大断面スギ心材の乾燥と薬剤注入 (第2報)[†] 高温セット法で乾燥した正角材への薬剤浸潤と注入後の割れ^{*1}

寺西康浩^{*2}, 酒井温子^{*2}, 海本 一^{*2}, 増田勝則^{*2}, 田中陽子^{*2},
伊藤貴文^{*2}, 桃原郁夫^{*3}, 矢田茂樹^{*4}, 藤本登留^{*5}, 蒔田 章^{*6},
茂山知己^{*7}, 山口秋生^{*8}, 手塚大介^{*9}

Drying and Impregnation for Heavy Timbers of Sugi Heartwood II.[†] Preservative penetration and surface checking observed on boxed-heart timber dried with a high-temperature setting method^{*1}

Yasuhiro TERANISHI^{*2}, Haruko SAKAI^{*2}, Hajimu KAIMOTO^{*2},
Katsunori MASUDA^{*2}, Yoko TANAKA^{*2}, Takafumi ITOH^{*2},
Ikuo MOMOHARA^{*3}, Shigeki YATA^{*4}, Noboru FUJIMOTO^{*5},
Akira MAKITA^{*6}, Tomomi SHIGEYAMA^{*7}, Akio YAMAGUCHI^{*8}
and Daisuke TEZUKA^{*9}

To establish adequate pre-treatment for preservation, the effects of the drying method on preservative penetration and dimensional changes in treated wood were investigated using sugi (*Cryptomeria japonica* D. DON) boxed-heart timber. The high-temperature setting method reduces the amount of wood preservative impregnated in sugi heartwood specimens, as compared with natural and conventional drying methods. In some specimens dried with the high-temperature setting method, remarkable dimensional changes were observed on specimens without kerf due to surface checks which developed on the treated specimens during the drying process. Therefore a few of those specimens

[†] Report I: *Mokuzai Hozon* 37, 12-19 (2011).

^{*1} Received May 27, 2013; accepted December 20, 2013. 本研究の一部は日本木材保存協会第26回年次大会 (2010年5月, 東京) において発表した。

^{*2} 奈良県森林技術センター Nara Forest Research Institute, Takatori 635-0133, Japan

^{*3} (独) 森林総合研究所 Forestry and Forest Products Research Institute, Tsukuba 305-8687, Japan

^{*4} 元 横浜国立大学 Yokohama National University, ret.

^{*5} 九州大学大学院農学研究院 Faculty of Agriculture Graduate Schools of Kyushu University, Fukuoka 812-8581, Japan

^{*6} 大日本木材防腐株式会社 Dainihon Wood-Preserving Co., LTD., Nagoya 455-8680, Japan

^{*7} 株式会社ザイエンス Xyence Co., LTD., Isesaki 372-0855, Japan

^{*8} 越井木材工業株式会社 KOSHII & Co., LTD., Osaka 559-0026, Japan

^{*9} 兼松日産農林株式会社 Kanematsu-NNK Co., LTD., Tokyo 136-8622, Japan

Corresponding author: Y. Teranishi (teranishi-yasuhiro@office.pref.nara.lg.jp)

failed to meet the JAS preservative penetration requirement for sawn timber, although their surfaces were incised to increase preservative penetration.

Keywords: sugi heartwood, impregnation, preservative penetration, wood drying method, surface check.

適切に保存処理されたスギ心持ち正角材の製造技術の開発を目的として、注入前の乾燥方法が薬剤浸潤度と注入後の寸法変化や割れに及ぼす影響について検討した。天然乾燥、中温乾燥、および高温セット法を用いた乾燥を行ったスギ正角材試験体への木材保存剤の浸透性および注入処理後の寸法変化を調べた結果、天然乾燥材や中温乾燥材に比べると、高温セット法で乾燥したスギ心材は注入量が低かった。また、高温セット法で乾燥した無背割り材において、注入後の乾燥工程や養生時に表面割れとそれに伴う顕著な寸法変化が生じた。そのため、これらの材は所定の寸法に仕上げると、インサイジングを行っても製材の日本農林規格（JAS）に定められる浸潤度の基準を満たさない場合があることが明らかになった。

1. 緒 言

スギ材は辺材の耐朽性が低く、心材についても中程度¹⁾であるため、スギ材を建物の土台や外構材として長期間使用する場合には、乾燥処理および薬剤の加圧注入による保存処理が必要となる。また、心材の薬剤浸透性は「やや良好」に区分されることが多いが²⁾、なかには浸透性がかなり悪い材もみられる。前報³⁾で報告したように、スギの大断面材（木口断面165×165 mm）について、薬剤の加圧注入前に温度80℃での中温乾燥を行い、含水率を20%程度にまで低下させても、インサイジングを実施しない場合には製材のJAS⁴⁾のK3区分で定められた薬剤浸潤度の基準を満たすのは全体の2/3～1/2であった。しかし、薬剤注入前に、中温乾燥に加えてインサイジングも行くと、注入量や浸潤度が向上し、供試したすべての材料が製材のJASのK3区分に定められた浸潤度の基準を満たした。

一方、スギ材には心材の初期含水率が高いものがあり⁵⁾、これを天然乾燥や中温乾燥によって所定の含水率に調節するには、長い乾燥時間が必要となる⁶⁾。このため、近年では、乾燥時間が短く、かつ、無背割り材であっても表面割れが発生しにくい高温セット法と中温乾燥を組み合わせた乾燥法⁷⁾（以下、単に、高温乾燥と称する。）をスギ材に適用させる場合が増えており、さらには、高温乾燥と同様の乾湿球温度条件下において高周波加熱を併せて行う乾燥法^{8,9)}（以下、単に、複合乾燥と称する。）も普及し始めている。

しかし、高温乾燥や複合乾燥を行った材料に薬剤の加圧注入を行うと、水が含まれることにともない、材の表層に形成された引張セットが開放され、寸法変化等が生じることが懸念される。

そこで本報では、薬剤注入前の乾燥工程で高温乾

燥や複合乾燥を実施した場合の薬剤注入量や薬剤浸潤度、また、注入後の工程で発生する寸法変化や表面割れについて、主に中温乾燥を実施した場合と対比させて報告する。

2. 実 験

2.1 材料

奈良県吉野郡十津川村産のスギ心持ち正角材（木口断面は165×165 mmで仕上がり時に150×150 mmを想定、長さ4 m）12本を使用した。スギ材の辺材と心材を比べると、一般に、心材の方が乾燥も薬剤注入も困難である。得られる結果を辺心材の比率にかかわらず、全てのスギ材に適用できるように、今回は、ほとんどの部位が心材からなる正角材を使用した。

注入薬剤は、銅・アズール化合物系木材保存剤（以下、CUAZと称する。）を使用した。薬剤は水道水で希釈して、製材のJASで規定するK3用の作業液とした。

2.2 方法

2.2.1 試験体の調製

スギ心持ち正角材12本のそれぞれから、Fig. 1に

Fig. 1. Specimens to investigate the effect of drying method.

Notes: A: Natural drying, B: Conventional drying, C: Conventional drying adding high temperature setting treatment, D: Conventional drying adding high temperature setting treatment and radio-frequency heating, a-f: Specimens to measure the initial moisture content.

示すように、繊維方向750 mmの試験体を5体ずつ採取した。併せて、Fig. 1に示すa～fの位置で繊維方向20 mmの試片を採取し、全乾法によりこれら試片の含水率を把握した。試験体の初期含水率は、隣接する2つの試片の含水率の平均値より51～229%と推定された。また、試験体の全乾質量は、初期含水率と質量より推定した。試験体の採取後、両木口面はエポキシ樹脂系接着剤で直ちにシール処理した。これは、試験体の木口面を封じることで木口面からの乾燥や薬剤侵入を避け、実大材において乾燥と薬剤注入が困難となる、木口面の影響をほとんど受けない部位を想定した試験を行うためである。

2.2.2 薬剤注入前乾燥

薬剤注入前の乾燥方法が薬剤の注入量および浸潤度に及ぼす影響を調べるため、同一の正角材から採取した5試験体に対し、異なる乾燥方法を用いて含水率が20%以下となるまで乾燥した。今回用いた乾燥方法は、天然乾燥 (LT)、中温乾燥 (MT)、高温乾燥 (HT) および複合乾燥 (HF) である。それぞれの乾燥条件を Table 1 に示した。また、長さ4 mの正角材から各乾燥法の試験体を1体ずつ採取するため、Fig. 1に示すような試験体の割り付けを行った。このとき、天然乾燥および中温乾燥を行う試験体については表面割れが生じないように、あらかじめ幅約3 mm、深さ82 mmの背割りを施した（背割りを施した試験条件には「-K」を付けて示す）。高温乾燥および複合乾燥については、一般的に実施されているように無背割りの状態としたが、試験体に背割りを施すと背割りから薬剤が試験体内部に浸潤し注入量が高くなることも予想されたため、背割りの有無が注入量に及ぼす影響を確認し、乾燥方法による注入量の差異を正確に把握するため、高温乾

燥を行う試験体については無背割り材とともに背割りを施した試験体も用いた（以下、無背割り材の試験体を用いた高温乾燥による試験条件を「HT」、背割りを施した試験体を用いた高温乾燥による試験条件を「HT-K」と称する）。

乾燥操作中、適宜、試験体の質量を測定した。このときの質量と2.2.1で推定した全乾質量から試験体の含水率を算出し、推定含水率が20%以下となった時点で乾燥操作を終了した。なお、試験体の質量を測定する際、LT-K以外の条件では、試験体を一旦乾燥機内から取り出した。表面割れの発生など、試験体を乾燥機から取り出すことによる影響を可能な限り防ぐため、質量の測定を終了した試験体は直ちに乾燥機内に戻した。同様の理由により、蒸煮中および高温セット処理中の質量の測定は行わなかった。

乾燥後、手押しかん盤および自動一面かん盤を用いて試験体の木口断面を154×154 mmに調製した。この寸法は、薬剤注入とその後の乾燥が終了し、製品として完成させる際に若干の表面切削により木口断面を150×150 mmに仕上げることを想定している。

2.2.3 インサイジング

スギ心持ち正角材に対して薬剤の加圧注入による保存処理を行うにあたり、製材のJASに定める薬剤浸潤度の基準を安定的に満たすためには、インサイジングの実施が有効である³⁾。そこで本報においても、注入前乾燥後（寸法調製済）の試験体に対し、刃傷の深さが10 mm、長さが約15 mm、密度が4000 個/m²のインサイジングを行った。

2.2.4 木材保存剤の注入

インサイジングを行った試験体の質量、繊維方向長さおよび4材面における繊維と直角方向の寸法

Table 1. Drying methods.

Drying method	Number of specimens	Kerf	Symbol	Initial steaming (D.B.T. ^{a)} (°C)/W.B.T. ^{b)} (°C) (Time(h))	→	High-temperature setting treatment (D.B.T. ^{a)} (°C)/W.B.T. ^{b)} (°C) (Time(h))	→	Conventional drying (D.B.T. ^{a)} (°C)/W.B.T. ^{b)} (°C) (Time(h))
Natural drying ^{c)}	12	Processed	LT-K	—	→	—	→	—
Conventional drying	12	Processed	MT-K	80/80 12	→	—	→	80/77~70 293~540
Conventional drying adding high-temperature setting treatment	12	Processed	HT-K	90/90 12	→	120/90 24	→	90/60 0~195
Conventional drying adding high-temperature setting treatment	12	Unprocessed	HT	90/90 12	→	120/90 24	→	90/60 50~195
Conventional drying adding high-temperature setting treatment and radio-frequency heating ^{d)}	12	Unprocessed	HF	90/90 12	→	120/90 24	→	90/60 24~149

Notes: ^{a)}: Dry-bulb temperature, ^{b)}: Wet-bulb temperature, ^{c)}: Natural drying period was 11 months from November, 2007 to October, 2008, ^{d)}: Radio-frequency heating was added at the step of conventional drying.

(以下、繊維と直角方向の寸法を、単に、寸法と称する。また、このときの寸法を「注入前の寸法」と称する。)を測定した後、CUAZ 作業液を加圧注入した。注入スケジュールは、試験体を作業液に浸漬させた状態で、50 hPa の減圧を30分間行い、引き続き1.3 MPa の加圧を2時間行った。注入後、試験体は作業液から取り上げ、滴下が収まるまで約1時間静置させた後、質量と4材面の寸法を測定した。注入量は、注入前後の質量差を試験体の体積で除して算出した。

2.2.5 薬剤注入後乾燥

いったん乾燥した後に薬剤が注入された正角材に対し、注入された薬剤の変質を防ぎながら、溶媒の水を除去する条件を把握するため、本報では2種類の中温乾燥スケジュールを用いて薬剤注入後の試験体を乾燥した。すなわち、1条件あたりの12試験体のうち、6体については排気口を完全に開いた送風乾燥器内で乾燥した。送風乾燥器内の温度は60℃、相対湿度は18%であった。残りの6体については、温度60℃、相対湿度85%に調節した恒温恒湿器内で乾燥した。なお、前者の乾燥スケジュールは、低湿度の雰囲気下で溶媒の水を速やかに除去することを意図したものである。また、後者の乾燥スケジュールは、スギ正角材に対する一般的な中温乾燥スケジュールを参考に、比較的高湿度の雰囲気下で溶媒の水を緩やかに除去することを意図したものである。いずれの乾燥スケジュールとも、乾燥期間は130時間とした。

2.2.6 最終寸法と薬剤浸潤度の測定

木材保存剤を注入後、2条件で乾燥した試験体について、温度20℃、相対湿度65%に調節した室内で含水率15%を目標に養生を行った。約6カ月が経過し、質量が平衡に達したことを確認した後、4材面の寸法(以下、この寸法を「養生後の寸法」と称する。)を測定した。このとき、試験体に発生した割れの状況をあわせて観察した。ひきつづき、両端50 mm 以内の部位と節のある部位を避け、繊維方向に20 mm の試片を1体ずつ採取した。この試片の木口面にクロムアズロールS溶液を噴霧し、薬剤浸潤部分を呈色させた⁴⁾。製材のJASにおいて、K3区分では、辺材部分の浸潤度が80%以上で、かつ、材面から深さ10 mm まで、すなわち、横断面の外周部0~10 mm の範囲における心材部分の浸潤度が80%以上であることを基準としている⁴⁾。今回使用した材料はほとんどが心材部分であったため、本報では、浸潤度を、横断面の外周部0~10 mm の範囲における薬剤浸潤で表すこととし、浸潤面積の割合

が80%以上の場合、K3区分の基準を満たしたと判断した。なお、ここでいう横断面の外周部0~10 mm とは、2.2.2で154×154 mm に調製した木口断面を最終的に150×150 mm に寸法仕上げすることを想定し、この想定位置から10 mm 内側までの範囲とした。この測定対象範囲に辺材部がごくわずかに含まれた試験体も認められたが、すべての辺材部に薬剤が浸潤していた。

3. 結果および考察

3.1 薬剤注入前の含水率分布と薬剤の浸潤状況

5つの条件で乾燥した試験体の薬剤注入前の含水率をTable 2に示した。いずれの条件においても、試験体全体の含水率は、おおよそ目標どおり、20%以下に調節されていた。また、試験体の含水率分布をFig. 2に示した。Fig. 2では、薬剤注入前の試験体全体の含水率が最大値を示すものが含まれる材料No. 25の個体を例に、繊維方向に連続して採取した試験体での結果を示した。この図によると、最も内部まで均一に乾燥がなされたのはLT-Kによる場合であった。HFについても内部の含水率はかなり低下していた。これに対し、内部に高含水率の部位が広く残存したのはHTおよびHT-Kによる場合であった。しかし、それらの場合においても、横断面の外周部0~10 mm の範囲では含水率は20%以下の部位がほとんどであった。また、背割りを施した試験体では背割りが開いたが、いずれの試験体においても顕著な表面割れは発生しなかった。

次に、薬剤の浸潤状況をFig. 2と同じく材料No. 25の個体についてFig. 3に示した。Fig. 3によると、LT-KおよびMT-Kでは外周部0~10 mm のほとんどの範囲に薬剤が浸潤していた。これに対し、HT、HT-KおよびHFの場合、図中の矢印で示したように、インサイジングの刃傷と刃傷の間に、薬剤が未浸潤の部位がみられた。また、背割りからの

Table 2. Moisture content of the specimens dried for impregnation.

Symbol	Moisture content (%)		
	Min. ^{a)}	Ave. ^{b)}	Max. ^{c)}
LT-K	15.5	16.3	17.3
MT-K	14.1	16.7	20.4
HT-K	12.0	16.3	20.1
HT	12.0	16.5	21.2
HF	11.7	17.5	23.8

Notes: Symbols are shown in Table 1. ^{a)}: Minimum, ^{b)}: Average, ^{c)}: Maximum.

Fig. 2. Distribution of moisture content of the specimens (Specimen Number 25) dried for impregnation.

Fig. 3. Examples of penetration patterns observed for each drying method in specimens cut from the same timber.

Notes: Symbols are shown in Table 1. Arrows indicate the parts not penetrated.

浸潤状況についても、LT-KやMT-KよりもHT-Kの方が浸潤範囲は小さかった。前報³⁾で示したように、含水率が高いと浸潤不良が生じる。しかし、乾燥方法によらず、Fig. 2で示したように、注入時点の含水率は、少なくとも外周部0~10 mmにおいてはほぼ20%以下であり、さらに、内部の含水率が低くなったHFの薬剤浸潤範囲がHT, HT-Kのそれとほぼ同様のことから、HT, HT-KおよびHFに見られた浸潤不良の原因として、含水率の影響は考えにくい。一方、前報³⁾では、温度80℃での中温乾燥を行った試験体について、薬剤は背割りやインサイジングの刃傷から主たる通路と考えられる早材部仮道管の放射壁に存在する有縁壁孔を通じて接線方向へ浸潤することを報告したが、今回、温度120℃での高温セット処理を用いて乾燥したHT, HT-KおよびHFの浸潤状況から、たとえば、それら試験体では接線方向の浸潤経路の閉鎖または縮小などが生じていることが推定された。心材の浸透および透過性を低下させる要因として、たとえば高温セット時の壁孔の閉鎖、壁孔への抽出成分の沈着等が挙

げられるが¹⁰⁾、詳細については、今後の検討課題とする。

以上は、材料No. 25についての結果であるが、他の個体においても同様の傾向がみられた。

3.2 乾燥方法による薬剤注入量および浸潤度の差異

12個体から得られたすべての試験体の薬剤注入量を試験条件ごとにFig. 4に示した。一元配置の分散分析を行った結果、危険率1%で注入量の平均値に差が認められたので、注入量を試験条件ごとに比較するため、Tukeyの方法による多重比較を行った。Fig. 4では、この結果についても示している。まずHT-Kに着目すると、その注入量はLT-KおよびMT-Kでのそれに比べて有意に少なく($p < 0.01$)、さらに、HTおよびHFのそれらに比べて差があるとはいえなかった。この結果は、試験条件間における薬剤注入量の差異が、背割り加工にともなう薬剤進入経路の拡大によるものとはいえないことを意味している。次に、HTおよびHFに着目すると、それらの注入量はLT-KあるいはMT-Kでのそれに

比べて有意に少なかった ($p<0.01$)。これらの結果から、薬剤注入量の差異が背割り加工の違いによるのではなく、乾燥方法の違いによると結論した。HT および HF の注入量が少なかった原因は、たとえば前項でも述べた、浸潤経路の閉鎖または縮小が推定された。

薬剤浸潤度を試験条件ごとに Fig. 5 に示した。フリードマン検定を行った結果、危険率 1 % で浸潤度の中央値に差が認められたので、注入量と同様、多重比較を行い、その結果も Fig. 5 に示した。HT-K は注入量に及ぼす背割りの影響を調べるために設定した条件であり、現状のところ、背割りを施した高

温乾燥材はほとんど市場に流通していないので、ここでの詳細な考察は割愛する。まず、LT-K、MT-K、HT および HF での浸潤度に着目すると、それらの中央値はそれぞれを比較しても統計的に差があるとはいえなかった。次に、各試験体の浸潤度それぞれについて着目すると、いずれの試験条件においても、製材の JAS の基準値を満たした試験体がほとんどであったが HT および HF において、同一個体 (材料 No. 26) の 1 試験体ずつが製材の JAS の基準の境界値あるいはそれ以下の値を示した。これは、前述したように薬剤浸潤経路の閉鎖または縮小が推定されることに加え、Fig. 3 でもみられるように、薬剤注入後の乾燥もしくは養生中に生じた表面割れの影響で木口断面がより大きく変形し、木口断面を 150×150 mm に最終仕上げする際に薬剤浸潤部分が多く削り落とされると想定されたためである。薬剤注入後の乾燥における寸法変化および表面割れについては次項でさらに考察する。

今回の検討では、製材の JAS に定められる浸潤度の基準を満たさなかった材は 12 個体中 1 個体のみであったが、高温セット処理条件の違いや材料の薬剤浸透性のばらつきによっては浸潤度がさらに低下し、数多くの材料が基準を満たさなくなる危険性も考えられる。今後、たとえば、処理温度を 120°C よりも低く設定する、あるいは処理時間を短くするなど、薬剤の浸潤度を低下させない高温セット処理条件を検討する必要がある。また、所定の薬剤浸潤を確保するため、インサイジングの密度を増加させるなどの工夫も必要になる。

3.3 乾燥方法による寸法変化と表面割れ発生状況の差異

「薬剤注入前の寸法」と「養生後の寸法」との変化率について、注入前の乾燥条件、注入後の乾燥条件および寸法を測定した部位に背割りを含むか否かを分けて整理した結果を Fig. 6 に示した。なお、Fig. 6 ではスギ心持ち正角材 (木口断面 150×150 mm 用) を計画的に乾燥させる場合に採択されることが多いと思われる MT-K、HT および HF による結果を示している。まず、MT-K における、背割りのない面での寸法変化率に着目すると、薬剤注入後に温度 60°C 、相対湿度 18 % で乾燥させた試験体では、1 % 前後の収縮を示したものが多く見られた。また、温度 60°C 、相対湿度 85 % で乾燥させた試験体では、その後の 3 カ月の養生期間中に発生した表面割れの影響により寸法が増加した個体が一部見られるものの、1 % 前後の収縮を示したものが多く見られた。小野ら¹¹⁾はスギ心持ち正角材 (木口断面 120

Fig. 4. Effect of drying methods on solution uptake.

Notes: Symbols are shown in Table 1. **: Significant difference at the 1% level of Tukey.

Legend: ●: Average.

Fig. 5. Effect of drying methods on preservative penetration.

Notes: Symbols are shown in Table 1. **: Significant difference at the 1% level of Tukey, *: Significant difference at the 5% level of Tukey.

Legend: ●: Median.

には、注入後の乾燥条件について、たとえば、表面割れが発生しにくいスケジュールを定めること、あるいは、薬剤注入を行う材料に対しては、乾燥方法を問わず、注入前に背割りを施すことが肝要であると考えられた。

4. 結 論

スギ材を長期優良住宅等で構造材として使用していく際に必要となる、大断面保存処理スギ製材について、保存処理前の乾燥方法が保存処理製材の品質に及ぼす影響を検討した。その結果、高温セット法を用いて乾燥したスギ心材への薬剤注入において、以下に示す2つの問題点が見いだされた。

1. 高温セット法を用いて乾燥したスギ心材は、浸潤経路の閉鎖等が推定され、天然乾燥あるいは中温乾燥したものよりも薬剤注入量が低くなる。
2. 高温セット法を用いて乾燥した無背割り材の中には、注入後の乾燥工程や養生時に、表面割れとそれに伴う寸法変化を生じたものがあった。これを所定の寸法に仕上げるためには薬剤浸潤部分を多く切削することとなり、製材のJASに定められる浸潤度の基準を満たさなくなる場合がある。

謝 辞

本検討は、林野庁補助事業「平成21年度住宅分野への地域材供給シェア拡大総合対策事業」にかかる長期優良住宅等に対応した新たな地域材製品の開発事業の一環として行った。また、インサイジングの実施にあたり、装置の提供と操作をしていただきました(株)ヤスジマ 安島稔氏と同社中央研究所 明神光幸氏に感謝致します。

文 献

- 1) 吉田 誠：“木材保存学入門改訂3版”，公益社団法人日本木材保存協会編，公益社団法人日本木材保存協会，東京，2012，pp. 56-58.
- 2) 茂山知己：“木材保存学入門改訂3版”，公益社団法人日本木材保存協会編，公益社団法人日本木材保存協会，東京，2012，pp. 141-142.
- 3) 酒井温子，寺西康浩，海本 一，増田勝則，田中陽子，伊藤貴文，桃原郁夫，矢田茂樹，藤本登留，蒔田 章，茂山知己，山口秋生，手塚大介：大断面スギ心材の乾燥と薬剤注入(1) 注入時の含水率とインサイジングが薬剤浸潤に及ぼす影響. 木材保存 37(1)，12-19 (2011).
- 4) “製材の日本農林規格”，農林水産省告示第1083号(2007).
- 5) 平川泰彦，藤澤義武，中田了五，山下香菜：関東育種基本区から選抜されたスギ精英樹クローンの材質に関する解析資料. 森林総合研究所研究報告 2(1)，65-74 (2003).
- 6) 黒田尚宏：木材の乾燥に関する研究の現状と課題. 木材学会誌 51(1)，10-12 (2005).
- 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) 黒田尚宏：スギ心持ち材乾燥のための基礎研究の展開. 木材学会誌 53(5)，243-253 (2007).
- 9) 小野広治：“わかりやすい乾燥材生産の技術マニュアル改訂新版”，社団法人全国木材組合連合会編，社団法人全国木材組合連合会，東京，2006，pp. 30-39.
- 10) 大越 誠：“新編 木材工学”，中戸莞二編，養賢堂，東京，1985，p. 98.
- 11) 小野広治，寺西康浩，沖中玲子，久保 健：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).
- 12) 徳本守彦，北原 誠，武田孝志，細尾佳宏，吉田孝久：高温セット法で乾燥したスギ正角材の内部応力：屋内保管と屋外保管の相違. 材料 59(4)，279-284 (2010).