

除湿式乾燥装置による針葉樹構造用材の乾燥

滝 沢 忠 昭

はじめに

近年、住宅の高断熱化、高气密化、工期の短縮、冬期間の工事などのため、構造用材についても乾燥の重要性が認識され、乾燥材の生産が進められています。

構造用材を乾燥するために、最近、北海道内では除湿式乾燥装置を導入する企業が増えてきています。この装置は、通常の蒸気式乾燥装置に比べて比較的設備費が安価であり、かつ装置の操作が容易なため、日本では1980年代に急速に普及し使用されてきました。その後、普及率は停滞、あるいは減少傾向にありましたが、構造用材を乾燥する装置として再認識されてきました。

しかし、この装置を用いた乾燥方法についての

情報は少なく、本州産のスギ、ヒノキについて若干の試験結果が公表されているのみです。そこで、我々は、道内で流通している針葉樹構造用材について、この装置を用いて乾燥する際の乾燥方法を検討してみました。得られた結果の中から、ここでは、材の乾燥状態などについて紹介します。

試験方法

(1) 乾燥装置

試験を行った装置は、赤平市のK社が導入した除湿乾燥装置(TON-565AH, 寒冷地仕様, Ver. 0.75d, 正田商店製)で、その概要は表1に示すとおりです。

この装置には10.5cm正角材が一度に720本、材積で29m³収容できます。通常は、正角材を1ロットが10例8段になるように積積みし、これを9ロット収容します。図1に装置の側面図を、写真1

表1 除湿式乾燥装置の概要
(TOM-565AH, 寒冷地仕様, Ver. 0.75dの構成)

装置の内寸法	4600(W)×6500(D)×4200(H)mm
循環・加熱装置	0.75kW×1+0.75kW×1=1.5kW (循環ファン・メインファン)
初期加熱装置	9.0kW×2=18.0kW (補助ヒーター：寒冷地仕様)
除湿・加熱装置	3.75kW×1=3.75kW (ガスサーキットコンプレッサ)
吸・排気装置	0.1kW×1=0.1kW (ベントファン・ソレノイド)
気密・断熱の構成	
壁体・壁・天井	硬質ポリウレタン発泡体 75mm
床	押し出しポリスチレン発泡体 50mm

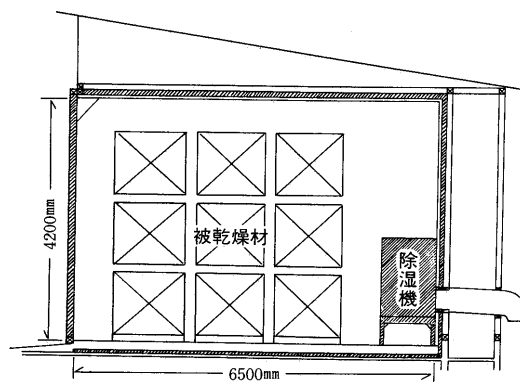


図1 装置の概要

に大扉側から見た被乾燥材の収容の様子を示します。

(2) 試験の日程と装置の運転

平成5年度に3回の試験を行いました。試験日と装置の運転操作条件は、表2に示すとおりです。それぞれの試験とも、装置内の小扉側に収容した被乾燥材に水分測定位置を5か所定めておき、毎日一定時刻にこの位置を高周波式水分計で測定し、含水率の値が20%以下に達した時点で装置の運転を止めることにしました。



写真1 被乾燥材の収容の様子

(3) 供試材

スプルーース材を試験の対象としました。スプルーース材は北米産の針葉樹で、植物分類上はエゾマツと同じトウヒ属の樹木であり、材の性質もエゾマツに類似しています。このため、道内に輸入される量も多く、広く流通しています。

材種としては、構造材としての生産量が最も多い110・5cm正角材で、村長3・65mのものを対象としました。

これらの供試材は通常の収容方法のとおり、1ロット80本ずつに棧積みし、全体で9ロットを装置内に収容しました。ただし、これらのロットのうち、大扉側と小扉側の6ロットについては、後で説明しますが、試験材を置くため、供試材の数を2本減らしました。

乾燥途中の含水率の変化を知るため、供試材の中から6本の材を選び、それぞれから長さ約1mの材を2本ずつ採取し、これを大扉側と小扉側の各ロットに配置しました。その2本のうちの1本を重量センサー上に置き、乾燥操作中に材の重量の経時変化を把握できるようにしました。これらを試験材A1と呼ぶことにします。

表2 装置の運転操作

	月 日	時 刻	操 作 の 方 法
1 回目 の 試 験	7月5日	17時38分	ヒーターに通電開始、昇温開始
	7日	8時	コンプレッサ間欠運転開始 (105分運転, 75分休止) →この間装置内の湿度減少 12%/日
	10日	15時 8時	コンプレッサ間欠運転間隔変更 (45分運転, 60分休止) コンプレッサ間欠運転間隔変更 (15分運転, 45分休止) →この間装置内の湿度減少 2%/日
	11日	16時45分	装置の運転を停止
2 回目 の 試 験	8月23日	17時	ヒーターに通電開始、昇温開始
	25日	9時 15時	コンプレッサ間欠運転開始 (105分運転, 75分休止) コンプレッサ間欠運転間隔変更 (45分運転, 60分休止)
	26日	11時	コンプレッサ間欠運転間隔変更 (21分運転, 60分休止) →この間装置内の湿度減少 3.5%/日
	31日	17時	装置の運転を停止
3 回目 の 試 験	10月1日	14時30分	ヒーターに通電開始、昇温開始
	3日	6時	コンプレッサ間欠運転開始 (45分運転, 123分休止) →この間装置内の湿度減少 3.5%/日
	6日	8時	コンプレッサ間欠運転間隔変更 (75分運転, 75分休止) →この間装置内の湿度減少 2%/日
	7日	17時	装置の運転を停止

各ロットの残りの1本ずつ計6本（これらを試験材A 2と呼ぶことにします）については、乾燥前後と途中で装置から取り出して、直接重量を測定しました。得られた値とあらかじめ常法どおりに全乾法で求めておいた推定全乾重量から、それぞれの時点の含水率を求めました。

また、1回目、2回目の試験では、乾燥終了後に、これらの試験材の中央から厚さ6cmの試験片を取り、縦、横5等分ずつに25分割し、材の表面から内部にかけての水分傾斜を求めました。

さて、1回目、2回目の試験では、装置内に収容した供試材のうちで、大扉側、小扉側のそれぞれ中段のロットの78本のうちから任意に30本の材を選び、図2のようにロット内に配置しました。これらを試験材Bと呼ぶことにします。

試験材Bについては、乾燥の前後で材の重量と高周波式水分計による含水率測定を行いました。使用した水分計はC S Aエレクトロニクス社製のDELTA - 5です。含水率測定は、材の中央と両端から60cmの位置で4材面について行いました。

また、これらの材については、水分計で含水率測定を行った位置から厚さ約3cmの小片を取り、全乾法で含水率を求め、水分計で得た値との比較を行いました。

試験結果

(1) 装置の運転

除湿式乾燥装置は、当初ヒーター加熱により材温を高めた後、コンプレッサの間欠運転を行い装置内の湿度を徐々に下げ、材を乾燥する仕組みになっており、乾燥速度の制御の中心はコンプレッサの稼働率のコントロールにあるといえます。

装置製造メーカーの資料では、間欠運転開始後は装置内の温度を45℃に保ちながら、湿度を1日に4～5%下げるように装置をコントロールするのが標準的であるとされています。

表2に示すように、1回目の試験の際には、コンプレッサの間欠運転の開始時から7時間の間、間欠運転の間隔を105分運転、75分休止と長めに設定しスタートさせました。すると、装置内の湿度の下がり方が急で（1日間に約12%減少）、被乾燥材の表面の乾燥が急速に進行し、材に損傷の生じる危険性がありました。

今回の試験は、いずれも製品生産を行っている中で実施したため、材の損傷発生をできるだけ少なくするように、温和な条件でスムーズに乾燥が進むような操作条件を選ばなければなりません。

そのため、この時以外はいずれの試験とも、1日当たりの湿度の減少は約2～3.5%で、メーカーの示している標準値より小でした。

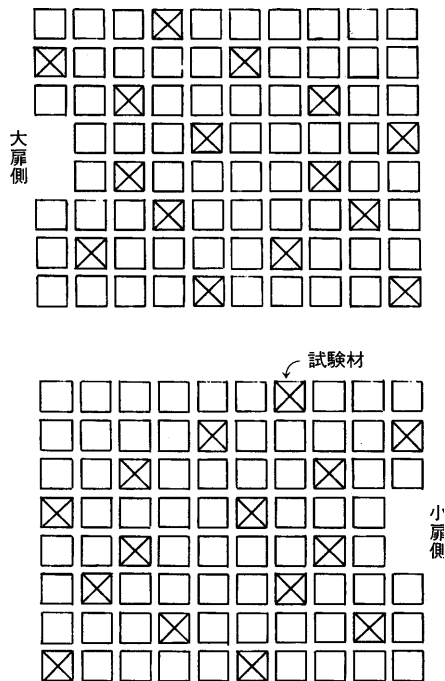


図2 試験材Bの配置

(2) 試験材の含水率変化

- 乾燥速度は末期より初期で大 -
- 「仕上がり含水率は、初期含水率に影響される -

図3に試験材A1の重量の経時変化を示します。いずれの試験材も体積はほぼ同じですが、重量は比重と含水率の違いから個々で相違がみられました。乾燥前で最も軽いものは4,430g、最も重い

ものは8,684gで、その差は4,254gとかなりバラツキがありました。

これらの試験材は乾燥操作によってその重量が減少していきますが、特に、乾燥前の重量が大であったものほど重量の減少が顕著でした。

乾燥終了後に、それぞれの試験材の含水率を全乾法で求め、この値からそれぞれの試験材の乾燥

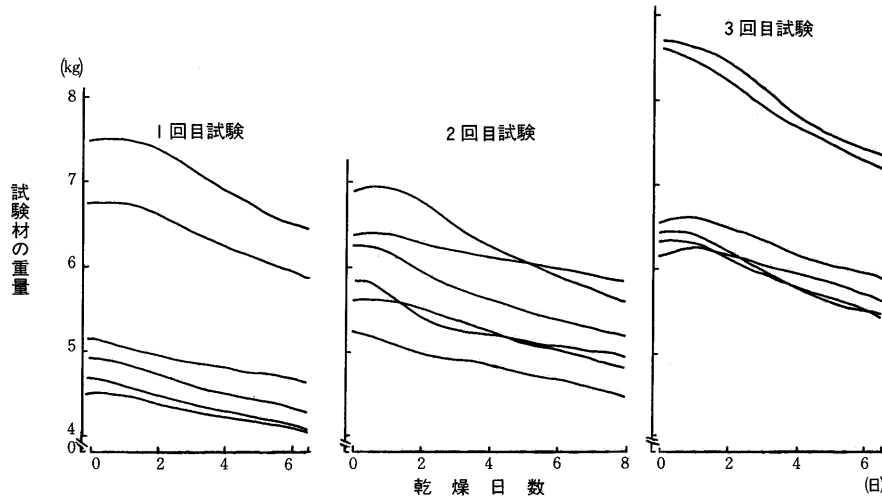


図3 試験材A1の重量変化

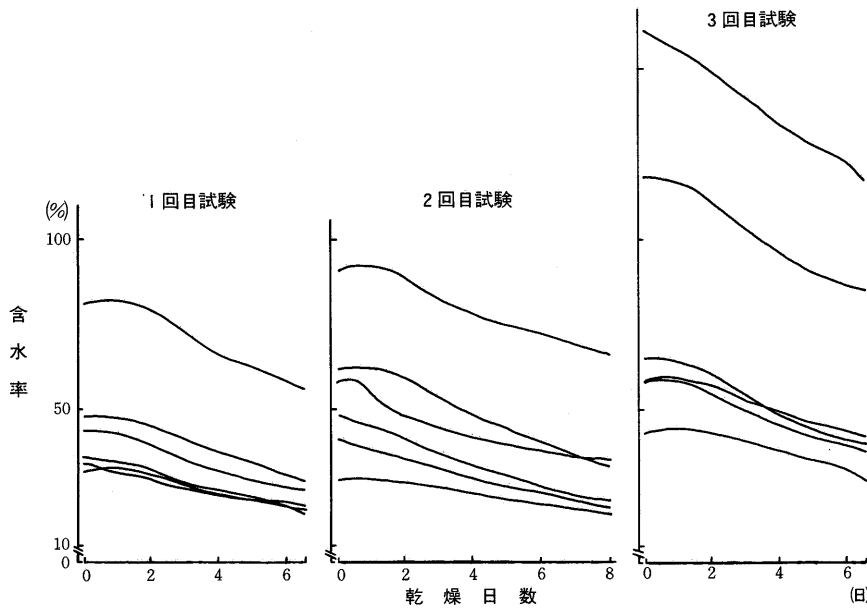


図4 試験材A1の含水率変化

表3 試験材A1の乾燥速度

試験材の番号	36～84時間		108～156時間		
	含水率 ^{a)} (%)	乾燥速度 (%/日)	含水率 ^{b)} (%)	乾燥速度 (%/日)	
1回目試験	1	29.7	3.6	22.7	2.9
	2	28.4	2.8	22.7	2.1
	3	27.3	2.6	22.8	1.3
	4	43.2	4.2	32.9	3.3
	5	75.8	6.2	59.7	3.8
	6	37.3	4.6	27.5	2.1
2回目試験	1	38.2	4.3	28.3	2.7
	2	56.1	5.2	41.4	4.1
	3	32.9	3.1	26.1	2.0
	4	45.8	3.6	38.4	1.9
	5	84.4	5.5	72.5	2.9
	6	27.2	1.9	22.2	1.6
3回目試験	1	144.8	8.2	124.6	6.8
	2	51.4	5.1	40.5	3.2
	3	107.1	7.7	88.0	4.3
	4	57.0	5.7	42.1	3.2
	5	54.5	4.0	44.6	2.7
	6	41.5	2.5	33.7	3.5

注 a) 乾燥開始から60時間目の含水率
b) 乾燥開始から132時間目の含水率

途中の含水率を求めました。図4に試験材A1の含水率の経時変化を示します。

この図から初期含水率の高いものほど含水率の減少が大きいことが理解できます。

さらに、それぞれの試験材について、乾燥初期の36～84時間の間の2日間と末期に近い108～156時間の間の2日間について、乾燥速度(1日当たりの含水率の減少量)を比較すると、表3に示すように、個々の含水率に違いはあっても乾燥初期の方が末期より全体的に乾燥速度が大でした。

3回の試験とも、乾燥操作は6～8日行ったわけですが、初期含水率の値の大きな試験材を中心に依然として高含水率のものがあります。このように、初期含水率は仕上がり含水率に影響を及ぼしています。

さて、装置を停止させる目安を、供試材の含水率が高周波式水分計で20%以下となった時としましたが、今回の供試材のように断面寸法の大きなもの場合には水分傾斜を考える必要がありますので、次にこの点をみてみましょう。

(3) 試験材中の含水率分布

- 材の表面から内部にかけて水分傾斜が発生 -

試験材A2について、乾燥終了後にこれらの中央から厚さ3cmの試験片を取り、縦、横それぞれ5等分ずつに25分割して、それぞれの部分の含水率を全乾法で求めました。その結果を図5、6に示します。

図に示すように、ほとんどの試験材とも表面より内部の方が高い含水率の値となっています。

除湿式乾燥のような熱気乾燥の場合には、材の乾燥はまずその表面で起こります。その後、乾燥操作が継続されると、材の内部の水分が表面に移動してきて順次材から蒸発していきます。また、材表面での蒸発速度の方が材中での水分の移動速度より大きいため、材の内部の方が乾燥が遅れ、材の表面と内部で水分量に差が生じます。

除湿式乾燥装置による針葉樹構造用材の乾燥

16.5	20.3	20.3	17.2	15.4
19.4	26.9	25.2	22.4	16.7
23.2	26.7	26.0	23.4	17.6
19.8	26.1	25.8	21.1	17.2
17.2	19.7	19.7	17.3	14.1

平均20.5%

15.1	18.9	19.3	18.2	15.2
18.9	22.7	25.3	22.1	17.4
18.7	23.7	25.1	22.9	17.2
16.7	22.0	38.2	21.4	17.3
14.3	17.4	17.8	17.6	14.8

平均20.0%

16.3	19.6	19.8	18.1	14.6
20.9	31.4	29.1	23.9	17.9
26.9	55.1	44.1	35.6	20.6
22.4	33.6	49.9	60.6	21.6
17.2	21.3	24.2	22.8	16.3

平均27.1%

22.1	57.2	111.3	127.8	75.5
65.2	93.3	161.3	205.7	71.7
37.2	61.4	118.1	67.5	39.0
21.8	35.3	49.9	48.8	27.9
16.7	21.1	27.1	40.4	21.4

平均64.2%

16.4	18.4	20.2	19.6	17.5
19.2	23.0	26.8	26.9	20.4
19.3	24.7	27.6	27.5	19.7
18.6	24.0	25.1	24.1	19.0
15.6	18.3	19.1	18.1	15.3

平均23.4%

16.1	19.0	19.7	18.1	16.4
19.4	24.5	25.5	24.0	19.5
20.8	25.8	26.2	24.6	20.4
19.8	24.2	25.1	23.9	19.4
16.6	19.6	19.7	19.5	16.4

平均20.7%

18.8	25.4	45.0	37.3	23.2
23.0	99.2	125.8	84.4	46.3
22.6	53.5	106.2	87.1	31.3
22.2	34.6	66.7	93.2	31.3
18.5	22.4	35.0	42.6	20.4

平均46.8%

15.9	18.6	19.0	18.0	16.1
18.4	22.9	23.7	22.5	18.3
19.9	24.1	24.8	23.6	18.7
18.7	22.8	24.1	22.5	18.5
16.8	19.4	20.1	19.0	16.2

平均20.0%

26.0	55.5	42.9	35.8	21.8
27.8	52.0	68.1	52.5	38.6
22.9	35.7	38.2	40.3	25.2
22.0	34.2	31.7	29.8	22.1
18.0	21.3	21.5	20.9	18.0

平均32.2%

43.8	24.4	21.7	20.8	16.4
38.2	47.1	51.7	29.0	19.9
42.9	36.9	38.5	30.0	22.5
70.6	50.2	48.7	50.9	31.1
33.3	34.8	34.4	50.3	44.2

平均37.1%

17.6	19.4	21.2	20.2	16.9
20.1	26.3	28.1	21.3	22.2
21.3	28.8	33.2	35.6	23.2
21.0	29.8	32.1	27.4	21.2
17.3	21.5	21.9	20.4	17.8

平均23.4%

17.4	20.4	20.5	20.2	16.7
19.3	25.2	27.7	25.6	20.1
20.7	27.8	31.8	28.1	21.1
16.4	25.0	27.7	27.4	19.4
15.6	19.7	20.3	20.9	17.5

平均22.0%

図5 試験材A2の含水率分布

(1回目試験, 図中の数字は含水率で単位は%)

図6 試験材A2の含水率分布

(2回目試験, 図中の数字は含水率で単位は%)

- 高周波式水分計での測定は、水分傾斜を考慮に入れて! -

今回の試験では乾燥の末期に調湿処理を行っていないため、乾燥中に生じた水分ムラがそのまま残っています。また、高周波式的水分計では、その性能から、水分を測定できる深さが材の表面から10~20mmですので、測定含水率は材の表面の比較的低い値を読んでしまうことになります。

こうした水分ムラに関連し、1回目と2回目の試験の際に、試験材Bについて乾燥の前後に高周波式的水分計と全乾法でそれぞれの含水率を求め、両者の値を比較しました。図7は1回目、図8は2回目の試験の結果です。

図に示すように、乾燥の前後とも水分計で求めた値の方が全乾法で求めた値より小でした。

乾燥後については、1回目、2回目の試験とも、

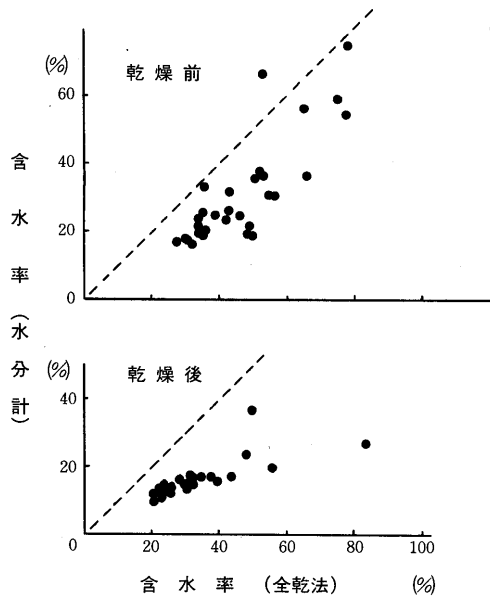


図7 全乾法と高周波式水分計で求めた含水率の関係(試験材B, 1回目試験)

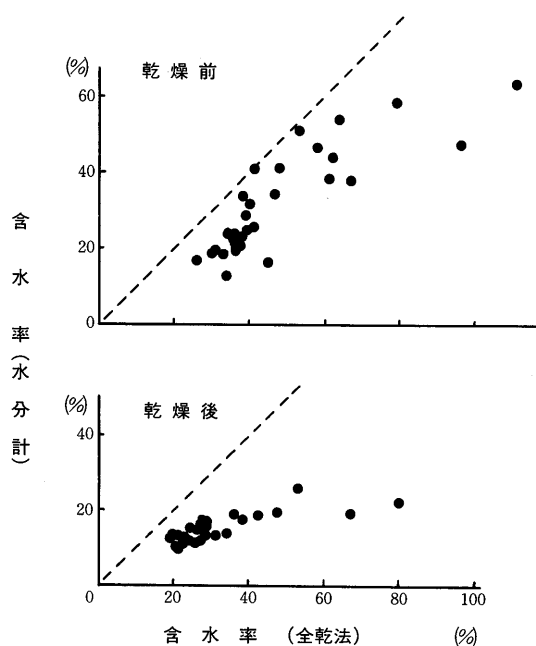


図8 全乾法と高周波式水分計で求めた含水率の関係(試験材B, 2回目試験)

ほとんどのものが高周波式的水分計の測定で含水率が20%以下の値を示しており、乾燥操作を終える目標値に達していたこととなります。

しかし、材に水分傾斜があるため、全乾法で含水率を求めてみると、1回目の試験では30本のうちに含水率が20%以下のものはなく、20~25%の範囲にあるものが12本、25~30%のものが4本、30%を超えるものが14本でした。

また、2回目の試験では20%以下のものが2本、20~25%のものが12本、25~30%のものが7本、30%を超えるものが9本でした。

乾燥しようとする材の初期含水率の違いなどにより、こうした結果になるものと思われますが、いずれにしても、10.5cm正角材というような断面寸法の大きなものについては、乾燥終了直後に水分計で求めた含水率の値は、調湿処理がなされていなければ、全乾法で求めた値より10~15%は低い値を示している危険性があるとして取り扱うことが必要でしょう。

すなわち、水分計の表示ほどは乾燥していないわけで、図4に示した試験材A1の含水率の経時変化の様子から推定して、試験材Bのうちで、乾

燥終了時点で20%以上の含水率のものを20%以下にまで乾燥するには、30%以下のものであればあと2~3日、30~40%のものであればあと7日間程度の日数が必要でしょう。

乾燥にこの程度の日数をかければ、1回目、2回目の試験結果から考えて、初期含水率にバラツキはあっても8割以上の材が20%以下の含水率になるものと思われます。

おわりに

除湿式乾燥装置を用いてスプルス正角材の乾燥を試みました。

製材後の生材を含水率20%まで乾燥しようとすると約2週間の乾燥期間が必要でしょう。この場合でも、初期含水率が100%を超えるようなものは依然として含水率の高いことが考えられますので、再乾燥するなどの手だてが必要でしょう。今回の試験に使用した材のように、断面寸法の大きなものについては、乾燥の過程で材に水分傾斜が発生し、乾燥終了時点でもそれが解消されていないことが多いので、この点に留意した材の取り扱いが必要とされます。

なお、この試験は筆者のほか、林産試験場の中島厚、沼田征志、幡多輝昭、上野英治が担当しました。

(林産試験場 乾燥科)