

(論 文)

心持ち正角材の内部および表面割れに及ぼす高温セット処理条件の影響*

中嶋 康 武田 孝志**

Effect of high-temperature setting treatment on the internal and surface checks of
Boxed-heart square timber with pith

Yasushi NAKASHIMA, Takashi TAKEDA

要 旨

高温セット処理法は針葉樹心持ち正角材の人工乾燥技術として普及しているが、今後は従来よりも断面寸法の大きな心持ち正角材の利用が想定されることから、大断面の正角材を対象とした高温セット処理の検討が必要となる。そこで、樹種別と断面寸法別の高温セット処理法による人工乾燥技術の開発を目的として、アカマツ・カラマツ・スギ心持ち正角材の高温セット処理時の温度、処理時間からなる高温セット処理条件が含水率、内部割れと表面割れの発生に及ぼす影響を断面寸法別に分析した。

その結果、断面寸法によらず高温セット処理直後の含水率が内部割れの発生に影響を及ぼすことが示され、高温セット処理中の含水率計測は、内部割れの発生を抑制する方法として有用な手段の一つであると考えられた。また、高温セット処理条件によらず、アカマツの表面割れはカラマツおよびスギと比較して大きくなることが示された。さらに、アカマツおよびスギは断面寸法が大きくなると、表面割れも大きくなる傾向が示された。

While the high-temperature setting method has spread in Japan, the optimal kiln-drying schedules have not yet established for various softwood species of larger-sized boxed-heart square timbers. Then, we tried to search an effective high-temperature setting method for reducing both surface- and internal checks by analyzing the effects of temperature conditions and size of the timbers on them.

The results suggested that moisture content after high-temperature setting treatment might affect the occurrences of internal checks in Akamatsu (*Pinus densiflora*) and Sugi (*Cryptomeria japonica*) timbers. The monitoring of moisture content during high-temperature setting treatment should be useful for reducing internal checks. As comparing of differences in occurrence of surface checks among species, surface checks in Akamatsu timbers were wider than in Karamatsu (*Larix kaempferi*) and Sugi timbers. Larger timber size caused more frequent occurrences of surface checks in Akamatsu and Sugi except Karamatsu.

キーワード：心持ち正角材，高温セット処理，断面寸法，表面割れ，内部割れ

目 次

1 はじめに	2	3 結果と考察	
2 実験方法		3.1 高温セット処理条件と含水率	4
2.1 供試材と処理前の測定	2	3.2 高温セット処理条件と内部割れ	7
2.2 高温セット処理条件	2	3.3 高温セット処理条件と表面割れ	9
2.3 高温セット処理直後の測定	3	4 おわりに	9
2.4 天然乾燥後の測定	4	引用文献	9
2.5 高温セット処理前の含水率の推定	4		

* 本報の一部は2013年度日本建築学会大会（北海道）で発表している。

**信州大学農学部

1 はじめに

平成12年に住宅の品質確保の促進等に関する法律が施行されて以降、木造軸組工法住宅に使われる構造材は含水率・強度・表面割れ等の品質表示が求められており、心持ち正角材の利用促進には、人工乾燥技術の確立が不可欠とされている^{4,11)}。

現在、木材の人工乾燥設備として国内で最も広く普及している蒸気加熱方式を用いた人工乾燥設備（以下「蒸気式乾燥」という。）を使用して、乾燥時の最高温度を100°C超とする高温セット処理法は、心持ち正角材の乾燥時間の短縮と表面割れ発生抑制に効果的であることから、国内で最も使用される人工乾燥方法となっている^{8,9,13-16)}。

しかし、高温セット処理法により断面内に発生する内部割れは、柱材のせん断強度低下の要因となると報告されているため、内部割れを抑制する高温セット処理条件について検討が必要とされている^{5,7)}。さらに、最近の地域材を用いた木造軸組工法住宅に使われる柱材は、大手住宅メーカーとの差別化を意識した大断面化が特徴とされており³⁾、従来よりも大断面化した正角材の高温セット処理条件についても検討が必要である。

しかし、これまでの高温セット処理技術に関する研究は、主に仕上がり寸法が105~120mmまでの正角材を対象としており、それ以上の断面寸法の心持ち正角材を対象として、高温セット処理と仕上がり後の含水率、内部割れ、表面割れとの関係を検討した事例は見られない。

そこで本研究は、針葉樹心持ち正角材の断面寸法別の高温セット処理法による人工乾燥技術の検討を目的とし

て、アカマツ (*Pinus densiflora* Sieb. et Zucc.)・カラマツ (*Larix kaempferi* Carrière)・スギ (*Cryptomeria japonica* D. Don) の3樹種について、3種類の断面寸法の正角材に、処理温度と時間が異なる6条件の高温セット処理を行い、高温セット処理後の含水率、内部割れおよび表面割れを比較した。

2 実験方法

2.1 供試材と処理前の測定

試験体は末口径約20~30cmの丸太から製材したアカマツ、カラマツ、スギ心持ち正角材とした。試験体の長さは約2000mmとし、断面寸法は幅×厚さが135mm×135mm、155mm×155mm、185mm×185mm（以下135mm、155mm、185mmとする）の3種類とした。試験体は高温セット処理時に木口からの急激な水分蒸発を防ぐため、木口をシーリング材（積水化学工業株式会社：セキスイシリコンシーラント）でシールした。また、試験体は高温セット処理前に、長さ、断面寸法（mm）と質量（kg）を測定した。

2.2 高温セット処理条件

人工乾燥機は、高温タイプの蒸気式乾燥機（株式会社新柴：SKD-045Jr）を使用した。

高温セット処理前の初期蒸煮は全て乾球温度95°C、湿球温度95°Cで12時間とした。

表-1に高温セット処理条件と試験体数を示す。本研究では高温セット処理時の最高温度が、高温セット処理直後の含水率、仕上がり後の内部割れと表面割れの発生に及ぼす影響を検討するため、処理時間を48時間、乾球温度を100°C、110°C、120°C、130°C（以下100°C

表-1 高温セット処理条件と試験体数*

Table 1. High-temperature setting (HTS*) treatment conditions and the number of specimens

乾球温度 (°C) Dry bulb temperature (°C)		100	110	120	130	
湿球温度 (°C) Wet bulb temperature (°C)		70	80	90	100	
処理時間 Treatment time	8	135	-	-	3**	
		155	-	-	3	
		185	-	-	3	
	24	135	-	-	3	
		155	-	-	3	
		185	-	-	3	
	48	135	3	3	3	3
		155	3	3	3	3
		185	3	3	3	3

説明：* 高温セット処理とは、人工乾燥の初期段階に、生材状態の正角材を高温-低湿環境下で一定時間熱処理すること

** 試験体数（試験体は全て正角材で、樹種はアカマツ、カラマツ、スギ）

Note : * Green square timbers with pith is kiln-dried under high-temperature and low-humidity condition at initial drying stage.

** Number of specimens. (Test specimens are akamatsu, karamatsu and sugi boxed-heart square timber with pith.)

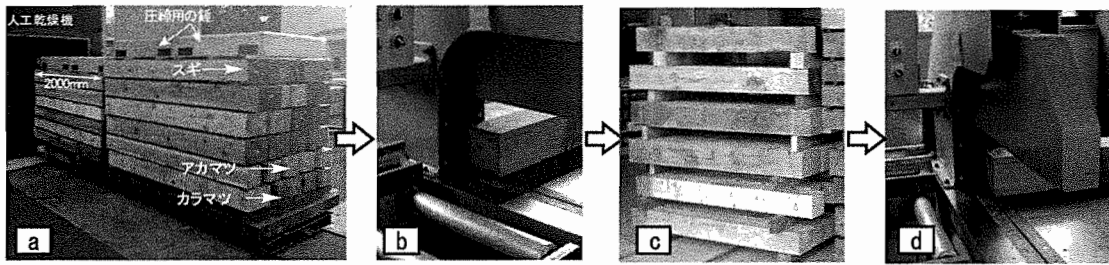


図-1 高温セット処理試験の流れ

Fig. 1. Schematic of high-temperature setting(HTS) treatment test.

凡例： a：異なる条件による高温セット処理 b：試験体は高温セット処理後、直ちに材片を採取し、含水率を測定
c：半年間の天然乾燥 d：天然乾燥後に材片を採取し、内部および表面割れを測定

Legend : a:HTS treatment under different conditions with drying kiln b:Test piece was cut out immediately after HTS treatment, and moisture content (MCs) were measured
c:Air seasoning in warehouse for half a year. d:Test piece was cut out after air seasoning, and MCs, internal and surface checks were measured.

-48h, 110°C-48h, 120°C-48h, 130°C-48hとする)の4種類とし、乾湿球温度差は全ての条件で30°Cとした。さらに、高温セット処理時間が高温セット処理直後の含水率、仕上がり後の内部割れと表面割れの発生に及ぼす影響を検討するため、乾球温度を130°C、処理時間を8時間、24時間(以下130°C-8h, 130°C-24hとする)の2種類に130°C-48hの結果を加えて比較した。これらの高温セット処理条件は、合計6条件であり、条件別に供試した試験体数は、樹種と断面寸法毎に3体とした。

2.3 高温セット処理直後の測定

図-1に実験全体の流れを示す。通常の高温セット処理による人工乾燥は、高温セット処理後に乾球温度90°C、湿球温度60°Cの中温乾燥工程に移行し、含水率

を目標値まで低下させることとしているが¹⁾、本研究では高温セット処理直後の含水率を測定するため、高温セット処理直後に乾燥機から試験体を搬出したことから、含水率を測定した後は、天然乾燥で含水率を目標値まで低下させることとした。

図-2に高温セット処理直後に行った含水率測定方法を示す。高温セット処理直後の試験体は、質量を測定後、木口より500mmの箇所から長さ50mmの小片を採取した。小片は表面から50mmの位置で分割した試験片を切り出し、さらに表面からの距離が5, 15, 30, 50, 50mm以上の位置で小分割し、この分割した小試験片ごとの含水率を全乾法で求めた。また、小試験片を含む小片の全乾前後の質量差から求めた含水率を高温セット処理直後の

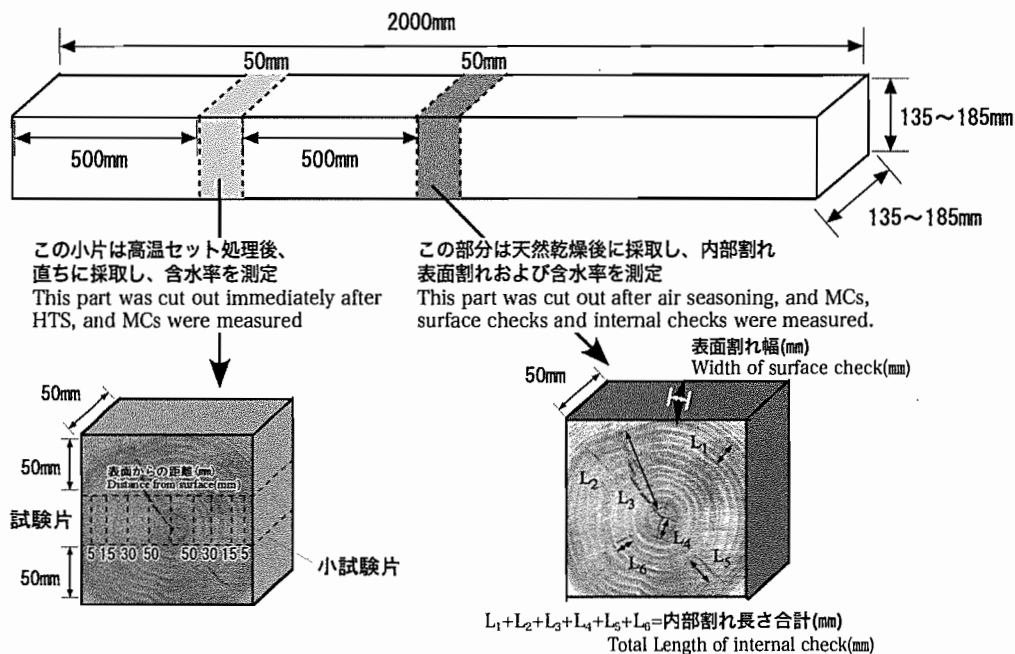


図-2 心持ち正角材の含水率、内部割れおよび表面割れの測定

Fig. 2. Measurement of moisture content, internal and surface checks of square timbers with pith.

含水率とした。

2.4 天然乾燥後の測定

高温セット処理直後の小片を採取した後、試験体は2012年5月から同年11月までの約半年間、岩手県林業技術センター（岩手県矢巾町）の実験棟内で天然乾燥した。天然乾燥中の室内の平均温度は約19°C、平均湿度は59%であり、平衡含水率は約11%と推定される¹²⁾。

図-2に天然乾燥後の内部割れと表面割れの測定方法を示す。天然乾燥終了後、試験体の木口より500mmの箇所から長さ50mmの小片を採取し、木口面のスキャン画像に対し、imageJ1.43u (NIH) を用いて画像解析を行い²⁾、画像解析により測定された木口面の内部割れの長さの合計を、内部割れ長さ合計 (mm) とした¹⁾。また、小片の表層に発生した割れの最大幅を表面割れ幅 (mm) として、デジタルノギス (精度0.1mm) で測定した。内部割れと表面割れの測定が終了した試験片は、全乾法により仕上がり含水率 (%) を測定した。

2.5 高温セット処理前の含水率の推定

高温セット処理前の含水率は、高温セット処理前後の質量と高温セット処理直後に測定した含水率から全乾質量を推定して以下式(1)、(2)により求めた。

$$U_i = \left\{ \frac{W_i - W_0}{W_0} \right\} \times 100 (\%) \quad \dots (1)$$

$$W_0 = \frac{W_s}{\frac{U_s}{100} + 1} \quad \dots (2)$$

U_i : 高温セット処理前の含水率 (%)

U_s : 高温セット処理直後の含水率 (%)

W_i : 高温セット処理前の質量 (kg)

W_s : 高温セット処理後の質量 (kg)

W_0 : 推定全乾質量 (kg)

3 結果と考察

3.1 高温セット処理条件と含水率

図-3に断面寸法155mmの高温セット処理前後、天然乾燥後の含水率の平均値を樹種別、高温セット処理条件別に示す。含水率は、高温セット処理により全ての樹種で急激に低下した。また、高温セット処理後の天然乾燥では、含水率が減少した条件と、増加した条件が各樹種で示された。高温セット処理後の含水率の増加は、高温セット処理により、平衡含水率よりも低くなった辺材部の含水率が、天然乾燥中に吸湿したためと考えられる¹⁰⁾。

図-4に高温セット処理直後の含水率の平均値を断面寸法別に示す。断面寸法185mmの試験体の含水率は、断面寸法135mmと比較して、全ての高温セット処理条件で、高くなる傾向が示された。高温セット処理後の含水率が高いと、高温セット処理後の中温乾燥時間も長くなるため、平角材の断面寸法が大きくなるほど、高温セット処理後の中温乾燥時間も長くなると推察される。

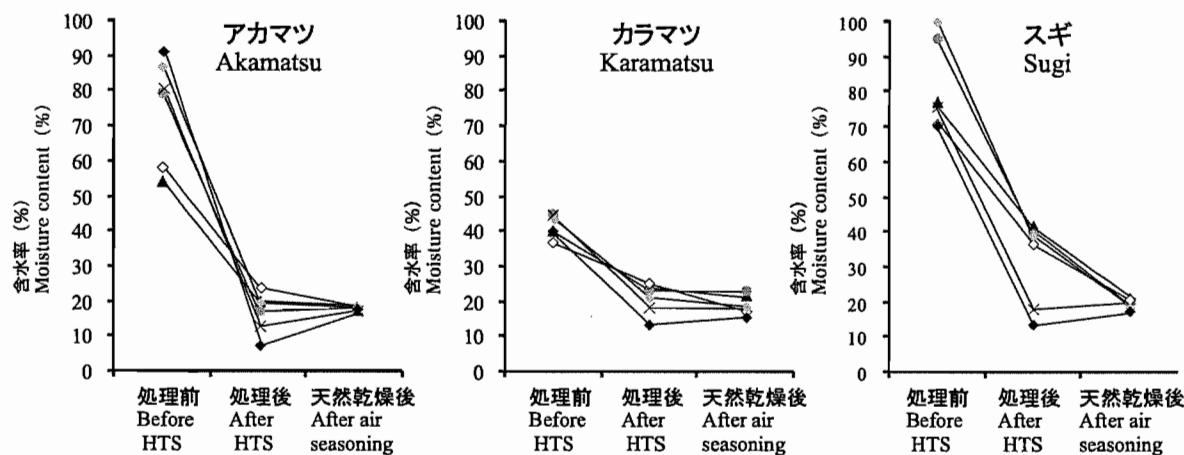


図-3 高温セット処理前後および天然乾燥後の含水率

Fig. 3. Moisture content before and after- HTS treatment and after air seasoning for half a year.

凡例：高温セット処理条件 ▲100°C-48h ●110°C-48h ×120°C-48h ◇130°C-8h ◆130°C-24h ◆130°C-48h

Legend: HTS treatment conditions ▲100°C-48h ●110°C-48h ×120°C-48h ◇130°C-8h ◆130°C-24h ◆130°C-48h

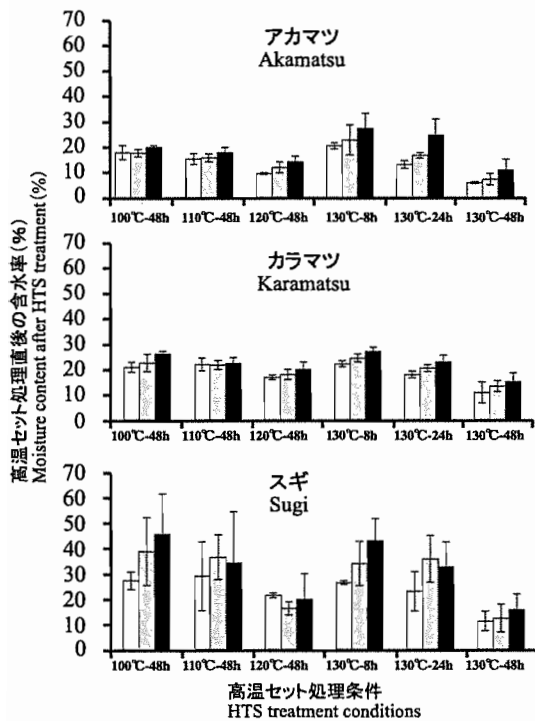


図-4 高温セット処理条件と含水率との関係
 Fig.4. Relationship between HTS treatment conditions and moisture content after HTS.
 凡例：断面寸法 □ 135mm ■ 155mm ■ 185mm
 Legend : Size of side □ 135mm ■ 155mm ■ 185mm
 説明：誤差バーは標準偏差を示す
 Note : Error bar is standard deviation

また、図-4に示すとおり、スギは高温セット処理直後の含水率の高温セット処理条件間、断面寸法間での差が大きく、さらにバラツキも大きくなった。この原因を検討するため、図-5に高温セット処理前と高温セット処理直後の含水率の関係を樹種別に示す。スギは、高温セット処理前後の含水率に危険率1%で有意な正の相関関係が認められ、高温セット処理直後の含水率に高温セット処理前の含水率が影響していることが示された。そのため、スギは高温セット処理直後の含水率のバラツキを抑制するため、あらかじめ重量選別を行うなど、高温セット処理前の含水率のバラツキを減少させる処理が必要と考えられる。

図-6に高温セット処理条件100°C-48hと130°C-48hの高温セット処理直後の表面からの距離別の含水率を樹種別、断面寸法別に示す。高温セット処理条件130°C-48hは100°C-48hと比較して、全ての樹種と断面寸法で、表面から中心にかけての含水率が低くなっており、高温セット処理時の温度が高いと、正角材の内部まで含水率が減少することが示された。さらに、高温セット処理条件130°C-48hの場合、アカマツとカラマツの断面寸法185mmの中心部の含水率は、断面寸法135mmと

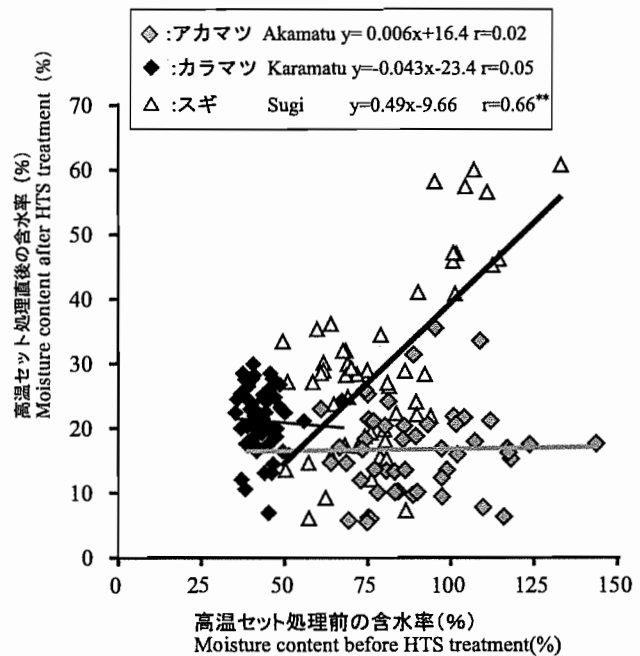


図-5 高温セット処理前後の含水率の関係
 Fig. 5. Relationship between moisture content before and after HTS treatment.
 説明：rは相関係数 **は危険率1%で有意を示す
 Note : r : simple correlation coefficients
 ** Significant at 0.01 level

比較して高く、高温セット処理直後の断面内の含水率は、断面寸法が大きくなるほど高くなることが示された。

徳本らは^{9,13)}、スギ心持ち正角材の高温セット処理での表層と内層との応力転換は表層の含水率と関係し、表層の含水率10%前後で応力転換が認められるとしている。そこで図-7に、高温セット処理直後の含水率が10%以下となった部位の表層からの距離を、高温セット処理温度、処理時間別に示す。全ての樹種で、高温セット処理時の温度が高いほど、また高温セット処理時間が長いほど内部まで乾燥が進行し、含水率10%以下の表層からの距離が長くなる傾向が示され、高温セット処理による応力転換がより内部で発生していると推察された。さらに、断面寸法185mmの試験体と比較して135mmと155mmは、全ての樹種で、高温セット処理時の乾球温度が高いほど、また高温セット処理時間が長いほど、含水率10%以下の表層からの距離が大きくなり、断面寸法が大きくなると高温セット処理による応力転換の表層からの距離が小さくなると推察された。

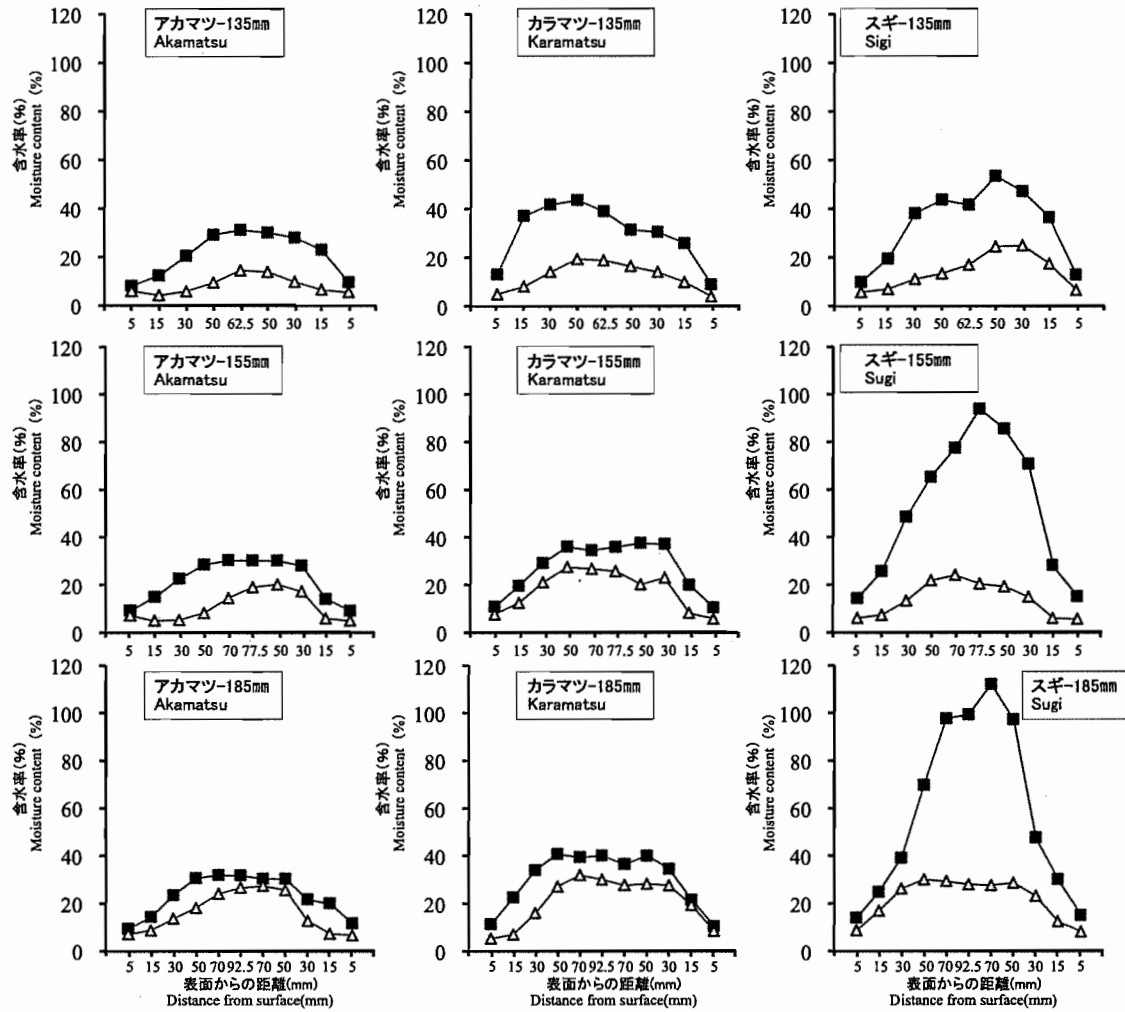


図-6 高温セット処理条件別の水分傾斜の比較
 Fig. 6. Comparison of moisture gradient after HTS treatment.
 Legend : HTS treatment conditions ■ 100°C-48h △ 130°C-48h

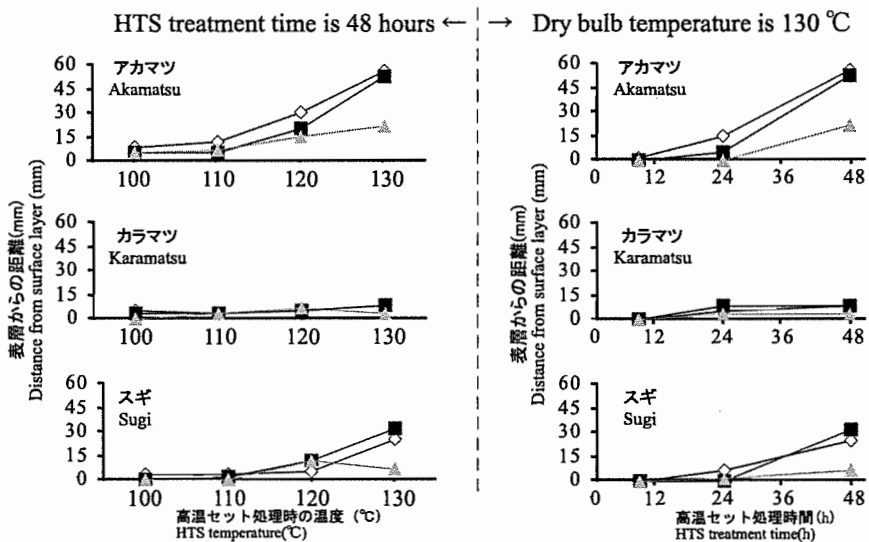


図-7 高温セット処理条件と含水率10%以下の表層からの距離との関係
 Fig. 7. Relationship between dry bulb temperature, treatment time and area where moisture content after HTS treatment becomes 10% or less.
 Legend : Size of side ◇:135mm ■:155mm ▲:185mm
 説明; 左側:48時間高温セット処理 右側:130°C高温セット処理
 Note : Left side:HTS treatment time is 48 hours.
 Right side:Dry bulb temperature is 130 °C

3.2 高温セット処理条件と内部割れ

図-8に高温セット処理条件別の内部割れ長さ合計の平均値を樹種別, 断面寸法別に示す。アカマツとスギは, 高温セット処理温度が高いほど, また処理時間が長いほど内部割れが増加する傾向を示した。一方, 全ての樹種で, 断面寸法と内部割れ長さ合計との間に明確な関係は見られなかった。また, 樹種間での内部割れの差を検証するため, 断面寸法を全て含めた場合の樹種を要因とする内部割れの分散分析を高温セット処理条件別に行った結果, 樹種間で内部割れ長さ合計に有意な差は認められなかった。

図-9に, 断面寸法を全て含めた場合の, 高温セット処理時の乾球温度, 処理時間と内部割れ長さ合計との関係を樹種別に示す。全ての樹種で高温セット処理時の乾球温度が高くなると内部割れも大きくなる傾向が示された。そこで, 高温セット処理時の乾球温度と内部割れとの関係を検証するため, 高温セット処理時の乾球温度を要因とする内部割れ長さ合計の分散分析と多重比較を行った結果, アカマツとスギは乾球温度100℃と比較して130℃で有意な差が認められた。一方, カラマツは全ての高温セット処理条件で内部割れに有意な差は認められなかった。

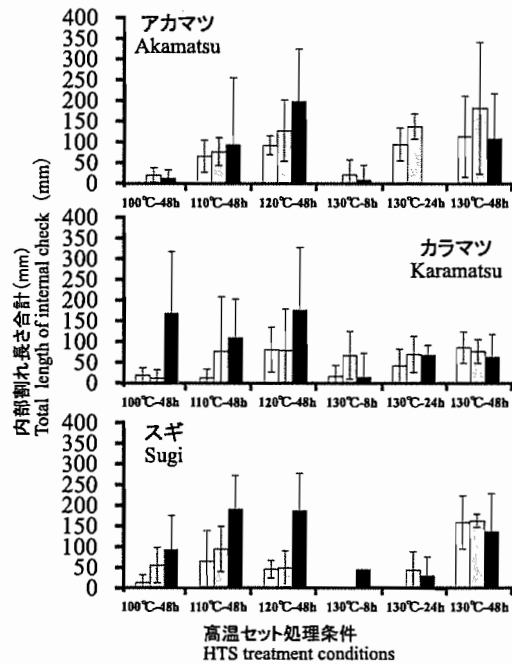


図-8 高温セット処理条件と内部割れ長さ合計との関係
 Fig.8. Relationship between HTS treatment conditions and total length of internal checks of timbers.
 Legend : Size of side □ 135mm ■ 155mm ■ 185mm
 Note : Error bar is standard deviation

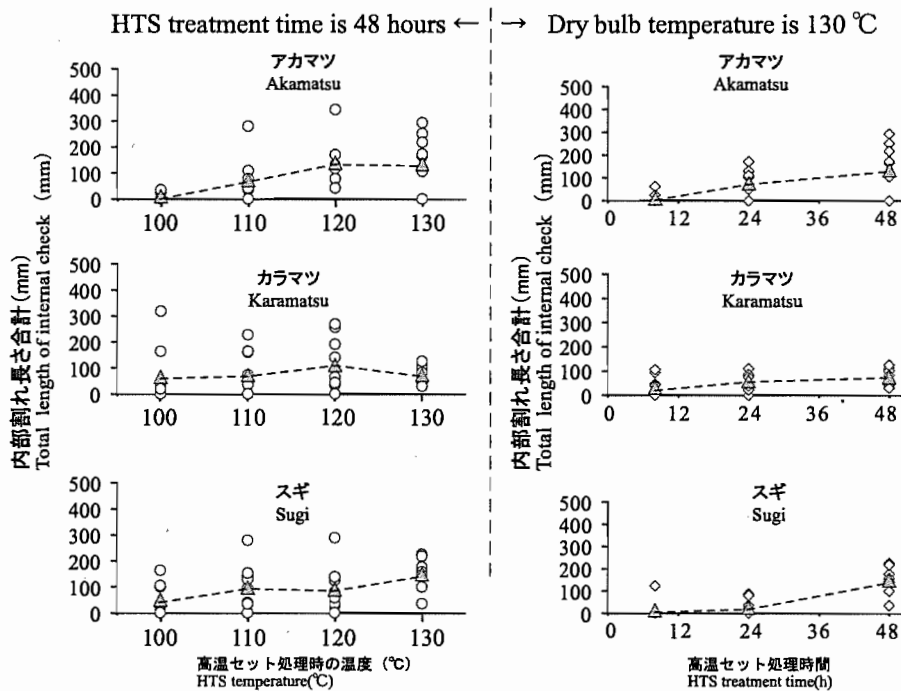


図-9 高温セット処理時の温度および時間と内部割れ長さ合計との関係
 Fig. 9. Relationship between dry bulb temperature, treatment time and total length of internal check.
 凡例 : ▲ 平均値 Legend : ▲ Average
 Note : Left side : Treatment time is 48 hours. Right side: Dry bulb temperature is 130 °C

また、乾球温度130°Cの場合、全ての樹種で高温セット処理時間が長くなると内部割れも大きくなる傾向が示された。そこで、高温セット処理時間と内部割れとの関係を検証するため、高温セット処理時間を要因とする内部割れ長さ合計の分散分析と多重比較を行った結果、アカマツとスギは危険率5%で8時間と比較して24、48時間で有意な差が認められた。また、カラマツは8時間と比較して48時間で有意な差が認められた。

内部割れの発生は、内層部に発生する引張応力に影響されることから^{9,14)}、高温セット処理条件で内部割れ長さに有意な差が認められたのは、図-6および図-7に示すとおり、高温セット処理直後の含水率が処理条件で異なったことによると推察された。そこで、図-10に

高温セット処理直後の含水率と内部割れ長さ合計との関係を樹種別、高温セット処理条件別に示す。高温セット処理時の温度を130°Cとして、処理時間が異なる条件とした場合の、高温セット処理直後の含水率と内部割れ長さ合計には、全ての樹種で有意な負の相関関係が認められた。また、アカマツとスギは、高温セット処理直後の含水率を説明変数とする近似直線の傾きが、乾球温度別と処理時間別とで、ほぼ同様の傾向を示しており、高温セット処理直後の含水率が内部割れの発生に影響していることが示された。

一方、カラマツは、乾球温度別での相関において、高温セット処理直後の含水率と内部割れ長さ合計との間に有意な相関関係が認められなかった。カラマツは他の樹

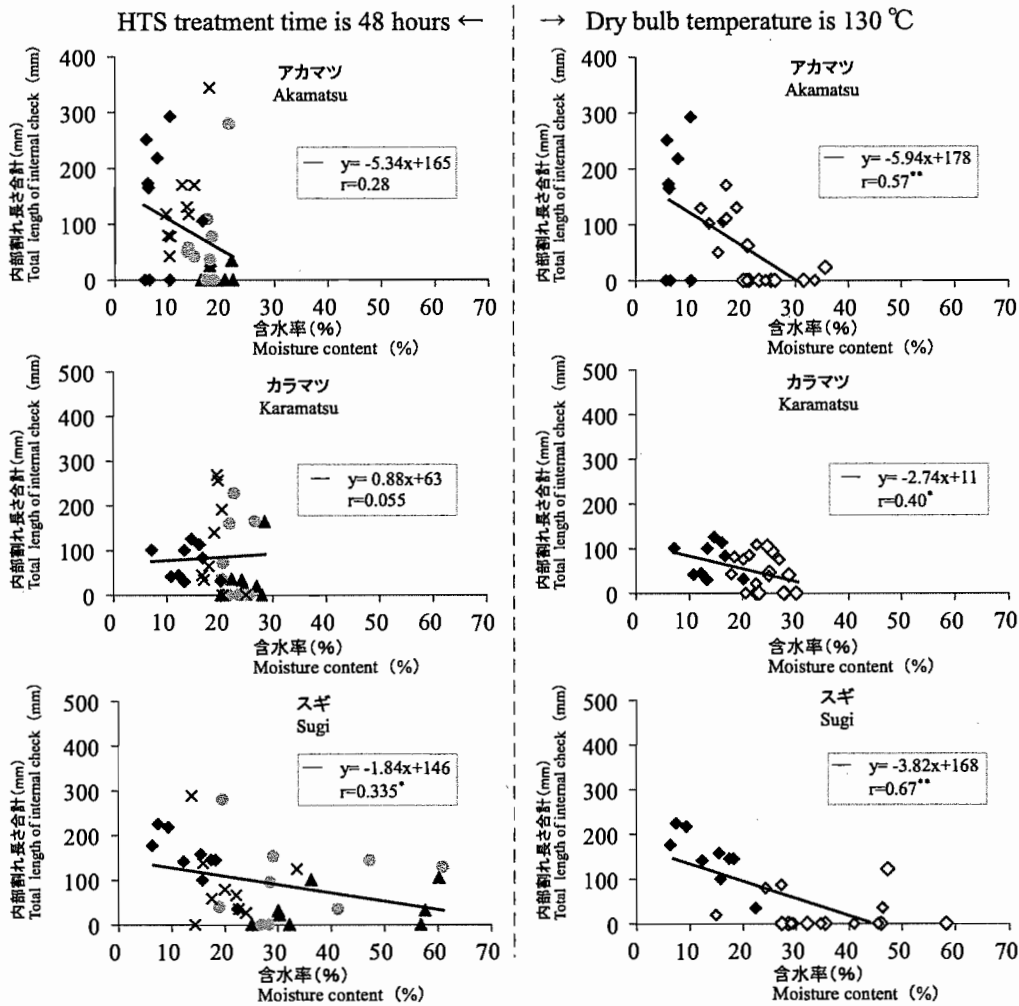


図-10 高温セット処理直後の含水率と内部割れ長さ合計との関係
 Fig. 10. Relationship between moisture content after HTS treatment and total length of internal check.

Legend : ▲:100°C-48h ●:110°C-48h ×:120°C-48h
 ◇:130°C-8h ◆:130°C-24h ◆:130°C-48h

Note : Left side:HTS treatment time is 48 hours. Right side:Dry bulb temperature is 130 °C
 r:Simple correlation coefficients * Significant at 0.05 level ** Significant at 0.01 level

種と比較して、高温セット処理直後の含水率以外にも、高温セット処理前の断面内の含水率分布、心材率、年輪幅など材質的な因子が内部割れの発生に影響を及ぼしていると推察されるが、その詳細な原因については今後の検討が必要である。

また、アカマツとスギは、高温セット処理直後の含水率が内部割れの発生に影響していることが示されたことから、内部割れを制御する方法として、高温セット処理中の含水率計測は有用な手段の一つであると考えられた。

3.3 高温セット処理条件と表面割れ

図-11に高温セット処理条件別の表面割れ幅の平均値を断面寸法別に示す。全ての樹種で高温セット処理条件と表面割れ幅に明確な関係は認められなかった。一方、アカマツの表面割れは、全ての高温セット処理条件で、スギおよびカラマツと比較して大きくなる傾向が示された。アカマツは他の樹種と比較して、高温セット処理時の表層の収縮が大きく、表面割れの抑制を目的として表層に形成される引張セットが小さいため、表面割れの発生が大きくなることが報告されており⁶⁾、今回の結果も同様の傾向を示したと考えられる。また、図-7に示すとおり、アカマツはカラマツおよびスギと比較して、高温セット処理により含水率の減少が内部まで進行しており、高温セット処理時の表層の収縮が大きくなったことにより、表面割れが大きくなったとも推察された。

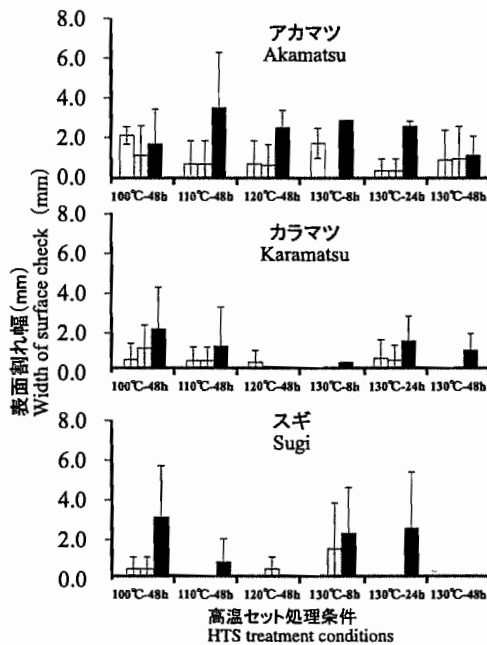


図-11 高温セット処理条件と表面割れ幅との関係
 Fig.11. Relationship between HTS treatment conditions and width of surface check of timbers.
 Legend : Size of side □ 135mm ■ 155mm ■ 185mm
 Note : Error bar is standard deviation

また、アカマツとスギは、高温セット処理条件によらず、断面寸法185mmの表面割れが他の断面寸法よりも大きくなる傾向が示された。この原因として、心持ち正角材は断面寸法が大きくなると、高温セット処理中に表層に形成される引張セットが小さくなること、または高温セット処理後の天然乾燥過程で表層に発生する圧縮応力が小さくなることが考えられるが、その詳細な原因については今後の検討が必要である。

4 おわりに

針葉樹心持ち正角材の断面寸法別の高温セット処理法による人工乾燥技術の検討を目的として、アカマツ・カラマツ・スギについて、心持ち正角材の高温セット処理条件と断面寸法が内部割れと表面割れの発生に及ぼす影響を分析した。その結果、断面寸法が大きくなると、断面寸法の小さい正角材と比較して、高温セット処理直後の含水率も高くなり、高温セット処理後の中温乾燥時間を長くする必要があることが示された。

また、アカマツとスギでは、高温セット処理直後の含水率が内部割れの発生に影響を及ぼすことが示され、高温セット処理中の含水率の計測は、内部割れの発生を抑制する方法として有用な手段の一つであると考えられた。

また、高温セット処理条件によらず、アカマツの表面割れはカラマツおよびスギと比較して大きくなる傾向が示された。さらに、アカマツおよびスギは断面寸法が大きくなると、表面割れも大きくなる傾向が示された。

引用文献

- 1) 「安全・安心な乾燥材生産技術の開発」研究グループ (2012) 安全・安心な乾燥材生産・利用マニュアル. 14-25, 石川県林業試験場石川県ウッドセンター, 石川県.
- 2) 「安全・安心な乾燥材生産技術の開発」研究グループ (2012) 安全・安心な乾燥材生産・利用マニュアル. 42-43, 石川県林業試験場石川県ウッドセンター, 石川県.
- 3) 榎本馨 (2008) 二百年住宅は国産無垢材の太い柱と梁で造る. 174-179, 評言社, 東京.
- 4) 飯島泰男 (2004) 消費者の目から見た国産材と木造住宅. 森林技術750:2-6.
- 5) 井道裕史・長尾博文・加藤英雄 (2005) 乾燥に伴う内部割れがスギ製材品のせん断強度に及ぼす影

- 響, 木材工業60(4):170-174.
- 6) 加世田純之助・藤本登留・吉田孝久 (2012) 心持ち柱材の表面割れに関連する4樹種の材質比較, 第62回日本木材学会大会研究発表要旨集: pp25.
 - 7) 加藤英雄・林 知行 (2009) 乾燥による木材の内部割れが抱える問題, 住宅と木材11:18-24.
 - 8) 黒田尚宏 (2008) 木材加工技術のこれまでとこれから-2, 乾燥-, 木材工業63(11):498-500.
 - 9) 黒田尚宏 (2007) スギ心持ち乾燥のための基礎研究の展開, 木材学会誌53(5):243-253.
 - 10) 中嶋康 (2012) アカマツ心持ち平角材の人工乾燥技術の開発, 岩手県林業技術センター研究報告 20:13-20.
 - 11) 西村勝美 (2011) 新局面を迎えたわが国の製材事情-製材マーケットと製材業の生産構造-, 平成23年度 木材強度・木質構造研究会秋季シンポジウム: 44-45.
 - 12) 高橋 徹・中山義男 (1992) 木材科学講座3 物理 第2章 木材の物理的性質, 32-33, 海青社, 京都.
 - 13) 徳本守彦・武田孝志・吉田孝久 (2005) スギ心持ち無背割り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54(4):365-370.
 - 14) 徳本守彦・帆苺謙一・武田孝志・安江 恒・吉田孝久 (2004) 高温セット法で乾燥したスギおよびヒノキ心持ち柱材内のドラインセットの分布, 材料53(4):370-375.
 - 15) 吉田孝久 (2008) 木材の高温乾燥研究の変遷-高温高湿スケジュールから高温低湿スケジュールへ-, 木材工業63(9):401-405.
 - 16) 吉田孝久・橋爪丈夫・武田孝志・徳本守彦・印出 晃 (2004) 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, 材料53(4):364-369.