

# 島根県産スギ平角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 Sugi (*Cryptomeria japonica*) Flat Square Grown in Shimane Prefecture

Masaki ISHIBASHI and Masaru FUJITA\*

## 要 旨

島根県産スギ心持ち平角の乾燥技術の確立と強度性能の把握を目的として、乾燥前処理としての高温セット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. 乾燥前の重量選別の有効性が認められた。また、高温セットとその後の異なる乾燥スケジュールの組み合わせにおいても、含水率のバラツキを抑えた乾燥材が生産できることが分かった。
2. 高温セットを施すことで材面の割れを抑制し、品質の向上につながる事が分かった。
3. 高温セットを施すことで、炉出し後の材面割れ量をピークとし、徐々に割れが閉じる傾向にあることが分かった。
4. 内部割れ及び材色の明度低下を引き起こさないようにするには、高温セット後の乾球温度を100℃以下に抑えた乾燥スケジュールで行うことが必要である。
5. 曲げ強度 (MOR) にもっとも影響を及ぼす因子は曲げヤング係数 (MOE) であり、次いで仕上げ加工後の動的ヤング係数 ( $E_{fr}$ ) であった。
6. 高温セットを乾燥前処理として用いた乾燥条件 (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。

キーワード: スギ, 平角, 高温セット

## I はじめに

スギ正角についてその乾燥手法と強度性能を評価した前報<sup>1)</sup>に引き続き、スギ平角について同様の試験を行った。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、島根県産スギ平角の乾燥材としての品質確保と乾燥処理時間の短縮化のため、乾燥の前処理として表面割れの防止に効果がある高温セット (高温・低湿処理を施す乾燥技術)<sup>2)</sup>

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26~34cm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、130×230×4100mmと130×225×4100mmの平角に製材した。製材後、元口部から80mm入っ

\*現島根県農林水産部林業課

た箇所から含水率測定用試験片（20mm）を採取し、全乾法で初期含水率を測定し、重量による並び替えの結果軽い方から4,5番目および16,17番目の試験材については長辺方向を13分割し、水分傾斜を測定した。

## 2. 乾燥

製材後の平角について人工乾燥を行った。人工乾燥装置には、収容能力約7.7m<sup>3</sup>の高温蒸気式乾燥装置（（株）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15～20本を乾燥、全部で100本を試験に供した。

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的高温セットを行った。そのうちA, B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、異なる乾燥時間により乾燥を行った。C, D, E, Fについては乾燥前に縦振動法により求めた動的ヤング係数の平均値と分散が等しくなるようグループ分けを行った。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、D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E, Fは、乾燥工程において乾湿球温度差を変えて、中温乾燥を行うスケジュールである。

表1 乾燥スケジュールの概要

乾燥条件	供試材本数 (本)	初期蒸煮 (乾湿球温度、 h)	高温セット (乾球温度/ 湿球温度、h)	乾燥工程 (乾球温度/ 湿球温度、h)	冷却工程 (h)	
A	20	95°C 12h	120°C /90°C 24h	90°C/60°C 240h	12h	
B	20			90°C/60°C 288h	12h	
C	15			天然乾燥		
D	15			110°C/80°C 72h	12h	
E	15			90°C/60°C 240h	12h	
F	15			90°C/75°C 240h	12h	

人工乾燥終了後、重量、寸法、木材水分計（（有）エーデス機械産業製「DELTA-200XL」）による含水率、材面割れ、内部割れ及び曲がり、ねじれ、縦振動法による動的ヤング係数（以下、 $E_{fr}$ と記す）を測定した。各乾燥条件において重量により選定した2本について両木口面から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、全乾法で人工乾燥終了後の含水率を測定した。

その後、供試材は室内で養生し、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。経時変化が安定した時点で重量、寸法、材面割れ、 $E_{fr}$ を測定し、重量により選定した2本の両木口面から20cm内側の位置より含水率測定用試験片を採取して、天然乾燥終了後の含水率を全乾法で測定し、重量による並び替えの結果軽い方から4,5番目および16,17番目の試験材については長辺方向を13分割し、水分傾斜を測定した。

## 3. 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）と鋼尺（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）と鋼尺（1mm精度）で測定した。

## 4. 材面明度の測定

測定は、分光式色差計（日本電色工業SE2000型）を用い、CIE L\*, a\*, b\*表色系により評価した。強度試験後の各供試材から採取した2試片について心材部2点、辺材部2点の測定を行い、それぞれの平均値を求めた。

## 5. $E_{fr}$ の測定

$E_{fr}$ の測定を丸太時、製材直後、乾燥終了時、養生終了時、仕上げ加工後に行った。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、仕上げ加工後では寸法、重量を測定した。 $E_{fr}$ 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（FFTアナライザ）」を使用した。

仕上げ加工後の $E_{fr}$ 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. 平角の外観調査

養生終了後、モルダーで120×210×4000mmの平角に加工した。仕上げ加工後の平角について、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1000 kN、前川試験機製作所製「IPA-100R-F」）を使用し、「構造用木材の強度試験法」<sup>3)</sup>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（ひずみゲージ式変位計SDP-200D）により材中央部のたわみを測定した。曲げヤング係数（以下、MOEと記す）、曲げ強度（以下、MORと記す）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4.6mm（標準偏差0.8mm）であった。曲がり、心材率、細り度の平均値はそれぞれ5.6%、49.9%、83.1%であった。

表2 素材の外観特性調査結果

	平均年輪幅 (mm)	曲がり率 (%)	心材率 (%)	細り度 (%)	偏心率		全数 n=100
					末口(%)	元口(%)	
平均	4.6	5.6	49.9	83.1	3.6	4.9	
標準偏差	0.8	3.8	8.1	5.0	2.7	4.1	
変動係数(%)	17.1	67.8	16.2	6.0	74.3	83.9	
最大値	6.4	16.6	84.4	93.9	11.7	21.1	
最小値	2.5	0.0	33.1	68.5	0.0	0.0	

### 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77kg未満）は110.9%（範囲56.4~187.4%）、B（同77kg以上）は152.8%（範囲106.9~210.0%）であった。図1に乾燥前重量と全乾法含水率との関係を示す。両者には正の相関関係が認められた。

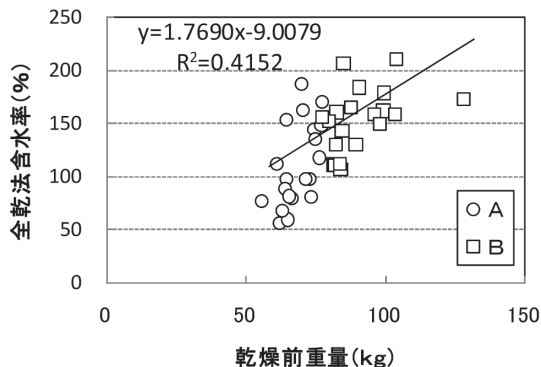


図1 乾燥前重量と全乾法含水率の関係

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においてAは16.9%（範囲9.3~61.9%）、Bは22.4%（範囲9.9~56.8%）となった。Aでは乾燥後の養生2ヶ月後に全ての供試材が目標含水率20%以下に達した。Bでも養生1ヶ月で平均含水率が20%以下に達し、養生3ヶ月後には20本中17本が目標含水率以下に仕上がった。図2に示すとおり重量ごとに対応した乾燥時間の選択が有効であることが伺えた。

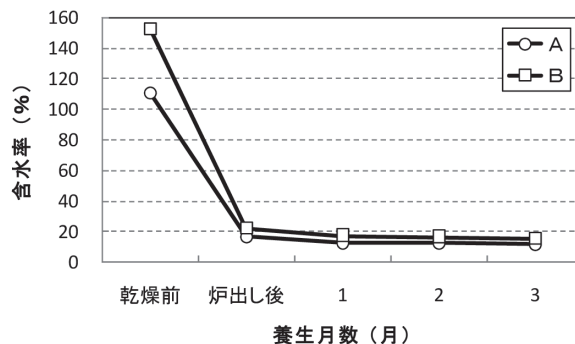


図2 重量選別した各グループの乾燥経過

### 3. 乾燥条件別の仕上がり含水率

C, D, E, Fにおける供試材の乾燥経過を図3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については、炉出し後9ヶ月後に含水率20%を下回った。D, E, Fについては乾燥直後には含水率20%を下回り、含水率のバラツキも養生1ヶ月後には減少した。いずれのグループについても、バラツキを抑え、仕上がり含水率を20%以下に仕上げる事ができた。

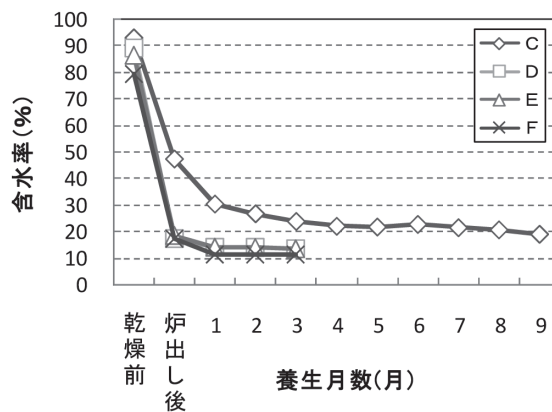


図3 乾燥条件ごとの乾燥経過

#### 4. 養生後の水分傾斜

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4に示す。Cについては凸型の水分傾斜を示し、材中心部の含水率が30%であった。D, E, Fについては良好な仕上がりであった。

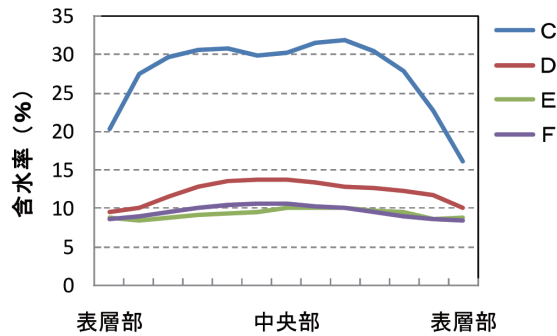


図4 乾燥条件ごと長辺方向の水分傾斜

#### 5. 収縮率の変化

炉出し後から養生終了時までの収縮率の変化を図5に示す。Cにおいては炉出し後に他グループと比較して1.4%と低い数値を示したが、徐々に収縮率の値が上昇する傾向が見られた。含水率20%以下に達しても安定することはなく、さらなる上昇の可能性も考えられる。乾燥直後の含水率が低いD, E, Fについては、3ヶ月の養生期間を経過して約2.6%前後に安定した。

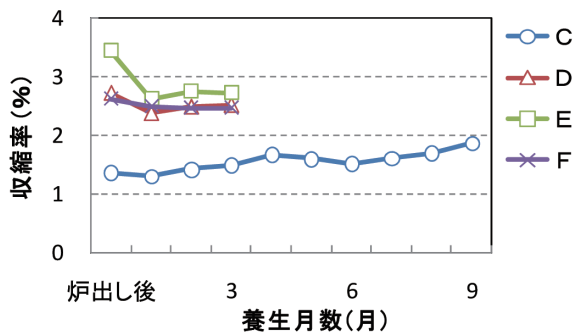


図5 炉出し後から養生終了までの収縮率の変化

#### 6. 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」<sup>4)</sup>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 心持ちスギ平角乾燥材の材面割れの品質基準

含水率ランク (%)	品質ランク	材面割れ(mm)	
		幅	長さ
20	A	5	500
	B	7	1500

注1: 各項目の数値基準は、表示値以下とする。  
注2: 材長は、4mの場合を示す。  
注3: 幅は最大幅、長さは4材面に発生した割れの総計を示す。

図6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グセットを形成させた。A, B及びD, E, Fにおいては、供試材の63%以上が品質ランクAに含まれた。Cにおいては格外的割合が40%と高いが、天然乾燥のみで仕上げた既往の報告<sup>5)</sup>では格外的割合が100%であることと比較すると高温セットによる材面割れ抑制効果はあったといえる。

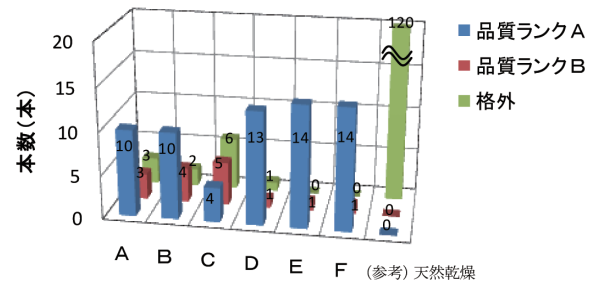


図6 材面割れによる品質区分

次に4材面に発生した乾燥条件別の材面割れ面積の推移を図7に示す。D, E, Fにおいて乾燥時に発生した割れは養生に伴って割れの長さ、幅ともに徐々に小さくなり、材面割れ面積も減少した。Cにおいては養生期間において気候変化に伴う変動が生じたが、新たな割れの発生は見られなかった。

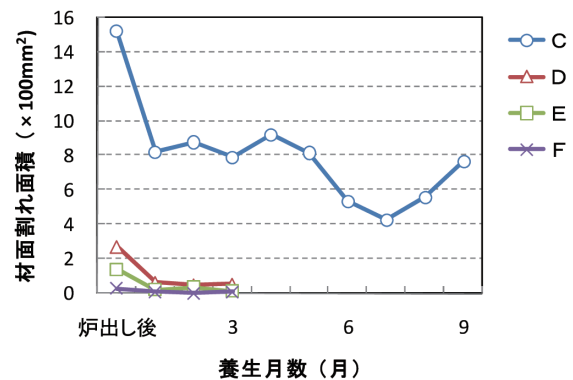


図7 乾燥条件ごとの材面割れ面積の推移

図8に養生後の内部割れ発生量を示す。Dは内部割れ発生量が他グループと比較して多かった。高温セット後の乾燥工程において100℃以上の乾球温度で乾燥させたために内部割れが生じたものと思われる。

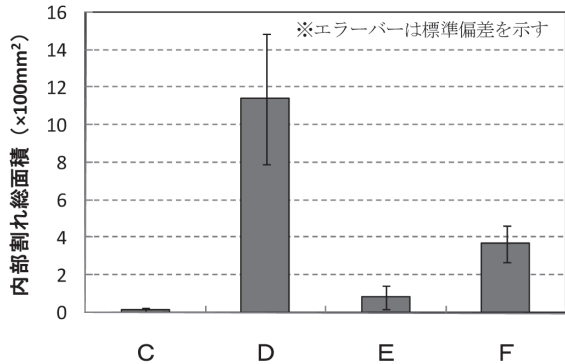


図8 養生後の内部割れ発生量

### 7. 乾燥による材色変化

図9に養生後の辺材部の明度指数 $L^*$ を示す。平均値の差について各グループ間で統計的仮説検定(t-検定)を行った結果、Dにおいて他のグループとの間に有意差がみられ低い値を示した。

このことから高温セット後の100℃以上の高温乾燥は、明るさが減少する傾向にあることが伺える。

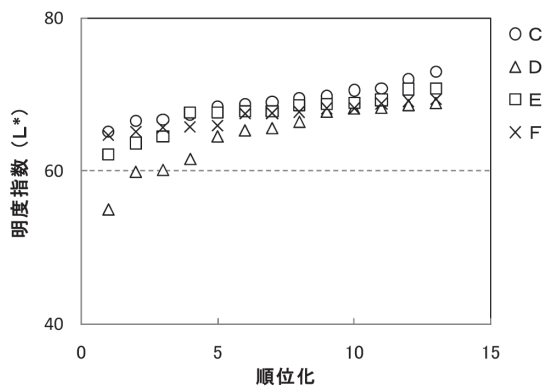


図9 養生後の明度指数

### 8. 動的ヤング係数

養成後の機械等級区分の結果を図10に示す。E50が26.8%，E70が46.3%，E90が25.6%，E110が1.2%でE130は出現しなかった。E70以上が73%を占めていた。

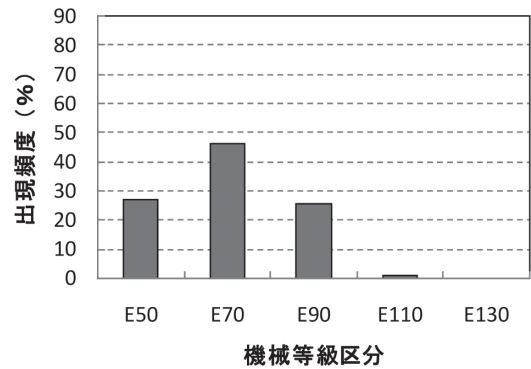


図10 機械等級区分結果

### 9. 平角の外観調査

目視等級区分の結果、1級が25.0%，2級が54.8%，3級が17.9%，級外が2.4%であり、1，2級材で全数の80%を占めた(図11)

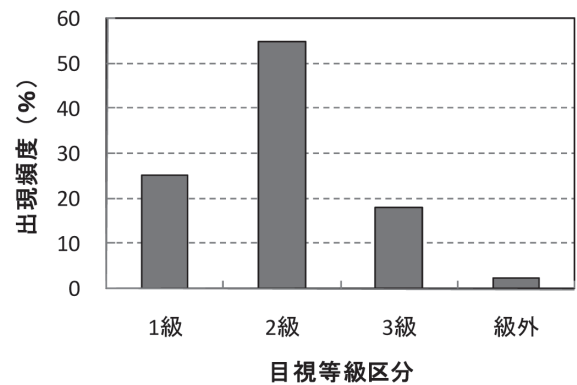


図11 目視等級区分結果

### 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。MOE及びMORの平均値は、それぞれ7.12kN/mm<sup>2</sup>(標準偏差1.41kN/mm<sup>2</sup>)、34.0N/mm<sup>2</sup>(同7.5N/mm<sup>2</sup>)であった。MORの最小値は19.4N/mm<sup>2</sup>であり、100本中3本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/mm<sup>2</sup>)を下回ったほかは基準値以上であった。

なお、試験時の含水率の平均値は、14.1%(標準偏差3.9%)であった。

表4 実大曲げ試験の結果

	密度 (kg/m <sup>3</sup> )	含水率 (%)	MOE (kN/mm <sup>2</sup> )	MOR (N/mm <sup>2</sup> )
平均値	383	14.1	7.12	34.0
最大値	516	31.4	11.08	53.2
最小値	299	7.7	3.78	19.4
標準偏差	37	3.9	1.41	7.5
変動係数(%)	9.6	27.3	19.8	22.1

注：密度は試験時の密度



MOEとMORの間には正の相関関係が認められた (図12)。また、乾燥条件を変えてもMOE, MORにおいて差異は認められなかった。

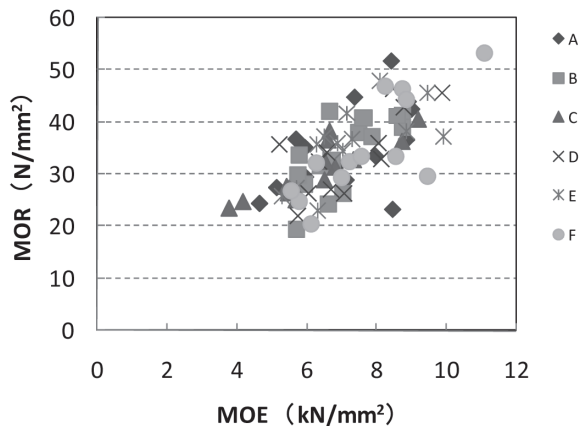


図12 MOEとMORの関係

単回帰分析の結果、MORに影響の大きい因子は、MOEと仕上げ時の $E_{fr}$ であり、密度は比較的相関関係が低かった (表5)。

表5 MORと各因子の相関係数

	平均年輪幅	含水率	密度	$E_{fr}$	MOE
MOR	-0.037	-0.332 **	0.265 *	0.642 **	0.715 **
平均年輪幅		0.103	-0.196	-0.099	-0.113
含水率			0.481 **	-0.245 *	-0.290 **
密度				0.358 **	0.370 **
$E_{fr}$					0.961 **

※ $E_{fr}$ は仕上げ時の $E_{fr}$ を示す

※\*:有意水準5%, \*\*:有意水準1%

#### IV おわりに

本報の結果から、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抑え、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、高温セットによる材面割れ抑制効果が平角においても認められ、炉出し後の材面割れ量をピークに、徐々に割れが閉じていく傾向が見られた。これは、製品としての品質を担保でき、信頼性の向上につながる。

今回の試験において試みた、高温セットとその後の異なる乾燥の組み合わせによる乾燥材生産は、各事業体が持ち合わせている施設や乾燥機の性能、あるいは生産量、生産体制によってその乾燥スケジュールを使い分けることができることを示している。近年、高周波蒸気複合型木材乾燥機や過熱蒸気式木材乾燥機といった様々な木材乾燥機が開発されているが、その一方で今後乾燥材のさらなる普及のためには、大部分が中小規模である製材事業体において、現状で所持している木材乾燥機で対応できる乾燥スケジュールを提案していく必要がある。

#### 謝 辞

最後になりましたが、この研究を進めるにあたりまして島根県中山間地域研究センター嘱託職員福島亮氏、八幡優子氏には多大なご協力をいただきました。ここに厚く御礼申し上げます。

#### 引用文献

- 1) 石橋正樹, 藤田勝: 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, 島根中山間セ研報5, 65-71 (2009).
- 2) 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).
- 3) (財)日本住宅・木材技術センター: 構造用木材の強度試験法, 1999.
- 4) (財)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.
- 5) 越智俊之, 中山茂生: 島根県産スギ平角材の強度性能, 島根中山間セ研報3, 1-7 (2007).

Establishment of High-Quality Kiln Drying Technology and  
Evaluation of Strength Properties of Sugi (*Cryptomeria japonica*) Flat Square Grown in Shimane Prefecture

Masaki ISHIBASHI, Masaru FUJITA

ABSTRACT

We conducted a drying test of drying set as a treatment before drying and various drying method, and also an experiment of full size bending test to find out the strength properties of sugi(*Cryptomeria japonica*) flat square in Shimane Prefecture. As a result, we proved the following:

1. We found out that the classification of timber according to weight before drying is effective, moreover; in the combination of drying set and various drying schedules, we could produce the drying timber that keeps dispersion down in moisture content.
2. Surface check have decreased in number by making a drying set, and that lead to improving in the timber's quality.
3. By making a drying set, check tend to closing little by little as the size of check directly after drying is maximum.
4. It's necessary to keep Dry-bulb temperature after drying set below 100 °C , not to be cracked inside and not to decreased lightness of color of timbers.
5. A modulus of rupture in bending (MOR) were most influenced by the factor of modulus of elasticity in bending (MOE), and the second is dynamic Young's coefficient ( $E_{tr}$ ) in finish stage.
6. It's not found that the difference of bending strength by drying conditions: high temperature drying, middle temperature drying, and natural drying.

Keyword : *Cryptomeria japonica*;flat square;high-temperature setting

