

高温セット処理後に天然乾燥した 無背割り心持ちカラマツ柱材の内部応力

—高温セット処理条件の影響—

信州大学農学部 徳本 守彦、山崎さつき
長野県林業総合センター 吉田 孝久

1 はじめに

木材は収縮異方性を持つため、心持ち柱を天然乾燥すると、表面割れを生じ、これが大きく開いて、ついには髓に達する(図1参照)。寺沢¹⁾によると、木材の持つ収縮異方性によって、心持ち柱の表層には引張応力が、一方内層には圧縮応力が発生し、このパターンが強まる一方で表面割れを防ぐのは困難であるとされてきた。そこで、心持ち柱には、図2に示すように背割りを入れて、一面を犠牲にしながら、他の3面の表面割れの発生を抑える工夫をしている。

しかし、一方では、加工や施工の現場で「背割りなしで心持ち柱を乾燥できないか」という要請も根強いものがあつたと思われる。

板物の乾燥においては、乾燥初期は「低温・高湿」ではじめ、表面割れや落ち込みの危険が小さくなった段階で、乾湿球温度差を次第に開き、さらに乾球温度を高めて乾燥を進めることを原則とする。初期に厳しい条件で乾燥すると、表面割れを免れたとしても、応力逆転後の後半において、今度は引張応力をうけるようになった内層が内部割れを起こしかねない。

ところが、生の心持ち柱材を乾燥初期に一気に「高温低湿」処理することによって表面割れを抑制する乾燥方法が開発された。これが高温セット法である。高温セット法は、蒸煮(材温上昇やヤニ滲出防止を狙いとす)と、それに続く高温低湿処理(100℃を超える乾球温度で、湿球温度との差を30~40℃に設定)によって、乾燥初期に材表層に引張セットを形成し、材面割れを抑制する方法である。この高温セット法によって、心持ち柱の構造用途への利用拡大が期待される。

高温セット処理後に、引き続き100℃以上の高温乾燥を続けると、図3に示すような内部割れを招くことがあるため、高温セット処理後に中温乾燥、あるいは時間的に余裕がある場合は天然乾燥に移行することが推奨されている²⁾。

高温セット法の今後の一つの問題は、表面割れを防ぎ、かつ内部割れを抑止しながら高温乾燥のもつ時間短縮効果をいかに生かしていくかということであろう。このような目標に向けて、さらに検討すべき課題も多い。

本報告では、異なる条件で高温セット処理した後に天然乾燥した無背割り心持ちカラマツ柱材を供試し、内部応力に及ぼす高温セット処理条件の影響を検討した。

2 実験方法

2.1 試験材

長野県中信産の中目丸太より、135mm×135mm×4000mmの無背割り心持ち柱材を製材し、表1に示す条件で高温セット処理を行った。高温セット処理条件として、乾球温度110℃/湿球温度70℃で12時間

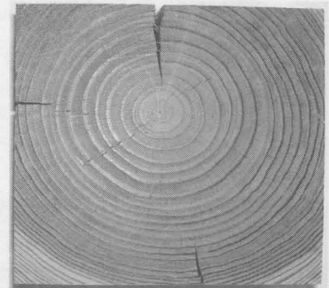


図1 無背割りで天然乾燥したカラマツ柱材

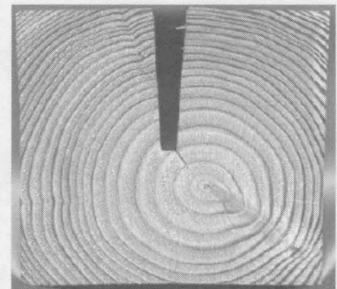


図2 背割りを入れて乾燥したカラマツ柱材

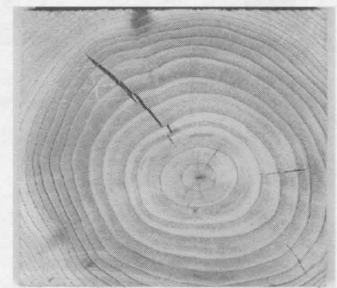


図3 高温セット処理後に高温乾燥を行った場合に発生した内部割れ(スギ材)

処理、そして乾球温度120℃/湿球温度80℃で処理時間を12時間、24時間、48時間とする条件とし、合わせて4条件とした。

比較のために行った中温乾燥は、乾球温度90℃で湿球温度は段階的に下げて最終的に60℃とした（乾燥時間は220時間）。

なお、高温セット処理及び中温乾燥は、平成15年6月に実施し、以後、中温乾燥したものも含めて、平成15年10月末日まで雨のかからない屋外にて天然乾燥（養生）を行った。その後屋内に保存したものを本実験に供試した。

表1 高温セット処理及び乾燥条件

高温セット処理			乾燥方法
乾球温度	湿球温度	処理時間	
110℃	70℃	12h	天然乾燥
120℃	80℃	12h	
		24h	
無し			90℃中温乾燥

2.2 解放ひずみの測定

屋内に保存した柱材から、ひずみ測定用の約500mm長さの試験体を切り出し、さらに割れの無いところから約50mmのひずみ測定ブロックを切り出して、内部応力を推定するための解放ひずみ測定に供試した。

解放ひずみ測定の手順は次の通りである。

- 1) 約50mmの測定ブロックの木口面に、図4に示すようにマーキングした。相対する表面から表面まで、幅約50mmのひずみ測定領域を設定し、表層から内層、そして向かい側の表層まで、切り出す10枚のスライスの位置をマーキングした。各スライスの厚さを約4mmとし、その中心に標点間距離が約50mmとなるように、ステンレスピンを打ち込んだ（図4参照）。スライス1から8まで等間隔にマーキングしたが、スライス1と2及びスライス7と8の中間にスライス1'及び8'を設定した。これは表層付近のひずみをより正確に測定するためである。
- 2) 測定顕微鏡を用いて、測定ブロックの木口面に打ち込まれたピン間距離 L_0 を測定する。
- 3) マーキングした木口面側から、厚さ約15mmのセクションを切り出し、さらにマーキングに従って、ピンが中心になるように厚さ約4mmのスライスを丸鋸を使って切り出す。

$$\text{開放ひずみ} = \frac{L_1 - L_0}{L_0} \times 100(\%)$$

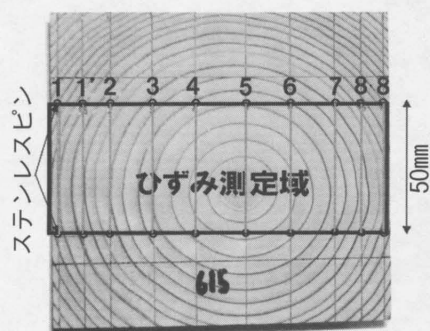


図4 ひずみ測定ブロックの木口面へのマーキングとステンレスピンの打ち込み

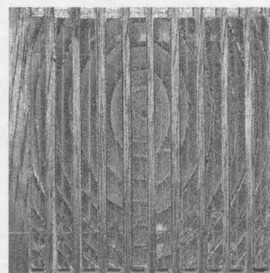


図5 4mm厚さに切り出し、ホルダーに納めたスライス

- 4) 測定顕微鏡を用いホルダーに納めたスライスの切断後のピン間距離 L_1 を測定した。
- 5) 次式からスライス切断に基づく解放ひずみを計算した。

スライス切断によってスライスが伸びたとき→圧縮応力（正のひずみ）と判定し、縮んだとき→引張応力（負のひずみ）と判定した。

正確な応力の大きさは、ひずみとスライス弾性率の積として求められるが、ここではひずみの大きさから応力の様子を推定することにした。

3 結果と考察

3.1 高温セット処理条件とひずみ分布

ひずみ測定セクションに隣接して取った含水率セクションから求めた柱材の含水率分布（それぞれ5試験体の平均値）を図7に示した。処理条件によって多少異なるが、約12%から14%のほぼ一定の含水率を示す内層（スライス2から7に相当）に対し、表層の含水率は1～2%低い値を示した。表層の含水率の

低いものは、120℃/80℃・48hの高温セット処理と90℃の中温乾燥であった。一方内層の含水率がやや高いものは、110℃/70℃・12h及び120℃/80℃・24hの高温セット処理であった。

以上のことから、いずれの場合も柱材内の水分傾斜は小さく、十分に乾燥していると考えられる。

次に、110℃/70℃・12hの条件で高温セット処理した後、天然乾燥したカラマツ柱材のひずみ分布を図8に示した。ひずみ分布は上側に圧縮、下側に引張を対応させて、横軸に取ったスライスNo.に対してプロットして示した。スライス1と8は表層に、スライス4と5は中心部に相当する。なお、図の凡例に示す数字は、試験体番号を表す。

さて、図8から明らかなように、温度110℃の高温セット処理では、測定した5試験体ともに、ひずみ分布はW字型を示し、表層には明確な圧縮応力が認められなかった。図7に示した含水率分布から水分傾斜はきわめて小さい。従って、110℃/70℃・12hの条件では、その後の乾燥は十分であるのに、表層の圧縮ひずみの発達が認められないことから、柱材表層におけるセットのかかり方が十分でないことが推察される。

続いて、120℃/80℃で高温セット処理したカラマツ柱材のひずみ分布を処理時間別に図9に示し、また、柱材の表層ひずみ（スライス1と8のひずみの平均値）と処理時間の関係を図11に示した。

図9及び図11の結果を合わせ眺めると、次のような傾向が認められる。12h処理では、ひずみ分布あるいは表層ひずみのばらつきが大きい。この場合の5試験体の水分傾斜も十分小さく、従って120℃/80℃・12h処理では、材表層へのセットのかかり方に試験体間でばらつきがあったと考えられる。しかし、処理時間が長くなるほど、表層の圧縮ひずみが大きく発達し、48h処理では高温セット特有の凹型のひずみ分布を示し、表層スライス1、8は顕著な圧縮ひずみを示すのに対し、約18mm内側のスライス1、7はすでに引張ひずみの状態に転じており、表層のひずみ勾配が急であることを示す。従って、120℃/80℃・24h処理、さらに120℃/80℃・48h処理では、表層にかなり顕著なテンションセット層が形成されていると判断してよい。

図10は、高温セット処理（120℃/90℃）12h及び24h後に、90日間の太陽熱乾燥を行った後に求めた無背割りスギ心持ち柱材のひずみ分布を表している³⁾。ここで検討しているカラマツの場合と乾球温度は等しいものの湿球温度が異なることに留意しなければならないが、スギと比較すると、カラマツのひずみ分布の谷の深さは浅く、表層スライス1、8のひずみも小さい傾向が認められる。

そこで、カラマツとスギの両樹種のひずみ分布を比較検討することを目的として、柱材の表層と内層のひずみの差を求めてこれをひずみ傾斜と定義し、このひずみ傾斜と表層ひずみ（スライス1、8のひずみの平均）の関係を図12に検討した。

図12ではカラマツは塗りつぶしたマークで、スギは白抜きマークで表してある。図から明らかなように、表層ひずみから、材内のひず



図6 測定顕微鏡による切断後のスライスのピン間距離の測定

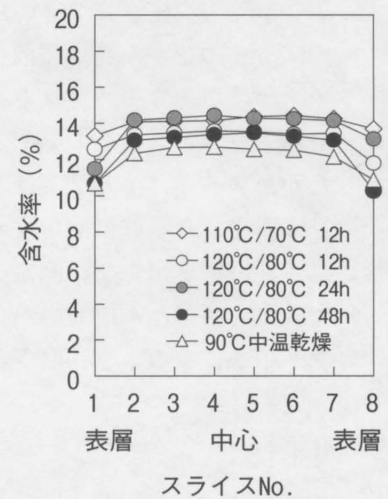


図7 開放ひずみ測定時の含水率分布

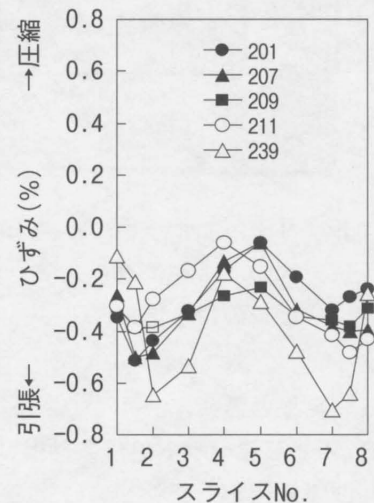


図8 カラマツ柱材内のひずみ分布曲（110℃/70℃ 12h）

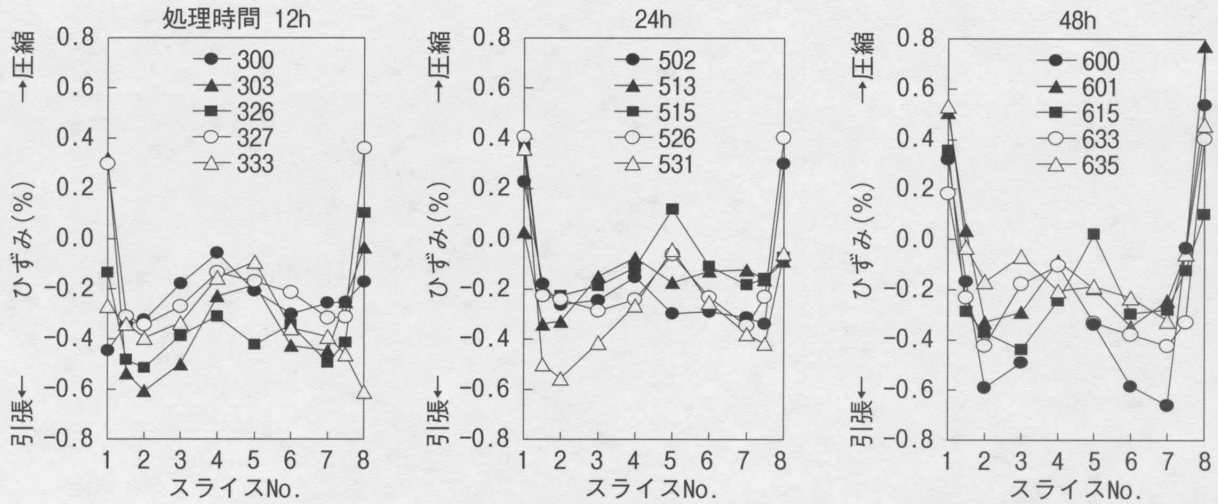


図9 カラマツ柱材内のひずみ分布曲線 (120°C/80°C)

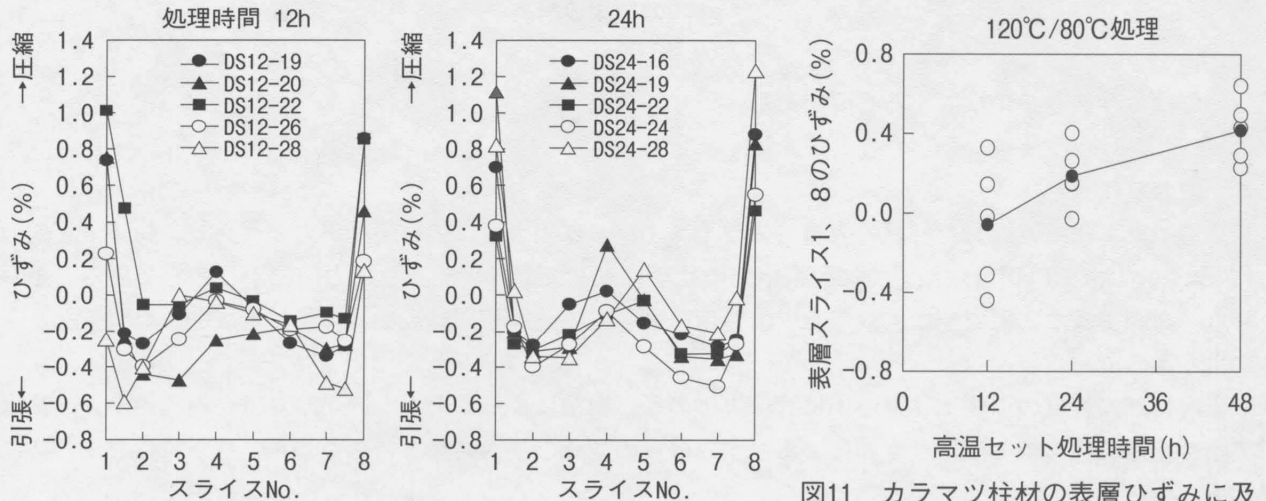


図10 スギ柱材内のひずみ分布
(高温セット処理後に90日間太陽熱乾燥)

図11 カラマツ柱材の表層ひずみに及ぼす高温セット処理時間の影響

み分布の谷の深さのおおよそを知ることができる。スギと比較すると、カラマツ材のひずみ傾斜あるいは表層ひずみが小さい範囲に現れていることも明らかである。高温セット処理条件が少し異なり、また、カラマツは処理後に天然乾燥、スギは処理後に太陽熱乾燥を行ったことなど、乾燥条件も異なることを考慮する必要があるが、セットのかかり方に樹種特性があるのかもしれない。

3.2 高温セット処理なしで中温乾燥したカラマツ柱材のひずみ分布

高温セット処理を施さずに、90°Cで220hにわたって中温乾燥したカラマツ柱材のひずみ分布を図13に示した。高温セット処理をしていないにもかかわらず、表層にかなりの圧縮ひずみが存在している。また、120°C/80°C・48hの場合に認められる高温セット法特有のひずみ分布とはパターンが少し異なり、表層付近のひずみ傾斜がゆるやかで、ひずみ分布曲線に丸みが認められる。

図14は、中温乾燥したカラマツ柱材5試験体のひずみ分布(図13)の平均曲線を求め、これを高温セット処理(120°C/80°C・48h)+天然乾燥のカラマツ柱材(図9左図の平均曲線)及び中温乾燥したスギ柱材の平均ひずみ曲線⁴⁾と比較したものである。中温乾燥したカラマツ柱材の表層ひずみは、高温セット処理したものより小さいが、中温乾燥したスギ柱材と比較すると明らかに大きい。このような樹種特性に

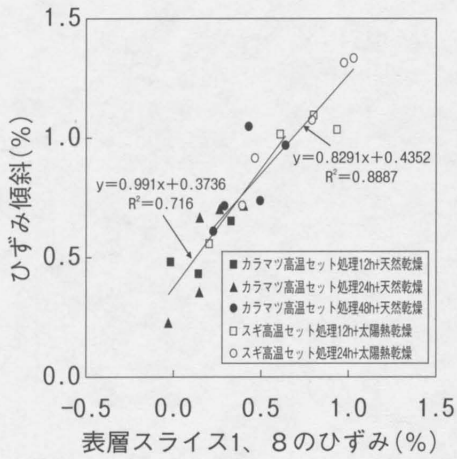


図12 表層ひずみと材内のひずみ傾斜 (表層と内層のひずみ差) の関係

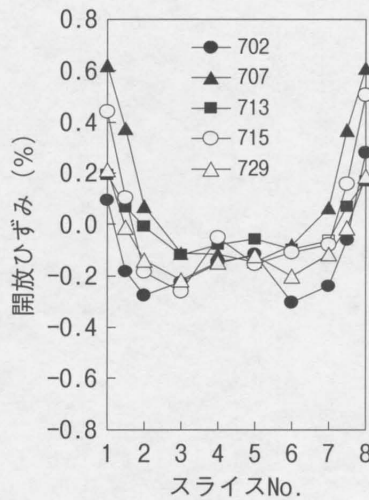


図13 高温セット処理なしで中温乾燥したカラマツ柱材内のひずみ分布

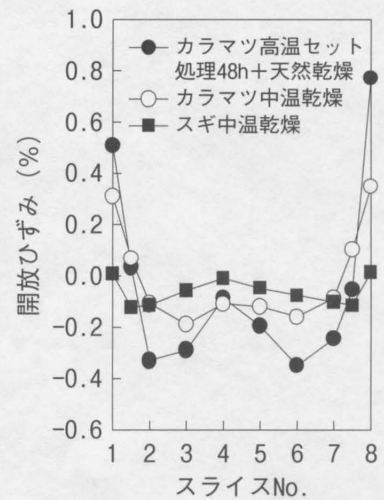


図14 高温セット法と中温乾燥におけるひずみ分布の比較

については、今後さらに検討する必要がある。

4 おわりに

高温セット法で乾燥した柱材の表層 (スライス1、8に相当) に強い圧縮応力が存在し、約18mm 内側 (スライス1、7に相当) はすでに引張応力の状態に転じており、急激な応力勾配が存在していると思われる。このような応力勾配は、高温セット処理によって、乾燥初期に表層に一気に形成された引張セットによるものである。

表層にどの程度の引張セットをかければよいのか、樹種によってセットのかかり方が違うのか、今後は実際の使用条件下での温湿度変動によるひずみ分布の変化の検討結果を待ちながら、さらに検討する必要がある。

《参考文献》

- 1) 寺沢 真:「木材乾燥のすべて」、海青社 (1994)
- 2) 吉田孝久:「今日からの木材乾燥-乾燥マニュアル (改訂版)-」、長野県木連 (2002)。
- 3) 日本住宅・木材技術センター/オーエムソーラー協会:「高温低湿処理と太陽熱を利用した乾燥技術の実用化調査」、平成14年7月。
- 4) 徳本・武田・吉田:スギ無背割り心持ち柱材における高温セット処理後の乾燥スケジュールが内部応力に及ぼす影響、材料 (印刷中)

※平成16年度のカラマツ林業研究発表会は、平成17年1月12日に行われました。

この技術情報120号は、その発表会の要旨を取りまとめたものです。

掲載記事に関する詳しい問い合わせ等は、林業総合センター指導部までお気軽にどうぞ。

郵便番号 399-0711

所在地 長野県塩尻市片丘5739

T E L 0263-52-0600(代)

F A X 0263-51-1311

U R L <http://www.frc.pref.nagano.jp>