

県産材の高品質乾燥技術の開発(1)

－スギ桁材の乾燥方法別乾燥特性－

吉田孝久，今井信，柴田直明，山内仁人，高野弐夫※

スギ桁材の乾燥資料を整備することを目的に，4種類の乾燥方法で乾燥試験を行ないその乾燥特性について検討した。その結果，(1)乾燥後3ヵ月間の養生が前提であれば，弱加圧型高温乾燥ではおよそ5～6日間，蒸気・圧力併用型乾燥では，今回やや過乾燥であったことを考慮しておよそ4～5日間，高温セット+中温型乾燥ではおよそ14日間，高温セット+高温型乾燥ではおよそ5～6日間で乾燥材のほぼ8割は含水率20%以下に仕上がると思われた。(2)材面割れは，高温セットの効果により全ての乾燥方法で少なかった。最も少なかったのは高温セット+中温型乾燥であった。(3)内部割れは終始高温乾燥であった弱加圧型高温乾燥と高温セット+高温型乾燥に，また，やや過乾燥となった蒸気・圧力併用型乾燥に多かった。

キーワード：高温セット，蒸気・圧力併用型乾燥，スギ桁材，材面割れ，内部割れ

1 はじめに

最近，住宅建築を巡る情勢変化が著しく，耐震性等の住宅性能確保とその保証，あるいは，地球環境保全に寄与するため，住宅の省エネルギー化や長寿命化へ向けた施策が展開されている。これらの施策に対応しつつ，地域材のシェア拡大を図るためには，地域にある製材工場を活かすことが必要であり，そのためには国産材製材の利用拡大が求められる。例えば，在来軸組住宅における横架材としての利用や，様々な現し工法への大断面製材の利用である。しかし，大断面製材の乾燥には時間がかかるため，供給拡大のためには，その品質確保とともに，コスト削減のための乾燥時間の短縮が課題である。

このような背景から，大断面製材の乾燥を速めるため，蒸気・高周波複合乾燥機を始めとした様々な乾燥機が登場し，桁材に対応した乾燥スケジュールが提案されている。

そこで，今回は千曲川下流域での人工林の55%を占めるスギ材を，梁・桁材等の構造材として需要の拡大を図るため，その乾燥方法について検討した。

スギ桁材の低コスト，高品質を目指した効率的な乾燥方法を検討することを目的に，4種類の乾燥方法により乾燥試験を行い，それぞれの乾燥特性を把握した。また，4種類の乾燥方法で乾燥した材の曲げ強度試験を実施し乾燥スケジュールを検討するための資料とした。(曲げ試験結果は次号で報告)

なお，本研究は国交課題「県産材の高品質乾燥技術の開発」及び千曲川下流域林業活性化センターとの技術協力試験により実施した。

2 試験の方法

2.1 供試材

本試験に供した試験材は，長野県山ノ内町産のスギ110本である。試験材の寸法は，仕上がり寸法を120×240×4000mmに想定して140×260×4000mmに製材した。試験の概要を表-1に示した。

表-1 供試材の概要

樹種	北信スギ110本(山ノ内町産)			
製材寸法	140×260×4000mm			
	A	B	C	D
乾燥方法	弱加圧型 高温乾燥	蒸気圧力 併用乾燥	高温セッ ト+中温	高温セッ ト+高温
乾燥場所	瑞穂木材 (株)	ヒルデブラ ンド(株)	瑞穂木材 (株)	林業総合セ ンター
試験体数	30本	30本	30本	20本

2.2 乾燥方法と形質測定

実施した乾燥方法は，以下の4種類とした。

A：弱加圧型高温乾燥

B：蒸気・圧力併用型乾燥

C：高温セット+中温型乾燥

D：高温セット+高温型乾燥

A：弱加圧型高温乾燥(試験体数30本)での乾燥スケジュールは表-2のとおりであり，17時間の98℃蒸煮の後，120～125℃の高温セットを24時間行い，その後110～114℃の弱加圧下で83時間の高温乾燥を行った。乾燥時間は，合計で124時間(5.2日間)であり，終始

※千曲川下流域林業活性化センター

100℃以上の温度で乾燥するため、乾燥時間が一般に行なわれている蒸気式乾燥機より短い。また、若干の加圧状態で乾燥が行われている。乾燥は瑞穂木材(株)で行なった。

表-2 A:弱加圧型高温乾燥の乾燥スケジュール

弱加圧型高温乾燥 (蒸気式)				
乾球温度 (°C)	湿球温度 (°C)	圧力	処理時間 (h)	備考
98	98	+	17	蒸煮
120~125	98	+	24	高温セット
110~114	98	+	83	高温乾燥
計: 124h (5.2日)				

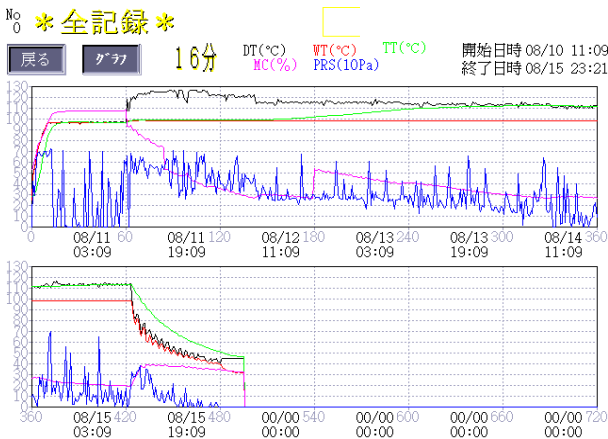


図-1 A 乾燥を実施した乾燥機と乾燥経過

B: 蒸気・圧力併用型乾燥 (試験体数 30 本) は、加圧・減圧繰り返しによる前処理を行なった後、高温セットを 24 時間、その後の中温乾燥を減圧下で行なう乾燥である。

乾燥スケジュールは表-3 のとおりであり、10 時間の加圧減圧数回繰り返しの後、120℃の高温セットを 24 時間行い、その後減圧下において 90℃の中温乾燥を 99 時間行った。乾燥時間は合計で 133 時間 (5.5 日間) であり、乾燥時間が通常の蒸気式乾燥機より短く設定している。乾燥はヒルデブランド(株)で行なった。

表-3 B:蒸気・圧力併用型乾燥の乾燥スケジュール

蒸気・圧力併用型乾燥 (蒸気式)				
乾球温度 (°C)	湿球温度 (°C)	圧力	処理時間 (h)	備考
100~120	100~120	±	10	加圧/減圧処理
120	90		24	高温セット
90	60	-	99	中温/減圧
計: 133h (5.5日)				

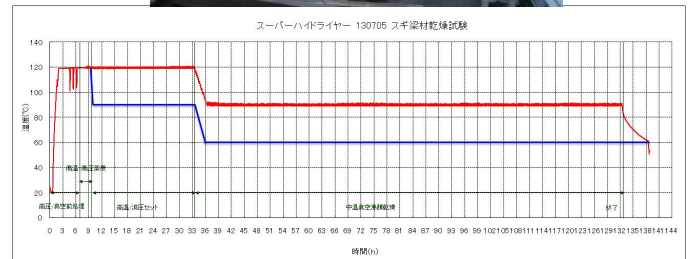


図-2 B 乾燥を実施した乾燥機と乾燥経過

C: 高温セット+中温型 (試験対体 30 本) の乾燥スケジュールは表-4 のとおりである。15 時間の 95℃蒸煮の後、120℃の高温セットを 24 時間行い、その後 90℃の中温乾燥を 300 時間行った。乾燥時間は合計で 339 時間 (14.1 日間) とした。乾燥は瑞穂木材(株)で行なった。

表-4 C:高温セット+中温型の乾燥スケジュール

高温セット+中温型乾燥 (蒸気式)			
乾球温度 (°C)	湿球温度 (°C)	処理時間 (h)	備考
95	95	15	蒸煮処理
120	90	24	高温セット
90	60	300	中温乾燥
計: 339h (14.1日)			



写真-1 C 乾燥を実施した乾燥機

D：高温セット+高温型（試験体数 20 体）の乾燥スケジュールは表-5 のとおりであり，Aの弱加圧型の乾燥スケジュールと同様な時間条件を設定した。あえて加圧状態はつくらず終始常圧で乾燥している。

17 時間の 95℃蒸煮の後，120～125℃の高温セットを 24 時間行い，その後 110～114℃で 83 時間の高温乾燥を行った。乾燥時間は合計で 124 時間（5.2 日間）であり，高温セット後も 100℃以上の温度で乾燥するため，乾燥時間が通常の蒸気式乾燥機より短くなっている。乾燥は林業総合センターで行なった。

表-5 D:高温セット+高温型の乾燥スケジュール

高温セット+高温型乾燥（蒸気式）			
乾球温度 (℃)	湿球温度 (℃)	処理時間 (h)	備考
95	95	17	蒸煮処理
120～125	95	24	高温セット
110～114	95	83	高温乾燥
計：124h（5.2日）			



写真-2 D 乾燥を実施した乾燥機

2.3 乾燥試験の方法

全 110 本の試験材について，生材時の寸法，重量，高周波式含水率計（MOCO2）による含水率（以下，含水率計含水率），動的ヤング係数（Efr）を測定した。その後，曲げ強度試験の結果を検討する際，比較評価が混乱しないよう，Efr の分布がほぼ均一になるように 4 区分しこの 4 区分で 4 種類の乾燥方法を行った（表-1）。

乾燥を終了した後，寸法，重量，含水率計含水率，全乾法による含水率（以下，全乾法含水率），材面割れ長さ，材面割れ最大幅，曲がり（測定スパン 4m），そり（測定スパン 4m），及び Efr を測定した（写真-3）。乾燥後の測定を終えた材は，棧積み状態で約 3 か月間屋外で養生した。養生後，再び乾燥後に測定した項目について測定を行った。

なお，材面割れの長さは，両木口から 10cm の部分は除いて測定し，4 材面の合計の長さを材面割れ長さとした。また，含水率計含水率は，広い材面（幅方向）のみの測定とした。

全乾法含水率は，この乾燥試験の後に行った曲げ強度試験の曲げ破壊後の非破壊部から切り出した試験片の含水率から，各測定時（乾燥前，乾燥後，養生後）の重量を基に算出した。試験片の切り出し位置は，曲げ強度試験を終了した材の非破壊部の木口から長さ方向に約 1,000mm の位置で，節等の欠点のない部位とした。

内部割れの測定は，全乾法の含水率を測定した試験片における内部割れの長さの合計とした。

また，全試験体のプレーナー面において 1 試験体 2 ヶ所ずつ心材色（L*a*b*表色系）の測定を行なった。



写真-3 乾燥試験における形質調査

左上：乾燥後の材の出庫

右上：乾燥前の含水率測定

左下：乾燥後の曲がり・そり，Efr の測定

右下：乾燥後の含水率測定

3 乾燥試験の結果

3.1 仕上がり含水率

4 種類の乾燥方法別の含水率計含水率を図-4 に，全乾法含水率を図-5，表-6 に平均値で示した。

初期含水率（全乾法）の平均値を比べると，A：弱加圧型高温乾燥，C：高温セット+中温型乾燥，D：高温セット+高温型乾燥はほぼ同程度の 72%，B：蒸気・圧力併用乾燥はこれよりもやや低い 63%であった（図-5）。

表-6 各乾燥による重量と含水率の変化

	A: 弱加圧型高温			B: 蒸気・圧力併用型			C: 高温セット+中温型			D: 高温セット+高温型		
	初期重量 (kg)	初期含水率 (%)	乾燥後含水率 (%)	初期重量 (kg)	初期含水率 (%)	乾燥後含水率 (%)	初期重量 (kg)	初期含水率 (%)	乾燥後含水率 (%)	初期重量 (kg)	初期含水率 (%)	乾燥後含水率 (%)
平均	79.3	71.4	17.3	76.9	63.3	12.7	78.6	72.0	16.0	79.6	72.7	17.1
標準偏差	11.8	20.6	5.5	11.5	18.1	5.9	9.6	17.3	4.9	10.5	20.5	6.3
変動係数	14.9	28.8	32.1	15.0	28.6	46.0	12.2	24.0	30.8	13.2	28.2	37.0
最小	60.9	40.7	8.3	56.4	36.3	5.2	64.5	46.7	9.1	63.8	49.0	10.7
最大	113.5	125.6	29.3	110.0	104.8	28.8	109.1	107.6	30.3	108.6	130.8	35.6
データ数	30	30	30	30	30	30	30	30	30	20	20	20

乾燥後3か月養生後の含水率は、乾燥後の含水率より1~2%ほど低くなり、含水率計含水率では11~12% (図-4)、全乾法含水率は12~15%の値となった (図-5)。

含水率計含水率と全乾法含水率との関係 (図-6) は、A、C、Dは全体的に前者より後者的の方が高い傾向にあり、Bはばらつきが大きくどちらが高いか低いか言えない状態であった。

図-7には初期 (乾燥前) 重量を「1」としたときの乾燥後の重量減少を乾燥別に示したが、どの乾燥方法においても0.68前後でほぼ同様な重量減少率であった。

図-8に初期含水率を、図-9に乾燥後と3か月養生後含水率を乾燥方法別の各試験材について順位化して示した。

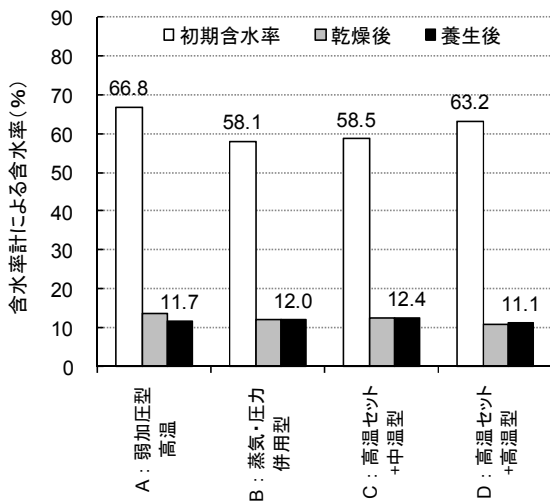


図-4 仕上がり含水率①(含水率計による含水率)

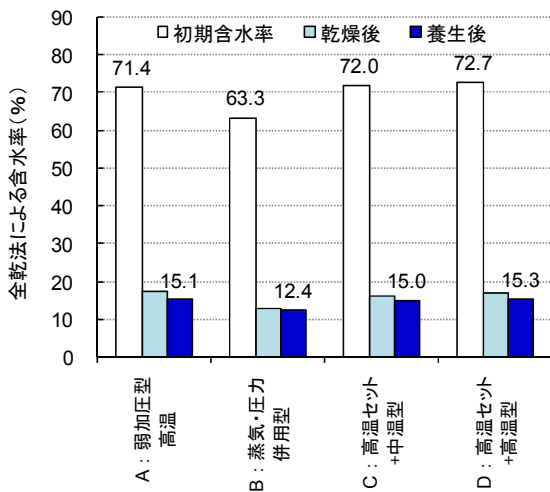


図-5 仕上がり含水率②(全乾法による含水率)

初期含水率はおよそ40~120%の範囲に分布していた。また、乾燥後には、A、C、Dの乾燥ではおよそ10~30%に、Bはやや過乾燥になったためおよそ5~30%に分布していた。

どの乾燥においても、乾燥後に比較的過乾燥であった10%以下の材は、養生中に吸湿し含水率が上昇する傾向を示し、一方、乾燥不足であった20%以上の材は放湿して含水率が低下した。

乾燥後の含水率が20%を上回っていた材は、弱加圧型高温乾燥で10体/30体、蒸気・圧力併用乾燥で2体/30体、高温セット+中温で6体/30体、D: 高温セット+高温で5体/20体であり、乾燥終了時点で全数が製材の日本農林規格 (JAS) で示される乾燥材基準 D20 を満足するには乾燥時間の延長が必要であった。

また、養生3か月後では、弱加圧型高温乾燥で3体/30体、蒸気・圧力併用乾燥で2体/30体、高温セット+中温で2体/30体、D: 高温セット+高温で3体/20体となったが含水率の低下は鈍かった。

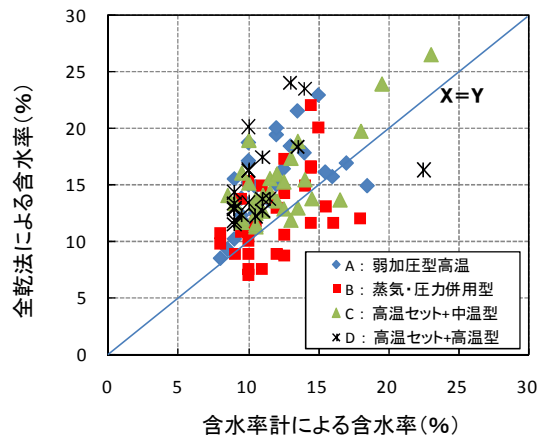


図-6 「含水率計による含水率」と「全乾法による含水率」の関係(養生後)

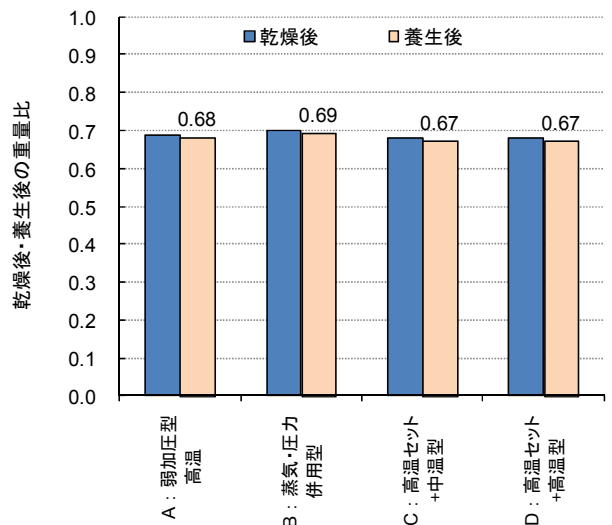


図-7 初期(乾燥前)重量を「1」としたときの乾燥後の重量減少

以上の結果より、乾燥後3か月間の養生を行なう前提であれば(養生の季節や場所にもよるが)、A:弱加圧型高温乾燥ではおよそ5~6日間、B:蒸気・圧力併用型乾燥では、今回やや過乾燥であったことを考慮しておよそ4~5日間、C:高温セット+中温型乾燥ではおよそ14日間、D:高温セット+高温型乾燥ではおよそ5~6日間の乾燥により、被乾燥材のおよそ8割の材が20%以下に仕上がると思われた。

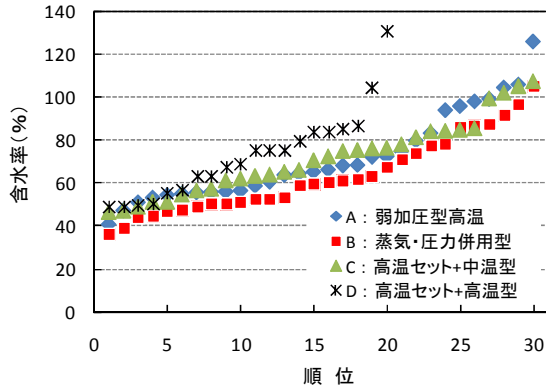


図-8 初期含水率の順位化

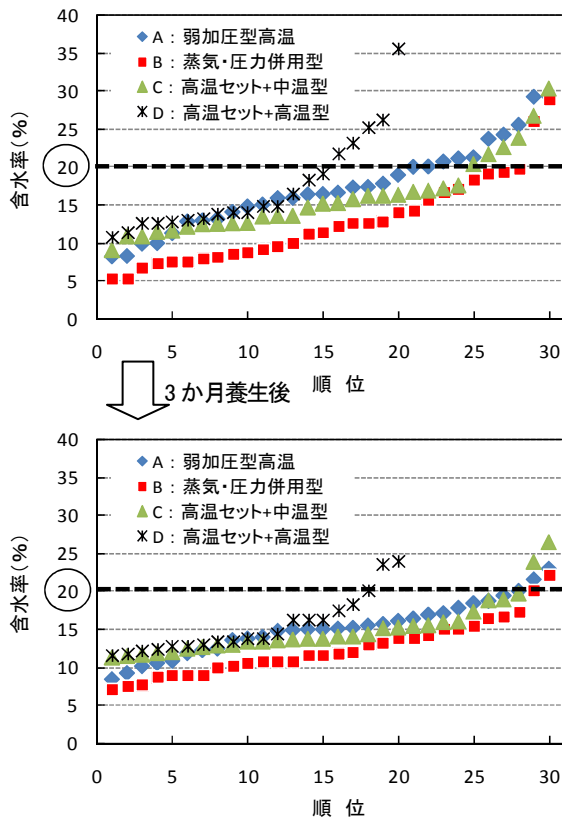


図-9 乾燥後と3か月養生後の含水率
(全乾法含水率の順位化)

3.2 初期重量と含水率との関係

初期重量と初期含水率との関係を図-10に、また初期

重量と乾燥後の含水率との関係を図-11に示した。

初期重量はおよそ60~110kgの範囲にあり、また初期含水率(全乾法)は40~110%の範囲にあった。

初期重量の軽い材は乾燥後の含水率も低く、また、初期重量の重い材は乾燥後の含水率も高い傾向にあり両者の相関は高かった。

スギの初期含水率(乾燥前含水率)はばらつきが大きく、これは乾燥後の仕上がり含水率にもそのまま影響し、乾燥後の含水率も大きなばらつき(5~30%)を持った(図-11)。

仕上がり含水率のばらつきが少ない乾燥材生産を行なうには、初期重量が80kg以下の材とこれを越える材とに重量選別し、それぞれの乾燥スケジュールを決めて乾燥することも有効であると思われた(図-11)。

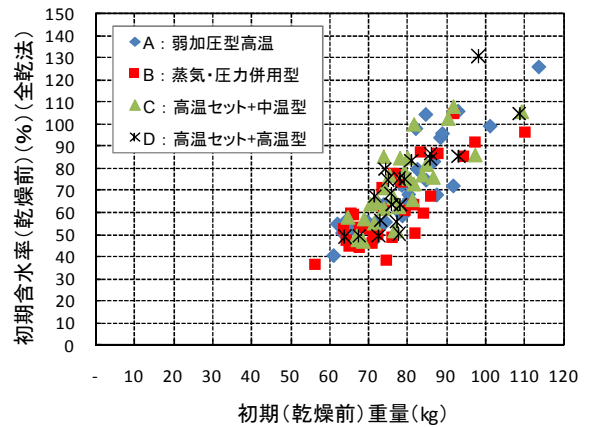


図-10 初期(乾燥前)重量と乾燥後の含水率の関係

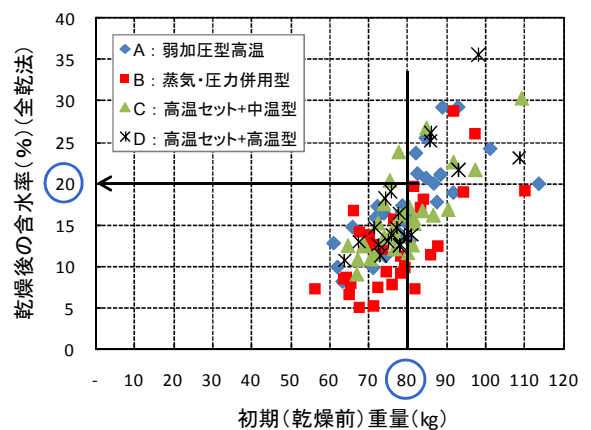


図-11 初期(乾燥前)重量と乾燥後の含水率の関係

3.3 水分傾斜

養生後の水分傾斜を測定するため、4種類の乾燥方法別に養生後の全乾法含水率がおよそ14~17%の材を5本ずつ選び、木口から長さ方向に50cm以上離れた部分

から約3 cm の試験片を切り出し、これを広い面の方向に9分割しこの含水率を求めた。

図-12 に養生後の水分傾斜を示した。4種類の乾燥とも水分傾斜は10~20%の範囲にあり、特徴として弱加圧型高温乾燥、蒸気・圧力併用乾燥、高温セット+高温では中心部の含水率がその周辺の含水率より低いM型の水分傾斜を示す材が多く見られた。また、高温セット+中温では乾燥時間が最も長かったためか、個体間の大きなばらつきは目立たずM型の水分傾斜がある材はなく凸型となった。

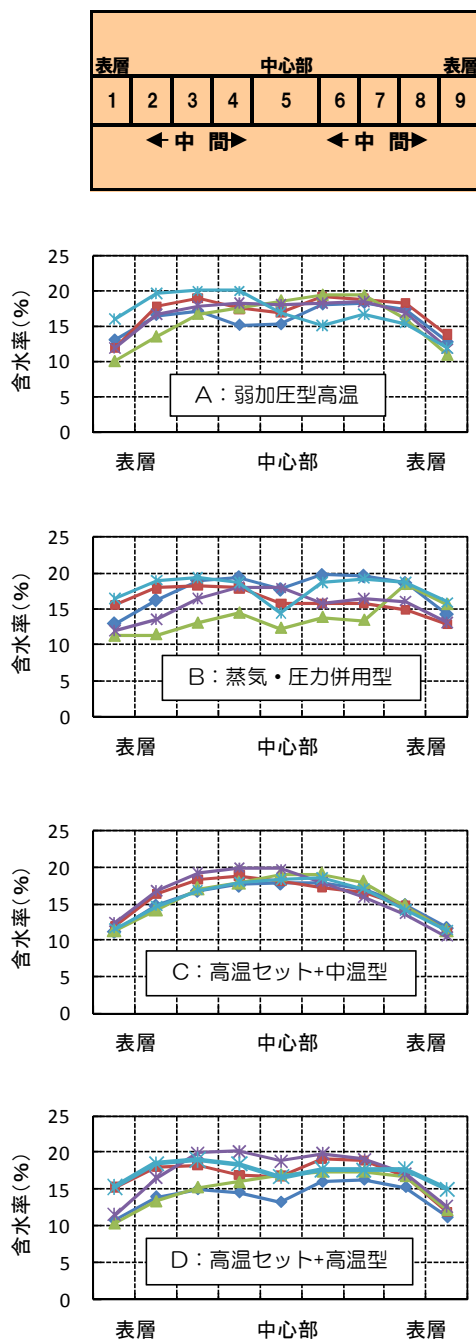


図-12 3か月養生後の材内水分傾斜

3.4 収縮率

図-13 に各乾燥方法での広い材面と狭い材面の収縮率の平均値を示した。

収縮率は、狭い材面が広い材面より約1.5倍程度大きかった。これは、広い材面では林縁部近傍に柾目が出現するのに対し、狭い材面では全体が板目であることに起因しているものと思われ、これまでの結果と同じであった。

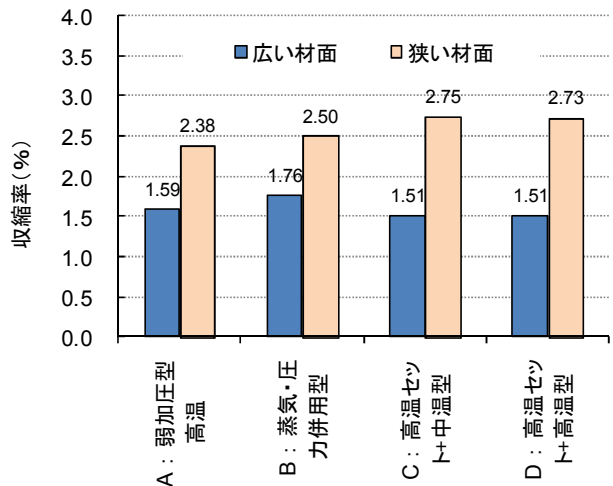


図-13 広い材面(幅)と狭い材面(厚さ)の乾燥後の収縮率(%)

3.5 材面割れ

図-14 に各乾燥方法において材面割れが発生した試験材の本数を、広い面と狭い面に分けて示した。また、広い材面、狭い材面の全ての材面において材面割れが見られなかった本数を図-15 に示した。なお、図中の高温セット+高温型乾燥は他の乾燥方法より試験材が10本少ない20本であったため、図中の数値は他の乾燥方法の試験材本数に合わせるため1.5を乗じた数値とした。

全ての乾燥方法において、材面割れの発生が確認された材の本数は、乾燥後より養生後の方が少なく、乾燥後に見られた割れの一部は養生中に閉塞し確認が困難になった。全乾燥方法の中で最も材面割れの発生が少なかったのは高温セット+中温であった。

養生後に材面割れが減少しているのは、養生中に乾燥が進むに伴い表層部の圧縮応力が徐々に増し、材面割れが閉塞していったのではないかと考えられる。

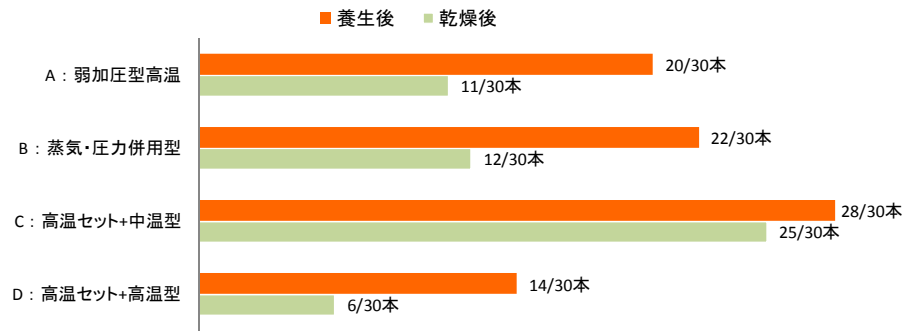


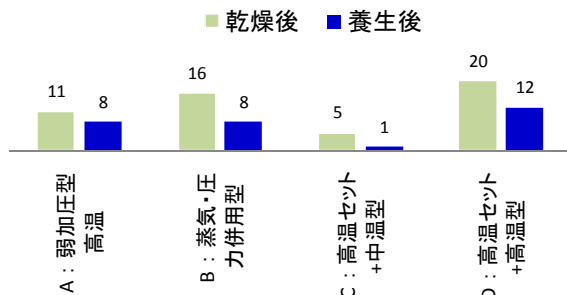
図-15 広い面, 狭い面ともに材面割れが見られなかった試験材の本数

全乾燥方法の養生後での割れ幅の最大は2mmであり、乾燥後の割れ幅と比較して狭くなる傾向にあった。

図-16 には各乾燥方法別の材面割れ長さを試験材1本当りの平均値として示し、図-17 には材面割れが発生した材のみを対象に平均値で示した。

広い材面で最も材面割れの多かった乾燥方法は蒸気・圧力併用乾燥であったが、他の乾燥方法に比べ特に多いという発生量ではなかった。

材面割れが発生した本数(各種試験体を30本と仮定)
(広い面)



材面割れが発生した本数(各種試験体を30本と仮定)
(狭い面)

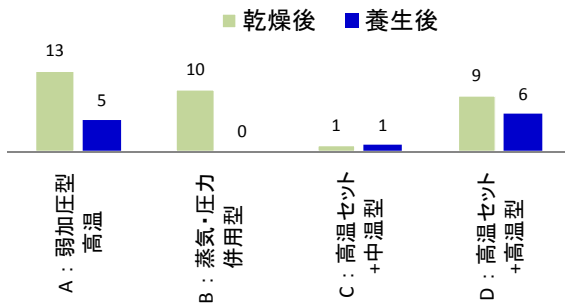


図-14 材面割れが発生した試験材本数

(高温セット+高温は試験材20本であったため30本と仮定して算出した)

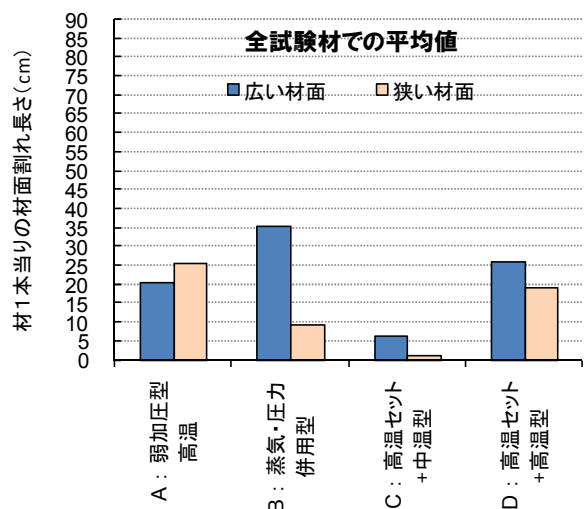


図-16 材面割れの長さ
(全試験材での平均値)

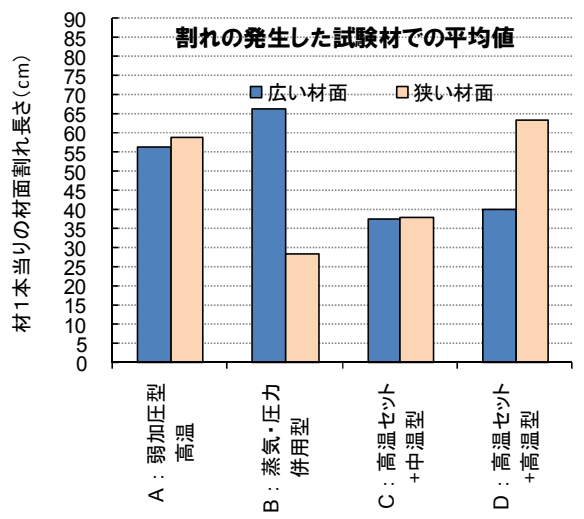


図-17 材面割れの長さ
(割れの発生した試験材での平均値)

3.6 内部割れ

図-18 に内部割れの発生した試験材の本数を示した。また、図-19 には内部割れの長さを、全試験材の平均値と内部割れが発生した材のみでの平均値に分けて示した。

内部割れが最も少なかったのは高温セット+中温乾燥であり、30 本中 3 本のみの発生で、その長さは 16mm, 27mm, 82mm であった。一方、4 種類類の乾燥方法の中で比較的多かったのは弱加圧型高温乾燥と蒸気・圧力併用乾燥であった。

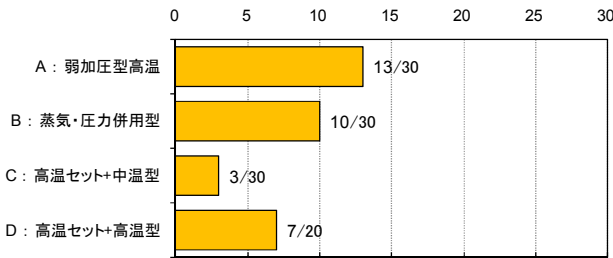


図-18 内部割れが発生した試験材の本数

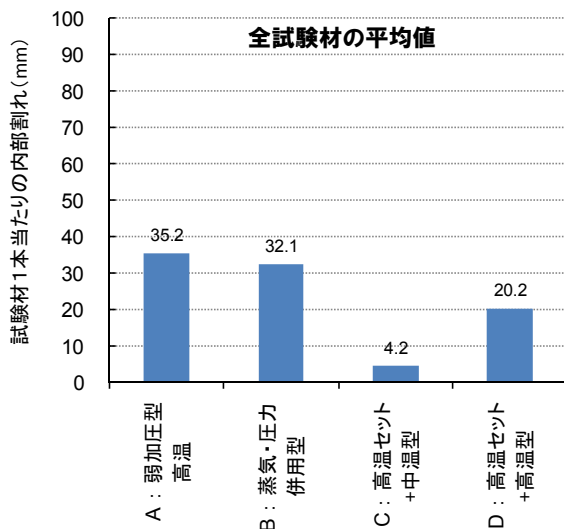


図-19 内部割れの長さ(全試験材での平均値)

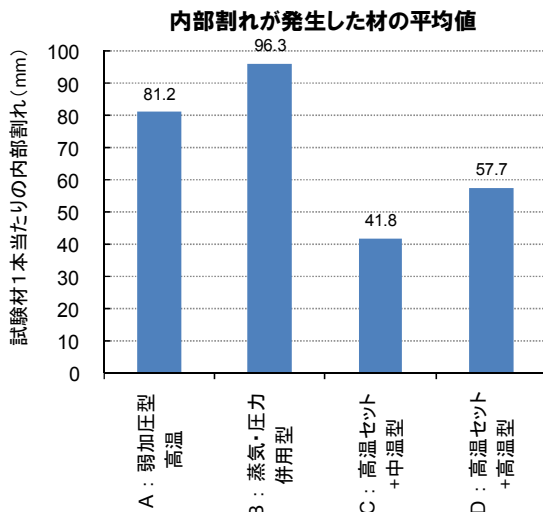


図-20 内部割れの長さ(割れの発生した試験材のみでの平均値)

図-21 に乾燥方法別に仕上がり含水率と内部割れの長さとの関係を示した。また、写真-4 に図中の矢印に示す内部割れの大きさのイメージを示した。

内部割れが発生した材において、含水率が低いほど内部割れの長さは長くなる傾向にあり、含水率 10%以下になるとその長さは 100mm をほぼ越える。

今回の結果から、弱加圧型高温乾燥、蒸気・圧力併用型乾燥、高温セット+高温型乾燥では過乾燥に注意が必要であることが示された。

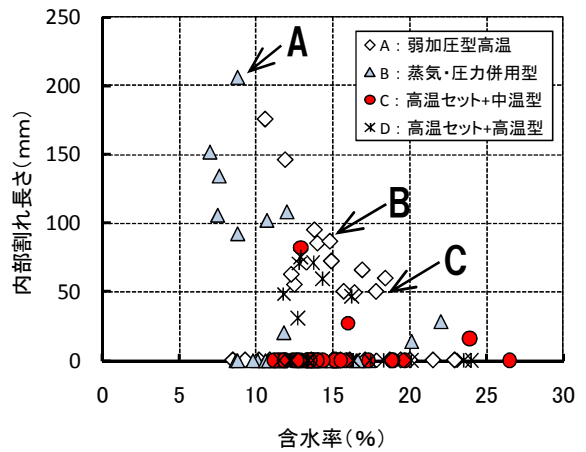


図-21 含水率と内部割れ長さとの関係

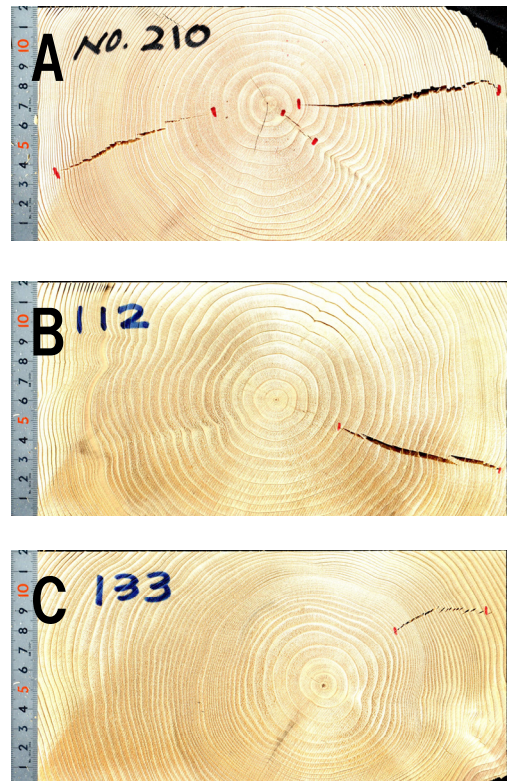


写真-4 内部割れの様子
(内部割れ長さ A:200 mm, B:100 mm, C:50 mm)

一般に、乾燥中期から後期にかけて 100℃以上の高温で乾燥すると内部割れが多く発生する可能性が高いとされているが(弱加圧型高温乾燥, 高温セット+高温型乾燥), 今回、蒸気・圧力併用型乾燥においては乾燥中期から後期にかけて減圧状態で 90℃の乾燥を行っており、この方法においても内部割れは多くなった。以前スギ柱材で行なった高温セット+高周波減圧乾燥試験⁶⁾では内部割れはほとんど発生しなかった。この時の乾燥温度は 65~75℃であったことから、今回の内部割れ発生原因は、高温セット後の乾燥温度の影響も考えられる。

3.7 曲がり, そり

養生後における曲がりとその発生量の平均値を図-22 と図-23 に示した。

曲がり, そりともに高温セット+中温乾燥で大きい傾向が見られた。製材の日本農林規格(JAS)に示されている甲種Ⅱの1級の基準は未仕上げ材で 0.2%以下(材長4mで8mm以下)であり、高温セット+中温乾燥で、曲がり, そりが8mmを越える材が30本中2本あり、他の乾燥方法では各1本が基準を超えていた。

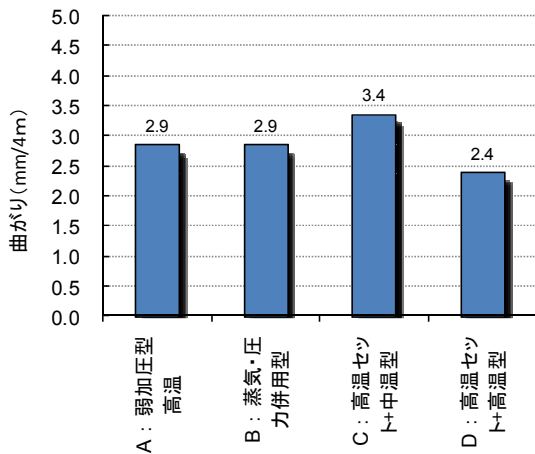


図-22 曲がりの発生量(平均値)

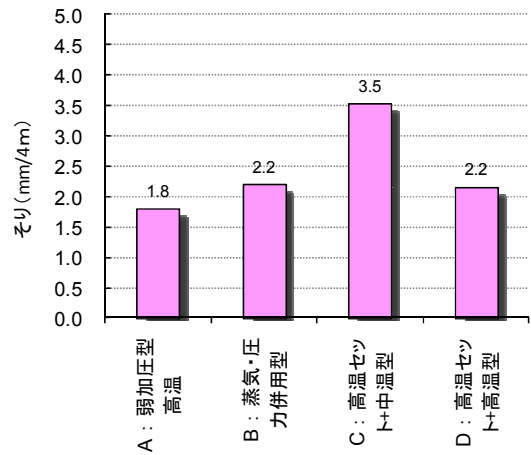


図-23 そりの発生量(平均値)

3.8 色差

各乾燥方法で乾燥した心材色(L*a*b*表色系)の測定結果を表-7に示した。また、明度(L*)を図-24に、赤み(a*)と黄み(b*)の関係を図-25に示した。L*a*b*表色系におけるL*は明るさを表す明度軸(Z軸)であり0に近いと黒、100に近いと白を表す。また、a*(X軸)は緑~赤を表しマイナスは緑、プラスは赤である。一方、b*(Y軸)は青~黄を表し、マイナスは青、プラスは黄を表す。a*軸, b*軸共に原点から離れるほど鮮やかな色(彩度が高い)であることを示す。

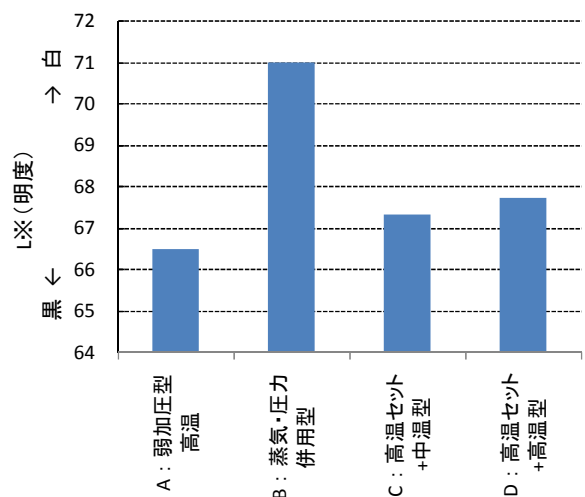


図-24 乾燥方法別の明度(L*)

表-7 材色の測定結果(L*a*b*表色系)

	E-Dry			スーパーハイドライヤー			高温セット+中温			高温セット+高温		
	L*(明度)	a*(赤み)	b*(黄み)	L*(明度)	a*(赤み)	b*(黄み)	L*(明度)	a*(赤み)	b*(黄み)	L*(明度)	a*(赤み)	b*(黄み)
平均値	66.52	8.02	29.54	71.01	7.73	25.20	67.33	8.16	27.61	67.74	7.57	29.11
標準偏差	2.06	0.75	2.23	3.16	1.13	1.80	3.23	1.11	2.94	3.05	0.90	2.90
変動係数	3.1	9.4	7.5	4.4	14.6	7.1	4.8	13.6	10.6	4.5	11.9	10.0
最小値	61.48	6.27	23.90	60.34	5.51	19.99	57.86	5.73	21.57	59.84	5.38	22.37
最大値	70.32	9.27	34.27	76.21	11.23	29.13	73.52	11.40	35.27	73.61	9.71	32.95
COUNT	60	60	60	60	60	60	60	60	60	40	40	40

測定結果から、蒸気・圧力・併用型乾燥材の明度 (L^*) が他の3種類の乾燥法より高く、白系に近かった。これは、蒸気・圧力併用型乾燥材が乾燥前処理として加圧減圧繰り返しにより乾燥機内をほぼ無酸素状態とすることで、熱と酸素による材の酸化を抑制したものと思われる。逆に4種類の乾燥法の中で最も黒系に近かったのは高温で湿球温度が高いまま運転される弱加圧型乾燥材であった。

また、蒸気・圧力併用型乾燥材は他の3乾燥材に比べて黄み (b^*) の程度が低かった (図-25)。

二つの物体の色の違いは色差 (ΔE^*_{ab}) で表すことが多いが、これは3次元での2点間の直線距離、すなわち色差 ΔE^*_{ab} は $\Delta E^*_{ab} = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2}$ で与えられる。これを算出し最も色差が大きかったのは、弱加圧型高温乾燥材と蒸気・圧力併用乾燥材の比較であった (表-8)。

これら2種類の材を並べて見た場合、蒸気・圧力併用乾燥材は明度 (L^*) が高かったこともあり、弱加圧型高温乾燥材より白く感じられる材もあった (写真-5)。



写真-5 材色の違い(一例)
左:弱加圧型乾燥, 右:蒸気・圧力併用型乾燥

4. まとめ

千曲川下流域の人工林の55%を占めるスギは、徐々に成熟しつつあり大径丸太の生産が可能になってきている。そこで、大径材を梁・桁材等の構造材として需要拡大を図る必要があるため、北信スギ梁桁材を高温セットを採用した4種類の乾燥方法で含水率20%以下を目標に乾燥試験を行った。その結果は以下のとおりであった。

- 1) 乾燥後の全乾法による平均仕上がり含水率は、弱加圧型高温乾燥では5.2日間の乾燥で平均17.3% (最小~最大:8.3~29.3%, 変動係数32.1%), 蒸気・圧力併用型乾燥では5.5日間の乾燥で平均12.7% (最小~最大:5.2~28.8%, 変動係数46.0%), 高温セット+中温型乾燥では14.1日間の乾燥で平均16.0% (最小~最大:9.1~30.3%, 変動係数30.8%), 高温セット+高温型乾燥では5.2日間の乾燥で平均17.1% (最小~最大:10.7~35.6%, 変動係数37.0%) であり、バラツキの大きな仕上がりとなった。
- 2) 乾燥後に3か月間の養生を行なうと、含水率が減少する材もあれば増加する材もあり、平均0~2%程度の低下であった。乾燥後に20%を超える材にあつては5~10%の含水率低下があつた。
- 3) これにより、乾燥後と養生後の含水率の変動係数は弱加圧型高温乾燥では32.1%→23.1%に、蒸気・圧力併用型乾燥では46.0%→29.6%に、高温セット+中温型乾燥では30.8%→23.7%に、高温セット+高温型乾燥では37.0%→24.1%に減少し、ばらつきが少なくなった。
- 4) 乾燥後3か月間の養生が前提であれば、弱加圧型高温乾燥ではおよそ5~6日間、蒸気・圧力併用型乾燥では、今回やや過乾燥であったことを考慮すればおよそ4~5日間、高温セット+中温型乾燥

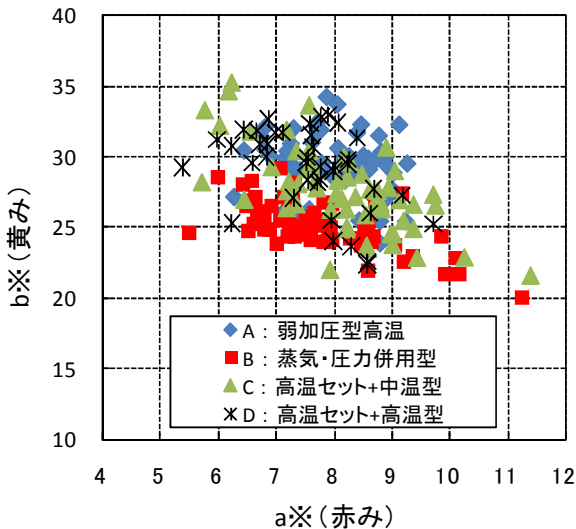


図-25 4種類乾燥材の彩度(a^* と b^*)

表-8 二材間の色差(ΔE^*_{ab})

ΔE^*_{ab}	A:弱加圧型 高温	B:蒸気・圧力 併用型	C:高温セット +中温型	D:高温セット +高温型
A:弱加圧型高温	-	6.3	2.1	1.4
B:蒸気・圧力併用型	-	-	4.4	5.1
C:高温セット+中温型	-	-	-	1.7
D:高温セット+高温型	-	-	-	-

ではおよそ 14 日間、高温セット+高温型乾燥ではおよそ 5～6 日間で乾燥材のほぼ 8 割が含水率 20%以下に仕上げると思われた。

- 5) 養生 3 か月後の材内の含水率傾斜は、どの乾燥方法においても存在し、表層 (25mm 程度) の含水率は 10～15%、中心付近の含水率は 20%程度であった。水分傾斜の形をみると、高温セット+中温型乾燥のみが凸型の水分傾斜であり、他の 3 種類の乾燥方法で M 型の水分傾斜を示した。
- 6) 収縮率は、狭い材面が広い材面より 1.5～2 倍大きかった。これは、広い材面では林縁部近傍に柾目が出現するのに対し、狭い材面では全体が板目であることに起因していると思われた。
- 7) どの乾燥方法においても高温セットのため、材面割れの抑制効果があり、材面割れは少なかった。養生後の材面割れは、人工乾燥直後と比較すると材面割れが閉そくし、目視できる割れが減少した。
- 8) 乾燥仕上がり含水率が 10～20%の乾燥材において、内部割れが多く発生したのは、弱加圧型高温乾燥と高温セット+高温型乾燥であった。蒸気・圧力併用型乾燥では含水率 10%以下の材に大きな内部割れが発生した。最も内部割れが少なかったのは高温セット+中温型乾燥であった。
- 9) 曲がり・そりはいずれも大きな発生量ではなく、実用上問題ないと思われた。

4) 武智正典；蒸気・高周波併用減圧乾燥－スギ心持ち正角・平角への適用－，愛媛県林業技術センター研究報告，愛媛県林業技術センター研究報告 (25)，1-10，2006-12

5) 吉田孝久，伊東嘉文，橋爪丈夫；高温セット法における材面割れと内部割れ抑制－高温セット後の中温乾燥及び高温セット後の高周波減圧乾燥－，第 53 回日本木材学会大会研究発表要旨集，114，2003

6) 吉田孝久，今井信；県産材の高品質乾燥技術の開発－スギ桁材の蒸気・圧力複合乾燥－，平成 23 年度長野県林業総合センター業務報告，80-81，2012.6

謝辞

本試験の実行に当り乾燥のご協力を頂いた瑞穂木材(株)の宮崎正毅氏，ヒルデブランドの印出晃氏に，また，乾燥材の各種測定にご協力頂いた北信地方事務所林務課の山崎隆氏，小山雅之氏，長野地方事務所の故・武田芳夫氏，北澤啓至氏，草間淳也氏，天田葉氏，堀内栄作氏，上小地方事務所の神原博明氏，山岸信也氏，諏訪地方事務所の金子政博氏，大澤和明氏，信州の木振興課の泉川尚久氏に深く感謝申し上げます。

【参考文献】

- 1) 久慈敏，中嶋康，東野正；アカマツ心持ち平角材の人工乾燥，岩手県林業技術センター研究報告 NO.9，15-21，2001
- 2) 豆田俊治；スギ横架材の乾燥システムの開発に関する研究，大分県林業試験場年報 (46)，44-45，2004
- 3) 政岡 尚志，野地 清美；急速乾燥法によるスギ平角材の効率的な乾燥技術の確立，高知県立森林技術センター研究報告(31)，1-23，2006-03

