

論文

島根県産スギ正角材の高品質乾燥技術の確立と強度性能評価

石 橋 正 樹 ・ 藤 田 勝*

Establishment of High-Quality Kiln Drying Technology and
Evaluation of Strength Properties of Square Sugi (*Cryptomeria japonica* D.Don) Timber in Shimane Prefecture

Masaki ISHIBASHI, Masaru FUJITA*

要 旨

島根県産スギ心持ち正角材の強度性能を把握するとともに、乾燥コスト低減を念頭に置いた乾燥技術確立を目的として、乾燥前処理としての高温セット法と各種乾燥法を組み合わせた乾燥試験、及び実大曲げ試験を行った。その結果以下のことが明らかになった。

1. 乾燥前の重量選別を行うことにより、仕上がり含水率のバラツキを押さえ、乾燥機の効率的運転につなげることが可能であった。また高温セットが材面割れの発生を押さえることが確認できたが、内部割れの発生を押さえて仕上げるためには緩やかな処理条件（中温乾燥、天然乾燥）で行うことが最適であった。
2. 乾燥条件（高温乾燥、中温乾燥、天然乾燥）の違いによる曲げ強度性能の差異は認められなかった。

I はじめに

平成10年に成立した建築基準法の一部改正による建築基準の性能規定化、平成12年に施行された「住宅の品質確保の促進等に関する法律」、木造建築のプレカット化の進展等により構造用製材に対する品質管理（含水率、割れ・狂い等の欠点）・寸法精度・強度性能の明確化等の要求が一段と高まっている。木造建築分野における県産スギ材の需要拡大を図るためには、需要者ニーズに対応した品質・性能が明確な乾燥材の生産拡大が最重要課題である。本研究は、島根県産スギ正角材の乾燥材としての品質確保、乾燥コストの低減及び乾燥処理時間の短縮化のため、乾燥の前処理として材面割れの防止に効果がある高温セット法（高温・低湿処理を施す乾燥技術）¹⁾と各種乾燥法を組み合わせた高品質乾燥材の生産技術を確立することを目的として行った。

II 試験方法

1. 供試材

供試素材は、県内の森林から採取された末口径18～22cmのスギ原木であり、平均年輪幅、曲がり、心材率、細り度を調査した後、試験条件ごとに仕分けした。A, AA及びB, BBについては130×130×4,000mmの正角材に製材し、C, D及びE, Fについては同一の丸太を中央より鋸断し、130×130×3,000mmの正角材に製材した後、エンドマッチによりそれぞれが対となるように仕分けした。

2. 乾燥スケジュール

乾燥スケジュールの概要を表1に示す。全てのスケジュールにおいて乾燥前処理としての高温セットを行った。そのうちA, AAについては重量選別により重量の軽いグループと重いグループにそれぞれ分けて同一条件

*現島根県農林水産部林業課

で乾燥を行ったもの、B、B Bについては重量選別の後、異なる乾燥時間により乾燥を行ったものである。Cは高温セット後に天然乾燥を行うスケジュールであり、Eは高温セット後に高温乾燥を行うスケジュールである。またD、F試験は、コントロールの意味で高温セット後に中温乾燥を行うスケジュールである。そのうちA、A A及びB、B Bについては製材直後に両木口面から20cm内側の位置を基本とし、含水率測定用試験片を出来るだけ節を避けて採取し、全乾法で測定した。

表1 乾燥スケジュールの概要

乾燥条件	供試材本数	初期蒸煮	高温セット	乾燥工程
A	50	95℃ 12h	120℃/90℃ 24h	90℃/60℃ 96h
AA	50			
B	40			90℃/60℃ 72h
BB	40			90℃/60℃ 144h
C	40			天然乾燥
D	40			90℃/60℃ 84h
E	40			110℃/80℃ 60h
F	40			90℃/60℃ 96h

3. 乾燥

製材後に人工乾燥を行った。人工乾燥装置には、収容能力約7.7m³の高温蒸気式乾燥装置（㈱新柴設備製「SKD-045PJr」）を用いた。供試材は乾燥前に出来るだけ材表面の乾燥を進めないよう、基本的に前日製材した材を使用した。試験条件ごとに40～50本を乾燥、全部で340本を試験に供した。

人工乾燥終了後、重量、寸法、水分傾斜、材面割れ、内部割れ及び動的ヤング係数を測定した。さらに両木口面から20cm内側の位置を基本とし、含水率測定用試験片を出来るだけ節を避けて採取し、全乾法で測定した。

含水率測定後の試験材を室内で養生し、重量・寸法・材面割れの経時変化をおおむね1ヶ月おきに測定した。なお、Cについては屋外の屋根付き天然乾燥土場において、同様に経時変化を測定した。経時変化が落ち着いた時点で重量・寸法・材面割れ・動的ヤング係数を測定し、両木口面から20cm内側の位置より含水率測定用試験片を採取して、養生終了後の含水率を全乾法で測定した。

4. 材面割れと内部割れの測定

供試材の材面割れの測定は、4材面に発生した肉眼で確認できた全ての割れについて、その最大幅と割れ長さをノギス(1/100mm精度)と物差し(1mm精度)で測定した。

内部割れは、含水率用試験片を採取した箇所において、肉眼で確認できるすべての割れについて、その最大幅と割れ長さをノギス(1/100mm精度)で測定した。

5. 動的ヤング係数の測定

縦振動法による動的ヤング係数（以下、E_{fr}と記す）の測定を丸太時、製材直後、乾燥終了時、養生終了時、仕上げ後に行った。また、みかけの密度を算出するため、丸太時には末口径、元口径、長さ及び重量を測定した。同様に、製材直後、乾燥終了時、養生終了時、仕上げ後では寸法、重量を測定した。縦振動法の測定には、リオン(株)製「精密騒音計NL-14」及び日本電気三栄(株)製「シグナルプロセッサDP6102」を使用した。

仕上げ後のE_{fr}に基づいて、製材の日本農林規格（JAS）に準拠して、機械等級区分を行った。

6. 正角材の外観調査

養生終了後の材長2500mmに調製した供試材について、モルダーで120×120×2500mmの正角材に加工した。仕上げ後の正角材について、平均年輪幅、曲がり、丸身、節を調査し、製材の日本農林規格（JAS）に準拠し、目視等級区分を行った。

7. 実大曲げ試験

曲げ試験には実大強度試験機（容量1,000kN、前川試験機製「IPA-100R-F」）を使用し、「構造用木材の強度試験法」²⁾に準拠し3等分4点荷重方式で定速ストローク制御により荷重し、変位計（巻き込み式変位計DP-500）により材中央部のたわみを測定した。曲げヤング係数（MOE）、曲げ強度（MOR）を測定した。破壊した供試材から含水率試験片を採取し、全乾法により試験時の含水率を求めた。

III 結果と考察

1. 素材の外観特性

供試素材の外観特性を表2に示した。平均年輪幅の平

均値は3.6mm(標準偏差0.6mm)であった。曲がり,心材率,細り度の平均値はそれぞれ4.9%,43.5%,87.4%であった。末口と元口の偏心率の変動係数はほぼ同じであった。

表2 素材の外観特性調査結果

	平均年輪幅 (mm)		曲がり (%)	心材率 (%)	細り度 (%)	偏心率	
	平	均				末口(%)	元口(%)
全数 (n=340)	3.6	4.9	43.5	87.4	3.9	5.1	
標準偏差	0.6	3.9	5.9	3.6	2.6	3.4	
変動係数(%)	16.1	89.2	13.6	4.2	65.6	66.8	
最大値	5.8	15.3	56.5	94.5	12.8	16.6	
最小値	2.6	0.0	30.0	73.2	0.2	0.4	

2. 乾燥前重量選別による仕上がり含水率

乾燥前含水率の平均値は, A (乾燥前重量40kg未満) は70.0% (範囲42.7~113.4%), A A (同40kg以上) は97.5% (範囲78.8~160.9%) であった。

それぞれ表1の乾燥条件で乾燥試験を実施した結果, 乾燥終了時の平均仕上がり含水率はA12.8% (範囲6.6~21.1%), A Aは19.8% (範囲12.2~40.4%) となった。Aでは目標含水率20%以下に達した供試材は48本(96%)であったが, A Aでは31本(62%)にとどまった。

一方, 乾燥時間を変化させたB (乾燥前重量34.5kg未満) の乾燥前含水率の平均値は62.7% (範囲39.9~93.5%), B B (同34.5kg以上) のそれは86.3% (範囲46.6~146.0%) であった。乾燥終了時の平均仕上がり含水率はB11.9% (範囲7.6~20.7%), B Bは14.9% (範囲6.8~39.3%) となった。Bでは目標含水率20%以下の試験材は38本(95%)に達し, B Bでも31本(78%)となり, 図1に示すように重量ごとに対応した乾燥時間選別の優位性が認められた。

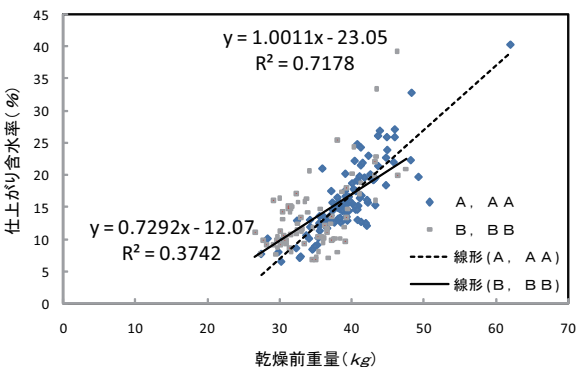


図1 乾燥前重量と仕上がり含水率との関係

3. 乾燥時間と仕上がり含水率の関係

A, A A及びB, B Bの結果をもとに乾燥工程設定時間と仕上がり含水率の関係を示す近似曲線を求めた(図

2, 図3)。この図より, 重量選別を行って乾燥させる場合の, 目標仕上がり含水率に対する乾燥時間を設定することができる。

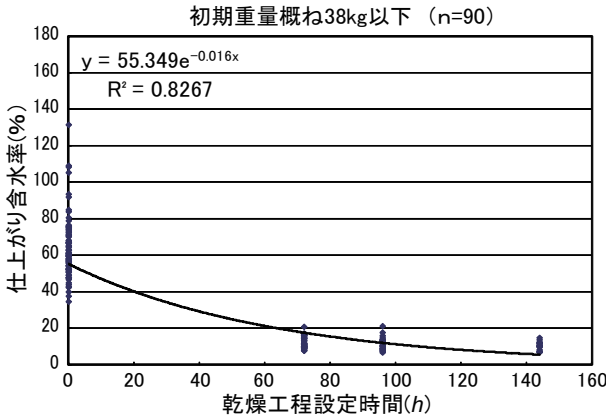


図2 乾燥工程設定時間と仕上がり含水率との関係

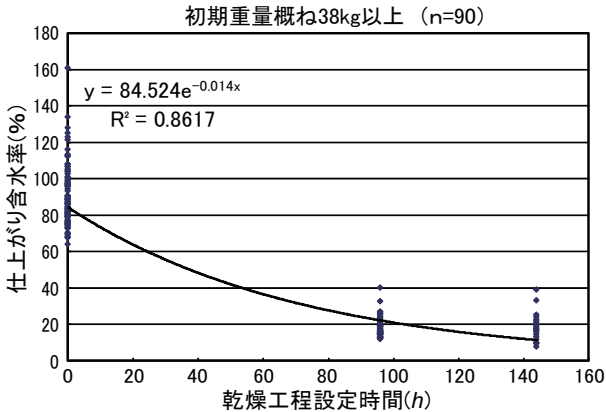


図3 乾燥工程設定時間と仕上がり含水率との関係

4. 乾燥スケジュール別にみた仕上がり含水率

C, D, E, Fにおける供試材の乾燥経過を図4に示す。含水率は, 実大曲げ試験後に採取した含水率試験片の全乾法含水率から換算して求めた。C (天然乾燥) については, 高温セット後3ヶ月後に含水率20%を下回った。いずれのグループも養生3ヶ月後には含水率20%を下回り, 含水率のバラツキも乾燥により減少した。

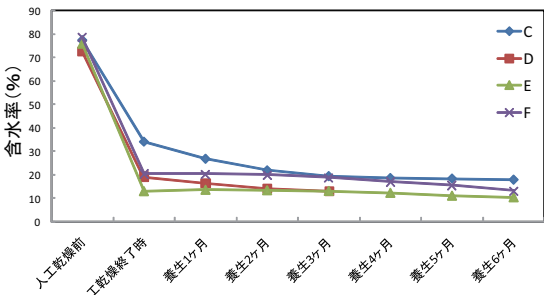


図4 乾燥経過

5. 仕上がり含水率と水分傾斜

各乾燥条件において養生後の材内水分傾斜を測定した。その結果を図5に示す。いずれも凸型の水分傾斜を示し、仕上がり含水率が低くなるに従って材内の水分傾斜は緩くなった。いずれの乾燥スケジュールにおいても材中心部まで20%以下となり、良好な仕上がりであった。

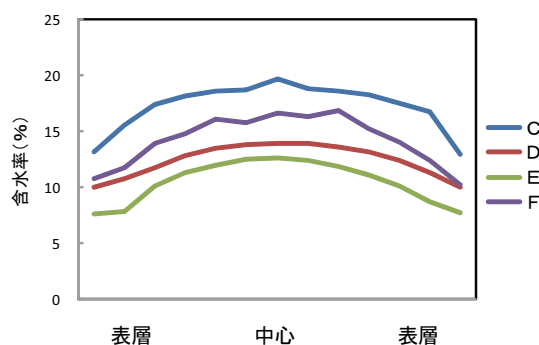


図5 乾燥条件別の水分傾斜

6. 仕上がり含水率と収縮率

人工乾燥後から養生終了時までの収縮率の変化を図6に示す。全体として収縮率の上昇がみられることから、供試材は養生中も放湿していると考えられるが、乾燥直後の含水率が低いE、Fの供試材については、養生から1～2ヶ月寸法が増加し、その後、減少する傾向があった。このことから、より乾燥時間を短縮したスケジュールも考えられる。

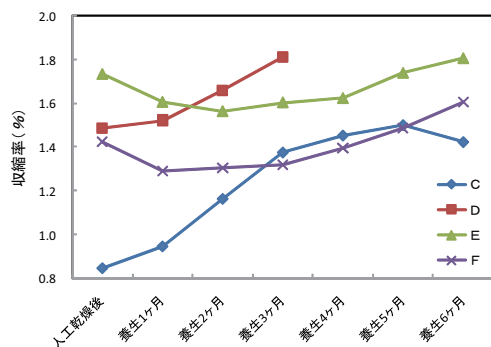


図6 乾燥後から養生終了までの収縮率の変化

7. 乾燥による材面割れと内部割れ

各乾燥条件における材面割れと内部割れについて、「乾燥材の品質基準(財)日本住宅・木材技術センター,2003」³⁾の評価に基づき品質区分を行った。表3にその基準を示す。使用箇所は見え隠れとして用いる場合の基準であるが、見え掛かりとしての利用はさらに割れ条件が厳しくなる。

表3 心持ちスギ柱角乾燥材の品質基準

含水率ランク (%)	品質ランク	材面割れ(mm)		内部割れ(mm)	
		幅	長さ	幅	長さ
20	A	1	100	0	0
	B	3	500	1	50

注1：各項目の数値基準は、表示値以下とする。

注2：材長は、3mの場合を示す。

注3：材面割れは、幅は最大幅、長さは4材面に発生した割れの総計を示す。

注4：内部割れは、木口から30cm入った1断面において、幅は最大幅、長さは総計を示す。

図7に材面割れによる品質区分結果を示す。いずれも乾燥初期に高温セット処理（乾球温度120℃、湿球温度90℃）を24時間行っており、材表層部に意図的に引張りのドライイングセットを形成させた。このため養生終了時には圧縮応力が大きくなり、結果として材面割れが少なくなったものと思われた。

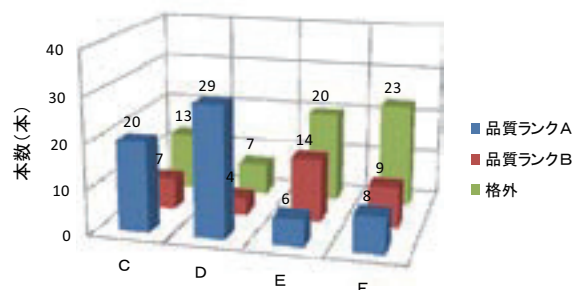


図7 材面割れによる品質基準

次に乾燥条件別の材面割れ面積の推移を図8に示す。乾燥中に発生した割れは養生に伴い、割れの長さ、幅ともに徐々に小さくなった。養生期間において新たな割れの発生は見られなかった。

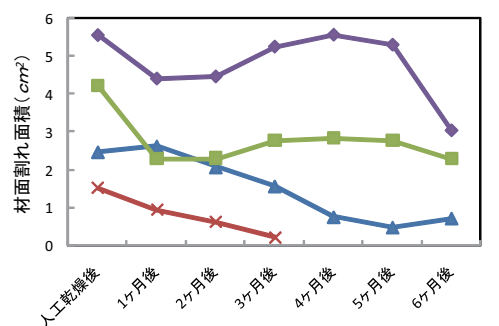


図8 乾燥条件別の材面割れ面積の推移

図9に内部割れによる品質区分結果を示す。材面割れと比較して、内部割れはほとんどの材で観察され、その中でもEは発生量が極めて多かった。Cは他と比較すると内部割れを少なく押さえることができたが、これは天然乾燥により、材内部の含水率が緩やかに低下したためと考えられる。

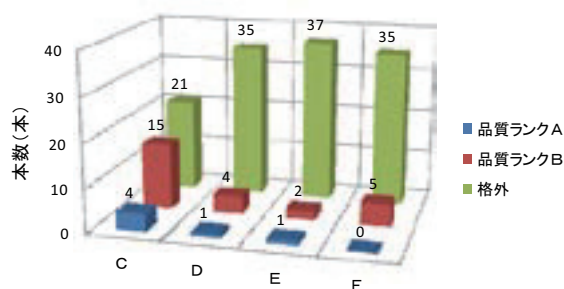


図9 内部割れによる品質区分

図10に仕上がり含水率と内部割れ面積の関係を示す。含水率が15%を下回るあたりから内部割れが大きくなる傾向が見られた。これは、表層部がセットされた状態で急速に材内部の含水率が低下することにより、材内部に大きな引張応力が発生し、含水率が低下するほど内部割れが大きくなったと考えられる。

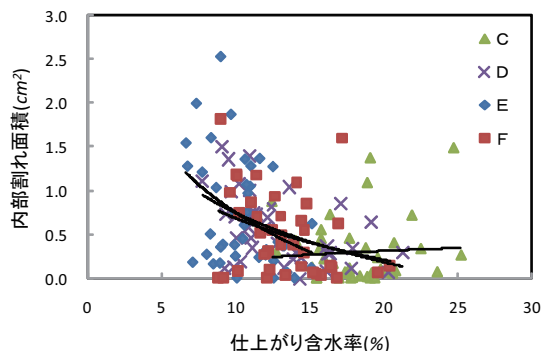


図10 仕上がり含水率と内部割れ面積の関係

8. 動的ヤング係数 (Efr)

C, D, E, FのEfrの測定結果を図11に示す。Efrは製材直後に低下し、その後乾燥の進行に伴って上昇した。また、仕上げ加工によって含水率の低い辺材部が切削されたことで若干低下したと思われる。乾燥条件によってEfrにバラツキが見られたが、これは丸太時のEfr

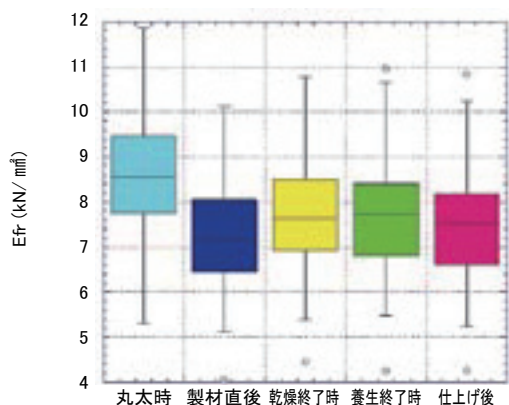


図11 各測定時のEfr

のバラツキに大きく依存している。

9. 正角材の外観調査

目視等級区分の結果、1級が215本、2級が108本、3級が15本、級外が2本であり、1, 2級材で全数の95%を占めた (図12)。

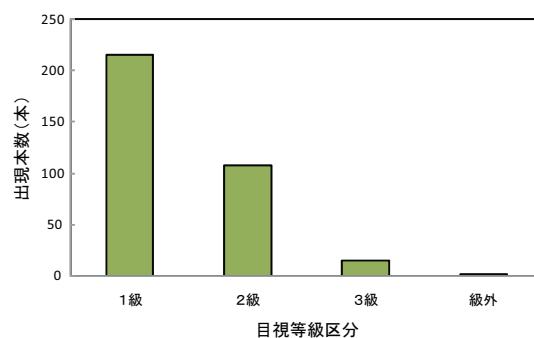


図12 目視等級区分結果

10. 実大曲げ試験

供試材全数の曲げ試験結果を表4に示す。曲げヤング係数および曲げ強度の平均値は、それぞれ7.36kN/mm² (標準偏差1.18kN/mm²), 38.0N/mm² (同6.6N/mm²)であった。曲げ強度の最小値は22.3N/mm²であり、すべての試験材が建築基準法施行令に定めるスギ無等級材の材料強度基準値 (22.2N/mm²) を上回っていた。試験時の含水率の平均値は、13.9% (標準偏差4.0%)であった。

曲げヤング係数と仕上げ時のEfrの間には相関関係が認められた (図13, $R^2=0.6437$)。

表4 実大曲げ試験の結果

	MOE (kN/mm ²)	MOR (N/mm ²)	密度 (kg/m ³)	含水率 (%)
平均値	7.36	38.0	420	13.9
最大値	10.99	65.9	565	39.3
最小値	4.32	22.3	332	6.7
標準偏差	1.18	6.6	41	4.0
変動係数 (%)	16.1	17.3	9.7	28.6

注：密度は試験時の密度

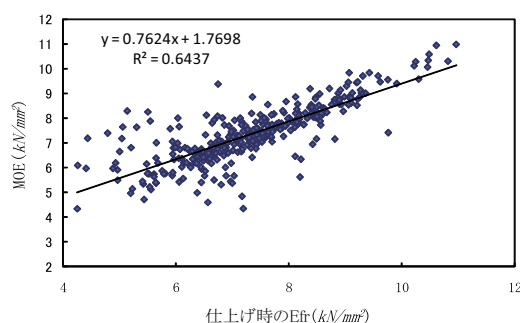


図13 曲げヤング係数と仕上げ時のEfrの関係

曲げヤング係数と曲げ強度の間には相関関係が認められた（図14）。高温乾燥は強度性能が低下する傾向にあるという報告もあるが⁴⁾、乾燥条件を変えても曲げヤング係数、曲げ強度において差異は認められなかった。また、材面割れ及び内部割れと曲げヤング係数及び曲げ強度との相関について分析を行ったが、相関関係は認められなかった。

機械等級区分の結果を図15に示す。E50が36本、E70が190本、E90が104本、E110が10本でE130は出現しなかった。E70以上が89%を占めていた。

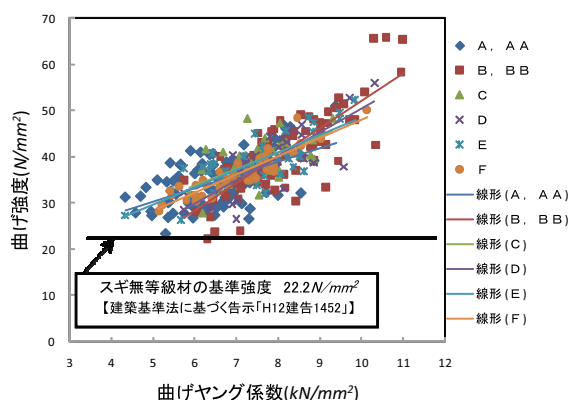


図14 曲げヤング係数と曲げ強度の関係

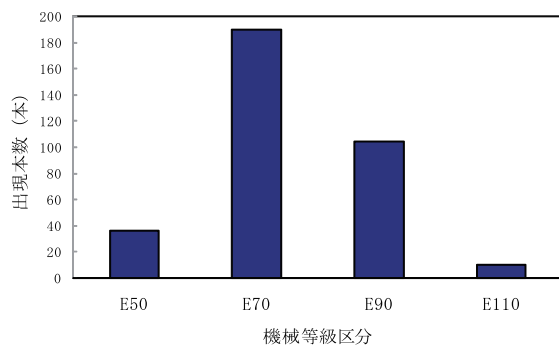


図15 機械等級区分結果

IV おわりに

本報の結果から、県産スギ心持ち正角材の強度性能は、建築基準法施行令に定めるスギ無等級材の基準強度 22.2 N/mm²を上回っていた。また乾燥前に重量選別を行うことにより、仕上がり含水率のバラツキを押さえ、乾燥機の効率的運転につながる事が明らかになった。

また高温セットが材面割れの発生を押さえることが確認できたが、内部割れの発生を押さえて仕上げるためには緩やかな乾燥条件（中温乾燥、天然乾燥）で行うことが適切であると思われる。通常の天然乾燥では人工乾燥に比べ乾燥初期の湿度条件が厳しいため、材面割れ発生危険が大きいことが指摘されているが、高温セットを施すことで仕上がりの良い乾燥材の生産が期待できる。

なお、今回は内部割れや材面割れが強度性能に及ぼす影響については見られなかったが、プレカット接合する際に内部割れがあると接合強度が低下するという報告もあることから、今後は仕口形状と内部割れの関係についても調べていく必要がある。

引用文献

- 1) 武田孝志, 吉田孝久, 印出 晃, 伊東嘉文, 橋爪丈夫, 徳本守彦：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)
- 2) 財団法人日本住宅・木材技術センター：構造用木材の強度試験法，1999
- 3) 財団法人日本住宅・木材技術センター：品質・性能向上技術調査・開発事業報告書（国産針葉樹乾燥材の生産技術マニュアル），2003，p. 5.
- 4) 山本 学：人工乾燥温度が曲げ強度に及ぼす影響，広島県林業技術センター研究報告31，33-36 (1999)

Establishment of High-Quality Kiln Drying Technology and
Evaluation of Strength Properties of Square Sugi(*Cryptomeria japonica D.Don*)Timber in Shimane Prefecture

Masaki ISHIBASHI, Masaru FUJITA

ABSTRACT

We conducted a drying test for the combination of high temperature pretreatment and various drying methods to establish Drying Technology for cost-cutting, and also conducted a full size bending test to find out the strength performance of Square Sugi(*Cryptomeria japonica D.Don*)Timber in Shimane Prefecture. As a result, we obtained the following:

1. It's possible to reduce the final moisture variation by introducing the weight sorting before drying. As a result, we are able to operate drying machine effectively. Although it was found that the split of surface is restrained by the high temperature setting method, and restraining the split of inside is transacting under the mild drying conditions(middle temperature drying or natural drying).
2. The difference of bending strength by drying conditions was not found among high temperature drying, middle temperature drying, and natural drying.

