

# 加圧式防腐処理のための生材処理法 に関する基礎的研究

—主としてブルトン法について—

雨 宮 昭 二<sup>(1)</sup>

## 目 次

緒 言	54
第 I 編 生材処理法に関する基礎的問題の解明	57
第 1 章 防腐剤溶液で加熱された木材内の温度変化	57
1.1. 防腐剤水溶液で加熱された場合	58
1.1.1. 加熱時間と木材内の温度変化	58
1.1.2. 加熱時間と木材内の温度分布	61
1.2. クレオソート油で加熱された場合	62
1.2.1. 加熱時間と木材内の温度変化	62
1.2.2. 加熱時間と木材内の温度分布	67
1.3. 各種処理条件下の木材内の温度の推定	68
第 2 章 減圧下における木材内の圧力変化	70
2.1. 軸方向の通導性	71
2.1.1. 実験装置と実験方法	71
2.1.2. 本装置による通導係数計算法	72
2.1.3. 試験体の長さを通導係数の関係	74
2.1.4. 各樹種の通導係数	77
2.2. 放射方向・接線方向の通導性	77
2.2.1. 実験装置と実験方法	78
2.2.2. 実験結果に対する考察	79
2.2.3. 各樹種の放射方向・接線方向の通導性の比較	79
2.3. 減圧下における丸太材内の圧力変化	80
2.3.1. 実験装置と実験方法	81
2.3.2. 丸太材の軸方向の長さが変わった場合の木材内の圧力変化	82
2.3.3. 丸太材の辺材含水率が変わった場合の木材内の圧力変化	83
2.4. 生材処理法の処理過程における木材内の圧力変化	84
第 I 編の要約	86
第 II 編 生材処理法の処理技術に関する基礎的問題の解明	87
第 1 章 処理条件に関する問題	87
1.1. 実験装置と実験方法	88
1.1.1. 実験装置	88
1.1.2. 実験方法	88

(1) 木材部材質改良科防腐研究室・農学博士

1. 2. 排気度・加熱温度と脱水量の関係.....	89
1. 2. 1. 6時間後の脱水量による排気度と加熱温度の分散分析の結果.....	89
1. 2. 2. 20時間後の脱水量による排気度と加熱温度の分散分析の結果.....	90
1. 2. 3. 各処理条件と脱水経過.....	91
1. 3. 処理装置各部の温度変化.....	92
1. 4. 脱水工程中の木材内の温度変化の推定.....	94
1. 5. 排気度・加熱温度決定のための指針.....	96
第2章 木材条件に関する問題.....	96
2. 1. 木材の初期含水率.....	97
2. 1. 1. 脱水速度・脱水量の時間的变化.....	99
2. 1. 2. 木材の含有水分量と脱水時間との関係.....	99
2. 2. 木材の寸法.....	100
2. 3. 処理前と処理後における木材の含水率変化.....	102
2. 3. 1. 成長錐試片による測定含水率と真の木材含水率.....	103
2. 3. 2. 丸太材各部の処理前と処理後の木材含水率の相関関係.....	104
2. 3. 3. 1本の丸太材内の処理による含水率変化.....	105
第3章 プルトン法に使用されたクレオソート油の変質.....	107
3. 1. 処理中に留出するクレオソート油の留分.....	107
3. 2. 脱水量とクレオソート油の変質.....	108
第4章 生材処理法における標準作業時間の決定法.....	110
4. 1. 処理条件と作業時間.....	110
4. 2. 木材条件と作業時間.....	112
4. 3. 各種条件が変わった場合の作業時間の推定.....	113
第Ⅱ編の要約.....	115
総括と結論.....	117
文 献.....	120

## 結 言

木材防腐処理法には各種の方法があるが、そのなかで古くから最も多く利用され、研究されて、作業基準もほぼ確立しているのは加圧式防腐処理法である。

それゆえ、木材防腐処理の分野における最近の研究動向の重点はつぎに示す4項目に移っている。

- (1) 簡易防腐処理法の作業基準の確立
- (2) 難注入材の処理法
- (3) 各種処理法における浸透促進法
- (4) 生材処理法の作業基準の確立

(1)の項目については、外国においても最近10年間にかなりの報告が発表されているが、具体的な作業基準となるとやはり国産樹種の結果によらなければ無意味であるから、著者らは各簡易処理法における問題点を取りあげて、国産樹種を使ってその間における法則性を明らかにし、その他作業基準確立のための多くの資料を求め、かなりの成果をえている<sup>1)~26)</sup>。

(2)の難注入材といわれるものは、大部分が各樹種の心材であるから、著者らは心材注入の可能な処理法は難注入材の処理法としても適用できるという考え方にたって、ブナ偽心材に対して、高圧注入処理法を適用し、この方法が広葉樹の難注入材に対して、十分に有効なものであることを確かめた<sup>27)</sup>。

(3)については、各国においてもまだ顕著な成果をえていないが、著者はその糸口となる浸漬法における超音波による浸透促進の可能性が十分存在することを明らかにした<sup>28)</sup>。ただこの項目の分野はこれからも発展させてゆかねばならない重要な問題を数多く含んでいる。

(4)については、加圧式防腐処理ならびにそれを行なう防腐処理工場の合理化という意味からも生材処理法の作業基準の確立は最も重要な問題であるが、それらに関する資料はわが国では、枕木に関しては多少あるとしても、木柱に関してはほとんどないので、防腐処理の分野において、この問題の解明は急を要する問題と考えられる。このような背景下において、著者らは生材処理法の基礎的な問題の解明に努め、基本的な作業基準の指針を明らかにしたので、それらの結果をまとめて報告する。

生材処理法は大別すると水溶性防腐剤を用いる方法と油性防腐剤のための方法との2つがある。前者に属する方法のうちで主なもののは落差式注入法（最近の日本工業規格では木口加圧法という）、拡散法そして交替加圧法などがあり、後者に属する方法ではブルトン法、スチーミング・アンド・バキューム法そしてペーパー・ドライン法などがある。

前者の方法は生材そのもののがもっている水分を利用して薬剤を注入する方法であって、これらの方法そのものが1つの独立した防腐処理法となっている。

これに対して後者に属する方法は前者の方法と全く異なり、木材中の水分をできるだけ短時間に能率よく取り去り、加圧式防腐処理法によって油性防腐剤を注入するのに適する状態まで乾燥させる方法であって、必ず加圧式防腐処理法をつづいて併用しなければならない。けっきょく、これらの方法は加圧式防腐処理法のための前処理法的なもので、その処理技術の内容からみれば特殊な真空乾燥法である。

前者に属する処理法のうち拡散法については、方法そのものは古くからある方法ではあるが、わが国ではほとんど利用されなかった。しかし、この方法は簡易に、しかもかなりの薬剤の浸透が期待できるという特徴があるので、著者によりはじめて取りあげられ、その作業基準を確立し<sup>27)~57)(11)(13)(18)(22)</sup>、その普及に努めた結果、最近では各所で利用されている。

後者に属する方法のうち、ブルトン法は1879年に発明されており、その他の方法も方法として確立したのはかなり以前からであり、実用的にも米国では多く用いられているが、いずれの方法もわが国では今日まではほとんど利用されていない。

今日までの防腐処理工場をみると、広い貯木場に防腐処理を施さんとする木材を野積みして、枕木で3か月以上、電柱用素材で6か月～1か年のあいだ風雨にさらして天然乾燥を行なっている。そのため木材そのものは乾燥するまでに腐朽、虫害などにより品質がいちじるしく低下するが多い。また乾燥期間の資金の固定化、金利の負担、さらに工場敷地の無駄など、不合理な点が非常に多い。

このような不合理さをなくすためには、天然乾燥期間をできるだけ短くして、短期間で防腐処理を行なうようにすることである。その有力な手段として生材処理法がある。

著者としても油性防腐剤を用いる加圧式防腐処理は生材処理法との併用が将来の進むべき道であり、わが国の防腐工場において、すみやかに生材処理法を採用させるために、その作業基準の確立が急務であると考えた。

また木材防腐処理の分野においても、このような状況を背景として、生材処理法に関する報告が最近多く発表されるようになってきた。とくに清水敬二らにより枕木に関する各種生材処理法の検討が行なわれている<sup>29)~38)</sup>。その発展の過程をみると、はじめは脱水工程と加圧工程の2本立であったが、最近複式加

圧法を採用することにより、加圧工程のみにおいて脱水をもかねることが可能であることが明らかになって、生材枕木の防腐処理に関する研究が進展しつつある。

このように枕木に関しては生材の処理法に関する作業基準の確立がしだいに可能になってきたが、長い木柱とくに電柱用の材料の生材処理法に関しては、わが国においてまだほとんど研究成果が発表されず、空白状態がつづいている。しかし、実際問題としては、長い丸太材ほど天然乾燥期間が長くて、不合理な点が多いから、当然このような材料に対してこそ生材処理法を施して、短期間に防腐処理を完成させることが望ましいことである。

以上のように、枕木に関してはかなり研究成果が発表されているということと、最も生材処理法の適用が必要と考えられる長い丸太材に関する研究成果がない、という2つの理由から、著者は長い丸太材を対象とする生材処理法の検討を行なったのである。

ただ、加圧式防腐処理のための生材処理法には3つの方法があるが、そのなかでまず第1に取りあげたのは技術的にも、経済的にも、わが国において、最もとり入れやすいと考えられるブルトン法である。この方法を中心にして、しかも電柱用素材として大部分を占めているスギ丸太を使って、処理技術の解明に努めた。

これらの3つの生材処理法の加熱媒体としては、ブルトン法ではクレオソート油、スチーミング・アンド・バキューム法は過熱水蒸気、ペーパー・ドライン法は有機溶媒とそれぞれ異なっているが、原理はいずれも真空乾燥の一種であるから、基礎的な諸問題に関しては共通点が多く、ブルトン法処理によりえられた結果でも、他の処理法の場合に応用できるものと考えられる。

本論文の構成は第Ⅰ編と第Ⅱ編とからなっていて、第Ⅰ編においては防腐処理、生材処理の各過程において、解明の基礎となる木材内の温度変化、圧力変化をとりあげた。

木材内の温度変化については、丸太材の温度変化を中心にして、加熱時間と温度変化における各種の法則または実験式の成立することを明らかにし、各種の処理条件下における木材内各部の温度の推定を可能ならしめた。

また、処理過程中の木材内の圧力変化を知るために、まず減圧下にある小試片の軸方向・放射方向・接線方向の各通導性を明らかにし、さらに減圧下における長い丸太材内の圧力変化を求め、軸方向の長さならびに辺材含水率の変化にともなう、内部の圧力変化を明らかにして、生材処理法の処理過程における丸太材内の圧力変化を明らかにした。

以上のように第Ⅰ編においては生材処理法のみならず、防腐処理法全般に共通な基礎的問題を取りあげて解明を加え、多くの新しい知見をえたが、これらの結果は第Ⅱ編における処理結果の解析に、処理技術の解明に有効な資料となるとともに、他の防腐処理法の解明のためにも有効な情報を提供するものと信じる。

第Ⅱ編においては、第Ⅰ編の結果を基礎として、主として処理技術の解明を行なった。まず処理条件として排気度・加熱温度と脱水量との関係を求めることにより、処理条件決定に対する指針を明らかにし、さらに木材条件と処理結果に関する各種の法則性を求めて、各種の処理条件、木材条件における作業時間の推定を可能ならしめた。

以上のように、第Ⅰ編、第Ⅱ編を通じて、できるだけ樹種をはなれて、丸太材という形から生じる各種の法則性を明らかにし、それらから各因子間の関係をあらわす近似的な実験式を導くことを中心にして、

生材処理法における処理技術の基礎的な諸問題に関する作業基準の指針を求めることを本研究の目的とした。

本研究を行なうにあたり、終始実験にご協力をいただいた木材部防腐研究室井上 衛技官ならびに応用研究室高橋武夫技官に対し、また本論文をまとめるにあたりご指導を賜った東京大学農学部、農学博士芝本武夫先生、農学博士平井信二先生ならびに農学博士北原覚一先生に対し深甚の謝意を表す。

最後に、本研究の推進にあたり種々ご援助を賜った防腐研究室各位ならびに木材部の関係各位に対して厚く感謝の意を表す。

## 第 I 編 生材処理法に関する基礎的問題の解明

生材処理法であるブルトン法、スチーミング・アンド・バキューム法、ペーパー・ドライイング法などともに木材を加熱して、減圧下において木材中より水分を脱水乾燥するという点では共通している。

それゆえに、本編においてはこれらの処理法解明の基礎となるつぎの2つの問題を主として取りあげた。

(1) 木材が加熱されたときに、その内部の各点の温度が時間の経過とともにいかに変化するか、またその温度分布がどのようになるか。

(2) 木材が減圧下におかれたときに、木材の内部の圧力は時間の経過とともにいかに変化するか。

これらの2つ問題を解明することは、生材処理法の処理条件の決定や、処理技術の改善のための基礎資料として役だつのみならず、加圧式処理や温冷浴処理などの防腐処理法の処理技術の解明のための資料としても有用なものであると信じる。

## 第 1 章 防腐剤溶液で加熱された木材内の温度変化

木材工業の各分野において、木材を加熱するという工程は非常に多いので、木材内の温度変化、熱伝導率、熱拡散率などの測定値が多く報告されている。

例えば、J. D. MACLEAN は長年にわたり、熱伝導に関する係数の測定<sup>39)40)</sup>、各加熱媒体による木材内の温度変化<sup>41)42)44)</sup>、木材の形状による温度変化<sup>43)</sup>などの問題について、主として防腐処理と関連させて多くの報告を発表している<sup>45)</sup>。また、満久崇麿により熱伝導方程式より木材の温度上昇経過を計算的にもとめる試みが行なわれた<sup>46)</sup>。大沼加茂也はさらにこの式の特殊解の近似式を求め、木材の中心温度のみを求める式に置換して、ある一定の基準条件の温度変化曲線から、他の任意条件の木材内の温度をノモグラフにより簡易に計算する方法を提案している<sup>47)</sup>。

ただ、わが国においては、大形の丸太材を使って、実際に測定した結果がなかったので、本実験においては丸太材に関する実測値を求め、それらの結果において熱伝導に関する各種の関係式が成立することを確認し、防腐処理または生材処理工程中における木材内の温度変化を推定するための基礎資料を求めることを目的とした。

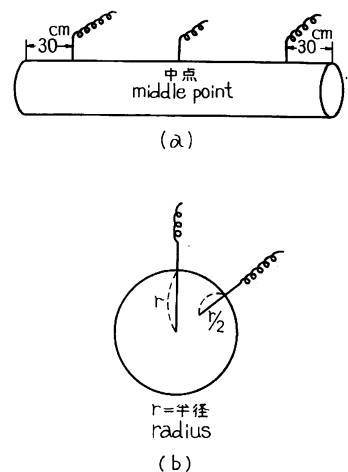


Fig. 1 木材内温度測定点  
Measuring points of temperature  
in timber.

このような目的のため、加熱媒体としては防腐剤水溶液とクレオソート油の2種類を用い、木材としては丸太材を用いた。

温度測定のためには径 0.3 mm の銅・コンスタンタンの熱電対を用いた。Fig. 1 (a) のように、両木口面から 30 cm の部分と丸太材の長さの midpoint の3か所において、Fig. 1 (b) のように、半径の深さと、半径の 1/2 の深さの2つの孔を放射方向にあけて、その孔に熱電対をさしこみ、液の浸透を防止するため、その孔を合成樹脂で完全に封鎖した。

このようにして、開槽の浸漬槽のなかに丸太材を入れ、大気圧下における温度変化を測定した。

### 1.1. 防腐剤水溶液で加熱された場合<sup>10)</sup>

使用した溶液はフェノール類・無機フッ化物系防腐剤の 1.25% 水溶液で、あらかじめ別なタンクで 90°C に加熱しておいた液を、開槽式の浸漬槽に移して丸太材を加熱する。液面は丸太材の上端より約 10 cm 上にあるようにし、時間がたつて蒸発により液面が低下した場合には、同じ液を追加して、つねはじめに近い状態を保持した。

実験に使用した木材はアカマツ丸太で、容積重は 450~550 kg/m<sup>3</sup> の範囲、辺材部はほぼ気乾状態の含水率で、節やひわれなどの欠点が多いものである。丸太材の長さは約 190 cm、末口径は約 16~18 cm と 10~12 cm の2種類のもの、末口径と元口径とは大きな差はなかった。

#### 1.1.1. 加熱時間と木材内の温度変化

加熱温度はつねに 90°C として行なったが、木材の初期温度は実験時の室温によりまちまちであるため、各丸太の温度変化を比較する際に不便であるから、測定値を(4)式を用いて、木材の初期温度が 15°C のときの値に換算してあらわした。

Fig. 2 に示すように、末口径 17 cm の丸太材では、半径の深さの点の温度上昇は加熱開始後 30 分ま

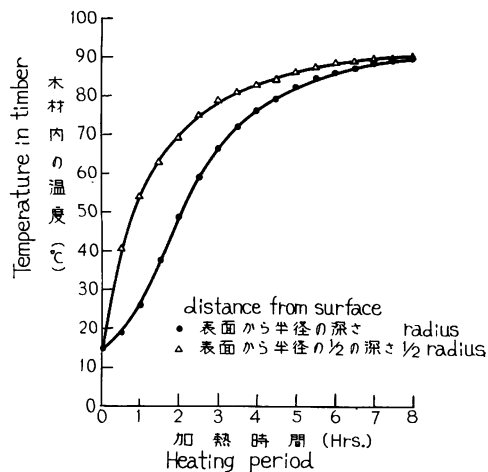


Fig. 2 防腐剤水溶液で加熱した場合のアカマツ丸太内の温度変化 (末口径 17 cm)

Temperature change in Akamatsu timber heated in solution of a water born preservative.

加熱温度 Heating temperature: 90°C

末口径 Dia. of top end: 17 cm

長さ Length: 190 cm

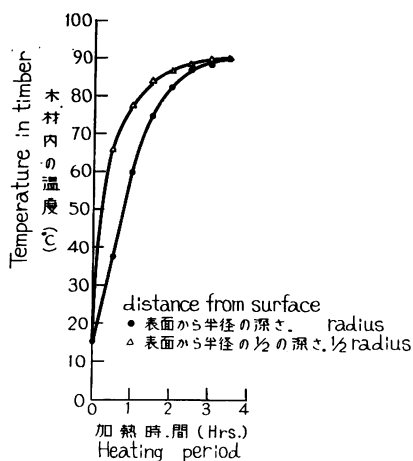


Fig. 3 防腐剤水溶液で加熱した場合のアカマツ丸太内の温度変化 (末口径 11 cm)

Temperature change in Akamatsu timber heated in solution of a water born preservative.

加熱温度 Heating temperature: 90°C

末口径 Dia. of top end: 11 cm

長さ Length: 190 cm

ではあまり急激でないが、それ以後約4時間、その点の温度が80°Cに達するまでは相当急激となり、1時間あたり10~20°Cの速度で上昇しているが、それ以後しだいに緩慢となって、1時間で5°C以下の速度に低下し、7~8時間で液温の90°Cに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、ただちに急激に温度が上昇し、最初の1時間で40°Cの温度上昇を示す。また、その部分の温度が約80°Cに達するまでの時間は約3時間で、その後はやはり温度上昇速度は緩慢となり、半径の深さの点との温度差もしだいに小さくなり、6~7時間で液温の90°Cにほとんど等しくなる。

Fig. 3 に示すように、末口径11cmの丸太材では、末口径17cmの丸太材よりその内部の温度上昇はかなりはやく、80°Cの温度に達するのに、半径の深さの点では2時間、半径の1/2の深さの点では1時間であり、液温とほとんど等しくなるのは2~3時間である。

以上のような実験結果から、温度上昇速度は加熱温度と木材内の温度との差が大きいほど大きく、その差が小さくなるにしたがって、しだいに小さくなっていることは明らかである。この関係は理論的に大沼<sup>47)</sup>が求めた木材の中心温度を求めるつぎのような近似式からも導きだされる。

$$\frac{\theta_1 - \theta_m}{\theta_1 - \theta_0} \cong 1.60 e^{-\alpha \left( \frac{\lambda_1}{r} \right)^2 t} \dots\dots\dots (1)$$

$\theta_1$  : 加熱温度 °C

$\theta_0$  : 木材の初期温度 °C

$\theta_m$  : 木材の中心温度 °C

$\alpha$  : 木材の熱拡散率 m<sup>2</sup>/hr

$\lambda_1$  : 木材と加熱媒体の熱伝導率と丸太材の半径によってきまる値

$r$  : 丸太材の半径

$t$  : 加熱時間 hrs.

(1) 式の対数は

$$\log \frac{\theta_1 - \theta_m}{\theta_1 - \theta_0} = -\alpha \left( \frac{\lambda_1}{r} \right)^2 t + \log 1.60 \dots\dots\dots (2)$$

(2) 式を  $t$  で微分すると

$$\frac{d\theta_m}{dt} = K \left( \frac{\theta_1 - \theta_m}{\theta_1 - \theta_0} \right) \dots\dots\dots (3)$$

$K$  :  $\alpha \left( \frac{\lambda_1}{r} \right)^2 \cdot (\theta_1 - \theta_0)$  に相当する常数

けっきょく、(3) 式からわかるように、温度上昇速度は加熱温度と木材の中心温度の差に比例することは明らかである<sup>46)48)</sup>。

Fig. 2 と 3 の丸太材の中心温度の測定値から縦軸に  $(\theta_1 - \theta_m)/(\theta_1 - \theta_0)$  の対数を、横軸に加熱時間をとると、Fig. 4 に示すように、加熱初期と終期を除けば、ほぼ直線となって、(2) 式の関係が成立することを示している。

同一材料であれば、(1) 式の右辺はつねに等しいので、基準条件と任意条件におけるつぎのような関係式が成立することになる<sup>39)40)41)47)</sup>。

$$\frac{\theta_1 - \theta_m}{\theta_1 - \theta_0} = \frac{\theta_1' - \theta_m'}{\theta_1' - \theta_0'} \dots\dots\dots (4)$$

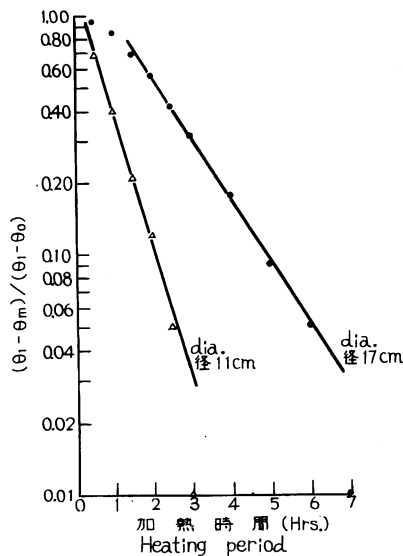


Fig. 4 加熱時間と  $(\theta_1 - \theta_m) / (\theta_1 - \theta_0)$  との関係

Relation between heating period and  $(\theta_1 - \theta_m) / (\theta_1 - \theta_0)$ .

加熱温度 Heating temperature  $\theta_1$ : 90°C

丸太材の初期温度 Initial temperature  $\theta_0$ : 15°C

中心温度 Temperature at center of timber  $\theta_m$

樹種 Species: Akamatsu

(4) 式によれば、基準条件下の木材の中心温度変化を実測しておけば、任意の加熱条件における木材の中心温度を計算によって推定することができる。

丸太材の半径の深さあるいは半径の 1/2 の深さのように、各材の表面からの距離と半径との比が等しいある定点の温度上昇は Fig. 2 と 3 の結果でも明かなように、小径木より大径木の方が同一温度に達するには長時間を要する。

この間の関係は熱伝導方程式の相似則からつぎのような関係式が成立するといわれている<sup>39)41)45)47)</sup>。

$$\frac{t_s}{t} = \frac{d_s^2 \alpha}{d^2 \alpha_s} \dots \dots \dots (5)$$

$t_s$ : 直径  $d_s$  なる丸太材の一定点がある一定の温度に達するまでの加熱時間。

$t$ : 直径  $d$  なる丸太材の一定点が直径  $d_s$  の材の同じ点と同一の温度に達するまでの加熱時間。

$\alpha_s$ : 直径  $d_s$  なる丸太材の熱拡散率

$\alpha$ : 直径  $d$  なる丸太材の熱拡散率

ただし、同一樹種の材で比重がほとんど等しく、丸太材の直径のみが異なる場合にはそのおのの熱拡散率  $\alpha$  はほとんど等しいと考えることができるから、(5) 式は次式のようになる。

$$\frac{t_s}{t} = \frac{d_s^2}{d^2} \dots \dots \dots (5')$$

ある直径の丸太材の実測値から、それと同一樹種で比重のほとんど等しいと考えられる他の直径の丸太材の実測値と計算値を比較してみると Table 1 のとおりである。

このように、実測値と計算値とがほとんど等しくなって、(5') 式が成立することは明らかである。

Table 1. 異なる直径のアカマツ丸太の中心が同一温度に達するまでの加熱時間

$\left( \frac{t_s}{t} = \frac{d_s^2}{d^2} \right)$  による計算値と実測値

Heating periods by that temperatures at center of Akamatsu timbers of variable diameter reach to the same temperature.

(Periods calculated with  $\frac{t_s}{t} = \frac{d_s^2}{d^2}$  and periods measured.)

丸太材の中心温度 °C Temperature at center of timber		60	70	74	80	82	87
基準直径 $d_s = 11$ cm	実測値 Measured $t_s$ hrs.	1	1.3	1.5	1.9	2	2.5
	任意直径 $d = 17$ cm						
	実測値 Measured hrs.	2.5	3.3	3.7	4.6	4.9	6.1
	計算値 Calculated $t$ hrs.	2.4	3.1	3.6	4.5	4.8	6.0

注. 加熱媒体: 防腐剤水溶液, 加熱温度: 90°C

Note. Heating medium: Solution of water born preservative. Heating temperature: 90°C



## 1.1.2. 加熱時間と木材内の温度分布

## 軸方向の温度分布

温度測定点として Fig. 1 に示すように、両木口面から 30 cm の点と丸太材の長さの midpoint との 3 箇所をえらんで温度変化を比較した。その結果の 1 例として、末口径 17 cm、元口径 18.5 cm の丸太材の測定結果を Fig. 5 に示す。

この結果からも明らかなように、3 箇所における温度変化は大差なく、ほとんど中点における温度変化と等しかった。さらに木口面に近い部分の温度変化は測定しなかったから、木口面より軸方向の温度分布を明確にすることはできなかったが、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った。

J. D. MACLEAN の実験結果によると<sup>43)45)</sup>、直径約 30 cm の丸太材を 5 時間加熱した場合、木口面より約 30 cm の部分までは木口面よりの温度伝導の影響をうけて温度傾斜があり、それより深部は木口面よりの温度伝導の影響は認められず、木口面から軸方向へ温度の伝導する深さは木口面積に比例すると報告している。

これらの結果を参考にすれば、本実験に使用した丸太材の径は大きくとも 18 cm であるから、その大きさの木口面よりの軸方向への温度の伝導する深さは明らかに 30 cm より短くなるであろう。そのために測定結果において、3 箇所の温度変化において、ほとんど差がなかったのも当然である。

## 放射方向の温度分布

表面から半径の深さと、半径の 1/2 の深さの 2 点の温度変化を Fig. 2, 3, 5, でみると、いずれにおいても、表面からの深さが浅い方が温度上昇ははやくなっている。

これらの測定結果を用い、木材の表面温度が加熱温度に等しいと仮定して、各加熱時間ごとの放射方向における温度分布を示すと Fig. 6 のようになる。

Fig. 6 をみると末口径 17 cm の丸太

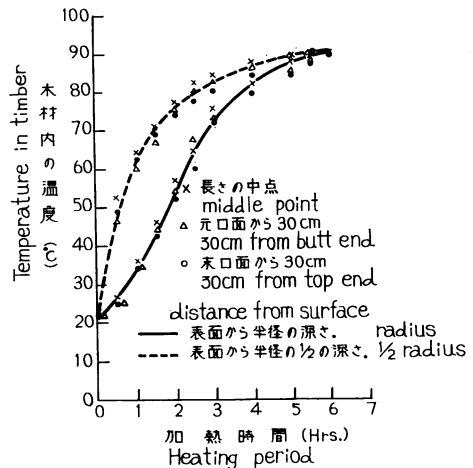


Fig. 5 防腐剤水溶液で加熱したアカマツ丸太各部の温度変化の一例

An example of temperature change in various points of Akamatsu timber heated in solution of a water born preservative.

加熱温度 Heating temperature: 90°C  
末口径 Dia. of top end: 17 cm  
元口径 Dia. of butt end: 18.5 cm  
長さ Length: 190 cm

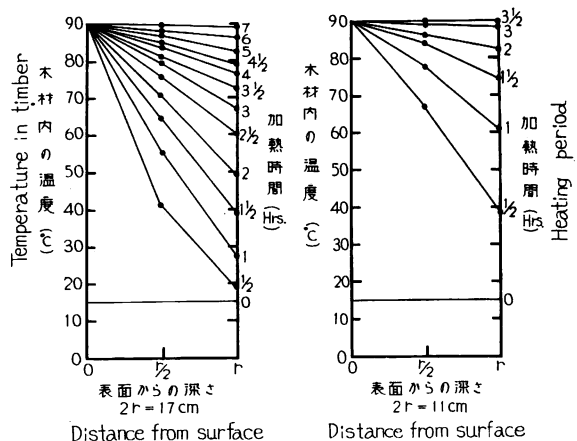


Fig. 6 防腐剤水溶液で加熱したアカマツ丸太の放射方向の各点の温度

Temperature at various points in radial direction of Akamatsu timber heated in solution of a water born preservative after various heating periods.

加熱温度 Heating temperature: 90°C  
木材の初期温度 Initial temperature of timber: 15°C

材では、加熱開始後約 1 時間までは、表面から中心までの温度分布曲線は凹形の曲線となり、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。

一般に放射方向の温度分布曲線は放物線的な形をとるといわれているから、Fig. 6 の末口径 17 cm の温度分布曲線がはじめ凹形になるのは当然であろう。ただ末口径 11 cm の場合に凸形になったが、ひわれなどの欠点の多い丸太材の結果であるからやむをえないが、本質的には凹形になるはずである。

末口径 17 cm の場合、加熱時間が約 1 時間をすぎると、各加熱時間ごとの表面から半径の深さの点の温度と、半径の 1/2 の深さの点の温度を結ぶ直線の延長と表面の位置と交わる点の温度が大体液温の 90°C 近くに集まっている。このことは理論的な放射方向の温度分布が放物線的な形を示すということと矛盾するかもしれないが、欠点の多い丸太材の実測値としてこのような結果がえられたことは興味深い。

木材の表面温度を実測することは非常に困難であるから、一般には加熱温度を木材の表面温度とみなしている。しかし、実大の丸太材の場合には近似的に上記のような結果がえられたことは表面温度の推定に非常に役立つものである。

## 1. 2. クレオソート油で加熱された場合<sup>14)</sup>

加熱方法は防腐剤水溶液の場合と全く同じ方法で行なった。実験に使用した木材はアカマツ、スギ、ブナの丸太材で、辺材部はほぼ気乾状態の含水率のものを主として用いた。そのため節やひわれなどの欠点の多い丸太材である。丸太材の長さは約 190 cm、末口径はアカマツ、スギについては 16~18 cm と、10~12 cm の 2 種類のものを用いた。

これとはべつに、生材の温度変化を知るために、長期間貯木池につけて、辺材部が 200~250% の含水率のスギ丸太を用いた。

### 1. 2. 1. 加熱時間と木材内の温度変化

#### 気乾材の場合

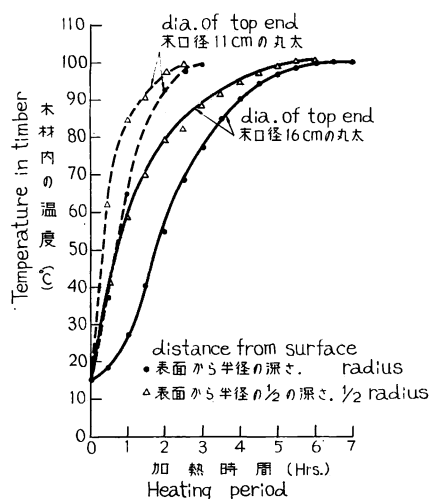


Fig. 7 クレオソート油で加熱した場合のアカマツ丸太内の温度変化  
Temperature change in Akamatsu timber heated in creosote oil.  
加熱温度 Heating temperature : 110°C

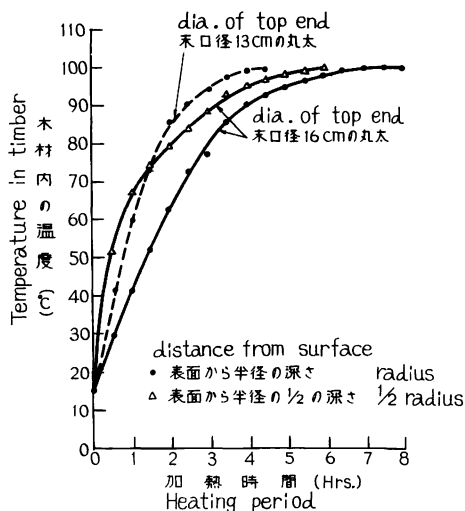


Fig. 8 クレオソート油で加熱した場合のスギ丸太内の温度変化  
Temperature change in Sugi timber heated in creosote oil.  
加熱温度 Heating temperature : 110°C

加熱温度はつねに  $110^{\circ}\text{C}$  として行ない、木材の初期温度は  $15^{\circ}\text{C}$  に換算してあらわした。

Fig. 7 はアカマツ丸太, Fig. 8 はスギ丸太, Fig. 9 はブナ丸太の長さの中間部分における温度変化を示している。

これらの場合も、水溶液で加熱した結果と同じように、半径の深さの点の温度上昇は半径の  $1/2$  の深さの点の温度上昇に比べておそくなっている。また末口径の大きいものは小さいものに比べて、各部分の温度上昇はやはりおそくなっている。

温度上昇速度の時間的変化も、水溶液で加熱された場合と同じような変化を示している。ただ、異なるところは水溶液で加熱した場合は加熱温度が  $90^{\circ}\text{C}$  であるから、ある時間以上加熱していると、木材内各部の温度はしだいに液温の  $90^{\circ}\text{C}$  に漸近してきたが、クレオソート油で加熱した場合、加熱温度が  $110^{\circ}\text{C}$  であるにもかかわらず、かなりの長い時間が経過しても加熱温度の  $110^{\circ}\text{C}$  に達せず、 $100^{\circ}\text{C}$  に漸近して、そのあとは  $100^{\circ}\text{C}$  を長時間保持している。

この問題解明のために、末口径 16 cm のスギ丸太を用いて、長時間の加熱を行なった結果をつぎに記す。

加熱開始より約 6 時間で、表面から半径の  $1/2$  の深さの点が  $100^{\circ}\text{C}$  に達し、約 1 時間おくれて、半径の深さの点が  $100^{\circ}\text{C}$  に達する。この 2 点が数時間  $100^{\circ}\text{C}$  を保持しつづけた後に、半径の  $1/2$  の深さの点が数時間で約  $2^{\circ}\text{C}$  の割合で非常にゆっくりと温度の上昇をはじめる。しかるに、半径の深さの点は相変わらず  $100^{\circ}\text{C}$  を保持しつづけて、15 時間加熱しても、この 2 つの測定点は加熱温度の  $110^{\circ}\text{C}$  に達しなかった。

これらの結果から、つぎのようなことが推定される。

加熱温度が  $100^{\circ}\text{C}$  より高い場合には、たとえ気乾材でも木材内の温度は木材中に存在している水の沸点（約  $100^{\circ}\text{C}$ ）によってかなり長時間支配され、表面からしだいに乾燥してきてはじめて、表層から加熱温度に近づいてゆくが、木材内部から蒸発した水蒸気が表面に向かってでてゆくから、その影響をうけて表面に近い部分でも加熱温度に漸近する速度は非常に緩慢となる。

クレオソート油で加熱の場合も、実験結果から明らかなように、水溶液で加熱した場合と同じように、木材内の各部分の温度上昇速度は加熱温度と木材内の各部分の温度との差に比例して、(1) (2) (3) 式の関係が成立すると考えられる。ただ、これらの式の加熱温度  $\theta_1$  をクレオソート油の温度  $110^{\circ}\text{C}$  とするか、水の沸点の  $100^{\circ}\text{C}$  とするか問題である。

そのため各樹種の中心点の測定温度  $\theta_m$  を用いて、加熱温度  $\theta_1$  を  $110^{\circ}\text{C}$  と  $100^{\circ}\text{C}$  の 2 つの場合に

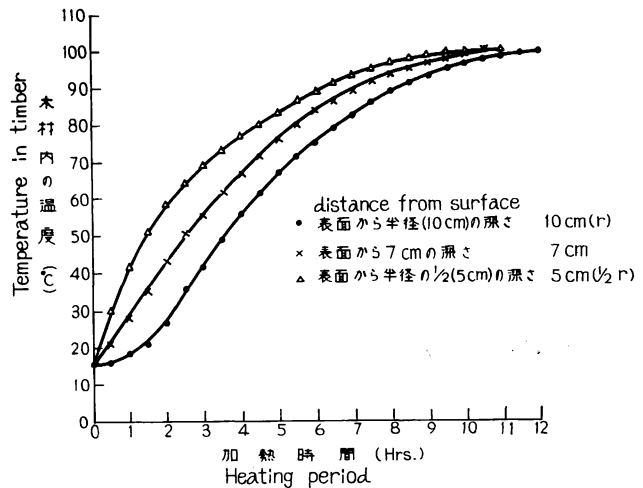


Fig. 9 クレオソート油で加熱した場合のブナ丸太内の温度変化  
Temperature change in Buna timber heated in creosote oil.  
加熱温度 Heating temperature:  $110^{\circ}\text{C}$

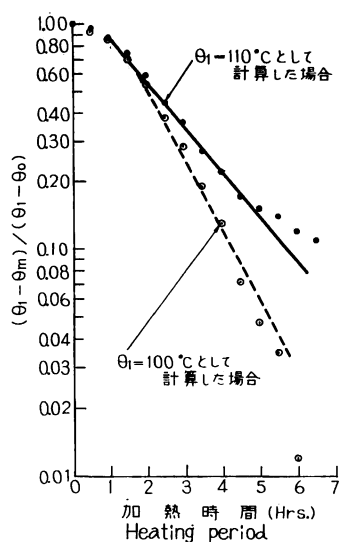


Fig. 10 クレオソート油で加熱した場合のア  
カマツ丸太の  $(\theta_1 - \theta_m)/(\theta_1 - \theta_0)$  と加熱  
時間との関係

Relation between heating period and  $(\theta_1 - \theta_m)/(\theta_1 - \theta_0)$  on Akamatsu timber heated in creosote oil.

加熱温度 Heating temperature :  $110^\circ\text{C}$   
末口径 Dia. of top end : 16 cm.

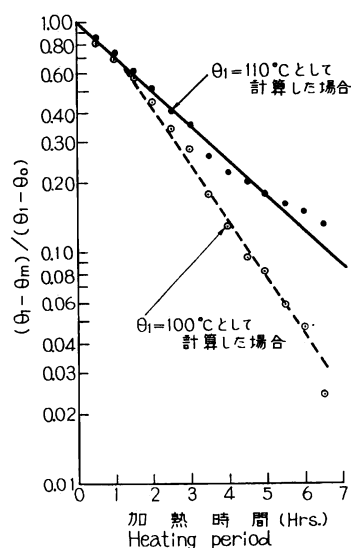


Fig. 11 クレオソート油で加熱した場合のス  
ギ丸太の  $(\theta_1 - \theta_m)/(\theta_1 - \theta_0)$  と加熱時間  
との関係

Relation between heating period and  $(\theta_1 - \theta_m)/(\theta_1 - \theta_0)$  on Sugi timber heated in creosote oil.

加熱温度 Heating temperature :  $110^\circ\text{C}$   
末口径 Dia. of top end : 16 cm

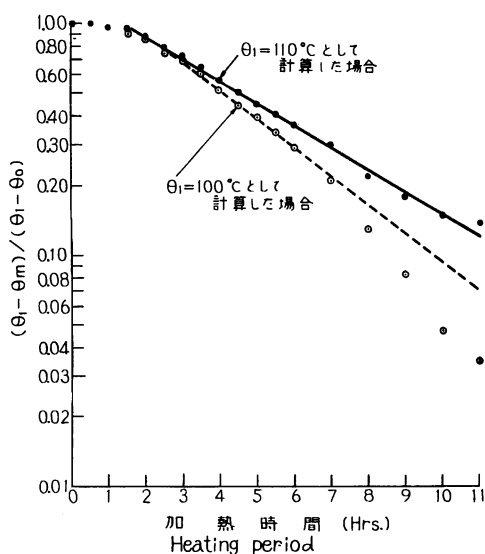


Fig. 12 クレオソート油で加熱した場合のブナ丸太  
の  $(\theta_1 - \theta_m)/(\theta_1 - \theta_0)$  と加熱時間との関係  
Relation between heating period and  $(\theta_1 - \theta_m)/(\theta_1 - \theta_0)$  on Buna timber heated in creosote oil.

加熱温度 Heating temperature :  $110^\circ\text{C}$   
末口径 Dia. of top end : 20 cm.

ついて、 $(\theta_1 - \theta_m)/(\theta_1 - \theta_0)$  の値を計算して、加熱時間との関係を示すと Fig. 10, 11, 12 のとおりである。アカマツとスギの場合は  $\theta_1$  を  $100^\circ\text{C}$  として計算した方が、各点の大部分が一直線上にのる。ただ、ブナの場合は  $\theta_1$  を  $110^\circ\text{C}$  とした方がより多くの点が一直線にのっている。このように  $(\theta_1 - \theta_m)/(\theta_1 - \theta_0)$  の対数が加熱時間と直線的関係にあるということは、(1) (2) (3) 式が成立することを意味しているのであるから、両者の関係を示す点ができるだけ多く同一直線上に乗るような  $\theta_1$  の値が、これらの多くの木材内の温度変化を適確に示していると考えてよいであろう。

このような考え方と、実験結果で示したように、木材内の温度変化はあたかもそのときの水の沸点温度で加熱されたと同じような温

度変化を示すということから、アカマツ、スギのような場合には  $\theta_1$  を  $100^\circ\text{C}$  として計算した方が適当であると考えられる。

それがため、 $\theta_1$  を  $100^\circ\text{C}$  として (1) (2) (3) 式が成立するならば、当然 (4) 式も  $\theta_1$  を  $100^\circ\text{C}$  として成立することになる。

本実験に使用した丸太材のうち、アカマツ丸太は水溶液で加熱したときに使用した丸太材と同じ材料であるから、Fig. 2 と Fig. 7 の各加熱時間ごとの木材の中心温度を同一加熱条件に換算してみると、明らかに水溶液で加熱した方が温度上昇ははやい。けっきょく、木材中の同じ部分を同一温度まで加熱するのに要する時間は水溶液の方がクレオソート油の加熱時間より 5~10% はやいようである。J. D. MACLEAN によっても、このような結果がすでに発表されている<sup>43)45)</sup>。

同一樹種で比重がほとんど等しいと考えられる直径の異なる丸太材の中心点その他の半径と表面からの距離の比が等しい点の同一温度に達するまでの加熱時間は水溶液で加熱した場合と同じく、Table 2 に示すように実測値と計算値がほとんど等しくなり、(5') 式が成立することを示している。

Table 2. 異なる直径の丸太材の中心が同一温度に達するまでの加熱時間

$$\left( \frac{t_s}{t} = \frac{d_s^2}{d^2} \text{ による計算値と実測値} \right)$$

Heating periods by that temperatures at center of timbers of variable diameter reach to the same temperature.

(Periods calculated with  $\frac{t_s}{t} = \frac{d_s^2}{d^2}$  and periods measured)

スギ Sugi	丸太材の中心温度 $^\circ\text{C}$ Temperature at center of timber		59	70	86	93	98
	基準直径 $d_s = 13 \text{ cm}$	実測値 $t_s$ hrs. Measured	1.0	1.4	2.0	3.0	4.0
	任意直径 $d = 17 \text{ cm}$	実測値 Measured	1.8	2.5	3.6	5.0	6.5
		計算値 Calculated	1.7	2.4	3.4	5.1	6.8
アカマツ Akamatsu	丸太材の中心温度 $^\circ\text{C}$ Temperature at center of timber		64	81	92		
	基準直径 $d_s = 11 \text{ cm}$	実測値 $t_s$ hrs. Measured	1.0	1.5	2.0		
	任意直径 $d = 16 \text{ cm}$	実測値 Measured	2.3	3.3	4.2		
		計算値 Calculated	2.1	3.2	4.2		

注. 加熱媒体：クレオソート油，加熱温度： $110^\circ\text{C}$

Note. Heating medium : Creosote oil, Heating temperature :  $110^\circ\text{C}$

### 生材の場合

樹種としてはスギのみを使った。生材といっても、伐倒後貯木池に長期間浸漬して、辺材部の含水率は表層では飽水に近くて約 250%，辺材の内層で約 200%，心材部は 100~150% の丸太材である。

加熱温度  $110^\circ\text{C}$  として、丸太材内の温度変化を示すと Fig. 13 のとおりである。この結果と Fig. 8 の気乾スギ丸太の場合とを比較してみると、加熱開始後約 1 時間までは気乾材の方が温度上昇ははやく、そのあとは生材の方がはやくなって、 $100^\circ\text{C}$  に達する時間は気乾材では中心点で 6.5 時間、生材ではその約 20% もはやい 5 時間となっている。

J. D. MACLEAN が求めたクレオソート油加熱のときの気乾材と生材の熱拡散率においても、生材が気乾材のその約 10% も大きな値を示していることから当然のことである。

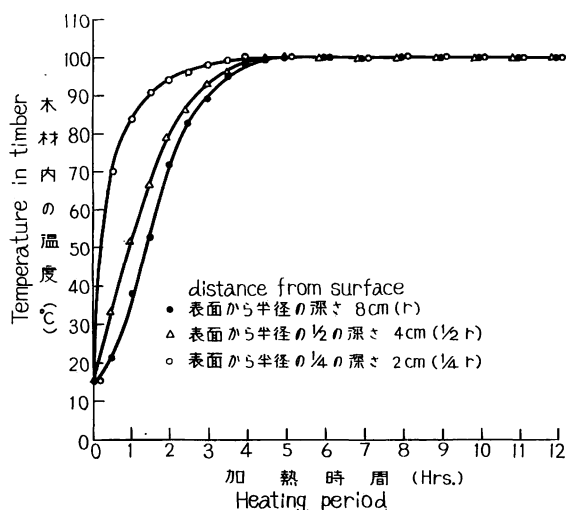


Fig. 13 クレオソート油で加熱した場合のスギ生材内の温度変化  
Temperature change in green Sugi timber heated in creosote oil.  
加熱温度 Heating temperature : 110°C

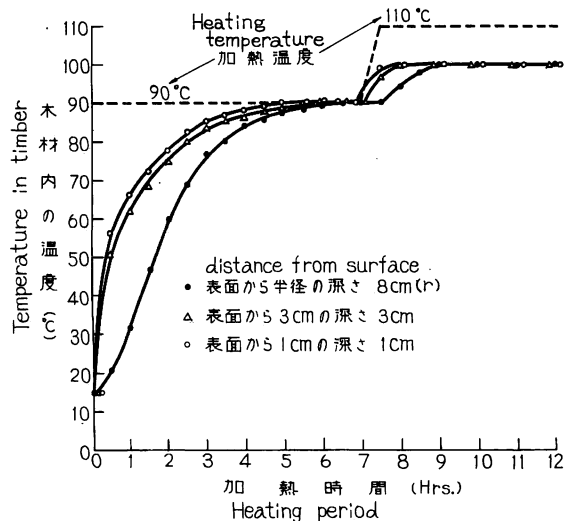


Fig. 14 クレオソート油の温度を2段階にして加熱した場合のスギ生材内の温度変化  
Temperature change in green Sugi timber heated in creosote oil at two step temperatures (the first step temperature : 90°C, the second step temperature : 110°C).

またこの実験では加熱を 18 時間行なってみたが、丸太材の表面から 2, 4, 8 cm の 3 点とも最後まで 100°C を保持していた。ただ表面から約 1 cm の点が 103°C まで上昇したにすぎなかった。このようなことは気乾材の場合と同じような現象のためであろうが、生材の方が気乾材よりさらに明らかな形となつてあらわれる。

このように生材の加熱において、丸太材内の温度はそのときの水の沸点温度である 100°C によって、長時間支配されるということを再確認するために、はじめクレオソート油の温度を 90°C にして加熱し、ついで木材内の温度が液温にほとんど等しくなったときに、液温を 110°C にあげてみた。その結果を Fig. 14 に示す。

この結果によると、液温が 90°C のときは 5~7 時間で、丸太材内の温度は中心部までほとんど液温に等しくなる。ところが加熱 7 時間ごとに液温を 110°C に急激に上昇させると、丸太材内の温度は 1~2 時間のあいだに 100°C までは上昇するが、そのあとは温度上昇をみせず、加熱 18 時間ごでも、表面から半径の深さの点と 3 cm の点は 100°C を保持しており、表面から 1 cm の点のみが 103°C とわずかに温度上昇しているにすぎなかった。このように加熱温度がそのときの水の沸点より低い温度のときは、木材内の温度は液温に漸近するが、加熱温度が水の沸点より高くなると、木材内の温度は水の沸点に漸近し、あたかもその温度

で加熱されているような温度変化を示すことは明らかである。この結論は減圧下における生材処理において非常に重要な意味をもっている。

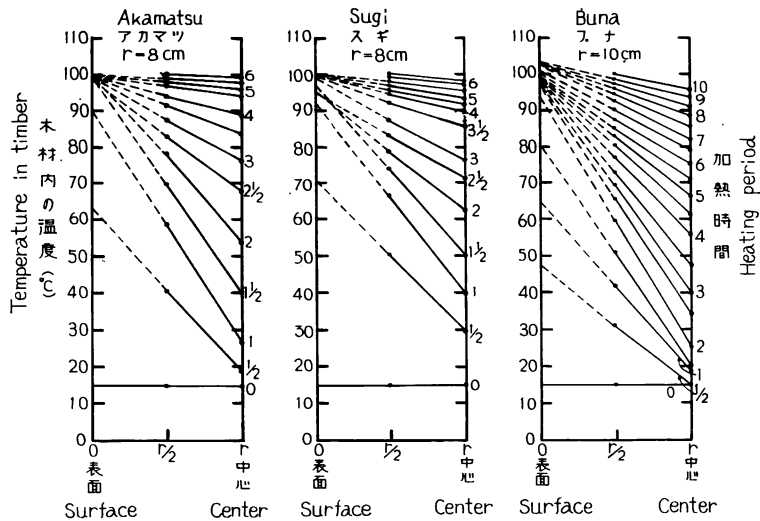


Fig. 15 クレオソート油で加熱した場合の丸太材内の放射方向の各点の温度  
Temperature at various points in radial direction of timber heated  
in creosote oil after various heating periods.

加熱温度 Heating temperature :  $110^{\circ}\text{C}$

木材の初期温度 Initial temperature of timber :  $15^{\circ}\text{C}$

### 1.2.2. 加熱時間と木材内の温度分布

軸方向の温度分布については、水溶液の場合と同じような傾向を示したので、ここでは省略して、放射方向の温度分布のみについて検討する。

表面から半径の深さの点と半径の  $1/2$  の深さの点の温度変化を示すと Fig. 15 のとおりである。

樹種別に同一加熱時間の各点の温度を比較してみる。ブナ丸太の場合は半径が  $10\text{ cm}$  で、他の樹種より大きいので、同一径の丸太材に換算したとしても、ブナが最もおそく、ついでアカマツ、スギの順にはやくなっている。ただ、このように樹種の差が明らかにあらわれるのは木材内の温度が約  $80^{\circ}\text{C}$  に達するまでで、それ以後は上昇速度が急激に低下するので、樹種間の差はほとんどなくなる。

加熱初期における樹種間の差はけっきょく各樹種の熱拡散率に基因するところが多い。加熱時間と熱拡散率との関係は(5)式に示すとおりであるから、熱拡散率の大きい樹種は小さい樹種より短時間で所定の温度に達する。また熱拡散率と比重とは逆比例するから<sup>45)</sup>、比重の小さいスギが比重の大きいアカマツ、ブナよりはやく温度上昇するのは当然である。

Fig. 15 におけるように、表面から半径の深さの点と半径の  $1/2$  の深さの点の2点の各時間における温度を結んで、破線で延長し、木材表面の位置を示す軸との交点を求めると、しだいに  $100^{\circ}\text{C}$  に集中してくる。

水溶液で加熱した場合に記したように、この2点を結んだ線の延長と表面の位置を示す軸と交わる点の温度が、そのときの丸太材の表面温度に相当するという考え方を裏付けるものである。

丸太材の中心点以外の任意点の温度を求めるために、位置の補正係数を  $K$  で代表させると、次式が成り立つことが報告されている<sup>45)47)</sup>。

$$\frac{\theta_1 - \theta}{\theta_1 - \theta_0} = \frac{\theta_1 - \theta_m}{\theta_1 - \theta_0} K \dots \dots \dots (6)$$

$\theta$  : 丸太材内の任意点の温度

$K$  : 位置の補正係数

(6) 式に実測値を代入して、表面から半径の 1/2 の深さの点の位置の補正係数を求めてみるとつぎのとおりであるが、どの樹種でも木材内の温度が低いときは  $K$  が小さく、高くなると  $K$  が大きくなっている。

	最 低	平 均	最 高
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

近似的に求められた同一点の位置の補正係数の理論値は  $K=0.671^{(49)}$  であるから、この実験に使った欠点の多い丸太材からえられた値としてはほぼ妥当な値である。

### 1.3. 各種処理条件下の木材内の温度の推定

1.1 においては防腐剤水溶液、1.2 においてはクレオソート油という防腐処理と関係のある加熱媒体を

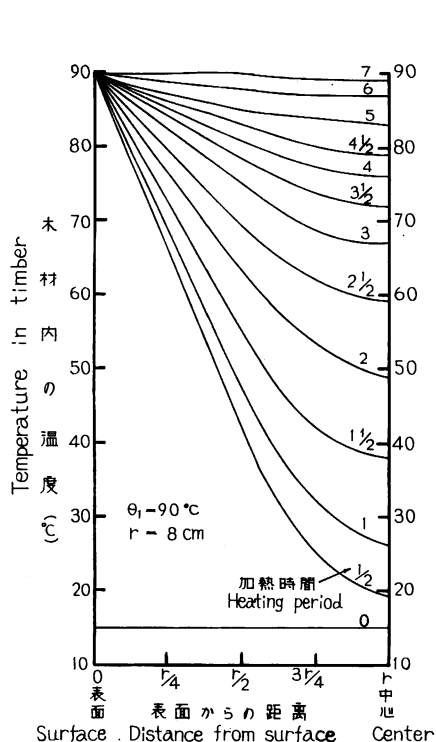


Fig. 16 防腐剤水溶液で加熱した場合のアカマツ気乾丸太の放射方向の温度分布  
Temperature gradient in radial direction of air-seasoning Akamatsu timber heated in solution of a water born preservative.  
加熱温度 Heating temperature : 90°C  
木材の初期温度 Initial temperature of timber : 15°C.

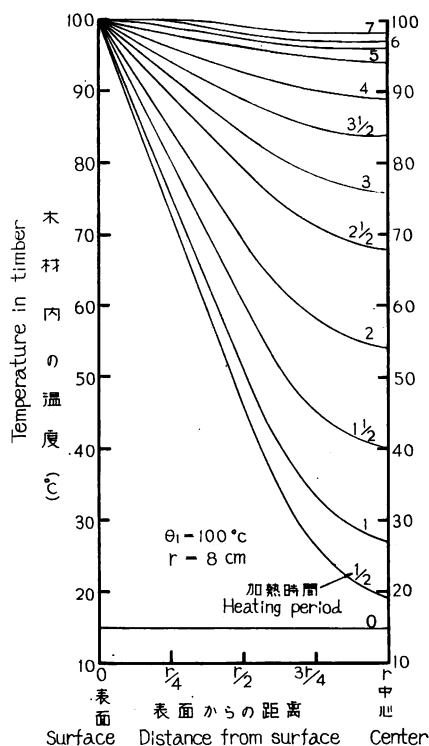


Fig. 17 クレオソート油で加熱した場合のアカマツ気乾丸太の放射方向の温度分布  
Temperature gradient in radial direction of air-seasoning Akamatsu timber heated in creosote oil.  
加熱温度 Heating temperature : 110°C  
木材の初期温度 Initial temperature of timber : 15°C



用いて、大気圧下における丸太材内の温度変化ならびに温度分布を実測したが、えられた結果はいずれも今まで発表された各種の関係式が成立することが明らかとなった。

これらの結果のうち、生材処理法との関連において最も興味のある結果は、加熱媒体の温度がその環境における水の沸点の温度より低いときは、木材内の温度は加熱媒体の温度に漸近するが、加熱媒体の温度が水の沸点より高いときは、木材内の温度は水の沸点に相当する温度に漸近して、あたかもその温度で加熱されているような温度変化を示すということである。生材処理法は一般に減圧下において木材中より水を脱水することが多いから、その減圧度によって水の沸点は変わってくる。それがために加熱温度は同じであっても、減圧度が異なれば、当然そのときの木材はあたかも、そのときの水の沸点に相当する温度で加熱されているような温度変化を示すであろう。また、木材内の温度変化速度は加熱初期においては大気圧下でも、減圧下でもほとんど変わらないが、木材内の温度が上昇して、液温との差が  $10^{\circ}\text{C}$  以下に近づいてくると、異なってくるといわれている<sup>45)</sup>。このような差は加熱温度をつねに液温と考えているためで、加熱温度をそのときの水の沸点温度と考えれば、木材内の温度変化速度は大気圧下でも、減圧下でも大きな差が生じないであろう。

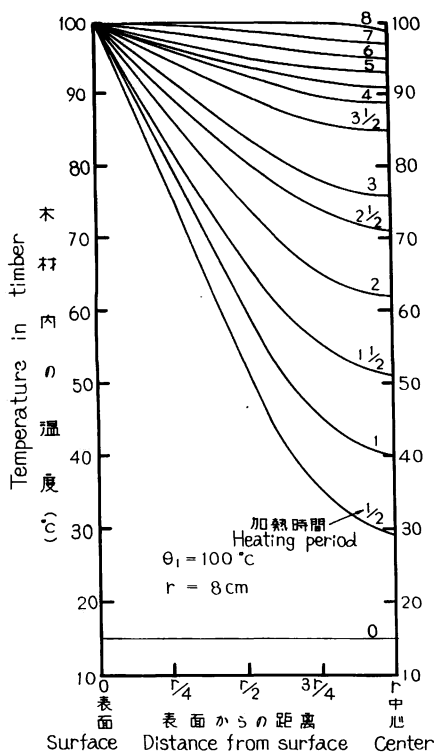


Fig. 18 クレオソート油で加熱した場合のスギ乾丸太の放射方向の温度分布  
Temperature gradient in radial direction of air-seasoning Sugi timber heated in creosote oil.

加熱温度 Heating temperature:  $110^{\circ}\text{C}$   
木材の初期温度 Initial temperature of timber:  $15^{\circ}\text{C}$

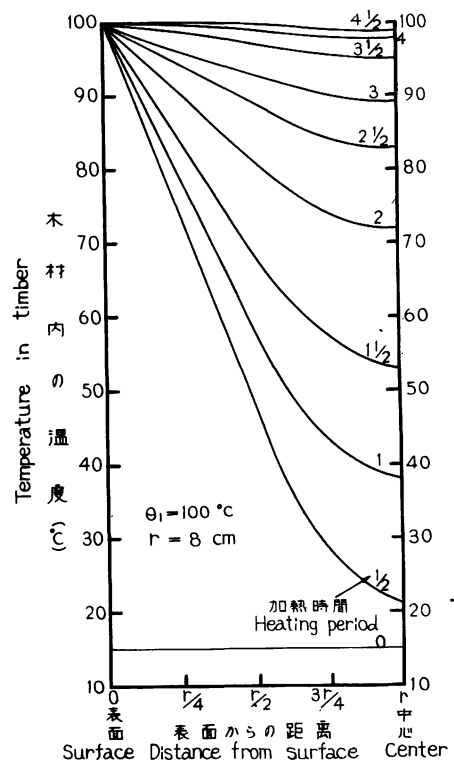


Fig. 19 クレオソート油で加熱した場合のスギ生材の放射方向の温度分布  
Temperature gradient in radial direction of green Sugi timber heated in creosote oil.

加熱温度 Heating temperature:  $110^{\circ}\text{C}$   
木材の初期温度 Initial temperature of timber:  $15^{\circ}\text{C}$

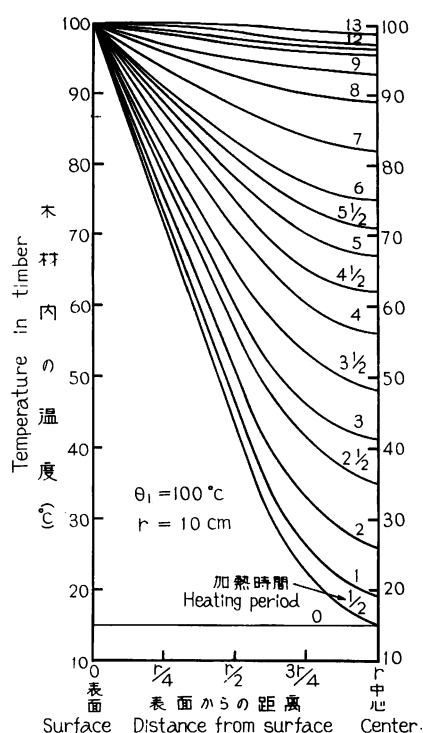


Fig. 20 クレオソート油で加熱した場合の  
ブナ気乾丸太の放射方向の温度分布  
Temperature gradient in radial direction  
of air-seasoned Buna timber heated in  
creosote oil.

加熱温度 Heating temperature: 110°C  
木材の初期温度 Initial temperature of  
timber: 15°C.

加熱媒体では乾燥空気よりクレオソート油のような油類、油類より熱水、熱水より水蒸気という順に温度上昇速度ははやくということ、水蒸気は熱水より5～10% もはやくということなど<sup>39)40)41)45)</sup>、以上すべてのことを考慮に入れば、各処理における木材内の温度を大体推定することができる。

## 第2章 減圧下における木材内の圧力変化

加圧処理を行なうための生材処理法は、いずれも減圧下において、木材中の水を脱水して、木材の主として辺材部分の含水率を加圧処理に適する状態まで乾燥させる方法であるから、木材が減圧下におかれたときに、木材内の圧力、主として辺材部分の圧力がどのように変化していくかを知ることが、木材内の温度変化とともに、木材内の水がどのようにして脱水されていくかを推定することを可能にさせ、処理条件の解明のための基礎資料として役立つものと信じる。

本章では、無欠点材の小試験片を用いて、軸・接線・放射の3方向の通導性を測定し、そこで求められた現象や法則性などと、欠点を含んだ大形材における木材内の圧力変化などから、実際処理の場合における木材内の状態を推定する。

けっきょく、生材処理の場合、加熱温度の高さは木材内の温度上昇速度には直接関係なく、木材中の水が蒸発していくさいの蒸発潜熱の供給量が多いか、少ないかということと関係してくるから、いわゆる脱水速度と密接な関係をもっている。

以上のように、木材内の温度を推定するためには、加熱温度をただちに加熱媒体の温度とせず、適当な加熱温度をえらべば、各圧力下においても、同一の温度変化、温度分布曲線から、木材内の温度を大体推定することができる。

1.1 と 1.2 の実験において求めた丸太材の中心部の実測温度をもとにして、位置の補正係数<sup>49)</sup>を使って、丸太材の各部位の温度を計算し、各加熱時間ごとに示すと Fig. 16～20 のようになる。

これらの図に示す加熱条件と異なる場合には(4)式を、丸太材の径が異なる場合には(5)式を使えば、他の条件のときの木材内の温度を推定することができる。

ただ加熱媒体、樹種、含水率が異なるときは、熱拡散率が各条件ごとに求められていないと計算できないが、木材の熱拡散率は比重と逆比例的の関係があるということ、含水率とは近似的に比例の関係にあるということ<sup>49)</sup>、生材は気乾材より加熱の初期において、その約20% もはやい時間で同一温度に達するという、

## 2.1. 軸方向の通導性<sup>50)</sup>

木材の通導性については、わが国では金平洋一<sup>51)</sup>の穿孔圧入法による防腐剤の浸潤長の測定、横田徳郎<sup>52)</sup>による液の浸透量による木材の浸透性の比較などがある。

外国では A. J. STAMM<sup>53)54)</sup> により air flow method による木材の通導係数の測定法が提案され、J. E. STONE<sup>55)</sup> はその方法を用いて、多くの樹種の通導係数を測定している。また、D. N. SMITH と L. ELEANOR<sup>56)</sup> が別な方法で通導係数を求めている。そのほか B. KOLJO<sup>57)</sup>, H. BELLMANN<sup>58)</sup>, B. SCHULZE と G. THEDEN<sup>59)</sup>, H. D. ERICKSON<sup>60)</sup>, A. BURO と E. BURO<sup>61)</sup> などがそれぞれ独自の方法で木材の通導性を測定している。

以上のように木材の通導性に関して各種の報告が発表されているが、わが国の樹種のとくに軸方向に関する定量的な通導性についてはほとんど現在までに報告がない。しかし、この方向の通導は防腐処理においては非常に重要な問題なので、本実験では A. J. STAMM の air flow method を応用した方法を用い、生材処理法との関係から、減圧下において数種の針葉樹の軸方向の通導性を定量的に求めた。

### 2.1.1. 実験装置と実験方法

#### 装 置

本装置は A. J. STAMM の air flow method に用いた装置と原理的には同じであるが、試験体を取り付ける部分が多少異なっていて、軸方向の長さを簡単にかえることができるようにした。その装置を Fig. 21 に示す。

標準毛細管 C には半径 0.076 mm、長さ 101.54 mm のガラス毛細管を用いた。試験体 W は大きな試験管 T 内にあり、ガラス管の部分でゴム管により接続されている。試験管はゴム栓で密封され、一方は標準毛細管に、他方は試験体をとって、真空ポンプに連絡されている。水銀マンオメータ  $M_1$  は標準毛細管の入口と出口の圧力差  $P_0 - P_1$  を示す。この場合  $P_0$  は大気圧を意味し、 $P_1$  は試験管内の圧力である。水銀マンオメータ  $M_2$  は試験体の入口と出口の圧力差、すなわち試験管内の圧力  $P_1$  と試験体のガラス管から真空ポンプまでの系のガラス管内の圧力  $P_2$  との圧力差

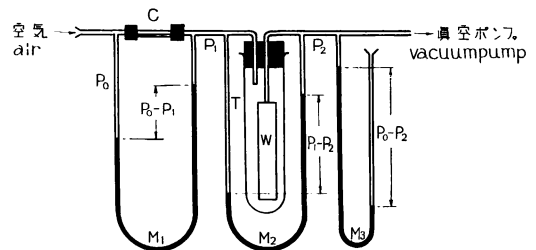


Fig. 21 Air-flow method 用実験装置  
Equipment for air-flow method.

C : 標準毛細管 Standard glass capillary  
W : 試験体 Test piece T : 試験管 Test tube  
M : 水銀マンオメータ Manometer  
 $P_0$  : 大気圧 Atmospheric pressure  
 $P_1$  : C から T までの圧力 Pressure from C to T  
 $P_2$  : W から真空ポンプまでの圧力  
Pressure from W to vacuum pump.

$P_1 - P_2$  を示す。水銀マンオメータ  $M_3$  は真空ポンプの真空の程度を調節するためのものであるが、一方が大気圧  $P_0$  となっているから、ここにあらわれた圧力差は  $P_0 - P_2$  を示している。

この装置を温度 20°C、湿度約 70% の恒温恒湿室に設置した。

#### 試 験 体

木材の板目面、柾目面はできるだけ完全に繊維走向に沿うように注意し、長さ 25 cm、断面 2×2 cm に仕上げた試験片の一方の木口面の中心点に、直径 8 mm、深さ 40 mm の孔をあける。この孔に Fig. 22 のように外径 6 mm、内径 4 mm、長さ 100 mm のガラス管をさしこみ、隙間を合成樹脂で密封する。

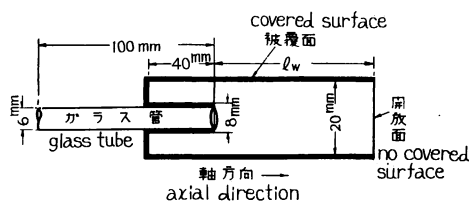


Fig. 22 試験体  
Test piece.

また両木口面も合成樹脂で、その他の面はアルミ粉を混じたラッカーで密封する。この試験体の全面の密封が完全なことを確かめてから、ガラス管のはいついていない反射側の木口面を切りはなして開放面にする。空気の流れはこの開放面からはいって、軸方向に流れ、ガラス管に集まって排出される。計算に用いる試験体の長さ  $l_w$  は Fig. 22

に示すように、ガラス管の先端すなわち木材の孔の底から開放面までの長さを用いた。

### 測定方法

空気の流れをつくるため真空ポンプを用いて吸引させ、水銀マンオメータ  $M_3$  で排気度を調節する。空気は入口から標準毛細管 C をとり T をへて、試験体 W の開放面からはいって、それにさしこまれたガラス管に出てポンプに達する。このように一定の排気度で約 30 分間吸引していると、 $P_0 - P_1$  と  $P_1 - P_2$  の値は平衡に達して変化しなくなる。これらの平衡値を測定して通導係数の計算に用いる。

試験体の長さを変えるときには、開放面から長さ 5 cm ずつ切り落して、20 cm の長さからはじめて、15, 10, 5 cm の長さの通導性を測定した。

通導断面については各種の測定法では開放木口面の面積を有効断面として計算に用いているものが多いが、試験片の製作上目切れを生じやすく、反対の木口面まで繊維が連なっているとはかぎらないから、開放面のすべてが有効断面とはならない。このことが測定結果の偏差を大きくする一原因でもある。

本実験ではこれをできるだけさけるため、一方の木口面のガラス管から径 8 mm の孔のみを吸引するから、途中で繊維のきれることが少なく、大部分は開放面に通じている。実際に着色液を開放面から吸わせてみると、その通導の状態は開放面から少し奥に進むと、反対の木口にあけた孔の大きさに絞られ、その状態が孔の底までつづいていた。このことから通導面積は孔の底面積  $(0.8/2)^2 \times \pi \text{ cm}^2$  を用いることにした。

#### 2.1.2. 本装置による通導係数計算法

標準ガラス毛細管における流体の流れには POISEUILLE の式が適用される。ただ、流体が空気であり、さらに減圧状態の流動であるから<sup>50)</sup>、この式の一般式をそのまま適用できない。この式の一般式はつぎのとおりである。

$$V = \frac{\pi r^4 \Delta P}{8 \mu l g} \dots \dots \dots (7)$$

$V$  : 容積速度

$r$  : 管の半径

$\Delta P$  : 入口と出口の圧力差

$\mu$  : 空気の粘度

$l g$  : 管の長さ (C, G, S 単位)

(7) 式が気体で、低圧 (高真空) の場合には次式のようにになる。

$$M = B \cdot \frac{\pi r^4}{8 \mu l g} \cdot \frac{\Delta P^2}{2} \dots \dots \dots (7')$$

$M$  : ガスの容積速度に管内の平均圧力を乗じた値 (質量速度に比例)

$B$  : 高真空の気体分子の平均自由行路を考慮した補正係数 (C, G, S. 単位)

管の入口の圧力を  $P_0$ , 出口の圧力を  $P_1$  とすれば

$$\Delta P^2 = P_0^2 - P_1^2 \quad \text{となる。}$$

ゆえに (7') 式はつぎのようになる。

$$M = B \cdot \frac{\pi r^4}{8 \mu l g} \cdot \frac{P_0^2 - P_1^2}{2} \dots\dots\dots (8)$$

木材のなかの流れは A. J. STAMM をはじめ他の人々は<sup>53)55)56)57)</sup> POISEUILLE の式を用いて、木材を毛細管の束と考えている。しかし実際の木材は大小さまざまの毛細管が、直列または並列して、複雑に連らなっている。そのために、本実験の場合は木材を均質な多孔物質と考えて、その場合に使われる DARCY の法則を適用することにした。その法則の式はつぎのとおりである<sup>64)</sup>。

$$V = K \cdot \frac{A \cdot \Delta P}{\mu l w} \dots\dots\dots (9)$$

$A$  : 木材の通導断面積

$lw$  : 木材の長さ

$K$  : 通導係数 (材料によって定まる常数)

流体が気体の場合には次式のようにになる。

$$M = K \cdot \frac{A}{\mu l w} \cdot \frac{\Delta P^2}{2} \dots\dots\dots (10)$$

木材の入口の圧力を  $P_1$ , 出口の圧力を  $P_2$  とすれば

$$\Delta P^2 = P_1^2 - P_2^2 \quad \text{となり,}$$

(10) 式は次式のようにになる。

$$M = K \cdot \frac{A}{\mu l w} \cdot \frac{P_1^2 - P_2^2}{2} \dots\dots\dots (11)$$

本装置における空気の流れは、標準ガラス毛細管からはいって、木材をとおって出ていくから、両者をとおる空気は同じものであり、連続の条件が成立する。ただし、気体の場合には圧力によって、容積が変化するから、容積速度では連続でなく、質量速度において連続の条件が成りたつ。すなわち、単位時間に毛細管を通過した空気の質量と木材を通過した空気の質量が等しい。その場合には (8) 式と (11) 式が等しくなり次式が成立する。

$$B \cdot \frac{\pi r^4}{8 \mu l g} \cdot \frac{P_0^2 - P_1^2}{2} = K \cdot \frac{A}{\mu l w} \cdot \frac{P_1^2 - P_2^2}{2} \dots\dots\dots (12)$$

$K$  を求めると

$$K = B \cdot \frac{\pi r^4}{8 A} \cdot \frac{lw}{lg} \cdot \frac{P_0^2 - P_1^2}{P_1^2 - P_2^2} \dots\dots\dots (13)$$

本実験の真空は最高 700 mm の排気度であって、高度の真空でないから、 $B \approx 1$ <sup>62)63)</sup>と考えて (13) 式をかきなおせば次式のようにになる。

$$K = \frac{\pi r^4}{8 A} \cdot \frac{lw}{lg} \cdot \frac{P_0^2 - P_1^2}{P_1^2 - P_2^2} \dots\dots\dots (14)$$

本装置を用いて、 $P_0 - P_1$ ,  $P_1 - P_2$  を実測し、 $P_0 = 760$  mm,  $A = (0.8/2)^2 \times \pi \text{ cm}^2$  として、(14) 式を用いて通導係数を計算することができる。 $K$  のジメンションは  $[L^2]$  である。

A. J. STAMM は以前 (14) 式の代わりに次式を用いて  $K$  を計算していた。

$$K = \frac{\pi r^4}{A} \cdot \frac{lw}{lg} \cdot \frac{P_0 - P_1}{P_1 - P_2} \dots \dots \dots (15)$$

(15) 式は毛細管も木材も POISEUILLE の式を用い、しかも 1 次の圧力差を用いている。

1 次の圧力差か、2 次の圧力差かいずれが適当であるかを確かめるため、木材試験体の代わりに、半径と長さが既知のガラス毛細管を取り付けて、半径を計算した結果を Table 3 に示す。これらの結果によれば、2 次の圧力差で計算した半径の方が実測半径に近い値がえられた。

Table 3. ガラス毛細管の直接測定した半径と air flow method  
を用いて計算した半径

Radius of few glass capillary measured immediately and  
calculated with air flow method.

No.	実 測 値 Measured		$P_0 - P_2$ mm	$P_0 - P_1 /$ $P_1 - P_2$	計算による半径 Radius calculated* mm	$P_0^2 - P_1^2 /$ $P_1^2 - P_2^2$	計算による半径 Radius calculated** mm
	長 さ Length mm	半 径 Radius mm					
1	100.18	0.199	700	8.70	0.130	40.9	0.192
2 a	149.05	0.052	700	0.100	0.047	0.196	0.055
2 b	99.81	0.052	700	0.135	0.046	0.266	0.054
3 a	145.82	0.084	700	0.545	0.071	1.240	0.088
3 b	99.57	0.082	700	0.729	0.070	1.745	0.087

注. 基準ガラス毛細管 半径  $r_1 = 0.076$  mm, 長さ  $l_1 = 101.54$  mm

\* 半径の計算式  $r_2 = \sqrt[4]{(P_0 - P_1)/(P_1 - P_2) \times l_2/l_1 \times r_1^4}$

\*\* "  $r_2 = \sqrt[4]{(P_0^2 - P_1^2)/(P_1^2 - P_2^2) \times l_2/l_1 \times r_1^4}$

Note. Size of standard glass capillary : Radius = 0.076 mm =  $r_1$

Length = 101.54 mm =  $l_1$

$l_1, r_1$  : 基準毛細管の長さ半径 Length and radius of standard capillary.

$l_2, r_2$  : 測定された任意の毛細管の長さ半径 Length and radius of capillary measured.

これらの結果より通導係数  $K$  の計算には 2 次の圧力差を用いるのが適当である<sup>61)</sup>。

また、本実験において、全体の系の圧力差はいかなる大きさが適当であるかを知るために、 $P_0 - P_2$  を 100mm から 700mm まで変化をさせて、ガラス毛細管の半径を計算してみると Table 4 のように、550mm 以上あれば非常に安定した値がえられ、実測値に近い値がえられたので、本実験では主として  $P_0 - P_2$  を 700 mm にして通導係数を求めた。

### 2.1.3. 試験体の長さと通導係数の関係

試験体の長さをはじめ 20 cm, つぎにこれを切断して、10, 5 cm と短くして、その長さごとの  $(P_0^2 - P_1^2)/(P_1^2 - P_2^2)$  の測定結果を Table 5 に示す。スギの (a) (b) とあるのは産地の異なるもの、スギ (b) の心材は 5 個の試験体のうち 1 個のみしか通導がなかったので、その値をとり、カラマツ心材はすべて通導がなかったので 0 とした。

これらの結果で、 $(P_0^2 - P_1^2)/(P_1^2 - P_2^2)$  の値は各長さにおいて、最大値と最小値の間かなりの偏差があるが、平均値は長さが増せば、小さくなっている。

(14) 式によれば通導係数  $K$  は長さ  $lw$  と  $(P_0^2 - P_1^2)/(P_1^2 - P_2^2)$  の積に比例し、他の条件がすべて等しいならば、長さが変わっても  $K$  の値は変わらない。それがために Table 5 の  $(P_0^2 - P_1^2)/(P_1^2 - P_2^2)$  の平均値と各長さの積を求めてみると、Table 6 のようになり、スギ (a) の辺材を除いて、ほとんど等し

Table 4. 各排気度において air flow method により計算された  
ガラス毛细管の半径  
Radius of a glass capillary calculated with air flow  
method under variable vacuums.

$P_0 - P_2$ mm	$P_0 - P_1$ mm	$P_1 - P_2$ mm	$P_0^2 - P_1^2 / P_1^2 - P_2^2$	半径 Radius mm
100	94	5	20.2	0.165
200	185	7	30.9	0.179
400	393	17	36.3	0.186
500	483	25	38.4	0.188
550	529	29	41.9	0.195
600	564	38	40.1	0.191
650	607	54	40.5	0.191
700	629	72	40.9	0.192

注. 基準ガラス毛细管 半径  $r_1 = 0.076$  mm, 長さ  $l_1 = 101.54$  mm

測定されたガラス毛细管 半径  $r_2 = 0.199$  mm, 長さ  $l_2 = 100.18$  mm

Note. Standard glass capillary Radius  $r_1 = 0.076$  mm, Length  $l_1 = 101.54$  mm

Glass capillary used Radius  $r_2 = 0.199$  mm, Length  $l_2 = 100.18$  mm

Table 5. 各樹種の試験体の長さ別の  $(P_0^2 - P_1^2) / (P_1^2 - P_2^2)$  の値  
Values of  $(P_0^2 - P_1^2) / (P_1^2 - P_2^2)$  on each length of a few species.

樹種 Species	試験体の数 No. of test piece	含水率 Moisture content %	5 cm min.~av.~max.	10 cm min.~av.~max.	20 cm min.~av.~max.
Sugi (a) sap	6	10.3	23.2~36.5~57.2	23.3~34.1~50.4	18.3~28.1~39.8
" heart	3	11.3	0.48~0.55~0.61	0.26~0.28~0.30	0.11~0.15~0.19
Sugi (b) sap	5	12.1	13.4~24.4~51.7	8.30~15.6~31.0	3.02~7.01~12.8
" heart	5	12.1	0.371	0.069	0.021
Akamatsu sap	6	9.7	1.94~2.70~3.45	0.73~1.39~2.14	0.32~0.64~1.04
" heart	4	9.7	0.33~0.40~0.49	0.16~0.17~0.22	0.038~0.058~0.085
Karamatsu sap	5	12.1	1.73~6.10~12.0	0.82~3.20~5.34	0.15~1.13~2.47
" heart	5	10.8	0	0	0
Ezomatsu	9	11.0	0.44~2.44~10.7	0.23~1.04~8.55	0.13~0.46~6.5
Hinoki heart	5	11.4	8.80~13.8~18.0	4.57~6.75~8.81	2.27~3.06~3.62

い値がえられた。また個々の試験体ごとに、長さ  $l$  と  $\Delta P^2$  の積を求めてみると、同一個体ではほとんど等しい値がえられた。その 1 例として、アカマツとスギの実測値と平均値を示すと、それぞれ Fig. 23, 24 のとおりである。

これらの結果から (14) 式の関係すなわち、通導係数  $K$  の値は同一材料では長さに無関係に一定であることが明らかとなった。このことは木材中の流体の流れについて、DARCY の法則が成立することになり、透過流体の速度は試料の長さ  $l$  と流体の粘度に逆比例し、圧力差に比例することになる。それがためにまた木材の内部と外部との間に一定の圧力差をあたえる場合、試料の長さ  $l$  と圧力勾配  $\Delta P / l$  とは逆比例することになる<sup>64)</sup>。

Table 6. 各樹種の各長さにおける  $l_w \times (P_0^2 - P_1^2) / (P_1^2 - P_2^2)$  の平均値  
Average value of  $l_w \times (P_0^2 - P_1^2) / (P_1^2 - P_2^2)$  on each length of a few species.

樹種 Species	試験体の数 No. of test piece	5 cm	10 cm	20 cm
Sugi (a) sap	6	183	341	562
" heart	3	2.75	2.75	2.94
Sugi (b) sap	5	122	156	140
" heart	1	1.85	0.70	0.43
Akamatsu sap	6	13.5	13.9	12.8
" heart	4	1.99	1.77	1.16
Karamatsu sap	5	30.5	32.0	22.6
" heart	5	0	0	0
Ezomatsu	9	12.2	10.4	9.27
Hinoki heart	5	69.0	67.5	60.1

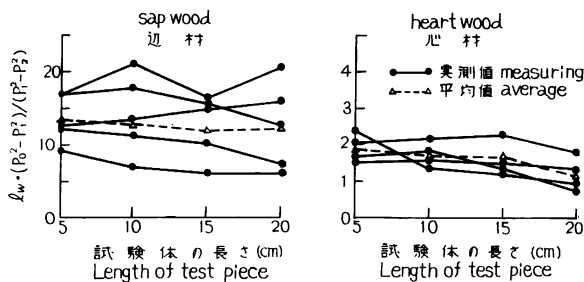


Fig. 23 アカマツ材の軸方向の長さ  $l_w$ ・ $(P_0^2 - P_1^2) / (P_1^2 - P_2^2)$  との関係  
Relation between length in axial direction and  $l_w (P_0^2 - P_1^2) / (P_1^2 - P_2^2)$  on Akamatsu.

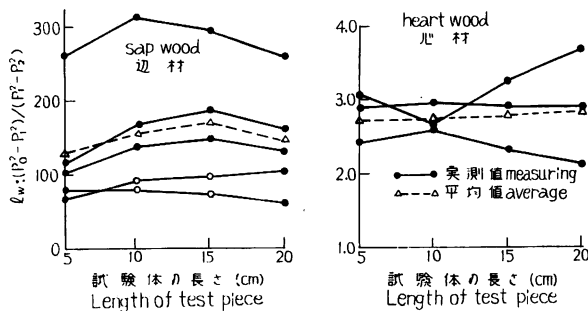


Fig. 24 スギ材の軸方向の長さ  $l_w$ ・ $(P_0^2 - P_1^2) / (P_1^2 - P_2^2)$  との関係  
Relation between length in axial direction and  $l_w (P_0^2 - P_1^2) / (P_1^2 - P_2^2)$  on Sugi.

長い丸太材のある部分が、もし軸方向のみしか空気の移動が行なわれないとすると、その材料が一定の減圧下におかれた場合、その部分が木口面から長い距離にあるほど、空気の流出速度は長さに逆比例するから、外部の減圧度に近づくのに時間がかかることになる。

また、生材のように高含水率で各細胞の毛細管に自由水が存在している木材内で、毛細管の両端の圧力差が小さくなっている部分では、その水を押し出して空気が流出することが困難となり、JURIN の法則 ( $P = 2\alpha/r$   $P$ : 毛細管圧,  $\alpha$ : 表面張力,  $r$ : 毛細管半径) によって求められる毛細管圧より圧力差が小さくなれば、もはや空気はその水を押しつけてつぎの細胞へ移動することができなくなる。けっきょくこれより奥は圧力変化がおきない。

このように考えると、生材処理にお

いて減圧下に木材がおかれていても、木口面からかなり深い部分では、なかなか木材のまわりの減圧度に近づかないであろう。

実際に、本実験に使った試験体の開放面のみを水でぬらして、本装置にかけると、はじめの間はほとんど空気が流れず、水が各部に拡散してのちはじめに徐々に空気が流れ出すという現象が認められたことか



らも裏付けられる。

#### 2.1.4. 各樹種の通導係数

各樹種の辺心材別の通導係数を Table 6 の値から計算してみると Table 7 のとおりである。

一般に辺材は心材より通導係数は大きい。ヒノキでは辺材を測定しなかったが、心材が他の樹種の心材に比べれば大きな値を示している。エゾマツは非常に値がばらついたが、これは測定誤差というより、この樹種の特性ではないかと考えられる。通導係数と空隙率とはほとんど相関関係がみられない。

Table 7. 各樹種の通導係数  
Penetration factor of a few species.

樹種 Species	測定数 Number measured	通導係数 Penetration factor $\times 10^{10}$ (K) min.~av.~max.	空隙率 Void volume %	Kによる順位 Grade for K	吸水量による順位 Grade for* water absorption
Sugi (a) sap	30	174.4~850~2043	78.2	1	1
" (a) heart	15	5.55~7.21~9.59	78.0	7	3
" (b) sap	20	154~370~795	76.3	2	3
" (b) heart	4	1.13~2.54~4.75	78.8	9	8
Akamatsu sap	24	16.26~33.9~54.9	68.2	5	2
" heart	16	1.95~4.16~6.34	69.4	8	9
Karamatsu sap	20	7.70~72.1~137	73.4	4	7
" heart	20	0.164	63.8	10	10
Ezomatsu	36	5.57~26.7~333	74.1	6	6
Hinoki heart	20	113~168~231	71.2	3	3

注. 30 分間に木口面から各試験体が吸水した量による順位

Note. The grade is based on weight of water absorbed from cross section after thirty minutes.

通導係数の大きいものからつけた順位と、同じ材料の一方の木口面から吸水させて、30 分後の吸水量の多いものからつけた順位を比較してみると、2, 3 の樹種はかなり差があるが、その他のものは大体一致している。

本実験で求めた通導係数は、今まで経験的か、あるいは実験的に知られていた木材の通導性の大小とはほぼ一致した関係がえられており<sup>51)</sup>、その絶対値も J. E. STONE<sup>55)</sup> が類似の方法で求めた木材の通導係数とはほぼ同位の値を示している。

また本実験では、空気の透過により通導係数を求めたが、液体の場合でも木材そのものの毛細管その他各部分の細孔の状態が変化しないならば、気体でも液体でも通導係数は同じ値であるといわれているので<sup>65)</sup>、主として液体の注入を行なう木材の防腐処理の場合にも利用できる。

生材処理において、丸太材の外側はすべて辺材で囲まれて、そのなかに心材がある。それがために、辺材部が乾燥しないかぎり、心材部内の空気の流動は軸方向のみである。しかるに Table 7 に示すように、心材の通導係数はスギでは辺材の 1/120~1/150、アカマツでは辺材の約 1/8、カラマツではほとんど通導がない。これらの結果から、丸太材の心材は木口面からわずかに軸方向にはいった部分でも、なかなか外部の減圧度に達することは困難であり、その部分の脱水乾燥は非常におそいことが推定される。

#### 2.2. 放射方向・接線方向の通導性<sup>12)14)</sup>

一般に木材の通導性を論じる場合には、木材の異方性を考えれば、やはり 3 方向を独立して、まずその

おのおのの通導性をみる必要がある。それがために、2.1.の項に記した各報告はいずれも3方向をわけて測定している。これらの報告によれば、軸方向に比べて2方向は通導性が非常に小さくなることが明らかにされている。

防腐処理または生材処理において、軸方向の長い材料を扱う場合には、その材料の木口面に近い部分は軸方向の通導性が支配的であろうが、2.1.の結果でも明らかとなり、ある深さ以上になれば、その影響はしだいに小さくなり、放射方向または接線方向の通導性によって木材内の圧力が支配されるようになる。とくに長い丸太材の中央部分は放射方向の通導性のみによって丸太材内部の圧力は支配されているものと考えられる。

このような意味から丸太材を使って、生材処理を行なう場合には、放射方向の通導性を知ることは非常に重要なことである。しかるに、わが国において国産樹種に対するこれらの実験結果はほとんど発表されていない。

本実験では生材処理法との関連を求めることを主体としたので、軸方向の場合と同じように減圧下の通導性を測定した。ただ、通導有効断面積の決定が困難なため、軸方向の場合に用いた方法では測定できないので、通導係数を求めることができず、別な方法によって相対的な値を求めた。

#### 2.2.1. 実験装置と実験方法

実験装置は Fig. 25 に示すように、試験体をガラス鐘の中に入れ、木材中に埋めこんだガラス管の外に突き出ている部分を、ゴム栓を通してガラス鐘の外に出し、水銀マンオメータと連結した。ガラス鐘の横の口は真空ポンプに連結されている。

試験体は Fig. 25 に示すようにしてつくられ、各面の封鎖にはすべて合成樹脂を用いた。木材の含水率はすべて気乾状態のものを使用した。ガラス管の材内の先端から試験体の開放面までの距離は約 20 mm とした。

実験方法としては、真空ポンプで

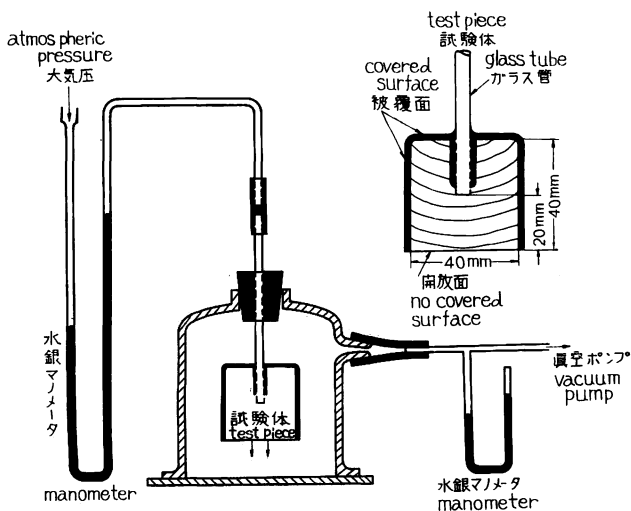


Fig. 25 放射ならびに接線方向の通導性を試験する装置と試験体

Equipment and test piece for measuring penetration in radial and tangential direction of wood.

ガラス鐘のなかを減圧して、水銀柱で約 50 mm、排気度で 710 mm まで低下させ、そのごはその圧力を保持するようにした。

真空ポンプで減圧を開始すると、水銀マンオメータ中の空気は木材中に埋めこんだガラス管から木材組織をとって、その開放面から排出され、時間の経過とともにしだいに減圧となって、大気圧との差が水銀マンオメータにあらわれるようになる。もし、木材の開放面からの通導が良いならば、はやく水銀マンオメータに高い圧力があらわれ、通導が悪ければ、低い圧力差しかあらわれないから、一定時間経過後の水銀マンオメータにおける圧力差がその木材の開放面からガラス管の方向における相対的な通導性を示す。

### 2.2.2. 実験結果に対する考察

ガラス鐘のなかの排気度をつねに約 710 mm に保っておくと、試験体中に埋めこまれたガラス管中の排気度は Fig. 26 に示すような圧力変化を示す。

これらの結果をみると、いずれの場合も排気時間 30 分までは急激に、マノメータ中の排気度も高くなるが、その後は樹種や通導方向によって差はあるが、ほとんど一定の値を保っており、排気時間を 90 分以上延長してもほとんど変化がない。しかもまだ試験体における空気の入口と出口のあいだにはかなりの圧力差が存在している。

一般に毛細管の場合の POISEUILLE の式や、多孔物質の場合の DARCY の法則をみると、気体の通導の場合に、入口と出口のあいだにある圧力差が存在しているかぎり、気体はその管中を流れるはずである。それならば、本実験においても、排気開始のときより両端の圧力差は時間の経過とともに減少してくるけれども、両端のあいだに圧力差が存在しているのであるから、当然木材中のガラス管からマノメータまでのあいだに存在している空気は木材の開放面にむかって流出しなければならないはずである。しかるに、樹種、心辺材、通導方向のちがいで、マノメータ中の排気度はそれぞれ異なった値で、ほとんど変化しなくなり、あたかも空気が流れていないような平衡状態になってしまう。この平衡状態に達したのち、ある樹種について 8 時間排気をつづけたがほとんど変化がなかった。このような現象はもし実験方法に誤りがないとすれば、流体の流れに関する法則と矛盾することになる。

この矛盾を説明するためには、木材内の空気の通導にあずかっている細胞組織がその両端の圧力差によって変化すると考えざるをえない。すなわち、木材中の毛細管はある圧力差以上になれば開孔するが、その圧力差が小さくなってくると、また閉じてしまうという圧力差によって可変な組織と考えれば説明がつく。ただ、このような仮説は今まで誰もたてた人はなく、ここにあらわれた現象が本質的なものであるか、今後さらに検討する必要がある、浸透機構を解明する最も重要な問題である。

ただ、生材処理法と関連させるためには、この実験で排気開始後 1 時間のほとんど変化しなくなったマノメータの排気度をもって各樹種、各方向における相対的な通導性とした。

#### 2.2.3. 各樹種の放射方向・接線方向の通導性の比較

2.2.2. において、2 方向の相対的な通導性を定義したが、測定結果を示せば Table 8. のとおりである。

これらの結果をみると、心材はいずれも非常に通導が悪い。放射方向ではアカマツ、カラマツの辺材は非常に通導がよく、スギとブナ辺材はあまりよくない。接線方向ではスギとブナ辺材は放射方向よりはよくなっている。アカマツ辺材では放射方向よりは低い値となっている。

これらの結果と各種の防腐処理においてえられた薬液の浸潤長から経験的に認められている浸透性と相対的には大体一致している<sup>10)14)26)51)</sup>。

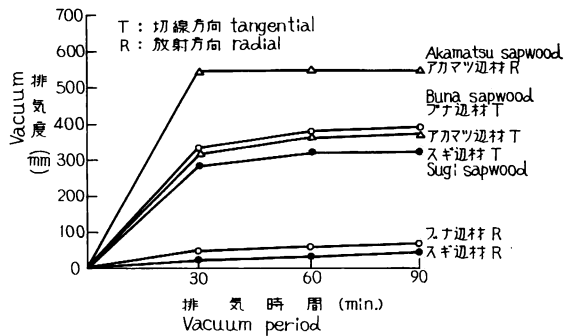


Fig. 26 減圧下において、放射または接線方向のみからの通導しか許されない場合の木材内の圧力変化  
Pressure change in wood under vacuum (710 mm) when air penetration can not be permitted except in radial or tangential direction.

Table 8. 排気度 710 mmHg 下におかれた木材から空気を排除した場合に、  
ほとんど変化しなくなった木材中の排気度  
Vacuum in wood after half an hour, when air is exhausted from  
wood under vacuum of 710 mmHg.

通 導 の 方 向 Direction	樹 種 Species	測定個数 Number	木 材 内 の 排 気 度 (mm) Vacuum in wood		
			min.	av.	max.
放 射 Radial	Sugi sap	25	20	50	200
	" heart	5	2	31	50
	Akamatsu sap	20	445	560	643
	Karamatsu sap	20	560	660	690
	Buna sap	20	16	60	124
	" heart	6	0	3	12
接 線 Tangential	Sugi sap	7	80	283	408
	Akamatsu sap	6	294	430	624
	Buna sap	6	370	404	442

例えばスギは放射方向から薬液が浸透し難く、アカマツ、カラマツは放射方向の浸透がよいといわれているが、大体同じような結果をえている。

生材処理法において、長い木材の中央部付近で、軸方向の通導はほとんど期待できないような場合、その木材が減圧下におかれたときに放射方向から材中の空気が排出され、しだいに材内部が減圧されてゆく状態は、丁度この実験の試験体中に埋めこまれたガラス管内の圧力が、ある厚さの木材組織をへだてて減じてゆく状態に類似しているから、これらの結果は生材処理における長い丸太材の脱水の難易を推定することができる。

例えばスギ丸太材の場合、辺材含水率が高ければいっそう通導が悪くなるから、表面から 2 cm の深さでも、なかなかまわりの排気度に達することができず、辺材の深部を脱水乾燥させるには非常に長い時間かかるものと推定される。

### 2.3. 減圧下における丸太材内の圧力変化

2.1. と 2.2. の項においては、無欠点材の小試片を用いて、減圧下におかれた場合の木材内の圧力変化または通導性を測定したが、これらの結果は主として気乾状態で測定され、試験体そのものがある特殊な状態のもとに測定されているので、高含水率の実物大に近い寸法の材料に拡大した場合に同じような法則性または現象がえられるか、またそれらの結果から推定したことが、実際にあらわれるかなどを知するために本実験を行なった。

処理中における実物大に近い木材内の圧力変化の測定に関する報告は J. D. MACLEAN<sup>67)</sup> が減圧下において、角材について測定した結果が簡単に発表されているのみで、その他はほとんどない。これは木材の減圧または加圧処理は密閉缶内において行なわなければならない、そのなかにある木材内の圧力を測定することは非常に困難なためであろう。しかし、防腐処理または生材処理法を検討するには、処理中の木材内の圧力変化を動的に測定することが必要である。

そのような必要性から本実験が計画されたが、その圧力測定方法はある仮定のもとに行なわれているので、測定結果が真の木材内の圧力変化を示しているか、多少疑問があるから、絶対値は別としても相対的な意味において、その結果は処理結果の解析、処理条件の解明のために役立つものと信じる。

## 2.3.1. 実験装置と実験

## 方法

木材を入れて減圧するための密閉缶としては直径50cm, 長さ230cmの注薬缶を用い, Fig. 27に示すように木材を缶内にとりつける。木材内の圧力を測定するための装置はFig. 28に示すように特殊な圧縮装置で, そのあいだに半割りした丸太材をはさみ, 丸太材の圧力測定孔と圧縮板の孔を合わせ, 2枚の圧縮板で丸太材を締めつけて, 圧力測定孔の開孔部のふちから空気の漏出のないようにした。この装置から高圧ゴム管を通して, 木材内の圧力を注薬缶の外にある計器に伝えた。

試験材としては末口径12~16cm, 長さ550cmの長期間水中貯木した高含水率のスギ丸太を用い, 両木口面の中心点をとるように半割りにし

て, これらを3等分して, 長さ約180cmで断面が半円形のものを用いた。長い材を3等分したときに2箇所の切断面から円盤を切りとり, 初期含水率を測定した。

試験材の切断面の中心線の中点から放射方向にむかって垂直に, Fig. 28のように心材部を通して, 辺材幅のほぼ半分位置(丸太材の表面から約2cmの点)まで径約2cmの孔をあける。

注薬缶内の排気度をつねに600mmに保って, この孔の部分の圧力変化を注薬缶の外にある計器によって測定し, その丸太材の辺材部における圧力変化とした。この場合, 暴露されている心材面からの通導は2.1と2.2の結果からほとんど無視しうるものと考えられるならば, その孔のなかの圧力変化を支配しているものは丸い辺材部の放射方向の通導と木口断面から軸方向の通導によるものと考えられる。もし, この考え方が正しいとするならば, 測定された結果はちょうどこの長さの丸太材の中心部における辺材部の圧力変化を示している。

軸方向の長さは木口面から圧力測定孔までの長さとし, 長さをかえる場合は一方の木口面からのみ切断して, 他端ははじめのままとし, 孔の位置はかえない。

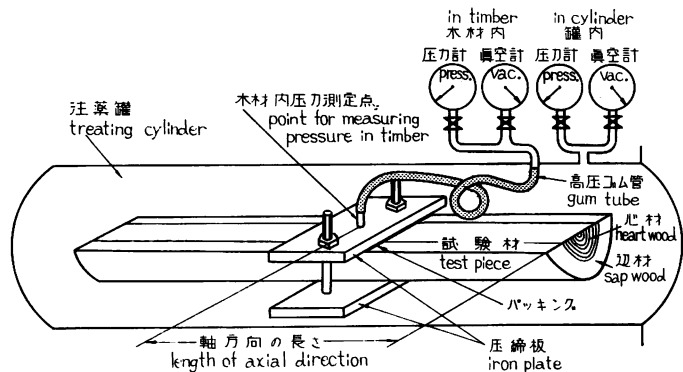


Fig. 27 注薬缶内における木材内部の圧力測定装置  
Equipment for measuring pressure in timber in treating cylinder.

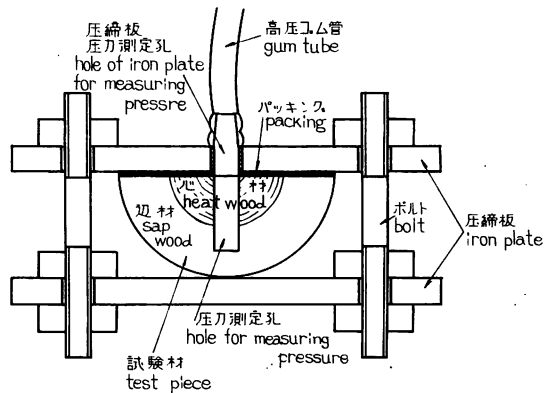


Fig. 28 圧縮板における試験材の取付け方  
Setting method of test piece on iron plates.

## 2.3.2. 丸太材の軸方向の長さが変わった場合の木材内の圧力変化

最初の試験材の長さが 180 cm であるから、その中間部分の圧力変化は軸方向の長さで 90 cm に相当する部分となる。軸方向の長さを変えるには、測定孔の一方の部分は 90 cm のままで、他方の部分を木口面から 20 cm ずつ切り落として短くした。このように同じ材料で、測定孔は同じままで、一方の軸方向の長さのみを変えることによって測定された結果は、その材料の軸方向の長さの変化によるものと考えた。

実験結果を軸方向の長さごとに、辺材平均含水率別に示すと Fig. 29~32 のとおりである。軸方向の長さが長いと辺材含水率が低くても木材内の圧力は缶内の圧力に近づくのに長時間を要する。たとえば、軸方向が 90 cm の場合、Fig. 32 に示すように、辺材平均含水率が 180% でもまだ完全に缶内の圧力に達していない。しかるに、軸方向の長さが 70 cm 以下になると辺材平均含水率 200% まだが 3 時間以内で缶内の圧力に近くなっている。

このように軸方向の距離が長くなると、その部分の木材内の圧力低下速度がおそくなるということは、2.1. でえられた軸方向の長さは空気の透過速度または圧力勾配に逆比例するという法則が成立することである。

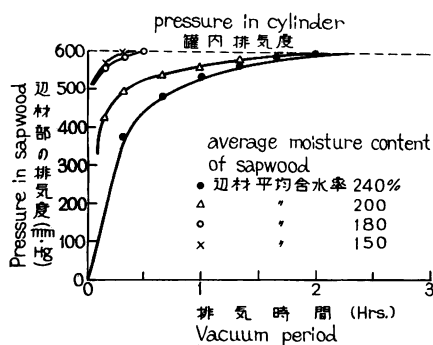


Fig. 29 木口面から 30 cm のスギ辺材部の圧力変化  
Pressure change in Sugi sapwood at 30 cm from cross section.

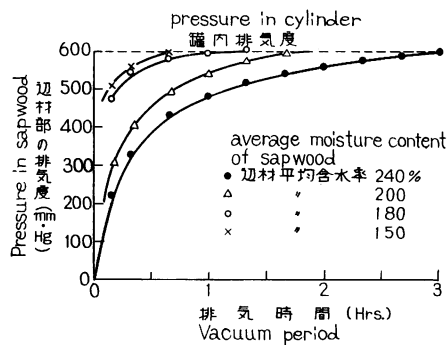


Fig. 30 木口面から 50 cm のスギ辺材部の圧力変化  
Pressure change in Sugi sapwood at 50 cm from cross section.

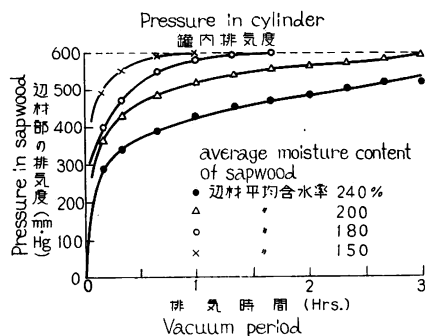


Fig. 31 木口面から 70 cm のスギ辺材部の圧力変化  
Pressure change in Sugi sapwood at 70 cm from cross section.

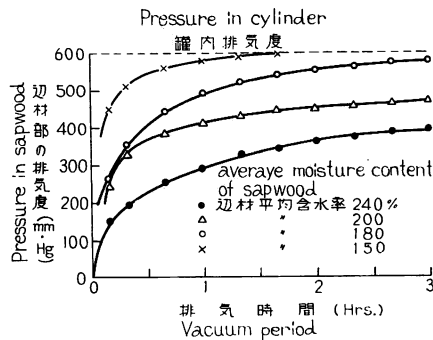


Fig. 32 木口面から 90 cm のスギ辺材部の圧力変化  
Pressure change in Sugi sapwood at 90 cm from cross section.

それがために、軸方向の距離が長くなると、各細胞中の細管の両端の圧力差が小さくなるから、そのなかにもし自由水が存在していれば、それを押し出すだけの圧力差がなくなって、もはやそれより奥は空気の移動が行なわれない。実際にも木口面から 90 cm の部分の辺材部の圧力変化は高含水率になると缶内排気度よりかなり低い排気度で停止して、時間を長くしてもそれよりほとんど増加しない。たとえ低含水率になって、自由水のない毛細管の数がふえたとしても、その両端の圧力差が小さければ、DARCY の法則にしたがって、空気の流動速度はおそいから、軸方向の長い部分の圧力低下は長時間かかることになる。

この実験に使った材料は全長 180 cm、木口面から測定孔までは 90 cm が最大であるが、その場合でも高含水率になると辺材部の圧力の低下が、缶内圧力に達しないから、10 m 前後の丸太材の場合に、その丸太材の大部分の圧力は缶内排気度よりかなり低い値であろうと推定される。

### 2.3.3. 丸太材の辺材含水率が変わった場合の木材内の圧力変化

実験に使用したスギ丸太は長期間貯木池に沈められていたから、初期含水率は非常に高く、辺材部は平均 230~260%、心材部で 150~180% であった。

この試験材を室内に放置しておき、しだいに乾燥させて、初めの木材の重量からの減少量と初期含水率から木材の含水率を推定して、目的の含水率に達したときにただちに実験を行ない、終了後、中央部付近

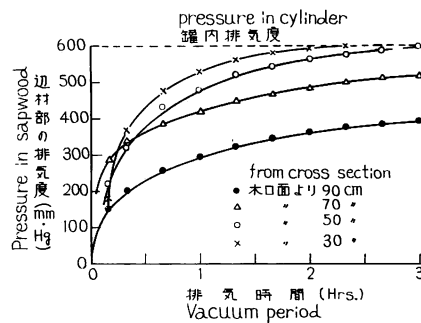


Fig. 33 スギ辺材平均含水率 240% の場合の圧力変化  
Pressure change in Sugi sapwood with average moisture content at 240%

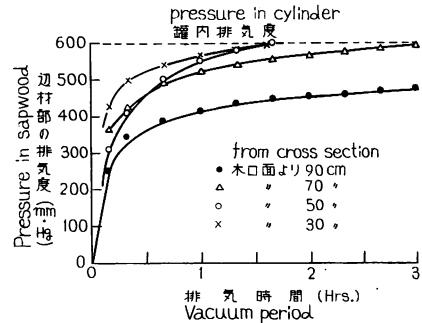


Fig. 34 スギ辺材平均含水率 200% の場合の圧力変化  
Pressure change in Sugi sapwood with average moisture content at 200%

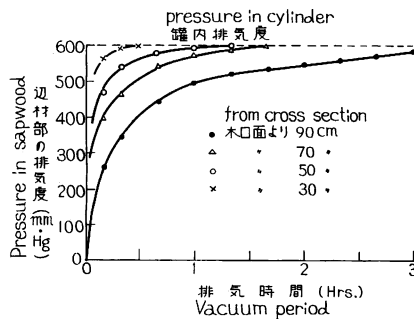


Fig. 35 スギ辺材平均含水率 180% の場合の圧力変化  
Pressure change in Sugi sapwood with average moisture content at 180%.

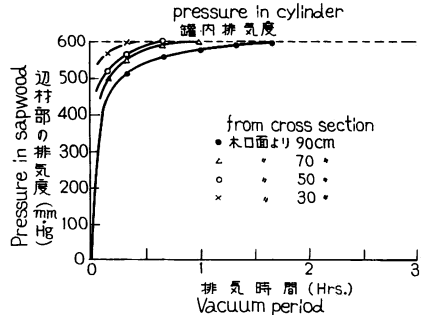


Fig. 36 スギ辺材平均含水率 150% の場合の圧力変化  
Pressure change in Sugi sapwood with average moisture content at 150%.

を切断して辺材と心材の含水率を測定した。

圧力測定部分が辺材部であるから、辺材部の平均含水率ごとに測定結果をまとめてみると、Fig. 33～36 のとおりである。Fig. 33 の辺材平均含水率 240% では木口面から 90 cm の部分で、缶内排気度 600 mm に対して、400 mm の排気度、木口面から 70 cm の部分では 500 mm の排気度で、それ以上には簡単には増加しない。木口面から 50 cm の部分では 3 時間、30 cm の部分では 2 時間後に缶内の圧力に達している。Fig. 34 から Fig. 36 まで辺材含水率が低下してくると、軸方向の長さの各部分とも、しだいに缶内の圧力と等しくなる時間ははやくなる。

このように、辺材平均含水率が高ければ、木材内部の圧力変化速度はおそくなり、辺材平均含水率が低くなるにしたがって、圧力変化速度は各部分ともはやくなる。

辺材含水率が変化し、軸方向の長さが変われば、木材内の圧力変化が異なる経過をたどるということは辺材部における放射方向の通導が、この範囲の含水率ではほとんどないか、非常にわずかなためと考えられる。もし放射方向の通導が十分にあって、その測定部分の圧力変化を支配しているならば、木口面までの距離に関係なく、各含水率ごとに一定の圧力変化を示さなければならない。

2.2. の項で気乾材の場合でも、スギ辺材は放射方向の通導があまりよくないという結果をえているから高含水率の場合にはいっそう通導が悪くなるのは当然であろう。

これらの図では最低含水率が 150% であるが、気乾状態のものでは軸方向が 90 cm の場合でも、Fig. 36 の軸方向の長さ 30 cm の部分の変化に近い結果をえている。それがため、含水率が低下すれば、かなり軸方向の長い部分でも、木材内の圧力はすみやかに缶内の圧力に近づくことは明らかである。

ただ、生材処理では当然高含水率材であり、しかも 10 m 前後の丸太材では、軸方向の通導の影響をうける部分は全長からみればわずかであり、さらに放射方向も高含水率であればあまり期待することはできず、けっきょく、大部分の辺材部分はなかなか缶内の排気度に達しない状態で処理が行なわれているものと推定される。

#### 2.4. 生材処理法の処理過程における木材内の圧力変化

2.1. ～2.3. の項において、減圧下における木材の通導性、圧力変化、法則性などについて検討を加えたが、これらの結果を総合すると、生材処理法によって木材が減圧脱水されている場合の木材内部の圧力変化をほぼ推定することができる。

生材処理法を適用する材料は当然高含水率のものであるから、処理開始のときは高含水率の場合の圧力変化を示す。この場合はいずれの樹種でも、いずれの方向でも通導が悪いから、ある深さ以上の辺材部の圧力はほとんど缶内の排気度よりかなり低い値であろう。この状態をしばらくつづけていると、表面層からしだいに水が沸騰して乾燥をはじめ、通導性も良好となると同時に、時間の経過とともにしだいに内部も排気されるようになり、さらに乾燥程度が内部にもおよんで、ある時間以上たつと、缶内の排気度に近い値まで達するようになる。

一般的には以上のような圧力変化を示すであろうが、処理しようとする材料の長さが長い場合で、スギ・ブナのようにたとえ含水率が低下して、気乾状態になっても放射・接線の 2 方向の通導があまりよくないものは、軸方向の通導に頼らなければ、木材内の圧力は外部のそれに一致しない。しかるに、長い材料の中央部付近では圧力勾配が大きくて、軸方向の通導はそれほど期待できないから、やはり外部の圧力にはなかなか達しないのではないかと考えられる。



実際には、ブナの場合生材処理の対象になるのは、長くても枕木の寸法すなわち 2 m 前後であり、両木口面からの軸方向の通導によって、中央部分までも短時間に排気されることが十分期待できるから、脱水も能率的に行なえるものと考えられる。そのため、加圧式防腐処理法の後排気の際にかなりの脱水が行なわれ複式加圧注入法を採用すれば生枕木の防腐処理が可能であるという結果<sup>34)36)37)38)</sup>も理解できる。

しかし、スギの場合には処理の対象となるのは 10 m 前後の木柱が多いから、その材料の大部分は軸方向の通導を期待して、内部を排気することは困難であり、外部の圧力と内部の圧力との間にはかなりの差をもちつつ処理を行なわなければならないので、辺材内部までの脱水に非常に時間がかかり、非能率的であると推定される。

これに対してアカマツ、カラマツのように放射方向の通導が非常に良好なものは、材料の表層から乾燥して含水率が低下してくれば、材料の長さに関係なく木材の内部はしだいに外部の圧力に近づいていくと考えられ、脱水も能率的に行なえるものと考えられる。

スチームング・アンド・バキューム法  
処理中のスギ生材内の圧力変化の実例を示せば Fig. 37 のとおりである。木材の長さは 180 cm、圧力測定点はその長さの midpoint、表面からの深さは辺材幅の 1/2 の位置である。

この結果によれば、スチームング中の木材内の圧力変化は缶内の圧力より少しおくれているが約 2 時間でほとんど同じになり、スチームングを中止して、缶内の圧力が低下すればただちに内部も圧力が低下する。つづいて缶内を急激に 600 mm の排気度にして、脱水をはじめると、木材内の圧力は缶内の圧力変化とかなりずれて、ゆるやかに排気され、2 時間後でも 560 mm の排気度に達するのみである。

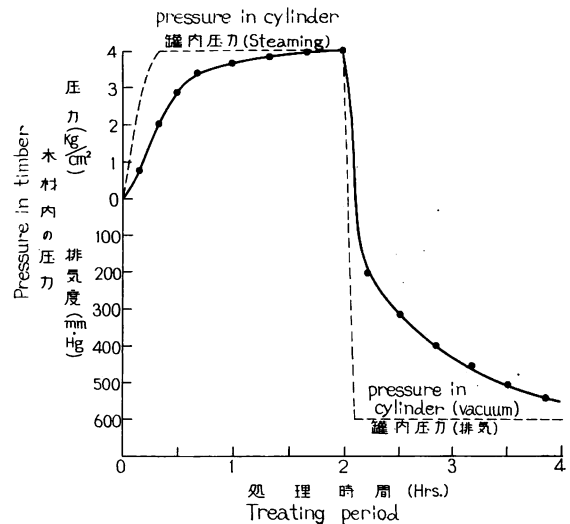


Fig. 37 スチームング・アンド・バキューム法  
処理中のスギ生材内の圧力変化  
Pressure change in green Sugi timber during  
treating periods of steaming and vacuum process.

このような結果からも、減圧脱水の際の木材内の圧力変化は、木材の表面と木口面から乾燥が進行するとともに、しだいに内部も減圧されていくことは明らかである。しかし、この方法では水の蒸発潜熱によりしだいに木材そのものは冷却されるから、木材内の温度がその部分の排気度に相当する水の沸点以下に下がると、脱水速度は急速に低下し、水の沸騰による脱水は行なわれなくなり、内部の水分の移動がゆるやかになり、まだ自由水の存在している毛細管の両端の圧力差が小さくなって、空気の通導が行なわれなくなるから、測定孔付近の圧力は缶内排気度の 600 mm に達しないのである。

けっきょく、生材処理の場合できるだけ早く内部まで減圧させることが必要であるが、内部まで減圧させるには、通導にあずかる各細管中に存在する自由水をできるだけ早く取り除かねばならない。そのためにはその細管の両端の圧力差を大きくしなければならない。両端の圧力差を大きくするには表層から脱水乾燥によって自由水を取り除き通導をよくしなければならない。このように木材内部の減圧と脱水乾

燥とは相互に密接な関連があるから、いずれか一方を促進できれば、ますます両者を促進することになる。

木材中の細管に存在している自由水が気体の通導を阻害するということは、水でなくてもその細管に他の液体が存在していても、やはり気体の通導を阻害するはずである。生材処理法のうち、スチーミング・アンド・バキューム法は蒸気により木材を加熱し、減圧脱水するから、表層よりしだいに乾燥が進み、自由水が細管中から取り除かれていくが、ブルトン法はクレオソート油で木材を加熱するから、木材中から水が脱水されても、そのあとにクレオソート油が浸透する可能性が大きく、その油が細管に浸透すれば、木材の通導を阻害し、内部は減圧され難くなる。そのため木材内部の圧力は缶内排気度より低く、当然その部分にある水の沸点は高くなっている。

そのために加熱温度と缶内排気度における水の沸点との温度差が小さいならば、木材中の水で沸騰により蒸発する部分はわずかな表層のみで、他の部分は水の沸点に達しない。内部の水をも沸騰させて脱水するためには、その部分の排気度が低くとも、その部分の水が沸騰する温度に達するような高い加熱温度でないと能率のよい脱水はできないものと推定される。

第Ⅱ編の処理結果においても、これらの推定が裏付けられている。

## 第 I 編 の 要 約

本編においては、生材処理法を解明するために重要と考えられる基礎的問題として、第 1 章において木材内の温度変化、第 2 章において木材内の圧力変化の 2 つの問題を解明し、新しい多くの知見をえたが、明らかにされた主要な結果を列記するとつぎのとおりである。

- (1) 木材内の温度変化速度は加熱温度と木材内の温度の差に比例する。
- (2) 加熱媒体の温度が、その環境下における水の沸点温度より低いときは、木材表層の温度は加熱媒体の温度に一致し、内部はその温度によって加熱されているような温度変化を示す。加熱媒体の温度がその環境下における水の沸点温度より高いときは、木材表層の温度は加熱媒体の温度に達しないで、長時間そのときの水の沸点温度に支配され、木材内部はあたかもその温度によって加熱されているような温度変化を示す。
- (3) 直径の異なる丸太材中の半径と表面からの距離の比が等しい一定点を同一温度まで加熱するに要する時間は直径の自乗に比例する。
- (4) 木口面から軸方向への温度伝導の影響はそれほど深くまでおよばない。
- (5) 基準加熱条件の木材内の中心点の温度変化を求めておけば、任意の加熱条件で、任意の直径の丸太材の、任意の点における木材内の温度または加熱時間を推定することができる。
- (6) 生材は乾燥材に比べて温度変化速度がはやい。
- (7) クレオソート油で加熱するよりは熱水で加熱した方が木材内の温度変化速度ははやい。
- (8) 木材の軸方向の空気の透過速度は軸方向の長さに逆比例する。
- (9) 木材の軸方向の圧力勾配はその長さに逆比例して低下する。
- (10) 木材が減圧下にあって、放射方向と接線方向の通導のみならば、長時間経過後でも、スギ・ブナの場合木材内の圧力は外部の圧力に一致しない。
- (11) 各樹種の心材の各方向における通導は非常に少ない。
- (12) スギ・ブナの辺材の放射方向の通導はアカマツ、カラマツの辺材に比べると非常に少ない。

(13) 減圧下におかれた高含水率のスギ丸太では放射方向の通導は非常に少なく、軸方向からの通導も木口面から約 1 m 以上長くなると、長時間経過しても木材内の圧力は外部の圧力に一致しない。

(14) スギの辺材平均含水率の低下とともに、また軸方向の長さが短くなるとともに、木材内部の圧力は外部の圧力と短時間で等しくなる。

(15) 生材処理法の処理過程中的丸太材内部の圧力変化は、表層から含水率が低下するにつれてしだいに内部も減圧されていく。

以上の結果は生材処理法により処理されている木材、とくにスギ丸太の場合、処理時間の経過とともに辺材内部の温度とその部分の排気度をほぼ推定することができ、第Ⅱ編における生材処理法の処理技術の解明、処理結果の解析に非常に有効な資料となる。

## 第Ⅱ編 生材処理法の処理技術に関する基礎的問題の解明

生材処理法とは高含水率の木材からできるだけ能率よく水分を取り去って、木材を適当に乾燥させることであるが、現在の加圧式防腐処理では主として辺材部分への薬液注入を行なっているから、普通の場合辺材含水率を加圧式防腐処理に適する状態まで乾燥させることを目標としている。

この目標を達成するための処理技術の確立を行なうために第Ⅰ編の結果をもとにして、第Ⅱ編においては処理条件あるいは丸太材の条件と脱水量とのあいだの法則性を求め、各種の条件に対する標準作業時間の確立など、処理技術の基礎的な諸問題の解明を目的とした。

生材処理法はいずれの方法でも、木材を加熱し、減圧脱水するという原理は同じであるから、基礎的な問題については共通点が多い。このような意味から、処理技術の解明の手段として、生材処理法のうち最も古くから行なわれ、また現在も多く行なわれているブルトン法を用い、試験材としては今後わが国において生材処理法の対象となる可能性が最も大きいスギ丸太を用いて、その脱水工程を中心にして検討を行なった。

実験によって求められた結果は、スギ丸太のブルトン法による処理結果であるが、そこから導き出された法則性、処理技術に対する考え方などは他の方法、他の樹種の場合にも十分に応用できるものと考えられる。

なお、生材処理法の処理技術に関する報告は米国において最も多く発表されており、わが国においても 2, 3 の報告があるが、いずれも各種の条件と脱水量とのあいだの法則性についての検討が不十分である。このような現状において、本編の結果は一般的な生材処理法における処理技術の作業基準確立のための基礎的資料として役だつものと思ふ。

### 第 1 章 処理条件に関する問題<sup>68)</sup>

生材処理法における処理条件で主要なものは排気度と加熱温度である。これらの 2 つの条件は第Ⅰ編の結果でも明らかなように、相互に関連があるから、それぞれ独立して決定することはできない。しかるに今日までに発表されている J. D. MACLEAM, J. O. BLEW<sup>72)</sup>, 服部守一<sup>73)76)</sup>, 堀江甫勇<sup>74)</sup>, 山名成雄<sup>75)</sup> などの実験結果において、処理条件の検討を行なっているが、排気度と加熱温度とのあいだの相互関連性という見地から実験計画がたてられていないで、ただ各条件における処理結果のみがまとめられているから、統一的な処理条件決定のための基準が、それらの結果からは明確に導きだせない。

それゆえに本章では、排気度と加熱温度とのあいだに相互関連性があるという考え方をもとにして、実験が計画され、それらの各種の条件に対する脱水量より、処理条件決定のための指針を求めた。

### 1.1. 実験装置と実験方法

第Ⅱ編における結果はすべて同じ装置と同じ方法を用いて行なったが、この章のはじめにまとめて説明しておく。

#### 1.1.1. 実験装置

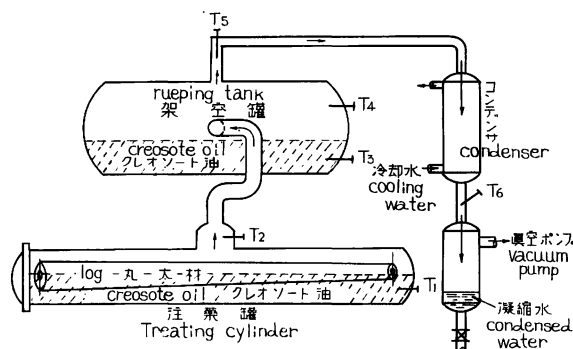


Fig. 38 プルトン法処理のための装置とその温度測定点  
Equipment for Boulton process and the measuring points of temperature.

実験に使用した装置は加圧式防腐処理のためのものとほとんど同じものである。Fig. 38 に装置の概略を示す。各装置の仕様はつぎのとおりである。

注薬缶：直径 50 cm，長さ 600 cm，缶内の下部に径 1.8 cm の加熱用パイプ 13本が2段にはいついて、伝熱面積は 3.5 m<sup>2</sup> である。

架空缶：直径 80 cm，長さ 200 cm，缶内の下部に径 2.5 cm の加熱用パイプ 22本が3段にはいついて、伝熱面積は 2.1 m<sup>2</sup> である。

コンデンサ：直径 20 cm，長さ 120 cm，内部に径 2 cm の銅パイプ 33 本がはいついて、伝熱面積は 1.8 m<sup>2</sup> で、たて型外冷式である。

注薬缶と架空缶は径 7.5 cm のパイプで、図のように注薬缶の頭部から架空缶の横側面の中央部につながっている。架空缶からコンデンサー真空ポンプまでの系統のパイプはすべて径 5 cm のものを用いた。

真空ポンプは 5 馬力のモータで動かされ、排気量は 7000 l/min である。

温度測定点は Fig. 38 の T<sub>1</sub>～T<sub>6</sub> までの 6 点で、この部分に白金抵抗による感温部をさしこんで、自記録計に記録させる。これらの 6 点の温度測定部分はつぎのとおりである。

T<sub>1</sub>：注薬缶内のクレオソート油の温度

T<sub>2</sub>：注薬缶内の蒸気温度

T<sub>3</sub>：架空缶内のクレオソート油の温度

T<sub>4</sub>：架空缶内の蒸気温度

T<sub>5</sub>：架空缶から出る蒸気の温度

T<sub>6</sub>：凝縮液の温度

#### 1.1.2. 実験方法

注薬缶内に 1 本の丸太材を入れ、架空缶であらかじめ所定の温度より約 10°C 高めに加熱しておいたクレオソート油を注薬缶内に導いて、缶の直径の約半分より少し上までみたす。この際、多少クレオソート油の温度が所定の温度より低下する場合もあるが、大体 10 分以内には所定の温度まで回復させる。

丸太材は Fig. 38 のように注薬缶内で浮かんでいるから、一部はクレオソート油中につかり、他の部分はクレオソート油よりうえに出ている。

架空缶内も缶の直径の約 1/3 まで（横側面に接続しているパイプより下）をクレオソート油で満たす。

このような状態で排気を開始し、所定の排気度まですみやかに達せしめる。丸太材から発生した蒸気は注薬缶の頭から径 7.5 cm のパイプをへて架空缶にはいり、さらにそこから径 5 cm のパイプをとってコンデンサに達し、ここで凝縮されて受器中にたまる。受器中にたまった液は各時間ごとに取出されて、メスシリンダで油と水を分離して脱水量を測定する。

注薬缶内のクレオソート油の温度は各排気度に応じて 70～110°C まで変化させたが、架空缶中のクレオソート油の温度はつねに 110°C と一定に保って、木材から蒸発してきた水は架空缶で停滞させることなく、完全にコンデンサに送りこむようにした。

蒸気の回路を架空缶をとってコンデンサに至るようにしたのは、注薬缶内のクレオソート油が泡立った場合に、架空缶の空間でその泡を貯え、コンデンサへ流入させないためである。

丸太材は処理前と脱水工程終了後に重量がはかられ、その差重を求めた。また軸方向で 4 箇所、放射方向で相対する 2 点の合計 8 点から成長錐により木材片がとられ、処理前と処理後の辺材と心材の含水率を測定した。

## 1.2. 排気度・加熱温度と脱水量の関係

実験に使用した木材は末口径 11～13 cm、長さ 550 cm のスギ丸太で、長期間貯木池に入れて、辺材部の含水率が丸太材間と、1 本の丸太材の各部分における含水率のむらを少なくさせ、辺材部は飽水に近い状態のもので、容積重は 900～1200 kg/m<sup>3</sup> の範囲のものである。そのため普通入手される生材に比べれば、かなり高含水率のもので、辺材含水率は 200～250% のものが大部分である。

実験計画は 2 元配列による乱塊法を用い、因子としては排気度と加熱温度すなわち注薬缶中のクレオソート油の温度とし、両者の各水準における処理条件によって求められた一定時間後のコンデンサにより凝縮させられた全脱水量によって両因子の分散分析を行なった。それゆえ、木材中より脱水された水が、途中の配管で凝縮している量は含まれていないから、真の木材よりの脱水量とは一致しないが、それほど大きな差はないであろう。

### 1.2.1. 6 時間後の脱水量による排気度と加熱温度の分散分析の結果

排気度としては 400, 500, 600 mm の 3 水準とし、加熱温度も 3 水準を用いたが、各排気度における水の沸点を基準にして、その温度より 10°C 高いもの、20°C 高いもの、30°C 高いものの 3 水準とした。

それらの処理条件と各排気度における水の沸点を示すと Table 9 のとおりである。

Table 9. 各排気度における加熱温度と水の沸点  
Heating temperature and boiling point of water under each vacuum.

排 気 度 (mm) Vacuum $\Delta\theta^*$	400 $B_1$	500 $B_2$	600 $B_3$
+ 10°C $A_1$	90°C	82°C	72°C
+ 20 $A_2$	100	92	82
+ 30 $A_3$	110	102	92
水の沸点 b. p. of water	80	72	62

\*  $\Delta\theta$  = 水の沸点と加熱温度との温度差

Difference between boiling point of water and heating temperature.

これらの処理条件によって各 2 本ずつスギ丸太が処理され、6 時間後における脱水量の合計を各処理条件ごとに平均して示すと Table 10 のとおりである。

Table 10. 各処理条件における 6 時間後の脱水量 ( $l/m^3$ )  
Total water collected after six hours under each treating condition.

排気度 (mm) Vacuum $\Delta\theta$		400	500	600
		B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	B <sub>3</sub>
+ 10°C	A <sub>1</sub>	34 $l/m^3$	49 $l/m^3$	43 $l/m^3$
+ 20	A <sub>2</sub>	98	139	141
+ 30	A <sub>3</sub>	167	158	181

これらの結果を用いて、各排気度間と、各加熱温度間に、脱水量に関して有意なる差が認められるか、分散分析法によって検討した。Table 10 の結果の分散分析表は Table 11 のとおりである。これらの結果によると、脱水量について、A の因子すなわち加熱温度は 0.1% 以下の危険率において有意差が認められたが、B の因子すなわち排気度については、ほとんど有意差が認められなかった。

Table 11. Table 10 の結果の分散分析表  
Analysis of variance for Table 10

	S. S.	n	M. S.	F	P
A	24921	2	12461	62.8	$P < 0.001$
B	770	2	385	1.95	$P > 0.05$
e	791	4	198		
T	26482	8			

けっきょく、このような処理条件のきめ方では脱水量に対して影響の大きいものは加熱温度であって、排気度はほとんど影響をあたえない。

#### 1.2.2. 20 時間後の脱水量による排気度と加熱温度の分散分析の結果

1.2.1. の結果を再確認するために、寸法と含水率はほとんど同じであるが、産地の異なるスギ丸太を用い、脱水時間を長くした場合でも同じような結果がえられるか、どうかを同一の方法によって検討した。

処理条件は排気度 400, 500, 600 mm の 3 水準としたが、加熱温度は 1.2.1 の結果で水の沸点より 10°C 高い温度では非常に脱水量が少ないので、この水準は省略して 2 水準とした。各処理条件ごとに 20 時間後の脱水量を示すと Table 12 のとおりである。

Table 12. 各処理条件における 20 時間後の脱水量 ( $l/m^3$ )  
Total water collected after twenty hours under each treating condition.

排気度 (mm) Vacuum $\Delta\theta$		400	500	600
		B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	B <sub>3</sub>
+ 20°C	A <sub>2</sub>	224 $l/m^3$	237 $l/m^3$	218 $l/m^3$
+ 30	A <sub>3</sub>	292	272	277

これらの結果を用いて、各排気度間と各加熱温度間に、脱水量に関して差異が認められるか、分散分析法によって検討した。

その分散分析表を示すと Table 13 のとおりであり、その結果によると 1.2.1. の結果と同じように、加熱温度の因子については 5 % 以下の危険率において有意差が認められたが、排気度に関してはやはり有意差が認められなかった。

Table 13. Table 12 の結果の分散分析表  
Analysis of variance for Table 12.

	S. S.	n	M. S.	F	P
A	4375	1	4375	30.1	P < 0.05
B	115	2	58	0.4	
e	290	2	145		
T	4780	5			

けっきょく、脱水時間を長くしても脱水時間が短い場合と両因子による脱水量に対する影響は同じであり、また産地が異なっても同じ結果がえられるということが確認された。また脱水 6 時間の方が 20 時間の場合に比べて、加熱温度による脱水量間の差は顕著にあらわれた。

排気度に差が認められなかったことが、本質的なものか、これらの結果のみからは結論できないが、排気度が高くなれば当然排気量も多くなるから、脱水量も多くなってよいはずであるが、水の沸点が低くなるから、加熱温度の絶対値はやはり低くなっている。加熱温度が低ければ木材中の水分の移動速度は低下するから、両者が相殺して排気度が変わっても脱水量には有意な差が認められないということもありうることである。

### 1.2.3. 各加熱温度と脱水経過

各加熱温度を水の沸点との関連において分類すると、排気度間には脱水量に対して有意な差が認められないということが明らかとなったので、各種の処理条件の結果を水の沸点より 10°C、20°C、30°C 高いものの 3 種類の加熱温度にわけ、同じ温度差の各排気度における結果を平均して、脱水量の時間的経過をまとめると Fig. 39 のとおりである。

これらの結果によると、脱水速度は最初の 1 時間で温度差 30°C の加熱温度では 60~85 l/m<sup>3</sup>・h、平均 77 l/m<sup>3</sup>・h、温度差 20°C の加熱温度では 30~50 l/m<sup>3</sup>・h、平均 43 l/m<sup>3</sup>・h となっているが、温度差 10°C の加熱温度では 0~2 l/m<sup>3</sup>・h で、平均 0.8 l/m<sup>3</sup>・h であって非常に少ない。

前 2 者の加熱温度の場合、図のように 6 時間までに、脱水速度は急激に低下し、そのご

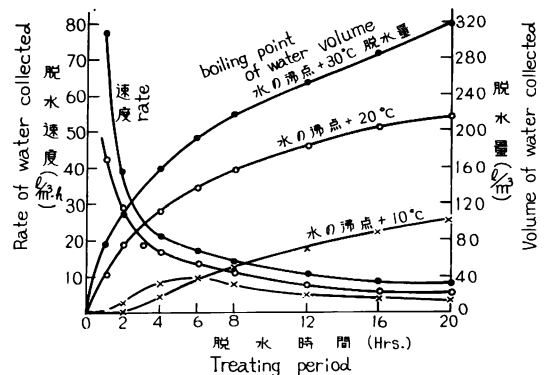


Fig. 39 プルトン法処理による加熱温度と脱水経過

Heating temperature and rate or volume of water collected during treating periods of Boulton process.

は非常にゆるやかな勾配で低下して、20 時間後で温度差  $30^{\circ}\text{C}$  のもので約  $7\text{ l/m}^3\cdot\text{h}$ 、 $20^{\circ}\text{C}$  のもので約  $4\text{ l/m}^3\cdot\text{h}$  になっている。ただ、温度差  $10^{\circ}\text{C}$  のものは前 2 者と異なり、6 時間まで脱水速度がゆるやかに増加し、そのあとまたゆるやかに低下して、20 時間後に約  $3\text{ l/m}^3\cdot\text{h}$  になる。

このように 3 種類の加熱温度における 6 時間までの脱水速度は温度差が  $10^{\circ}\text{C}$  高まることによって非常に差が大きくなるが、それ以後は 3 者が互に接近して、速度の差が少なくなり、曲線の勾配も似てきて、同じような形の曲線でゆるやかに低下していく。

これらの脱水速度の変化を処理されている木材の状態から考察してみるとつぎのとおりである。

加熱温度が高い場合には、処理が開始されると比較的短時間に木材の表層の温度も、排気度も高くなり、そのときの水の沸点温度に木材表層が達して、急激にそこにある水が沸騰して蒸気となり、多量の脱水が短時間に行なわれる。しかし、その部分の脱水が進行すると含水率は急速に低下するから、しだいに蒸発量は少なくなり、脱水速度も数時間のあいだに急速に低下する。さらに表層部分の含水率が低下すればするほど、その部分は組織的にも水分が移動し難い状態に変わり、加熱初期の木材の表層とは全く異なる状態において脱水が行なわれるようになる。いわゆる人工乾燥における減率乾燥に類似の状態に変わっているものと考えられる。それゆえに木材中における水分の移動は外層の高い排気と内層の低い排気度との圧力差による毛細管移動により表層に水分が移動し、そこで沸騰するものと、木材内の水分傾斜による拡散移動の両者によって脱水が行なわれるようになる。このような状態に達すると脱水速度は木材内部の圧力変化速度、水分の拡散移動速度に支配されるようになるから、絶対値はしだいに小さくなり、またほとんど直線的に低下していく。

これに対して加熱温度が低いと、処理開始後、木材の表層部は缶内の排気度に達していても、その部分の温度上昇がおそく、またその部分の水が沸騰をはじめても、蒸発量が少ないため、コンデンサに達する前に凝縮してしまつて、なかなか受器に達しない。しかし、しだいに木材も各回路も加熱されてきて蒸気の発生量も多くなるから、途中で凝縮しないでコンデンサに達するようになる。そのために加熱初期より 6 時間までしだいに脱水速度が上昇する。しかし、そのあとは他の加熱温度の場合と同じく木材の表層が乾燥してきて、減率乾燥の状態に変わるから、また脱水速度は下降線をたどるようになる。ただ、ここでいう脱水量、脱水速度はコンデンサまで達して凝縮させられたみかけ上の水の量を意味するから上記のような変化をたどるのであって、木材自身の脱水されていく変化はおそらく、加熱温度の高いときと同じような傾向を示すものと推定される。

これらの脱水速度の経過からみて、脱水時間が 4～6 時間までに多量の水を脱水するか、しないかが、全脱水量の多少に大きく影響し、その処理条件が能率的であるか、どうかを決定する。加熱温度が高い場合に、全脱水量が多くなるのも、加熱初期に 20 時間後の脱水量の約  $2/3$  の量の脱水を行なうからである。

また、加熱 6 時間以後において、脱水速度は木材中の含有水分の量に比例して低下してゆくようである。この関係についてはつぎの章で検討する。

### 1.3. 処理装置各部の温度変化

温度測定部は Fig. 38 の  $T_1\sim T_6$  の点である。加熱温度とは注葉缶中のクレオソート油の温度のことであるから  $T_1$  がその温度に相当する。各部の温度変化は Fig. 40 に示す。

各排気度において、加熱温度と装置各部の温度をみると、加熱温度  $T_1$  がそのときの排気度における水の沸点より  $10^{\circ}\text{C}$  高い場合には、注葉缶内の蒸気温度  $T_2$  はいずれもほとんどそのときの水の沸点に等し



い温度を示している。しかし加熱温度が高くなると、脱水時間の初期において、 $T_2$  の温度もそのときの水の沸点よりかなり高いが、時間の経過とともにしだいに低下してきて、4～6時間後にはそのときの水の沸点より 2～5°C 高い温度を保って、それからはほとんど変化しなくなる。大体加熱温度が 10°C 高くなると、 $T_2$  の温度は 1～2°C 高くなる。

架空缶中のクレオソート油の温度  $T_3$  をつねに 110°C と一定に保っていると、架空缶内の蒸気温度  $T_4$  は注薬缶内の蒸気温度  $T_2$  にかなり支配されるが、架空缶中のクレオソート油によって加熱されてその温度は  $T_3$  と  $T_2$  の平均値より少し低い温度を示す。

架空缶から出てパイプを移動している蒸気温度  $T_5$  は  $T_4$  の温度にほとんど関係なく  $T_2$  の温度に大部分は支配されているが、少し  $T_4$  の影響も受けるから、 $T_2$  の温度より 1～4°C 高い温度を保つ。ただ、加熱温度がそのときの水の沸点より 10°C しか高くないときは  $T_5$  の温度は Fig. 40 に示すように高低のはげし

いものがあり、他の加熱温度の場合のように一定の温度を保持しない。

図には示さなかったが、凝縮液の温度  $T_6$  は、そのときの室温と冷却水の温度との平均値に近い値を示す。

以上のように装置各部が時間の変化とともに、それぞれ特徴のある温度変化を示すが、丸太材中からの

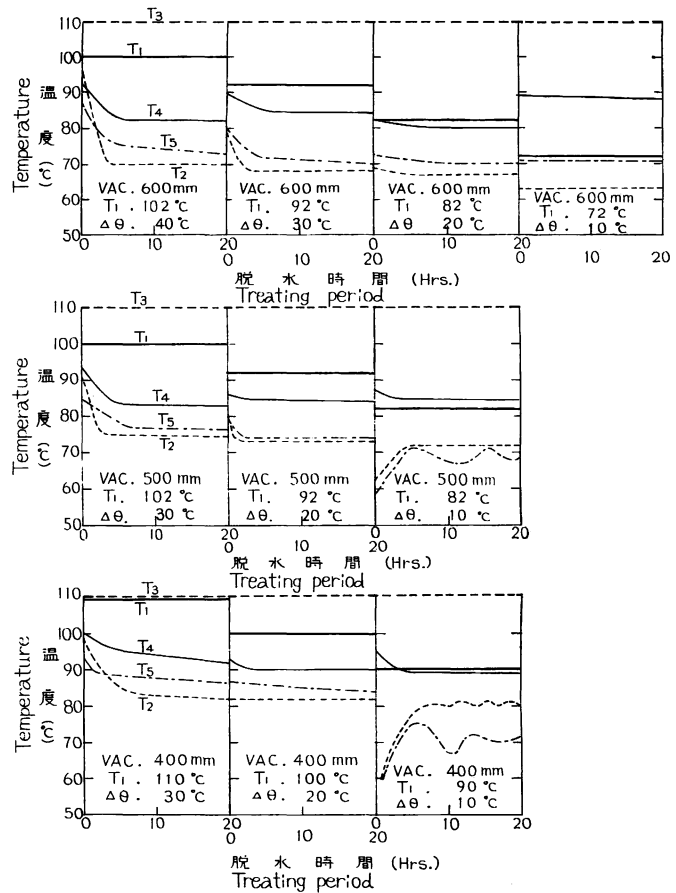


Fig. 40 ブルトン法処理中の装置各部の温度変化  
Temperature change in various parts of equipment  
during treating periods of Boulton process.

$T_1$ : 注薬缶内のクレオソート油の温度

Temperature of creosote oil in treating cylinder.

$T_2$ : 注薬缶内の蒸気温度

Temperature of vapor in treating cylinder.

$T_3$ : 架空缶内のクレオソート油の温度

Temperature of creosote oil in Rueping tank.

$T_4$ : 架空缶内の蒸気温度

Temperature of vapor in Rueping tank.

$T_5$ : 架空缶からコンデンサまでの管内の蒸気温度

Temperature of vapor in pipes from Rueping tank  
to condenser.

$\Delta\theta$ : 加熱温度と水の沸点との差

Difference between heating temperature and boiling  
point of water under the vacuum.

水蒸気の発生、移動状態などを推定するためには、注薬缶内の蒸気温度  $T_2$  と架空缶を出てパイプ中をとる蒸気温度  $T_3$  の温度変化が最も重要な情報を提供してくれる。

すなわち、加熱温度がそのときの水の沸点より  $20^{\circ}\text{C}$  以上高い場合、排気度が所定の値に近づくと、木材の表層にある水が急激に沸騰し、そのため注薬缶内のクレオソート油をはげしく泡立たせ、 $T_2$  の測温部までクレオソート油に接触するようになるから、加熱初期には  $T_2$  の温度がかなり高い温度になる。しかし、数時間経過後丸太材からの水蒸気の発生と液面からの蒸発とが動的平衡状態に達し、泡立ちもなくなると、ついにある一定の温度を保持するようになる。このような状態になると木材中よりの水の脱水は非常に順調に行なわれていることを示す。

また  $T_2$  の温度は加熱温度が高くなると、そのときの水の沸点より少し高めの温度を保持する。この原因は注薬缶内のクレオソート油で過熱されるためと、クレオソート油中の低沸点の油の蒸気が混合するためであろう。ただ、そのときの温度  $T_2$  は加熱温度を  $10^{\circ}\text{C}$  上昇させても、それほど大きな温度上昇はなく、わずか  $1\sim 2^{\circ}\text{C}$  ずつである。

また  $T_3$  の温度は大体  $T_2$  の温度に支配されるが、脱水開始からある短い時間は注薬缶から蒸気がうえまで達するのに時間がかかるから、はじめのわずかな時間は低く、蒸気の通過量が多くなると急激に温度が上昇し、 $T_2$  より少し高めの温度になる。しかし、加熱温度が低いと注薬缶中にある丸太材からの蒸気の発生が少なく、 $T_3$  の付近まで蒸気が上昇する前に凝縮して  $T_3$  の温度上昇がほとんどないものもある。

また Fig. 40 で加熱温度が低いときに  $T_3$  の温度が波をうっているのは、蒸気の通過量が多くなったり、少なくなったりむらがあるからである。

以上のように、 $T_2$  の温度変化によって木材からの水の蒸発状態を、 $T_3$  の温度変化によってコンデンサへの蒸気の通過量または蒸気の凝縮状態を推定することができる。

#### 1.4. 脱水工程中の木材内温度変化の推定

注薬缶内にある木材の内部の温度変化を直接測定することができれば理想的であるが、装置の関係で測定できなかったから、第 I 編の大気圧下における木材内の温度変化、減圧下における木材内の圧力変化と装置各部の温度、脱水工程終了後ただちに取出して測定した木材内の温度から脱水工程中の温度変化を推定してみる。

脱水工程終了後の木材内の温度測定法は、丸太材を注薬缶から取り出すと、ただちに両木口面から 1 m の部分と丸太材の長さの中心の 3 箇所に、成長錐で丸太材の中心部まで孔を明け、そこにガラス温度計をさしこんで温度を測定した。そのために正確な意味では脱水工程中の丸太材の中心部の温度より多少低くなっているかもしれないが、丸太材の内部であるから、それほど急激に下がることもないと考えられる。

1.2. の実験において使用されたスギ丸太の脱水 20 時間経過後に測定された丸太材各部の中心温度を示すと Table 14 のとおりであり、中央部分の温度は木口面に近い部分の温度より大体高く、加熱温度  $T_1$  と注薬缶内の蒸気温度  $T_2$  の平均値に近い温度を示しており、木口面に近い部分は蒸気温度に近い値を示しているものもある。

加熱初期においては、第 I 編第 1 章の結果から、丸太材の表面は加熱温度に関係なく、各排気度の水の沸点に相当する温度に支配されて加熱されている。それゆえ使用した丸太材の直径ではその丸太材の中心部の温度は 5 ～ 6 時間で、また辺材の内層部分の温度は 3 ～ 4 時間で丸太材の表層の温度と一致するであ

Table 14. 各加熱温度における 20 時間後の丸太材の中心温度  
Temperature at center in timber after twenty hours under each condition.

排 気 度 Vacuum (mm)	加熱温度 $T_1$ Heating temperature (°C)	缶内蒸気温度 $T_2$ Vapor tempera- ture in cylinder (°C)	丸 太 材 の 中 心 温 度 (°C) Temperature at center in timber		
			元口から 1 m 1m from butt	長さの中心 Center of length	末口から 1 m 1m from top
400	110	85	93	93	93
400	100	82	81	85	81
500	100	76	84	85	84
500	92	74	78	80	80
600	100	70	77	83	77
600	92	68	69	77	75
600	82	67	75	76	75
600	72	62	68	71	71

ろう。

しかし、減圧脱水という急激な乾燥を行なっているから、丸太材の表層部分は含水率が非常に低下して、そのまわりの温度に支配されるようになる。ただ、注薬缶内において丸太材の外周条件はクレオソート油に接している部分と蒸気に接している部分との 2 種類がある。

丸太材の蒸気に接している部分は表層から乾燥が進んで、辺材の内部までかなりの排気が行なわれ、水の沸騰が表層からしだいに内層におよんで、少なくとも辺材部分はそのときの排気度における水の沸点に相当する温度でかなり長いあいだ支配されているであろう。

その反対側のクレオソート油に接している部分の辺材は、クレオソート油が木材内からの空気の排出を阻害して排気が十分に行なわれないから、辺材内の水の沸点降下は少なく、蒸気側に比べればかなり高い沸点の温度で支配されて加熱されていると考えられる。丸太材の中心部の中心点付近の心材部は排気がほとんど行なわれないと考えられるから、その部分は蒸気側の辺材温度すなわち蒸気温度  $T_2$  とクレオソート油側の辺材温度、大体  $T_1$  に近い温度で加熱されて、 $T_1$  と  $T_2$  の平均値に近い値となって平衡を保っているのである。

しかるに両木口面より 1 m の部分は蒸気側の辺材はもちろん、クレオソート油側の辺材もかなりの排気度に達して、両者ともそのときの排気度における水の沸点に近い温度を長期間保持するであろうから、心材部は両側の辺材温度すなわちそのときの水の沸点の温度に近い値で加熱されることになり、中央部における温度より  $T_2$  の温度に近い値を示す。

ただ、これらの各部の温度はその部分またはそのまわりの部分の排気度によりかなり影響をうけるから、同じような処理条件であっても、初期含水率が低いか、局部的に脱水が進んで通導が良くなり、内部の排気度が高くなれば当然その排気度に相当する水の沸点に近づくであろう。また反対に木材中の水分がいつまでも減少しない部分は通導が悪いから排気度が高くならず、そのためそれに相当する水の沸点も高いからその部分は加熱温度に近い温度を保っている。

このように木材内の排気度、乾燥度によって局部的にも温度は変動しやすいから、処理条件は同じであっても、つねに同じ温度変化を示すとはかぎらないが、一般的傾向としては上記のとおりの変化を示すものと考えられる。

### 1.5. 排気度・加熱温度決定のための指針

本章においては処理条件として排気度と加熱温度を中心にして検討を行なって、処理条件決定のための資料をえた。これらの結果をもとにして、生材処理法とくにプルトン法における処理条件決定のさいの指針をまとめてみるとつぎのとおりである。

排気度と加熱温度については、加熱温度を各排気度における水の沸点との温度差でみるとその差が大きいほど、同一時間に多量の水を木材から脱水することが明らかとなり、その場合には排気度によっては大きな差は生じない。しかし、もし加熱温度の絶対値が一定の場合、たとえば  $90^{\circ}\text{C}$  とすると、排気度を 400, 500, 600 mm とかえると、水の沸点との温度差は約  $10^{\circ}\text{C}$ ,  $20^{\circ}\text{C}$ ,  $30^{\circ}\text{C}$  となって、同一加熱温度ならば排気度の高い方が脱水量が多くなることは明らかである。

ただ、加熱温度が高いほど良いという結果をえているが、水の沸点との温度差約  $40^{\circ}\text{C}$  の加熱温度、例えば排気度 600 mm, 加熱温度  $102^{\circ}\text{C}$  の結果は、温度差  $30^{\circ}\text{C}$  の結果と大きな差がなかったことから、これ以上高い温度差で処理する必要はない。

生材処理法においては、加熱温度をそのときの排気度との関連において決定すべきで、それぞれ独立に決定すべきではない。

実際処理における処理条件の決定には、注薬缶内におけるクレオソート油の加熱能力を知り、その温度を決定して、水の沸点との差を  $30^{\circ}\text{C}$  以上になるような排気度を決定すればよい。また燃料費の節約、木材質への影響を考慮すれば、加熱温度の絶対値は低い方が好ましいから、この場合には排気度を高めることによって、温度差  $30^{\circ}\text{C}$  を保った方が能率的である。ただ排気度は高いほど良いとしても、夏季のように室温が高いときは、凝縮水の温度も高くなり、ひとたび凝縮した水がまた受器から蒸発して真空ポンプに移る可能性があるから注意する必要がある。実験結果によると夏季凝縮水の温度が  $40^{\circ}\text{C}$  近くなると、700 mm の排気度では蒸発が多量になるから、650 mm 以下の排気度がよい。冬季では 700 mm でもさしつかえない。

わが国の工場においては、注薬缶内の加熱能力が低いものが多いから、処理条件は排気度を高めることによって能率を高める必要があるが、コンデンサの伝熱面積と効率が十分でないと、排気開始時には高い排気度に達するが、水の蒸発量が多くなるとそれを完全に凝縮させることができないで、排気度が低下してくる場合があるから、コンデンサの容量は十分大きいものでなければならない。できれば1時間あたりの能力を収容木材の単位容積から  $100\text{ l/m}^3$  の脱水量を凝縮できるものがよい。

注薬缶からコンデンサまでの回路には、注薬缶から直接コンデンサに至る方法と架空缶をとってコンデンサに至る方法とがある。脱水速度が大きいとクレオソート油の泡立ちがさけられないから、前者ではコンデンサにクレオソート油の流入する危険があり、後者では架空缶でそれを受け入れるからその心配はないが、架空缶内の油を加熱する必要がある。

けっきょく、泡立ち防止剤の添加または注薬缶内の蒸気の空間を多くして、コンデンサへのクレオソート油の流入が防止できるならば、注薬缶から直接コンデンサへの回路がよいが、その危険がさけられないならば、架空缶をとる回路をえらぶべきである。

## 第 2 章 木材条件に関する問題<sup>87)</sup>

木材条件と脱水量との関係については G. BRAMHALL と W. M. CONNERS<sup>77)78)79)</sup> が複雑な実験式を

提案しており、服部守一<sup>73)</sup>も簡単な処理結果を発表しているが、各因子間の法則性についてはほとんど明らかにされていない。

本章においては処理条件を一定にして、木材条件が変わった場合の脱水量の変化、その法則性、処理後における木材の含水率分布などを明らかにし、標準作業時間決定のための資料をうることを目的とした。

実験装置と実験方法は 1.1. と同じであり、処理条件は排気度 600 mm, 加熱温度 100°C を主として用いた。試験材はスギ丸太で、長さは 550 cm のものを用いた。

### 2.1. 木材の初期含水率

生材処理法の対象になる木材は実用的には初期含水率の高いものが多いので、本実験では主として 700 ~ 1000 kg/m<sup>3</sup> の初期容積重のスギ丸太を用いた。ただ初期含水率の調整は非常に困難で、同じ容積重でも含水率分布が全く異なり、脱水経過が同じ変化を示さないものがあった。それゆえ木材の初期含水率の影響を知るためには、主として辺材平均含水率が初期の容積重の低下とともに低下し、心材平均含水率はそれほど大きな差がないものの資料について検討を加えることにした。

丸太材の寸法は末口径 11~13 cm, 長さ 550 cm のものを用い、容積重算出のための容積は日本農林規格電柱用素材の計算法を用いた。

#### 2.1.1. 脱水速度・脱水量の時間的变化

初期容積重は 900 kg/m<sup>3</sup> として示したものは 900~1000 kg/m<sup>3</sup> のもの、800 kg/m<sup>3</sup> 以下のものは  $\pm 20$  kg/m<sup>3</sup> のものを用いた。また 900 kg/m<sup>3</sup> のものは貯木池に沈めて含水率を高めたもので、辺材含水率は 200~250%, 800 kg/m<sup>3</sup> と 700 kg/m<sup>3</sup> のものは伐採直後の丸太材で、600 kg/m<sup>3</sup> と 500 kg/m<sup>3</sup> のものはそれ以上の重さのものを乾燥させて調整した。辺材含水率は 800 kg/m<sup>3</sup> では 150~180%, 700 kg/m<sup>3</sup> では 100~120%, 600 kg/m<sup>3</sup> では 70~90%, 500 kg/m<sup>3</sup> では 40~50% のものである。

脱水量の測定ははじめから 4 時間までは 1 時間ごとに、ついで 8 時間までは 2 時間ごとに、それ以後は 4 時間ごとに測定した。実際には同じ初期容積重であっても、辺材含水率にむらがあって、実験結果においてかなり偏差があったが、それらの平均的な結果を示したものを Fig. 41 に示した。

脱水速度ははじめから 1 時間のときの値が、各初期容積重、すなわち各初期含水率によって非常に差があり、初期容積重の大きいもの、いかえれば初期含水率の高いものほど大きな値を示しているが、初期容積重が 500 kg/m<sup>3</sup> 以下になると、このような変化を示さず、はじめの 1~2 時間はほとんど脱水されない。

700~900 kg/m<sup>3</sup> の初期容積重では脱水時間が 6 時間になるまでに、脱水速度ははじめの 1 時間の速度から急激に低下

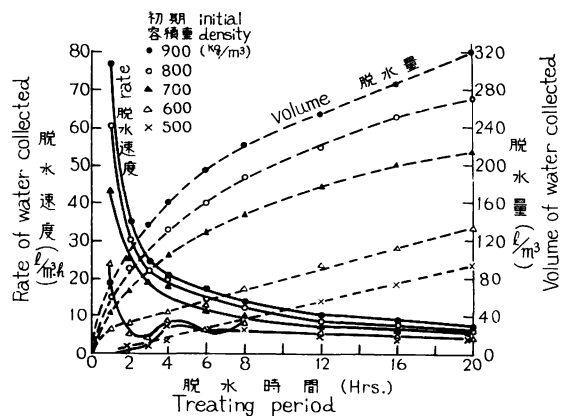


Fig. 41 木材の初期容積重と脱水経過  
Initial density of timber and rate or volume of water collected during treating periods of Boulton process.

排気度 Vacuum: 600 mm  
加熱温度 Heating temperature: 100°C  
末口径 Dia. of top: 12~13 cm,  
長さ Length: 550 cm.

し、各初期容積重のあいだの速度の差はしだいに少なくなり、8 時間以後では  $0.5 \sim 1.0 \text{ l/m}^3 \cdot \text{h}$  の差をもちながら同じような勾配で低下していく。

しかるに  $600 \text{ kg/m}^3$  の初期容積重の場合は、脱水速度がはじめから 3 時間までに急激に低下し、4 時間目でまた増加したりして、波をうって変化し、8 時間以後はそれ以上の容積重のものと同じような勾配で低下していく。また  $500 \text{ kg/m}^3$  の初期容積重では最初の 1 時間では脱水量が 0 で、脱水速度は 2 時間から 4 時間までしだいに増加し、その後は直線的に低下していく。ただこの場合も実際に測定されるのは受器にたまった脱水量であるから、上記のような変化を示すのであって、真に木材から脱水されている量の変化は、おそらく高い容積重の木材と同じような傾向をたどるものと考えられる。

脱水量については  $700 \sim 900 \text{ kg/m}^3$  の初期容積重のものは、20 時間後の全脱水量の約  $2/3$  に相当する量のはじめから 6 ～ 8 時間までに出てしまう。また 20 時間後の各初期容積重の全脱水量を比べてみると、初期容積重の高いものほど多量の水が脱水されている。 $500 \text{ kg/m}^3$  と  $600 \text{ kg/m}^3$  の容積重のものの脱水量は、速度は不規則な変化を示したが、時間の経過とともにほとんど直線的に増加している。

以上のように各初期容積重の木材の脱水速度の時間的変化は第 1 章における各加熱温度別の変化と同じように、脱水 6 時間前後を境として非常に異なった変化を示しており、やはりその時間前後に木材中の水分移動に関して、異なった状態に転換するものと考えられる。

とくに興味があることは、初期含水率すなわち初期の容積重がしだいに低下するにつれて、加熱 1 時間目の脱水速度も順次に小さくなり、 $500 \text{ kg/m}^3$  の初期容積重になると 0 となってしまうことである。このような現象から考えれば、加熱初期に脱水量が多いか少ないかを支配するものは、辺材表層の含水率の高低ではないかと考えられる。

加熱と排気を開始すると、辺材表層が高含水率であれば、その部分の水分がただちにそのときの排気度の水の沸点に達し、急激に沸騰して蒸気となり、脱水量を多くさせる。しかし辺材表層の含水率が低ければそのさいに沸騰する水の量も少なくなるから脱水量も少なくなり、脱水速度にむらがおきる。さらにはじめから辺材表層が気乾状態に近ければ、もはやその部分から蒸発する水分は非常に少なくなって、 $500 \text{ kg/m}^3$  の初期容積重のときのように、はじめの脱水量が 0 となるのである。

末口径 13 cm、長さ 550 cm、初期容積重  $700 \text{ kg/m}^3$ 、辺材表層含水率 100% のスギ丸太を処理したときに、6 時間までの脱水量から、このように沸騰により急激に脱水される層の厚さを計算により推定してみるとつぎのとおりである。

6 時間までの脱水量	10,000 cc
丸太材の表面積	$23,700 \text{ cm}^2$
丸太材の絶乾比重	0.35

もしこの水分が木口面からも側面からも、一様に蒸発したとして、木材表面から  $X \text{ cm}$  の深さまでの水が、この時間に完全に脱水されたと仮定すれば、

$$\begin{aligned} 23,700 \times X &= \text{脱水された木材層の容積} \\ 23,700 \times X \times 0.35 &= \text{脱水された部分の絶乾重量} \end{aligned}$$

その部分の含水率が 100% であるから、その  $X \text{ cm}$  の深さまでに存在する水分の重さは、絶乾重量に等しい。この水が全部脱水されたとすれば次式が成り立つ。

$$\begin{aligned} 23,700 \times 0.35 \times X &\doteq 10,000 \\ X &= 1.2 \text{ cm} \end{aligned}$$

けっきょく、表面から約 12 mm の層までの水分がこの時間までに脱水されたことになるが、実際は両木口面からの脱水量は側面より多いと考えられ、辺材の内部からも多少脱水されているから、実際に加熱初期に脱水速度を支配している層はさらに浅いことになる。

このように計算の結果からも、生材処理法における脱水工程の初期における脱水量は木材表面の非常に浅い層における含有水分の量の影響が大きいことがわかる。

たとえば、初期容積重  $900 \text{ kg/m}^3$  の丸太材を短期間天然乾燥して  $700 \text{ kg/m}^3$  まで下げたものと、伐採直後の丸太材で初期容積重が  $700 \text{ kg/m}^3$  のものを処理すると、前者は初期の脱水量が非常に少なく、後者の方が多い。前者は表層含水率のみが低下しており、後者は辺材層の含水率はほとんど均一か、または表層の方が高いからである。

このような例からもわかるように、木材の初期容積重による脱水経過の推定は非常に困難であり、本来ならば辺材の含水率分布によらなければならないが、容積重が辺材含水率と大体比例関係にあり、しかも、辺材部の表層から内層までの水分傾斜が極端に大きくない材料ならば Fig. 41 のような脱水経過をたどるであろう。

### 2.1.2. 木材の含有水分量と脱水時間との関係

木材の含有水分量を容積重におきかえてあらわすと各容積重における脱水速度は時間の経過とともに、はじめ急激に、のちにゆるやかに低下していることは、木材中の含有水分の量が時間の経過とともに低下しているからで、脱水速度と木材中の含有水分量とは比例的関係にあるものと考えられる。

人工乾燥において、木材を同一空気条件下で乾燥する場合、乾燥速度は含水率に比例し、乾燥経過は指数曲線になるという仮定があり<sup>80)</sup>、生材処理法における木材中からの脱水も一種の乾燥であるから、この式の含水率の代わりに容積重を用い、脱水工程の末期には、煮沸減圧による脱水であるから、木材は絶乾状態に漸近するものと仮定して、つぎの式になおしてみる。

$$(D - D_0) = (D_a - D_0) e^{-kt}$$

あるいは

$$\log \frac{D - D_0}{D_a - D_0} = -kt \dots\dots\dots (16)$$

$D_a$  : 初期容積重

$D_0$  : 絶乾容積重

$D$  :  $t$  時間後の容積重

$k$  : 木材条件によってきまる常数

(16) 式を時間  $t$  で微分して  $\frac{dD}{dt}$  を求めると、脱水速度は木材中の含有水分に比例する式になるから、実験の結果とも一致することになり、(16) 式の関係が生材処理法の工程においても近似的に成立する可能性がある。

(16) 式の左辺を縦軸に、右辺を横軸にとり、 $D_0 = 350 \text{ kg/m}^3$  としてスギ丸太の結果を示すと Fig. 42 のとおりである。

初期容積重  $700 \sim 900 \text{ kg/m}^3$  の場合は  $(D - D_0)/(D_a - D_0)$  の値がほとんど同じであり、 $600 \text{ kg/m}^3$  の場合は少し大きな値となるが、脱水時間とのあいだにはいずれも直線関係が成立し、同じ勾配となっている。ただ  $500 \text{ kg/m}^3$  の場合は直線関係ではあるが勾配は急である。

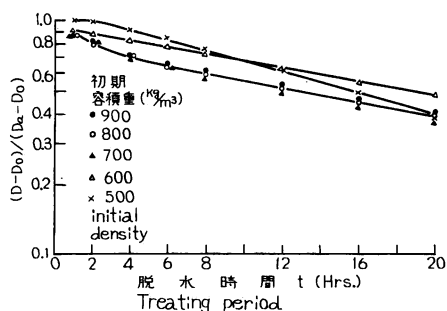


Fig. 42 スギ丸太の処理による容積重における時間的变化

Periodic change on density of Sugi timber during treating periods of Boulton process.

排気度 Vacuum : 600 mm

加熱温度 Heating temp. : 100°C

末口径 Dia. of top : 12~13 cm

長さ Length : 550 cm

初期容積重 Initial density :  $D_a$

絶乾容積重 Oven-dry density :

$D_0 = 350 \text{ kg/m}^3$

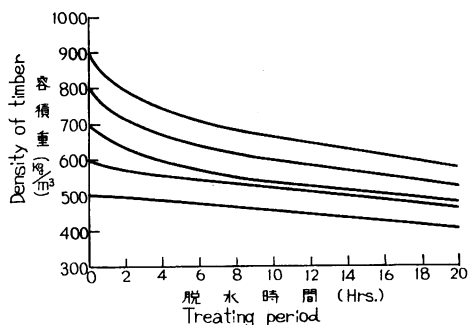


Fig. 43 計算によって求めたスギ丸太の処理による容積重の時間的变化

Periodic change on density of Sugi calculated with experimental formula during treating periods.

排気度 Vacuum : 600 mm

加熱温度 Heating temp. : 100°C

末口径 Dia. of top : 12~13 cm

長さ Length : 550 cm.

これらの結果から容積重の時間的变化と脱水時間とのあいだには (16) 式が成立することが明らかとなった。

生材処理法の対象となる初期容積重は 700~900 kg/m<sup>3</sup> の範囲が多いから、この範囲のものは (16) 式の左辺の値が各脱水時間ごとに等しいとして、 $D_a$  のみが測定できれば各脱水時間ごとの処理材の容積重を計算することができる。

この関係と実測値とを利用して初期容積重が 500~900 kg/m<sup>3</sup> の範囲のスギ丸太の脱水工程中の容積重の変化を計算によって求めて図示すると Fig. 43 のとおりである。

この結果によれば、異なる初期容積重からはじめて同一の容積重まで脱水するには、初期容積重が高いものほど長時間を要しており、初期容積重または含有水分と脱水時間とのあいだには、ある法則性が存在するようである。

## 2.2. 木材の寸法

木材の各方向の通導性、温度変化、水分の移動速度、木材容積に対する蒸発面積などから考えて、生材処理法において木材の寸法が脱水速度や脱水による容積重の低下に影響をあたえ、脱水作業時間にも関係することは明らかである。

丸太材では末口径と長さ、角材では断面寸法と長さによって、木材の寸法はあらわされる。長さが短いものは丸太材、角材ともに木口面からの脱水により、木材全体の含有水分の低下に大きな影響をあたえるが、長さが断面寸法に対してある割合以上長くなれば、全体の含有水分の変化には、長さの影響は非常にわずかなることとは人工乾燥においても明らかにされている。

また、第 I 編の結果でも、木口面からの温度伝導の影響を受ける深さは浅く、木口面から軸方向への排気の影響も生材のように高含水率材であれば、全体の木材からみればわずかであることから考えて、10m 前後の木柱の場合には、長さよりの径の大きさの影響が大きいものと考えられる。

ただ実験において長さ 550 cm のものと、その約半分の長さのもので、末口径がともに 12 cm、容積重



はほとんど等しい丸太材を処理したが、脱水速度、容積重などの時間的変化は長さによって多少異なる結果を示している。このことは脱水経過に長さそのものは直接関係はないとしても、その丸太材の平均直径と長さとは関係があるから、長さを無視することはできない。

丸太材では末口径と元口径とは異なり、同じ末口径でも長さが長くなれば当然元口径も大きくなり、平均の直径は大きくなる。丸太材が円筒形に近いもので、木口断面の径が平均径に等しい場合は長さに関係なく、木口面の径で比較できるが、ふつうの丸太材では必ず末口径と元口径とは差があるから、できれば丸太材の平均径に近い中央径で比較すべきであるが、実用的な意味から中央径の測定はめんどうである。

本実験では、長さはすべて等しくしたから、末口径の比較でも相対的にはさしかえないが、一般的な関係を求めるにはやはり長さを考慮した径でなければならない。長さを考えた丸太材の直径として、日本農林規格の電柱用素材の材積計算に用いる式の丸太材の直径に相当するつぎのような式を本実験では丸太材の直径として用いることにした。

$$\text{丸太材の直径 (cm)} = \text{末口径 (cm)} + \frac{\text{長さ (m)} - 4}{2} (\text{cm}) \dots\dots\dots (17)$$

ただし、丸太材の長さが 4 m 以下の場合には、末口径をそのまま丸太材の直径とする。

処理条件としては排気度 600mm, 加熱温度 100°C, 丸太材の容積重は 700~800 kg/m<sup>3</sup>, 末口径は 11~13 cm, 14~16 cm, 17~19 cm の 3 種類のものを用いた。

実験によりえられた各径級の容積重の変化を(16)式の左辺を縦軸に、右辺の脱水時間を横軸にとって示すと Fig. 44 のとおりであり、各径級の直線の勾配は末口径の小さいものが大きい。このことは、各径級の丸太材が、もし同一容積重から脱水をはじめたならば、径級の小さいものがはやく容積重が低下することを示している。

Fig. 44 の各径級の  $(D-D_0)/(D_a-D_0)$  の値を用いて、700~800kg/m<sup>3</sup> の範囲の初期容積重のものを 700 kg/m<sup>3</sup> に換算して、容積重の時間的変化を各径級別に示すと Fig. 45 のようになる。

もしこれらの丸太材を容積重 500 kg/m<sup>3</sup> まで脱水させるに要する時間

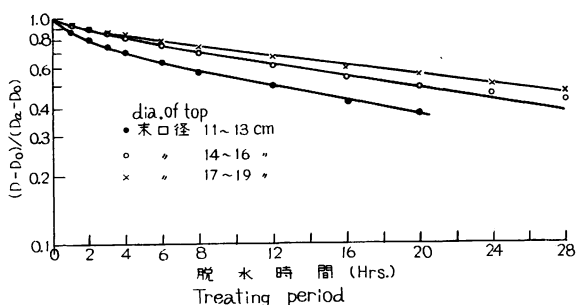


Fig. 44 スギ丸太の直径が異なる場合の処理による容積重の時間的変化

Periodic change on density of Sugi timbers with different diameters during treating periods.

排気度 Vacuum: 600 mm

加熱温度 Heating temperature: 100°C

丸太の長さ Length: 550 cm

丸太の容積重 Density: 700~800 kg/m<sup>3</sup>

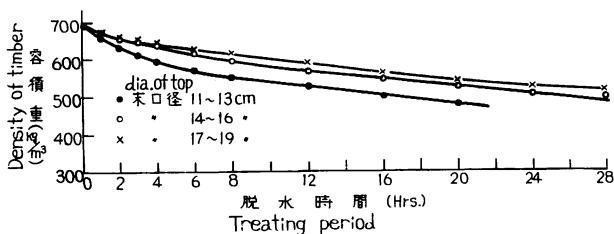


Fig. 45 異なる直径のスギ丸太の初期容積重 700 kg/m<sup>3</sup> からの時間的変化

Periodic change from initial density 700 kg/m<sup>3</sup> of Sugi timbers with different diameters during treating periods.

排気度 Vacuum: 600 mm

加熱温度 Heating temperature: 100°C

をみると、末口径 11~13 cm では約 16 時間、末口径 14~16 cm では約 25 時間、末口径 17~19 cm では約 31 時間となり、末口径の大きさと同一容積重まで脱水するのに要する時間とのあいだにはある法則が存在するようである。この関係については第 4 章において検討する。

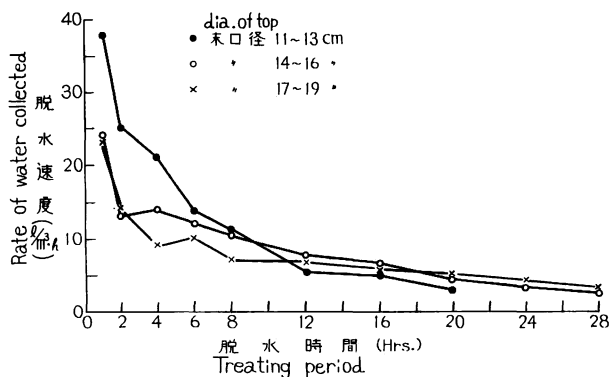


Fig. 46 異なる直径のスギ丸太の脱水速度の時間的变化  
Periodic change on rate of water collected from Sugi timbers with different diameters during treating periods.  
排気度 Vacuum : 600 mm  
加熱温度 Heating temperature : 100°C

Fig. 45 の容積重の時間的变化から各径級の脱水速度の時間的变化を求めてみると Fig. 46 のようになる。このように脱水 6 時間までは各径級の脱水速度は変化がはげしいが、径級の小さいものの方が大きな値を示している。8 時間以上になると脱水速度の変化曲線の勾配はゆるやかになってくるが、末口径の小さいものほどその勾配は急になり、末口径の大きいものは前者よりゆるやかな勾配で速度が低下している。それがため、脱水速度は 8 時間では末口径 11~13 cm のものが最も大き

く、末口径 17~19 cm のものが最も小さいのに、20 時間となると全く逆の傾向を示している。

脱水速度は木材中の含有水分量に比例するという関係から考えれば、はやく脱水速度が低下するのはそれだけ木材中の含有水分量が少なくなっていることになる。

脱水工程の前半における脱水速度については、この時間までの脱水は木材の表面層にある水分を脱水しているから、絶対量は径級の大きい方が多いが、単位容積あたりに換算すると径級の小さいものの値が大きくなる。

もし各径級の表面層の含水率が同じとすれば、単位面積あたりの蒸発量は同じはずである。しかし容積あたりに換算すると、表面積と容積の割合が径級によって異なり、径級の大きいものは、小さいものに比べてその比が小さくなるから容積あたりに換算して脱水速度を示すと、径級の大きいものが小さい値となる。

けっきょく、円筒形では表面積（蒸発面積に相当する）は直径に比例して増加するが、容積は直径の自乗に比例するから、同一条件で処理されたならば、当然径の大きいものは小さいものに比べて容積重の低下に長時間を要するのである。

### 2.3. 処理前と処理後における木材の含水率変化

生材処理法は主として辺材部分の含水率を加圧式防腐処理に適する状態まで脱水乾燥させることが目的であるから、処理による木材の含水率変化を知ることが処理条件、作業時間の決定のために最も重要なことである。

第 1 章と第 2 章の各種条件で処理された丸太材の処理前の含水率と処理後の含水率を測定し、そのあいだの変化について検討し、両者のあいだの相関を求めた。

木材含水率は処理前と処理後に大体同じ部分から成長錐により小さい木片を切りとり比較した。測定点

は両木口面から 1 m の部分と残りの長さを 3 等分した計 4 箇所の相対する 2 点で、合計 8 箇所である。これらの各点において、材の中心に向かって孔をあけて木片をとり、その木片は辺材と心材をきりはなし、辺材は 2 等分して表層と内層とにわけ、それぞれの含水率を測定した。スギの辺材幅は 4~5 cm のものが多いから表層、内層の幅は 2~2.5 cm である。

本実験では脱水工程終了後、加圧工程は行なわなかったから、処理後の木片でもクレオソート油の表面からの浸透は 2~5 mm であった。それゆえ処理後の辺材表層の含水率もクレオソート油の浸潤部分をきりおとして、他の部分と同じように絶乾法で測定した。実際にはクレオソート油の浸潤部分は非常に含水率の低い部分かもしれないから、辺材表層の平均含水率はその部分を加えれば、測定値より少し低い値となるかもしれない。また測定部位による含水率の低下割合は大きな差がなかったため、それらのあいだの区別はしなかった。

### 2.3.1. 成長錐試片による測定含水率と真の木材含水率

成長錐を丸太材中にもみこむと、スギのようにやわらかな材ではかなり圧縮されて、そこに含有されていた水をしばらく出してしまう。そのため成長錐のなかに残った試片の含水率は真の含水率より低くなる可能性がある。

その差を知るために、丸太材から成長錐試片を抜きとった部分を含んで約 5 cm の円盤をきりとり、その円盤から大きな試片をとって測定した含水率を真の含水率として、成長錐試片による含水率とを比較してみた。

測定結果を辺材表層、内層、心材の 3 部分において、真の含水率と比較してみたが、部分による差異はないので、全部をまとめて、両者のあいだの相関関係を検討した。その結果、両者のあいだには 1 % 以下の危険率において相関関係が有意であることが認められ、その回帰直線を求めるとつぎの式ようになった。それらの含水率の実測値と回帰直線を示すと Fig. 47 のとおりである。

$$\text{回帰直線 } y = 1.34x \dots\dots(18)$$

$y$  : 真の木材含水率

$x$  : 成長錐試片による含水率

(18)式によれば、成長錐試片により求めた含水率は真の含水率より低く、その約 1.3 倍したものが含水率であることが明らかとなった。

実験における含水率測定はすべて成長錐試片によらざるをえなかったから、測定値は真の含水率とは異なるが、処理前も処理後も同じ方法によって測定されており、相対的關係においては成長錐試片による測定値でもさしつかえないものと考えられる。

それがため、以下の項では成長錐試片により求めた含水率によって結果を示した。

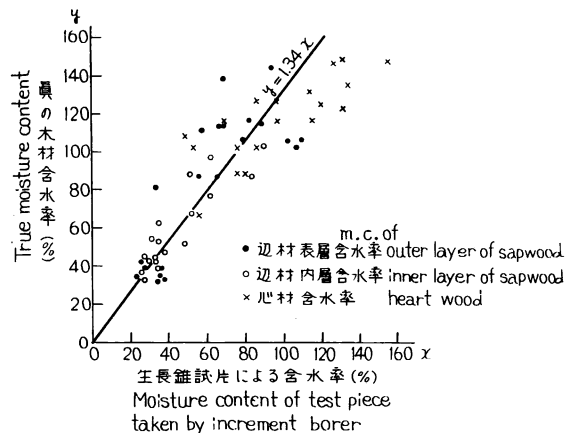


Fig. 47 真の木材含水率と成長錐試片より測定した木材含水率との関係

Relation between true moisture content in timber and moisture content measured with test pieces which are taken up from timber by increment borer.

## 2.3.2. 処理前と処理後の木材含水率の相関関係

生材処理法により木材を処理した場合、加熱温度、脱水時間、木材の直径などが異なった場合、容積重の減少程度が異なることから考えて、処理前の含水率は同じでも処理後の含水率には各条件によって差があらわれるものと考えられる。

多くの処理結果のうち、加熱温度が水の沸点より 30°C 以上高いもので、排気度は 400, 500, 600 mm の 3 種類、脱水時間 20 時間、丸太材の末口径は 11~13 cm、長さ 550 cm のもののみの処理前 (x) と

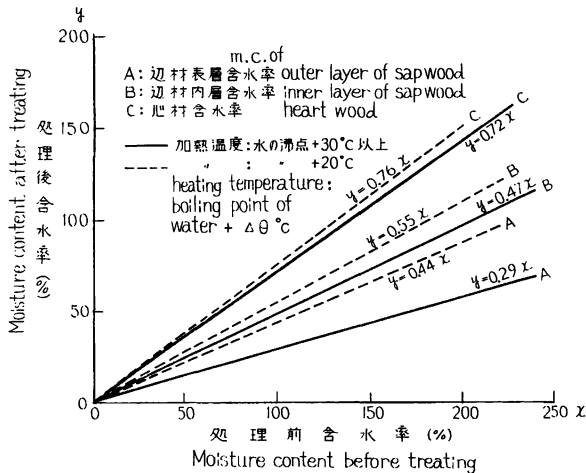


Fig. 48 処理前含水率と処理後含水率との関係を示す回帰直線

Regression lines for moisture content in timber before and after treating.

排気度 Vacuum: 400, 500 and 600 mm  
 処理時間 Treating periods: 20 hrs.  
 末口径 Dia. of top: 11~13 cm  
 長さ Length: 550 cm

くなっており、辺材内層になると両者の差は小さくなり、心材になるとさらにその差は小さくなっている。両者の脱水量が 1.2.3. に示したようになかなか大きな差があることを考えれば、脱水量と処理材の含水率の低下とは非常に密接な関係があることは明らかである。とくに辺材表層の含水率の低下との相関関係が大きい。このように処理前後の含水率変化からも生材処理法においては、木材から脱水される量の大部分は辺材部分に含有されている水によるものであることがわかる。とくに辺材表層の含水率変化が大きいことから、2.1. で記したと同じように、脱水量の多少は辺材表層の含水率の多少と深い関係があることが理解される。

脱水量と処理材の含水率の低下とのあいだに相関関係があるとすれば、当然容積重の変化とも相関関係があるはずであるから、容積重と脱水時間とのあいだに (16) 式の関係があるならば、Fig. 48 の回帰直線の傾斜を示す係数  $n$  も脱水時間とのあいだにある法則性が存在するはずである。

一般的傾向は脱水時間が長くなれば、含水率の低下も大きくなるから、 $n$  の値は小さくなる。実験結果において、20 時間以外の脱水時間の測定数が少ないので、正確な法則性は導き出せないが、辺材表層の

処理後 (y) の含水率の相関関係を辺材表層、辺材内層、心材の 3 グループにわけて、それぞれ独立に検討した。その結果、両者のあいだにはいずれのグループにおいても、1%以下の危険率において相関関係が有意であることが認められ、その回帰直線を示すと Fig. 48 の実線のようになり、また加熱温度が水の沸点より 20°C 高い場合には破線のようになる。

これらの結果をみると、辺材表層含水率の低下がやはり最も大きく、ついで内層、心材の順である。また処理前含水率が高ければ低下した含水率も多く、処理前の含水率が低ければ、同じ条件で処理されても低下含水率は少なくなる

また、2つの加熱温度間の回帰直線を比べてみると、辺材表層含水率の低下の程度は加熱温度が高い方が約 1.5 倍大き

含水率変化のみについて、その変化を示す回帰直線の係数  $n$  の値を示すと Fig. 49 のとおりである。このように加熱温度が高ければ  $n$  の値は時間の経過とともに急に低下していく。また脱水工程の前半を除けば図において、 $n$  の値と脱水時間とはほぼ直線の関係となっており、近似的には (16) 式の容積重の変化と同じように、 $n$  と脱水時間とのあいだには逆比例的な関係が存在するものと考えられる。

またこの  $n$  の値は丸太材の直径とも関係がありそうであるが、測定値が少ないので、具体的な数値は明らかにできなかった。ただ一般的傾向としては、同一脱水時間ならば大きい径の丸太材の  $n$  の値は小さい径のものよりは大きくなることは明らかである。

けっきょく、処理前と処理後の含水率変化を示す回帰直線の係数  $n$  は加熱温度、脱水時間、丸太材の直径によって変化する。

以上の結果から辺材表層含水率のみを対象とした場合、加圧処理に適當な含水率を 40% 以下と仮定し、Fig. 48 の処理条件（加熱温度は水の沸点より 30°C 高い場合）、木材条件で処理前の辺材表層含水率が 140% 以下のものならば、長くても 20 時間の脱水を行なえば、目標の含水率以下になることが推定される。もし 140% より低い初期含水率ならば、20 時間より短くてよいことになる。処理前の含水率が 200% 前後ならば、20 時間の脱水ではまだ 60% にしか下らないから、 $n$  の値と脱水時間の関係から約 30 時間の脱水が必要であることがわかる。

これらの含水率変化を実用的な意味から容積重にあてはめてみると、辺材表層含水率が 140% のものは容積重で約 700 kg/m<sup>3</sup> のものが多いから、その容積重のものが同じ加熱温度で処理されて 20 時間脱水された場合の容積重は Fig. 43 から約 480 kg/m<sup>3</sup> となっており、辺材表層含水率を 40% 以下にするには容積重で 500 kg/m<sup>3</sup> 以下になるまで処理を行なわなければならないことがわかる。

もちろん、加熱温度が低くなったり、丸太材の直径が大きくなった場合には同じ容積重、同じ辺材含水率のものでも、所定の含水率まで低下させるにはいっそう長時間を要することになる。

### 2.3.3. 1本の丸太材内の処理による含水率変化

2.3.2. においては生材処理における丸太材の放射方向の含水率変化を辺材表層、辺材内層、心材との3つのグループにおいて、全く独立におおのの関係を求めたので、1本の丸太材としての放射方向における含水率分布の変化は明らかでない。

それがために、この項では1本の丸太材の処理前と処理後の放射方向の含水率分布がどのように変化するかを検討してみた。ただ、容積重は同じでも放射方向の含水率分布は各種あるので、各容積重ごとに代表的な分布と考えられるものを例にとって、脱水時間が一定の場合に、処理前と処理後の含水率分布の変化を Fig. 50 に示す。

各容積重の丸太材は、ともに処理前の含水率分布において辺材表層が最も高く、内部にゆくにしたがって低下しており、心材含水率は 50~60% のものが多く、辺材内層の含水率は表層含水率と心材含水率の平均値に近い。また容積重の低下とともに辺材含水率は低下している。長期間貯木池にはいていたもの

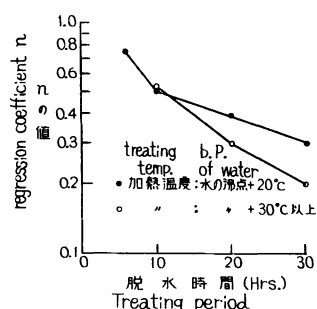


Fig. 49 処理による含水率変化を示す回帰係数  $n$  と脱水時間との関係  
Relation between the regression coefficients ( $n$ ) for change of moisture content by treating and treating periods.

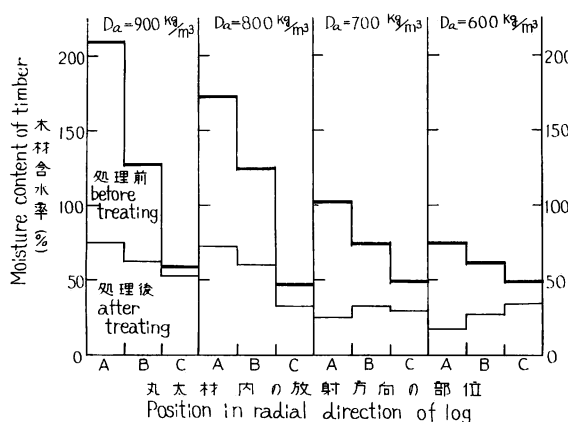


Fig. 50 20時間処理後の各初期容積重のスギ丸太内の含水率変化

Change of moisture contents in Sugi timber after treating periods at 20 hrs.

- A : 辺材表層 Outer layer of sapwood
- B : 辺材内層 Inner layer of sapwood
- C : 心材 Heartwood
- 排気度 Vacuum : 600 mm
- 加熱温度 Heating temperature : 100°C
- 末口径 Dia. of top : 11~13 cm
- 長さ Length : 550 cm.

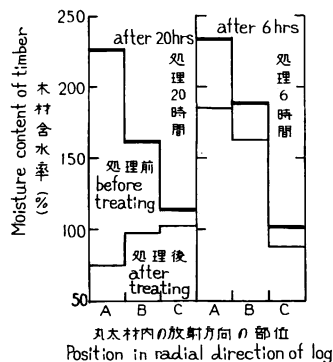


Fig. 51 処理時間の異なる場合のスギ丸太内の含水率変化

Change of moisture contents in Sugi timber during various treating periods.

- A, B, C, は Fig. 50 と同じ
- A, B, and C are the same parts as Fig. 50
- 排気度 Vacuum : 600 mm
- 加熱温度 Heating temperature : 82°C
- 末口径 Dia. of top : 13 cm
- 長さ Length : 550 cm

は辺材表層、内層の含水率に差がなく、200% 以上でさらに心材までも高含水率のものもある。その丸太材の容積重は 1000 kg/m<sup>3</sup> をこす場合が多い。伐採直後のスギ丸太は大体 Fig. 50 の 700~900 kg/m<sup>3</sup> の容積重における含水率分布を示すものが多い。

これらの丸太材が皆同じ処理条件、脱水時間で処理されると、処理前の容積重が 800, 900 kg/m<sup>3</sup> のものは、脱水時間が不十分のせいか、処理後の辺材含水率はまだ 60~70% である。しかし、容積重 600, 700 kg/m<sup>3</sup> のものは辺材含水率ははじめからかなり低いので、処理後はかなり低下して、辺材から心材までほとんど等しいか、辺材の方が低い含水率分布を示していて、平均含水率は 30% 以下になっている。

また、大体同じ含水率分布をもった丸太材を処理して、脱水時間を長くした場合と短くした場合の含水率変化を示すと Fig. 51 のとおりであって、明らかに脱水時間を長くした方が辺材含水率の低下は大きい。

1 本の丸太材の含水率変化を各部分ごとに独立して考えれば、各初期含水率ごとに Fig. 48 のような変化を示すが、1 本の丸太材内の放射方向の含水率分布をみると処理前においても表層から心材まで非常に大きな差がある。高い容積重のものは表層が高くて心材部が低いという含水率分布をもっているが標準分布であるから、辺材表層含水率を所定の含水率まで低下させることは、丸太材全体の平均含水率をも大体所定の含水率に近づけていることになる。

それがために、2.3.2.において辺材表層含水率のみを対象として脱水時間を推定したが、丸太材内の含水率分布の変化からみてもそれで支障はないようである。

軸方向の含水率変化は脱水時間が短いときは末口に近い部分の方が元口に近い部分より含水率の低下ははやくいようであるが、これはおのおのの部分の径の差によるものと考えられる。しかし脱水時間が長くなれば両者の差はほとんどなくなる。

### 第3章 ブルトン法に使用されたクレオソート油の変質<sup>88)</sup>

ブルトン法においては加熱媒体としてクレオソート油を用いるので、木材を加熱し、減圧脱水を行っていると、その際にクレオソート油中のある留分が木材中からでた水蒸気とともに留出し、コンデンサ中で凝縮されて水とともに受器に貯る。このようなことをくり返し行なっていれば当然クレオソート油は変質してくる。ただクレオソート油の成分そのものは多数の物質で構成されており、また構成成分の割合も非常に幅があるので、変質したとしても何の物質が減少しているかは明らかにできないが、クレオソート油各留分の割合、物理的性質などに変化があらわれてくる。

この問題に関してはほとんど報告はなく、堀江甫勇<sup>74)</sup>が処理前と処理後のクレオソート油の性質をしらべているにすぎない。そこでブルトン法に使用されたクレオソート油の変質を知ることにより、そのまま防腐処理に使用することができるか、どうかの判断の資料として役だつものと信じる。

#### 3.1. 処理中に留出する留分

クレオソート油のみを処理条件と同じ排気度 600 mm, 加熱温度 100°C でフラスコ中で減圧蒸留を長時間つづけても、ほとんど留出する成分はない。しかるにこのクレオソート油に水蒸気を吹きこみながら蒸留すると多量の留分がえられる。

ブルトン法におけるクレオソート油中からの成分の留出は、丁度減圧下における水蒸気蒸留に等しいと考えられるから、処理条件と同じような条件でクレオソート油の水蒸気蒸留を行なってみた。その結果をつぎに示す。

水蒸気蒸留前のクレオソート油の分留結果

235°C までの留分	25%
235~315°C の留分	39%

このクレオソート油 200 cc を水蒸気蒸留し、ほとんど留出分がでなくなるまで行なって、残留分を測定すると 123 cc であった。この残留分の分留結果では 235°C 以下はほとんどなく、235°C~315°C までの留分が 54 cc であった。これらの結果を整理すると、

200 cc のクレオソート油の留分変化

沸点範囲	蒸留前	蒸留後	減少量
235°C 以下	50 cc	0 cc	50 cc
235~315°C	78	54	24
計	128	54	74

実際に蒸留された量

$$200 - 123 = 77 \text{ cc}$$

このように水蒸気蒸留によってクレオソート油 200 cc から減少した全量が 77 cc であり、留分変化における減少量の合計が 74 cc であって、両者がほとんど等しいことから、水蒸気蒸留によってクレオソート油中から留出してくる留分は沸点 235°C 以下の全量と、それ以上のもののうち比較的 235°C に近い留分のものであることがわかる。

実際にブルトン法による処理の際に留出してきた油の性質を各脱水量、脱油量の累計ごとに示すと、Table 15 のとおりとなる。この場合のクレオソート油は第1回の処理から最後まで同じクレオソート油

Table 15. プルトン法処理中に留出したクレオソート油留分の性質  
Property of distillates in creosote oil distilled during Boulton process.

試料 番号 No. of sam- ples	脱水量の 累 計 Total volume of water collected cc	脱油量の 累 計 Total volume of oil collected cc	処 理 条 件 Treating condition		留出開始 温 度 Tempera- ture to start distilling °C	留分割合% Percentage of distillate		酸性油分% Percentage of acidic oil in distillate		比 重 Specific gravity of each distillates	
			排気度 Vacuum mm	温 度 Tem- perature °C		Under 200°C	200~ 250°C	Under 200°C	200~ 250°C	Under 200°C	200~ 250°C
1	20, 200	4, 210	400	100	150	78	20	1.3	1.3	0.920	0.984
2	80, 260	16, 460	600	82	155	74	23	2.3	1.3	0.937	0.995
3	211, 880	40, 500	400	100	155	64	32	2.0	1.0	0.942	0.995
4	270, 940	50, 350	400	110	155	61	34	3.0	1.3	0.968	0.995
5	294, 930	53, 270	600	92	160	59	35	2.7	1.3	0.952	0.971
6	316, 740	55, 700	500	100	170	57	40	3.0	1.3	0.950	0.975
7	349, 860	59, 080	600	100	170	55	42	4.0	1.7	0.965	0.998
8	382, 570	61, 560	500	92	170	54	45	3.7	2.0	0.965	0.978
9	423, 470	67, 360	600	100	170	61	36	3.3	2.0	0.953	0.998
10	506, 390	74, 830	600	100	170	56	40	4.0	2.0	0.950	0.998

約 1 トンを使用したので、脱水量と脱油量の累計が多くなるにしたがって、留出油の性質も変化している。また実際にはコンデンサ中に結晶する留分がかなりあり、この結晶性物質の沸点は約 210°C のものが多いので、この留分を含めると真の留出分の性質は 200°C 以上の留分が少し多くなるが、この結果は凝縮液中に含まれる油についてのみの結果である。

沸点 200°C 以下と 200~250°C の留分の比率は、はじめ 200°C 以下が多く、脱油量の累計が多くなるにしたがって、200°C 以下が少なくなり、相対的に 200~250°C の留分の比率が大きくなっている。分留の際に最初に留出してくる温度も、はじめ 150°C でしだいに後半になると上昇して 170°C となっている。酸性油分も後半になると少し増加している。比重は 200°C 以下のものは後半になるほど重くなっているが、200~250°C のものはほとんど 1 で変化は少ない。処理条件が変わっても留出油の性質はほとんど変化ない。

このように実際処理の際の留分も、フラスコ中における水蒸気蒸留による留分もほとんど同じような沸点範囲のものであることが明らかとなった。

この 2 つの結果からプルトン法に使用したクレオソート油は丁度水蒸気蒸留を行なったクレオソート油と同じような変化を示し、留出部分は沸点 250°C 以下の留分が大部分である。このように低沸点の部分が留出していくから、クレオソート油の粘度や比重は高くなっていく。

### 3.2. 脱水量とクレオソート油の変質

Table 15 に示したように、プルトン法によって留出してくる留分の性質は脱水量や脱油量の累計と関係があって、処理条件にはあまり関係がないから、それらの累計量が多くなるにしたがって低沸点部分が少なくなることが明らかとなった。実際的にはありえないかもしれないが、このように何回も同じクレオソート油を用いて脱水をくり返していると、留出油の性質が変化することはクレオソート油そのものの各留分の構成割合が変化していると考えざるをえない。

そのため脱水量と脱油量との関係もしだいに変化して、Table 16 に示すように、各累計の脱油量と脱



Table 16. ブルトン法における脱水量と脱油量との比率の変化  
Ratio change between volumes of water collected and oil collected  
during Boulton process.

脱水量の累計 Total volume of water collected		脱油量の累計 Total volume of oil collected		b/a	各処理時の脱油量 / 脱水量 Ratio of volume of oil by water collected on each process
a	cc	b	cc	%	%
20,200		4,210		20.8	20.8
211,880		40,500		19.1	18.9
294,930		53,270		18.0	12.2
409,180		64,330		15.7	10.4
506,390		74,830		14.8	10.8
614,140		85,960		14.0	10.5
708,020		94,740		13.4	12.4
807,550		107,380		13.3	13.4

水量の比率は両者の量が増加するにしたがって低下しており、そのような経過をへてきたクレオソート油を用いて処理を行なったときの脱油量と脱水量との比率もしだいに低下してきている。

ここで脱油量として示したのは凝縮液中に含まれる油のみの量であって、実際にはコンデンサ中の各部分に結晶となつてかなりの量が付着しているので、クレオソート油からの留出量はこの脱油量よりさらに多いはずである。

ふつうブルトン法処理の際の脱水量の測定は密閉缶内に貯つた凝縮液の量を外部から、ガラスゲージにあらわれた増加量によって測定する方法を用いている場合が多いから、そのとき測定される量は留出してきた油をも含んだ量を測定していることになる。このみかけ上の脱水量は真の脱水量よりかなり多くなるから、処理による木材の容積重の真の変化を知ることにはできない。

工場における処理の場合には、つねに新しいクレオソート油を使用すると考えるならば、Table 16 のはじめの脱油量と脱水量の比率約 20% がみかけ上の脱水量中に含まれる油の量と考えてよいであろう。

Table 17. ブルトン法処理前後のクレオソート油の品質  
Quality of creosote oil before and after Boulton process.

	処 理 前 Before the process	処 理 後* After the process
比 重.....Specific gravity .....	1.063	1.081
エングラー粘度.....Viscosity (Englar).....	1.45	1.80
分留成分割合.....Ratio of distillate		
235°C 以下 under 235°C %.....	18.5	9.3
235~315°C まで 235~315°C %.....	55.0	58.0
235~315°C までの留分の比重 S. P. of distillate 235~315°C .....	1.057	1.068
酸性油分 (30 cc 中の %) Ratio of acidic oil in 30 cc distillate		
235°C 以下 under 235°C.....	5.0	6.0
235~315°C 235~315°C .....	3.0	3.3

注：1 トンのクレオソート油を用いて木材から 800 kg の脱水を行なった場合の品質

Note: Quality of creosote oil after 800 kg water is collected from timber with one ton creosote oil.

全凝縮液量に対する油の量に換算すれば約 17% となるから、ガラスゲージにおいて測定された増加量からその約 17% をひいた量をもって真の脱水量と考えれば、処理されている木材の容積重の真の変化と大体一致するはずである。

また約 1 トンのクレオソート油を使用してブルトン法処理を行ない、約 800 kg の脱水を行なった後の物理的性質を比較してみると、Table 17 のとおりであって、比重と粘度は処理後いずれも高くなり、留分の構成割合も沸点 235°C 以下が少なくなり、235~315°C の留分が相対的に増加している。

このようにクレオソート油そのものの変質から考えても、ブルトン法処理に使用されたクレオソート油は脱水量に応じて 235°C 以下の留分が減少することは明らかであり、この留分の減少はクレオソート油の粘度を高めるから、加圧工程に移った場合に、処理を容易にするためには油温をふつうのときの温度より高くしなければならない。

#### 第 4 章 生材処理法における標準作業時間の決定法<sup>88)</sup>

油性防腐剤による加圧式防腐処理を前提とした生材処理法においては、処理材の辺材部分の含水率を何%まで低下させるかという目標によって脱水時間（ここでは以下作業時間という）が決まってくる。

天然乾燥によって木材を乾燥させ、加圧式防腐処理を行なうのに適した容積重は樹種、大きさによって一定でないが、スギ木柱で長さ 10 m 以下の場合には 500 kg/m<sup>3</sup> 以下<sup>81)</sup> といわれており、そのときの辺材平均含水率は 30% 以下となっている。それゆえにスギ丸太の場合には標準としては容積重で 500 kg/m<sup>3</sup> 以下にすることを目標にして作業時間は決定されるべきである。

しかし、実際処理の場合には目的によってはこれほど乾燥させなくともよい場合があるから、ある目標の容積重または辺材含水率まで乾燥させるに必要な作業時間を、処理条件、木材条件が変わった場合に推定することができれば非常に便利である。

このような試みは W. M. CONNERS, G. BRAMHALL<sup>78)79)</sup> らによっても求められているが、導きだされた実験式が非常に複雑で、各条件と作業時間の関係が明らかでない。

本章では各種の実験結果から主として容積重を 500 kg/m<sup>3</sup> 以下にするための処理条件と作業時間、木材条件と作業時間との関係をできるだけ単純化して近似的な実験式を求め、これらをまとめて、ある標準条件の作業時間より任意条件における作業時間を求める式を導きだした。

これらの式はスギ丸太をブルトン法により処理した結果から導きだされたものであるから、実験式の各常数の絶対値そのものは他の生材処理法や他の樹種の場合に適用できないかもしれないが、各条件と作業時間との相対的關係は同じ傾向を示すものと考えられる。

##### 4.1. 処理条件と作業時間

処理条件では排気度と加熱温度が問題となるが、第 1 章の結果によると、加熱温度をそのときの排気度における水の沸点との差で分類すると、排気度間には脱水量について有意差が認められなかったから、処理条件と作業時間との関係を求める場合に、排気度による影響はほとんどないものと仮定し、加熱温度と作業時間との関係のみを検討した。

加熱温度は絶対値を用いなくて、そのときの排気度における水の沸点との温度差  $\Delta\theta$  と作業時間との関係を求めた。

各加熱温度の  $\Delta\theta$  に対して、所定の容積重まで脱水するに要する時間を実測値と (16) 式からの推定値

により求めて、 $\Delta\theta$  と作業時間との関係を両対数方眼紙に示すと Fig. 52 のとおりである。ただ  $\Delta\theta=10^{\circ}\text{C}$  の場合は所定の容積重まで低下させるのに要する推定時間があまりに長く、正確な値が求められなかったので図には示さなかったが、大体  $\Delta\theta_s$  の  $20^{\circ}\text{C}$  と  $30^{\circ}\text{C}$  における2点を結んだ直線の延長にほぼ等しいことから、 $\Delta\theta$  と作業時間とのあいだには直線的関係があり、つぎに示す実験式が近似的に成立するものと考えられる。

$$t = t_s \left( \frac{\Delta\theta}{\Delta\theta_s} \right)^{-n} \dots\dots\dots (19)$$

- $t_s, t$  : 基準条件  $\Delta\theta_s$  と任意条件  $\Delta\theta$  における作業時間  
 $\Delta\theta_s, \Delta\theta$  : 基準条件と任意条件の各加熱温度とそのときの排気度における水の沸点との温度差  
 $n$  : 木材条件によってきまる常数

(19) 式のような関係は単板乾燥における乾燥時間と乾湿球の温度差とのあいだにも成立することが認められているが<sup>82)</sup>、この場合は乾湿球の温度差のかわりに水の沸点との差を用いたもので、急激な乾燥という条件では類似しているから、本実験の  $\Delta\theta=10^{\circ}\text{C}$  の値がはつきりしないけれども、ほぼ (19) 式の関係が成立する可能性は十分あるものと考えられる。

末口径 11~13cm、長さ 550 cm、容積重  $900 \text{ kg/m}^3$  のスギ丸太の処理結果から、 $\Delta\theta_s=30^{\circ}\text{C}$ 、 $t_s=33 \text{ hrs}$ . として  $n$  の値を計算するとほぼ 1.7 となる。

$\Delta\theta$  が  $30^{\circ}\text{C}$  以上になると計算値より実測の作業時間が長くなって、 $\Delta\theta=30^{\circ}\text{C}$  の場合と大差なくなる。これはコンデンサの凝縮能力が不足のせいかもしれないが、その原因ははっきりわからない。

けっきょく  $\Delta\theta$  が  $20^{\circ}\text{C}$  以下だと作業時間が長くなりすぎるし、 $30^{\circ}\text{C}$  以上では、 $30^{\circ}\text{C}$  の場合と大して変わらないということから考えて、実用的な加熱温度の  $\Delta\theta$  は  $20\sim 30^{\circ}\text{C}$  の範囲が適当である。

この場合の  $n$  の値は丸太材の径が変わっても大して変化はないが、初期容積重が  $700 \text{ kg/m}^3$  以下になると小さい値となるようで、今後さらに検討する必要がある。

ただ処理の対象となる木材は初期容積重で  $700 \text{ kg/m}^3$  以上のものが多いから、容積重  $900 \text{ kg/m}^3$  のときに求めた  $n$  の値 1.7 を用いると (19) 式はつぎのようになる。

$$t = t_s \left( \frac{\Delta\theta}{30} \right)^{-1.7} \dots\dots\dots (20)$$

$\Delta\theta$  が  $20\sim 30^{\circ}\text{C}$  のあいだには (20) 式が近似的に成立するとしても、生材処理法において実用的な意味からはそれほど厳密な温度差を保持することは困難であり、必要もない。

$\Delta\theta$  が  $30^{\circ}\text{C}$  の場合の所定の容積重までの作業時間は  $20^{\circ}\text{C}$  の場合の作業時間の約 1/2 であって、温度差を  $10^{\circ}\text{C}$  高くすることが、これほど作業時間を短縮し、しかも温度差を高くすることは排気度を高めればよいのであるから燃料費には関係がない。このようなことを考えると加熱温度は  $\Delta\theta$  を約  $30^{\circ}\text{C}$  に保って処理を行なうことが能率的であり、経済的でもある。

ただこれらの式は  $\Delta\theta$  が少しでも低くなると作業時間が急に長くなることを示しており、加熱温度を水の沸点との温度差としてあらわすと、作業時間とのあいだには逆比例的な関係があるということを

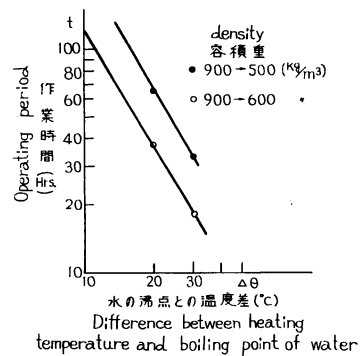


Fig. 52 加熱温度と作業時間との関係  
 Relation between heating temperature and treating periods.

末口径 Dia. of top: 11~13 cm  
 長さ Length: 550 cm

示している。

#### 4.2. 木材条件と作業時間

木材条件を初期含水率すなわち初期の容積重と寸法とにわけて作業時間との関係を求めてみた。

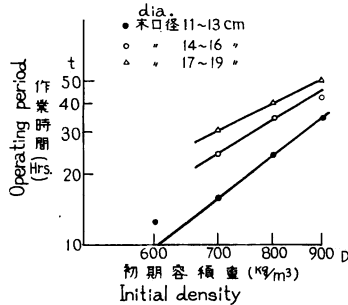


Fig. 53 初期容積重と作業時間との関係  
(容積重が 500 kg/m³ になるまでの時間)  
Relation between initial density of  
timber and operating periods (periods  
from initial density to 500 kg/m³).

排気度 Vacuum : 600 mm

加熱温度 Heating temperature :  
90~100°C

木材の長さ Length : 550 cm

丸太材の初期含水率（初期容積重）：丸太材の各種の初期含水率のものを、そのときの容積重であらわして、それを 500 kg/m³ の容積重まで低下させるための作業時間との関係を Fig. 43 と 44 から求めて Fig. 53 に示す。初期容積重と作業時間との関係は各丸太材の直径ごとに図のように直線的関係がある。ただ初期容積重が 600 kg/m³ 以下、すなわち容積重の低下範囲のせまい場合は直線からはずれるが、実際の処理対象の木材は 700 kg/m³ 以上のものが多いから、両者のあいだにはつぎのような実験式が近似的に成立するものと考えられる。

$$t = t_s \left( \frac{D}{D_s} \right)^n \dots \dots \dots (21)$$

$t_s$ ,  $t$  : 基準初期容積重  $D_s$  と任意初期容積重  $D$  のものがそれぞれ所定の容積重まで低下するのに要する作業時間

$n$  : 木材条件によりきまる常数

しかし、脱水速度は木材中の含有水分量に比例することや (16) 式の関係から、各樹種に対しても適用できるものにするならば (21) 式はつぎのようにした方がよい。

$$t = t_s \left( \frac{D - D_0}{D_s - D_0} \right)^n \dots \dots \dots (22)$$

$D_0$  : 絶乾容積重

Fig. 53 において丸太材の直径が大きくなるといふ直線の傾斜もゆるやかになっているから、 $n$  の値は樹種のみでなく、丸太材の直径によっても多少変動するようである。

各直径ごとに  $n$  の値を求めると 1.2~1.6 となり、直径が大きい方が  $n$  の値は小さくなる。実用の材料は末口径も大きく、長さも 10 m 前後が多いから  $n$  の値を 1.2 とし、 $D_s$  を 700 kg/m³  $D_0$  を 350 kg/m³ とすれば、(22) 式はつぎのようになる。

$$t = t_s \left( \frac{D - 350}{700 - 350} \right)^{1.2} \dots \dots \dots (23)$$

(22) 式の関係は木材の初期含有水分量と作業時間とのあいだには比例的な関係のあることを示している。この場合は容積重 500 kg/m³ まで低下させるときの関係であるが、600 kg/m³ まで低下させるときには低下範囲の狭い容積重 700 kg/m³ のものはこの関係からはずれてしまう。それがために (23) 式は 700~900 kg/m³ の初期容積重のものを 500 kg/m³ まで低下させる場合の式であり、その丸太材の含水率分布は辺材表層が高く、心材が低いものでなければならない。

丸太材の直径：丸太材の直径は末口と元口とは異なり、長さが変われば末口径が等しくとも、元口径が変わるから直径と長さをわけて考えることはできない。そこで直径の計算は長さを加味した (17) 式に

よってその丸太材の直径を代表させることにし、丸太材の寸法と作業時間との関係を見る場合には、長さが変わってもすべてこの直径によって比較することにする。

そのようにして計算された直径と容積重を  $500 \text{ kg/m}^3$  まで低下させるのに必要な作業時間との関係を Fig. 43 と 44 から求め Fig. 54 に示す。この場合も両者の関係は直線的であり、つぎのような実験式が近似的に成立するものと考えられる。

$$t = t_s \left( \frac{d' + \frac{L-4}{2}}{d_s' + \frac{L_s-4}{2}} \right)^n = t_s \left( \frac{d}{d_s} \right)^n \dots\dots\dots (24)$$

$t_s, t$  : 基準の直径  $d_s$  と任意の直径  $d$  の丸太材が  
所定の容積重まで低下するに要する時間

$d_s', d'$  : 基準および任意の丸太材の末口径 (cm)

$L_s, L$  : 基準および任意の丸太材の長さ (m)

$d_s, d$  : 基準および任意の丸太材の直径 (cm)

$d_s = 13$  として、各容積重のもの  $n$  を計算してみると、 $1.1 \sim 2.0$  の範囲になる。実際に処理の対象になるものも  $700 \sim 900 \text{ kg/m}^3$  が多いから、これらの平均値  $1.5$  を  $n$  の値とすると (24) 式はつぎのような式となる。

$$t = t_s \left( \frac{d}{13} \right)^{1.5} \dots\dots\dots (25)$$

丸太材の直径と作業時間とは (24) 式のような比例的な関係があるが、人工乾燥における乾燥時間と板の厚さとの関係についても同じ実験式が求められている<sup>83)</sup>。板の厚さのかわりに丸太材の直径をおきかえたにすぎないから、このような関係が成立する可能性は十分にある。

実用の丸太材の直径は形が完全な円筒でなく、末口から元口までの各部分の径の変化も一様でないから、直径のわずかな差は作業時間の変化に明らかにあらわれない。それゆえ Fig. 54 の直径 13 cm のものは  $12 \sim 14 \text{ cm}$  の、16 cm のものは  $15 \sim 17 \text{ cm}$  の、19 cm のものは  $18 \sim 20 \text{ cm}$  の代表値として示した。このように実用的には  $d$  の値は約 3 cm の括約によった方が便利である。

#### 4.3. 各種の条件が変わった場合の作業時間の推定

加熱条件、木材の初期含水率すなわち初期の容積重・直径・長さなどが変わった場合に所定の容積重まで脱水するのに必要な時間との関係をおのおの独立して、他の条件を一定にして、近似的な実験式を求めたが、各因子と作業時間とのあいだには比例的または逆比例的な関係があり、各因子ごとに他の条件を一定にして  $n$  の値を求めた。しかし他の条件が変わった場合には  $n$  の値にも変動があり、各因子間には交互作用が存在するようであるが、単純化するために境界条件を設けることによって、各因子間に交互作用はないものと仮定して、各因子をまとめて 1 つの式に直すとつぎのような式となる。

$$t = K t_s \Delta\theta^{-1.7} (D - D_0)^{1.2} \left( d' + \frac{L-4}{2} \right)^{1.5} \dots\dots\dots (26)$$

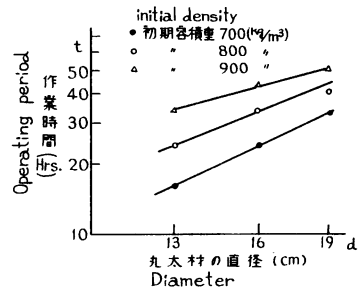


Fig. 54 丸太材の直径と作業時間との関係  
(初期容積重から  $500 \text{ kg/m}^3$  になるまでの時間)

Relation between diameter of timber and operating periods (periods from initial density to  $500 \text{ kg/m}^3$ ).

排気度 Vacuum : 600 mm  
加熱温度 Heating temperature :  $90 \sim 100^\circ\text{C}$

$$\text{ただし } K = \frac{\Delta\theta_s^{1.7}}{(D_s - D_0)^{1.2} \left(d_s' + \frac{L_s - 4}{2}\right)^{1.5}}$$

境界条件

$\Delta\theta = 20 \sim 30^\circ\text{C}$ , 排気度 400~600 mm,

$D = 700 \sim 900 \text{ kg/m}^3$

$t = 500 \text{ kg/m}^3$  の容積重まで低下させるに必要な作業時間

(26) 式によれば基準条件における作業時間  $t_s$  が求められていれば, 他の条件のときの作業時間を計算することができる。この式はただ多くの仮定と境界条件がある近似式であるから, この式によって計算した値が絶対的なものではないが, 作業を行なう前の目安をあたえるという意味では利用価値があるものと考えられる。また, これらの関係を導いたもとの実験結果はブルトン法によるスギ丸太の結果であるから, 樹種が変わった場合, 他の生材処理法の場合には  $n$  の絶対値そのものは利用できないが, 各種条件と作業時間との相対的關係を示すものと考えられる。

いま, ブルトン法により末口径 12 cm, 長さ 550 cm, 容積重 700  $\text{kg/m}^3$  のスギ丸太を, 排気度 600 mm,

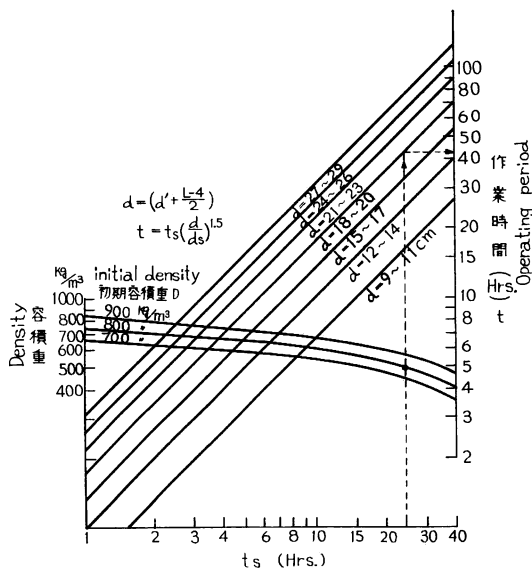


Fig. 55 加熱温度の  $\Delta\theta$  が  $30^\circ\text{C}$  のとき, ブルトン法によるスギ丸太の作業時間推定のためのノモグラフ

Nomograph for presuming treating periods (with Boulton process) on Sugi timbers when  $\Delta\theta$  (difference between heating temperature and boiling point of water) is  $30^\circ\text{C}$ .

目的の容積重, たとえば 500  $\text{kg/m}^3$  まできたならば, その点において縦軸に平行に下に移動し,  $t_s$  軸との交点が基準直径 ( $d = 13 \text{ cm}$ ) の作業時間, この場合 24 時間となっている。この点から上に移動し, 処理に用いた丸太材の  $d$  に相当する直線, 例えば  $d = 18 \sim 20 \text{ cm}$  との交点を求め, その点から横軸に平行に移動して, 右側の縦軸との交点が求める作業時間, 42 時間である。

以上各種条件と作業時間との関係について検討してきたが, 各因子における  $n$  の値は不十分な資料によ

加熱条件  $\Delta\theta = 30^\circ\text{C}$  で処理した結果を基準条件とすると,

$$K = 0.00613 \quad \text{となる。}$$

(26) 式にこの  $K$  の値を代入して, 基準条件のときの  $t_s$  から任意条件の  $t$  を計算によって求めることができるが, 計算が大変であるから, 加熱温度が  $\Delta\theta = 30^\circ\text{C}$ , スギ丸太の直径  $d = 13 \text{ cm}$  (12~14 cm の代表値) の各初期容積重ごとの脱水経過曲線を基準にして, 任意の直径の丸太材の作業時間を求めるノモグラフを示すと Fig. 55 のとおりである。

この場合の基準の直径の丸太材の作業時間から任意の直径の丸太材の作業時間を求めるにはつぎの式を用いた。

$$t = t_s \left( \frac{d}{d_s} \right)^{1.5} \quad d_s = 13$$

Fig. 55 の使用法は処理前の丸太材の初期容積重を知って, それがもし 800  $\text{kg/m}^3$  ならばその容積重の変化曲線に沿って下がり,

って計算されたものであるから、今後資料の蓄積されたのちに再検討する必要がある。ただ、今日までわが国においては生材処理法に関する資料が非常に少ないから、処理を行なう場合に作業時間の推定が全くできなかったものが、大体の範囲のみでも推定がつくならば、それだけでも大いに便利であると考え、少し無理があったが、あえて実験式をつくってみたのである。

## 第 II 編 の 要 約

第 I 編においては主として生材処理法のための基礎的諸問題について解明したが、本編においては実際の処理技術に関する諸問題について、ブルトン法によるスギ丸太の結果をもとにして解明を加え、新しい多くの知見をえたが、明らかになった主要な結果を列記するとつぎのとおりである。

(1) 処理条件のうち加熱温度をそのときの排気度における水の沸点との温度差によって分類すると、脱水量に関しては加熱温度間に有意差が認められたが、排気度のあいだには有意差が認められなかった。

(2) 加熱温度の絶対値が同じならば、排気度間に有意差が認められ、排気度の高い方が脱水速度、脱水量は多くなる。

(3) 加熱温度では水の沸点との温度差を大きくするほど脱水速度は大きくなるが、温度差が  $30^{\circ}\text{C}$  をこえると、それほど脱水速度が増加しないから、その温度差は  $30^{\circ}\text{C}$  が能率的であり、経済的でもある。

(4) 脱水速度の時間的变化において、処理開始より約 6 時間を境として大きく変化し、木材中の水分移動に関して、水の沸騰による蒸発が主要な役割を果たしている前段階と水分傾斜に基因する蒸気圧差による拡散移動が主要な役割を果たしている後段階の 2 つの状態が存在する。

(5) 各種の処理条件において、脱水時間が同じならば、はじめから 6 時間以前の脱水量が、各条件の能率の良否を決定する。

(6) 処理装置中の各部の温度のうち注薬缶内の蒸気温度の変化とコンデンサにはいる前の蒸気温度の変化は内部の蒸気の発生、凝縮状態を知るために非常に有効な情報を提供する。

(7) 処理中の木材内の温度変化は木材内の通導性と関連があり、各部分の排気度における水の沸点に相当する温度に支配されている。

(8) 処理終了時の木材の中心温度は注薬缶内の蒸気温度とクレオソート油の温度の平均に近い温度になっている。

(9) 木材の初期容積重が高いほど処理の初期における脱水速度は大きくなり、 $500\text{ kg/m}^3$  以下の初期容積重になるとほとんど 0 となる。

(10) 脱水速度は木材の含有水分と比例関係にあり、とくに辺材表層の含水率と初期の脱水速度とは密接な関係がある。

(11) 処理による木材の容積重の時間的变化は脱水時間とのあいだに指数曲線的な関係がある。とくに  $700\sim 900\text{ kg/m}^3$  の初期容積重のものではほとんど同じような形の変化曲線を示す。

(12) 丸太材の直径が大きいと、直径の小さいものに比べて処理の初期における脱水速度は小さく、その変化曲線の勾配はゆるやかで、後半になると脱水速度は相対的には直径の小さいものより大きくなる。

(13) 丸太材の直径の大きいものは、小さいものに比べて、処理による容積重の時間的变化は緩慢である。

(14) 成長錐試片によって測定した木材含水率は真の木材含水率よりある一定の割合で低い値となる。

(15) 処理前と処理後の丸太材の各部の含水率変化は加熱温度、脱水時間、丸太材の直径などにより影響をうける。

(16) 処理前と処理後の含水率のあいだには、同一直径、同一処理条件の場合には、辺材表層、辺材内層、心材の各部分ごとに、それぞれ相関関係が認められ、辺材表層の含水率の低下が最も大きく、ついで辺材内層で心材は最も小さい。

(17) 辺材表層の処理前含水率を  $x$  とし、処理後の含水率を  $y$  として、両者の関係をあらわす回帰直線の回帰係数  $n$  の値は、脱水時間、加熱温度、丸太材の直径によって変化する。

(18) 生材処理法における脱水量の大部分は辺材部分から脱水されたものである。

(19) 丸太材内の放射方向の含水率分布から考えて、辺材表層の含水率を低下させれば、辺材平均含水率のみならず、丸太材全部の平均含水率も低くなる。

(20) 木材の容積重が処理により低下することは辺材含水率の低下と密接な関係がある。

(21) スギ丸太の場合、辺材平均含水率を 30% 以下にすることは容積重で約  $500 \text{ kg/m}^3$  以下にすることである。

(22) プルトン法に使用されるクレオソート油はあたかも水蒸気蒸留を行なったと同じような変化をうける。

(23) 凝縮液中に留出してくる油分の大部分はクレオソート油中の沸点  $235^\circ\text{C}$  以下の留分である。

(24) 留出してくる油の性質は脱水量、脱油量の累計とともに変化し、しだいに沸点  $235^\circ\text{C}$  以下が少なくなる。

(25) 留出油の量の脱水量に対する割合は、新しいクレオソート油では約 20% に相当するから、全凝縮液に対する割合は約 17% となり、その量だけひいた量が真の脱水量である。

(26) 多量の脱水を行なったあとのクレオソート油は、比重、粘度が高くなり、沸点  $200^\circ\text{C}$  以下の留分が減少する。

(27) 脱水時間を作業時間とするならば、加熱温度と水の沸点との温度差  $\Delta\theta$  は作業時間とのあいだに逆比例的関係があるから、温度差が大きい方が所定の容積重まで低下させるに必要な作業時間は短くなる。

(28) 木材の初期容積重または含有水分量 ( $\text{kg/m}^3$ ) と作業時間とのあいだには比例の関係があるから容積重が大きいものほど所定の容積重まで低下させるに必要な作業時間は長くなる。

(29) 丸太材の直径 {末口径 (cm) + (長さ (m) - 4) / 2} (cm) と作業時間とのあいだには比例の関係があるから、丸太材の直径が大きくなると、所定の容積重まで低下させるに必要な作業時間は長くなる。

(30) 加熱温度、木材の容積重、丸太材の直径などを知って、基準条件の作業時間から任意条件の作業時間を計算によって求めることができる。

(31) 加熱温度の  $\Delta\theta$  を  $30^\circ\text{C}$  として基準の直径の丸太材の容積重の変化曲線から、任意の直径の丸太材の、任意の容積重まで低下させる作業時間を求めるノモグラフをつくった。

以上のように明らかにされた問題以外に、実験中に観察されたこと、予備的に実験したこと、今後の問題点などについて簡単にふれてみる。

(a) 処理の結果発生する丸太材のひわれの問題は加熱温度  $100^\circ\text{C}$ 、排気度 600 mm で辺材表層含水率を 15~20% まで低下させた場合でも、表面におけるひわれの発生は天然乾燥によるものと大差なかつ



た。ただ、丸太材の中心に星形のひわれが全長にわたって、必ずおきるが、それほど大きなわれでないから、品質を低下させるものではない<sup>84)</sup>。

(b) 長時間加熱による機械的性質の低下の問題については多くの研究結果が発表されているが、100℃以下の加熱ならばその低下は比較的少なく<sup>85)86)</sup>、しかも、生材処理法では高い温度で加熱されているのは表層部分のみで、内部は大部分の時間は水の沸点温度を保持しているため、排気度が高ければそれだけ材内温度も低くなって、木材全体の機械的性質の低下は少ないものと考えられる。

(c) 脱水速度の時間的変化からみると、いかなる場合でも脱水が多量に行なわれるのは、処理を開始してから約6時間以内である。それゆえ、この間にできるだけ多量の脱水を行なうことがこの処理法における作業時間を短縮させることである。

そこで脱水促進法として、インサイジング、予備加熱、処理前に空気の圧入、排気度の階段状の上昇などを試みたが、いずれも顕著な促進は行なわれなかった。ただ、はじめの1時間における脱水量が多くなったものはあったが、全体の脱水量では大差ない。このなかではインサイジング法と、排気度を変化させる方法の2つは全脱水量において他のものよりは多少多くなり、脱水を促進する可能性はある。

(d) 脱水促進法は生材処理法をより経済的に実行できるか、どうかを決定する重要な問題であるから今後十分に検討する必要がある。

(e) 脱水工程のあとの加圧工程における処理に関する問題については本実験では行なわなかったため、生材処理がいかなる影響を加圧処理の際にあたえているか明らかにできなかったが、含水率の面のみから考えれば、生材処理法によって、木材を十分に乾燥させれば、天然乾燥により乾燥した木材を加圧処理する場合の処理条件を用いて、十分に規定の注入力ならびに浸潤長を期待できるものと考えられる。

以上のように、生材処理法における処理技術について、ブルトン法の処理結果から多くの問題を解明したが、これらのうちの大部分は生材処理法全般に共通する問題であり、求められた各種の法則性については他の樹種、他の処理の場合にも大体適用できるものと考えられる。これらの結果より処理条件の決定、作業時間の推定が容易となり、また処理材の含水率分布も大体推定できるなど、生材処理法の処理技術に関する基本的な指針をほぼ確立することができた。

ただ、本実験結果はすべて1本ごとの処理結果であり、多量の丸太材を同時に処理する工場における処理結果とのあいだには、各種の条件がことなることから、多少の差が生じる可能性はあるが、工場における処理資料がほとんどないから、本実験結果と工場における結果を比較することができない。もし、将来工場における資料が蓄積されれば、両者の関係も明らかとなり、その原因を究明することによって、処理技術の改善と、工場現場における作業基準の確立とを可能にさせるであろう。

## 本論文の総括と結論

本論文は第Ⅰ編と第Ⅱ編とからなり、第Ⅰ編においては生材処理法に関係のある基礎的な諸問題を明らかにし、第Ⅱ編においては第Ⅰ編の結果を実用的な処理技術の解明に応用し、できるだけ普遍性のある諸法則を求め、生材処理法の処理技術における基礎的な諸問題に関する作業基準の指針を確立した。

生材処理法は木材を加熱し、同時に減圧して木材中から水分を取り去る方法であるから、木材が加熱された場合の木材内の温度変化を知ること、また減圧下におかれた木材内の圧力変化を知ることが生材処理法の基礎的な問題として最も重要なことである。

第Ⅰ編においては、これらの 2 つの問題について検討を加え、多くの新しい知見をうることができた。そのうちで主要な結果を列記するとつぎのとおりである。

- (1) 熱拡散の理論式より導かれた諸法則が丸太材においても、近似的に成立することを確かめた。
- (2) (1) において求められた諸法則を使って基準条件下の丸太材の放射方向における温度分布の時間的変化を明らかにした。
- (3) 気乾材も生材もともに、加熱温度がその環境下の水の沸点より高い場合には、その内部の温度は加熱温度に関係なく、非常に長いあいだあたかもそのときの水の沸点に相当する温度で加熱されているような変化を示す。
- (4) 気乾材より生材の方が温度変化速度ははやい。
- (5) 軸方向の空気の透過速度、圧力勾配はその長さで逆比例的な関係がある。
- (6) 軸方向・放射方向・接線方向の通導は、一般に辺材はよく、心材は悪い。スギ辺材の放射方向の通導はアカマツ、カラマツに比べて非常に悪く、気乾材でも内部の圧力は外部の圧力に一致しない。
- (7) 減圧下の木材内の圧力変化は含水率が高くなることと、軸方向の長さが長くなることによって、低下速度はおそくなり、それらの条件がある限度以上になると、その部分の圧力はある限界以下には低下しない。

以上の結果は第Ⅱ編の処理条件の決定、処理結果の解析において非常に有効な情報を提供した。とくに木材が加熱されているときは、木材内の温度はその部分の圧力における水の沸点温度により支配されるということと、減圧下の木材内の圧力は必ずしもそのまわりの圧力に短時間では一致しないということの 2 つはつぎに示す各問題について、とくに有効な資料となった。

- (a) 加熱温度を水の沸点との温度差で考える必要があり、排気度と加熱温度は独立して決定することはできない。
- (b) 脱水を能率よく行なうためには、この温度差を大きくしなければならない。
- (c) 処理工程中の木材内の温度変化を推定することができた。
- (d) 木材内の温度は加熱温度とは必ずしも一致しない温度で加熱されている。
- (e) 丸太材深部の水分は脱水するのが非常に困難である。

第Ⅱ編においては処理条件と木材条件の 2 つについて、それらが変化した場合に処理結果にどのように影響するかを知り、各因子間の関係について、できるだけ数量化できるような法則性を明らかにした。

第Ⅱ編においてえられた結果のうち主要なものをあげるとつぎのとおりである。

- (1) 加熱温度をそのときの水の沸点との温度差で分類すると、脱水量に対して有意差が認められるが排気度に関しては有意差は認められない。
- (2) 水の沸点との温度差は大きいほど能率はよいが、30°C 以上になると温度を上昇させただけの効果があらわれないから、その温度差は 30°C が最も能率的であり経済的である。
- (3) 脱水速度は処理開始時に最も大きく、約 6 時間までに急激に低下し、そのあとはゆるやかな勾配で低下していく。この形は処理条件、木材条件が変わってもほとんど同じようにあらわれる。
- (4) 木材中から水が脱水されていく状態ははじめから 6 時間までとそのあとと、2 つの異なる状態が存在する。前半は木材中の水が沸騰により蒸発し、後半は蒸気圧差による拡散移動により支配されていると考えられる。

- (5) 処理による含有水分量すなわち容積重の時間的变化は指数曲線的な変化を示す。
- (6) 脱水量の大部分は辺材部分の含有水分である。
- (7) 作業時間6時間以前の脱水速度を支配するものは辺材表層の含水率である。
- (8) 辺材表層、辺材内層、心材の3部分にわけて、処理前と処理後の含水率変化をみると両者のあいだには各処理条件ごとに密接な相関関係が存在し、辺材表層の含水率の低下が最も大きく、心材が最も小さい。
- (9) 生材の放射方向の含水率分布の一般的傾向から、生材処理法により辺材表層の含水率を所定の値まで低下させれば、その丸太材全体の平均含水率も大体所定の値に近づいている。
- (10) 加熱温度を水の沸点との温度差であらわすと、作業時間とのあいだにある逆比例の関係がある。
- (11) 木材の初期の容積重または含水率と作業時間とのあいだに、ある比例の関係がある。
- (12) 丸太材の直径と作業時間とのあいだに、ある比例の関係がある。
- (13) 基準の排気度、加熱温度により基準の初期容積重、末口径、長さの丸太材を所定の容積重まで乾燥させるに必要な作業時間を求めておけば、任意条件の作業時間を計算またはノモグラフにより求めることができる。

以上のように第Ⅰ編と第Ⅱ編において、加圧式防腐処理のための生材処理法の処理技術に関する基礎的諸問題を解明することができたが、これらの結果から結論として生材処理法の処理技術に関する基本的考え方、作業基準に対する指針を示すとつぎのとおりである。

- (1) 加熱温度はそのときの水の沸点との差が  $30^{\circ}\text{C}$  に相当する温度をえらぶべきである。
- (2) 排気度は加熱温度が水の沸点との温度差をつねに  $30^{\circ}\text{C}$  にするように調節すべきである。
- (3) 加熱温度の絶対値を低くして、しかも能率よく脱水させるため、装置の許す限り高い排気度にすべきである。
- (4) 作業時間は加熱温度、木材の初期容積重、辺材含水率、木材の寸法（末口径と長さ）、目標とする処理の木材の容積重または辺材含水率などによって決定すべきである。
- (5) 注染缶内に収容されている木材の各部位における温度むらを短時間に少なくして、作業中どの部分も均一な温度で加熱されるように工夫すべきである。
- (6) 処理前の容積重が  $700\text{ kg/m}^3$  以上の丸太材は短期間（約1か月以内）の天然乾燥を処理前に行って、 $700\text{ kg/m}^3$  以下の容積重になってから生材処理法を適用した方が経済的である。
- (7) 同時に処理する木材はできるだけ寸法と容積重の変化範囲を狭くし、作業時間はその範囲内の最大のものにあわせて決定しなければならない。
- (8) コンデンサは1時間あたり収容木材の単位容積からの脱水量  $100\text{ l/m}^3$  を凝縮できる能力をもったものが望ましい。また、大きな容量のコンデンサを1基設置するより、直列に小容量のものを2基以上設置した方が効率が良い。

生材処理法において、経済的に処理するということは、できるだけ能率よく、短時間に多量の水を脱水し、作業時間を短くすることである。しかし、著者の実験結果では、初期容積重が大きく、寸法の大きい材料では、最適な処理条件でも、非常に長時間を要するので結論の(6)に示したように天然乾燥との併用という考え方が生じたのであるが、脱水速度の変化においてもわかるように、処理の初期(6時間以内)にできるだけ多量の水を取り去るよう特別なスケジュールを工夫すること、あるいは脱水速度を急激に

低下させないようにする手段を考えること、また工場現場処理の結果と実験室処理の結果との差を明らかにし、その原因を究明して、工場における生材処理法の処理技術の改善、ならびに作業基準を確立することなどが今後に残された重要な課題である。

以上のように生材処理法の処理技術に関して、新しい多くの知見をえたが、これらの結果が今後防腐工場において生材処理法の採用を促進し、加圧式防腐処理技術の合理化の進展に寄与することができるならば幸である。

## 文 献

- 1) 雨宮昭二：簡易木材防腐に就いて，木材工業 8, 1, pp. 35～36, (1953)
- 2) ———：簡易木材防腐処理法「拡散法について 第 1 報 2, 3 防腐剤の滲透試験，林試研報，71, pp. 139～146, (1954)
- 3) ———：全上 第 2 報 異なる含水率のブナ辺材ならびにブナ偽心材を用いての防腐剤滲透試験，林試研報，77, pp. 165～170, (1955)
- 4) ———：全上 第 3 報 異なる含水率のスギ，アカマツならびにカラマツ材を用いての防腐剤滲透試験，林試研報，82, pp. 45～48, (1955)
- 5) ———：全上 第 4 報 アカマツならびにカラマツ丸太を用いての防腐剤滲透試験，林試研報 82, pp. 49～56, (1955)
- 6) ———：開槽式温冷浴法に関する一実験，木材学会シンポジウム要旨，木材工業，11, 2, pp. 56, (1956)
- 7) ———：拡散法による木材防腐処理について，木材工業，11, 11, pp. 2～6, (1956)
- 8) 防腐研究室：木材防腐実地試験資料 1. 浅川分室廿里苗畑防腐処理外柵の被害調査，林試研報 103, pp. 155～158, (1957)
- 9) ———：木材防腐実地試験資料 2. 本場テニスコート防腐処理外柵及びその他附帯木造物被害調査，林試研報，103, pp. 159～166, (1957)
- 10) 雨宮昭二・井上 衛：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，林試研報，106, pp. 179～200, (1958)
- 11) 雨宮昭二：鳥居用スギ丸太の拡散法による防腐処理，林試研報，116, pp. 97～100, (1959)
- 12) ———：材内圧力変化よりみた開槽式温冷浴法の処理条件について，木材学会誌，5, 4, pp. 153～158, (1959)
- 13) 雨宮昭二・内藤三夫：硼砂・硼酸混合物によるラワン材の拡散法処理について，第 9 回日本木材学会大会要旨，pp. 118～121, (1960)
- 14) 雨宮昭二・井上 衛：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っ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，林試研報 123, pp. 67～92, (1960)
- 15) 防腐研究室：木材防腐実地試験（3）本場テニスコート防腐処理外柵の 4～7 年間の被害調査（2）林試研報，130, pp. 195～204, (1961)
- 16) ———：全上（4）木材部水中貯木場防腐処理外柵の 1～3 年間の被害調査（1）林試研報，130, pp. 195～204, (1961)
- 17) 雨宮昭二：防腐処理における水分の影響，木材学会，水と木材研究会，pp. 31～48, (1961)
- 18) ———：ラワン材の防虫処理，木材工業，17, 4, pp. 26～30, (1962)
- 19) ———：簡易木材防腐処理（1）塗付散布法，木材工業，17, 5, pp. 36～40, (1962)
- 20) ———：全上（2）浸漬法，木材工業，17, 6, pp. 37～43, (1962)
- 21) ———：全上（3）温冷浴法，木材工業，17, 7, pp. 39～44, (1962)

- 22) 雨宮昭二： 全上 （4） 拡散法，木材工業，17，8，pp. 36～42，（1962）
- 23) ————：木材をしろあり防除薬剤で処理する方法，しろあり，1，pp. 16～19，（1962）
- 24) ————：浅川実験林設置杭試験（1）杭の被害程度を評価する方法，林試研報，150，pp. 145～158，（1963）
- 25) ————：木材防腐処理法に関する研究（4）塗付法における防腐剤の塗付量（消費量）と吸収量について，林試研報，162，pp. 133～141，（1964）
- 26) 雨宮昭二・井上 衛：木材防腐処理法に関する研究（5）浸漬法における浸漬時間と吸収量との関係について，林試研報，170，pp. 143～160，（1964）
- 27) ————・—————：ブナ枕木の高圧注入，林試研報，116，pp. 101～103（1957）
- 28) 雨宮昭二：木材防腐処理法に関する研究（6）木材の浸漬処理における超音波による浸透促進の可能性について，木材工業，19，6，pp. 14～18，（1964）
- 29) 清水敬二：木枕木電気注入法の研究（第1報）低周波加熱・乾燥・冷浸実験，鉄道技研報告，60，pp. 1～39，（1959）
- 30) 清水敬二・松村 弘・堀江甫勇：ブナ特殊まくら木（短まくら木）の試作，木材工業，16，3，pp. 16～21，（1961）
- 31) ————：ブナ特殊マクラ木の防腐処理，生材比較注入実験，鉄道技研報告，306，pp. 1～35，（1962）
- 32) 清水敬二：ブナ生材の比較注入実験（第1報）ベセル，ローリイおよびリュウピングの各法について，木材学会誌，8，3，pp. 93～98，（1962）
- 33) ————： 全上 （第2報）前処理（温冷浴法，ブルトン法）および前処理併用ローリイ法について，木材学会誌，8，3，pp. 99～104，（1962）
- 34) ————： 全上 （第3報）複式加圧注入法について，木材学会誌，9，5，pp. 157～161，（1963）
- 35) ————： 全上 （第4報）前処理併用加圧注入法について，木材学会誌，9，5，pp. 162～165，（1963）
- 36) ————： 全上 （第5報）長材に対する各種加圧注入法の効果ならびに材長の影響，木材学会誌，10，3，pp. 96～101，（1964）
- 37) 清水敬二，田中耕造： 全上 （第6報）複式リュウピング法について，木材工業，19，10，pp. 18～23，（1964）
- 38) ————：ブナ生材まくら木の防腐処理，鉄道技研報告，420，pp. 1～47，（1964）
- 39) MACLEAN, J. D. : Study of heat conduction in wood. Results of steaming green round southern pine timbers. AWPA-Proc., 26, pp. 197～219, (1930)
- 40) ———— : Study of heat conduction in wood. Part II. Results of steaming green sawed southern pine timbers. AWPA-Proc., 28, pp. 303～330, (1932)
- 41) ———— : Temperature in green southern pine timbers after various steaming periods. AWPA-Proc., 30, pp. 355～373, (1934)
- 42) ———— : Relation of wood density to rate of temperature change in wood in different heating mediums. AWPA-Proc., 36, pp. 220～248, (1940)
- 43) ———— : Rate of temperature change in short length round timbers. Am. Soc. Mech. Eng. Trans., 68, 1, pp. 1～16, (1946)
- 44) ———— : Temperatures obtained in timbers when the surface temperature is changed after various periods of heating, AWPA-Proc., 42, pp. 87～139, (1946)
- 45) ———— : Preservative treatment of wood by pressure method, U.S. Dep. Agr. Handbook 40, (1952)
- 46) 満久崇麿：Studies on the heat conduction in wood，木材研究，13，pp. 1～80，（1954）

- 47) 大沼加茂也：木材内部温度の計算方法 林試研報, 111, pp. 133~142, (1959)
- 48) 林業試験場編：木材工業便覧, pp. 205~207, (1952)
- 49) —————：木材工業ハンドブック, p. 121, p. 989~991, (1958)
- 50) 雨宮昭二：木材防腐処理に関する研究（第3報）数種針葉樹材の繊維方向の通導性の測定, 木材学会誌, 8, 2, pp. 81~86, (1962)
- 51) 金平洋一：枕木の防腐剤浸潤性並に注入操作に就て, 鉄道業研資料, 1, 3, (1942)
- 52) 横田徳郎：木材の浸透性について, 第3回木材学会大会要旨 (1956)
- 53) STAMM, A. J. : The effect of changes in the equilibrium relative vapor pressure upon the capillary structure of wood, Physics, 6, pp. 334~342, (1935)
- 54) ————— : Passage of liquids, vapor and dissolved materials through softwood, FPL Technical Bulletin 929, (1946)
- 55) STONE, J. E. : The penetrability of wood. Pulp & paper mag. Canada, 57, pp. 139~146, (1956)
- 56) SMITH, D. N. & L. ELEANOR : The longitudinal permeability of some hard woods and softwoods, FPL, special report, London, 13, (1958)
- 57) KOLJO, B. : Über die mechanik der Flüssigkeitsbewegung bei der Holzimprägnierung, Sweden (1951)
- 58) BELLMANN, H. : Praxisnahe Laboratoriums Untersuchungen über das Eindringen von Flüssigkeiten in Holz bei der Kesseldrucktränkung, Holz als R. & W, 12, pp. 312~316, (1954)
- 59) SCHULZE, B. & G. THEDEN : Über das Eindringvermögen von Holzschutzmitteln und dessen Prüfung, Deutschen Materialprüfungsanstalten 2, 7, pp. 84~103, (1950)
- 60) ERICKSON, H. D. : The effect of several seasoning methods on permeability of wood to liquid, AWPA-Proc. 55, pp. 210~220, (1959)
- 61) BURO, A & E. BURO. : Untersuchungen über die Durchlässigkeit von Kiefernholz, Holz als R. & W. 17, 12, pp. 461~471, (1959)
- 62) 谷 一郎：流文学, p. 96, (1959)
- 63) 化学機械協会編：化学工学便覧, p. 50 (1950)
- 64) MUSKAT, M. & R. O. WYCOFF : The flow of homogeneous liquids through porous media, p. 55, (1955)
- 65) 岡本哲史：応用流体力学, p. 263, (1953)
- 66) 雨宮昭二・井上 衛：木材防腐処理法に関する研究（8）減圧下におかれたスギ丸太内の圧力変化, 木材工業, 20, 8, pp. 21~25, (1965)
- 67) MACLEAN, J. D. : Temperature and moisture changes the coast Douglas fir. AWPA-Proc., 31, pp. 77~103, (1935)
- 68) 雨宮昭二・井上 衛：木材防腐処理法に関する研究（7）ブルトン法における排気度あるいは加熱温度と脱水量との関係について, 木材工業, 20, 2, pp. 20~25, (1965)
- 69) MACLEAN, J. D. : Report of committee-steam treatments, AWPA-Proc., 23, pp. 189~195, (1927)
- 70) ————— : Report of committee-boiling treatments, AWPA-Proc., 24, pp. 171~177, (1928)
- 71) ————— : Experiments with the Boulton process in the treatment of green southern pine poles, AWPA-Proc., 29, pp. 343~366, (1933)
- 72) BLEW, J. O. & Jr. MODERATOR : Symposium on method of conditioning wood prior to preservative treatment. AWPA-Proc., 54, pp. 55~76, (1958)

- 73) 服部守一：Boulton 法の理論と実際，防腐木材協会技術部会資料（1954）
- 74) 堀江甫勇：ブナ枕木に対するブルトン法の活用，木材工業，14，8，pp. 10～13，（1959）
- 75) 山名成雄・松村 弘・金平洋一・深津信雄：ブナ枕木に対する Boulton 法の検討，第4回木材学会大会発表要旨，p. 64，（1957）
- 76) 山陽木材防腐株式会社：未乾燥マツ枕木注入法の一観察，木材工業，8，4，pp. 163～166，（1953）
- 77) BRAMHALL, G. & W. M. CONNERS：Vapor pressures in western hemlock heartwood during boiling under vacuum in creosote, FPJ., 5, pp. 269～271, (1955)
- 78) —————：An evaluation of factors affecting the rate of drying of round western hemlock during the boiling under vacuum process, FPJ, 7, pp. 205～208, (1957)
- 79) —————：Boiling and impregnation in the preservation of round western hemlock, AWWA-Proc., 56, pp. 36～44, (1960)
- 80) 寺沢 真・岩下 睦：木材乾燥操作に関する基礎的研究（1）乾燥特性曲線について，林試研報 81, pp. 81～93, (1955)
- 81) 日本工業規格 JIS A 9002（1960）木材の加圧式防腐処理方法解説
- 82) 筒本卓三：単板の乾燥（1）木材工業，17，1，pp. 40～43，（1962）
- 83) 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，林試研報，42，pp. 11～23，（1949）
- 84) MACLEAN, J. D：Effect of temperature on the dimensions of green wood, AWWA-Proc., 48, pp. 136～157, (1952)
- 85) —————：Effect of steaming on the strength of wood, AWWA-Proc., 49, pp. 88～112, (1953)
- 86) KÜHNE, Von H.：Untersuchungen über den Einfluss der Imprägniertemperatur auf die mechanischen Eigenschaften der Schwellenhölzer, Holz als R. & W. 19, 11, pp. 438～441, (1961)
- 87) 雨宮昭二・井上 衛：木材防腐処理法に関する研究（9）ブルトン法における木材条件と脱水速度との関係，木材工業，20，10，pp. 20～24，（1965）
- 88) 雨宮昭二：スギ丸太のブルトン法処理について，木材工業，20，10，pp. 10～14，（1965）

**Fundamental Research for Conditioning Processes Applied to  
Green Timbers prior to Pressure Treatment.**

**—Mainly for Boulton Process—**

Shoji AMEMIYA

(Résumé)

In wood preservative treatment, timbers frequently must be air-seasoned for a long time prior to treatment. For example, this takes more than three months for sleepers or six months for poles. Such a long time exposes timbers to fungi and insect attacks, and causes the wood preservation factory to suffer many other economic disadvantages. So it is preferable to treat the timbers as soon as possible after they are cut. When green material is to be treated, it is customary to condition the wood by a special heat treatment so that it can be penetrated with preservatives by pressure process. The methods to prepare the wood are the conditioning processes.

The conditioning process generally heats the timber to a more favorable treating temperature, removes a substantial amount of moisture from the timber, and dries the timber to a favorable moisture content for pressure processing. Three conditioning processes have been used mostly in America. The one is the steaming-and-vacuum method, the second is the boiling-under-vacuum method (Boulton process), and the third is the vapor-drying method. These methods have scarcely been used in Japan, and there are little data available on them.

So the purpose of this research is to establish the operating standard for the conditioning processes to apply to timbers produced in Japan.

The process used in this research is mainly the Boulton process, and Sugi (*Cryptomeria japonica*) poles are used in this research. This report is composed of two section. The first section is on fundamental problems of the conditioning processes, and the second section is on the treating technique of them.

In the first section, temperature change in timbers when they are heated in preservative solutions at atmospheric pressure and pressure change in timbers under vacuum are shown. The results obtained are summarized as follows:

According to the results obtained about temperature change in round timbers heated in preservative solutions:

- (1) The rate of temperature change in timbers is directly proportional to the difference between the heating temperature and the timber temperature.
- (2) When the medium temperature is lower than boiling point of water at an environmental pressure, the surface temperature of timbers may be equal to the medium temperature, and the interior temperature of timbers changes to that of the timbers at the medium temperature (Fig. 2, 3, 5, and 6).

When the medium temperature is higher than the boiling point of water at an environmental pressure, the surface temperature of timbers does not reach the medium temperature for a long time, because it is under the control of boiling point of water. So the interior temperature of timbers changes to become just like the heat of the timbers at the same temperature as the boiling point of water at the environmental pressure (Fig. 12~15).



- (3) The time required to obtain the same temperature at the same proportional radial distance in any two round timbers of different diameters, respectively, will be directly proportional to the squares of the diameters (Table 1 and 2). This result is the same as in the J. D. MACLEAN's report.
- (4) The rate of temperature change is slower in seasoned timbers than in green timbers under the same condition.
- (5) The rate of temperature change in timbers heated is faster in water solution than in creosote oil at the same temperature.

According to the results obtained with the equipment of Fig. 21;

- (6) The penetration rate of air in the axial direction of wood is inversely proportional to the length of the axial direction (Fig. 23 and 24).
- (7) The pressure gradient in the axial direction of wood is inversely proportional to the length of the axial direction.
- (8) The penetration factors of variable species in the axial direction are shown in Table 7. Their factors are smaller through heartwood than through sapwood.

According to the results obtained with the equipment of Fig. 25;

- (9) If the penetration of air takes place in only two directions of radial and tangential under vacuum, the interior pressure of wood like Sugi (*Cryptomeria japonica*) and Buna (*Fagus crenata*) can not reach the environmental vacuum pressure even after a long interval of time has passed (Fig. 26).
- (10) Penetration through the sapwood of Akamatsu (*Pinus densiflora*) and Karamatsu (*Larix leptolepis*) is much better in the radial direction than in the tangential direction.
- (11) Penetration in the radial direction is much better through the sapwood of Akamatsu and Karamatsu than through that of Sugi and Buna.

According to the results obtained with the equipment of Fig. 27 and 28;

- (12) Penetration through high moisture round timbers of Sugi in the axial direction is inversely proportional to the length of the axial direction. If the length of the axial direction is not less than 1 meter, the interior pressure in timbers can not reach the environmental pressure even after a long time interval (Fig. 32).
- (13) The interior pressure in round timbers can easily reach the environmental pressure after a short time, with decreasing the average moisture content in the sapwood of Sugi, or with shortening the length of the axial direction (Fig. 29~36).
- (14) The interior pressure in round timbers treated by conditioning process decreases gradually with decreasing the moisture content in timbers.

The results as above-mentioned supplied much useful information which was helpful in establishing the treating technique of the conditioning process and in analysing the results obtained in the second section.

In the second section, many problems for the practical treating technique of the conditioning processes (mainly Boulton process) were shown by the results of Sugi round timbers treated by the Boulton process.

The equipment used in this experiment is shown in Fig. 38. In the first, the results obtained about the treating conditions, mainly vacuum and heating temperature, are shown as follows:

- (1) If heating temperature is classified by the difference between the heating tempera-

ture and the boiling point of water under each vacuum, the significant difference among each heating temperature is recognized as to the amount of water collected, but the significant difference among each vacuum is not recognized (Table 9~13).

- (2) If the absolute value of each heating temperature is the same, the significant difference among each vacuum is recognized, and the rate of water collected ( $\text{kg}/\text{m}^3 \cdot \text{h}$ ) and the amount of water collected ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ) are more under higher vacuum than under lower vacuum during the same period.
- (3) The more the difference between the heating temperature and the boiling point of water, the more becomes the rate of water collected from timbers, but when the difference is over  $30^\circ\text{C}$ , the rate of water collected does not increase so much.
- (4) There are two stages in the change on the rate of water collected during treating period. The first stage is the period from the start to about six hours, and the second stage is the period from about six hours to the final. The moisture movement in timbers is based on the vaporization of water during the first stage, and on the diffusion depending upon the difference of vapor pressure of water in timbers during the second stage (Fig. 39).
- (5) If the treating period is the same, the amount of water collected from timber by about six hours determines whether the treating condition is good or no good.
- (6) The change of vapor temperature in the treating cylinder ( $T_2$ ) and in the pipe from the Rueping tank to the condenser ( $T_3$ ) supplies the available information to indicate the state of vapor production or water condensation, respectively (Fig. 40).
- (7) The temperature change in timbers during the treatment is under the control of boiling point of water in each part of the timber at the vacuum pressure.
- (8) The temperature at center of the timber after 20~30 hrs. is nearly equal to the average value between the vapor temperature and the creosote oil temperature in the treating cylinder (Table 14).

In the second, the results obtained about the timber conditions, mainly the initial moisture content (density) and the timber dimensions, are shown as follows:

- (9) The higher the initial moisture content of timbers, the more becomes the rate of water collected during the initial period of the process. When the initial density is under  $500 \text{ kg}/\text{m}^3$ , the amount of water collected during the initial period is almost none (Fig. 41).
- (10) The rate of water collected is directly proportional to the moisture content of the timber, and the moisture content of the outer sapwood especially is closely connected with the rate of water collected during the initial period.
- (11) The periodic change of timber density during the treatment has the exponential relation to the treating period. That is the following formula (Fig. 42 and 43).

$$(D - D_0) = (D_a - D_0) e^{-kt}$$

$D_a$ : initial density,  $D_0$ : oven-dry density,  $D$ : density after  $t$  hrs.

- (12) The periodic change of the timber density during the treatment is slower on larger diameter than on smaller diameter (Fig. 44 and 45).
- (13) The rate of water collected during the initial period is less on larger diameter than on smaller diameter. The rate during the latter half of the period is relatively not less on larger diameter than on smaller diameter (Fig. 46).

The change of the moisture content in the timber before and after the treatment is

measured with pieces taken up by the increment borer. The moisture contents measured with their pieces are less than true moisture contents, but the relative change of the moisture contents can be measured by this method (Fig. 47). The results obtained are as follows:

- (14) The correlation between the moisture contents before and after the treatment is recognized under the same condition, and the regression lines for the moisture contents before and after the treatment are shown as Fig. 48.
- (15) If the timber is divided in three parts of outer sapwood, inner sapwood and all heartwood, the decrease of the moisture after the treatment is the most in the outer sapwood (Fig. 48).
- (16) The regression coefficients ( $n$ ) for the change of moisture contents before ( $x$ ) and after ( $y$ ) the treatment vary depending upon the treating period, the heating temperature and the timber diameter (Fig. 49).
- (17) Most of the water collected during all period by this process is moisture in the sapwood.
- (18) On the moisture distribution in the radial direction of timbers, the moisture content is generally the highest in the outer sapwood and the lowest in the heartwood. So if the moisture content in the outer sapwood decreases to a marking one, the average moisture content not only in the sapwood but in all parts of the timber decreases to the marking one (Fig. 50).
- (19) Creosote oil used in the Boulton process changes in quality as if it has been distilled with steam.
- (20) Most of the oil distillates in the condensates during the Boulton process are one under 235°C in creosote oil (Table 15).
- (21) The property of the distillates varies with increasing the total amount of water and oil collected during each treatment (Table 15).
- (22) Percentage of the amount of oil by water collected is about 20 percent and percentage of the amount of oil collected by all distillates is about 17 percent (Table 16).
- (23) The creosote oil used in the Boulton process increases its specific gravity and its viscosity, and decreases the distillates under 235°C (Table 17).

According to the results obtained about treating and timber conditions, the relations between their conditions and treating periods are shown as follows:

- (24) If the heating temperature is shown as the difference between it and boiling point of water, the relation of the treating period and  $\Delta\theta^\circ\text{C}$  is shown as the following formula:

$$t = t_s \left( \frac{\Delta\theta}{\Delta\theta_s} \right)^{-n}$$

$t_s, t$ : treating period on standard condition  $\Delta\theta_s^\circ\text{C}$  and  
free condition  $\Delta\theta^\circ\text{C}$ , respectively.

$n$ : constant determined by timber conditions.

Value of  $n$  calculated by the results obtained in this experiment is 1.7.

- (25) The relation of the treating period and the timber initial density or the moisture in timbers is shown as the following formula:

$$t = t_s \left( \frac{D}{D_s} \right)^n \quad \text{or} \quad t = t_s \left( \frac{D - D_0}{D_s - D_0} \right)^n$$

$D_s, D$ : standard and free initial density, respectively ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ),

$D_0$  : oven-dry density. (kg/m<sup>3</sup>)

$n$  : constant determined by timber diameter.

Values of  $n$  calculated by the results obtained in this experiment are 1.2~1.6, but practically it is 1.2.

(26) If the timber diameter is shown as  $\left[ \text{diameter of top (cm)} + \frac{(\text{length of timber (m)} - 4)}{2} \right]$  (cm), the relation of the treating period and the diameter is shown as the following formula :

$$t = t_s \left( \frac{d}{d_s} \right)^n$$

$d_s, d$  : standard and free timber diameter, respectively.

$n$  : constant determined by density.

Values of  $n$  calculated by the results obtained in this experiment are 1.1~2.0, but practically it is 1.5.

(27) The relation among heating temperature, timber initial density, timber diameter and treating period is shown as the following formula :

$$t = K t_s \Delta\theta^{1.7} (D - D_0)^{1.2} d^{1.5}$$

$$K = \frac{\Delta\theta_s}{(D_s - D_0)^{1.2} d_s^{1.5}} = 0.00613$$

(28) If  $\Delta\theta$  of the heating temperature is 30°C, the treating periods on variable timber conditions are shown as the nomograph of Fig. 55.

According to the above results, the conclusions for the guide of the operating standard of the conditioning processes are shown as follows :

- (1) Such a heating temperature as that the difference between it and the boiling point of water at a vacuum pressure used is 30°C should be used.
- (2) Vacuum should be controled so as to hold that the difference between the heating temperature and the boiling point of water is 30°C.
- (3) Vacuum as high as the equipment permits should be used in order to lower the absolute value of heating temperature and to treat timbers more efficiently.
- (4) The treating period should be determined to consider the timber initial density, the moisture content of sapwood, the timber dimensions (diameter and length) and the marking final density or the marking final moisture content of sapwood.
- (5) When the timber density before the treatment is not less than 700 kg/m<sup>3</sup>, the conditioning processes should be applied to the timber, after it has been seasoned to less than 700 kg/m<sup>3</sup> density.
- (6) The variable range for the density and dimensions of timbers treated simultaneously should be limited as narrow as possible. The treating period should be determined by the maximum value in the range.
- (7) The condenser should have the capacity of being able to condense 100 l/m<sup>3</sup> per hour of water collected from timbers.