心持ち平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^{*1}

中嶋 康^{*2}, 武田孝志^{*3}, 細尾佳宏^{*3}, 徳本守彦^{*3}

Effect of High-Temperature Setting Treatment Conditions on Internal and Surface Checks of Rectangular Timbers with Pith^{*1}

Yasushi NAKASHIMA^{*2}, Takashi TAKEDA^{*3},
Yoshihiro HOSOO^{*3} and Morihiko TOKUMOTO^{*3}

While the use of high-temperature setting method, for kiln drying green square timbers with pith at high-temperature and low-humidity conditions at the initial drying stage, has spread in Japan, there is no established optimal kiln-drying schedule for various softwood species of larger-sized rectangular timbers used for beams and girders. Therefore, we tried to determine an adequate high-temperature setting method for reducing both surface- and internal checks through analyzing the effects of temperature conditions and size of the timbers. 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 for differences in occurrence of surface checks among species, surface checks in akamatsu timbers were wider than in Japanese larch (*Larix kaempferi*) or sugi timbers. Larger timber size caused more frequent occurrences of surface checks in akamatsu and sugi but not in karamatsu.

Keywords : akamatsu, karamatsu, sugi, surface checks, internal checks.

高温セット処理法は心持ち正角材の人工乾燥技術として普及しているが、梁桁用の心持ち平角材は適切な処理条件が確立されていない。そこで、心持ち平角材の内部割れと表面割れの発生を抑制した高温セット処理技術の開発を目的として、アカマツ・カラマツ・スギ心持ち平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、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、アカマツと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。

^{*1} Received February 7, 2014; accepted July 16, 2014. 本報の一部は、第63回日本木材学会大会（2013年3月、岩手）で発表した。

^{*2} 岩手県林業技術センター Iwate Prefectural Forestry Technology Center, Iwate 028-3623, Japan

^{*3} 信州大学農学部 Faculty of Agriculture, Shinshu University, Nagano 399-4598, Japan

Corresponding author: Y. Nakashima (y-nakashima@pref.iwate.jp)

1. 緒 言

古来、木造軸組工法住宅の横架材として利用されてきた針葉樹心持ち平角材は、近年になり針葉樹人工林で蓄積量が増えつつある大径材の有効活用方法の一つとして、その利用促進が期待されている^{1,2)}。また、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、心持ち平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^{3,4)}。

現在、木材乾燥装置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（以下蒸気式乾燥とする）を使用して、人工乾燥時の最高温度を100℃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の抑制に効果的とされている⁵⁻⁹⁾。また、高温セット処理法による針葉樹心持ち平角材の人工乾燥試験でも、心持ち正角材の場合と同様の効果が確認されており^{10,11)}、高温セット処理法を用いた心持ち平角材の人工乾燥技術の開発は、心持ち平角材の利用促進に資すると考えられる。

一方で、木造軸組工法住宅の横架材として用いられる心持ち平角材は、柱間のスパン、垂木または根太等を通じて上部に積載される重量、さらに使用する樹種により、必要となる断面寸法が異なるため、心持ち平角材の樹種および断面寸法が高温セット処理後の品質に及ぼす影響について検討が必要となるが、これらに関する報告は少ない¹¹⁾。また、高温セット処理法により断面内に発生する内部割れは、せん断強度低下の要因となることが報告されており^{12,13)}、心持ち平角材に内部割れが発生した場合、横架材の接合部のせん断耐力の低下が危惧されるため、内部割れを抑制した高温セット処理法の検討が必要となる。

そこで本研究は、針葉樹心持ち平角材の適切な高

温セット処理条件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種類の断面寸法の心持ち平角材に、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、高温セット処理直後の含水率分布、内部割れと表面割れの発生の違いを条件別に比較することで、高温セット処理条件が心持ち平角材の内部割れと表面割れの発生に及ぼす影響を分析した。

2. 実 験

2.1 供試材

試験体は末口径約30 cmの丸太から製材したアカマツ、カラマツ、スギ心持ち平角材とした。試験体の長さは約2000 mmとし、断面寸法は長辺を265 mm、短辺を135, 155, 185 mm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、長辺と短辺の寸法 (mm) および質量 (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。

Table 1 に本研究で実施した高温セット処理条件と試験体数を示す。高温セット処理前の初期蒸煮は乾球温度95℃、湿球温度95℃で12時間とした。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、仕上がり後の内部および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℃、110℃、120℃、130℃（以下100℃-48 h、110℃-48 h、120℃-48 h、130℃-48 hとする）の4種類とし、乾湿球温度差は全ての条件で30℃とした。さらに、高温セット処理時間

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

		HTS treatment condition			
Dry bulb temperature		100℃	110℃	120℃	130℃
Wet bulb temperature		70℃	80℃	90℃	100℃
Treatment time	8 h	—	—	—	3**
	24 h	—	—	—	3
	48 h	3	3	3	3

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

**Number of specimens.

の影響についても検討するため、乾球温度を130℃、処理時間を8時間、24時間（以下130℃-8h、130℃-24hとする）の2種類に130℃-48hの結果を加えて比較した。本研究で実施した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、樹種および断面寸法毎に3体とした。

2.3 高温セット処理直後の測定

Fig. 1 に実験全体の流れを示す。本来の高温セット処理法による人工乾燥は、高温セット処理後に乾球温度90℃、湿球温度60℃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¹⁴⁾。本研究では、高温セット処理直後の含水率が、仕上がり後の内部および表面割れの発生に及ぼす影響を検討するため、高温セット処理直後の含水率の測定、および断面内の内部割れと表面割れの有無を観察するとともに、半年間の天然乾燥で含水率を目標まで低下させた後の含水率、断面内の内部と表面割れを測定した。

Fig. 2 に高温セット処理直後の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

Fig. 1. Schematic of high-temperature setting (HTS*) treatment test for rectangular timbers with pith.

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***.

Note: Test specimens are akamatsu, karamatsu and sugi rectangular timbers with pith. Size of short side is 135 mm, 155 mm, 185 mm. Size of long side is 265 mm.

*See Table 1, **See Fig. 2.

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

Note: *See Table 1.

後、木口より500 mmの箇所において長辺の両表面から50 mmの位置で分割した試験片を切り出し、表面からの距離が5, 15, 30, 50, 75, 100, 125, 132.5 mmの位置で小分割した試験片の含水率を全乾法により測定し、断面内の含水率分布を求めた。したがって、小分割した試験片の厚さは、短辺135 mmでは35 mm, 155 mmでは55 mm, 185 mmでは85 mmとなる。さらに、小分割した試験片を含む全体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含水率試験片を採取した後、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℃、平均湿度は59%であり、平衡含水率は約11%と推定される¹⁵⁾。

Fig. 2に天然乾燥後の内部および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500 mmの部位から、厚さ50 mmの試験片を採取し、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¹⁶⁾、内部割れ長さ合計 (mm)を測定した。また、試験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0.1 mm)で測定した。表面および内部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および高温セット処理直後の含水率から全乾質量を推定して以下式(1), (2)のとおり求めた。

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

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

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との関係

Fig. 3に断面寸法を全て含めた高温セット処理前後および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。全ての樹種で、含水率は高温セット処理により急激に低下し、さらにその後の半年間の天然乾燥でも低下した。また、高温セット処理直後の含水率は、高温セット処理条件と樹種により異なる傾向が見られた。

Fig. 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。アカマツとカラマツは、全ての高温セット処理条件で短辺135 mmの試験体と比較して短辺185 mmは含水率が高くなる傾向が見られた。一方で、スギは高温セット処理直後の含水率のバラツキが大きく、断面寸法による含水率の差が他の樹種と異なる傾向が見られた。そこでFig. 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と高温セット処理直後の含水率との間には危険率5%で有意な正の相関関係が示されており、高温セット処理

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

Legend: ▲: 100°C-48 h ●: 110°C-48 h ×: 120°C-48 h

◇: 130°C-8 h ◆: 130°C-24 h ■: 130°C-48 h

Note: *See Table 1.

Fig. 4. Relationship between HTS* treatment conditions and moisture content after HTS treatment.

Legend: Size of short side □: 135 mm ■: 155 mm ■: 185 mm.

Note: Error bar is standard deviation.

*See Table 1.

Fig. 5. Relationship between moisture content before and after HTS* treatment.

Note: *See Table 1.

r : simple correlation coefficients.

**Significant at 0.01 level.

条件と含水率との関係を断面寸法別に検討する際は、あらかじめ重量選別を行うなど、生材含水率のバラツキの影響を排除する必要があると考えられる。

Fig. 6 に高温セッ処理条件100°C-48 h と130°C-48 h の高温セッ処理直後の含水率分布の平均値

を断面寸法別に示す。高温セッ処理条件130°C-48 h の含水率分布は、100°C-48 h と比較して、表面から内側にかけての含水率の低下が大きく、高温セッ処理時の温度が高くなると、断面内部まで高温セッ処理直後の含水率が減少することが示された。さらにアカマツは、高温セッ処理条件100°C-48 h と比較して、130°C-48 h では短辺135 mm の含水率分布が短辺155 mm および185 mm よりも下方に位置しており、アカマツの場合、高温セッ処理時の温度が高くなると、断面内部の含水率減少の程度が断面寸法でも異なると考えられた。

徳本らは¹⁷⁾、心持ち正角材の高温セッ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報告している。そこで Fig. 7 に高温セッ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処理温度、処理時間および断面寸法別に示す。全ての樹種で、高温セッ処理時の温度が高いほど、また高温セッ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っていることが示され、高温セッ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。さらに全ての樹種で、高温セッ処理時の乾球温度が高いほど、また高温セッ処理時間が長いほど、断面寸法による含水率10%以下の表層からの距離の差が大きくなる傾向が見られた。

3.2 高温セッ処理条件と内部割れとの関係

高温セッ処理直後の試験片採取時 (Fig. 2) に、試験体の断面を観察した結果、全ての試験体で内部割れは観察されず、内部割れは高温セッ処理後の天然乾燥中に発生したと考えられた。

Fig. 8 に高温セッ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。全ての樹種で、内部割れ長さ合計は高温セッ処理温度が高いほど、また処理時間が長いほど増加する傾向を示した。一方で、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、樹種と内部割れとの関係を検証するため、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処理条件別に行った結果、全ての高温セッ処理条件で樹種間の内部割れ長さ合計には、危険率5%で有意な差が見られなかった。

Fig. 9 に断面寸法を全て含めた場合の、高温セッ処理時の乾球温度、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処理時の乾球温度が高くなると内部割れ長さ合計の平均値も大きくなる傾向が見られた。そこで、高温

Fig. 6. Comparison of moisture gradient after HTS* treatment between 100°C-48 h and 130°C-48 h.

Legend: Size of short side ◇: 135 mm ■: 155 mm ▲: 185 mm.

Note: *See Table 1.

Fig. 7. Relationship between dry bulb temperature*, treatment time** and area where moisture content after HTS*** treatment becomes 10% or less.

Legend: Size of short side ◇: 135 mm ■: 155 mm ▲: 185 mm.

Note: *Treatment time is 48 hours. **Dry bulb temperature is 130°C.

***See Table 1.

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分散分析および多重比較を行った結果、アカマツとスギは危険率5%で乾球温度100℃と比較して120

Fig. 8. Relationship between HTS* treatment conditions and total length of internal checks of rectangular timbers.

Legend: Size of short side □: 135 mm ■: 155 mm ■: 185 mm.

Note: Error bar is standard deviation.

*See Table 1.

℃, 130℃で有意な差が認められた。一方で、カラマツは全ての高温セット処理条件で内部割れ長さ合計に危険率5%で有意な差は見られなかった。

また、乾球温度130℃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長さ合計の平均値も大きくなる傾向が見られた。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分散分析および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、カラマツは危険率5%で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, 17)}、高温セット処理条件で内部割れ長さに差が見られたのは、Fig. 6とFig. 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、Fig. 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。アカマツは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危険率1%で、スギは危険率5%で有意な負の相関関係が見られた。さらに、高温セット処理直後の含水率を説明変数とする近似

Fig. 9. Relationship between dry bulb temperature, treatment time and total length of internal check.

Legend: ▲: Average

Note: *See Table 1.

Fig. 10. Relationship between moisture content after HTS*** treatment and total length of internal check.

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

Note: r: Simple correlation coefficients.

*Significant at 0.05 level.

**Significant at 0.01 level.

***See Table 1.

直線の傾きは、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。

一方で、カラマツは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見られなかった。カラマツは他の樹種と比較して、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との関係

Fig. 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。カラマツとスギは高温セット処理条件で、表面割れ幅に明確な差が見られなかった。一方で、アカマツは全ての高温セット処理条件で、スギ、カラマツと比較して表面割れ幅が大きくなる傾向が見られた。アカマツは他の樹種と比

Fig. 11. Relationship between HTS* treatment conditions and width of surface check.

Legend: Size of short side □: 135 mm ■: 155 mm ■: 185 mm.

Note: Error bar is standard deviation.

*See Table 1.

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¹⁸⁾、今回の結果からも同様の傾向が示されたと考えられる。また、Fig. 7 に示すとおり、アカマツはカラマツ、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、高温セット処理時に表層の収縮がより内部まで発生したことにより、表面割れが大きくなったとも推察された。

また、アカマツとスギは、高温セット処理条件によらず、短辺185 mm の試験体の表面割れ幅の平均値が他の寸法よりも大きくなる傾向が見られた。この原因として、心持ち平角材は短辺の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、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. 結 論

心持ち平角材の内部割れと表面割れの発生を抑制した高温セット処理技術の開発を目的として、アカマツ・カラマツ・スギ心持ち平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、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、スギと比較して、大きくなる傾向が示された。さらに、アカマツと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。

謝 辞

本研究を実施するにあたり、心持ち平角材の高温セット処理条件に関してご助言ご指導をいただいた長野県林業総合センターの吉田孝久氏、試験体の調整にご尽力いただいた久慈地方森林組合の澤口敬志氏に深く感謝の意を表します。

文 献

- 1) 一般社団法人木を活かす建築推進協議会：木造公共建築物等の整備に係る設計段階からの技術支援. 住宅と木材 425(5), 16-29 (2013).
- 2) 宮代博幸：木材利用ポイント事業の概要について. 木材情報 263(4), 1-5 (2013).
- 3) 西村勝美：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資料”, 東京, 2011, pp. 44-45.
- 4) 飯島泰男：消費者の目から見た国産材と木造住宅. 森林技術 750, 2-6 (2004).
- 5) 黒田尚宏：I. 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 (2008).
- 6) 吉田孝久：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 (2008).
- 7) 吉田孝久, 橋爪丈夫, 武田孝志, 徳本守彦, 印出晃：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 (2004).
- 8) 徳本守彦, 帆刈謙一, 武田孝志, 安江 恒, 吉田孝久：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 (2004).
- 9) 黒田尚宏：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 (2007).
- 10) 久慈 敏, 中嶋 康, 東野 正：アカマツ心持ち材の人工乾燥. 岩手県林業技術センター研究報告 9, 15-24 (2001).
- 11) 吉田孝久, 池田潔彦, 東野 正, 黒田尚宏, 信田

- 聡, 相馬智明: 針葉樹桁材の蒸気式高温乾燥-スギ・ヒノキ・カラマツ・アカマツ桁材の乾燥特性. 第62回日本木材学会大会研究発表要旨集, 札幌, 2012, p. 25.
- 12) 井道裕史, 長尾博文, 加藤英雄: 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 (2005).
- 13) 加藤英雄, 林 知行: 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 (2009).
- 14) 「安全・安心な乾燥材生産技術の開発」研究グループ: Chapter 3 推奨乾燥条件. “安全・安心な乾燥材生産・利用マニュアル”, 石川県林業試験場石川ウッドセンター, 白山, 2012, pp. 14-25.
- 15) 高橋 徹, 中山義男: 第2章 木材の物理的性質. “木材科学講座3 物理”, 海青社, 大津, 1992, p. 32.
- 16) 「安全・安心な乾燥材生産技術の開発」研究グループ: Chapter 4 内部割れの評価法. “安全・安心な乾燥材生産・利用マニュアル”, 石川県林業試験場石川ウッドセンター, 白山, 2012, pp. 42-43.
- 17) 徳本守彦, 武田孝志, 吉田孝久: 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 (2005).
- 18) 加世田純之助, 藤本登留, 吉田孝久: 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, 札幌, 2012, p. 25.