

# スギ材の天然・人工連係乾燥技術の研究

2001年度～2003年度（県単）

近藤和幸\* 豊嶋 勲 大林育志

## 要 旨

建築用材としてスギを始めとする国産針葉樹乾燥材への要請は高まっており、材料としての信頼性の点からもはや生材での流通には限界があるとも言われている。しかし現在スギ並材価格は抑えられ、乾燥材化のための経費を上乗せするのは難しい状況にある。こうした状況からスペースの確保と長い時間を要する天然乾燥、短時間だがランニングコストが大きい人工乾燥の組み合わせることにより、スギ並材乾燥材増加への寄与を目指した。

一般には一定期間の天然乾燥後に人工乾燥を施せば、含水率が減少していた分だけ時間が短縮すると考えられているが、逆に人工乾燥を先行させると、材面割れの発生を抑えられ品質の向上にもつなぎ得ることがわかった。また、高温低湿乾燥に伴う割れは24～48時間の間で最も多く発生すると推察された。当初含水率80%台の材は高温低湿乾燥40時間前後で、30%台となりこの時点で天然乾燥に移行させることが、含水率管理の点からは無難と思われる。一度高温低湿に供した材の再乾燥・乾燥材化は含水率50%以下ならば最大36時間程度で可能となる。

## I 目的

スギを始めとする国産針葉樹建築材に対して、工業材料的な一定の品質への要請から乾燥材化への対応が求められるようになって久しい。しかし、現在市場等では乾燥材が活発に取引されているとは言いがたい状況にある。この要因の一つとして、主に化石燃料を中心とした人工乾燥に必要なコストが価格へ反映されにくい状況にあることが指摘できる。スギでは乾燥材として認められる含水率25%以下に到達するまで、当初含水率が100%（木材実質に対して同量の水分を含んでいる状態）を超えるような場合、技術的にはほぼ確立している50～80℃の中温域蒸気乾燥のみでは3週間以上を要

することも稀ではない。この解決のため、近年では100℃を越える高温域を用いて乾燥時間の短縮を図ろうとする試みが各地で行われるようになってきた。しかし、設定温度を高くすると燃料経費も高くなることは避けられない。

本研究は、基本の人工乾燥に天然乾燥を組み合わせることによって、コスト・欠点発生の抑制を実現することを目指したものである。

## II 方法

天然乾燥のみで乾燥材を生産しようとするのは、乾燥しやすい薄板等一部の場合を除いては所要時間が多くかかるうえ不明確であり現実的とは

いえない。ある程度の期間天然乾燥した材は、含水率が減少しており、これに引き続き人工乾燥を施した場合、乾燥速度の点からは一般に有利と考えられるが、その際の問題点を心持ち無背割り材で検討した。

#### 1. 天然乾燥と人工乾燥の順序

##### (1) 天然乾燥後人工乾燥

試験林内で伐採した末口径14~24cm、樹齢32~37年生の4mスギ丸太から正角材に製材し、長さ300cmの9.5cm角14本・11cm角10本・12.5cm角27本の試験材を調製した。この際、試験材の両木口に接する部分から当初含水率算出用の試験片(厚さ約2cm)を採取した。

これらの試験材を露天及び屋根下で天然乾燥させた後、乾球温度60~65℃・湿球温度58℃(以下この温度設定を「中温域乾燥条件」という)で蒸気式乾燥を施し、この間随時重量(含水率)・表面割れ長さ等を測定した。

##### (2) 人工乾燥後天然乾燥

当センター構内で伐倒した末口径14~26cm、樹齢33年生のスギ丸太から(1)と同様、長さ300cmの10.0cm角24本・11.5cm角4本・13.0cm角13本の試験材を調製した。

これらを乾球温度120℃・湿球温度90℃の高温域(以下この温度設定を「高温低湿乾燥」または「高温低湿乾燥条件」という)で蒸気式の人工乾燥をした後、野外屋根下で天然乾燥に供し(1)と同じように重量等の測定をした。

#### 2. 材面割れの発生時点

##### (1) 48時間の人工乾燥

市場購入した地元産の末口径22~26cm、樹齢34~36年生スギ丸太から作製した長さ300cmの13cm角材23本と、北設楽郡豊根村で6月に伐倒・玉切りの後、約5カ月間林内放置しておいた末口径18~22cm・林齢35年生丸太(2または3番玉)から作製した長さ300cmの10cm正角試験材10本を、48

時間、高温低湿乾燥を施した。

##### (2) 18時間の人工乾燥

(1)と同様に市場購入した、地元産末口径22~26cm、樹齢35年生丸太から、長さ300cmの13cm角試験材を作成し、同様の条件で18時間乾燥した。

(1)(2)ともそれぞれ24時間養生を施した後、各種の測定を行ってから屋根下で天然乾燥させ、約1カ月後から随時含水率・表面割れ長さ・材面幅等を測定した。

#### 3. 適切な高温低湿乾燥持続時間

市場購入した地元産末口径24~28cm、樹齢34~38年生の4mスギ丸太から長さ100cmの13cm角試験材3本を作製した。短材のため、過乾燥対策として両木口にシリコン塗布を施した。1回の試行には試験材9本を用い、材面割れ防止のため乾球・湿球温度90℃で6時間蒸煮後、高温低湿乾燥条件に移行させ、各次の施行毎に持続時間を変えて、乾燥の進捗や材面割れの発生具合を測定した。人工乾燥後は野外屋根下で天然乾燥させ、随時同様に含水率等の測定を行った。

#### 4. 人工乾燥後天然乾燥、再度人工乾燥

これまで使用した試験材のうちから、乾燥材としての基準含水率25%に達していないものについて蒸煮行程を省いて高温低湿乾燥を36時間行った。最初の人工乾燥時に両木口に塗ったシリコン剤は破れたり、膨らんだりしているが、それについては考慮せずそのままの状態でも人工乾燥に供した。

なお、以上の人工乾燥の際、300cm材では灯油燃料の実大材用IF型蒸気式乾燥機(風向2時間毎切り替え)を、100cm材では電気式実験用乾燥機(風向一定)を用いた。

### III 結果と考察

#### 1. 天然乾燥と人工乾燥の順序

##### (1) 天然乾燥後人工乾燥

試験材の当初含水率分布は、

- 9.5cm角が 21.0～69.8%
- 11.0cm角 30.0～92.1%、
- 12.5cm角 25.1～94.6% であった。

12.5cm角試験材中、含水率が中央値付近の材を基準に10月初旬からその基準材が繊維飽和点(含水率30%程度)となった58日目まで天然乾燥を行った。それ以降は含水率15%に達するまで、96時間中温域条件の人工乾燥を継続、加熱終了後は乾燥室内で養生を24時間行った。

図-1に露天で天然乾燥させた12.5cm角試験材の含水率減少経過を示す。

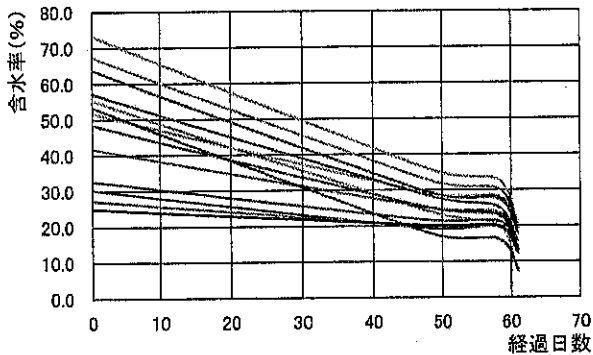


図-1 天然乾燥後人工乾燥含水率経過

表-1に1材面あたりに生じた割れ長さの計(平均値)を示したが、天然乾燥終了時で既にほぼ材長に等しいくらいの割れが生じていた。また、屋根下で行った天然乾燥と比較して含水率の減少割合、割れの発生に大きな差はみられなかった。

表-1 1材面あたりの割れ長さ計(平均値)

	生材時	天乾後	人乾後
9.5cm角	25.2	265.8	281.4
11.0cm角	0.0	285.6	275.3
12.5cm角	30.0	275.3	313.8

(単位cm)

なお、人工乾燥後に一部割れが閉じて測定不可となったものもあった。

(2) 人工乾燥後天然乾燥

使用した試験材の当初含水率は、

- 10cm角 60.4～147.0%、
- 11.5cm角 71.7～89.5%、
- 13cm角 9.8～155.0% で

これらに対し24時間ずつ高温低湿乾燥と養生を行った。図-2に13cm角試験材の含水率減少経過、表-2に1材面あたりに生じた平均割れ長さを示す。

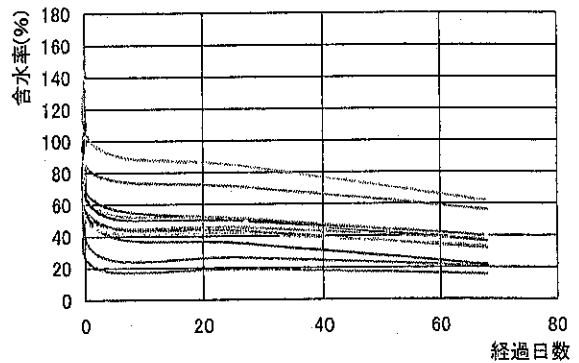


図-2 高温低湿乾燥後天然乾燥含水率経過

表-2 1材面あたりの割れ長さ計(平均値)

	生材時	人乾後	天乾後
10.0cm角	16.9	65.7	68.5
11.5cm角	1.3	85.7	100.1
13.0cm角	53.1	196.0	222.1

(単位cm)

(1)(2)から、人工乾燥の前処理的に天然乾燥を行うと割れの発生が著しくなることがわかった。それに対し、人工乾燥後に天然乾燥を行った場合には割れの発生・伸長が緩やかであるため、材面の仕上がりの点からは、この順が有利と考えられる。ただし、人工乾燥後に各試験材の含水率はほぼ2/3程度まで減少していたが、この時点で含水

率50%を超えていた材は天然乾燥が70日を経過しても乾燥材として認められる25%まで達することはなかったため、含水率を低下させる意味からは本試行の人工乾燥時間では不足しているのが明らかであった。

2. 材面割れの発生時点

(1) 48時間の人工乾燥

全乾法による試験材の当初推定含水率分布範囲は、

13cm角：範囲53.9%～179.1% (平均値85.7%)

10cm角：範囲31.2%～87.8% (平均値57.0%)

いずれも目視で確認できる材面割れはなかった。

高温低湿乾燥後、重量から推定した含水率は

13cm角：範囲29.9%～62.2% (平均値50.7%)

10cm角：範囲25.5%～57.8% (平均値48.0%)

であったが、同時に試験材中央部を高周波式水分計で測定した含水率の分布範囲は、

13cm角：範囲9.0%～40.5% (平均値13.6%)

10cm角：範囲8.5%～19.5% (平均値10.0%)

となっていた。この値は天然乾燥開始から約1ヵ月後に測定すると、

13cm角：範囲12.5%～37.0% (平均値14.2%)

10cm角：範囲8.5%～23.5% (平均値13.7%)

になっており、一見含水率が上昇しているが、重量推定の含水率算定ではこの時、

13cm角：範囲23.4%～51.4% (平均値38.6%)

10cm角：範囲21.6%～48.8% (平均値29.8%)

となっており確実に含水率は減少している。材表面から2cm程度の深さが測定範囲という水分計の特性から考えて、人工乾燥後には表面付近はよく乾いているものの、材中心付近にはかなりの水分が残っていることが推定される。

(2) 18時時間の人工乾燥

13cm角試験材当初推定含水率分布範囲は、

48.3%～137.5% (平均値87.3%)

を示し、こちらも目視で確認できる材面割れはな

かった。

高温低湿乾燥後の重量推定含水率は、

32.5～106.5% (平均値77.7%)

同時に測定した高周波水分計による含水率の分布範囲は、

11.0～85.0% (平均値54.7%)

となり、全乾当初含水率が48.3～80.5%であった5本については25%を下回っていたが、ほぼ実際値と考えていい重量測定による推定値とはかなりの開きがある。

なお、約1ヵ月後に同じく水分計で測定した含水率の範囲は、11.5%～70.5% (平均値44.3%) になっていた。

(1) (2)とも人工乾燥後全ての試験体で両木口の内部割れが確認されたが、材面割れについてはばらつきがあり、目視出来た割れの状況を表-3及び表-4に示す。

表-3 人工乾燥後の割れ発生状況

割れのな い材面数	(1) 13cm角 (本)	(1) 10cm角 (本)	(2) 13cm角 (本)
0	0	1	7
1	6	3	6
2	9	4	3
3	6	1	3
4	2	1	1

表-4 1材面あたりの平均割れ長さ計

試験別	生材時	人乾後	天乾1ヵ月
(1) 13cm角	0.0	11.0	8.6
(1) 10cm角	0.0	29.5	28.5
(2) 13cm角	0.0	77.7	81.5

(単位cm)

(1)では人工乾燥後に割れのなかった材面では天然乾燥中に新たな割れが生じることなく、逆に閉じていく傾向にあった。10cm角の値が13cm角のそ

これに比べてかなり大きかったのは、林内放置中に生じていたと考えられる干割れに起因するものと推定される。

これに対し(2)では人工乾燥後には割れを確認出来なかった材面においても天然乾燥中に割れが発生したケースもあった。1.(2)で24時間蒸気乾燥を実施した場合と比較すると、平均割れ長さはその半分以下であり、このことから高温低湿条件を保った時、最も多く割れの発生する時間は24時間以上48時間未満と考えられた。

また、図-3に(1)13cm角の当初含水率と人工乾燥・養生後含水率(水分計による4材面中最大値)の相関を示す。当初含水率の高かった一部を除いて大半の材が10%台を示していた。連係する天然乾燥を見込めば、当初含水率の低い材に対しては、乾燥時間をなお若干短縮させることが可能と思われる。

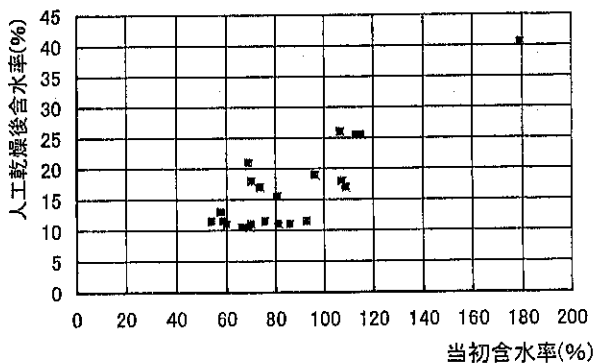


図-3 当初及び人工乾燥後含水率

### 3. 適切な高温低湿乾燥持続時間

蒸煮6時間のあとの高温低湿乾燥時間を36・42・66時間に設定した。

66時間の設定(計72時間+養生24時間)では、重量から推定した試験材の当初含水率範囲は、

84.8%~113.5%(平均値98.9%)であったが、養生後同様の計算では、

10.4%~25.0%(平均値16.3%)

となっていた。

この結果は、これまでの知見と比較するとかなり減少のペースが速くなっており、実大材(300cm)ではなく短材(100cm)を用いた影響によると考えられるが、実大材においても100%前後までの含水率材を乾燥材化するにも十分な時間と考えられる。

42時間の設定(計48時間+養生24時間)では試験材の重量推定当初含水率範囲は、

51.2%~105.3%(平均値83.5%)、

養生後の計算では、

22.7%~59.2%(平均値34.7%)となった。

さらに36時間設定(計42時間+養生24時間)では試験材重量推定当初含水率の範囲は、

66.0%~119.5%(平均値86.5%)、

養生後の測定では、

15.4%~64.4%(平均値35.8%)となった。

(図-4)

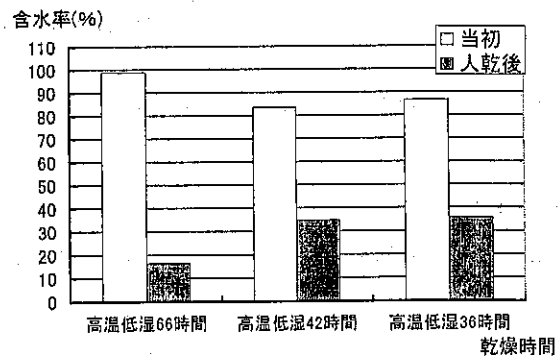


図-4 人工乾燥時間と含水率

高温低湿乾燥に要する時間あたりコストは中温域の乾燥条件に比べて大きいので、仕入れや人工乾燥から出荷までの期間に応じて乾燥時間を定めるのが望ましいと思われる。

### 4. 人工乾燥後天然乾燥、再度人工乾燥

試行に供した材の含水率は、

29.2%~78.2%(平均値47.4%)であった。

再度高温低湿乾燥をかけたところ、表-5のように乾燥前に生じていた材面割れ長さも殆ど変化がなく、図-5に示すよう開始時含水率50%以下の材の全てが25%以下となった。開始時に含水率の低い材ほど早い時点で25%までに達しているの、あらかじめ含水率の近い材を仕分けてグループ化してから乾燥処理することが必要となる。

表-5 1材面あたりの割れ長さ(平均値)

	開始時	終了後
13.0cm角	76.4	80.3

(単位cm)

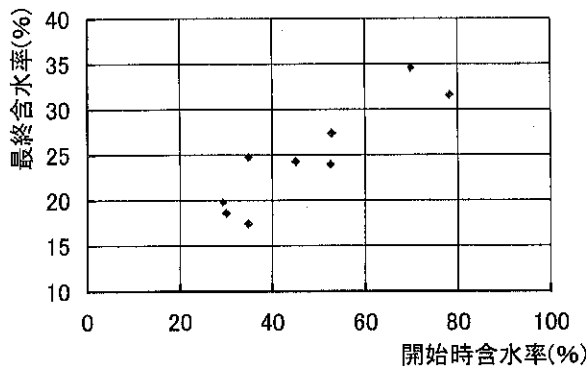


図-5 再度高温低湿乾燥36時間

#### IV まとめ

乾燥材をつくるにあたり、一定の含水率以下にすることが大前提であるが、その際材の欠点を抑えるという、品質＝見栄えの面も考慮に入れておくべきと考える。その観点から木口に現れる内部割れの発生は避けられないものの、製材後速やかに高温人工乾燥を施し、ある程度の含水率まで下げた時点で天然乾燥に供しておけば、製材後に長時間天然乾燥した材に比べて材面割れが抑えられ、品質の向上に寄与する可能性がある。

一方天然乾燥ではいわゆるエネルギーコストはかからないが、含水率の低下速度が明確にはできないため、需要時期に合わせて含水率の近い材を

まとめて短期の高温低湿乾燥を施し、所定の含水率まで下げて出荷することもひとつの方法として有効と思われる。

#### V 参考文献

- (1) (財)日本木材加工協会 (1998) 木材乾燥講習会テキスト、151pp
- (2) (財)日本木材加工協会 (1999) 最新木材工業事典、316pp
- (3) (社)全国木材組合連合会 (2001) 乾燥材生産の技術マニュアル、99pp
- (4) 河崎弥生 (1998) : 木材工業 vol. 53、No.4、166-171
- (5) 吉田孝久ら (1998) : 地域産材を利用した高信頼性構造用材の開発ースギ柱材の高温乾燥法の確立ー、長野県林業総合センター平成10年度業務報告
- (6) 吉田孝久ら (2000) : カラマツ及びスギ心持ち柱材の高温乾燥特性ー高温低湿乾燥条件が乾燥特性に及ぼす影響と曲げ試験性能ー、長野県林業総合センター研究報告 (第14号) 別刷