

# 木材防腐処理法に関する研究 (1)

## 防腐剤水溶液により加熱冷却された丸太の 材内温度変化と開槽式温冷浴法の 処理条件について

雨 宮 昭 二<sup>(1)</sup>  
井 上 衛<sup>(2)</sup>

### 1. ま え が き

木材を防腐処理する場合、防腐剤溶液により、加熱冷却された木材の内部温度変化を知ることは、多くの防腐処理法において、その処理条件を解明し、決定するための基礎となる重要な問題である。それゆえに、米国においては J. D. MACLEAN<sup>(11)~(16)</sup>により相当くわしく、このことについて測定が行われ、非常に有益な資料となつているが、測定樹種が限られているため、その結果を直ちに日本産樹種に適用することはできない。しかもわが国においては、まだ日本産樹種に対して、このことについて測定を行つたという報告はほとんどないので、本実験では、MACLEAN の実験結果が日本産樹種に対しても成立するかどうかを確かめるとともに、その材内温度変化曲線を求めることにより、日本産樹種を防腐処理する場合の1つの基礎資料とするのが目的である。

本実験では開槽式温冷浴法による材内温度変化を測定したのであるが、これは同処理法を用いて行うのが最も実行しやすく、しかもその材内温度変化は他の処理法の場合にも同様に変化すると考えたからである。

なおこの開槽式温冷浴法は装置や操作が簡単で、各現場に設置することも可能であり、経済的にも比較的安価にできる等の利点をもっている。それゆえ、わが国では現在あまり実際処理には利用されていないが、今後は処理木材の利用目的に応じて、大いに採用すべき方法ではないかと考えられる。しかるに、この処理法に関する資料に乏しいので、その処理工程基準を決定するための資料を充実させるという目的をもちかねて、ここにとりあげたのである。

本実験では、水溶性防腐剤を使用する場合の一例として気乾のアカマツ丸太をジニトクロレゾール・沸化ナトリウム系防腐剤の水溶液を用い、材内温度変化測定には銅・コンスタンタン熱電対を用いて、各処理時間ごとに材内温度変化を測定し、その材内温度変化と吸収量との関係を求めた。

ただ、本実験結果のみでは、実験数も、処理条件の変化も少なく、1樹種にかぎられているから、検討すべき点が随所に残されていて、非常に不完全なものであるが、一応今日まで得られた結果を取りまとめ、それに今日まで発表された結果や、処理工程中の観察、操作中の経験等の定量的に示せなかつたことに、さらに推論を加えて考察した。

(1) (2) 木材部材質改良科防腐研究室員

なお、不完全な部分については、今後も検討をつづけ、その結果を随時報告する予定である。

## 2. 実験方法ならびに装置

### 2.1. 試験材

温度測定に便利のため丸太を用い、樹種はアカマツとした。含水率は水溶性防腐剤により処理するため気乾のものとし、長さは実験装置や、実用の寸法を考へて190 cmとし、末口径はその大小と処理時間、温度変化との関係を知るため、約17 cmのものと、10 cmのもの2種類を用いた。

### 2.2. 防腐剤

使用防腐剤としては水溶性のもので、一般に広く使われているものとして、ジニトロクレゾール・沸化ナトリウム系防腐剤を用い、濃度は1.25%水溶液とした。

### 2.3. 実験装置

実験装置は fig. 1 に示すように、(1),(3)は鉄製有蓋円形の予備加熱槽兼貯液槽で、寸法は直径1,500 mm 高さ1,200 mm, (2),(4)は鉄製無蓋角形の浸漬槽で、寸法は巾800 mm, 高さ900 mm, 長さ2,700 mm である。(1),(2)は温浴用として使われるため、外壁を保温材料で被覆してある。加熱は蒸気によつて行い、液の移動は1馬力の渦巻ポンプを用いる。材の移動には天井に取り付けたレール上を走るチェーンブロックで行うようになっている。

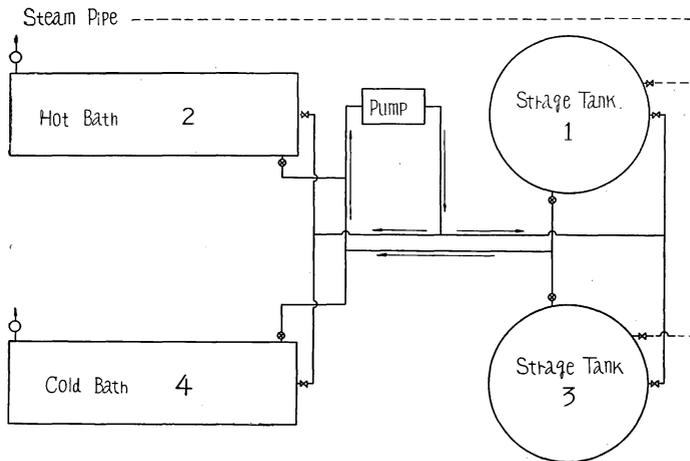
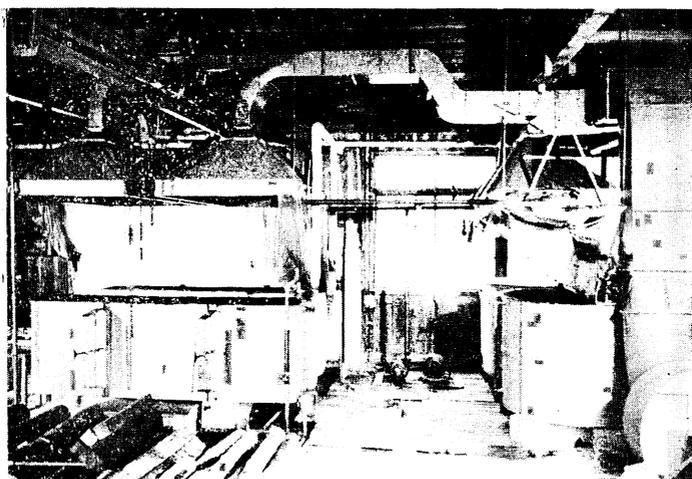


Fig. 1 実験装置の配置と配管

Arrangement and piping of equipment



Phot.1 実験装置 Equipment

#### 2.4. 処理工程

処理せんとする木材は処理前にその重量をはかり(処理前重量), fig.1 の(2)槽(温浴槽)に入れ, (1)槽であらかじめ規定の温度に加熱された防霉剤溶液を(2)槽に送って加熱を行う。これを温浴という。適当な時間, 規定の温度で加熱後冷却させる。これを冷浴という。この冷却法には2つの方法があり, その1つの方法は液を(1)槽にもどし, 木材を(4)槽(冷浴槽)に移し, (3)槽中の室温に等しい温度の冷液を(4)槽に移して, 急に冷却させる。これを急冷といい, 適当時間冷却後, 液を(3)槽にもどし処理が終る。もう1つの方法は木材も温浴液も移動させずに(2)槽に入れたままで加熱をとめ, そのまま液を自然に放置して室温まで冷却させる。これを放冷という。

処理終了後, 木材を取り出し, その材の重量をはかる(処理後重量)。  
防霉剤吸収量は処理後重量から処理前の重量をひいて求める。

#### 2.5. 温浴液ならびに冷浴液の温度

温浴温度は水溶液であるため, 100°C付近で沸騰してしまうので, いくぶん水分の蒸発はあるが, 実験しうる最高温度に近い90°Cを選んだ。冷浴温度は実験に便利のため, 室温を選んだ。

#### 2.6. 温浴時間ならびに冷浴時間

加熱の場合, 丸太の中心部の深さの温度が温浴液に等しくなるまで, 加熱された時を最長温浴時間とし, さらに加熱をつづけても材内の温度上昇はなく, 加熱による材内の空気の膨張の効果はこれ以上期待できないであろうという仮定のもとに, この時間以上の温浴は行わなかつた。そこで, この最長温浴時間までを適当に区切つて温浴時間を選んだ。

冷却の場合, 2種類の方法があるが, 1つの方法では, 加熱された丸太が直ちに低い温度の冷浴液に移された場合, 丸太の中心部の温度が, 冷浴液温とほとんど等しくなるまで冷却されたとき, 冷浴を打ち切ることを標準とした。もう1つの方法は, 温浴液の加熱を停止してそのまま丸太と防霉剤溶液を冷却した場合, 室温とほとんど等しくなるまで冷却されたとき冷浴を打ち切ることにした。

これらの決定は, 木材を冷却することにより, 木材中の空気を収縮させ, 材内に吸引力を生ぜしめる効

果は、材内温度が冷浴により達しうる最低温度になつたとき最大に達し、これ以上放置しても吸引力は大にならないであろうという仮定のもとに、このときで冷却を打ち切ることとしたのである。

### 2. 7. 材内温度測定点

温度測定点は木口面よりの温度伝導の影響を知るため、fig. 2—(a)のように両木口より 30 cm の点と全長の中点との 3 点とし、おのおのその深さは半径方向の温度変化を知るため、半径方向に、fig. 2—(b)のように半径の長さ、その半分の長さの 2 種類とし、1 本の丸太で 6 箇所の点で測定を行つた。

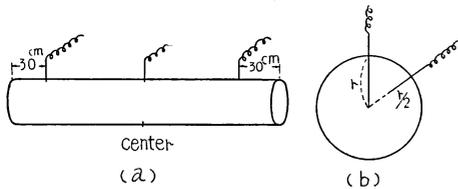


Fig. 2 材温測定点  $r =$  半径 (radius)  
Measuring points of timber temperature

ここに直径 5 mm 長さが半径ならびにその 1/2 の 2 種類の孔を半径方向にあけ、この孔に熱電対の一端をさしこみ、残りの孔の中の空隙を適当な深さまで合成樹脂を流しこんで充填し、材中の熱電対の先端に液が侵入しないように完全に密封する。熱電対の他端は材表面にあつて液に接している。合成樹脂はフェノール樹脂を用いた。

材内温度の測定はこの熱電対により液温との差として測定される。

## 3. 実験結果

### 3. 1. 処理時間と材内温度変化

fig. 3 は末口径 17 cm、fig. 4 は末口径 11 cm の多くのアカマツ丸太を、加熱開始時の材温は各種、温浴液温 90°C、冷浴液温各種という条件で処理して材内温度を測定したとき、1 本の丸太について半径の深さと半径の 1/2 の深さの各 3 点の測定温度を平均し各丸太の値を 4 項の(1)式を用いて加熱開始の材温 15°C、温浴液温 90°C、冷浴液温 30°C の条件に換算し、各処理時間ごとの各丸太の換算値を平均して求めたそれぞれの温度変化曲線である。実線は温浴時の、破線は冷浴時の温度変化を示す。

末口径 17 cm の丸太では、半径の深さの点の温度上昇は、加熱開始後 30 分までは、あまり急激でないが、それ以後 4 時間の間、材温で 80°C 付近までは相当急激となり、1 時間で 10~20°C の温度上昇を示しているが、それ以後は緩慢となつて、1 時間で 5°C 以下の温度上昇を示すにすぎず、6~7 時間で液温とほとんど等しくなる。

半径の 1/2 の深さの点の温度上昇は加熱開始後、直ちに急激に温度が上昇し、最初の 1 時間では 40°C の温度上昇を示し、半径の深さの点に比べると 3 時間という短い時間で約 80°C に達する。しかし、やはり材温が 80°C をこえると温度上昇は緩慢となつて、1 時間で 5°C 以下となり、しだいに半径の深さの点との温度差は小となり、6~7 時間でほとんど一致してしまう。

末口径が 11 cm の丸太では、温度上昇は末口径 17 cm の丸太より相当早く、半径の深さの点では、2 時

### 2. 8. 材内温度測定法

温度測定にはおのおの径 0.3 mm の銅・コンスタンタンの熱電対を用い、各線にビニール管を通して被覆し、材内にはいる部分は加熱されてもビニール管が変形しないように、管内に合成樹脂を充填して、線を封じこんだまま固めた。このようにして作られた熱電対を木材中に封じこむには、できるだけ材表面のわれのない部分をえらび、そ

間で約 80°C に達し、3 時間でほとんど液温に等しくなってしまう。半径の 1/2 の深さの点では 1 時間で約 80°C に達し、その後は非常に温度上昇が緩慢となり、2~3 時間で液温とほとんど等しくなる。

一般に加熱開始後、初期の間、すなわち材温と液温との温度差が大なるときは、温度上昇速度は非常に大であるが、時間の経過により材温が上昇し、液温との差が小となるにしたがつて、上昇速度は小となる。

急冷の場合、fig. 3, 4 において、半径の深さの点の温度変化は温浴終了時の温度が高いものは冷却開始後、直ちに温度は下りはじめるが、その温度が低くなるにしたがつて、冷却開始後といえども 1 時間前後

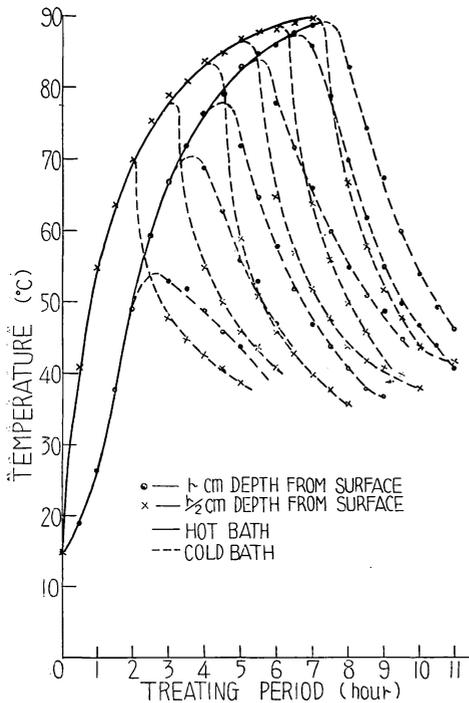


Fig. 3 処理時間と材内温度変化 (急冷)  
 処理条件：加熱温度90°C, 冷却温度30°C, 丸太の直径 (2r) 17cm

Treating periods and temperature change in timber (rapidly cooling method)  
 Treating condition : heating medium temperature 90°C, cooling medium temperature 30°C, diameter of timber (2r) 17cm

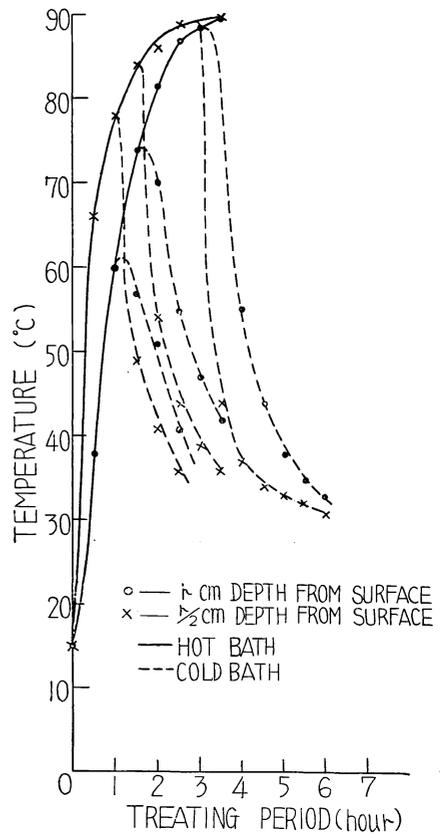


Fig. 4 処理時間と材内温度変化 (急冷)  
 処理条件 ; Fig. 3 と同じ  
 丸太の直径 (2r) 11 cm  
 Treating periods and temperature change in timber (rapidly cooling method)  
 Treating condition ; same as Fig. 3, diameter of timber (2r) 11cm

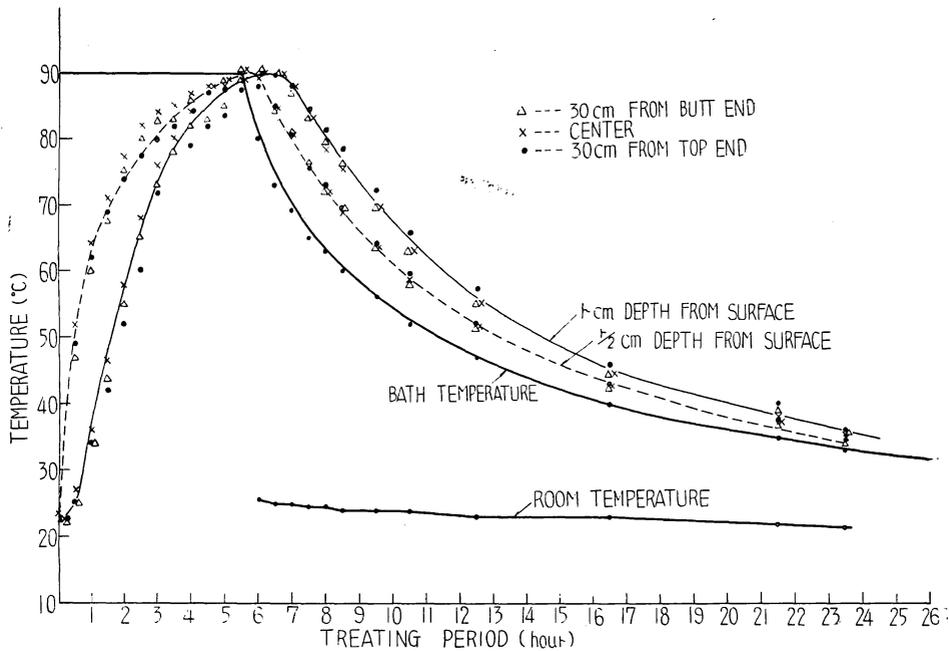


Fig. 5 処理時間と材内温度変化(放冷)

処理条件：加熱温度90° C，加熱時間 5½ 時間，冷却時間18時間  
丸太の直径 (2r) 17 cm

Treating periods and temperature change in timber (gradually cooling method)

Treating condition : heating medium temperature 90°C, heating periods 5½ hrs.,

cooling periods 18 hrs, diameter of timber (2r) 17 cm.

の間、冷却前の材温より高い温度まで上昇し、その後下降しはじめる。この現象は末口径17 cmの丸太の場合の方が明瞭に表われる。

半径の1/2の深さの点の温度変化は、温浴終了時の温度の高低にかかわらず、前記のような現象はあまり明瞭に測定できなかつた。

一般に、各測定点が35~40° Cまで冷却されるに要する冷浴時間は、だいたいその材の温浴時間に等しかつた。

放冷の場合の材内温度変化曲線はfig.5, 6に示す。この場合の温度変化は加熱が中止されて、液温が徐々に低下しはじめても、はじめの30分~1時間はほとんど材温の変化はないが、それ以後冷却してゆくに依りて、半径の1/2の深さでは液温より約10° C、半径の深さでは15° C高い温度で、しだいに低下してゆき、液温の温度低下速度がおそくなると、液温と材温との差は小となり、最後には材温と液温とはほとんど等しくなつて、低下してゆくようになる。

半径の深さの点は、半径の1/2の深さの点より温度変化がおそいため、温浴の場合には、後者より常に低い温度であるが、冷浴の場合には逆になつて、常に後者より高い温度で冷却されてゆく。しかし、時間の経過とともに両者の温度差はしだいに小となる。

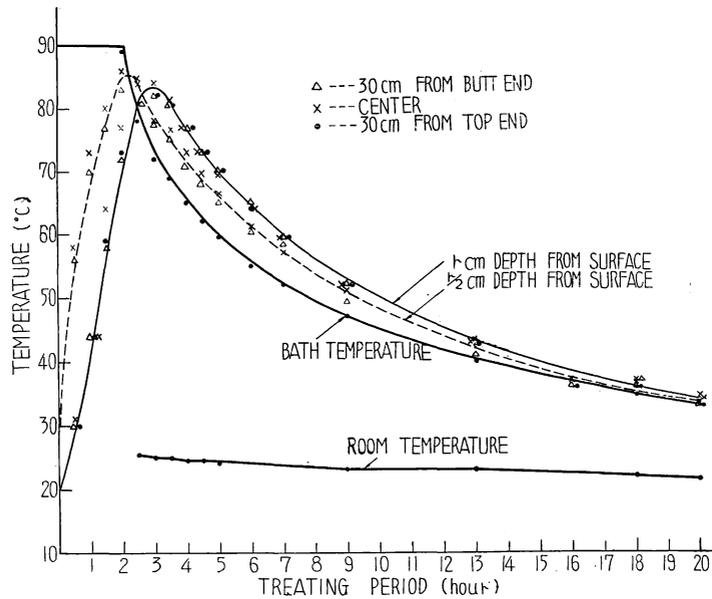


Fig. 6 処理時間と材内温度変化 (放冷)

処理条件：加熱温度 90°C，加熱時間 2 時間，冷却時間 18 時間  
丸太の直径 (2r) 11 cm

Treating periods and temperature change in timber (gradually cooling method)  
Treating condition: heating medium temperature 90°C, heating periods 2 hrs.,  
cooling periods 18 hrs., diameter of timber (2r) 11 cm

### 3. 2. 処理時間と材内温度分布

#### 軸方向の温度分布

各丸太の両木口より 30 cm の点と材の中心との温度変化を比較したが，その結果の 1 例として fig. 5, 6 に示してあるように，その間にほとんど差が認められなかった。

その他の点は測定しなかつたから，木口面より軸方向の温度分布を明りようにすることはできなかつたが，結局木口面より 30 cm 以上の部分では軸方向における温度傾斜はないということが明らかとなつた。

#### 半径方向の温度分布

fig. 7 は末口径 17 cm, fig. 8 は 11 cm の丸太の加熱冷却時間別の表面より中心までの温度分布を示している。図の左端は加熱の場合で，その次からは加熱後冷却の場合であり，右にゆくにしたがつて加熱時間が短くて冷却された場合である。冷却の場合は急冷であり，材の表面温度は液温と等しいと仮定して表わした。

末口径 17 cm の丸太の温浴時の材内温度分布は加熱開始後 1 時間までは fig. 7 のように表層が高い凹形の曲線で，それ以後は表面から中心まで，ほとんど直線に近い傾斜を示す。冷浴時には冷却の初期には表面が低くて，はげしく彎曲した凸形の曲線であるが，時間がたつとしたいに彎曲の度合が少なくなり，最後には直線に近い傾斜を示す。

末口径 11 cm の丸太は fig. 8 に示すように温浴の場合は，凸形の曲線で，冷浴時の温度分布の中心と表

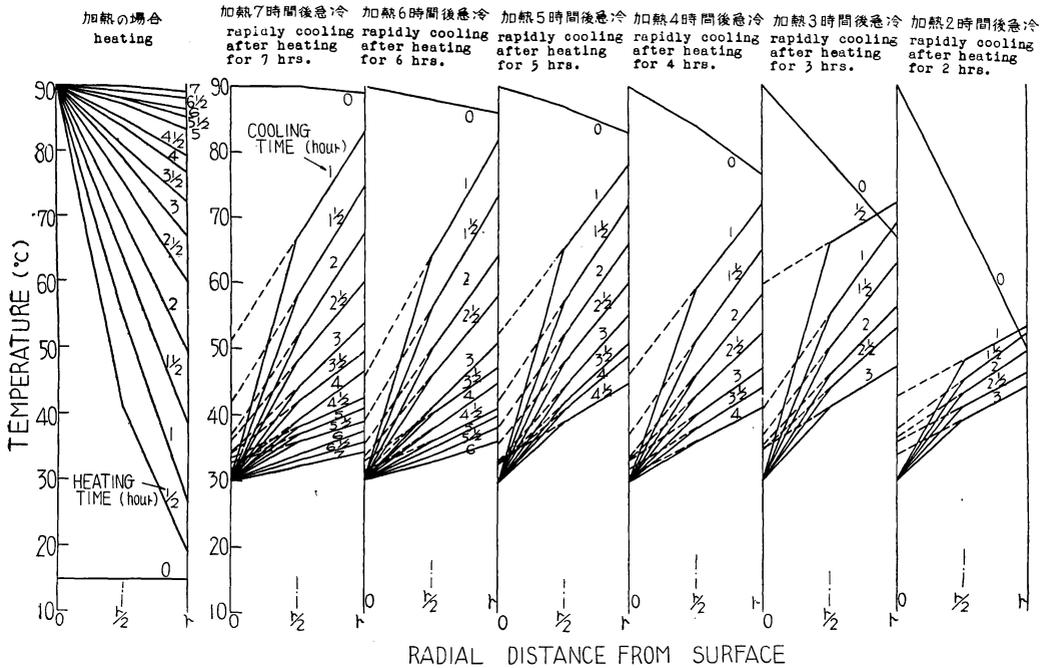


Fig.7 温浴または冷浴時間と材内温度分布(半径方向)

処理条件: 加熱温度 90°C, 冷却温度 30°C,

丸太の直径 (2r) 17cm

Temperature distribution in timber (radial direction) after various periods of heating or cooling

Treating condition: heating medium temperature 90°C, cooling medium temperature 20°C, diameter of timber (2r) 17cm

面とを入れかえたような曲線である。冷浴の場合は fig.7 とほとんど同じ傾向を示している。

### 3. 3. 急冷による処理時間と薬液吸収量ならびに滲潤度

処理時間には、温浴時間と冷浴時間とがあり、その合計が処理時間である。

急冷の場合、冷浴時間はたとえば冷浴液温 30°C の場合には、材温が 35°C 付近まで下つたときまでとしたが、実験結果では各種の材温から冷浴に移つて前記の材温まで下がる時間は、だいたい、その材を処理した温浴時間とほとんど等しいか、30分~1 時間延びたにすぎなかつた。そこで処理時間と薬液吸収量ならびに滲潤度との関係を示すには、温浴時間別、冷浴時間別、全処理時間別等の表わし方があるが、ここでは温浴時間別に表わした。

Fig.9 は末口径 17 cm と 11 cm のアカマツ丸太の温浴時間と平均薬液吸収量ならびに平均滲潤度との関係を示す。ここに示す吸収量は kg/m<sup>3</sup> に換算したものであり、滲潤度は両木口より 30 cm の部分と丸太の中央部よりきりとつた 3 枚の円盤の、おのおのの辺材面積に対する薬液滲潤面積の比を百分率で表わし、それを平均した値である。

Fig.9 より温浴時間が増すと薬液吸収量も滲潤度も増大してゆくことがわかる。

また、Table 1 で示すように各材の処理結果をみると、温浴終了時の吸収量は全吸収量の約 1/3 で残り

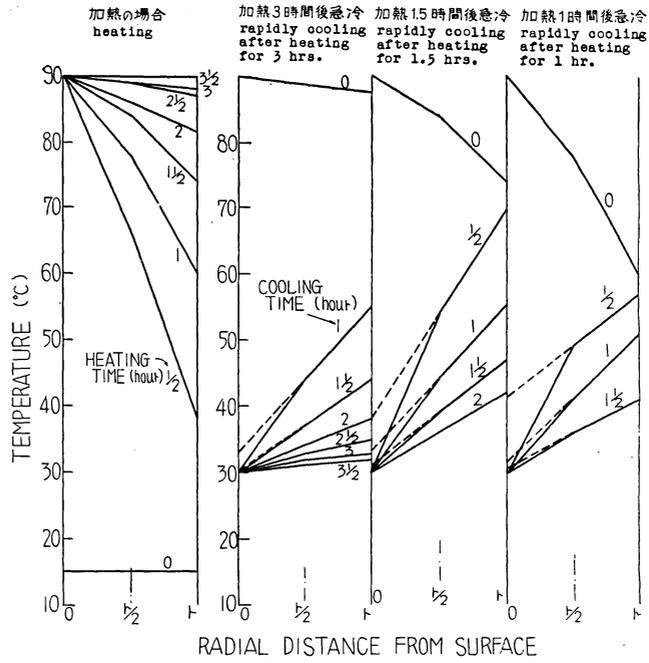


Fig. 8 温浴または冷浴時間と材内温度分布 (半径方向)  
 処理条件: 加熱温度 90°C, 冷却温度 30°C, 丸太の直径 (2r) 11cm  
 Temperature distribution in timber (radial direction) after various periods of heating or cooling  
 Treating condition: same as Fig. 7, diameter of timber (2r) 11 cm

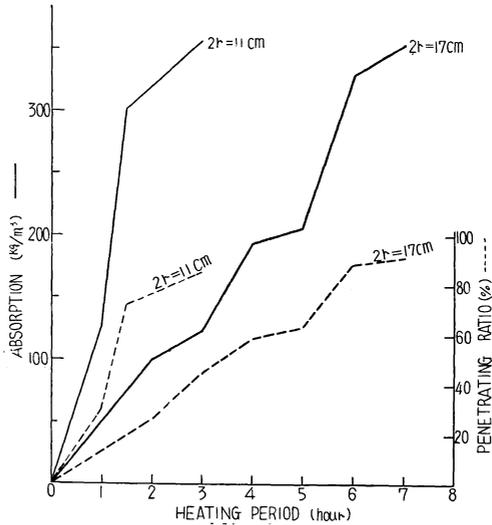


Fig. 9 温浴時間と吸収量ならびに滲潤度との関係  
 滲潤度(%) =  $\frac{\text{滲潤面積}}{\text{辺材面積}} \times 100$   
 Relation between heating periods and absorption or penetrating ratio

$$\text{penetrating ratio}(\%) = \frac{\text{areas of penetrated part}}{\text{areas of sapwood}} \times 100$$

Table 1. 処理時間別の吸収量および滲潤度  
Examples of absorption and penetration after various periods of treating

No.		127	108	122	130	136	134	18	44	15	35	
末口径	dia. of top end	cm	18.0	17.5	16.0	16.5	17.0	15.5	10.0	9.5	11.0	11.0
長	length	cm	189	187	187	187	191	186	186	186	186	187
初重量	initial weight	kg	28.7	26.2	19.5	19.3	24.0	22.5	9.8	11.5	15.1	13.0
材積	volume	m <sup>3</sup>	0.061	0.057	0.048	0.051	0.055	0.043	0.018	0.017	0.023	0.023
容積重	specific gravity	kg/m <sup>3</sup>	354	456	406	378	436	524	545	676	656	565
温浴時間	time of hot bath	hrs	7	6	5	4	3	2	3	2	1 <sup>1/2</sup>	1
冷浴時間	time of cold bath	hrs	8	8	5	4 <sup>1/2</sup>	3	3	3 <sup>1/2</sup>	2	2	1 <sup>1/2</sup>
温浴後吸収量	absorption after hot bath	kg	6.4	8.8	2.7	2.7	2.2	1.4	2.2	1.9	2.4	1.2
温浴後吸収率*	ratio of absorption after hot bath	%	29.5	46.8	20.8	26.7	33.4	35.0	33.8	29.7	32.9	42.9
全吸収量	total absorption	kg	21.7	18.8	9.7	10.5	6.6	4.0	6.5	6.4	7.3	2.8
m <sup>3</sup> 当り吸収量	absorption per m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>	354	329	203	206	120	92.5	349	381	324	124
penetrating ratio 滲潤度 %**	元口より 30 cm の断面 cross section of 30 cm distance from butt end	84	82	78	64	29	22	89	46	47	22	
	長さの中央断面 cross section of center of length	90	86	70	44	40	15	66	49	59	36	
	末口より 30 cm の断面 cross section of 30 cm distance from top end	100	100	85	54	62	16	83	100	77	46	
	平均値 average	91	89	78	54	44	18	79	65	61	35	

\* 温浴後吸収量 / 全吸収量 × 100

\*\* 滲潤面積 / 辺材面積 × 100

の 2/3 は冷浴時に吸収される。

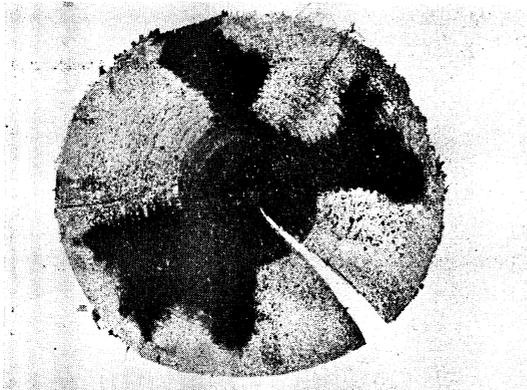
滲潤度は両木口から 30 cm の部分は中央部よりだいたい大であり、吸収量が増すと両木口の部分も、中央部もその滲潤度を増す。それゆえ、その部分の平均滲潤度も吸収量と比例的関係を示すので Fig. 9 では平均滲潤度で表わした。

薬剤の滲潤長は非常にむらがあつて測定しがたいため、滲潤した面積を測つて滲潤度を求めたわけであるから、はつきりしたことはわからないが、Phot. 2 のようによく滲透した部分は円周面より半径方向に 5~10 cm はいつており、滲透していない部分は 1 cm 以下の場合もある。一般に干われ部分から良く滲透し、節の部分は滲透しにくい。木口よりの滲透は相当期待できるが、その長さは、はつきり測定できなかった。この場合も phot. 3 のように節の存在が液の浸透を阻害しているようである。

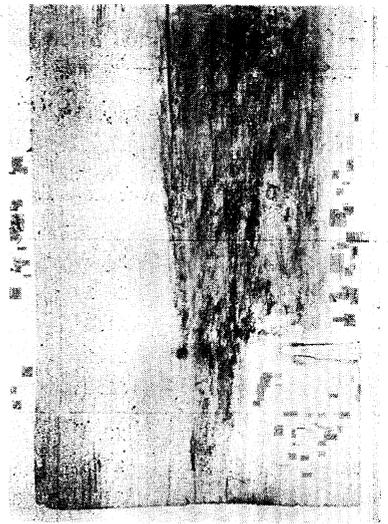
### 3. 4. 急冷と放冷

急冷と放冷との材内温度変化については、Fig. 3, 4 と Fig. 5, 6 に示したとおりであるが、吸収量については Table 2 に示すとおりである。

末口径 17 cm 付近のものでは、温浴時間が 5 時間、3 時間ともに急冷より放冷の方が吸収量が大きくなっている。特に、温浴時間が短い場合にはその差がはげしい。ただし、急冷後同一冷浴液に放冷と同一時



Phot. 2 側面より防腐剤浸透状態 (暗色部分が薬剤未浸透)  
Penetration of preservative from side surface



Phot. 3 木口面よりの防腐剤浸透状態:  
(暗色部分が薬剤未浸透)  
Penetration of preservative from  
end surface

間浸漬したものは放冷と同じ程度の吸収量を示している。

末口径 10 cm のものは、温浴時間が 2 時間では急冷と放冷との間には、吸収量の間にした差異はないが、温浴時間 1 時間では、急冷より放冷の方が吸収量は大き

る。ただし、急冷後同一冷浴液に放冷と同一時間浸漬したものは、放冷と同じ程度の吸収量を示している。これは、末口径 17 cm の場合と同じである。

急冷の場合には、温浴から冷浴に移す際に液中から材を外に取り出すので、材が空気に触れるが、放冷の場合は液中に入れたままで冷却され、途中で材が空気に触れないから、その点が急冷と放冷の温度変化以外に異なる点である。そこで、この影響を知るため、No. 107, 109 は放冷ではあるが、温浴終了後、直ちに材を外にとり出し、空気に触れさせ、また同一液につけて放冷させ、No. 125, 52 は液中に入れたまま空気に触れさせずに放冷を行った。その結果は吸収量においてあまり差がなく、空気による阻害の影響はみとめられなかつた。結局、No. 107, 109 のように温度条件以外は急冷と同じようにしても、放冷の方が吸収量が多い。

#### 4. 材内温度変化に対する考察と開槽式温浴法の処理条件について

##### 4. 1. 材内温度変化

実測値の温度上昇曲線を、縦軸を液温と材温との差の対数、横軸を時間とつて表わすと Fig. 10 のようになり、加熱の初期と材温が液温に近くなると、直線からはずれる場合が多いが、だいたい直線となり、温度上昇速度は液温と材内温度との差に、ほぼ比例するものと考えられる<sup>2)6)</sup>。このような関係があることは (1) 式が成立することを意味する。J. D. MACLOAN の実験結果によれば<sup>3)4)5)11)12)13)</sup>、加熱開始時の木材温度が異なり、しかも異なる温度の加熱媒体を用いて、木材を加熱する場合、加熱媒体の温度と同一部分の材内温度との間には次式のような関係が成立する。

$$\frac{t_1 - t}{t_1 - t_0} = \frac{t_1' - t'}{t_1' - t_0'} \dots \dots \dots (1)$$

$t_0, t_0'$ : 加熱開始時の材温,  $t_1, t_1'$ : 加熱媒体温度,  $t, t'$ : 任意時間加熱後の木材温度

Table. 2 急冷と放冷による吸収量  
Absorption by means of rapidly and gradually cooling method

No	末口径 Diameter of top end cm	処理前重量 Initial timber weight kg	処理時間 treating period		吸収量 absorption		吸収率* Ratio of absorption %	冷却法 Cooling method
			温浴 Hot bath hrs	冷浴 Cold bath hrs	1本当り kg	m <sup>3</sup> 当り kg/m <sup>3</sup>		
	17	24.8	5	5	11.2	204	45.0	急 rap.
107	16.5	23.2	5	18	14.2	284	61.3	放 grad.
109	16	21.3	5	18	20.3	426	95.5	//
125	16	23.2	5	18	14.2	299	61.3	//
52	16.5	22.2	5	18	15.0	362	67.6	//
	17	22.9	3	3	6.0	122	27.0	急 rap.
138**	16.5	23.3	3	18	14.9	294	62.9	//
118	16	24.4	3	18	11.3	238	46.3	放 grad.
43	14	19.2	3	18	8.0	228	41.6	//
	10	12.1	2	2	6.1	321	50.4	急 rap.
28	11.5	12.0	2	18	9.0	366	75.0	放 grad.
103	10	11.4	2	18	5.8	312	50.8	//
	11	12.4	1	1	2.5	105	20.2	急 rap.
35**	10	12.0	1	18	9.8	518	81.5	//
50**	11.5	11.5	1	18	6.7	278	58.2	//
11	12	11.2	1	18	6.7	250	60.0	放 grad.
104	9	7.9	1	18	6.7	444	85.0	//

\* 吸収率%  
ratio of absorption =  $\frac{\text{全吸収量 total absorption}}{\text{処理前重量 initial timber weight}} \times 100$

\*\* 急冷後長時間浸漬せる材 timber immersed for long time after rapidly cooling

ゆえに本実験結果を整理する際には、加熱開始時の材温は15°C、温浴液温は90°C、冷浴液温は30°Cを基準として、異なる処理条件で処理された木材の材内温度を(1)式を用いて換算した。これについては3の項において記したとおりである。

丸太の半径の深さあるいは半径の1/2の深さのようにおのおの材の表面からの距離と半径との比が等しいある一定点の温度上昇は、小径木に比べて、大径木は同一温度に達するには長時間を要する。この間には、J. D. MacLean によれば<sup>11)13)</sup>、(2)式のような関係が成立すると発表しているが、本実験結果でもほぼ成立するようである。

$$\frac{\theta_d}{\theta_D} = \frac{d^2}{D^2} \dots\dots\dots(2)$$

$\theta_d$  : 直径  $d$  なる丸太の一定点が一定温度に達するに必要な時間

$\theta_D$  : 直径  $D$  なる丸太の一定点が一定温度に達するに必要な時間

(2) 式は直径の異なる丸太の各部分を同一温度まで上昇させるのに必要な時間は直径の自乗に比例するということである。

実験結果より実測値と計算値を示すと Table 3 のようになる。

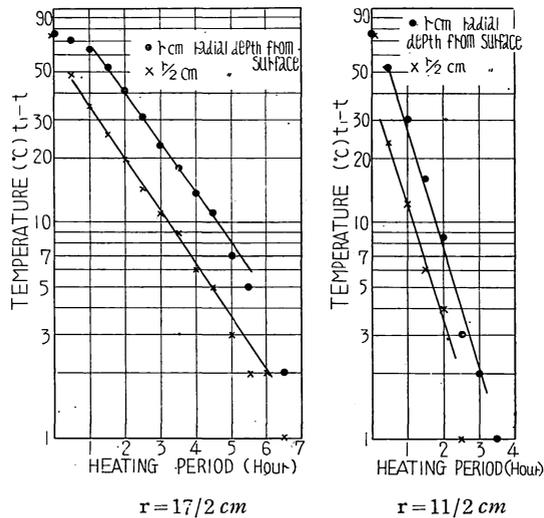


Fig. 10 液温と材温との温度差と加熱時間

処理条件：液温 ( $t_1$ ) = 90°C, 加熱開始時材温 = 15°C, 材温 =  $t$ ,  
 Heating periods and temperature difference between heating medium and timber  
 treating condition : heating medium temperature ( $t_1$ ) = 90°C  
 initial timber temperature = 15°C  
 any timber temperature =  $t$

Table 3. 丸太の直径と加熱時間との関係

$$\left( \frac{\theta_d}{\theta_D} = \frac{d^2}{D^2} \text{による計算値と実測値} \right)$$

Relation between diameter of timber and time of heating

(calculated value by  $\frac{\theta_d}{\theta_D}$  and measured value)

丸太の中心温度 Temperature at center of timber °C			60	70	74	80	82	87
直径 $d = 11 \text{ cm}$ Diameter	$\theta_d$	実測値 Meas. value hrs	1	1.3	1.5	1.9	2	2.5
		計算値 Calc. value hrs	2.4	3.1	3.6	4.5	4.8	6.0
直径 $D = 17 \text{ cm}$ Diameter	$\theta_D$	実測値 Meas. value hrs	2.5	3.3	3.7	4.6	4.9	6.1

冷却の場合、材温の変化曲線は冷却の初期を除いて加熱の場合の変化曲線をだいたい逆にしたような形を示す。冷却初期の材中心温度の上昇がなにゆえにおこるかを考えてみるに、これは冷却開始後といえども、その初期においては冷却の影響は直ちに材の中心部までおよびず、表層部のみが冷却されるにすぎない。そこで材の深部は材内に保持されている熱量によりさらに加熱され、温度上昇をつづけ、時間の経過とともに、冷却の影響がしだいに深部にまでおよんできたときにはじめて下降を開始するのであろう<sup>16)</sup>。それゆえ、冷却開始時において材の中心部の温度が、材の表層部の温度に比べて、非常に低い場合ほど、外側が冷却しはじめても材内の残存熱量により加熱されて、温度上昇も相当はげしく、下降しはじめるまでに相当時間がかかるのである。

しかし、中心部の材温と表層部あるいは液温との温度傾斜が少なくなるにしたがつて、温度上昇は少なくなり、下降しはじめるに要する時間も短くなる。

けつきよく、冷却の影響が、丸太の各部に達する速度によつて、各種の冷却曲線ができるのであつて、小径木では材の中心部、また、丸太の径にかかわらず半径の半分の深さの点は、液温に比べて相当低くても冷却の影響が大径木の中心部に比べて速く表われるから、あまり一時温度が上昇するという現象は明りように表われない。

しかし、実際には一時温度上昇をしているかもしれないが、その上昇時間が短いから、測定しえなかつたのであろう。

#### 4. 2. 材内温度分布

軸方向の温度分布について、木口面よりの温度伝導がどのくらいの深さまでおよぶかは、明りようにし得なかつたが、J. D. MACLEAN の実験結果によれば<sup>15)</sup>、Fig. 11 に示す曲線を描き、直径 12 in. の丸太を 5 時間加熱した場合、丸太の中心部の軸方向の温度分布は、木口面より 1 ft. の部分までは木口よりの温度伝導の影響を受けて温度傾斜があり、それより深部では木口よりの影響はなく、側面より半径方向の影響のみであるから、温度傾斜はなくなる。また、この点は丸太の径が小になれば浅くなり (Fig. 11—a)、大になれば深くなる (Fig. 11—b)。

これらの結果を参考にすれば、本実験に使用した丸太は径が 18 cm 以下であるので、その大きさの木口面よりの温度伝導の影響はおそらく 1 ft より短くになると考えてさしつかえないであらう。それゆえ、木口より 30 cm の測定点が材の中央部の測定点とほとんど同じ温度変化を示したのであろう。

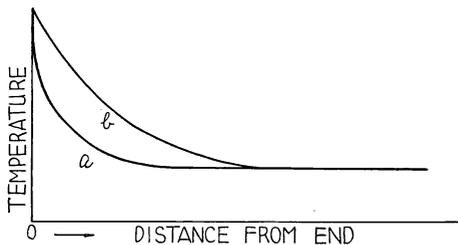


Fig. 11 軸方向における材内温度分布  
Temperature distribution in  
longitudinal direction of timber

側面より中心までの半径方向の温度分布について Fig. 7, 8 の加熱の場合の温度分布をみると、径 17 cm の丸太では表面、半径の 1/2 の深さ、半径の深さの 3 点を結ぶ線は凹形となる。これは半径の 1/2 の深さの点でも表面からの距離が比較的大となり、表面からの温度伝導の影響がおそいから、中心部と同じように温度上昇速度はおそくなり、Fig. 12 の加熱 (heating) の場合、凹形の曲線に乗るのであろう<sup>16)</sup>。これ

に対して径 11 cm の丸太では、その点を結ぶ線が凸形となつているのは半径の 1/2 の深さの点では表面からの距離が比較的小く、表面からの温度伝導の影響がはやく表われて、比較的の中心部より温度上昇速度が速くなるためか、あるいは、熱電対のさしこむ長さが短いため、その 2 本の線を温度が伝わつて熱電対の接点の温度を高め、見かけ上高い温度となつて表われたためか、明りようにし得なかつたが、この点については今後検討する必要がある。

しかし、一般にはこの方向の分布曲線は加熱の初期に Fig. 12 の形がはつきり表われ、時間の経過とともに直線に近くなるというのが普通であらう。

以上の考察においては、木材の表面温度と液温とが等しいと考えたからであるが、はたしてこの考え方が正しいかどうかは疑問である。

Fig. 7, 8 の冷却の場合、中心と半径の 1/2 の深さの 2 点を結ぶ直線を破線で延長して、表面の位置の縦

軸との交点を求めると、冷却の初期においては $40\sim 50^{\circ}\text{C}$ であり、時間が経過すると、しだいに降下してきて、ついには液温( $30^{\circ}\text{C}$ )に集中するようになる。もし、この方向の温度分布は大部分が直線的な傾斜をなすと考えれば、表面温度は冷却の初期には液温より高く、時間の経過とともに液温と等しくなることを示している。

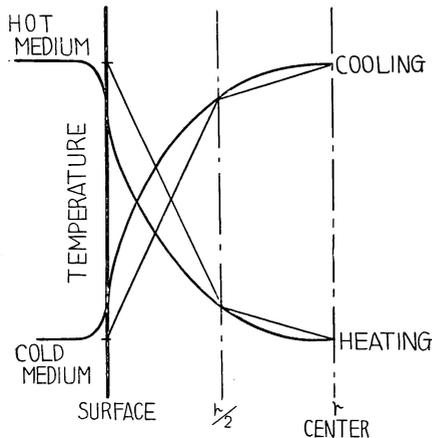


Fig. 12 半径方向の加熱または冷却の初期における材内温度分布

Temperature distribution in radial direction of timber obtained during initial periods of heating or cooling

しかし、実線で示したように、表面温度をはじめから液温と等しいと考えれば、冷却の初期にはこの方向の温度分布は凸形で、時間の経過とともに直線的になると考えることもできる。以上2つの考え方は加熱のときにも考えられることである。

けつきよく、加熱・冷却のいずれの場合でも、初期の半径方向の温度分布は、たとえ、材の表面温度が液温と等しくないとしても、はじめから直線と考えるのは無理であり、やはりはじめは Fig. 12 のような曲線で時間の経過とともに直線的傾斜を示すと考えるのが最も妥当な考え方であろう。

本実験では各槽で丸太を処理中、液をほとんど攪拌しないから、Fig. 12 のようにおそらく加熱の初期では材が冷たいため、材の表面温度は液温より低く、材表面に近い液温も他の部分の液温より低く、冷却の初期は材が温かいため、液温よりいくぶん高く、表面に近い液温も他の部分の液温より高く、時間の経過とともにしだいに液温全部が同じになり、材の表面温度もその一様になつた液温と等しくなると考えてよいであろう。

#### 4. 3. 処理工程<sup>9)10)</sup>

処理工程は、前記2の項で説明した方法で行つたが、この方法は小数の木材を処理する場合とか、木材移動用装置が完備している場合には可能であるが、その他の場合には、材は移動させずに同一槽で液のみをポンプで温液と冷液を交換させる方法の方が、能率的であり、取扱いも簡単である。ただ、装置の点からみると、前者の場合には、温浴冷浴2槽のみあれば、送液用ポンプは不要であつて非常に簡単な装置で済むが、後者の場合には、温液用と冷液用の2貯液槽と浸漬槽1つとさらに送液用ポンプが必用であつて装置が大がかりとなる。

以上のことから、木材の処理量、能率、経済性等を考慮していずれかの方法と装置をえらぶべきである。

#### 4. 4. 処理温度

温浴液の処理温度は、材の加熱を効果的に行わせるためには、高い方がよいが、水溶性の防霉剤では水の蒸発は温度が高いほど、はげしいし、 $100^{\circ}\text{C}$ になれば沸騰してしまうから、無制限に高くすることはできない。本実験では $90^{\circ}\text{C}$ で行い、その他の温度では行わなかつたから、何度が最も適当であるということとは、はつきり結論をだすことはできない。

本実験に使用した浸漬槽は無蓋であるから 90°C の温度を保つた場合、水の蒸発量は  $m^3$  当り 9.3kg/hr である。このために溶液の濃度は濃くなるから、処理終了後に濃度の補正を行うようにすれば、90°C の温浴温度でも可能である。

けつきよく、加熱効果を能率よくするために高温にすること、水分の蒸発量をできるだけ少なくすることは矛盾することであるから、両立させることは困難であるが、浸漬槽に蓋を付けて、水の蒸発をできるだけ防止すれば、70~90°C でも処理できるであろう。

冷浴液の温度は、温浴液との温度差が大である方が、冷却の効果は大になり、また水浴液の場合では、液の粘度を考慮する必要がないから、低い方がよい。しかし、室温以下に下げるとは冷却装置を必要とするので、室温を冷浴液温とするのが適当であろう。

#### 4. 5. 急冷と放冷

急冷と放冷との間の吸収量における差は、前者が急激な、後者が緩慢な温度降下を行うことによる温度降下速度の大小、いいかえれば、圧力低下速度の大小が吸収量に影響を与えるのではなくて温冷浴によって生じた材中の吸引力を十分に利用するか、しないかが、吸収量の多少を決定すると考えられる。急冷の場合には、温浴から冷浴に移す時に短時間であるがどうしても丸太が空気に触れ、丸太の表面が空気中で冷却され、冷浴中の冷却効果を減少させ、さらにそこにはいつた空気が滲透を阻害するのではないかと考えたが、実験結果からは、この空気の影響はほとんどないものと考えられる。

装置の点を考えると、急冷ではすくなくとも、温浴槽と冷浴槽の2槽が必要であるが、放冷では1つの槽があれば、温冷浴をその槽で行うことができ、装置は簡単になる。しかし、処理操作の能率の点を考えると、急冷の方が能率が良く、放冷の方が悪い。

#### 4. 6. 処理時間と吸収量

Fig. 9 の実験結果は、急冷の場合について、温浴時間別に表現してあるが、これは材内温度変化との関連を知るために理解しやすいからである。

本処理法では防腐剤の吸収は温浴中よりも、主として冷浴中に行われるのであるが、温浴時間と冷浴時間とは吸収量に及ぼす影響には非常に密接な関係があるから、おのおの別個に切り離して論ずることはできない。

温浴時間と冷浴時間との間には非常に多くの組合せが考えられるが、それらの組合せをすべて実験することは非常に困難なので、本実験では材内温度変化による処理効果からみて根拠のある組合せとして、実験方法で記した処理時間を選んだのである。この組合せは温浴時間の長いものは全処理時間も長く、温浴時間の短いものは全処理時間も短くなる。

これらのことを前提にして、温浴時間を中心にして、吸収量との関係について考察してみる。

本処理法は木材を加熱し、冷却することにより、防腐剤を吸収させるのであるが、このことはただ木材に温度変化を与えればよいということではなく、その温度変化により生ずる材内の圧力変化が防腐剤の吸収を支配するのであるから、材内温度が上昇して、空気が膨張し、材内の圧力が高くなつたら、材の各部分の孔隙より、膨張した空気をできるだけ材外に排出させなければならない。膨張した空気の排出量が多くなればなるほど、冷却により生ずる減圧度すなわち吸引力が大になり、それに伴い吸収量も増すという結果になる。もし、空気の排出が全くなければ冷却しても材内には吸引力は生ぜず、常温浸漬とあまり変わらない吸収量をうるにすぎないであろう。

ただ、空気の排出は処理される木材の樹種・材質・解剖学的性質・割れ等に原因する孔隙の多少、大小が最も支配的であつて、技術的に促進させることは非常にむずかしい。いくぶん促進させると考えられるのは温浴時間を長くすることであろう。

この温浴時間を長くするという事は、材内温度をその初温に比べてできるだけ高くするという事である。

これらのことは Fig. 3, 4 と Fig. 9 とをみれば、理解されるであろう。たとえば、末口径 17 cm の丸太で、2 時間加熱した場合は、材の中心温度は約 50°C で、5 時間加熱した場合は 83°C に達しており、おのおのの吸収量も材温の高い方が大である。

けつきよく、温浴時間は材の中心部の温度が温浴液温とほとんど等しくなつたとき、たとえばアカマツ丸太の径約 17 cm では 6~7 時間、11 cm では約 3 時間より長くしても、吸収量はあまり増加せず、本処理法において、この時間をその材の最長の温浴時間とし、最大の吸収量を期待することができると考えてさしつかえないであろう。

冷浴時間と吸収量については、丸太の温浴時間が長いほど、すなわち材の中心部の温度が高くなつて半径方向の温度傾斜がほとんどなくなつて後、冷浴を行つた方が、材の各部が短時間に急激に温度を降下しはじめ、材内に生ずる吸引力も短時間で大となり、液を吸収することが比較的能率よく行われると考えられる。

これに対して、温浴時間が短いと材の中心部の温度は低く、半径方向の温度傾斜も大であるから、急に冷却しても、その温度は一時上昇してから降下し、その降下速度はおそく、材内に生ずる吸引力も小となり、液を吸収することが能率よく行われないと考えられる。

一般に、冷浴では木材が急激に温度降下をなすとき、いいかえれば吸引力が急に高くなる時液の吸収が最も多いと考えられる。それゆえに生じた吸引力が大なるときは、その力によつてこの時間に、同時に能率よく、丸太の内部まで多量の液が滲透し、液温と材温が等しくなつたとき、冷浴を打ち切つても吸収量は大となるが、吸引力が小なるときはその力ではこの期間に少量の液が比較的表層のみにしか滲透せず材温の低下すなわち吸引力の発生と液の滲透との間に相当時間のずれがあると考えられるから、液温と材温が等しくなつたとき冷浴を打ち切つたならば、吸収量は小となるであろう。もしも、発生した吸引力を十分に利用して吸収量を大にさせるためには冷浴時間は相当長時間延長しなければならないであろう。

Table 2 に温浴時間が同じで、急冷を行い、1 つは冷浴液温に等しくなつたとき打ち切り、他はその後も長時間浸漬した場合の例があるが、後者の吸収量のはるかに大となつていることから前記のことが理解される。

丸太の径の大なるものは小なるものより同一吸収量をうるには長時間を要する。これは材内の温度と吸収量との間に相関関係があるとすれば、材内温度変化速度から考えて当然である。

本実験結果では材の中心部の温度が約 60°C になるまで加熱すれば、吸収量は 100 kg/m<sup>3</sup> 以上になつており、材温がそれ以上高くなれば、それに応じて吸収量も増しており、ある程度この関係が成り立っているように見える。

#### 4. 7. 処理条件決定のための考え方

上記の材温と吸収量との関係が成立するとすれば、(1) 式と (2) 式を利用して、いろいろの温度条件で、同一樹種の各寸法の丸太の処理時間が計算により推定できるであろう。ただ、これらの関係は普遍的なも

のかどうか、まだ実験例が少ないからなんともいえないが、今後検討すべき重要な問題である。

本実験では1回の処理に1本の丸太を入れて行つた結果であるから、多数の丸太を同時に処理する場合には、各丸太の位置により、温度変化も相当異なり、一般的には温度変化速度はおそくなると考えられるので、処理時間も最も温度上昇の遅い部分の丸太を基準にして決定すべきであり、その結果として、たぶん本実験結果よりいくぶん長くなると考えられる。処理せんとする木材の中心点の温度が加熱液温に等しくなるまでの時間を測定し、それまでの時間を最長温浴時間とし、それ以上長くする必要はない。この時間まで加熱を行つて、冷却時間を十分に与えればその材にとつて最大の吸収量を示すと考えられるので、この加熱時間と吸収量を知ることにより、必要とする防腐剤吸収量、能率、同時に処理する材の量、材の樹種等を考慮して、この最長温浴時間の範囲において、温浴時間を決定すればよい。

温浴時間が決まつたならば、冷浴時間は、急冷では短くとも温浴時間に等しくするか、できれば、それより長い方が望ましい。放冷では液温が室温に等しくなるまで放置すべきである。

また、いかなる場合でも、温浴時間を多少延長するくらいならば、その代りにその時間だけ冷浴時間を延長した方が、有効であり、事情の許すかぎり冷浴時間は長い方が吸収量が多くなる。

#### 4. 摘 要

材内の温度変化を測定するには、熱電対を用いて処理時間ごとに材内温度を測定し、その温度変化と吸収量との関係を求めた。

供試材は気乾のアカマツ丸太で、末口径約 17 cm と 11 cm の 2 種類で、長さ約 190 cm のものである。供試防腐剤はジニトロフェノール・沸化ソーダ系防腐剤で、濃度 1.25 % の水溶液を用い、温浴液温は約 90°C、冷浴液温は室温を用いた。熱電対は 0.3 cm の銅・コンスタンタンを用い、測定箇所は Fig. 1 に示すように両木口より 30 cm と材の中央の 3 点で深さは半径の深さとその 1/2 の深さの 2 種類とし、1本の丸太において計 6 箇所ので測定を行つた。実験装置は Fig. 1, Phot. 1 に示す。

得られた実験結果は次のとおりである。

##### 1. 処理時間と材内温度変化

実験結果は Fig. 3, 4, 5, 6 に示す。Fig. 3, 4 は温浴後急に冷浴に移した場合であり、Fig. 5, 6 は温浴後そのまま加熱を止めて、自然に放置して冷却した場合である。これらの結果によると、直径の小さな丸太は、直径の大なるものより温度変化速度は速く、また、加熱、冷却の初期には温度変化速度は速く、終期になるとおそくなる。

以上の結果より、木材中の温度変化速度は液温と材温との差にだいたい比例するようであり (Fig. 10)、異なる直径の丸太の一定点を同一温度まで加熱するに要する時間は丸太の直径の自乗に比例するようである (Table 3)。また、丸太の中心温度を冷浴液温とほとんど等しくなるまで冷却するに必要な時間は、だいたい、加熱に要した時間に等しい。

##### 2. 処理時間と材内温度分布

軸方向の温度分布を知るために木口より 30 cm の部分と中央部との温度を測定し、Fig. 5, 6 に示したが、この 3 点には温度変化に差はなく、けつきよく、深くとも 30 cm より内部では木口の影響による温度傾斜はない。

半径方向の温度分布は加熱の初期においては、末口径 17 cm の丸太では、表面から中心までの傾斜は

Fig. 7のごとく、末口径 11 cm の丸太では Fig. 8のごとく、いずれも時間の経過とともにしだいに直線となる。冷却の場合は両者ともその初期は凸形の曲線でしだいに直線となる。

### 3. 処理時間と薬液吸収量ならびに滲潤度

急に冷却する方法では、冷浴時間（冷却時間）を温浴時間とほとんど等しくした場合、温浴時間（加熱時間）の増加とともに吸収量、滲潤度はともに増大する (Fig. 9, Table 1)。

末口径 17 cm では 6 時間、11 cm では 3 時間の温浴を与えれば、材の中心温度は液温とほとんど等しくなり、十分な吸収量と滲潤度を示す。温浴時の吸収量は全吸収量の約 1/3 であり、残りは冷浴時に吸収される。

温浴時間が短くとも、冷浴時間をその丸太の温浴時間より相当長くすると、吸収量はいちじるしく増大する (Table 2)。

急冷（急に冷却すること）と、放冷（自然に放置して、徐々に室温まで冷却すること）の 2 つの冷却法を比較すると、同一時間温浴後、急冷の方は温浴時間と同じ時間くらいで打ち切ると放冷の方が吸収量が多く、急冷後、放冷と同一時間浸漬しておけばほとんど等しい (Table 2)。

### 4. 処理条件の決定について

本処理法では、温浴時に材内温度を高くした方が吸収量は多くなり、材内温度をある高さまで上昇させ、冷浴時間をその温浴時間以上にすれば、その丸太の吸収量はある一定範囲にはいるという関係がたい成立するようである。この関係が成立すれば (2) 式を用いて処理時間をたい決定することができる。

一般には、温浴時間を多少延長させるくらいならば冷浴時間を延長させた方が効果的であり、事情の許すかぎり、冷浴時間は長い方がよい吸収量がえられる。

## 文 献

- 1) 葛岡常雄・粟野誠一：伝熱工学，(1954) p. 2~11
- 2) 満久崇麿：Studies on the Heat Conduction in Wood, 木材研究, No. 13, (1954) p. 1~80
- 3) 大沼加茂也：木材内部温度の簡易計算法（第 1 報），木材工業, Vol. 7 No. 2, (1952) p. 78~80
- 4) 同 上 : 同 上 (第 2 報), 同 上, Vol. 7 No. 3, (1952) p. 130~134
- 5) 同 上 : 同 上 (第 3 報), 同 上, Vol. 7 No. 6, (1952) p. 280~282
- 6) 林業試験場編：木材工業便覧，(1952) p. 205~207
- 7) 四位正也：木材防霉剤浸透に関する考察—温冷浴法，木材工業, Vol. 10 No. 9, (1955) p. 450~455
- 8) 田村隆・笠井幹夫：木材の耐久，(1944) p. 376~377
- 9) BLEW, J., OSCAR, Jr., and CHAMPION, FRANCIS J. : Preservative treatment of fence posts and farm timbers. U. S. Dept. Agr. Farmers, Bul. 2049, (1952) p. 33
- 10) HUNT, G. M. and GARRATT, G. A. : Wood Preservation, (1953) p. 180~189
- 11) 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
- 12) MACLEAN, J. D. : Studies of heat conduction in wood. Part II : Results of steaming green sawed southern pine timbers. A. W. P. A. Proc. Vol. 28, (1932) p. 303~330

- 13) MACLEAN, J. D. : Temperature in green southern pine timbers after various steaming periods. A. W. P. A. Proc. Vol.30, (1934) p.355~373
  - 14) MACLEAN, J. D. : Relation of wood density to rate of temperature change in wood in different heating mediums. A. W. P. A. Proc. Vol.36, (1940) p.220~248
  - 15) MACLEAN, J. D. : Rate of temperature change in short length round timbers, Amer. Soc. Mech. Engin. Trans. Vol.68, No.1, (1946) p.1~16
  - 16) MACLEAN, J.D. : Temperatures obtained in timbers when the surface temperature is changed after various periods of heating. A. W. P. A. Proc. Vol.42, (1946) p.87~139
- 

**Research for Wood Preserving Treatment (1)**  
**Temperature change in timbers heated and cooled with water**  
**solution of a preservative, and treating condition of hot and**  
**cold-bath treatment with the same solution**

SHOZI AMEMIYA and MAMORU INOUE

(Résumé)

The hot and cold-bath treatment is a method which injects preservative into wood as a result of temperature change. So in order to determine the conditions of this treatment, we measured temperature change in wood during various periods of treating with thermo-couple, and researched for the relation between the temperature change in wood and the adsorption of preservative.

The timbers used in this study were air-seasoned round timbers of AKAMATU (*Pinus densiflora*), and the dimensions were about 190cm length, and about 17cm and 11cm in diameter. The preservative used in this study was walman-salt, and the concentration of the preservative used was 1.25% water solution. The treating temperature of the solution was about 90°C in hot bath, and room temperature (20~30°C) in cold bath.

The measuring points of temperature are shown in Fig. 2. The equipment used in this treatment is shown in Fig.1 and Phot. 1.

The results obtained are summarized as follows :

1. Temperature change in timber during various periods of treating

The results obtained are shown in Fig.3, 4, 5 and 6. Fig.3 and 4 are time-temperature curves that were obtained when timbers were heated in the hot bath of the preservative maintained at 90°C, and when the timbers were rapidly cooled in the cold bath of same preservative maintained at a room temperature.

(This method is called a rapidly cooling method.)

Fig.5 and 6 are time-temperature curves that were obtained when timbers were heated in hot bath, and the timbers were allowed to remain in the preservative of the same bath while both the timbers and preservative cool, both cooling gradually from the high temperature of the hot bath to a room temperature. (This method is called a gradually cooling method.)

As shown in these figures, the rate of temperature change in the round timber of a small diameter is faster than that in the round timber of a large diameter, and the relation reported by J. D. MacLEAN almost comes into existence in these results. That is, the time required to obtain the same temperature at the same proportional distance in any two timbers diameters  $d$  and  $D$ , respectively, may be directly proportional to the squares of the diameters or squares of the radii. For example, assuming the same kind of wood and same heating conditions, if  $\theta_d$  represents the time required to obtain a given temperature at a proportional radial distance in a timber of  $d$  cm in diameter, and if  $\theta_D$  represents the time required to reach the same temperature at the same proportional radial distance in a timber of  $D$  cm in diameter, then

$$\frac{\theta_d}{\theta_D} = \frac{d^2}{D^2} \dots\dots\dots(1)$$

Heating time calculated by using the formula (1) and measured in this research are shown in Table 3.

The rate of temperature change in timber is faster in timber heated or cooled during the initial periods of heating and cooling than during the final periods. In general, the rate of temperature change in timber would be almost directly proportional to the difference between temperature of heating medium and temperature of heated timber (Fig.10).

The time of the cold bath treatment required to reach approximately the same as the temperature of cooling medium at center in the round timber is almost equal to the time required to heat the timber.

2. Temperature distribution in timber during various periods of treating

The temperature at points of 30 cm distance from two end surfaces and at the mid-portion of the length of the timber was measured to ascertain the temperature distribution [in the longitudinal direction of timber, and the results obtained are shown in Fig.5 and 6. There is no significant difference in the temperature change at these three points. Ultimately, there is no significant temperature slope to result from the effect of end heating on the inner portion above 30cm distance from the end surface in the longitudinal direction.

The temperature distributions in the radial direction of timber are shown in Fig.7 and 8 when timber was heated or cooled. As shown in Fig.7 and 8, the curves indicating

the temperature slope from the surface to center in timber become straight with the passage of time, either when the timbers were heated or cooled.

### 3. Absorption and penetration of preservative into timber after various periods of treating

When the periods of cooling on the rapidly cooling method are equal to the periods of heating, the absorption and the penetration of the preservative into timber are increased with the increase of the periods of heating. (Fig.9, Table 1)

When timber of 17 cm diameter is heated for 6 hours in hot bath, and one of 11 cm diameter is heated for 3 hours, the temperature at center of timbers is almost equal to the temperature of the heating medium in hot bath, and a large absorption and, consequently, a deep penetration are obtained by the timbers. It seems that the time required to reach the temperature of the medium at center of timber is the longest heating time for the timber in hot bath, and it is the heating time at which obtain the best effectiveness of this treatment.

On the average, timbers subjected to this treatment retain the preservative of one-third the amount of the total absorption in hot bath, and other in cold bath.

Even when the period of hot bath is short, the absorption of the preservative into timber increases remarkably if the periods are prolonged longer in cold bath than in hot bath.

The results obtained when timbers were treated by two methods of rapidly and gradually cooling are shown in Table 2. As shown in Table 2, the amount of preservative is retained more adequately by timbers on the gradually cooling method than on the rapidly cooling method, when the periods of rapidly cooling are equal to the periods of heating. However, when timbers are immersed for the same as the periods of gradually cooling after rapidly cooling, the absorption on the rapidly cooling method is equal to the absorption on the gradually cooling method.

### 4. Treating condition

For the hot and cold-bath treatment, when timbers are heated up to as high temperature as possible in hot bath, the better effectiveness of the treatment can be expected and there seems to be evident the relation that the absorption within a certain range is retained by timbers when timbers are heated up to obtain a given temperature, and cooled for longer periods in cold bath than in hot bath.

If there is this relation, treating periods for this treatment could be determined by means of the formula (1). In general, it is effective to prolong the periods of cold bath rather than the periods of hot bath, and it is desired that the periods of cold bath be as long as possible.