressure 50 mm).

After the air permeability had been measured, the test pieces were treated by the hot and cold-bath method, and the pressure change in each test piece while treating was measured with a mercury manometer.

The results obtained are summarized as follows:

1. Temperature change in log

Relations between temperature change and treating periods for AKAMATSU, SUGI and BUNA are shown in Fig. 2, 3, and 4, respectively. These relations showed the same tendency as obtained when logs were treated with water solution.

When timber was heated in creosote oil at 90° C, the temperature at center of wood gradually rose to 90° C after treating for some time, but when it was heated in creosote oil at 110° C, the temperature at center of wood gradually rose to 100° C but scarcely exceeded 100° C.

Comparing the creosote oil treatment with the water solution treatment, the result showed that the water solution heats wood faster than creosote oil, provided that the heating temperature and heating period are the same in each case.

2. Temperature distribution in log

Temperatures between surface and center at the middle of log after various heating periods are shown in Fig. 6. The dotted line is an extension of the straight line which connects the two points at a depth equal to the radius, and one-half the radius from surface, on each heating period as in Fig. 6. Most of the dotted lines cross the vertical axis, at a position on the surface where the temperature remains at 100° C.

If the curve indicating the temperature slope from the surface to center of the wood becomes straight after any heating period, it appears that the surface temperature of log may be maintained at 100° C for a long time.

3. Equations concluded for temperature of log and calculation of their coefficient

(1) Rate of temperature change of log: As shown in Fig. 7, equation (1) as follows is concluded, except for the initial and final heating periods, for the relation of heating periods (θ) and the difference between the temperature of heating medium (t_1) and the temperature

of (t).

M. - - . C.

1. <u>1.</u>90 - 1.

$$\log (t_1 - t) = k\theta + C \quad \dots \quad (1)$$

k, C: constant

If equation (1) is differentiated it becomes as follows:

$$\frac{dt}{d\theta} = k(t_1 - t) \quad \dots \quad (2)$$

Equation (2) shows that rate of the temperature change in round timber $\left(\frac{dt}{d\theta}\right)$ is proportionate to the difference between the temperature of heating medium and the temperature of wood.

(2) Relation of heating periods and diameters for logs: The relation reported by J.D. MacLean is shown as follows.

$$\alpha_1 = \alpha_2$$
 $\frac{\alpha_2}{\theta_2} = \frac{\alpha_2^2}{\alpha_2^2}$

a: diameter α : thermal diffusivity

The relation of equation (4) exists in results obtained as shown in Table 1.

(3) Correction factor for temperature of position from surface to center of log: Correction factor is shown as follows.

$$\frac{t_1-t}{t_1-t_0} = \frac{t-t_m}{t_1-t_0} K \qquad (5)$$

K: Correction factor, t_m : Temperature of center of wood, t_0 : Initial temperature of wood, t: Temperature of free position of wood.

Correction factor (K) of each species for the depth of one half radius from surface is calculated with equation (5) by using the measuring values, and they are shown as follows.

	Min.	Aver.	Max.
AKAMATSU	0.58	0.67	0.76
SUGI	0.66	0.69	0.76
BUNA	0.61	0.62	0.63

(4) Thermal diffusivity: Thermal diffusivity of each species is calculated with equation(3) by using the measuring values, and they are shown as follows.

AKAMATSU	$5.4 \sim 5.6 \times 10^{-4} m^2/hr.$
SUGI	$5.4 \sim 5.7 \times 10^{-4} m^2/hr$.
BUNA	$4.3 \sim 4.8 \times 10^{-4} m^2/hr.$

4. Pressure change of wood

Pressure changes of logs of AKAMATSU, SUGI, and BUNA are shown in Fig. 2, 3 and 4. Pressure of log is higher than the atmospheric pressure in heating, and is lower than the atmospheric pressure in cooling.

Air permeability on radial direction is shown as the pressure of the small test piece under vacuum of about 710 mm (absolute pressure of 50 mm). The air permeability and pressure in pieces which are treated by means of hot and cold-bath method are shown as the difference between the atmospheric pressure and pressure of the test piece in Table 2.

According to the results obtained, the pressure changes in the treated pieces have a certain relation to the air permeability.

— 91 —

Pressure changes in treated pieces of various species is shown in Fig. 8. Though pressure values in the small test pieces differ from the pressure value of log, the form of pressure change in the both is much the same.

The relation of hot bath periods and pressure change of the pieces is shown in Fig. 9. According to the results obtained, the longer the hot bath period, the higher the negative pressure in piece is in the cold bath. The piece in the cold bath has higher negative pressure, when it is heated at 110° C than at 90° C in the hot bath.

5. Rapid and gradual coolings

Wood takes more creosote oil by gradual cooling than by rapid cooling or immersing in the cold bath for a long time after rapid cooling (Table 3).

As shown in Fig. 5 and 10, the pressure of wood changes to the negative pressure when the creosote oil temperature is higher and the viscosity of creosote oil is very low. It appears that these results are a factor to obtain more creosote oil.

In Fig. 10, the negative pressure in wood is higher when it is heated at 110° C than at 90° C, consequently, it is more effective when wood is heated at not less than 100° C in the gradual cooling.

Results of treatment of logs by hot and cold-bath are shown in Table 3.