

木材防腐処理法に関する研究 (10)

ベイツガ防腐処理材のスチーミング・アンド・ バキューム法による乾燥について

雨 宮 昭 二⁽¹⁾
井 上 衛⁽²⁾

1. ま え が き

木材を防腐処理する場合、ふつうは木材を乾燥してから、それに薬液を注入しなければ十分な注水量をあたえることはできない。しかし、水溶性防腐剤の薬液で処理すると、またその木材は高い含水率となるから、本来ならばその処理材をふたたび乾燥して使用しなければならない。ところが、今までの防腐工場では水溶性防腐剤で処理する対象は電柱が最も多いから、処理後はたとえ高含水率になっても、使用場所が野外であり、しかも含水率の変化による障害はほとんどないため、処理材をふたたび乾燥するということを考えたこともなく、乾燥装置を持っている工場もない。

しかし、最近のように建築用木材の委託防腐処理や、防腐処理した木材を建物の土台用材として市場に出すようになってくると、処理後の高含水率のままでは、実用上多くの障害がおきるから、当然それらを十分に乾燥して需要者に渡さねばならない。しかるに、前記したようにわが国の防腐工場には乾燥室をもっているところがないので、乾燥するとしたら天然乾燥による以外にない。それでは能率が悪いし、必要とする低含水率まで乾燥させることはできない。

そこで、生材処理法に使われているスチーミング・アンド・バキューム法¹⁾ (以下 S & V 法という)を処理材に適用して、短時間に能率的に乾燥できたならば、現有設備のみで実行できて非常に便利であろうと考えられるが、このような問題についてわが国でも、諸外国においても、まだほとんど報告が出ていない。そのため、このような材料の乾燥にこの方法が使えるか、さらに他の方法との比較において実用的価値があるかどうかを明らかにする目的で本実験を計画した。

本実験の目的から、防腐処理材としては水溶性のクロム・銅・ヒ素化合物系木材防腐剤 (CCA) で処理された高含水率の土台用ベイツガ材を使用して、その S & V 法による乾燥条件、乾燥経過、その処理条件の木材の諸性質に及ぼす影響、他の乾燥法との比較などの諸問題について検討した。ただ、この実験条件からえられた結果のみから、この方法が果たして実用的価値があるかどうか、簡単には結論は出せないが、この方法に関する諸問題について、かなり多くの資料がえられ、それをもとにしてこの方法を処理材の乾燥に適用することの可否に対するある程度の考え方をまとめることができたので、それらをあわせて報告する。

なお、本実験にあたり試験材を提供していただいた日産農林工業株式会社ならびに実験に協力していた

(1) 木材部材質改良科防腐研究室・農学博士

(2) 木材部材質改良科防腐研究室

だいた同社研究室広瀬六郎・宮城一陽・石垣淳一の諸氏と木材部応用研究室高橋武夫技官、乾燥研究室ならびに強度研究室の諸氏に対して深甚の謝意を表する。

2. スチーミング・アンド・バキューム法の処理条件の決定

試験材としては JIS K 1554 に規定する CCA 1 号を加圧処理したベイツ材で、主として $10.5 \times 10.5 \times 400$ cm の寸法の角材を使用した。加圧処理の条件は前排気 600 mm 30 分、加圧 15 kg/cm^2 108 分、後排気なしで、静止時間 2 時間というベセル法を用いた。

実験装置は直径 50 cm、長さ 600 cm の注薬缶を用い、2 か所から 2.5 cm のパイプを通して生蒸気を吹きこめるようになっている。排気の際には、缶内ならびに木材中から発生する水蒸気を、缶の中央部にある径 5 cm のパイプをへて、伝熱面積 1.8 cm^2 のコンデンサに導いて凝縮させる。

この方法の処理条件はスチーミングのときの蒸気温度あるいは蒸気圧力とその処理時間、ついでバキュームにおける排気度とその持続時間というように 4 つの条件がある。そのうち蒸気温度は、木材材質に及ぼす影響を考えるとあまり高温はさけるべきであるが、またあまり低い温度では乾燥効果が低いので、J. D. MacLEAN のスチーミング温度と時間による木材の機械的性質に及ぼす影響を明らかにした結果などを参考にして²⁾³⁾⁴⁾⁵⁾⁶⁾、比較的材質への影響の少ない温度として、蒸気圧力 1 kg/cm^2 に相当する温度約 118°C を採用した。

排気度は実際の工場などで最も多く用いている 600 mm を用いた。それゆえ、処理条件の決定といっても、この実験では蒸気温度と排気度を固定しておいて、それらの、おのおのの処理時間をどのくらいにしたらよいかをつぎに示す木材内の温度変化と木材からの脱水量などの 2 つの実験結果をもとにして決定した。

(1) 木材内の温度変化

木材内の温度測定方法は本研究の第 1 報⁷⁾と第 2 報⁸⁾で用いたものと同じように、塩化ビニールチューブでおのおのを被覆した銅・コンスタンタンの熱電対の一端を木材内に埋めこみ、合成樹脂でその孔を封鎖して抜けないようにし、他端は注薬缶内の 1 か所に集めた。このような方法で試験材の 4 か所に埋めこみ、それらの各熱電対のリード線を缶の外に取り出して自記記録計にとりつけた。その際、その線の取出し口から蒸気もれないようにある特殊な装置を工夫した。

温度測定箇所は木材内は木口面から 50 cm と 1 m の位置で、表面から 2.5 cm と 5 cm (角材の中心) の深さ、孔の位置は角材の幅の midpoint とした。

温度測定はこのように材内に埋めこんだ熱電対の一端と注薬缶内の 1 か所に集めた熱電対の他端とにより両者の温度差を求める。またもう 1 つの熱電対を用い、その一端を缶内の前記の一定箇所にあわせ、他端を注薬缶の外へ抜き出して、沸騰水の中に入れておく。この熱電対により注薬缶内の温度を 100°C との差によって求め、その缶内の温度をもとにして木材内の温度を計算するという 2 段階で木材内の温度を測定した。

木材内の温度変化は木口面から 50 cm の部分と 1 m の部分とではほとんど差がないので、Fig. 1 には表面から 2.5 cm の深さと 5 cm の深さの温度変化のみを示した。

この図のように、 1 kg/cm^2 の生蒸気を注薬缶に吹きこむと、缶内の温度は 20~30 分で蒸気温度の 118°C に達する。木材内の温度は表面から 2.5 cm の深さの点では、加熱の初期に缶内とほとんど同じように上昇するが、しばらくして 100°C をこえたと、しだいにおそくなり、さらに蒸気温度に近づくと

ますますその上昇速度はおそくなって、3時間30分でやっと蒸気温度の 118°C に達する。また深さ5cmの点では2.5cmの点に比べると一層上昇速度はおそくなり、蒸気温度の 118°C に達するには4時間を要する。

けっきょく、木材内の温度は蒸気温度に近づくとその上昇速度は急速に低下していることがわかる。これらの温度変化は、木材の熱拡散に関する各種の報告¹⁾⁷⁾⁸⁾にある法則や実験結果と同じような変化を示している。

スチーミングを4時間で打ち切って、生蒸気を缶内から抜くと、缶内も、木材内も温度が急激に低下して、5~10分という短時間でまず 100°C まで達する。大体、缶内温度が 100°C に達すると、生蒸気が吹き出さなくなるから、そのとき真空ポンプを動かして排気を開始し、発生した蒸気はすべてコンデンサで凝縮させる。

このように排気をはじめると、缶内も木材内の温度もともにさらに急激に低下して、約 70°C までに達し、その後は木材内の水分の蒸発とともに徐々に低下していく。

木材内の温度のうち表面から2.5cmの深さの点の温度は、缶内温度よりいくぶんはやく低下し、5cm深さの点ではいくぶんおそく低下する。

このような木材内の温度変化は、減圧下における木材表面からの水分蒸発と関係がありそうである。すなわち、排気を開始して缶内の排気度が高くなるにしたがって、コンデンサで凝縮される水の量も急激にふえる。このときは木材表層部分の水分と、缶内やパイプ中に凝縮していた水が同時に蒸発してくるものと考えられる。そのため、水の蒸発潜熱によって缶内も木材表面も熱をうばわれて急激に温度が低下してくる。ただ、木材の内部はその影響のあらわれるのがおそいから、温度低下もおそくなっている。また木材の表層部分が缶内温度よりわずかに速く低下しているのは、排気中の初期に缶内の水および蒸気は急激にコンデンサの方に移動して、缶内も木材表層部も同じように温度が低下するが、その後、缶内には蒸発する水分はなくなり、内部にある蒸気パイプによりある程度加熱されているので、温度低下がゆるやかとなる。ところが、木材表層部分はまださかんに水分を蒸発して熱をうばっているから、缶内温度よりわずかにその温度が低くなるのであろう。

木材内の温度が 70°C より下がって、 65°C から 60°C までの間は今までの急激な低下に比べて、かなりゆるやかに低下している。この間はコンデンサで凝縮される水分も少量となるので、木材からの水分の蒸発も少なくなっているものと考えられる。さらに排気度600mmにおける水の沸点約 62°C 付近で、温度の低下速度はさらにおそくなって、しばらくはほとんど変化なく、その後この温度以下に木材内がなると凝縮してくる水分もほとんどなくなる。

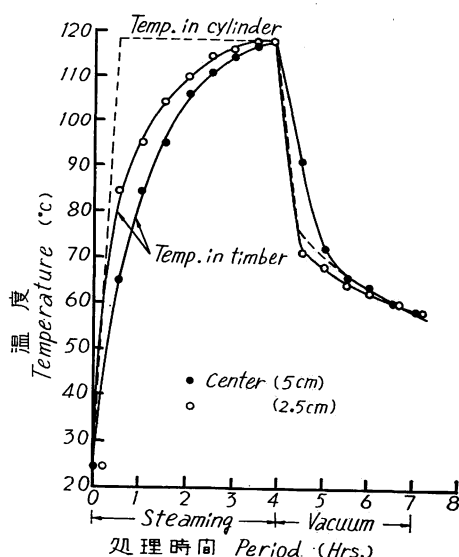


Fig. 1 スチーミング・アンド・バキューム法によるベイツガ・CCA 処理材内の温度変化
Temperature change in the treated hemlock timber ($10.5 \times 10.5 \times 400$ cm) by steaming-and-vacuum process.

けっきょく、排気を開始してから約1時間で、木材の表層は 70°C 以下となり、1時間30分で 65°C となり、水分の蒸発もぐっと減少する。2時間をすぎると 62°C 以下になって、水分の蒸発はほとんどなくなる。

以上のようなスチーミングとバキュームによる木材内の温度変化から処理条件をきめるとしたならば、つぎのようになる。

まず、スチーミング時間は木材の内部まで 100°C 以上にした方が、常圧下でも水が沸騰して脱水効率がよいと考えられるから、そのスチーミング時間を目安にすれば、2時間以上となっている。しかも、これより1時間延長しても、木材内の温度上昇はわずか 10°C で、さらに1時間延長しても $2\sim 3^{\circ}\text{C}$ しか温度上昇しないから、蒸気の消費量と温度上昇の程度などの2点を考え、さらに経済性を考えるとスチーミング時間は2時間が適当のようである。

つぎに、バキューム時間は木材内の温度変化と脱水量から考えると、最初の1時間で木材中の水分が多量に蒸発し、つぎの1時間では脱水は非常にわずかとなり、それ以上行っても、木材内の温度がそのときの排気度における水の沸点以下に低下して、水分の蒸発はほとんどなくなるから、けっきょくバキューム時間は2時間あれば十分で、それ以上長くしても大して効果がない。以上のように、この方法における処理条件として、スチーミングが2時間、バキュームが2時間という組合せが、木材内の温度変化から考えて標準とすべきであろうという結論をえた。

(2) 処理時間の組合せをかえた場合の脱水量

(1)では主として木材内の温度変化から処理時間を決定したが、その標準の処理時間が実際にも適当であるかどうかを確かめるため、スチーミング時間またはバキューム時間をそれぞれ変化させて組み合わせた場合に、実際の脱水量はどのように変化するかを検討してみた。えられた結果を示すと Table 1 のとおりである。

Table 1. スチーミング時間とバキューム時間をそれぞれ変化させた場合の
ベイツガ CCA 処理材 ($10.5 \times 10.5 \times 400\text{cm}$) からの平均脱水量
Amount of water collected from the treated hemlock timbers ($10.5 \times 10.5 \times 400\text{cm}$) during the steaming and vacuum periods varied respectively.

Steaming periods	Vacuum periods	Amount of water collected
4 hrs	3 hrs	72 kg/m ³
2	3	72
2	2	70
2	1	38
1	2	29
1	1	23

この結果によるとスチーミング時間が2時間以上、バキューム時間が2時間以上であれば、木材からの脱水量は約 $70\text{kg}/\text{cm}^3$ となってほとんど差がない。しかし、スチーミング時間が2時間で、バキューム時間が1時間の場合、またその逆の場合とはともにそのときの脱水量は約半分またはそれ以下となっている。これらのことを考えるとやはり処理時間はスチーミングが2時間、バキュームが2時間という組合せが最も適当と考えられる。

(3) 1サイクルの意味

(1)と(2)の結果はいずれも同じ結論をえた。ただ、S & V 法は1回の処理では木材の含水率を十分に低下させることができないから、この1組の処理時間を1サイクルとして、何サイクルもくり返すことによって目的の含水率まで木材を乾燥させねばならない。そこで以下の実験においては、1サイクルとはスチーミング2時間とバキューム2時間の1組の処理時間を意味し、合計で4時間を要することになる。

3. スチーミング・アンド・バキューム法による乾燥経過

試験材は 2. の実験に用いたものと同種の防腐処理材で、実験装置もすべて同じものを用いた。ここで使われている1サイクルの時間は 2. で決定されたもので、いかなる場合でも、1サイクル中の処理条件と処理時間は変化させなかった。

(1) 薬液注入量 (初期含水率) または木材の長さ と乾燥経過

この方法では、はじめから最後まで連続的に何サイクルもくり返す方法と、2サイクルつづけて、それがちょうど8時間となるのでそこで一時中止して木材を注薬缶から外へ取り出し、1晩室内に放置して翌朝またスチーミングからはじめる断続的な方法との2つの方法を用いて、木材の乾燥経過を検討した。

各方法とも、試験材としては注入量 300kg/m^3 以上、 $200\sim 300\text{kg/m}^3$ と 200kg/m^3 以下の3種類のもので、おのおののグループごとに、長さが4mのものとは2mのものとを用いた。大体注入量の多いものは初期の平均含水率が高くなっている。

これらの実験結果のうち、連続法は Fig. 2 に、断続法は Fig. 3 に示す。両者の方法の比較をすると図からもわかるように、含水率の低下曲線はほとんど同じような傾向を示しており、乾燥速度は大して差がないことがわかった。

またいずれの方法においても、注入量や木材の長さに関係なく、最初の2サイクルにおける含水率の低

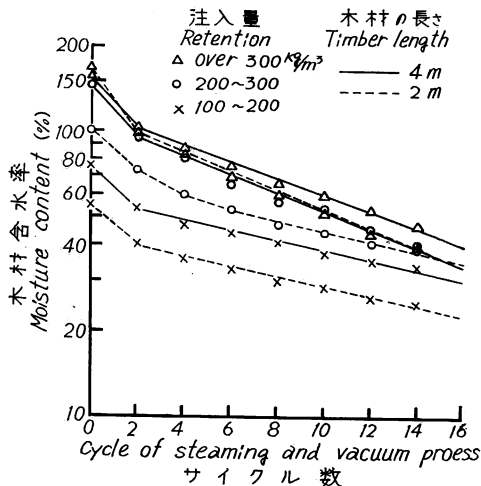


Fig. 2 連続スチーミング・アンド・バキューム法によるベイツガ CCA 処理材の含水率変化

Change of moisture contents in the treated hemlock timbers ($10.5 \times 10.5 \times 400$ or 200cm) by steaming-and-vacuum process (continuous).

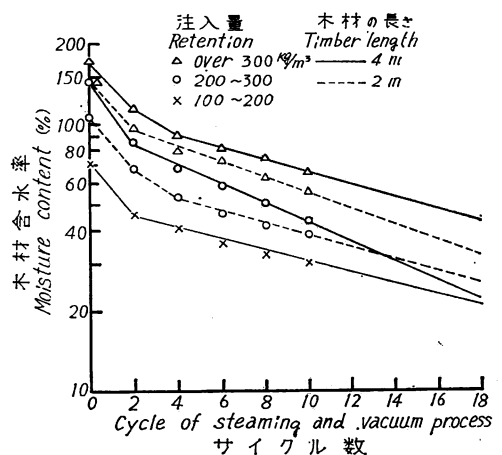


Fig. 3 断続スチーミング・アンド・バキューム法によるベイツガ CCA 処理材の含水率変化

Change of moisture contents in the treated hemlock timbers ($10.5 \times 10.5 \times 400$ or 200cm) by steaming-and-vacuum process (intermittent).

下は非常に大きく、その後の傾斜とは異なった変化を示している。2 サイクル以後はいずれの図においてもほとんど直線的に含水率が低下しており、しかも注入量や木材の長さに関係なくほとんど同じ傾斜で低下している。それゆえ、この直線を延長してみると、初期含水率が 100 % 以上の材はその含水率を 30 % 以下まで乾燥させるためには、18 サイクル以上必要であろうと推定される。

(2) 乾燥速度

Fig. 2 と Fig. 3 は縦軸が対数で横軸が自然数であるから、いずれの場合も 2 サイクル以後の木材含水率の変化が直線的であるということは、単純に考えれば次式が成立することを示す。

$$\log u = -kc + a \dots\dots\dots (1)$$

u : c サイクルのときの木材含水率 k, a : 常数 c : サイクル数

(1) 式を c で微分すると

$$\frac{du}{dc} = -ku \dots\dots\dots (2)$$

(1) 式と (2) 式については、木材乾燥において乾燥経過を示すときにふつう用いられている式としては

$$(1) \text{ 式は } \log(u - u_e) = \log(u_a - u_e) - k'c \dots\dots\dots (1')$$

$$(2) \text{ 式は } \frac{du}{dc} = -k'(u - u_e) \dots\dots\dots (2')$$

u_a : 初期含水率, u_e : 平衡含水率

として表わされる。この方法における u_e の値は決定しがたいが、(2') 式から、この方法による 1 サイクルごとの乾燥速度は、そのときの木材の含水率からこの処理法における平衡含水率に相当する値を引いたものとはほぼ比例すると考えられる。

実験結果より木材の各含水率における 1 サイクルの乾燥速度を示せば Fig. 4 の各点のようになる。この図をみると含水率が 100 % 以上になると乾燥速度は大きく変動しているが、100 % 以下ではかなり狭い

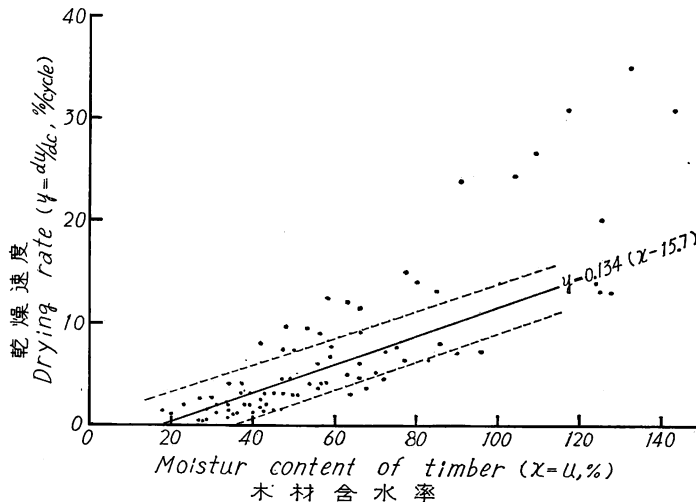


Fig. 4 スチーミング・アンド・バキューム法によるベイツガ CCA 処理材の含水率と乾燥速度との関係
Relation of drying rate and moisture content in the treated hemlock timbers (10.5×10.5×400cm) by steaming-and-vacuum process.

範囲にまともってきているので、この含水率までの間で両者の関係を検討してみると、1%以下の有意水準において両者の間には相関関係が存在することが明らかとなった。そこで、両者の関係を示す実験式を求めてみると次式のようになる。

$$y = 0.134x - 2.1 \dots \dots \dots (3)$$

x : 木材含水率 u , y : 乾燥速度 du/dc

$$y = 0.134(x - 15.7) \dots \dots \dots (3')$$

この実験式における x に対する y の変動の幅を計算してみると ± 2.5 である。これらの関係は Fig. 4 において実線が (3) 式、破線が変動の幅を示している。(3') 式から $y=0$ となる x の値は 15.7 となり、この関係から乾燥速度が 0 となるのは木材含水率で 15.7%に相当する。これは (2') 式の u_e に相当する。ただし、この場合 u_e は平衡含水率という意味でなく、この乾燥法で乾燥できる計算上の最低含水率という意味となる。けっきょく S & V 法では木材含水率が 30%以下になると乾燥速度は非常に小さくなっていくか、ほとんど 0 に近くなるので、この含水率以下まで乾燥させるのにこの方法を用いることはあまり適当でないように考えられる。

(3) 薬液注入量と乾燥量との関係

処理材の乾燥を考える場合、もしその材が処理前に十分乾燥してある木材を使用していると仮定するならば、処理後に高い含水率の木材になるのは、防腐剤の水溶液が注入されたためであると考えられる。それゆえ、その処理材を処理前の含水率まで乾燥するということは薬液の注入量だけ取り去ればよいことになる。そこでこの実験結果を各サイクルごとに乾燥されて減少した量と注入量との比率を%で表わしてみた。その結果を Table 2 と 3 に示す。

その結果によると一般的な傾向としては、注入量が 300kg/m^3 以下では 4 サイクルで注入量の 80~90

Table 2. ベイツガ CCA 処理材 ($10.5 \times 10.5 \times 400\text{cm}$) の連続スチーミング・

アンド・バキューム法による脱水量と注入量との割合

Ratio of water collected from the treated hemlock timbers during each cycle of continuous steaming-and-vacuum process and the preservative retention.

No.	木 材 含 水 率% Moisture content		注 入 量 kg/m³ Retention	脱水量/注入量 Water collected/Retention %							
	処 理 前 Before treating	処 理 後 After treating		サイクル数 Cycles							
				0*	2	4	6	8	10	12	14
16	26	159	431	3.7	41	52	62	69	73	79	80
17	21	168	477	1.9	49	58	67	73	79	85	88
9	28	98	271	0.8	37	55	65	71	76	81	85
12	58	140	266	13.3	73	91	106	116	119	129	136
18	24	62	159	5.6	60	78	95	107	112	121	126
15	26	60	154	4.3	43	55	63	75	78	81	81
11	41	79	134	6.6	65	85	91	101	111	116	116
1	38	70	133	15.2	69	86	106	120	123	130	134

* 0 サイクルの値はスチーミング・アンド・バキューム法を開始するときまでに処理材が処理直後から乾燥した量に対する比率を示す。

The values on 0 cycle indicate the ratio against drying amount on the treated timbers until the start of this process after treating.

Table 3. ベイツガ CCA 処理材 (10.5×10.5×400cm) の断続スチーミング・

アンド・バキューム法による脱水量と注入量との割合

Ratio of water collected from the treated hemlock timbers during each cycle of intermitted steaming-and-vacuum process and the preservative retention.

No.	木 材 含 水 率% Moisture content		注 入 量 Retention kg/m³	脱水量/注入量% Water collected/Retention					
	処 理 前 Before treating	処 理 後 After treating		サイクル数 Cycles					
				0*	2	4	6	8	10
13	50	180	394	3.8	52	68	75	81	87
19	48	144	330	7.6	49	64	69	77	84
3	76	161	255	13.7	87	109	119	128	137
10	68	123	208	12.5	70	92	104	112	115
2	41	73	130	3.5	82	103	113	120	134
6	41	78	116	10.6	102	128	145	162	171
8	37	65	123	7.3	74	87	101	110	118
20	27	50	100	0	72	86	104	109	118

* 0 サイクルの値はスチーミング・アンド・バキューム法を開始するときまでに処理材が処理直後から乾燥した量に対する比率を示す。

The values on 0 cycle indicate the ratio against drying amount on the treated timbers untill the start of this process after treating.

%が取り去られ、6～8サイクルではほとんどその 100 %が取り去られている。しかし、注入量が 300 kg/m³ 以上のものは4サイクルで注入量の 50～60%，その後は大して増加せず 14 サイクルでも 80～90%であって、サイクル数が多くなっても完全に注入量分だけ取り去ることはこの方法では困難のようである。

防腐処理材は含水率が高くとも、外部から強制的に水分を圧入するのであるから、その材の水分分布は比較的表層に多量の水分があって、内部は比較的水分が少ないという状態のことが多い。それゆえ、注入量が 300kg/m³ 以下の場合には内部深くまで薬液が浸透していないため、比較的短いサイクルでかなりの水分が取り去られてしまうのである。しかし、注入量が 300kg/m³ 以上となるとほとんどその材の内部まで完全に薬液が浸透していて、内部の水分はそう簡単には取り去られないから、長いサイクルをくり返しても注入量全部がなかなか脱水されないのである。

また、これらの表から大体4サイクルまでに注入量の大部分を取り去るかどうかによって、処理前の状態まで乾燥させられるか、どうかが決定的になってしまうようである。それゆえ、このときまでに注入量の 80 %以上を取り去ることができなかったならば、その後サイクル数を多くしても効率のよい乾燥は期待できないものと考えられ、あるいは処理前の含水率が高く、内部の水分が多い材の場合、たとえ注入量に相当する水分を短いサイクル数で取り去っても、平均含水率はそれほど低くならない場合も起こりうる。

4. 処理材の初期含水率分布と仕上り含水率分布

長さ4 m の処理材を半分に切断し、一方の2 m の材を木口面から 20, 50, 100cm の3か所で切断して、約1 cm 厚さの盤を切りとり、表面から1 cm, 1～2 cm, 2～3 cmと3 cm から中心までの4部分

に分けて、それぞれの含水率を測定して、他の残りの2m材の初期含水率分布を推定した。この2m材はS & V法で乾燥された後、乾燥前に切断した材と同じ位置の部分で切断して、同様に4部分に分け、含水率を測定して仕上り含水率の分布を求めた。

Fig. 5 には木口面から1mの部分の初期含水率分布と仕上り含水率分布の一例を示す。No. 15とNo. 17は14サイクル後、No. 6とNo. 19は10サイクル後の結果である。No. 15と6は注入量が少なく、初期含水率の低い材の一例であり、No. 17と19は注入量が多く、初期含水率の高い一例である。

初期平均含水率 (Initial av. m. c.) の低い場合の仕上り含水率の分布は表面から1cmの部分で18~20%で、それより内部はほとんど同じで25~30%となっている。初期含水率の高い場合はまだ乾燥が不十分のため、仕上り平均含水率 (Final av. m. c.) もまだ約40%である。それゆえ、表面から1cmの部分のみ20~30%で、それより内部はまだ40~70%となっている。

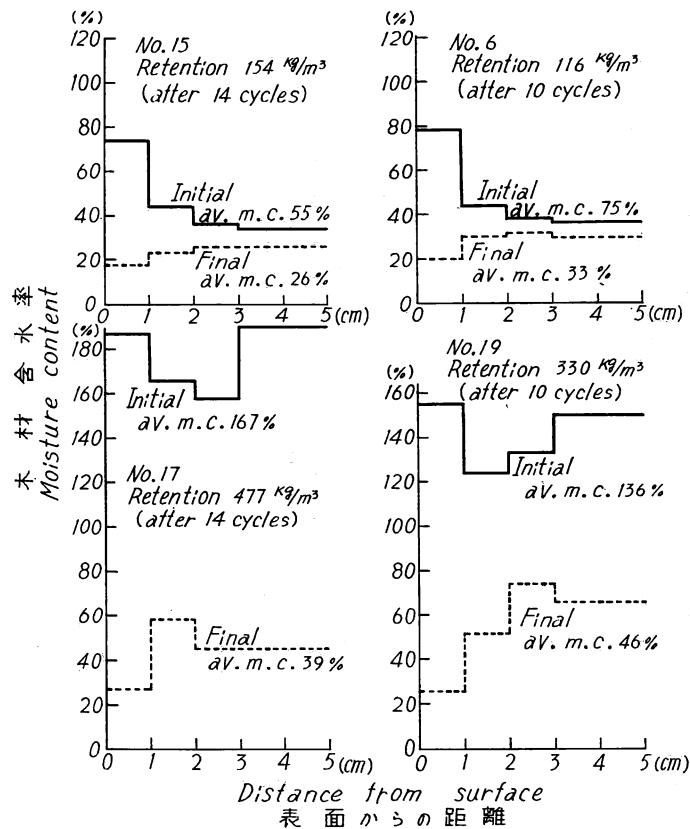


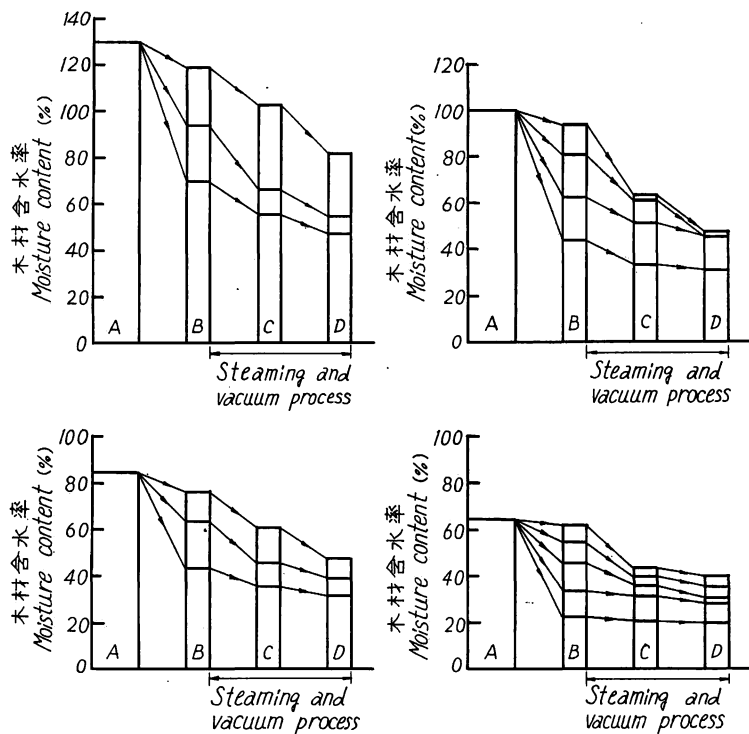
Fig. 5 スチーミング・アンド・バキューム法によるベイツガ CCA 処理材の中央部分における初期含水率と仕上り含水率の表面から中心までの分布

Distribution of moisture contents from surface to center in the treated hemlock timbers ($10.5 \times 10.5 \times 200 \text{ cm}$) by steaming-and-vacuum process.

いずれの場合でも、表面から 1 cm の部分は 20～25% の含水率を示しているということは、この方法ではいかにサイクル数を多くしても、乾燥される限界が (3') の実験式からは約 16%，実験結果からではこの含水率付近にあるのではないかと推定される。また、No. 15 と No. 6 のように十分に乾燥されて仕上り平均含水率が 26% または 33% のとき、その材内における表面から内部までの含水率の傾斜は非常にゆるやかである。

5. 天然乾燥とスチーミング・アンド・バキューム法を併用した場合の乾燥経過

ここでは S & V 法を適用する前に処理材を種々の期間天然乾燥して、同一初期含水率から数種の含水率まで低下させておいて、それから S & V 法を 4 サイクル行なったときの含水率の変化を求めてみた。この場合、4 サイクルで打ち切ったのは、この程度くり返せば 3. で示めたように大体の傾向は判断できるし、このサイクル以上の変化はいずれの場合も大体類似しているからである。



A : 初期含水率 Initial moisture content. B : 天然乾燥後の含水率 Moisture content after air seasoning. C : 2 サイクル後の含水率 Moisture content after 2 cycles. D : 4 サイクル後の含水率 Moisture content after 4 cycles.

Fig. 6 天然乾燥とスチーミング・アンド・バキューム法とを組み合わせた場合のベイツガ CCA 処理材の含水率変化

Change of moisture contents in the treated hemlock timbers (10.5 × 10.5 × 400 cm) dried by air seasoning and steaming-and-vacuum process.

Fig. 6 に、4 種類の初期含水率 A から天然乾燥によって B のように種々の含水率まで低下させた後、S & V 法を 4 サイクル適用した場合の含水率変化を示す。

その結果によれば、同一の初期含水率から、天然乾燥によりわずかしき含水率が低下しない材でも、かなり低い含水率まで乾燥した材でも、S & V 法の 4 サイクル後の含水率は、多少の例外はあるが、いずれの場合でもほとんど類似の含水率に集まっていた、天然乾燥後の含水率の高低とはあまり関係のないような結果がえられた。けっきょく、天然乾燥期間が短くて初期含水率からの低下の少ない材では、各サイクルごとの含水率の低下はいちじるしく、逆に天然乾燥期間が長くて初期含水率からの低下のいちじるしい材では、各サイクルごとの含水率の低下は少なく、最後は前者と後者は大体類似の含水率に集中してくる。

以上は含水率の変化から両者の併用の結果を示したが、乾燥量と注入量の比率からみても大体同じような結果を示した。すなわち、注入量別に分けて、それぞれそれらのグループを注入量の 10~90% の範囲で各種の含水率まで天然乾燥させた後、S & V 法を 4 サイクル行なって、その全乾燥量を注入量との比で表わすと、注入量 $300\sim400\text{kg/m}^3$ のものは $77\%\pm10\%$ 、 $200\sim300\text{kg/m}^3$ では $83\%\pm11\%$ 、 $100\sim200\text{kg/m}^3$ では $94\%\pm18\%$ となっている。各注入量のグループごとにみれば、天然乾燥した重量の注入量に対する比率が小さいものは、S & V 法による乾燥量は大きく、前者の値が大きいものは後者の値は小さくなり、両者の合計の値はいずれのグループでも比較的狭い範囲に集まってくる。

これらの結果から、処理後ただちに S & V 法で乾燥しても、ある期間天然乾燥を行なって後、S & V 法で乾燥しても、乾燥時間に大きな差は生じないということになり、2つの方法をこのような順序に組み合わせても、乾燥時間の短縮という点ではあまり効果が認められない。このような組み合わせよりも、むしろ処理後ただちに S & V 法を 4 サイクル程度行なって、十分に含水率を低くさせた後、天然乾燥を行なった方が経済的かもしれない。

6. スチーミング・アンド・バキューム法の木材材質におよぼす影響

この方法で処理材を乾燥するには、かなり多くのサイクルをくり返さねばならないから、各サイクルのスチーミング時間を合計すると非常に長時間 118°C という高温度に処理材はさらされていることになる。そのためこの方法によって乾燥された木材は、その材質に何らかの影響をあたえる可能性が大きい。そのうち実用的に重要な意味をもっている以下の 3 点について検討してみた。

(1) 処理材中の薬剤の変化

この内容には、スチーミングを長時間うけた処理材中の防腐剤の各種成分が変質していないかということと、注薬缶内で凝縮した水で木材の表面が洗われ、防腐剤が材外へ溶脱して、木材中の薬剤量が減少しないかという 2つの問題がある。

前者の問題はこの処理材に注入されている CCA 防腐剤の各成分はいずれも無機化合物であって、 118°C の温度で分解するようなものではないので、ほとんど変化はないものと考えられる。

後者の問題はこの方法としてはさけられないので、 $3\times3\times50\text{cm}$ のベイツガ処理材を 1 つは天然乾燥し、他は S & V 法により乾燥した場合に、両者の材中における CCA 防腐剤の各成分の含有量を定量したところ、ほとんど差が認められないので、たとえ溶脱があったとしても表面のみであって木材内部まではほとんど影響ないものと考えられる。

けっきょく、S & V 法による処理材中の薬剤の変化は質的にも、量的にも大してないものと考えられる。

ただ、薬剤の変質とは関係がないかもしれないが、ベイツガの CCA 処理材でもフェノール類無機フッ化物系防腐剤 (PF) で処理された材でも、この方法で乾燥した後の木材の表面の色はいずれも褐色をおびており、天然乾燥した場合とはかなり異なった色を呈する。その原因については明らかでないが、2つの異なる薬剤で処理された木材が同じような色を呈するのは、ベイツガ材がスチーミングされたとき、木材中の樹脂が表面に吹き出し、それが化学変化してそのような色を呈するのではないかと考えられる。

(2) ひわれと狂い

この方法はスチーミング後、排気することにより急速に乾燥を行なうから、大きなまたは多数のひわれが出たり、大きな狂いが生じるのではないかと心配された。

そこで、試験材はすべて防腐処理する前の乾燥された素材のときに、表面にあらわれていたひわれの全部を黒くマークして、各ひわれの幅と長さとその全数をしらべておいた。

このような試験材を S & V 法で乾燥した後に、ひわれの幅、長さ、全数をしらべたところ、多少幅が広くなったり、長さがのびたひわれがあったが、大部分のものは素材のときのひわれと変化がなかった。また狂いについてもほとんど問題にするほどのことはなかった。

(3) 機械的性質

木材の機械的性質は、加熱により非常に大きな影響をうけるということは一般的に知られている事実である。とくにスチーミングによる影響は、その温度と加熱時間によって非常に大きく変化するが、いずれの場合でも、木材の機械的性質をいちじるしく低下させるものであると J. D. MacLEAN など³⁾により報告されている。

それゆえ、S & V 法で多くのサイクルをくり返すことにより、木材の機械的性質の低下は避けられないものと考えられる。しかし、それが実用上支障があるほど低下するものであるか、どうかを曲げならびに圧縮強度について検討してみた。

試験片の調整方法は、まずできるだけ無節で繊維走向の通直な数本の土台用ベイツガ角材から、 $3.5 \times 3.5 \times 160$ cm の寸法の小角材を 5～6 本ずつとり、これらの角材を A と B の 2 つのグループに分け、おのおのの小角材ごとに No. を付け、さらにそれらを 3 等分して、そのおのおのに -1, -2, -3 と No. をつけた。No. -1 と No. -2 のグループは加圧式処理法により CCA 防腐剤が注入され、No. -3 のグループは素材のままとした。この 3 本の試験片を 1 組とし、その No. -1 のグループは S & V 法で 4 サイクル (A-1 グループ) または 10 サイクル (B-1 グループ) の 2 種類で乾燥され、No. -2 と No. -3 のグループは室内において、そのまま乾燥した。

けっきょく、No. -1 のグループは CCA 処理後 S & V 法で乾燥した場合、No. -2 グループは処理後天然乾燥した場合の 2 つの異なる状態で乾燥された処理材が、材質的にどのように変化しているかを No. -3 のグループの素材すなわち無処理材の値との比較によって検討してみた。

強度試験法は JIS Z に規定されている方法により、まず静的曲げ強度 (JIS Z 2113) を測定し、その後、試験片の両端部の無破壊部分から圧縮用の試験片をきりとり縦圧縮強度 (JIS Z 2111) を測定した。この実験に使用した各グループごとの全乾比重と防腐剤薬液の吸収量は Table 4 のとおりである。圧縮試験の結果は Table 5 に、静的曲げ試験の結果は Table 7 に、それぞれの試験結果の無処理材の値に対す

Table 4. 強度試験用ベイツ材の全乾比重と注入量

Specific gravity in oven-dry and CCA retention of the hemlock pieces for strength tests.

全乾比重 Specific gravity in oven-dry.

No.	圧縮試験用 Compression					曲げ試験用 Bending				
	n	Max.	Av.	Min.	± s	n	Max.	Av.	Min.	± s
A-1	13	0.537	0.453	0.392	0.054	13	0.535	0.461	0.399	0.053
A-2	16	0.546	0.442	0.391	0.053	16	0.526	0.451	0.393	0.050
A-3	16	0.532	0.448	0.388	0.048	16	0.529	0.456	0.398	0.047
B-1	11	0.528	0.441	0.379	0.039	12	0.506	0.451	0.385	0.038
B-2	13	0.461	0.431	0.380	0.028	13	0.491	0.435	0.380	0.031
B-3	13	0.480	0.436	0.389	0.031	13	0.480	0.439	0.382	0.029

防腐剤注入量 Retention kg/m³

No.	Max.	Av.	Min.
A-1	518	334	188
A-2	502	340	188
B-1	571	447	335
B-2	629	561	367

る各処理材の値の百分率をそれぞれ Table 6 と 8 に示す。

Table 5 と Table 7 において、求められた結果の絶対値を左側に示すが、これらの値は各試験片の比重 (R_0) によりかなり変動するので、比重の影響を補正する意味で、これらの値を比重でわった値を右側に示す。この値をつかって、No. -1 と No. -3, No. -2 と No. -3 のそれぞれ 2 つのグループの、おのこの平均値の間に有意な差があるかどうかを t-検定法により検討した。すなわち、前者は処理後 S & V 法で乾燥したものと素材との間、後者は処理後天然乾燥したものと素材との間の差の検定である。

その結果、圧縮試験では Table 5 に示すように、破壊強さでは A-1 と B-1 の各グループともに素材に対して 1% の有意水準において有意差が認められたが、A-2 と B-2 の各グループは有意差が認められなかった。

圧縮ヤング係数の場合も Table 5 に示すとおりである。

Table 6 では 3 個の 1 組の試験片の No. -1/No. -3 と No. -2/No. -3 の比率を個々に求め、それらの平均値 (Av.), 最大値 (Max.), 最小値 (Min.), 標準偏差 (± s) を示す。その結果は Table 5 で有意差のあったグループはやはり大きく減少しており、また、ヤング係数は絶対値においては有意差のなかった B のグループでも、この比率では B-1/B-3 では平均値で 95%, 最小値では 68% でかなり低下しているものもある。

静的曲げ試験の結果は Table 7 に示してあるが、曲げ強さでは A-1, B-1, B-2 のおのこのと素材の曲げ強さ、すなわち A-3 または B-3 のグループとの間に有意な差が認められた。曲げヤング係数では A-1 と B-1 のグループがそれぞれ -3 のグループとの間に有意差が認められた。Table 8 では、Table 6 と同じような値を曲げ試験の結果から求めて示した。その結果はやはり Table 7 で有意差のあったものは大きく減少しており、とくに B-1 グループはかなり小さい値となっている。

Table 5. ベイツガ CCA⁽¹⁾ 処理材の縦圧縮強度
 Compression-parallel-to-grain of hemlock treated with CCA⁽¹⁾.

No. ⁽²⁾	n	圧縮強さ σ_c kg/cm ² Crushing strength				σ_c/R_0 (specific gravity)				t-test ⁽³⁾
		Max.	Av.	Min.	$\pm s$	Max.	Av.	Min.	$\pm s$	
A-1	13	563	453	378	63	1,097	998	917	49	**
A-2	16	578	462	385	63	1,200	1,037	956	38	
A-3	15	567	470	385	54	1,114	1,062	948	43	
B-1	11	454	389	330	38	1,045	888	646	107	**
B-2	13	491	427	358	36	1,068	991	925	42	
B-3	13	526	452	381	46	1,115	1,017	953	53	
No. ⁽²⁾	n	圧縮ヤング係数 E_c ton/cm ² Young's modulus in compression				E_c/R_0				t-test ⁽³⁾
		Max.	Av.	Min.	$\pm s$	Max.	Av.	Min.	$\pm s$	
A-1	13	168	137	110	62	354	295	205	42	*
A-2	16	200	143	105	21	370	322	273	34	
A-3	15	207	146	115	26	389	330	284	41	
B-1	12	200	129	59	35	460	298	111	89	
B-2	13	189	142	103	21	428	320	239	55	
B-3	13	189	145	115	19	450	332	262	43	

(1) JIS K 1554 クロム-銅-ヒ素化合物系木材防腐剤 1 号 Cr-Cu-As type wood preservative.

(2) A-1 } 処理後 S & V 法で乾燥した材 Pieces dried by S & V process after treated.

B-2 } A : 4 cycles B : 10 cycles.

A-2 } 処理後天然乾燥した材 Air seasoning pieces after treated.

B-2 } 処理後天然乾燥した材 Air seasoning pieces after treated.

A-3 } 無処理天然乾燥材 Air seasoning untreated pieces.

B-3 } 無処理天然乾燥材 Air seasoning untreated pieces.

(3) A-3 または B-3 と他のグループとの平均値の差の検定

T-test of difference between A-3 or B-3 and other group.

* : 5 % ** : 1 %

Table 6. 縦圧縮における無処理材に対する処理材の値の比率
 Ratio of treated pieces to untreated pieces in
 compression-parallel-to-grain.

Group ⁽¹⁾	比 率 Ratio	圧 縮 強 さ % Crushing strength				ヤ ン グ 係 数 % YOUNG's modulus			
		Max.	Av. ⁽²⁾	Min.	$\pm s$	Max.	Av. ⁽²⁾	Min.	$\pm s$
A	A-1/A-3	106	96**	82	6.5	115	95*	81	13.9
	A-2/A-3	126	99	86	9.3	117	98	80	10.7
B	B-1/B-3	106	91**	77	9.4	114	95	68	14.1
	B-2/B-3	101	96	86	8.2	144	99	81	17.1

(1) Table 5 と同じ。The same as the groups shown in Table 5.

(2) Table 5 において有意差が認められたものに * 印を付ける。

That which the significant difference is recognized in Table 5 is marked with *

Table 7. ベイツガ CCA⁽¹⁾ 処理材の静的曲げ
Static bending of the hemlock treated with CCA⁽¹⁾.

No. ⁽²⁾	n	曲 げ 強 さ σ_b kg/cm ² Modulus of rupture				σ_b/R_0 (Specific gravity)				t-test ⁽³⁾
		Max.	Av.	Min.	$\pm s$	Max.	Av.	Min.	$\pm s$	
A-1	13	1,014	843	686	128	2,074	1,824	1,662	129	*
A-2	16	1,092	866	676	140	2,088	1,913	1,720	108	
A-3	16	1,220	909	650	160	2,383	1,982	1,617	178	
B-1	12	815	656	556	91	1,804	1,465	1,099	109	***
B-2	13	964	756	629	88	1,963	1,737	1,594	112	**
B-3	13	950	823	676	83	2,117	1,872	1,683	125	
No. ⁽²⁾	n	曲げヤング係数 E_b ton/cm ² Young's modulus in static bending				E_b/R_0				
		Max.	Av.	Min.	$\pm s$	Max.	Av.	Min.	$\pm s$	
A-1	13	147	114	82	21	284	232	207	85	**
A-2	16	200	143	105	13	293	254	199	20	
A-3	16	162	120	96	20	316	261	235	22	
B-1	12	109	88	60	15	260	198	119	43	*
B-2	13	179	141	103	19	264	234	214	15	
B-3	13	123	105	89	10	268	237	212	13	

(1) JIS K 1554 クロム-銅-ヒ素化合物系木材防腐剤 1 号

Cr-Cu-As type wood preservative.

(2) Table 5 と同じ。The same as the groups shown in Table 5.

(3) Table 5 と同じ。

*: 5 %, ** 1 %, *** 0.1 % level of significant difference.

Table 8. 静的曲げにおける無処理材に対する処理材の値の比率

Ratio of treated pieces to untreated pieces in static bending.

Group ⁽¹⁾	比 率 Ratio	曲 げ 強 さ % Modulus of rupture				ヤング係数 % Young's modulus			
		Max.	Av. ⁽²⁾	Min.	$\pm s$	Max.	Av. ⁽²⁾	Min.	$\pm s$
A	A-1/A-3	108	92*	75	7.9	107	94**	73	8.9
	A-2/A-3	104	95	81	5.9	105	96	83	5.8
B	B-1/B-3	107	82***	67	8.6	103	88*	59	13.1
	B-2/B-3	104	94**	80	7.5	107	98	91	5.1

(1) Table 5 と同じ。The same as the groups shown in Table 5.

(2) Table 7 において有意差が認められたものに * 印を付ける。

That which the significant difference recognized in Table 7 is marked with*.

以上の結果をみると、処理後天然乾燥した材は無処理材を基準にした場合、その比率の最小値をみると、全く強度を低下させないということではないが、両者の平均値の間にはほとんど有意差が認められないから、多少薬剤による影響があるとしても、それは実用上問題とはならないであろう。けっきょく、CCA という防腐剤はかなり多量を木材に注入しても、ゆるやかな条件で乾燥すれば薬剤により木材の強

度を大きく低下させるという心配はほとんどないものと考えられる。ただ、W. S. THOMPSON⁹⁾の実験結果によると、この系統の薬剤は木材に対して全然影響をあたえないというのではなくて、木材の組成成分に対して化学的に影響をあたえ、また高い温度で加熱されると、その影響はさらに大きくなるであろうと述べている。

処理後 S & V 法で乾燥した材のうち、A-1 グループは 4 サイクルであるから 8 時間のスチーミングを、B-1 グループは 10 サイクルで 20 時間のスチーミングをうけたことになる。そのため、無処理材でもこれだけ長い時間スチーミングされれば、強度低下をきたすことは J. D. MacLEAN⁹⁾ も報告しているが、まして CCA という薬剤が注入されているため、その影響も加わって、Table 6 と 8 の比率のような低下を示したものと考えられる。ただ、大部分の平均値が 5~10%の低下であるから、ベイツ材の強度の絶対値を考えれば、この程度の低下は必ずしも土台などの材料として実用できないというほどではない。しかし、最小値がかなり小さく出ているものもあるから、その点を考えるとやはり 20 時間のスチーミングはあまり好ましい条件ではない。

以上のように S & V 法により乾燥された材について、上記の 3 点について検討した結果を総合判断すると、機械的性質に対する影響以外は問題とするに足りないが、この点についても、その低下は約 10 % 前後であるから、けっきょく、S & V 法の処理材の性質におよぼす影響は一般的には実用上支障をきたすものはないと結論できる。

7. 他の乾燥法との比較

6. までは防腐処理材の S & V 法に関する各種の資料についてまとめたが、この方法が実用的価値があるか、どうかを検討するためには、他の乾燥法すなわち天然乾燥法と乾燥室による乾燥法との 2 つの方法とを比較することによって、ある程度判断することができる。そこで、同じようなベイツ防腐処理材を用いて、これら他の 2 つの方法によって乾燥を行なった場合の資料を示し、それと S & V 法とを比較することにする。

(1) 天然乾燥法による乾燥経過

試験材は S & V 法に用いた材料と同じベイツ防腐処理材を 60 本用い、日産農林工業株式会社越中島工場のトタンぶきの乾燥小屋において、天然乾燥が実行された。試験材の積み方は木口面を東西に向け 6 本ずつ 10 段に棧積みした。棧木は約 3 cm 角のものをを用い、各段ごとに 2 本ずつ置いた。重量測定は最初の 2 週間は 1 日おきに、その後は適当な間隔をおいて行なった。各試験材は重量測定後もつねに同じ位置にもどされて、棧積みの位置は各材とも最後まで変わらないようにした。

試験材は処理前の重量で、重いものと軽いものと 2 つのグループに分け、さらにこれらの各グループごとに注入力 100~200kg/m³、200~300kg/m³、300~400kg/m³ の 3 つのグループに分け、各段に各グループの材が均等に配分されるように配置した。

実験結果によると処理前の重量の大小や、棧積の位置はほとんど乾燥速度に影響をあたえていないことが明らかになったので、Fig. 7 では注入力別のみの天然乾燥による含水率変化の一例を示す。この実験に使用された材の平均全乾容積重は約 435kg/m³ であったので、他の乾燥法との比較において便利のために図の縦軸に容積重とそれを上記の全乾容積重から換算した木材含水率で示す。ただし、この場合、個々の容積重の時間的变化を注入力別のグループごとに平均して、図に示したから、多少実際の含水率とのくい

ちがいがあってもやむをえない。

Fig. 7 の乾燥経過をみると、注入量の多いものは初期容積重すなわち初期含水率も高くなっているが、最初から約1週間までの乾燥速度は各注入量ともほとんど同じように大きくて、含水率の低下は急激である。しかし、吸収量の少ない100～200kg/m³のグループは10日以後含水率の低下はゆるやかになっており、吸収量がそれ以上のものは30日まで比較的急激に含水率が低下している。そのときこれらのグループの

含水率はしだいに100～200kg/m³の吸収量のグループの含水率に接近してきて、20～30%の含水率の範囲にはいつてくる。このとき以後はどのグループの含水率の低下も緩慢となり、その後約40日経過してもわずかしき含水率が低下しなくなる。

これらの容積重または含水率の低下曲線は、S & V法におけるサイクルに対する含水率の低下曲線とほぼ同じような傾向を示しており、大体指数曲線に類似した曲線のようなものである。

天然乾燥用の試験材の処理前の含水率は、容積重の重いグループは30～40%，その軽いグループは20～30%であった。これらの木材に水溶性の防腐剤を注入したために、処理後の含水率は注入量の多いものは約100%，少ないものでは約60%となっている。

3. (3) で記したような考え方でみれば、これらの含水率の増加分は薬液を注入したために起こったものと考えられるから、天然乾燥によってはじめの時期に含水率が低下していくということは、まずその大部分は注入された水分が蒸発して、その水分が全部蒸発したときはじめて処理前の含水率になり、それが十分低い含水率であれば、乾燥を完了したと考えてよいかもしれない。

天然乾燥における含水率の時間的変化の資料を用い、乾燥量と注入量との割合を求め、Fig. 8 の縦軸のような値で示す。この値ははじめの注入量を100とした場合、時間の経過に対して薬液の木材中における残存割合を示している。なお、その値で負の値は注入

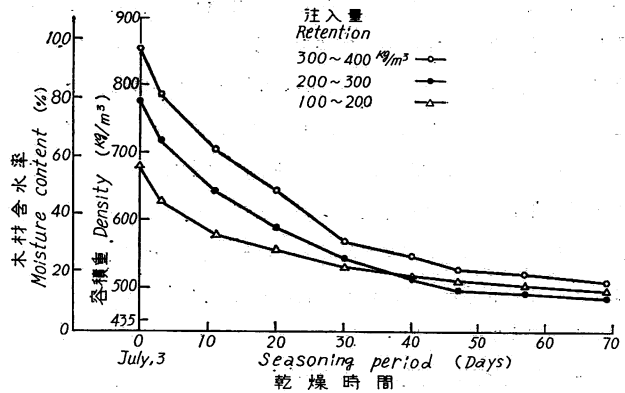


Fig. 7 天然乾燥によるベイツガ CCA 処理材の乾燥経過
Change of moisture contents in the treated hemlock timbers (10.5×10.5×400cm) by air seasoning.

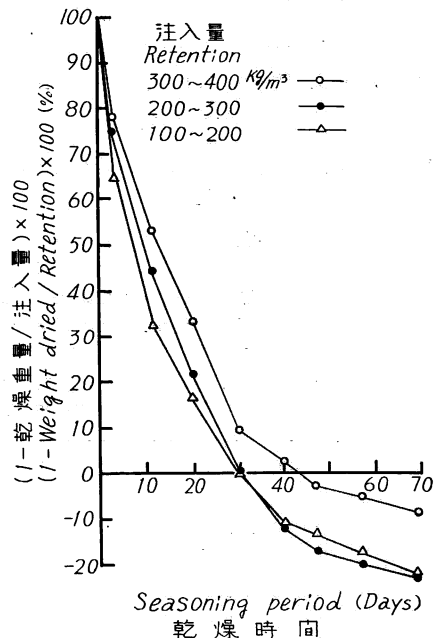


Fig. 8 天然乾燥におけるベイツガ CCA 処理材の乾燥量と注入量との割合の変化
Change of ratio between weight dried and preservatives retention in the treated hemlock timbers by air seasoning.

された薬液中の水分はすべて蒸発して、処理前の含有水分が蒸発していることで、含水率も処理前より低下していることを示す。この経過をみると、注入量が $300\sim 400\text{kg/m}^3$ のものは注入された水分が完全に蒸発するのが $40\sim 45$ 日、 $100\sim 200\text{kg/m}^3$ と $200\sim 300\text{kg/m}^3$ の2つのグループは約 30 日となっている。この時期は Fig. 7 をみれば処理前の含水率に一致している。

これらのことから考えて、もし処理前に十分乾燥されておれば、注入量に相当する水分が完全に蒸発したとき乾燥が完了したと考えてよいことになり、それがこの実験では $30\sim 40$ 日ということになる。この場合、処理前含水率が $30\sim 40\%$ のグループも、 $20\sim 30\%$ のグループも、ともに注入量分が蒸発する時間はほとんど同じであって、処理前含水率とは関係がないようである。ただ、この時間は注入量の多いものは長く、注入量の少ないものは短いというように、注入量の大小と関係があるようである。

以上のように天然乾燥の1つの例を示したが、この実験が行なわれた時期は7～9月という最も乾燥条件のよい時期であるから、このように比較的効率のよい乾燥経過を示しているが、秋から冬期になると乾燥速度は約 $1/2$ になる¹⁰⁾可能性があるから、この結果のみで天然乾燥の場合を判断することはできない。

(2) 乾燥装置による乾燥法

この実験は木材部加工科乾燥研究室において行なわれたものであり、未発表の資料であるが、実験に使われた材料が他の2つの実験に用いた材料と同じベイツガ防腐処理材であるので、乾燥法の比較をするに際して、同研究室の好意により利用させてもらうことにした。

なお、この実験に用いられた乾燥スケジュールは試験的なものでかなり高温であり、これらの材料を乾燥させるのにもっとも適当なスケジュールであるか、どうかは今後検討する予定とのことであるが、ここではこのような装置によって乾燥を行なった場合の一例という意味で、実験結果を示すことにする。

実験に使われた材料は4mの長さのものを2等分して、2mの長さとし、その鋸断面をアルミ粉を混じったラッカーで封鎖して、そのおのおのを2つのことなるスケジュールによって乾燥を行なった。各試験材の注入量と、処理前の含水率と処理後含水率すなわち乾燥開始の初期含水率を示すと、Table 9 のとおりである。

Table 9. インターナル・ファン型乾燥装置によって乾燥された
ベイツガ処理材の CCA 防腐剤の注入量と含水率
The CCA retentions and moisture contents of treated hemlock
timbers dried by internal fan type dry kiln.

No. ⁽¹⁾	注 入 量 Retention kg/m^3	木材含水率 Moisture content %	
		処 理 前 Before treating	処 理 後 ⁽²⁾ After treating
1-1	178	31	69
1-2	〃	〃	57
2-1	167	48	78
2-2	〃	〃	82
3-1	143	39	68
3-2	〃	〃	71

- (1) -1・-2 は4m 材を2等分したものである。
No. -1 and No. -2 mean each one that is divided the treated hemlock timber into two equal parts.
- (2) この含水率は乾燥開始のときの初期含水率を意味する。
This moisture contents mean the initial moisture contents at the start of drying.

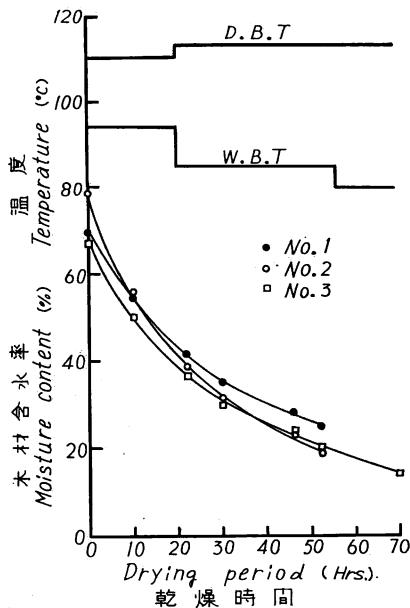


Fig. 9 ベイツガ CCA 処理材のインターナル・ファン型乾燥装置による乾燥経過 (1)
Drying process on the treated hemlock timbers (10.5×10.5×200cm) by internal fan type dry kiln (1).

比較のきびしい条件である。両者のスケジュールの初期条件を示すとつぎのとおりである。

	乾 球 温 度 D. B. T.	湿 球 温 度 W. B. T.
S ₁	110°C	94°C
S ₂	90°C	82°C

途中の変化は各図に示すとおりである。この実験に使用した材料の注入量は Table 9 に示すとおり、200kg/m³ 以下で初期含水率が 60～80 % の範囲であったため、仕上り平均含水率が 20 % 以下になるのに要する時間が比較的短かったかもしれない。しかし、注入量が多くなって 300kg/m³ 以上になっても、初期含水率は 100 % 前後であり、初期の乾燥速度は初期含水率が高いと速く考えられるから、けっきょくはこの実験でえられた乾燥時間と大差ないものと考えられる。

仕上り含水率を 20 % 以下にするのに要する乾燥時間は Fig. 9 のスケジュールでは 50～60 時間、Fig. 10 のスケジュールでは 100～110 時間という結果がえられた。しかし、注入量に相当する水分の乾燥はいずれの場合でも約 20 時間であった。

これらの 2 つの乾燥スケジュールは、前記したようにかなりきびしい高温の乾燥条件ということであるが、乾燥の終わった試験材のひわれの状態は処理前に発生したひわれと大差なく、狂いもほとんどなかった。ただ、仕上り時の表面から内部までの含水率分布は、木口面から 50cm の部分で、平均含水率は 15～20 % であるのに、表面から 1 cm の部分が 5～10 %、内部は 30～40 % の含水率であって、かなり急な水分傾斜を示していた。

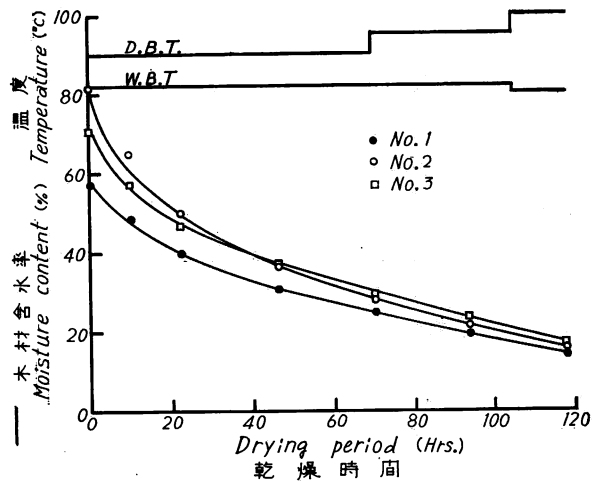


Fig. 10 ベイツガ CCA 処理材のインターナル・ファン型乾燥装置による乾燥経過 (2)
Drying process on the treated hemlock timbers by internal fan type dry kiln (2).

その実験結果として、試験材の含水率変化と乾燥スケジュールを Fig. 9 と 10 に示す。Fig. 9 のスケジュール (S₁) は非常に高い温度を用いた試験的なものであり、Fig. 10 のスケジュール (S₂) はふつうの板材に対しては

以上のようにひわれと狂いの点では、これらの2つの乾燥スケジュールでも大して問題になるほどの欠点は生じなかったが、仕上りの水分傾斜が急すぎる実用性に障害となるかどうかは不明であり、このような角材の乾燥スケジュールを、同研究室においても今後検討するとのことであるので、これらのわずかな実験でベイツガ処理材の乾燥スケジュールを決定することはできないであろう。しかし、これらの実験結果が1つの目安となるから、今後ベイツガ処理材の人工乾燥を行なう際に参考となるものと考えられる。

(3) S & V 法と天然乾燥法または高温スケジュールによる人工乾燥法との比較

天然乾燥は7～9月という1時期であり、人工乾燥は高温を用いた試験的スケジュールで、決定的なものでないから、これらの結果のみでS & V法の結果と比較することは適当でないかもしれないが、S & V法の実用的価値を判断するための資料としては現在のところ他にないので、これらの結果をもとにして比較してみる。

乾燥時間において、注入量に相当する水分を乾燥させるのに要する時間は注入量の大小によって異なるが、S & V法では大体4～6サイクル、すなわち16～24時間、天然乾燥法では夏期で30～40日、人工乾燥法では約20時間となっていて、S & V法と人工乾燥法はほぼ等しい。

処理材の平均含水率を20%以下にするのに要する時間は、S & V法では非常に困難であり、天然乾燥法では夏期で50～70日、人工乾燥法では乾燥スケジュールによって大きな差はあるが、長い方で約100時間となっていて、人工乾燥法が最も短い。

仕上り含水率の水分傾斜では、天然乾燥法の場合は測定しなかったが、多分最もゆるやかで、ついでS & V法で、人工乾燥法が最も急であろう。

仕上り時の欠点、たとえばひわれ、狂いなどの発生については、いずれも大して問題となるほどのことはない。

木材の機械的性質に対する影響はS & V法が最も大きく、人工乾燥法の場合は測定しなかったが、多分天然乾燥法よりは多少あるかもしれない。天然乾燥では薬剤の影響がわずかに認められるが、有意差はなかった。しかし、S & V法でもその低下の程度は大したことではないので、実用的には問題にならない。

乾燥のための装置はS & V法では、加圧処理のための装置をそのまま使えばよい。天然乾燥法では野天でもできるが、できれば屋根のある乾燥小屋があった方がよい。人工乾燥法では乾燥室が必要であり、その建設にはかなりの経費を必要とする。

乾燥のための燃料費はS & V法と人工乾燥法ではかなりかかるが、とくにS & V法が18サイクルもくり返せば最も高くなるかもしれない。

8. 防腐処理材の乾燥にスチーミング・アンド・バキューム法を用いることの実用的価値に対する考察

この実験では、S & V法の処理条件を木材内の温度変化と脱水量から1つのものをきめ、それを1サイクルとして何回も同じ条件のくり返しによって乾燥を行なうという方法をとったが、この方法が最も適したものであるかどうかは多少疑問があり、あるいは木材の含水率の低下とともに処理条件を変化させることによって、もっと能率よく乾燥させるスケジュールがあるかもしれない。しかし、その方法はそんな

に簡単に見いだされるものではないから、現段階ではこの実験で採用した方法をもとにして、他の方法との比較において実用的価値があるかどうかを考察してみよう。

7. (3) において、他の乾燥法と各項目について比較検討した結果を総合判断すると、S & V 法は乾燥時間、仕上り含水率、燃料費などのいずれの場合も、乾燥室による乾燥法より不利のようである。それゆえ、この方法単独で処理材を乾燥させるということは実用的にはあまり利用価値はない。

また、天然乾燥をさきに行なった後、S & V 法を用いる実験結果では、天然乾燥による乾燥の程度に関係なく、S & V 法の4サイクル後の全乾燥重量はほとんど等しいという結果がえられたので、S & V 法をあてで行なうという組合せはあまり適当ではない。

しかし、この方法の2～4サイクルまでの脱水量すなわち乾燥速度は、かなり広い範囲の初期含水率の木材に対して非常に大きいから、その後天然乾燥あるいは人工乾燥を行なうならば、乾燥時間の短縮が可能となるであろう。けっきょく、S & V 法をさきに行なって、その後他の乾燥法を組み合わせる利用するという点において実用的価値があるのではないかと考えられる。

ただ、今回の結論は、はじめから最後まで同じ処理条件で S & V 法を行なった場合のものであるが、木材含水率の変化に応じて処理条件とくにスチーミングの条件を変化させるというスケジュールを今後確立し、比較的効率よく乾燥を行なうことができるということであれば、S & V 法を単独で利用することもできるであろう。

以上のような結論がえられたので、防腐工場において、水溶性防腐剤で建築用木材を処理することが、今後増加する傾向にあるならば、処理材の乾燥をもっと真剣に考える必要があり、需要者の各種の要求をみたすためには天然乾燥のみでなく、当然乾燥室による乾燥あるいは S & V 法との併用などを利用する必要がおきてくるであろう。

9. 摘 要

この実験は水溶性防腐剤を加圧注入した土台用のベイツガ処理材を乾燥させる手段として、スチーミング・アンド・バキューム法 (S & V 法) が実的な意味で利用価値があるか、どうかを検討することを目的として行なわれた。

この実験に使われた試験材はクロム・銅・ヒ素化合物系木材防腐剤 (JIS K 1554 1号 CCA) を用いて、加圧注入された土台用ベイツガ材で、その寸法は $10.5 \times 10.5 \times 400\text{cm}$ のものを用いた。

S & V 法を行なった装置は加圧注入用のもので、処理条件は蒸気圧力 1kg/cm^2 (温度約 118°C)、排気度は 600mm ときめておいて、そのおのおのの処理時間を木材内の温度変化と減圧時の脱水量から、それぞれ2時間が最も適当であることを明らかにし、この2つの処理時間の組合せを1サイクルとして、木材の含水率の変化にしたがってくり返し行なうという方法を決定した。

この方法によると、1サイクルの乾燥速度は木材含水率に大体比例し、はじめから4サイクルまでの脱水量は非常に大きく、そのあとは急激に少なくなるといういわゆる指数曲線に類似の曲線で含水率が低下していくことが明らかとなった。しかし、サイクル数をかなり多くしても、仕上り含水率の分布から考えて、木材の平均含水率を20%以下にするのは非常に困難であることがわかった。

この方法による薬剤の流脱、ひわれや狂いの発生もほとんどない。しかし、この方法で乾燥された木材の曲げならびに圧縮強度において、無処理天然乾燥材に比べていくぶん低下の傾向を示した。ただ、その

低下の割合は小さいから実用的には問題とならない。

同一初期含水率から各種の含水率まで天然乾燥をした後、この方法を行なったが、4 サイクル後にえられた含水率は大きな差がないという結果となり、天然乾燥をさきに行なうことが、この方法の処理時間を短縮させるということにはあまり役だたなかった。

同じ材料で天然乾燥を行なった場合、I. F. 型装置による高温スケジュールの乾燥の場合の2つの異なる乾燥法によってえられた結果と、S & V 法によりえられた結果と比較検討したが、乾燥時間が長すぎる、仕上り平均含水率が20%以下にならない、燃料費が高くつく、などの点から、同一条件のくり返しのS & V 法単独使用による乾燥は実用的にはあまり利用価値がない。

もし利用するならば、S & V 法の初期の脱水量が非常に大きいという特徴を利用して、処理直後の処理材を2～4 サイクル S & V 法を適用し、それについて天然乾燥するか、乾燥室による乾燥法を用いて、乾燥時間を短縮させるために役立たせるという併用が実用的にも利用価値があるのではないかと考えられる。

文 献

- 1) MacLEAN, J. D.: Preservative treatment of wood by pressure method, U. S. Dep. Agr. Handbook, 40, (1952)
- 2) —————: Effect of temperature on the dimensions of green wood. AWPA-Proc., 48, pp. 136~157, (1952)
- 3) —————: Effect of steaming on the strength of wood. AWPA-Proc., 49, pp. 88~112, (1953)
- 4) GRAHAM, R. D.: Effect of several drying conditions on strength of coast-type Douglas-fir timbers. F. P. J. 7, 7, pp. 228~233, (1957)
- 5) BOSSHARD, H. H.: Über die Teerölimprägnierung von Buchen- und Eichenschwellen bei Temperaturen von 100°C und 130°C—Erste Mitteilung: Mikrotechnologische untersuchung der Gefüge- und Feuchtigkeitsveränderungen in den imprägnierten Schwellen hölzern, Holz als R. & W., 19, 9, pp. 357~360, (1961)
- 6) KÜHNE, H.: —————Zweite Mitt.: Untersuchungen über den Einfluß der Imprägniertemperatur auf die mechanischen Eigenschaften der Schwellenhölzer. Holz als R. & W., 19, 11, pp. 438~441, (1961)
- 7) 雨宮昭二・井上 衛: 木材防腐処理法に関する研究(1), 林試研報, 106, pp. 179~200, (1958)
- 8) —————: 木材防腐処理法に関する研究(2), 林試研報, 123, pp. 67~92, (1960)
- 9) THOMPSON, W. S.: Effect of preservative salts on properties of hardwood veneer. F. P. J., 14, 3, pp. 124~128, (1964)
- 10) 田村 隆: 木材防腐, 朝倉書店, (1952)

Research on Wood Preserving Treatment. (10)**Drying of preservative treated hemlock timbers by steaming-and-vacuum process.**

Shoji AMEMIYA and Mamoru INOUE

(Résumé)

Timbers treated with water-borne preservatives are generally dried by air-seasoning at the yard of wood preserving plants in Japan. This practice of drying treated timber is not always good for it takes a considerable time. Therefore, this experiment was conducted to determine whether the steaming-and-vacuum process, one of the methods employed to condition green timbers before treatment, is useful or not to dry treated timbers.

Hemlock heartwood timbers (10.5×10.5×400cm in size) pressure treated with copper-chromium-arsenate type preservative conforming with the JIS K 1554 were used in this experiment. Pressure treatments were made in a cylinder 50 cm in diameter by 600 cm long. The same equipment was used for the steaming-and-vacuum process, but it was provided with a condenser 20 cm in diameter by 120 cm long with a heat transfer area of 1.8 sq. m.

In the steaming-and-vacuum process, a steam pressure of 1 kg/sq. cm and a vacuum of 600 mm Hg were used. The treating periods were determined according to the change of temperature in the timber as shown in Fig. 1, and the amount of water collected during the various periods are recorded in Table 1. Each treating period consists of 2 hours steaming and 2 hours vacuum. A cycle in this test means a combination of 2 hours steaming and 2 hours vacuum, and a cycle was repeated until the desired change of moisture in the treated timber was reached.

Figures 2 and 3 show a continuous and intermittent method of steaming-and-vacuum process, respectively. By the continuous process, treatment cycle is conducted from the initial to the final phase without interruption. By the intermittent process, treatment is interrupted at night where the timbers are brought outside the cylinder and treatment is continued the following day.

The rate of drying is directly proportional to the moisture content of the timbers and this relation is shown in Fig. 4. The decreasing curves of the moisture content in the timber follow an exponential curve. It was noted that the amount of water collected was more from the first to the fourth cycle and gradually lessened after the fourth cycle. The distribution of the initial and final moisture content in the timbers are shown in Fig. 5. From these figures it was apparent that it was difficult to reduce the moisture content of the timber below 20 percent by steaming-and-vacuum process.

In this experiment, leaching of preservative, surface checks, and other seasoning degrades are almost nil. In comparison, the bending and compression strength of the treated timbers dried by this process are less than that of untreated air-seasoned timbers, and the results are shown in Tables 5 to 8. The loss in strength, however, is practically negligible because the reduction ratio is very slight.

After air seasoning from the same moisture content to various moisture contents, the timbers were dried by steaming-and-vacuum process and the results are shown in Fig. 6. It

is evident that after 4 cycles of treatment, the moisture content of each timber remained constant, hence air-seasoning the treated timbers prior to steaming-and-vacuum process does not shorten the period of drying.

The drying processes of the same timbers by air-seasoning and by an internal fan type dry kiln are graphically illustrated in Figs. 7 and 8 and Figs. 9 and 10, respectively.

Comparing steaming-and-vacuum process either with air-seasoning or kiln drying, it is not practical to apply steaming-and-vacuum process in order to dry treated timbers. However, steaming-and-vacuum process may be advantageously applied from 2 to 4 cycles and then followed either by air-seasoning or kiln drying.