

## 木材の低コスト乾燥技術に関する研究

1995年度～1997年度(県単)

近藤和幸 菱田重寿  
榊原弘修 大林育志

### 要 旨

木材の乾燥を実施する際の材の選別が、乾燥終了時の仕上がり具合にどのように影響するかを調べた。同一断面で、心材色・年輪幅等、見かけ上の大きな差異がない材を、当初含水率の近いもの同士でまとめて乾燥させれば、均一な乾燥や乾燥期間の効率化に寄与出来ることが確かめられた。

#### I. 目的

スギの並材は、今後蓄積の増加が見込まれるが、鉄・コンクリート、さらには輸入木質材料を含めた外材等に伍して、主に構造用建築材料として需要を伸ばしていくには、曲がり・割れ・かびといった欠点の除去はもちろん、寸法精度が保証されているが必要となってくる。阪神大震災以降一層、木造建築では施行後に狂いの少ない乾燥材の需要が増大してきているが、量・質ともに安定した乾燥材の供給体制が築かれていないため、プレカット工場などで集成柱に切り替えるところが多くなっている。木材の寸法安定性は、適正な含水率に到達してはじめて得られるものであり、このためには乾燥作業が少しでも効率良く行われなければならない。

人工乾燥の方式には、当センターに設置されている蒸気式・除湿式といった一般的な方法を始め、各種存在するが、ここでは、どの方式の場合でも、乾燥時間の短縮化、仕上がり時のばらつきを減少させることに役立てるという観点から低コスト化を捉えた。また、場所と時間が確保できるならば、

有償エネルギーを必要としない天然乾燥の利点も無視できないが、古くから広く実施されている乾燥法であるのかかわらず、発表されているデータは比較的少ないので、人工乾燥の前処理としての天然乾燥についても試行してみた。

#### II. 木材人工乾燥の状況

主要乾燥機メーカーの納入実績では最近5年間(1991～1995)は、約90%を蒸気式乾燥機が占めていて、装置・方式としての完成度も高い。なお、当センターにも灯油と電気を熱源とした蒸気式乾燥機2機が設置されている。スギの乾燥についても、50～80℃の一般的な温度域においては、メーカー資料・文献等に乾燥スケジュールが紹介されている。実務にあたってはこれら公表されたスケジュールを基にして、仕上がり具合を参考にしながら、時には修正を加えたりといった経験を重ねていくのが、実際的である。

また、蒸気乾燥の他にも天然乾燥・除湿乾燥を始め、さらにより高温域における蒸気乾燥、燻煙乾燥、高周波加熱・減圧式乾燥、遠赤外線乾燥等

Kazuyuki Kondo, Shigehisa Hishida, Hironobu Sakakibara and Yasuyuki Obayashi : A method to save the cost of kiln drying

様々な方式が存在し、今後も新しい考えが試みられるであろう。その中には燃料・装置等の工夫で、大きくコストを下げうる方法が出現する可能性もあると思われる。

### Ⅲ. 試験方法

#### 1. 板材天然乾燥

市場で購入した径級30cm以下の県内産スギ材を9月初旬に長さ2m、幅20cm、厚さ3cmの板材計30枚に製材した。高周波木材含水率計<MOCO-2 (形式HM-520)>で測定し、ほぼ同じ含水率配分にした各15枚ずつを、建物の南側(日中日陰にならない)と北側(日中でも日が当たらない)で、木口割れ防止処理をしないで、地上約30cmの高さから材と同厚の栈木を用い、1列3枚・5段に栈積みして、木口面を開けた状態でシートを被せておいた。これを雨天を除いてほぼ7日おきに栈積みの配置を変えながら高周波含水率計で含水率を測定して、目標含水率到達後、割れの発生状況を調べた。

#### 2. 原木天然乾燥

林齢18年のスギ88本を11月に伐採、1番玉4mに採材して約1カ月林内に置いた後に重量を測定し、皮付きのまま日中日陰にならない場所で三角形にはえ積みして約4カ月経過後重量を測定した。また、各材は径級に合わせて正角材(背割り無し)に製材して割れの状態を観察した。さらに表-1の乾燥スケジュールで人工乾燥し、高周波木材含水率計で含水率を確認した後に再度、割れの状態を観察した。

#### 3. 人工乾燥

ある含水率範囲の材を25%まで乾燥させるのに必要な日数を求めた。また、含水率以外の要素が乾燥経緯に及ぼす影響も調べようとした。

(1) 市場で購入した径級16~22cm、長さ3ないし4mの県内産スギ原木を、12.0cm正角に

製材して背割りを入れた。

(2) 丸身や、腐れ等極端に欠点の多い部分と、乾燥が進んでいたり、割れが発生していたりする木口部分を避けて、長さ100cmの試験材を木取って、電子台はかりで重量を測定した他、色彩色度計で心材色、また心材率・平均年輪幅も測定した。木口からの蒸発を防ぐため、各種測定後すみやかに両面にシリコンコーティングして室内暗所に置いた。

(3) 試験材を採取する際に、試験材の両端で含水率測定用に試験材と同様に欠点を避け、特に大きな節が入らないようにした厚さ2cm程度の試験片をとった。

(4) 試験片は直ちに16分割して上皿電子天秤天秤で重量を測定した後、105℃の恒温乾燥器に入れ、最低24時間後に再度重量測定し、全乾法で含水率を算定した。

<全乾法含水率(%)>

$$(\text{生材重量} / \text{全乾重量} - 1) \times 100$$

(5) 試験片の含水率が試験材の含水率に等しいものとして、ある含水率前後2.5%の範囲までをその含水率グループとした。

例：含水率85%のグループの含水率

$$\Rightarrow 82.5 \sim 87.5\%$$

<試験材の全乾重量>

$$\text{試験材重量} / (0.01 \times \text{試験片含水率} + 1)$$

(6) 試験には、実験用乾燥装置を用いた。乾燥室に栈木代用枠を設置し、12.0cm正角の場合、1段3本、計4段で最大では12本まで収容できるが、同じグループとなる試験材が揃いがたかったため、一つのグループ構成は最低2本とし、図-1のように代用枠3段分または2段分を用い、グループ以外は風の流れ等の影響が出ないようにダミー材を配置した。

(7) グループ中、中位の含水率を示す材(2本の場合が高い方)を基準にして表-2の乾燥スケ

ジュールに従い人工乾燥を実施した。

(8) 1回の乾燥実施にあたって、二つ以上のグループが出来た時は、どちらかのグループの含水率推移に従った。なお、以下スケジュールを制御するグループを第1、そうでない方を第2と称する。

(9) 乾燥実施中、適宜試験材を取り出し、重量を測定して含水率を算定した。この際送風が1方向から来るとい装置の特徴を踏まえ、乾燥進捗への偏った影響が出ないように、試験材の位置をランダムに変更した。

<ある時点での試験材含水率(%)>

$$(\text{試験材重量} / \text{試験材全乾重量} - 1) \times 100$$

(10) 乾燥は基準材の含水率が25%になるまで行い、到達した時点で熱賦与と送風を止めた。

表-1 乾燥スケジュール

含水率 (%)	乾球温度 (°C)	湿球温度 (°C)
生 ~ 80	55.0	52.0
80 ~ 65	55.0	51.0
65 ~ 55	55.0	50.0
55 ~ 45	60.0	53.0
45 ~ 37	60.0	51.0
37 ~ 30	60.0	49.0
30 ~ 25	65.0	52.0
25 ~ 21	65.0	50.0
21 ~	70.0	51.0

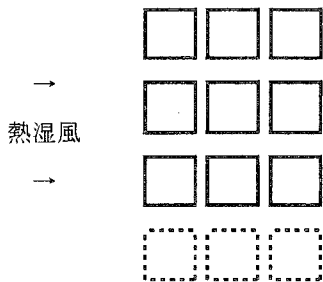


図-1 乾燥室内における棧積み状況

表-2 乾燥スケジュール

含水率 (%)	乾球温度 (°C)	湿球温度 (°C)
生 ~ 75	60.0	57.0
75 ~ 70	60.0	56.5
70 ~ 65	60.0	56.0
65 ~ 60	60.0	55.5
60 ~ 55	60.0	54.5
55 ~ 50	60.0	53.5
50 ~ 45	60.0	52.5
45 ~ 40	60.0	51.5
40 ~ 35	60.0	51.0
35 ~ 30	60.0	50.0
30 ~ 25	65.0	54.0

#### IV. 結果及び考察

##### 1. 板材乾燥

15枚の材のうち12枚(8割)の含水率が25%以下になった時を天然乾燥の終了とした。この結果、南側では38日、北側では69日を要した。

さらに製品としての欠点になる貫通割れの発生状況は表-3のとおりであった。

表-3 貫通割れ発生枚数

	①	②	③	④
南側	6	2	7	2
北側	2	0	4	1

① 木口で4.5cmを超えるもの

② 材面で33cmを超えるもの

③ 木口で4.5cm以下のもの

④ 材面で33cm以下のもの

##### 2. 原木乾燥

林内から搬出後の重量と4カ月はえ積みした後の重量を比較すると、平均の重量減少率は23.0%、最大では47.4%、最小では5.3%であった。

両端部を観察すると、88本中42本の材に幅1mm以上の木口割れが生じていた。ただし、長さが15cmを超える割れは存在しなかった。

さらに両端部を適当に切断して長さを3mに揃えた後、径級に応じてなるべく丸身を残さないように正角材に製材したところ、10.5cm角10本、9.0cm角25本、7.5cm角46本、6.0cm角7本が生産できた。この時、1面以上に幅1mm以上の材面割れがあった材が6本あった。

これらの材にさらに人工乾燥を施し、すべての材の含水率が高周波含水率計で20%以下になったのを確認した。人工乾燥後、幅1mm以上の材面割れが認められた材は12本となった。ただし、人工乾燥前1面にあった幅1mm以上の割れが、乾燥後ほとんど閉じてしまった材が1本あった。

天然乾燥で到達する含水率は気乾含水率付近が限度で、一般には25%程度までと考えられている。人工乾燥の前処理として、含水率を減少させる目的での天然乾燥は有効な手段だが、広い場所と材をストックしておける資金のゆとりが必要となるのに加え、スギのように個々の生材含水率のバラツキが大きい材料をある程度均等な状態にまで到達させるには、かなりの時間を要する。

さらに通常、割れの発生を防ぐことはなかなか困難で、割れ防止のため、適正な積積み、重石、木口処理等を考えなければならない。表-2に示すように人工乾燥の前処理として天然乾燥を実施した時、天乾時に生じた割れが人乾の際に広がる場合もあるで、より一層の注意が必要となる。

### 3. 人工乾燥

合計10回の試験を実施した。その結果を表-4・5及びに図-2に示す。

表-3 目的含水率到達日数

当初含水率 (グループ本数)	日数	乾燥終了時 グループ内 含水率範囲
40 (2)	3.25	- ~15.7
45 (2)	3.50	- ~17.7 ※
55 (3)	6.75	27.1~20.4
60 (3)	7.50	30.2~21.5
60 (4)	8.25	26.0~16.6
80 (2)	10.00	- ~22.2 ※
90 (3)	12.25	31.3~24.4
90 (2)	12.75	- ~18.9 ※
115 (2)	12.50	32.0~18.5 ※
140 (2)	15.25	- ~23.4

※は、第2グループが存在

表-5 第1グループ終了時の第2グループ  
含水率範囲

第1グループ 当初含水率	第2グループ	
	当初含水率(本数)	含水率範囲
45	65 (2)	50.3~45.4
80	120 (2)	37.4~31.1
90	75 (2)	25.4~16.6
115	70 (2)	21.2~17.4

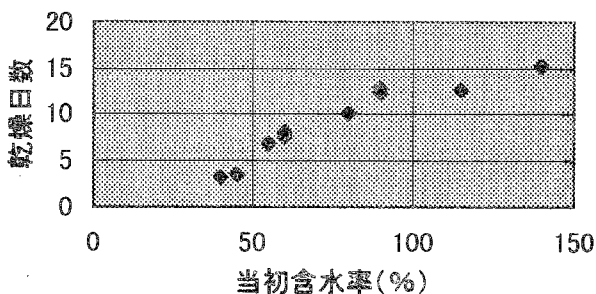


図-2 当初含水率と乾燥日数

以上の結果から、乾燥難易は当初含水率に大きく規制されていることがわかる。また、同一スケジュールの下で異なる含水率の材を乾燥させることは、ある材には適当であっても、その他の当初含水率の異なる材については過乾燥または未乾燥の状態になっている可能性が非常に大きい。

乾燥が終末に近づいたとき、不揃いな含水率を均一にするために多少高湿状態にして先行乾燥している材の乾燥進行を停止させ、乾燥の遅れている材が乾燥するのを待つ操作を調湿(イコーライジング及びコンディショニング)と称する。調湿時間は乾燥終了時の含水率のばらつき程度と均一化の幅で異なり、含水率のばらつきの大きいものでは乾燥日数の約25%、少ないもので10%以上の時間を要すると言われている。ここで用いた乾燥スケジュールには調湿の考えは反映させていないが、質の高い乾燥結果～仕上がり含水率が均一～を求めようとすれば、適正な温度管理を施した上で、さらに日数が必要となることになる。

当初含水率を揃えて乾燥されることで、過剰な時間をかけることなく、乾燥終了時のばらつきも改善することが期待でき、調湿作業の短縮化も図ることができる。

なお、心材色、心材率、平均年輪幅の差はサンプル数が少ないことと、試験材が示す数値自体に明瞭な差が現れなかったこと等により、乾燥難易への影響を明確にできなかった。しかし、これは、赤心と黒心、あるいは年輪幅が2倍もあるにもかかわらず径があまり変わらない原木から挽いた材、といった見かけ上で判断できるような極端な材同士を混在をさせない限り、それほど留意しなくてもよいことを示しているとも言える。

人工乾燥の現場では、施設のイニシャルコスト、燃料効率を考えて大きな乾燥室を設置することになりがちではないかと思われる。当センターの実大材木材乾燥機の乾燥室は容量10石という企業

ベースから見ればかなり小さな規模であるが、夏季に材を半量ほど入れ、残りのスペースを埋めるまでの数日の間に材面がカビだらけになったこともある。乾燥室の大きさが自由に換えられない限り、事業者は乾燥材生産量、材の種類・分別、時期等にあわせて複数の大きさの異なった乾燥室を設置することが、ランニングコストの低減と質の高い乾燥を実施するという点からの一つの理想であろう。

## V. おわりに

乾燥の実施にあたっては、同質な材をまとめることに留意したい。

- 1) 同一の樹種・断面寸法・製材部位(ex. 心持ち・心去り)で揃える。
- 2) 材色、年輪幅、心材率等(見かけ)を揃える。
- 3) 乾燥の途中経過を複数の材でモニター出来るようにする。
- 4) 当初含水率を把握して、近いものをまとめる。
  - a. 含水率を求めるには、全乾法が最も確実だが、材料を切り刻まなければならない、実際には実行しにくい。
  - b. 上記の1)、2)を実行すれば、材の全乾密度に大きな差はないと考えられるので、重量の大小をほぼ含水率の高低と見なせる。
  - c. 高周波含水率計の測定深度限界は、1～2cmと比較的浅いので、柱材・梁材といった大断面の材では不確実になる。特にスギは材内の含水率傾斜が大きいため、この傾向が著しい。

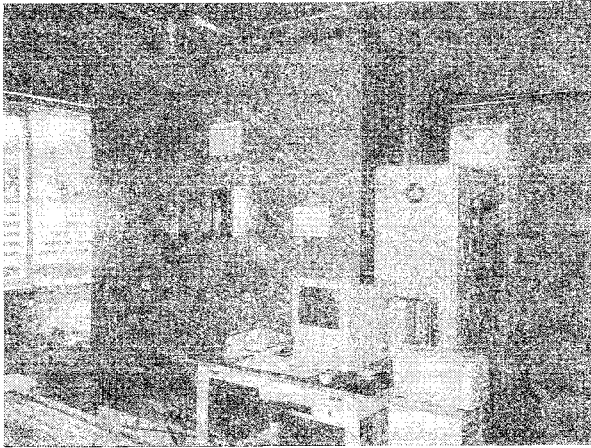


写真-1 実験用乾燥装置

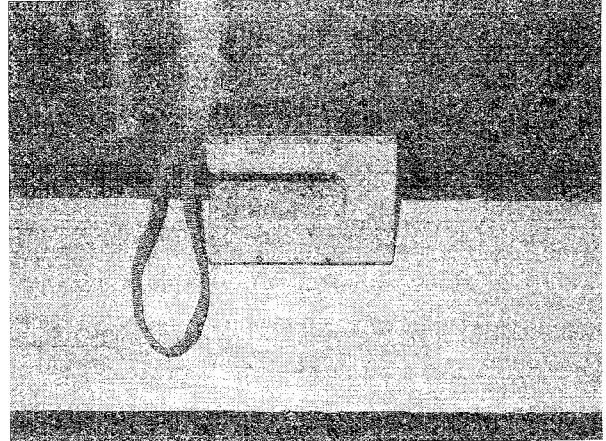


写真-4 高周波含水率計

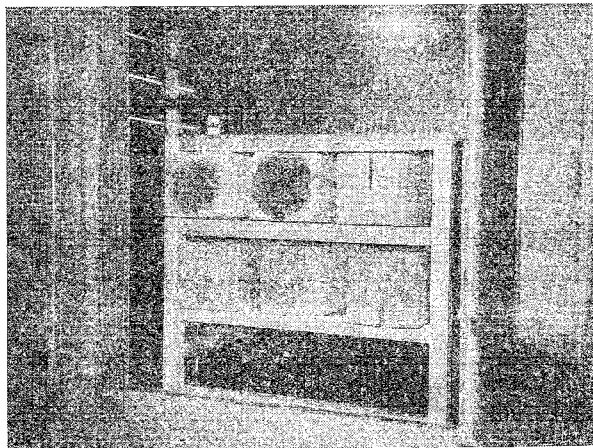


写真-2 乾燥装置の内部



写真-5 試験材の重量測定

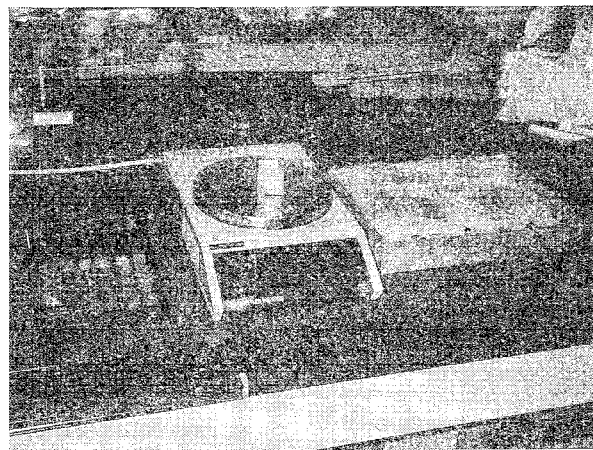


写真-3 試験片含水率の全乾法による測定

## VI. 引用及び参考文献

- 1) 農林水産省：針葉樹の構造用製材の日本農林規格 (1991/1994)
- 2) 寺澤 眞：木材乾燥のすべて (1994)
- 3) 西尾 茂：木材乾燥の実際 (1983)
- 4) 久田卓興：木材乾燥の現状と課題 (1997/木材乾燥セミナー)
- 5) 寺沢真・筒本卓造：木材の人工乾燥 (1976)
- 6) 近藤和幸等：精英樹造林木の材質に関する研究 (1997/愛知林セ報No. 34)