

## 〈資 料〉

### スギ製材品における天然乾燥前処理としての高温低湿処理について

海本 一・小野広治・寺西康浩・成瀬達哉\*・久保 健\*\*

スギ正角材（11.5cm角、13.0cm角、16.0cm角）と平角材（14.0×26.0cm角）を高温低湿処理後に屋外で天然乾燥し、前処理としての高温低湿処理の効果を検討した。得られた結果は以下のとおりである。

- (1) 24時間の高温低湿処理により、断面の小さな材種では含水率の減少が顕著であった。高温低湿処理後、11.5cm角と13.0cm角では材の収縮が認められたが、16.0cm角と平角材では寸法変化は認められなかった。また、すべての材種で表面割れの発生が認められた。
- (2) 前処理後、天然乾燥で含水率20%に達する日数は、11.5cm角、13.0cm角、16.0cm角ではそれぞれ180日、180日、270日、15%に達する日数はそれぞれ270日、360日、360日であった。平角材では高温低湿処理後の含水率により乾燥経過が異なり、処理後の含水率が80%以上のものでは15%の含水率に達するのに630日以上の日数を要した。
- (3) 天然乾燥過程における収縮率変化は、含水率経過と連動して正角材では含水率が15%に達した時点で安定した。平角材も20%に達した時点から変化は小さくなったが、720日経過した時点まで収縮変化が続いた。正角材の収縮率は中温乾燥材と比較して低い値であり、ドラインゲットの効果が確認できた。
- (4) 天然乾燥過程における表面割れ長さの測定結果およびモルダ加工による品質評価から、11.5cm角および13.5cm角について、高温低湿処理による表面割れ抑止効果の有効性が確認できた。

#### 1. はじめに

スギ製材品を短時間で乾燥することができる乾燥法として高温乾燥法や高周波・蒸気複合乾燥法が開発され、各地でこれらの方法による乾燥材が生産されている。いずれの乾燥法も乾燥時間の短縮とともに乾燥割れの発生を抑制する効果があることが明らかになっている<sup>1)</sup>。

高温乾燥では蒸煮により木材を軟化させ、軟化した状態で高温低湿処理することにより、材表層にドラインゲットが形成され、乾燥の促進、寸法変化の低減および表面割れの発生を抑えることができる。すなわち、水分の多い状態では木材は高温ほど柔らかくのびやすい性質があるが、この状態の材を高温低湿処理によって急激に乾燥すると、表層部分は引張られた状態で乾燥される。この状態をドラインゲットといい、その後内層の乾燥に伴い圧縮応力が形成され材面割れを抑制するとされる<sup>2)</sup>。高温低湿処理の条件としては、乾球温度120℃乾湿球温度差30℃で確実にドラインゲットされることが報告されている<sup>3, 4)</sup>。

高温低湿処理の効果は高周波・蒸気複合乾燥法にも取り入れられ、当センターでも、断面の大きなスギ製材品

に対しての前処理法として、高周波印加による内部加熱と組み合わせて、より乾燥効果を高めるよう検討を進めている。

本報では、乾燥コスト低減の観点から人工乾燥と天然乾燥との組み合わせに着目して、高温乾燥の一工程である高温低湿処理を天然乾燥法の前処理として位置付け、天然乾燥法の課題である表面割れの抑制と乾燥時間の短縮について検討した。

#### 2. 材料と方法

##### 2.1 材料

県内の製材工場から購入したスギの正角材（11.5cm×11.5cm×3m、13.0cm×13.0cm×3m、16.0cm×16.0cm×4m、以下それぞれ11.5角材、13.0角材、16.0角材という）および平角材（14.0cm×26.0cm×4m）をそれぞれ9本ずつ計36本を試験材とした。なお、試験材はいずれも無背割り心持ち材であった。

##### 2.2 試験方法

###### 2.2.1 高温低湿処理試験

高温低湿処理は、乾球温度95℃までの昇温を6時間、

\*：奈良県南部農林振興事務所

\*\*：奈良県土木部住宅課

乾球温度95℃の蒸煮を6時間、乾球温度120℃、乾湿球温度差30℃の条件で24時間行った。生材時、高温低湿処理12時間経過時、終了後にそれぞれ重量、寸法および表面割れを測定して(12時間経過時は重量のみ測定)、材種ごとに本条件による高温低湿処理効果を検討した。

試験には高周波・蒸気複合乾燥機(山本ビニター株式会社製MDW-8SR)を使用した。

2.2.2 高温低湿処理後の天然乾燥

高温低湿処理後、雨除けの屋根を付け屋外に積積みして、平成15年9月～平成17年9月までの約2年間天然乾燥した。初回の測定を6ヶ月目に行い、以後は3ヶ月おきに重量、寸法(材長中央部の断面寸法、材長)、含水率計による含水率(以下、 $MC_{MT}$ という)、表面割れの長さを測定した。 $MC_{MT}$ は、材長の中央部分の4材面で測定した。含水率計は高周波式含水率計(ケット科学研究所製HM520型)を使用した。

天然乾燥終了後、試験材の中央部から90cmずつ振り分けて材長180cmの材を採材し、11.5角材、13.0角材、16.0角材はそれぞれモルダーによって、10.5×10.5cm、12.0×12.0cm、15.0×15.0cmに、平角材は13.5×25.0cmに寸法を調整した(図1)。これらモルダー加工材は加工前

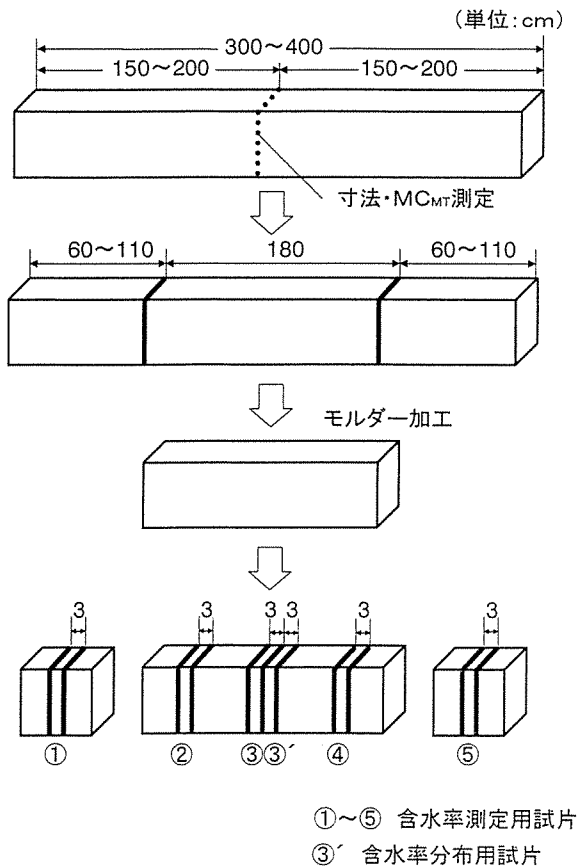


図1 試験材の調整方法

後の $MC_{MT}$ (材長中央部を含む3カ所)および表面割れの長さを測定した後、 $MC_{MT}$ 測定箇所から長さ30mmの試片を3個採取するとともに(図1:②③④)、180cm材を採材した残りの端部の材からも、その中央部から長さ30mmの試片を1個ずつ採取して(図1:①⑤)全乾法で含水率を測定した。試験材の高温低湿処理前後の含水率ならびに天然乾燥経過中の含水率は、5試片の含水率平均値と重量から算出した(以下、全乾法に基づく含水率を $MC_{OD}$ という)。また、試験片採取時には内部割れの有無も併せて観察するとともに、材長中央部から含水率分布測定用の試片を採取して(図1:③'), 11.5角材、13.0角材、16.0角材、平角材をそれぞれ16分割、25分割、36分割、50分割して含水率分布を求めた。

3. 結果と考察

3.1 高温低湿処理による含水率変化、寸法変化ならびに割れの発生

図2～図5に各材種の高温低湿処理における含水率変化を示す。

処理前の $MC_{OD}$ は、11.5角材が27.6%～107.7%(平均

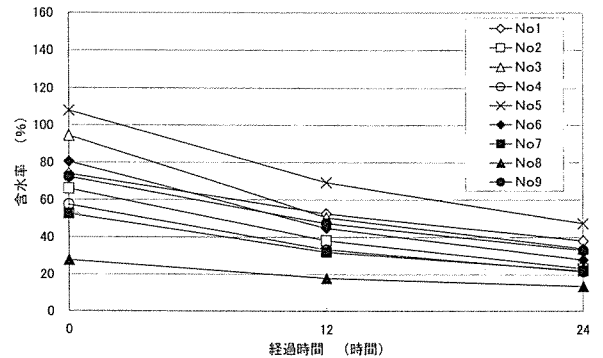


図2 高温低湿処理における含水率変化(11.5角材)

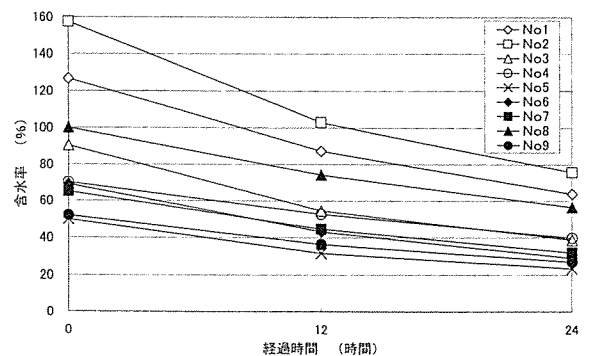


図3 高温低湿処理における含水率変化(13.0角材)

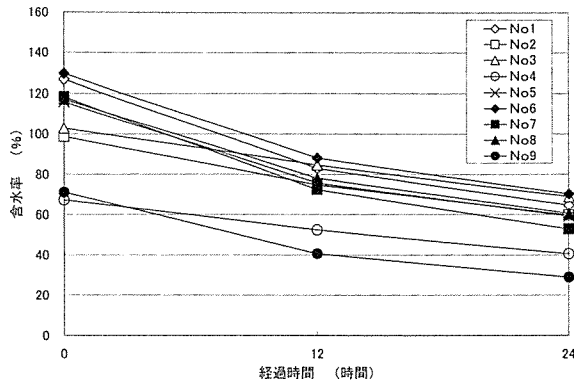


図4 高温低湿処理における含水率変化 (16.0角材)

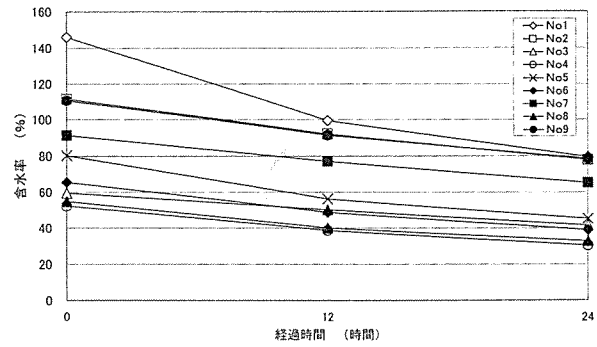


図5 高温低湿処理における含水率変化 (26.0平角材)

表1 高温低湿処理による材種別表面割れの発生

材種	割れ発生材の数 (本)			表面割れ長さ (4材面合計) (mm)* <sup>2</sup>		
	木口割れ	材面割れ	表面割れ* <sup>1</sup>	最小値	平均値	最大値
11.5正角材	9	9	9	712	2,356	4,070
13.0正角材	7	7	8	0	1,289	4,701
16.0正角材	9	9	9	1,162	3,397	5,759
26.0平角材	5	7	7	0	2,026	6,920

\*<sup>1</sup>: 木口割れ、材面割れのいずれか一方、または両方の割れがあるものを指す

\*<sup>2</sup>: 11.5角材と13.0角材の材長は300cm、16.0角材と26.0平角材の材長は400cm

70.2%)、13.0角材が49.7%~157.4% (平均86.7%)、16.0角材が67.1%~129.6% (平均105.3%)、平角材が52.3%~146.1% (平均85.8%)であった。

高温低湿処理による含水率変化を材種別で比較すると、12時間処理時のMC<sub>OD</sub>は、11.5角材は41.7%、13.0角材は58.6%、16.0角材は72.1%、平角材は66.0%であり、24時間処理ではそれぞれ28.8%、42.9%、56.0%、54.4%になった。正角材 (11.5角材、13.0角材、16.0角材) に比べて平角材の含水率変化が小さいが、これは脱水量変化に関する報告の中で記されたとおり、断面形状や長辺部分に心材が多く現れることが影響したものと考えられる<sup>2)</sup>。

24時間処理後の寸法変化をそれぞれ断面寸法の平均値と比較すると、11.5角材では処理前の115.28mmが処理後には113.97mmと1.1%収縮し、13.0角材では処理前の130.21mmが処理後に129.53mmと0.5%収縮した。しかし、16.0mm角材と平角材では寸法変化が見られなかった。

11.5角材は24時間処理後のMC<sub>OD</sub>がほぼ繊維飽和点に等しい値を示し、表層部はより含水率が低いことから、処理段階で材面の収縮が始まったと考えられた。13.0角材も24時間処理後のMC<sub>OD</sub>は約43%と高い値を示したが、併せて測定したMC<sub>MT</sub>の平均値は26%であり、表層部は繊維飽和点以下の含水率になっていることが予想され

た。したがって、一部の材に材面の収縮が見られる結果になったと考えられた。

表1に、各材種の表面割れが発生した試験材の数、4材面の割れ長さ (木口、材面) 合計の平均値および最大値、最小値を示す。表面割れの発生は各材種ともほとんどの試験材に認められたが、割れ長さは同じ材種でもばらつきが大きく、特に平角材ではMC<sub>MT</sub>が25%以下の個体の割れ発生が顕著であった。なお、割れの測定は目視できるものすべてを対象とした。

### 3.2 高温低湿処理後の天然乾燥

図6~図9に各材種の天然乾燥中の含水率変化を示す。

11.5角材のMC<sub>OD</sub>は、天然乾燥開始時には13.5%~47.4% (平均28.8%)であったが、180日後にはすべて20%以下を示し、270日後には15%前後に、360日後にはすべて15%以下の含水率を示した。360日以降は平衡含水率の推移に伴う含水率変化を示した。

13.0角材のMC<sub>OD</sub>は、天然乾燥開始時には23.4%~75.7% (平均42.9%)であったが、180日後には20%前後に減少し、360日後には15%前後になった。360日以降は平衡含水率の推移に伴う含水率変化を示した。

16.0角材のMC<sub>OD</sub>は、天然乾燥開始時には28.9%~70.0% (平均56.0%)であった。180日後には1体を除き20%以上で、30%を超えるものも3体あったが、270

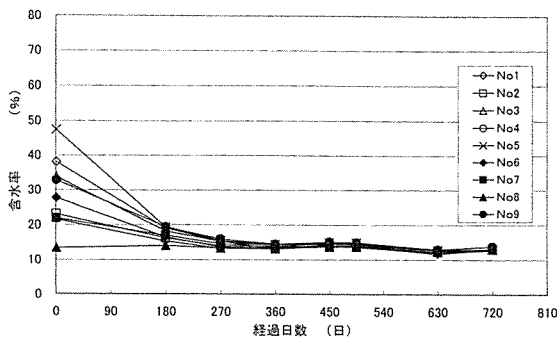


図6 天然乾燥過程における含水率変化 (11.5角材)

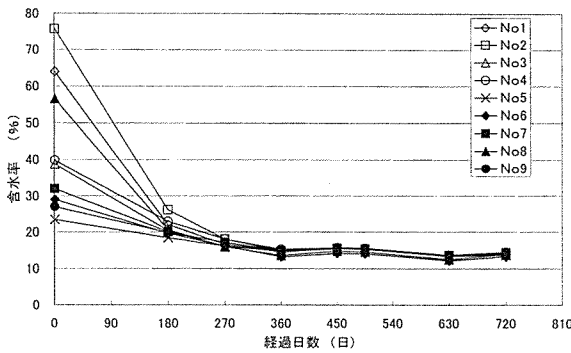


図7 天然乾燥過程における含水率変化 (13.0角材)

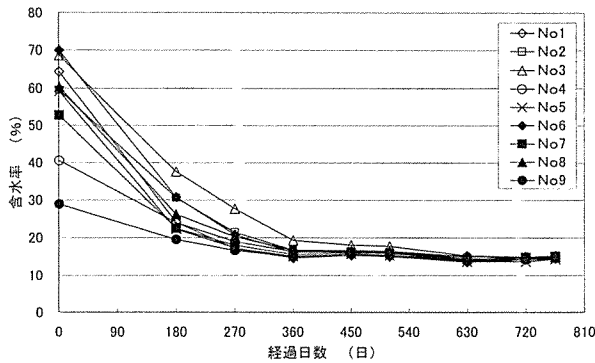


図8 天然乾燥過程における含水率変化 (16.0角材)

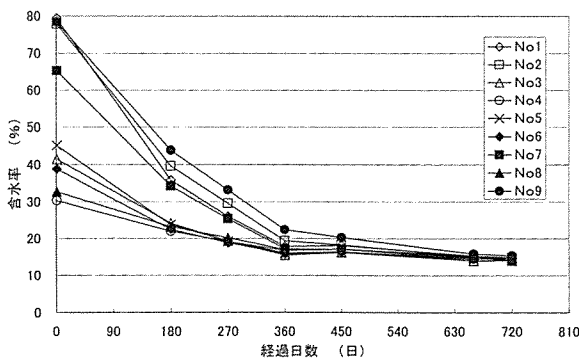


図9 天然乾燥過程における含水率変化 (26.0平角材)

12.7	13.4	13.6	13.9	13.9	13.6	13.7	13.4	13.2	12.1
13.3	14.2	14.7	14.7	14.6	14.8	14.6	14.2	14.2	13.6
15.0	15.5	16.1	16.8	16.5	14.8	14.8	14.5	14.1	13.3
13.5	14.8	15.0	14.8	14.7	14.4	14.5	14.5	13.9	13.3
13.3	14.5	14.1	14.1	13.7	13.6	13.9	13.7	13.1	11.8

26.0平角材

図10 材内含水率分布の一例

日経過した時点では大部分が20%前後に、360日後には15%前後の値を示した。ただし1体だけは、MC<sub>OD</sub>が15%に達するまで630日を要した。15%前後に達した以降は、11.5角材や13.0角材と同様に平衡含水率の推移に伴う含水率の増減が認められた。

平角材のMC<sub>OD</sub>は、天然乾燥開始時には30.3%~79.4% (平均54.4%)であった。乾燥開始時のMC<sub>OD</sub>が約40%以下の試験材と約80%の試験材では乾燥経過が異なり、約40%以下の試験材は開始後270日ですべて20%前後に達したのに対し、約80%の試験材では360日~450日の期間を要した。大部分の試験体のMC<sub>OD</sub>が15%に達した時期は、平衡含水率の影響があるので確定できないが、開始後540日頃と思われる、測定終了時の720日の段階では全ての試験材が15%に達していた。

なお、天然乾燥中のMC<sub>OD</sub>とMC<sub>MT</sub>を比較すると、天然乾燥初期では表層の水分の影響を強く受けた結果、すべての材種でMC<sub>OD</sub>の方が高かったが、MC<sub>OD</sub>が平衡含水率付近になるとほぼ等しい値を示した。図10に、MC<sub>MT</sub>が15%であった平角材について断面内の水分分布を例示する。材内の含水率傾斜は小さく、材内含水率の変動係数はすべての材種で10%以内であった。

### 3.3 天然乾燥における寸法変化

図11に、天然乾燥過程における各材種の収縮率変化を示す。収縮率は、試験材の材長中央部の断面寸法測定値から算出し、図中では試験材9体の平均値で表した。ここで天然乾燥開始時の収縮率は、高温低湿処理終了時の値である。

収縮率変化はMC<sub>OD</sub>の推移と連動していて、11.5角材と13.0角材および16.0角材は含水率が15%に達した時点で安定し、以降は平衡含水率の影響を受けた寸法変化を示した。平角材も含水率が15~20%に達した時点から収縮率の増加率は小さくなったが、720日まで微増が続いた。各材種の試験終了時の収縮率の平均値は、11.5角材が2.3%、13.0角材が2.3%、16.0角材が2.1%、平角材

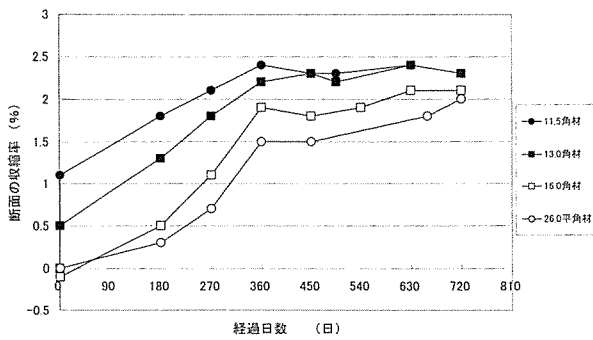


図11 天然乾燥過程における収縮率変化

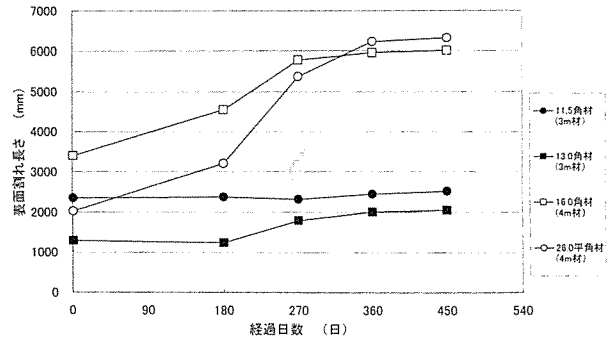


図12 天然乾燥過程における表面割れ長さの変化

については1.9%であったがまだ収縮が収まっていない状況であった。この値を中温熱気乾燥を行ったスギ正角材（断面寸法13.5cm）の収縮率<sup>3)</sup>と比較すると、中温熱気乾燥材では15.0～20.0%の含水率での収縮率は2.5～3.0%であったのに対し、明らかに低い数値を示している。この理由として、既に報告されているとおり、高温低湿処理におけるドラインセット形成による寸法変化の低減効果が考えられた<sup>2)</sup>。

3.4 天然乾燥における表面割れの変化

図12に、天然乾燥過程における各材種の表面割れ長さの変化を示す。割れの測定は天然乾燥開始から450日経過するまで行い、高温低湿処理後と同じく4材面の割れ長さ合計で評価した。測定は高温低湿処理時と同じく、目視できる割れすべてを対象とした。

450日経過時の表面割れ長さ合計の平均値は、3 m材である11.5角材が2513mm、13.0角材が2051mm、4 m材である16.0角材が6004mm、平角材が6320mmであった。高温低湿処理後の測定結果と同じく、材種内での個体間のばらつきが大きく、各材種内の変動係数は30.6～52.0%の範囲であった。表面割れ長さの変化を見ると、11.5角材では変化が小さく450日経過までの増加はわずかであった。この理由としては、高温低湿処理における表層含水率の低下とドラインセットの効果が考えられた。また、断面が大きくなるにつれて割れが増加する期間は延びる傾向があった。このことから断面の大きな製材品では、

表面割れ抑制効果に関しては、24時間以上の高温低湿処理時間が必要であると考えられた。

3.5 モルダー加工による品質評価

天然乾燥が終了した試験材から採材した180cm材をモルダー加工することにより、正角材は表面から3.0～3.5mm、平角材では1.0～2.0mm切削して、製品としての品質評価を行った。

表2には、180cm材のモルダー加工前後の表面割れ長さを示す。天然乾燥の段階で測定した表面割れ長さの中には微細な割れも含めたため、仕上げ加工を施した後の製品評価として割れ幅を含めた測定を行った。製材品の日本農林規格には割れ幅の規格はないので、外観上、割れとして問題となる割れ幅を0.5mmと想定して、この値で割れを区分した。表面割れの長さは加工前、加工後も13.0角材、11.5角材、16.0角材、平角材の順に小さかった。0.5mm以下の微細な割れについてはいずれもモルダー加工によって大きく減少し、正角材ではほとんど無視できる程度であった。平角材はモルダー加工材にも割れが認められ、24時間処理ではドラインセットによる割れ抑制効果が小さかったことがわかった。

11.5角材のみ0.5mm以上の割れ長さが微増したが、この理由は不明である。しかし含水率試片採取時に内部割れの存在を調べたところ、11.5角材9体中6体に軽度の内部割れが認められたことから、モルダー加工時に表層近くの内部割れが材面に現れた可能性も考えられた。な

表2 モルダー前後表面割れ比較

(mm)

	モルダー加工前			モルダー加工後		
	割れ幅0.5mm未満	割れ幅0.5mm以上	全体	割れ幅0.5mm未満	割れ幅0.5mm以上	全体
11.5角材	1066	338	1404	106	384	490
13.0角材	692	128	820	156	81	237
16.0角材	1171	1280	2451	114	1181	1295
26.0平角材	1527	1658	3185	534	986	1520

お、13.0角材、16.0角材にも内部割れの存在する材があったが、いずれもごく軽度であった。

モルダ加工後の表面割れ長さから判断して、製品段階の割れの存在を抑制する処理方法としての高温低湿処理の有効性が確認でき、今回の試験条件である24時間処理では、11.5角材や13.0角材のような柱角相当の断面にその効果がより高いことが示唆された。

#### 4. おわりに

スギ製材品を対象に、天然乾燥の前処理として高温低湿処理を24時間行い、継続して天然乾燥を行った結果、高温低湿処理によるドラインゲットが、表面割れ抑制や寸法安定に効果的であることが明らかになった。この傾向は小断面材に顕著であったが、平角等の大断面材では処理の有効性が確認できなかったことから、大断面材については乾燥期間を短縮する視点からも、処理時間の検討が必要と考えられる。

#### 謝辞

本試験を実施するに当たり、試験材の加工や含水率測定にご協力いただいた川上産吉野材販売促進協同組合(川上サプリ)に深く感謝いたします。

#### 引用文献

- 1) 吉田孝久ほか：カラマツ及びスギ心持ち柱材の乾燥特性. 長野県林業総合センター研究報告. 14, 3-18 (2000)
- 2) 小野広治ほか：スギ製材品の高温低湿処理によるドラインゲットと脱水量について. 奈良県森林技術センター研究報告. 34, 69-73 (2005)
- 3) 小田久人ほか：宮崎県産スギ心持ち柱材の高温低湿乾燥における乾燥性. 木材工業. 59(8), 255-259 (2004)
- 4) 吉田孝久ほか：スギ心持ち無背割り柱材の高温乾燥における高温セット法の割れ防止効果について. 長野県林業総合センター研究報告. 18, 125-141 (2004)
- 5) 小野広治ほか：スギ柱材の熱気乾燥と修正挽き材の寸法変化. 奈良県林試研報. 27, 22-28 (1997)

(2006年1月5日受理)