

地域の環境に適したスギ心持ち柱材の乾燥技術の確立

— 高温低湿処理と天然乾燥の組み合わせによる乾燥方法 —

三 枝 茂 鈴木泰仁

Establishment of cedar boxed-heart timber drying technology suitable for the local environment
— A drying method combining high temperature and low humidity processing and natural drying —

Shigeru SAIGUSA, Yasuhito SUZUKI

Summary : High temperature and low humidity processing to prevent surface cracking (dry-bulb temperature: 120°C, wet-bulb temperature: 90°C, 24 hours) was performed on cedar boxed-heart timber without back splitting (12 cm square x length: 3 m) immediately after sawing. Following this, the timber was allowed to dry naturally in order to conserve energy. This experiment was carried out twice in Nanbu-cho, Yamanashi Prefecture from winter to summer and from summer to fall. The amount of time required for the moisture content of the timber to decrease to approximately 20% of the moisture content of the raw material was 5-6 months during the winter to summer period and 3-4 months during the summer-fall period. Although some of the surface cracking of the timber dried naturally after high temperature and low humidity processing was only minor, there were also relatively prominent cracks. Deformation such as bending or contraction did not impair use. Dark discoloration of the timber was observed after high temperature and low humidity processing. The average amount of kerosene used in high temperature and low humidity processing was 2.91 liters for each piece of timber.

要旨 : 製材直後のスギ心持ち無背割り柱材 (12 cm 角×長さ 3 m) に材面割れ防止の高温低湿処理 (乾球温度 120°C、湿球温度 90°C で 24 時間) を施し、その後エネルギー節約のために天然乾燥を行った。試験は南部町森林組合富士川木材共販所で冬季～夏季と夏季～秋季の 2 回行った。柱材の含水率が生材から 20% 近辺まで低下する期間は冬季～夏季では 5～6 ヶ月、夏季～秋季では 3～4 ヶ月程度必要であった。高温低湿処理後天然乾燥した柱材の材面割れは軽微なものもあったが、比較的目立つものもあった。曲りや収縮などの変形は利用上支障となるものはなかった。材色は高温低湿処理により濃い変色が見られた。高温低湿処理による灯油の使用量は柱材 1 本当たり平均 2.91 リットルであった。

1 はじめに

木材の乾燥には燃料を燃やしその熱を利用する人工乾燥と、天日を利用した天然乾燥がある。昨今、地球温暖化防止や原油価格高騰のため、木材乾燥においてもエネルギーの削減が求められている。天然乾燥で木材を乾燥すると、心持ち無背割り柱材は材面に割れが生じ、外観を損ねるといった欠陥がある。しかし、製材直後に柱材を高温低湿処理 (乾球温度 120°C、湿球温度 90°C) したものはその後天然乾燥しても材面の割れが少なくなることが報告^{1)、2)、3)}されている。そこで、これらの技術を利用

し、地域の気象特性に適したスギ心持ち無背割り柱材の乾燥技術を確立する。

2 試験方法

2.1 試験地と試験材

試験は山梨県の南西部に位置する南部町森林組合富士川木材共販所で行った。試験材は、同組合に集材されたスギ丸太より製材した 12 cm 角×長さ 3 m の心持ち無背割り柱材を使用した。この柱材は最終製品の仕上げ寸法が 3.5 寸角となる。

2.2 試験設計

試験は高温低湿処理した後に天然乾燥する試験（以後高温低湿処理後天然乾燥と表記）と比較のために高温低湿処理を行わず天然乾燥のみの試験（以後天然乾燥と表記）で実施した。試験過程における重量、寸法、曲りの追跡用に高温低湿処理後天然乾燥は6本、天然乾燥は3本の柱材を使用した。試験過程の水分傾斜、含水率の追跡用に高温低湿処理後天然乾燥は3本、天然乾燥は3本の柱材を使用した。試験は2回行い、冬季～夏季の試験は平成22年1月26日から7月6日の161日間、夏季～秋季の試験は平成22年7月14日から11月15日の124日間行った。試験終了時の割れの測定に高温低湿処理後天然乾燥は冬季～夏季の試験で66本、夏季～秋季の試験で61本の柱材を使用した。天然乾燥は冬季～夏季、夏季～秋季の試験ともに3本の柱材を使用した。

2.3 測定項目と測定方法

試験で測定する項目は、重量、含水率（全乾法、計器）、水分傾斜、割れ、曲がり、寸法とした。測定方法は図1と図2に示すように二種類の方法で行った。図1は試験開始時と試験終了時以外で柱材を切断すると測定できない試験中の重量、含水率（計器）、割れ、曲がり、寸法を測定するために設定した。図2は図1では測定できない試験過程で柱材の切断を伴うことにより求められる含水率（全乾法）、水分傾斜を測定するために設定した。

図1の工程は以下の方法で行う。試験開始時に長さ3mの柱材の両木口から25cm付近で厚さ3cmの含水率測定用試片(L、M)と元口から22cm付近で厚さ3cmの水分傾斜測定用試片(V)を採取する。残り2.5mの柱材全体から試験過程の重量、計器による含水率、割れの観察、曲がり、寸法を定期的に測定する。試験終了時に柱材中央で、長さ30cmの含水率測定用試片(C)と厚さ3cmの水分傾斜測定用試片(W)を採取する。図2の工程は以下の方法で行う。試験開始時に長さ3mの柱材の元口30cm付近から厚さ3cmの水分傾斜測定用試片(U1)、厚さ3cmの含水率測定用試片(Z1)を採取する。残り柱材から同様な方法により定期的に試片を採取して水分傾斜測定（試片U2～U6）、含水率測定（試片Z2～Z6）を行う。含水率測定用試片は切断直後に重量を測定し、105℃の恒温乾燥器で全乾状態にし、その重量を測定して全乾法により含水率を求める。曲りの測定方法は4面について行い、2.5mの柱材の両端から水糸を張り、柱中央部での水糸と材面間の最大矢高を測定し、その値を材長で除して百分率とする。寸法の測定方法は柱中央で4面についてノギスで測定する。水分傾斜の測

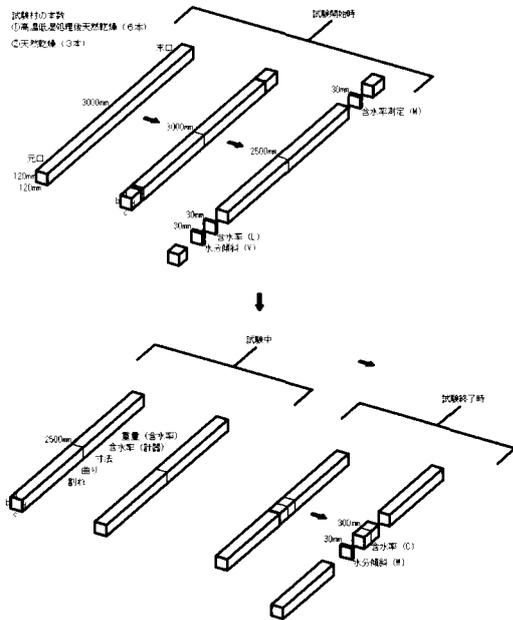


図1 試験方法1

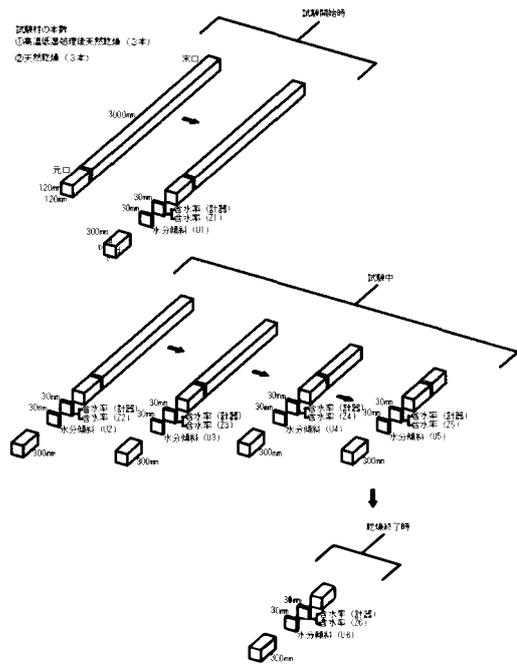


図2 試験方法2

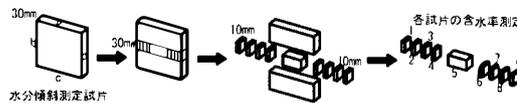


図3 水分傾斜の測定方法

定方法は図3に示すように厚さ3cmの試片中央から幅3cmの試片を採材し、それを9分割した切片の重量を測定し、その後全乾法で含水率を求め水分傾斜とする。

2.4 高温低湿処理方法および天然乾燥方法

高温低湿処理には南部町森林組合富士川木材共販所に配備されている写真1のエノ産業株式会社の木材乾燥装置を使用した。乾燥室は室内の奥行きが8m程度有り、前後に2列で12cm角×長さ3mの柱材を90本×2列=180本装填できる。台車の前方に試験用を含む12cm角×長さ3mの背割りなしスギ心持ち柱材を90本程度装填し、後方には板材を装填して試験を行った。栈積みは厚さ3cmの栈木を用い、柱間の横方向隙間は2~2.5cm程度とし、最上部にコンクリート製の重りを載せた。高温低湿処理方法は初期の加湿と加熱のため湿球温度99℃で8時間蒸煮に設定し、室内を外気温から95℃以上の高温で高湿度になるようにした。次の高温低湿処理を行う工程は、乾球温度120℃、湿球温度90℃で処理時間24時間に設定にした。その後は乾燥装置の加熱と加湿を

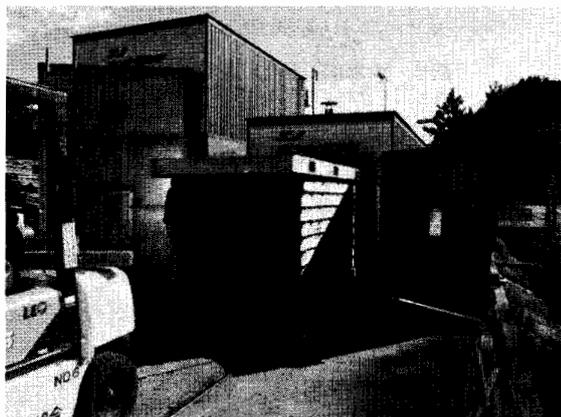


写真1 使用した木材乾燥装置



写真2 天然乾燥の方法

止め自然冷却しながら外気温に戻すように設定にした。天然乾燥の方法は、高温低湿処理した柱材と天然乾燥のみの柱材を写真2に示すように栈積みして倉庫内の通気の良い場所に含水率が20%付近になるまで放置した。

2.5 試験地の温湿度の測定方法

試験地の温湿度の計測方法は写真3に示すような簡易の観測塔を敷地内に設置し、温湿度センサーと記録器を取り付けて測定した。

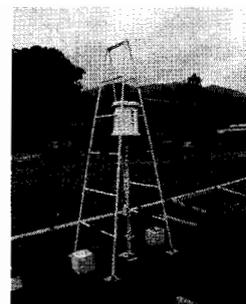


写真3 温湿度の計測

3 結果

3.1 高温低湿処理

高温低湿処理中の乾燥室内の乾球温度、湿球温度の実測値を冬季～夏季の試験で示すと図4となった。プログラムにより湿球温度を99℃で8時間蒸煮を設定しており、乾燥室内が外気温から約3.5時間程度で95℃以上となった。それから同温度で約4.5時間蒸煮を続けた。高温低湿処理はプログラムの設定で乾球温度120℃、湿球温度90℃で24時間としてあり、約10分程度で設定値に近い値となり高温低湿処理を24時間行った。その後はプログラムの設定により加熱と加湿を止め自然冷却により約15時間後に乾燥室内が30℃以下となった。

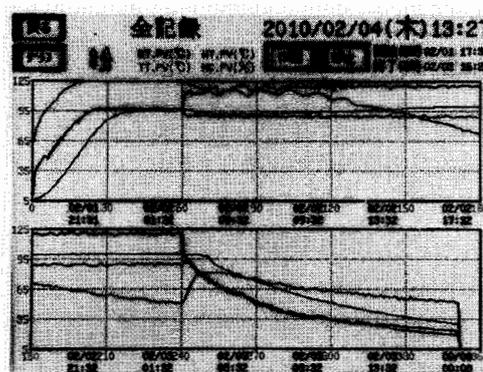


図4 蒸煮・高温低湿処理実測値

3.2 敷地内の温湿度

試験中敷地内で測定した月別平均温湿度、月別最高湿度、月別最低湿度は表1(冬季～夏季)、表2(夏季～秋季)となった。試験期間中の平均気温は冬季～夏季の161日間で14.0℃、夏季～秋季の124日間で22.4℃であった。

表1 温度・湿度 (冬季～夏季)

| H22年1月 | 温度℃ | 湿度% | H22年2月 | 温度℃ | 湿度% |
|--------|------|------|--------|------|------|
| 平均 | 4.5 | 72.4 | 平均 | 5.5 | 79.6 |
| 最大 | 16.7 | 99.9 | 最大 | 21.9 | 99.9 |
| 最小 | -2.5 | 13.1 | 最小 | -7.2 | 10.7 |
| H22年3月 | 温度℃ | 湿度% | H22年4月 | 温度℃ | 湿度% |
| 平均 | 8.9 | 76.3 | 平均 | 12.3 | 78.9 |
| 最大 | 23.4 | 99.9 | 最大 | 26.8 | 99.9 |
| 最小 | -2.5 | 11.5 | 最小 | 2.8 | 9.5 |
| H22年5月 | 温度℃ | 湿度% | H22年6月 | 温度℃ | 湿度% |
| 平均 | 18.0 | 74.9 | 平均 | 22.8 | 80.7 |
| 最大 | 31.2 | 99.9 | 最大 | 34.4 | 99.9 |
| 最小 | 5.1 | 20.7 | 最小 | 11.9 | 24.4 |
| H22年7月 | 温度℃ | 湿度% | 試験期間中 | 温度℃ | 湿度% |
| 平均 | 26.2 | 87.2 | 平均 | 14.0 | 78.6 |
| 最大 | 33.2 | 99.9 | 最大 | 34.4 | 99.9 |
| 最小 | 21.4 | 55.3 | 最小 | -7.2 | 9.5 |

(※)測定期間はH22年1月26日～H22年7月6日

表2 温度・湿度 (夏季～秋季)

| H22年7月 | 温度℃ | 湿度% | H22年8月 | 温度℃ | 湿度% |
|---------|------|-------|---------|------|-------|
| 平均 | 28.0 | 83.7 | 平均 | 28.6 | 84.1 |
| 最大 | 38.2 | 99.9 | 最大 | 38.7 | 99.9 |
| 最小 | 21.6 | 42.2 | 最小 | 21.8 | 41.9 |
| H22年9月 | 温度℃ | 湿度% | H22年10月 | 温度℃ | 湿度% |
| 平均 | 24.8 | 83.7 | 平均 | 18.3 | 85.8 |
| 最大 | 38.0 | 99.9 | 最大 | 32.6 | 99.9 |
| 最小 | 13.8 | 29.0 | 最小 | 8.3 | 31.8 |
| H22年11月 | 温度℃ | 湿度% | 7月～11月 | 温度℃ | 湿度% |
| 平均 | 12.5 | 71.0 | 平均 | 22.4 | 81.7 |
| 最大 | 24.6 | 100.0 | 最大 | 38.7 | 100.0 |
| 最小 | 3.7 | 8.0 | 最小 | 3.7 | 8.0 |

(※)測定期間はH22年7月14日～H22年11月15日

3.3 含水率

高温低湿処理後天然乾燥した柱材と天然乾燥のみの柱材の試験期間中の含水率の変化を図5 (冬季～夏季)、図6 (夏季～秋季) に示す。ここでの含水率は高温低湿処理後天然乾燥した柱材は6本の平均値、天然乾燥のみの柱材は3本の平均値である。含水率は試験終了時の重量測定値と含水率測定試片(C)の含水率の計算値を基準に乾燥過程で測定した重量の値を用いて計算により求めた。高温低湿処理後天然乾燥した柱材の平均含水率は、冬季～夏季の161日間で102.4%から20.8%、夏季～秋季の124日間で101.0%から19.4%になった。天然乾燥のみの柱材の平均含水率は、冬季～夏季の161日間で93.4%から20.7%、夏季～秋季の124日間で101.8%から24.6%となった。高温低湿処理後天然乾燥した柱材は高温低湿処理後に急激に含水率が低下するが、その後の天然乾燥の過程では含水率の変化は穏やかであり、全乾燥期間は高温低湿処理を行わない天然乾燥のみの場合と余り大差はなかった。高温低湿処理後天然乾燥した場合、含水率が20%近辺まで達する期間は冬季～夏季では5～6ヶ月、夏季～秋季では3～4ヶ月程度必要である。

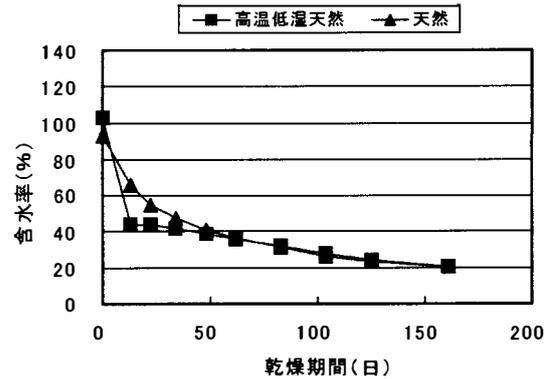


図5 含水率の変化 (冬季～夏季)

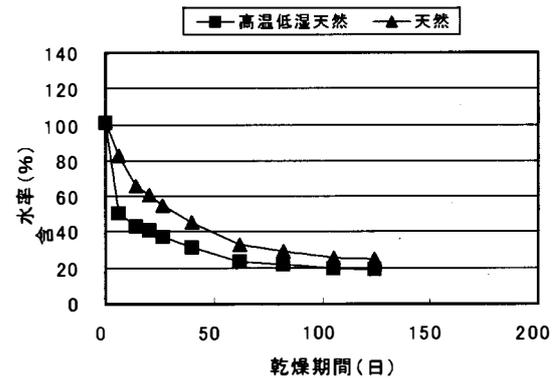


図6 含水率の変化 (夏季～秋季)

3.4 水分傾斜

冬季～夏季に高温低湿処理後天然乾燥した柱材の水分傾斜を図7、天然乾燥のみの柱材の水分傾斜を図8、夏季～秋季に高温低湿処理後天然乾燥した柱材の水分傾斜を図9、天然乾燥のみの柱材の水分傾斜を図10に示す。試験開始時には柱の中心部の含水率が非常に高く140%以上あったが、試験終了時には柱の中心部から表層部の水分傾斜が20%～30%の範囲となった。

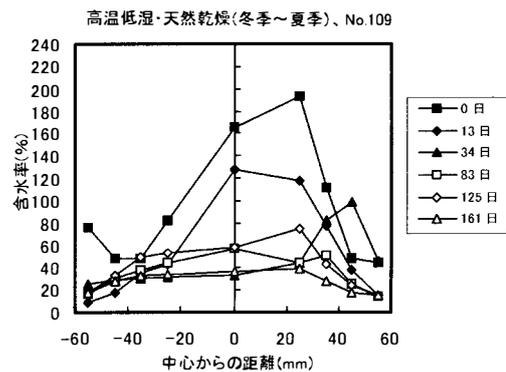


図7 水分傾斜 [高温低湿・天然 (冬季～夏季)]

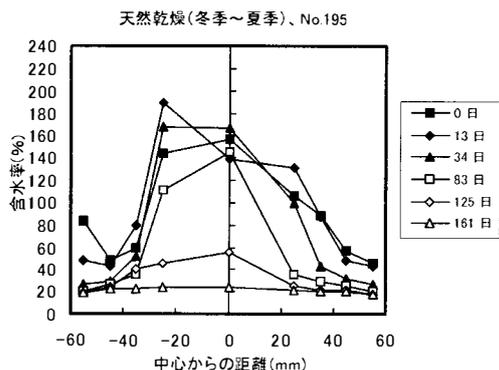


図8 水分傾斜〔天然(冬季～夏季)〕

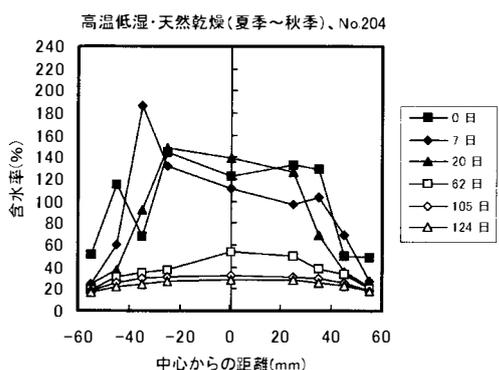


図9 水分傾斜〔高温低湿・天然(夏季～秋季)〕

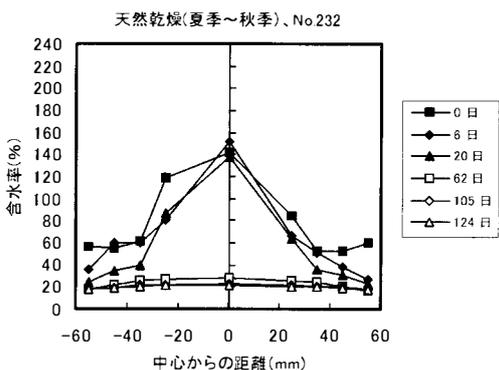


図10 水分傾斜〔天然(夏季～秋季)〕

表3 割れの状態

| 割れの長さの材長比 | 単位 | 冬季～夏季 | | 夏季～秋季 | |
|------------|----|------------|------|------------|------|
| | | 高温低湿 天然 | 天然 | 高温低湿 天然 | 天然 |
| 平均値 | 倍 | 0.56 | 2.99 | 0.67 | 2.91 |
| 高温低湿・天然/天然 | 倍 | 0.19 | | 0.23 | |
| 最大値 | 倍 | 1.83 | 3.73 | 2.08 | 3.58 |
| 最小値 | 倍 | 0.00 | 2.51 | 0.00 | 2.55 |
| 試験材本数 | 本 | 66 | 3 | 61 | 3 |
| 割れない本数 | 本 | 2 | 0 | 2 | 0 |

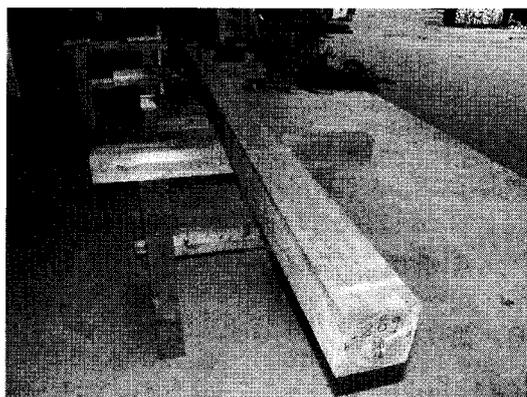


写真4 高温低湿処理後天然乾燥(割れ無し)

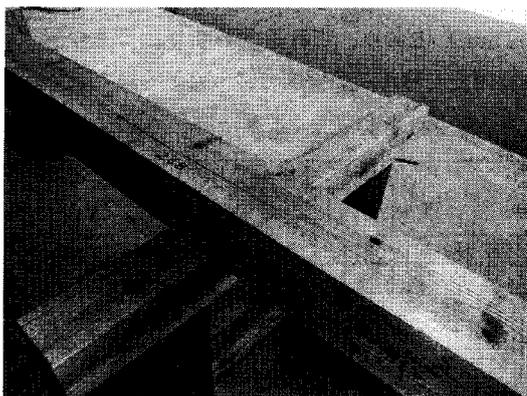


写真5 高温低湿処理後天然乾燥(平均的な割れ)

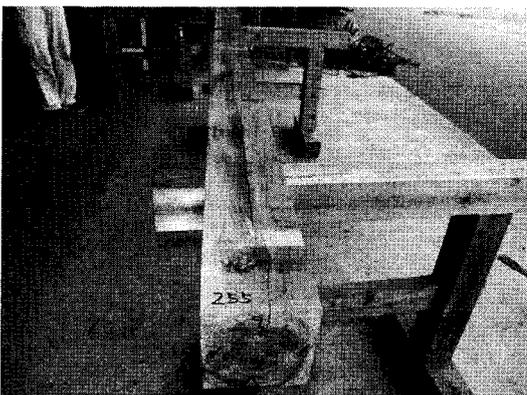


写真6 高温低湿処理後天然乾燥(目立つ割れ)

3.5 材面割れ

試験終了時に柱材の側面に出現した全ての割れの長さを合計しそれらを材長で除した割れの長さの材長比を表3に示す。高温低湿処理後天然乾燥した柱材は平均値が0.56(冬季～夏季)、0.67(夏季～秋季)、天然乾燥のみの柱材は2.99(冬季～夏季)、2.91(夏季～秋季)となった。高温低湿処理後天然乾燥した柱材は天然乾燥のみの柱材に比べ割れが1/5程度に軽減されるが全く割れない柱材は冬季～夏季で66本中2本、夏季～秋季で61本中2本で、少なからず割れが発生する。写真4～写真6

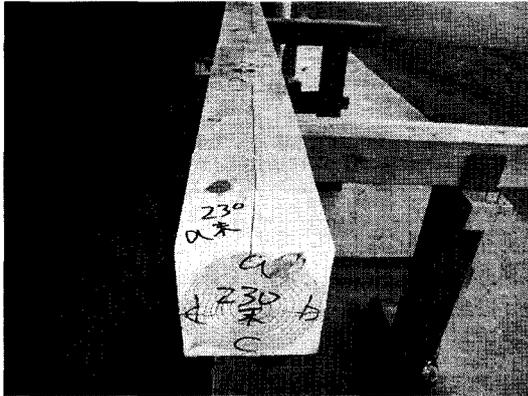


写真7 天然乾燥（平均的な割れ）

は高温低湿処理後天然乾燥した柱材の割れの状態を示す。写真4は割れない柱材、写真5は平均的な割れの柱材、写真6は割れの顕著な柱材である。写真7は天然乾燥で見られる平均的な割れの柱材である。

3.6 曲り

試験終了時の柱材の曲りを表4に示す。2回の試験で曲りの最大値は冬季～夏季に高温低湿処理後天然乾燥した柱材で0.20%（材長3mで中央部の曲りによる隙間が6.0mm）であり、これも含め曲りによる変形はいずれも利用上支障がない程度であった。

表4 曲りの状態

| 曲り | 単位 | 冬季～夏季 | | 夏季～秋季 | |
|---------|----|------------|------|------------|------|
| | | 高温低湿 天然 | 天然 | 高温低湿 天然 | 天然 |
| 最大値 | % | 0.20 | 0.14 | 0.04 | 0.08 |
| 平均値 | % | 0.09 | 0.10 | 0.03 | 0.06 |
| たわみの最大値 | mm | 6.0 | 4.2 | 1.2 | 2.4 |
| たわみの平均値 | mm | 2.7 | 3.0 | 0.9 | 1.8 |
| 試験材本数 | 本 | 6 | 3 | 6 | 3 |

(※)たわみは材長を3mとした場合の中央部の矢高値

3.7 収縮

試験終了時の柱材の割れなどによる寸法の変化も含んだ見かけの収縮値を表5に示す。高温低湿処理後天然乾燥した柱材は天然乾燥のみの柱材に比べ収縮率が2倍以

表5 収縮の状態

| 収縮 | 単位 | 冬季～夏季 | | 夏季～秋季 | |
|----------|----|------------|------|------------|------|
| | | 高温低湿 天然 | 天然 | 高温低湿 天然 | 天然 |
| 収縮率(最大値) | % | 2.83 | 1.16 | 2.46 | 0.99 |
| 収縮率(平均値) | % | 2.04 | 0.86 | 2.19 | 0.84 |
| 収縮量(最大値) | mm | 3.4 | 1.4 | 2.9 | 1.2 |
| 収縮量(平均値) | mm | 2.4 | 1.0 | 2.6 | 1.0 |
| 試験材本数 | 本 | 6 | 3 | 6 | 3 |

(※)収縮量は初期の断面寸法(20mm角)からの収縮量

上大きくなった。最大値は冬季～夏季に高温低湿処理後天然乾燥した柱材で収縮率が2.83%（120mm角の柱材が3.4mm収縮し116.6mm角の柱材）であった。

3.8 材色

高温低湿処理後天然乾燥した柱材の材色は高温高湿度環境下に曝されたため濃く変色した。

3.9 燃料消費量

高温低湿処理で消費した灯油の使用量は12cm角×長さ3mの柱材1本当たり2.54リットル（冬季～夏季）、3.28リットル（夏季～秋季）であった。2回の試験の平均で2.91リットルであった。

4 まとめ

製材直後の背割りなし12cm角×長さ3mのスギ心持ち柱材に割れ防止の高温低湿処理（乾球温度120℃、湿球温度90℃で24時間）を施し、その後天然乾燥を行った。柱材の含水率が生材から20%近辺まで達する期間は冬季～夏季では5～6ヶ月、夏季～秋季では3～4ヶ月程度必要であった。製材直後には柱材の中心部の含水率が140%以上あったが、天然乾燥終了時には中心部から表層部の水分傾斜が20%～30%になった。高温低湿処理後天然乾燥した柱材は天然乾燥のみの柱材に比べ材面の割れが1/5程度に軽減されるが、少なからず割れが発生した。曲りは高温低湿処理後天然乾燥した柱材で最大0.20%であり、曲りによる変形は利用上支障がない程度であった。高温低湿処理後天然乾燥した柱材は天然乾燥のみの柱材に比べ収縮率が2倍以上大きくなった。高温低湿処理により柱材の材色は濃く変色した。高温低湿処理で消費した灯油の使用量は12cm角×長さ3mの柱材1本当たり平均2.91リットルであった。

参考文献

- 1) スギ乾燥のための10の要点 独立行政法人森林総合研究所 第1期中期計画成果集18
- 2) スギ人工資源活用のための木材加工・利用技術の開発 農林水産省研究レポート No. 20 (2007)、農林水産省農林水産技術会議
- 3) 今日からの木材乾燥、長野県木材協同組合連合会、長野県林業総合センター