

カラマツ材の人工乾燥による ヤニ滲出防止（第2報）

- 適正条件の検討 -

大山 幸夫 米田 昌世
千葉 宗昭 奈良 直哉
菅野 新六 橋本 博和

第1表 供試木の概要

樹種	本数	木口	径級 (cm)		年輪幅 (mm)		心材率 (%)		全乾比重	
			平均	範囲	平均	範囲	平均	範囲	平均	範囲
ニホンカラマツ (北海道・山部)	20	元口	39	32~56	3.9	2.7~4.9	78	70~86	0.53	0.47~0.62
		末口	33	31~40	3.4	2.7~4.0	75	66~83		
ニホンカラマツ (北海道・美沢)	6	元口	46	41~50	6.1	4.2~10.2	68	54~87	0.51	0.41~0.58
		末口	33	30~37	4.9	3.4~7.1	71	49~83		
ダフリカカラマツ (北洋)	7	元口	39	32~49	0.7	0.7~0.8	89	87~93	0.54	0.48~0.61
		末口	36	30~44	—	—	88	87~91		

注) 径級は長径と短径の平均値。心材率は平均径から求めた面積比率。
全乾比重は適正試験に用いた供試材（ニホンカラマツ 728枚、ダフリカカラマツ 196枚）を用い、供試木ごとの平均値について範囲と平均値を示した。

1. まえがき

最近カラマツ材に限らず、アカマツ、ヒノキ、アピトンなどのヤニ滲出が多い材の脱脂が問題になってきており、これらの脱脂方法としては既に加圧蒸煮真空法（SVPV法）¹⁾ 薬剤抽出法などが知られている。本試験では、一般に木材の人工乾燥に使用されている乾燥機を用い、蒸煮処理と乾燥スケジュールによって脱脂する方法（SH法）であり、前報²⁾では乾燥温度と蒸煮による湿度が高いほど有効であることが分かった。しかし、乾燥初期から160 前後の高温高湿乾燥をすると材色に変化するうえ割れが発生し易くなり、

また、貯材中の製材又は天然乾燥の度合によってそれぞれ初期含水率が異っているので、今回は、これらの初期含水率、蒸煮、乾燥などの因子がどの程度脱脂効果に影響を与えるかについて検討するため、主として実験計画法によって適正条件を得るための試験を行い、これと平行して実大材を用いた実用試験を行った。本報では前段の適正条件に関する検討結果について報告する。

なお本研究は、当场において布村林産化学部長をリーダーとしてプロジェクト研究を実施中の。ものであり、更に小野寺木材部長はじめ関係者の協力を得た。また本試験結果の一部を第27回日本木材学会大会において発表した。

第2表 供試材の寸法と枚(本)数

樹種	条件 No.	蒸煮・乾燥		熱風暴露		木取り図
		寸法 (cm)	枚 (本)	寸法 (cm)	枚 (本)	
ニホン	1~28	2.7×10.5×30	728	1(0.4)×10.2×30	1456	
ダフリカ	1~28	◇	196	◇	392	

2. 試験方法

カラマツ供試材は、第1表に示したニホンカラマツ（道産材）とダフリカカラマツ（北洋材）を用い、このうちニホンカラマツは昭和49年春から夏にかけて上川郡南富良野町山部において伐採された樹令61年生、末口径31~34cm、材長3.65m、20本と昭和50年秋、上川郡美瑛町美沢において伐採された樹令52年生、末口径30~37cm、材長3.65m、6本であり、またダフリカカラマツは木口と樹皮の鮮度及び辺材部の変色からみて昭和50年度に伐採されたものと推定されるが、樹令約300年生、末口径30~44cm、材長4m、7本である。これらの供試木の年輪幅では、ニホンカラマツのうち美沢産は山部産よりも生長が良好で赤味が多く、ダフリカカラマツは平均年輪幅0.7mmと極めて小

第3表 条件のわり付け (直交表 $L_{27}(3^8)$)

条件 No.	初期含水率A (%)	蒸 煮		乾 燥		繰返 し回数F	仕上げ 温度G (°C)	送風H (蒸・乾)	乾燥 時間 (hr)	仕上がり 含水率 (%)
		B (°C)	C (hr)	D (°C)	E (hr)					
1	20.0	60	1	60	1	1	60	NN	72	7.6
2	19.5	60	2	100	2	2	100	NF	22	7.4
3	19.1	60	4	120	4	4	120	FF	32	5.1
4	19.4	80	1	100	2	4	120	NN	22	6.3
5	19.1	80	2	120	4	1	60	NF	72	5.1
6	17.6	80	4	60	1	2	100	FF	22	9.7
7	17.8	100	1	120	4	2	100	NN	13	8.1
8	17.9	100	2	60	1	4	120	NF	16	7.2
9	19.1	100	4	100	2	1	60	FF	72	6.5
10	28.5	60	1	100	4	2	120	NF	24	6.9
11	26.2	60	2	120	1	4	60	FF	71	8.7
12	29.8	60	4	60	2	1	100	NN	32	7.6
13	27.3	80	1	120	1	1	100	NF	24	7.9
14	28.1	80	2	60	2	2	120	FF	14	7.4
15	30.0	80	4	100	4	4	60	NN	96	8.4
16	29.7	100	1	60	2	4	60	NF	72	8.8
17	26.5	100	2	100	4	1	100	FF	22	8.5
18	25.4	100	4	120	1	2	120	NN	24	7.5
19	40.2	60	1	120	2	4	100	FF	24	8.8
20	40.5	60	2	60	4	1	120	NN	29	7.9
21	42.9	60	4	100	1	2	60	NF	120	9.4
22	44.7	80	1	60	4	2	60	FF	96	9.3
23	42.3	80	2	100	1	4	100	NN	37	8.2
24	40.0	80	4	120	2	1	120	NF	12	8.2
25	41.1	100	1	100	1	1	120	FF	10	7.9
26	45.7	100	2	120	2	2	60	NN	120	8.2
27	43.2	100	4	60	4	4	100	NF	48	6.4
40.1	天然乾燥 (S51.8.21~S51.9.21)								30日	16.4

注) 供試材(2.7×10.5×30cm), 道産26枚, 北洋7枚/条件
 乾球温度差は蒸煮時0, 乾燥時3~20 (120は20)
 Nは自然循環, Fは強制循環

さく, 心材色は黄緑色で辺材部の少ない供試木である。

このような供試木から, 第2表に示す小幅板を採材し供試材とした。この供試材を第3表に示す8因子・3水準の実験計画法による直交表 $L_{27}(3^8)$ に割り付け, 脱脂乾燥27条件と天然乾燥1条件に全供試木の材が均等に含まれるように1条件当り道産材26枚, 北洋材7枚の計33枚を配分した。

供試材の脱脂乾燥は, 蒸気・電熱式IF型乾燥機(収容材積3 m^3)と電気ボイラ(18KWH)により連続運転を行い, 含水率経過を測定した。

脱脂乾燥後の供試材は第2表の木取り図に示すように, 厚さの中心層が出るように挽き割り, 木表, 木表, 中心層, 及び木裏と中心層との中間層をそれぞれ1~2mm鉋削した。これらの鉋削材は前回²⁾同様に棧積みし, 蒸気式IF型乾燥室(収容材積11 m^3)にて

70・35 差/8hr・日の間欠運転により30日間熱風暴露した。熱風暴露を終了したのち, 前回²⁾同様に材面に滲出したヤニ滲出度を肉眼観察して0~9の10ランクに分類し, 更に北洋材については, ヤニ滲出度のほかヤニが材面に隆起して固まっているが, ヤニ状物質が材表層部に「しみ」となって現れるヤニ滲入度を肉眼観察し, 0~3の4ランクに分類した。

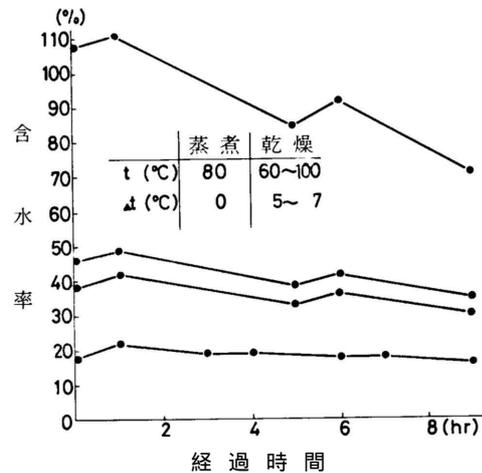
3. 試験結果と考察

3.1 蒸煮による含水率変化

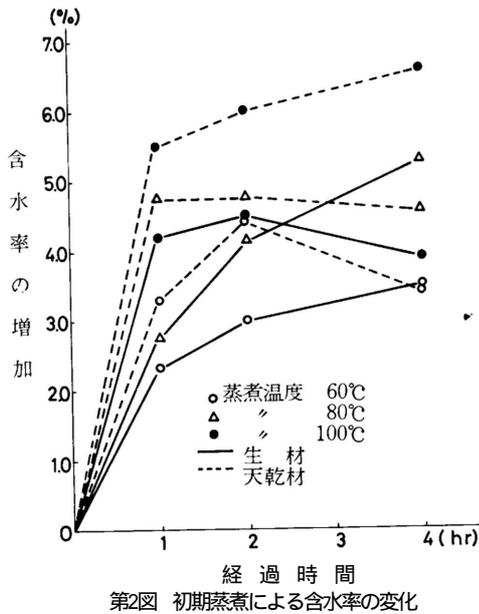
小幅板について蒸煮温度80, 乾燥温度60~100の条件4(天乾)から1枚, 条件22(生材)から3枚選んで含水率変化を第1図に示し, また生材と天乾材に対し60, 80, 100にて蒸煮したときの経過時間による含水率変化をそれぞれの条件から1枚ずつ選んで第2図

に示した。

先ず, 第1図で明らかなように, 材に直接生蒸気を



第1図 蒸煮による含水率変化



噴射させれば、初期含水率に関係なく含水率が増加する。このように蒸煮によって含水率が増加するのは、水蒸気が材温を上昇させるときに気化熱を奪われて結露するうえ、生蒸気中に含まれている飽和水が材面に付着するためであるが、この熱水が材面に付着して蒸発するとき材中から滲出してきたヤニと共沸現象を起し、ヤニに流動性を持たせている精油成分中のピネンの沸点(156)を下げて脱脂し易くするうえ特に乾燥初期の高含水率域において高温乾燥すると材面割れや内部割れを発生し易い樹種、材種に対しては、乾燥の進行を阻止しながら高温処理することによって脱脂が可能になるわけである。

一方、第2図の初期蒸煮による含水率変化では、蒸煮時間2時間までは何れの条件でも蒸煮温度にほぼ比例して3~6%の含水率増加を示し

ているが、4時間蒸煮を継続すると、生材の100 蒸煮と天乾材60 蒸煮が減少する傾向を示している。

3.2 脱脂効果に影響する因子

L₂₇(3⁸)の27条件と天然乾燥による小幅板の木表、中心層(木裏面)、中間層(木表面)、木裏における平均ヤニ滲出度及び北洋材の平均ヤニ滲入度を第4表に示し、また第4表の個々の値を分散分析して得た8因子・3水準についてのF検定表を第5表、効果グラフを第3図(道産材)及び第4図(北洋材)に示した。

脱脂条件ごとの比較はF検定表と効果グラフによる因子間で比較することとし、第4表では27条件の平均値と天然乾燥についてみると、処理材のヤニ滲出度では北洋材が道産材の約1/4と少ないので、北洋材は道産材よりも緩和な蒸煮乾燥条件により目的を達成することができよう。また材の探さ別では、道産材の場

第4表 ヤニ滲出(滲込み)度

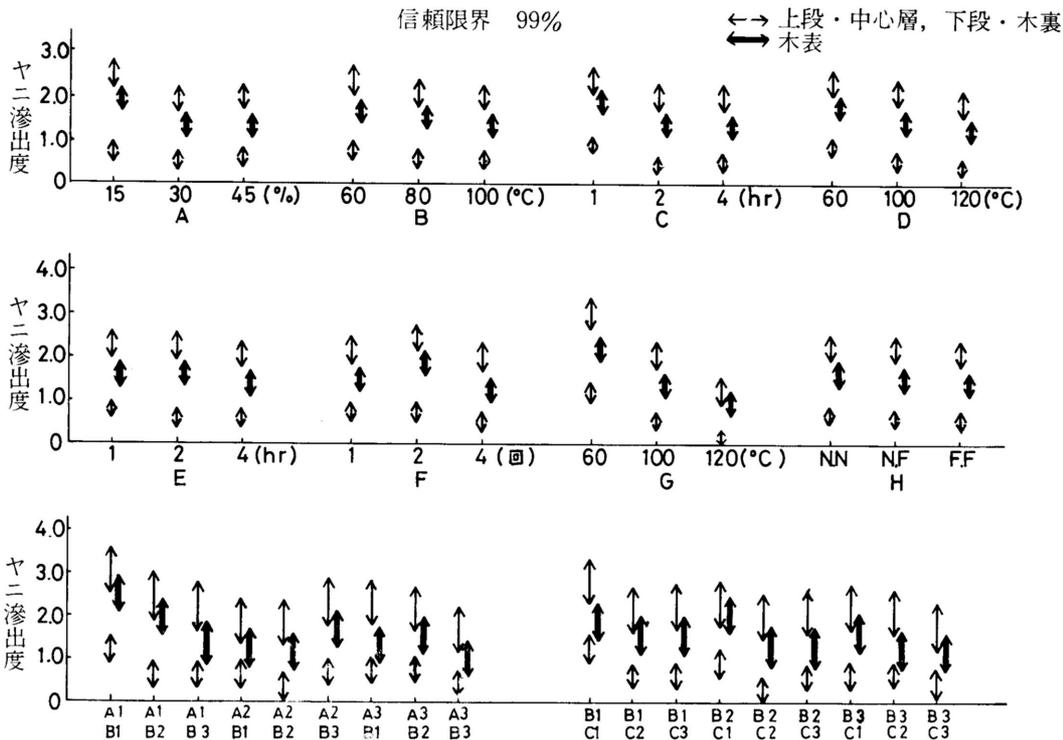
条件 No.	道産(ヤニ滲出度)					北洋(ヤニ滲出度)					北洋(ヤニ滲込み度)			
	木表	中心	中間	木裏	ランク0 (%)	木表	中心	中間	木裏	ランク0 (%)	木表	中心	中間	木裏
1	4.3	4.7	3.6	2.8	12	2.6	2.7	2.4	2.0	43	2.1	2.0	2.6	2.4
2	2.5	3.0	2.2	0.7	27	0.4	1.1	1.0	0.4	86	0.1	1.1	2.0	2.0
3	0.9	1.4	0.9	0.0	58	0	0.3	0	0.1	100	0.1	1.0	2.3	2.0
4	2.0	2.0	1.4	0.5	31	0.9	0.9	1.3	0.3	43	0.9	2.1	2.1	2.0
5	1.9	2.7	1.7	0.5	42	0.1	0.4	0	0	86	0.7	1.4	2.1	1.7
6	1.9	2.6	1.8	0.8	38	1.0	1.7	1.0	0	57	1.0	1.6	1.7	2.1
7	1.9	2.4	1.7	0.7	27	0.7	0.4	0.7	0.3	57	1.1	1.4	1.9	1.4
8	0.7	1.6	1.4	0.3	65	0.1	0.1	0.4	0	86	0.7	1.1	2.0	1.7
9	1.7	2.5	1.8	1.0	46	0.4	0.3	0	0	86	1.3	1.3	1.9	1.7
10	0.9	1.4	1.2	0.5	54	0.3	0	0.1	0	71	1.6	1.6	1.9	1.4
11	1.4	2.2	1.6	0.9	50	0	0.4	0.4	0	100	0.4	0.7	1.6	1.3
12	1.4	2.0	1.4	0.6	46	0.3	0.4	0.9	0.3	71	1.3	1.4	1.7	1.6
13	1.1	1.5	1.3	0.5	58	0.1	0	0.4	0.1	86	1.1	1.6	1.7	1.3
14	1.1	1.7	1.2	0.1	58	0.9	0.1	0.3	0.1	57	1.7	1.9	2.0	1.6
15	1.2	2.3	1.6	0.7	62	0	0.3	0.3	0	100	2.0	2.1	2.0	1.7
16	2.6	3.3	2.3	1.2	19	0.9	1.4	0.7	0.1	57	2.3	2.1	1.9	1.9
17	1.3	2.3	1.9	0.8	54	0	0.1	0.1	0	100	2.3	2.6	1.9	1.4
18	1.2	1.5	1.1	0.1	42	0	0.1	0.3	0	100	2.3	2.9	2.0	1.6
19	0.8	2.2	1.7	0.5	58	0	0	0.1	0	100	2.0	2.3	2.0	1.4
20	0.9	1.4	1.7	0.3	54	0.3	0	0.6	0	86	2.1	2.4	2.0	1.3
21	2.5	3.5	2.6	1.4	31	0.4	1.3	1.3	0.4	71	2.0	2.4	1.6	1.4
22	3.1	3.4	2.9	1.9	23	0.9	1.7	1.6	0.7	71	1.9	2.1	2.0	2.1
23	1.0	1.7	1.5	0.3	62	0	0	0.3	0	100	1.4	2.0	1.1	1.1
24	0.8	1.4	1.1	0.3	62	0.1	0.4	0	0	86	1.1	1.7	0.9	0.9
25	0.6	1.1	1.3	0.1	65	0.3	0	0.1	0	86	1.3	2.0	0.4	0.3
26	1.7	2.5	1.9	0.8	46	0.6	0.3	0.4	0.1	71	2.0	2.0	0.7	0.7
27	0.8	1.4	1.1	0.4	58	0	0	0	0	100	1.7	2.0	0.4	0.4
平均	1.6	2.2	1.7	0.7	46	0.4	0.6	0.6	0.2	80	1.4	1.4	1.7	1.5
天乾	5.6	5.7	5.3	4.8	8	3.0	2.9	2.7	2.7	29	2.3	2.3	1.6	2.0

注) ランク0は、木表においてヤニ滲出が全く認められなかった枚数比率。1条件当り道産26枚、北洋7枚の平均値。

第5表 蒸煮乾燥条件の因子と水準及びヤニ滲出度のF検定表

記号	因 子	水 準			ヤニ滲出度のF検定			
		1	2	3	木 表	中心層	中間層	木 裏
A	初 期 含 水 率 (%)	18.8	27.9	42.3	11.6 ***	6.2 ***	2.3 △	2.7 △
B	蒸 煮 温 度 (°C)	60	80	100	2.8 △	2.1	2.3 △	4.5 *
C	蒸 煮 時 間 (hr)	1	2	4	9.0 ***	3.4 *	5.0 **	11.8 ***
D	乾 燥 温 度 (°C)	60	100	120	7.8 ***	3.8 *	4.8 **	9.5 ***
E	乾 燥 時 間 (hr)	1	2	4	1.2	0.7	0.8	1.8
F	繰 返 し 回 数	1	2	4	8.0 ***	3.1 *	3.3 *	4.1 *
G	仕 上 げ 温 度 (°C)	60	100	120	38.6 ***	18.5 ***	22.0 ***	55.5 ***
H	送 風 (蒸 煮・乾 燥)	N・N	N・F	F・F	2.6 △	0.1	0.4	0.5
	A × B				6.5 ***	3.5 **	2.8 *	4.1 ***
	B × C				0.4	0.6	0.3	2.5 *

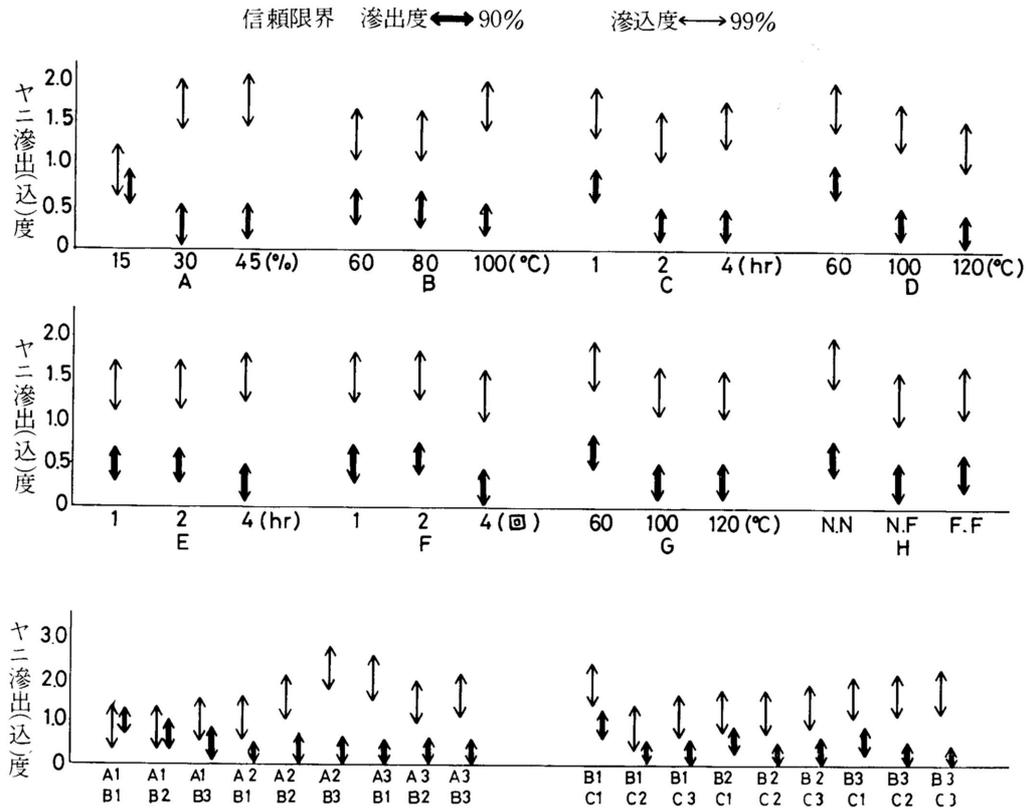
注) N・自然循環, F・強制循環
信頼限界: 90%・△, 95%・*, 99%・**, 99.9%・***



第3図 因子別ヤニ滲出度 (ニホンカラマツ)

合, 中心層が最も多く, 中間層と木表との差が少ないことから推定して表層からの脱脂効果は深さ約6mmに達するものと考えられる。更に木裏は4材面のうち最も少なく, 木表の約1/2である。この原因について, 両材面における蒸発性の差異, 脱脂乾燥中に木表が上向きか下向きかの相異などについて検討したが, 明らかな差が認められなかった。したがって, 樹幹の

部位による影響か又は木材の組織構造がヤニの移動を樹心から外周方向に起り易いようにするのか, その原因については今後の検討課題である。なおこのような傾向は, 天乾材の場合にも認められる。次に, 木表においてヤニの滲出が全く認められなかったランク0の枚数比率 (以下, 完全脱脂率という) は, 道産材では最高65% (条件8, 25), 北洋材では最高100% (8



第4図 因子別滲出(込)度(ダフリカカラマツ木表)

条件/27条件)であるが、道産材の場合、蒸煮回数がある程度まで増やしても、最高温度120 程度による完全脱脂率は65%前後が限界と考えられる。

一方、北洋材はヤニの滲出は極めて少ないので実用上、あまり問題にならないが、その反面、材面に滲出したヤニが露出しないで表層部へしみ込んだ状態になって材色の美観を損うことが多い。このような状態は道産材のうち脱脂容易な材に若干みられるが、殆んど目立たないようである。このような北洋材のヤニ滲込度は脱脂乾燥により半減するが、材の深さによる影響は少ない。

次に第5表及び第3図と第4図について、脱脂乾燥27条件のうちどの因子と水準が効果的であるかをみると、第3図の道産材では、各因子の木表、木裏、中心層とも同様の傾向を示しており、先ず初期含水率(A)は、F検定表の木表と中心層が高度な有意差を示し、効果グラフでは約28%以上になると有意差はないが、

約19%以下の天乾材との間に明らかに有意差が現われている。このことから繊維飽和点以上における自由水の蒸発が脱脂効果を向上させることが分かった。次に蒸煮温度(B)はF検定表からみてさほど有意な因子ではないが、高いほど効果的であるから、出来れば100蒸煮が望まれる。蒸煮時間(c)は1時間では不十分であるが2時間と4時間とでは有意差がないので、2時間で十分であることが分かった。このことは第2図による含水率の増加が2時間でピークになることと関連しているものと推察される。次に乾燥初期における乾球温度(D)は高いほど効果的であるが、カラマツなどの針葉樹材は高湿にし、アピトンなどは低温乾燥により狂い・割れの発生を防止しなければならない。次に乾燥時間(E)による有意差はないが、蒸煮と乾燥の繰り返し回数(F)は、F検定表では高度な有意差を示しているが、効果グラフを見ると1回よりも2回の方が逆に滲出度が増加している。これは、直交表による

因子の割り付けにおいて、仕上げ温度 (G) の効果が大きかった生材に対して仕上げ温度120 と繰り返し回数1回, 60 と2回の組合せになったためであり, 4回の100 では1回よりも減少している。しかし, 蒸煮・乾燥の繰り返し回数は乾燥経費に与える影響が大きいので, 実用的には1~2回が適当と考えられる。次に乾燥末期の仕上げ温度 (G) は, 8因子中もっとも高度な有意差を示しており, 仕上げ温度が高いほど急速に脱脂される。従って, 材の損傷や変色に対して安全領域に入った時点から出来るだけ高温・高湿乾燥することによって, 中心層といえども殆んど完全に脱脂できることが分かった。最後に蒸煮・乾燥中における送風の影響 (H) では, 高度な有意差は認められないが, 蒸煮・乾燥とも送風した方がやや効果的であり, この送風は脱脂以外に乾燥むらを減少させることの方が重要であることはいうまでもない。

一方, 第3図下段に示す初期含水率 (A) と蒸煮温度 (B) 並びに蒸煮温度 (B) と蒸煮時間 (C) との交互作用についてみると, 初期含水率約19%以下の天乾材 (A1) では蒸煮温度 (B1~B3) が上昇するほど効果的になり, 蒸煮温度を100 の最高にすると高含水率材の場合と同等の効果をj得ることができる。

このような道産カラマツに対し第4図の北洋カラマツについてみると, ヤニ滲出度では8因子及び交互作用とも道産カラマツと同様の傾向を示している。また北洋カラマツに多いヤニ滲入度では, 初期含水率 (A) を約19%に天然乾燥した方が少なく, 更に蒸煮温度 (B) は80 以下の低温にした方が効果的であることが分かった。この傾向は交互作用でも明瞭に現われているので, 北洋カラマツのヤニ滲入度を小さくするためには, 十分に天然乾燥又は低温乾燥した材に80 以下の蒸煮処理を2時間程度行い, 乾燥末期に高温高湿乾燥すれば, ヤニの滲入度と同時に参出度も減少させることが出来る。

4. まとめ

蒸煮処理と乾燥スケジュールによってカラマツ材のヤニ滲出を防止する適正条件を求めるため, 直交表

27 (38) を用い各種操作因子の効果について検討した。供試材は道産カラマツ及び北洋カラマツの小幅板である。実験結果を要約すれば次のとおりである。

(1) 蒸煮処理は, 含水率が増加するように棧積み材に直接生蒸気を噴射させる。

(2) 初期含水率は, 約19%以下の天乾材では脱脂効果を減少するが, 蒸煮温度を100 に上昇させると生材と同等の効果が得られる。

(3) 蒸煮温度は, 生材に対してさほど有意な因子ではないが, 高いほどヤニ滲出度を減少する傾向が認められる。

(4) 蒸煮時間は, 1時間では不十分であるが, 2時間と4時間とでは有意差がないので, 2時間程度の蒸煮を行えば十分である。

(5) 乾燥初期における乾球温度は, 高いほど効果的であるが, 材の損傷と変色を防止するためには120 を限度とし, 湿球温度は95~100 の高湿とする。

(6) 乾燥時間による影響は少ない。

(7) 蒸煮と乾燥の繰り返し回数は, 多いほどヤニ滲出度を減少させる傾向にあるが, 乾燥経費に与える影響が大きいので, 実用的には1~2回が適当であろう

(8) 乾燥末期の仕上げ温度は, 8因子のうちもっとも高度な有意差を示し, 高いほど急速に脱脂されるので, 材の損傷や変色に対して安全な含水率域に達した時点 (凡そ15%前後) から出来るだけ高温高湿乾燥する

(9) 蒸煮・乾燥中における送風の影響では, 高度な有意差は認められないが, 蒸煮・乾燥とも強制循環させた方がヤニ滲出度を減少する。

本号では, 適正試験について報告したが, 次号には, この適正試験によって最も有効と考えられる3条件を設定して追試験を行い, さらに, これらの試験による供試木の個体差並びに実大材に対する脱脂効果と損傷などについて報告する。

文 献

- 1) 種田健造ほか: カラマツ材のヤニ滲出防止法 (第2・3報) 本誌, 11月号, 4 (1976), 6月号, 12 (1977)
- 2) 大山幸夫ほか: カラマツ材の人工乾燥によるヤニ滲出防止 (第1報) 本誌, 6月号, 10 (1976)

- 木材部 乾燥科 -

(原稿受理 昭52.7.15)