

## 建築用ヒノキ材の乾燥試験

### － 適正スケジュール確立のための予備試験 －

河崎弥生・金田利之・見尾貞治

中神照太・小玉泰義

#### 1. はじめに

木材を有効に利用するためには、木材の水分管理を適正に行うことが前提とされる。この点で、木材乾燥技術の確立は重要である。このような必要性にも関わらず、従来の木材乾燥、特に人工乾燥は、家具材や集成材ラミナなどに限られていた。しかし、最近になって、その対象や重点が建築用材にも向けられるようになった。これには木造住宅の普及促進を図る意図が大きく作用している。また、このためにも、実用的な乾燥技術の確立が急務となっている。このような状況を踏まえ、当センターにおいても、建築用ヒノキ材を重点にして、乾燥技術の確立に取り組む予定になっている。そこで、本年度はまず、予備的なモデル乾燥試験を行った。

#### 2. 方法

第1表 供試材の概要

##### 1) 供試材料

真庭地区の製材工場  
場で製材された直後  
のヒノキ材で、第1  
表に示す5種類の材  
種を使用した。

材種 (名称)	試料数 (本)	サイズ(mm)		製材法		初期 平均含水率 (%)
		断面寸法	長さ	木取り	背割り	
A	30	120 x 120	4000	心持ち	無し	33.38
B	30	120 x 120	4000	心持ち	有り	29.24
C	30	75 x 75	4000	心持ち	無し	34.20
D	30	75 x 75	4000	心去り	無し	37.79
E	30	45 x 45	4000	心去り	無し	31.37

##### 2) 手順および方法

###### ①天然乾燥

ア. 試験場所： 当センターの加工試験棟内で、材種ごとに積みした。

イ. 測定時期： 製材（搬入）直後、1週、2週、4週、8週、および12週目の6回測定した。

ウ. 測定項目： 以下の4項目について測定した。

a. 水分測定： 4材面において、1材面ごとに3ヶ所ずつ測定した。但し、背割り材では、背割り面は除いた。測定は高周波式水分計デルター5（日本住宅・木材技術センター認定機種）を用いた。

b. 重量測定： 電子天秤で1g単位まで計量し、人工乾燥後の全乾法による数値から逆算して含水率の算定に供した。

c. 寸法測定： 4材面において、1材面当たり1ヶ所ずつ、デジタルノギスで断面寸法を測定した。

d. 割れなど： 木口割れ・材面割れ・曲がりなどについて、有無・寸法などを検査・測定した。

②人工乾燥

7.乾燥装置：当センター設置の10石入IF式蒸気式人工乾燥装置を使用した。上記の条件で天然乾燥した材を材種ごとに人工乾燥に供した。

1.乾燥方法：第2表に示すタイムスケジュールを目安とし、材種に応じて適宜修正を加えた。各修正スケジュールは結果の項で示す。目標仕上げ含水率は全乾法の値で15%とした。また、各材種ごとに高含水率の材

第2表 基準とするタイムスケジュール

乾燥処理段階	日数	乾球温度(°C)	乾湿球温度差(°C)
開始直前	約80°Cで2~3時間蒸煮する		
開始時	約3日	50	5
途中	約1日	55	7
終末時	MC15%以下になるまで	55	10 (場合により15)

を2本抽出し、それらから長さ1mの試験片を採取し、乾燥スケジュール調整用サンプルとして試験に供した。

ウ.測定項目：以下の5項目の測定を行った。

項目a.~d.：天然乾燥の場合と同じ。

e.水分分布：乾燥材の所定位置から試片を採取し、分割法により含水率分布を測定した。

3 結果と考察

1) 天然乾燥

天然乾燥による含水率の推移を第5表に示す。値は全乾法の値を基にした計算値である。また、第3表には、1日当りの含水率の低下量として乾燥速度を示す。これらの表から、以下のことが知られる。

①初期含水率は30~40%の範囲にある。

しかし、心持ち材はロット内における初期含水率の標準偏差と変動係数は比較的小さいが、心去り材ではかなり大きい。前者では心材部が多く、辺心材の比率の差異が小さいのに対し、後者では辺材と心材の割合のバラツキが大きいためである。

②すべての材種で、乾燥開始後1週間以内に、天然乾燥が急速に進行する。特

第3表 天然乾燥の乾燥速度

材種	乾燥速度(%/日)				
	初期 ↓ 1週目	1週目 ↓ 2週目	2週目 ↓ 4週目	4週目 ↓ 8週目	8週目 ↓ 12週目
A	0.557	0.243	0.179	0.079	0.014
B	0.386	0.200	0.150	0.057	0.004
C	1.100	0.300	0.200	0.046	-0.007
D	1.443	0.514	0.250	0.054	-0.011
E	1.400	0.286	0.186	0.007	-0.029

に辺材部の比率の高い心去り材（材種AおよびD）では、含水率の減少は著しく、1日につき1.4%にも達する。

③最初の急速な水分減少の後、乾燥速度は次第に低下し、乾燥の進行は緩やかになる。4週間目までの含水率減少は1日当たり0.2%前後、4週間以後には0.05%前後となり、極端に遅くなる。

④含水率が20%以下になった材種では、気象状況により、逆に僅かながらも含水率が増加することもある。

⑤材種Aでは、乾燥初期のロット内の標準偏差と変動係数はそれぞれ3.50、10.24であるが、12週目にはそれぞれ1.56、6.87になっている。このように、一般に、天然乾燥の過程で、ロット内の含水率はバラツキが減少し、含水率の均一化が進む傾向がみられる。

⑥初期含水率の違いもあり、背割りの有無と乾燥速度の関係は明確でない。

以上の結果、ヒノキ材を天然乾燥する場合、経済性の観点から見て、その期間は1ヶ月程度とし、その後、適正含水率まで人工乾燥する方法を選択するのが有利であると考えられる。この場合でも、当然、材種および環境条件によって長短はある。

一方、天然乾燥のみで乾燥工程を終了する場合には、より一層含水率を低減し、且、そのバラツキを減少させるためにも、より長期間の天然乾燥が必要であると考えられる。

## 2) 人工乾燥処理の経過と処理材内の水分傾斜

基本のタイムスケジュールを修正し、各材種ごとに行った実際の乾燥スケジュールを、第7表に示す。表中の含水率スケジュールは、乾燥終了時の測定値から逆算して求めた修正値を使用している。この表から以下のことが指摘される。

①材種A（12cm角・心持ち・背割無し）では、約26%の初期含水率から約15%の仕上げ含水率に人工乾燥するのに、約400時間を要した。この際、乾燥末期の乾燥速度の低下は著しい。このため、乾燥条件の再検討が必要である。但し、その場合でも、乾燥割れなどとの兼ね合いを無視してはならない。次に、平均含水率15.5%の材内部での含水率分布は、第1層（表面～2cm内部）が13.4%、第2層（2～4cm）が18.0%、第3層（4～6cm）が19.5%であった。

②材種B（12cm角・心持ち・背割有り）では、含水率を約21%から約12%まで人工乾燥して仕上げるのに要した時間は約290時間である。平均14.7%の材の含水率分布は、第1層から第3層までの順に、それぞれ13.5%、16.1%および17.1%であった。

③材種C（7.5cm角・心持ち）では、約21%から約14%までの乾燥時間は約160時間で、前2者に比べてかなり短くなっている。また、乾燥末期の乾燥速度の低下も少ない。含水率分布については、平均13.9%のもので、第1～3層で、12.2%、15.7%および16.9%であった。

④材種D（7.5cm角・心去り）では、約22%の初期含水率の材を約14%の仕上げ含水率に乾燥する時間は約160時間で、材種Cとほぼ等しい。含水率分布は、平均13.9%のもので、第1層12.2%、第2層15.9%、第3層16.6%であった。

⑤材種E（4.5cm角・心去り）では、他の4材種と比較して含水率の低下は非常に速く、初期含水率約18%のものを仕上げ含水率約13%に乾燥するのに要した時間は僅かに110時間程度である。また、含水率分布は、平均12.3%の材で、第1層（表面～約1.1cm内部）が11.8%、第2層（1.1～2.25cm）が13.4%であった。

第4表 5%の含水率低下に要した時間

3)人工乾燥における木取りおよび断面寸法の効果  
次に、背割りの有無、心持ち・心去りの相違、および断面寸法の大小が乾燥速度に与える影響について考察する。第4表において、材種A～Dでは、含水率20%から15%まで5%低下させるのに要した乾燥時間を示している。材種Eだけは、18%から13%までの所用時間である。

材種	測定領域 (%)	所用時間 (hr)
A	20→15	250
B	〃	170
C	〃	130
D	〃	110
E	18→13	95

なお、厳密に言えば、今回の乾燥条件は材種間で多少異なるため、単純比較は適当でないことを予め断わっておく。

#### ①背割りの影響

ここでは、断面寸法などが等しく、背割りの有無のみが異なる12cm角の材種AとBの2ロットを取り上げ、比較・検討する。その結果、背割りの無い材種Aは背割りされた材種Bの約40%以上も乾燥時間が長くかかっていることが明かである。ここで、前者に比べ後者の方が若干厳しい乾燥条件であったことを勘案しても、背割りの有無は人工乾燥時間に大きい影響を与えることが推察される。

#### ②心持ち・心去りの影響

同様に、7.5cm角で心持ちの材種Cと心去りの材種Dを比較すると、材種Cは材種Dの約20%弱程度長く乾燥時間がかかっている。今回、後者の乾燥条件は前者のそれより若干厳しかった。これは、割れなどの防止を考慮せざるを得なかったためである。いずれにせよ、心持ち材の方が心去り材に比べてより長い乾燥時間が必要であることが理解される。

#### ③断面寸法の影響

心持ち材として、材種A（12cm角）と材種C（7.5cm角）を、また心去り材では、材種D（7.5cm角）と材種E（4.5cm角）を比較する。前2者の比較では、材種Aが材種Cの約2倍の乾燥時間を要し、後2者の場合でも、材種Dは材種Eの約15%程度乾燥時間が長い。とくに心持ち材の場合では、材の厚さの比率以上に乾燥時間が長くなっている。この結果は、従来からいわれている板材における定説と類似する。まさにこの点こそが、実際に断面寸法の大きい建築用構造材の人工乾燥を行う際に、とくにコストの面から重大な問題を惹起する。

以上、今回行った予備実験（モデル的人工乾燥）によっても、材種ごとに適した乾燥スケジュールの検討を必要とすることが改めて示唆された。

#### 4) 木材水分計の指示値

天然乾燥から人工乾燥にいたる試験データから、今回使用した高周波木材水分計デルター5の指示値の取り扱いについて考察を試みる。但し、ここでの指示値とは、1供試体について、全乾法の実測値から算出した平均含水率と水分計による測定値との対比を意味する。水分計の精度を議論するものではない。第6表に水分計と全乾法によるそれぞれの含水率、およびその差を示す。

①生材に近い乾燥初期には、全乾法による平均含水率より水分計による値の方が高い。この段階ではまだ表面辺材部の含水率の方がはるかに高く、含水率計はこの表面部分の影響を強く受けるためであると推察される。

②表面部分の乾燥が進行するとともに、全乾法の値より水分計の値の方が低い値を示すようになる。この傾向はほぼ乾燥末期まで継続する。

③B材種(12cm角)のような断面寸法の大きい材では、天然乾燥1週間後になると、水分計による測定値はすでに23.5%を示し、全乾法による値とは8.5%の差が生じている。さらに4週間目には、水分計の指示値は18.8%となり、この数値だけからは、乾燥材と判定されてもおかしくない。しかし、全乾法での測定値は28.2%であり、実際には乾燥材から程遠い。

④心去り材の2つの材種CおよびEでは、全乾法と水分計の差は材種Bほど極端ではない。これは、前2者の断面寸法が後者のそれに比べて小さいためと考えられる、

⑤材種Bの場合、人工乾燥後の水分計の含水率表示は9.6%であった。この数値は、前項で水分傾斜を求めたときの第1層(表面~約2cm)の含水率(14.4%、全乾法による)よりも約5%低めである。この結果は、水分計の指示値は材表面の極めて浅い部分のみを代表した値に過ぎないことを強く示唆する。

以上の結果をまとめて考察すると、水分計の値の取り扱い方で注意を要する点が浮き彫りにされよう。すなわち、木材乾燥を論ずる場合には、全乾法による平均含水率を前提とするのが一般的である。従って、水分傾斜が大きい材では、水分計の指示する含水率をそのまま援用して議論することは危険が大きい。少なくとも今回使用した機種による測定値をもって議論に加わることは適切さを欠くと思われる。しかし、十分に養生を行った乾燥材のように、水分傾斜が少ない材ではこの限りではないであろう。この観点から見ると、製材品の含水率を高周波式水分計で測定し表示する場合、含水率の数値と併せて、一種の乾燥履歴を示す必要がある。これは、住宅部材としての品質保証を水分管理から論じる場合、全乾法による含水率が前提となることが多いからである。いずれにせよ現段階では、使用した水分計の指示値の取り扱いには、状況に応じて適切な判断が必要とされる。

なお、今回指摘した問題点を踏まえながら、建築用ヒノキ材の乾燥方法について、今後も引続き試験を行う予定である。

第5表 天然乾燥過程の含水率の推移

材種	測定項目	含水率 (%)					
		初 期	1 週目	2 週目	4 週目	8 週目	12週目
A	最 高 値	46.7	42.4	39.8	35.4	30.0	27.4
	最 低 値	29.1	28.9	24.3	21.9	20.3	20.1
	平 均 値	33.4	29.5	27.8	25.3	23.1	22.7
	標準偏差	3.50	3.01	2.80	2.46	1.89	1.56
	変動係数	10.48	10.20	10.07	9.72	8.18	6.87
B	最 高 値	34.5	32.0	30.6	27.2	26.0	25.4
	最 低 値	22.2	21.3	20.6	19.4	18.7	19.0
	平 均 値	29.2	26.5	25.1	23.0	21.4	21.3
	標準偏差	3.88	2.97	2.64	2.25	1.84	1.64
	変動係数	13.29	11.21	10.52	9.78	8.60	7.70
C	最 高 値	46.9	30.6	27.0	24.3	23.0	23.7
	最 低 値	26.9	23.4	21.9	19.2	18.3	18.7
	平 均 値	34.2	26.5	24.4	21.6	20.3	20.5
	標準偏差	5.21	1.94	1.58	1.47	1.29	1.22
	変動係数	15.23	7.32	6.48	6.80	6.35	5.95
D	最 高 値	59.5	38.1	27.7	25.2	23.5	23.4
	最 低 値	29.0	23.8	22.0	18.5	17.3	17.8
	平 均 値	37.8	27.7	24.1	20.6	19.1	19.4
	標準偏差	9.10	3.30	1.40	1.43	1.34	1.24
	変動係数	24.07	11.91	5.81	6.94	7.02	6.39
E	最 高 値	87.7	31.9	21.5	18.7	18.3	18.8
	最 低 値	23.7	18.3	17.3	15.0	15.2	16.2
	平 均 値	31.4	21.6	19.6	17.0	16.8	17.6
	標準偏差	12.39	2.30	0.89	0.87	0.72	0.66
	変動係数	39.46	10.65	4.54	5.12	4.29	3.75

第6表 全乾法および水分計による含水率の測定値

材種	測定法	含水率 (%)						
		初 期	1 週目	2 週目	4 週目	8 週目	12週目	人工乾燥後
B	① 全乾法	34.5	32.0	30.6	28.2	26.0	25.4	15.7
	② 水分計	35.8	23.5	22.9	18.8	16.0	21.3	9.6
	②-①	1.3	- 8.5	- 7.7	- 9.4	-10.0	- 4.1	- 6.1
C	① 全乾法	32.4	26.6	24.8	22.2	20.7	20.8	14.0
	② 水分計	44.6	29.0	23.5	19.7	21.4	21.2	12.2
	②-①	12.2	2.4	- 1.3	- 2.5	0.7	0.4	- 1.8
E	① 全乾法	26.6	22.3	20.5	18.1	17.8	18.5	11.1
	② 水分計	30.5	20.7	18.4	13.8	14.5	15.9	8.7
	②-①	3.9	- 1.6	- 2.1	- 4.3	- 3.3	- 2.6	- 2.4

第7表 各材種ごとの実際の人工乾燥スケジュール

材種	直前の蒸煮 処理条件		人工乾燥処理条件					
	温度 (°C)	時間 (hr)	乾燥処理 段階	含水率 (%)	乾球温度 (°C)	乾湿球 温度差 (°C)	乾燥時間(hr)	
							各段階	合計
A	ca.80	2	初期	25.8	--	--	---	---
			1	25.8→23.3	50	5	69.5	69.5
			2	23.3→22.5	50	7	22.0	91.5
			3	22.5→15.4	55	10	302.5	394.0
			仕上げ	15.4	--	--	---	---
B	ca.80	2	初期	20.7	--	--	---	---
			1	20.7→19.2	50	5	46.0	46.0
			2	19.2→17.7	50	7	24.0	70.0
			3	17.7→17.4	55	7	21.5	91.5
			4	17.4→15.2	55	10	71.0	162.5
			5	15.2→12.3	55	15	124.5	287.0
仕上げ	12.3	--	--	---	---			
C	ca.75	2	初期	21.0	--	--	---	---
			1	21.0→18.9	50	5	46.0	46.0
			2	18.9→17.2	55	7	47.0	93.0
			3	17.2→14.2	55	10	70.0	163.0
仕上げ	14.2	--	--	---	---			
D	ca.80	4	初期	22.2	--	--	---	---
			1	22.2→19.2	50	5	50.0	50.0
			2	19.2→17.8	55	7	25.5	75.5
			3	17.8→15.8	55	10	44.0	119.5
			4	15.8→13.9	55	15	41.5	161.0
仕上げ	13.9	--	--	---	---			
E	ca.80	1	初期	18.2	--	--	---	---
			1	18.2→16.5	50	5	33.0	33.0
			2	16.5→14.6	55	7	39.0	72.0
			3	14.6→12.9	55	10	35.0	107.0
仕上げ	12.9	--	--	---	---			