

高温セット処理によるスギ心持ち平角材の乾燥技術に関する研究

中原 亨* , 南 晃** , 山角達也*** , 新山孝子*

Study on Drying Technology of Sugi Flat Square with Pith by Using the High-Temperature Setting Method

Toru NAKAHARA , Akira MINAMI , Tatsuya YAMAZUMI and Takako NIIYAMA

木材乾燥の割れ防止技術として、高温低湿処理（高温セット処理）が広く利用されているが、この処理を行っても、その後の本乾燥において乾燥割れが生じるケースがある。そこで、本研究では木材の表面ひずみ、収縮率および含水率分布を測定することでセットが効果的に形成されているか調べた。その結果、処理前に含水率が高すぎる木材では高温セット処理の効果が得られない可能性があることがわかった。

Keyword : スギ, 心持ち平角材, 乾燥, 高温セット, 含水率分布

1. 緒 言

木材の乾燥過程では、含水率の低下に伴う材全体の収縮により割れが発生してしまうことが多い。材表面に生じる割れ（表面割れ）は美観を損ない、材内部に生じる割れ（内部割れ）は建築用構造部材として接合等を行う際に強度低下をもたらす危険性がある。

現在、表面割れの抑制については、高温低湿処理（高温セット処理）が広く利用されている。高温セット処理とは、木材の人工乾燥における前処理であり、飽和蒸気により材温を上げた後に、高温低湿条件（乾球温度 110～120℃、湿球温度 80～90℃（相対湿度に換算すると30～35%）にて材表面の含水率を急激に低下させることにより、乾燥初期に材表層部を急速に乾燥させ、高温域での熱弾性変形と引張りセット（乾燥過程で引張応力を与えることで、無荷重での乾燥収縮ひずみに比べ伸びのひずみが残留することになり、その残留ひずみのこと¹⁾）の形成により心持ち材特有の材面割れが抑えられる²⁾。以降、本報告では、この処理をセット処理と呼ぶ。

セット処理条件については多くの研究が行われており³⁾ある程度確立された方法ではあるが、セット処理を行っても、処理後の本乾燥において表面割れが生じるケースがある。これはセットが効果的に形成されていないことが影響していると考えられる。本研究は、セットの形成と材質との関係性を明らかにすることを目的に行った。

2. 実験方法

2. 1 供試材

鹿児島県産スギ心持ち平角材（寸法 135×230×4,000mm）5本を供試した。まず、4本については両端約300mmを切

り落とし、そこから約30mmの試験片を2体、約600mmの試験体を1体、と繰り返しカットし、約600mmの試験体をセット処理（表面ひずみ測定）用とし、約30mmの試験片は採取場所ごとに収縮率（セット処理前）測定用、含水率分布（セット処理前）測定用とした（図1）。残りの1本はセット処理を行わない比較用で、長さ約600mmの試験体を4体採取し、天然乾燥時の表面ひずみ測定用とした。

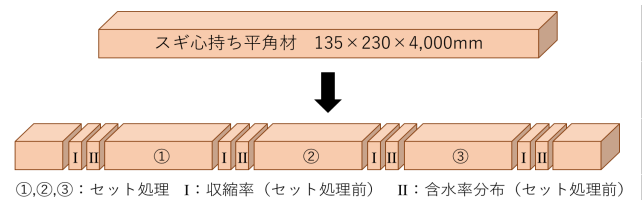


図1 試験体採取方法

2. 2 セット処理

セット処理用試験体は、木口面からの乾燥を防ぐために木口面をシリコンで塞ぎ、木材乾燥機を用いてセット処理（蒸煮6時間（乾球温度95℃、湿球温度95℃）、高温処理24時間（乾球温度120℃、湿球温度90℃）を行った（図2）。セット処理後の試験体からは、図3のように収縮率（セット処理後）測定用および含水率分布（セット処理後）測定用の試験片を採取した。



図2 木材乾燥機での積み込み状況

*地域資源部

**研究主幹

***元 地域資源部

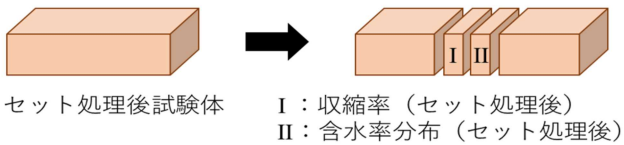


図3 セット処理後の試験体採取方法

2. 3 表面ひずみ測定

セット処理中の木材の状態を把握するため、セット処理用試験体の木口面を除く4面（a～d面、断面において短辺となる面をa，c面，長辺となる面をb，d面とした）それぞれの中央部にひずみゲージを1枚ずつ貼り（図4），セット処理中の表面のひずみ発生状況を測定した。また，セット処理を行わない場合のひずみ発生状況を把握するために，天然乾燥を実施した。長さ約600mmの試験体4体に対し，木口面へのシリコン塗布後，それ以外の4面（a～d面は上述のとおり）それぞれの中央部にひずみゲージを1枚ずつ貼り，気温26～29℃の風通しの良い屋内に静置し，天然乾燥時の表面のひずみ発生状況を測定した（図5）。

2. 4 収縮率測定

セット処理によって引張りセットが形成された木材は，セットが形成されていない木材よりもその後の乾燥過程において収縮が抑えられる。そこで，セット形成の有無を確認するために収縮率を測定した。収縮率測定用試験体の木口面以外の4面から深さ方向に約2mm厚のスライス片を3枚ずつ切り出した（図6）。「JIS Z 2101：2009 木材の試験方法 6 収縮率の測定」に準拠し，スライス片を乾燥させながら一定時間おきに重量および幅（接線方向の寸法）を測定することで，平均収縮率（含水率1%あたりの収縮率）を算出した。

2. 5 含水率分布測定

含水率分布測定用試験体を高周波式含水率計を用いて木口面以外の4面で含水率測定を行った後，木口面において縦5等分，横7等分となるよう分割し，サイコロ状の試験体を作製した（図7）。サイコロ状の試験体ひとつひとつを「JIS Z 2101：2009 木材の試験方法 4 含水率の測定」に準拠し，全乾法により含水率を算出することで，表面から中心にかけてどのような水分配置になっているかを確認した。



図4 ひずみゲージの貼付状況



図5 天然乾燥



図6 収縮率試験片



図7 含水率分布試験体

3. 結果と考察

3. 1 表面ひずみ測定

セット処理中の測定においては，棧積み上部の試験体を中心にノイズが発生した（図8）。今回使用した乾燥機は，庫内上側に空気循環用のファンを備えており，ノイズ発生が周期的だったことから，ファンの回転によりノイズが発生したものと考えられた。そこで，ひずみゲージのリード線を，3平行ビニール線からノイズの影響を受けにくい3本撚線架橋ポリエチレン線3線式に変更し（図9），さらにひずみゲージをブチルゴムシートで被覆し，高湿度による影響も除外した状態で再度セット処理中のひずみ測定を行った。その結果，図10に示すようにノイズの発生を防ぐことができ，セット処理中のひずみ測定が可能となった。

セット処理中のひずみは，蒸煮処理中にa，c面で圧縮応力，b，d面で引張応力が発生し，その後a，c面においては引張りに，b，d面においては圧縮に転じた。引張りのひずみは表層部の乾燥，圧縮のひずみは表層部の熱膨張，残留応力の解放および微細な表面割れによって生じたものと考えられた⁴⁾。

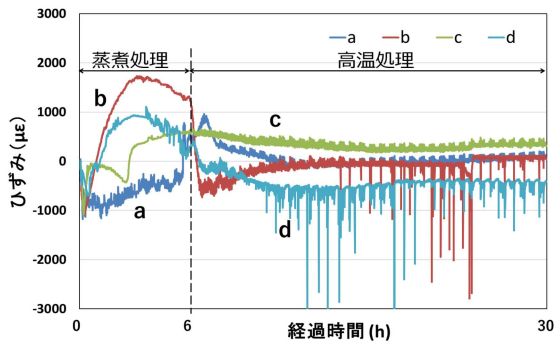


図8 セット処理中のひずみ測定結果

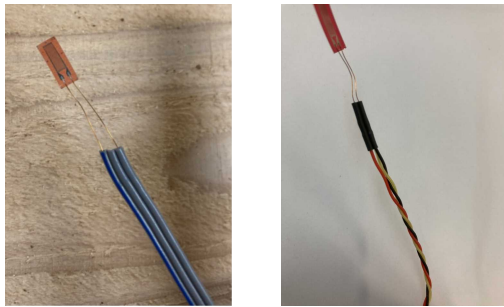


図9 ひずみゲージの変更
(左：ビニール線，右：撚線架橋ポリエチレン線)

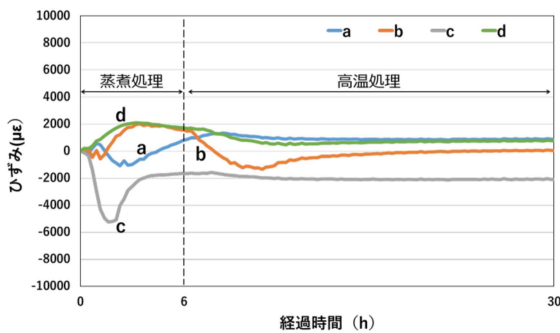


図10 セット処理のひずみ測定結果（改善後）

天然乾燥中のひずみ測定結果を図11に示す。セット処理中と天然乾燥中とのひずみの発生状況を比較すると、天然乾燥では、乾燥に伴い1面のみで急激に引張応力が增大し、表面割れが生じて以降はその低下が見られた。一方でセット処理中のひずみ経過（図10）を見ると、引張応力の増大は確認されたものの、その程度は小さかった。蒸煮処理により細胞の軟化が生じ、急激に温度が上昇する高温処理の段階でも応力の上昇が抑えられたと考えられた⁵⁾。

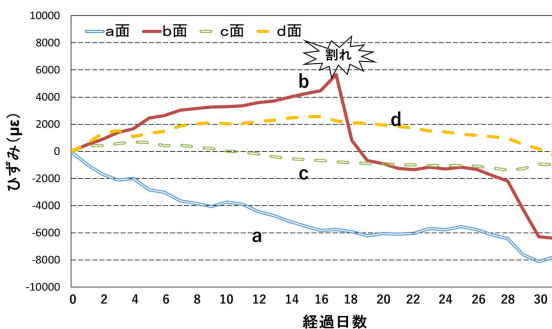


図11 天然乾燥中のひずみ測定結果

3.2 収縮率測定

収縮率測定結果は、セット処理前の場合、1層目から3層目までの収縮率は図12のようにほぼ同じだったのに対し、セット処理後は、図13のように1層目の収縮率が小さく、2層目、3層目と内側になるにつれて収縮率が大きくなった。

セット処理は、前述のとおり乾燥過程で引張応力を与えることで、無荷重での乾燥収縮ひずみに比べ伸びのひずみが残留することで収縮が抑えられる。セット処理後の収縮率が材料内部に向かうにつれて大きくなっていったことは、セット処理の効果が現れたものと考えられた。

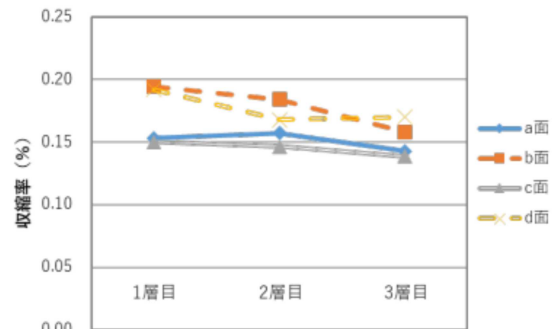


図12 収縮率（セット処理前）

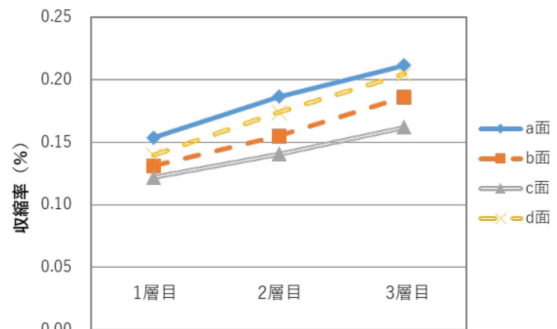


図13 収縮率（セット処理後）

3.3 セット処理の効果と含水率分布との関係

セット処理後の試験体のうち、3層目の収縮率が2層目よりも小さい試験体があった（図14）。図13の収縮率を示した試験体および図14の収縮率を示した試験体におけるセット処理前後の含水率分布を図15および図16にそれぞれ示す。図15では、表層付近の含水率はセット処理前の50～70%程度からセット処理後には20～30%程度にまで下がっている。一方で、図16の表層付近の含水率は、セット処理前で100～200%という非常に高い値となっており、セット処理後も100%前後を維持しているところがあった。高温セット法では、組織が軟化した状態で乾燥することによってセット処理の効果が得られるが、含水率200%から100%への低下は、木材内部の空隙に存在する自由水の乾燥であり、木材の繊維飽和点（木部組織が水で満たされ、自由水は存在しない状態）である含水率30%にはほど遠いことから、セット処理の効果が得られなかったと考えられた。

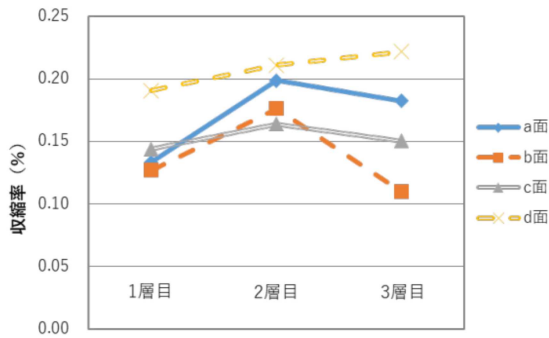


図14 収縮率 (セット形成不良)

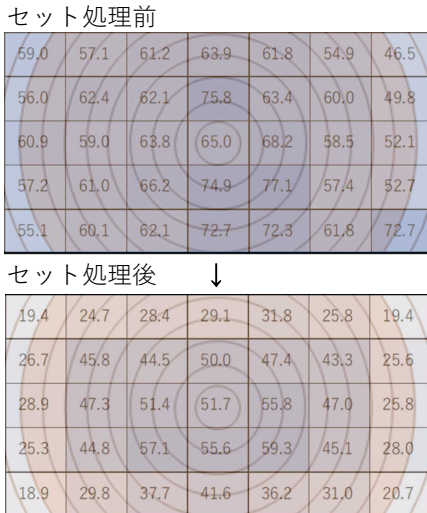


図15 含水率分布の変化 (セット形成良好)

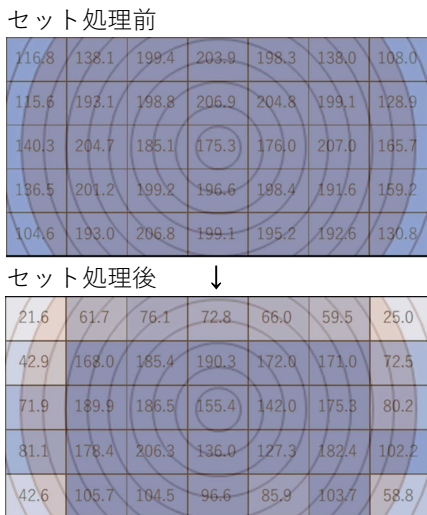


図16 含水率分布の変化 (セット形成不良)

セットを効果的に形成するためには、材表層部に水分が存在することが重要であることから、製材後なるべく乾燥しない状態でセット処理を始めることが多いが、南九州産のスギは含水率が高いため、製材直後ではセットが効果的に形成されない可能性が示唆された。

現場で実施可能な高周波式含水率計型式で測定を行った(表1)。その結果、セット処理の効果が得られなかった試験体(試験体番号3のb, d面)は、含水率が全て100%以上で、全乾法による含水率測定の結果と同様の傾向を示した。

表1 含水率計での測定結果

	含水率 (%)			
	a面	b面	c面	d面
1_①	52.5	65.5	52.5	62.5
1_②	61.5	53.0	48.5	62.0
1_③	72.0	59.0	60.5	66.5
2_①	47.0	62.5	48.5	49.5
2_②	51.0	66.5	60.5	52.0
2_③	49.0	68.0	57.5	53.5
3_①	111.0	126.5	91.5	118.0
3_②	70.5	132.0	114.0	128.5
3_③	98.0	132.0	74.0	132.0
4_①	54.0	60.0	59.0	67.0
4_②	62.0	76.5	50.0	55.5
4_③	59.5	56.5	60.5	71.0

4. 結 言

スギ心持ち平角材のセット処理の効果を明らかにする目的で収縮率や含水率分布の測定を行った結果、以下のことがわかった。

- ひずみゲージのコーティングやリード線を3本撚線架橋ポリエチレン線にすることで、セット処理中のひずみ発生状況が観察可能となった。
- 収縮率測定の結果、表層部におけるセット形成によって収縮抑制効果が得られ、セット形成は含水率分布の影響を受けることがわかった。
- 初期含水率が高すぎる場合にはセットが効果的に形成されない可能性があり、本試験においてセットが効果的に形成されなかった試験体は、含水率が100%を上回った。

参 考 文 献

- 1) 信田聡, 河崎弥生: “木材科学講座7 木材の乾燥 I 基礎編” 海青社(2020)p. 79-80
- 2) 吉田孝久ら: 木材工業, 55(8), 357-362(2000)
- 3) 黒田尚宏: 木材学会誌, 53(5), 243-253(2007)
- 4) 鳥羽景介ら: 木材工業, 73(12), 550-554(2018)
- 5) 松元明弘ら: 木材学会誌, 58(1), 23-33(2012)