

# 産地別石川県産スギ正角材の同一乾燥条件における品質と強度性能

滝本裕美・松元 浩

**要旨：**本研究では、産地の異なる石川県産スギ正角材において同一の乾燥条件を設定し、その品質および強度性能への影響について検討した。その結果、同一の乾燥条件では金沢地域産は過乾燥気味になり、内部割れは金沢地域産>加賀地域産となった。各種強度試験については、両地域産共に、スギ無等級の基準強度値（建設省告示第 1452 号）を上回ったが、内部割れ面積（最大値）と各種強度の関係では、内部割れの増大に伴いせん断強度が低下する傾向が見られた。今回の乾燥スケジュールは金沢地域産スギにとって最適とは言い難く、乾燥時間をより短めに設定して過乾燥を防ぐべきであり、加賀地域産と同じ扱いで乾燥するのは望ましくないと考えられる。

**キーワード：**高温セット、水分傾斜、内部割れ、曲げ強度、曲げヤング係数、せん断強度

## I はじめに

近年、高温乾燥技術の普及により、スギ間伐材から得られる心持ち無背割り材について、表面割れを少なく乾燥することが可能になっている（吉田、2008）。その際、乾燥条件によっては内部割れが発生する場合もあるが、その強度性能への影響に関する研究や内部割れを軽減する乾燥条件の開発が全国的に進められている。しかしながら、スギの場合多数の品種に加え、同品種であっても材質のばらつきが大きいことから、全国各地におけるスギの最適な乾燥条件を参考にしつつも、当該地域の地元産のスギに最適な乾燥条件を見出すことが重要である。石川県においては加賀地域産と金沢地域産のスギは主要な品種が異なり、その材質も経験的な見地から異なることが示唆されている。しかしそれぞれ近隣地域であり同じ市場で取り扱われるため、乾燥工程も同様に行われているのが現状である。そこで今回は、石川県加賀地域産と金沢地域産のスギについて、同一の乾燥条件における品質および強度性能について検討した。

分散に有意差がないように各 40 本ずつ計 80 本を用意し、表-1 に示す条件で乾燥を行った。乾燥終了後、105mm×105mm にモルダー仕上げし、曲げ試験用（2, 100mm）およびせん断試験用（630mm）に切断して、（財）日本住宅・木材技術センターの「構造用木材の強度試験マニュアル」に準拠し、荷重速度 10mm/min. で 3 等分点 4 点荷重法による静的曲げ試験（スパン 1890mm、ロードスパン 630mm）および荷重速度 3 mm/min. で中央集中荷重法（せん断スパン 260mm）によるせん断試験を行った。切断部においては、図-1 のように内部割れ、含水率および水分傾斜測定用の試験片を採取した。内部割れは、試験片切断面における全ての内部割れの長さと幅をクラックスケールで測定し、試験体 1 本あたりの内部割れ面積（長さ×幅×1/2）の合計および最大値として評価した。水分傾斜は、試験片の幅を鉋でおよそ均一に 7 分割して測定した。

## II 試験方法

供試材は、石川県加賀地域産および金沢地域産の 120mm×120mm×3,000mm のスギ心持ち正角材について、密度と縦振動法によるヤング係数 (Efr) の平均および

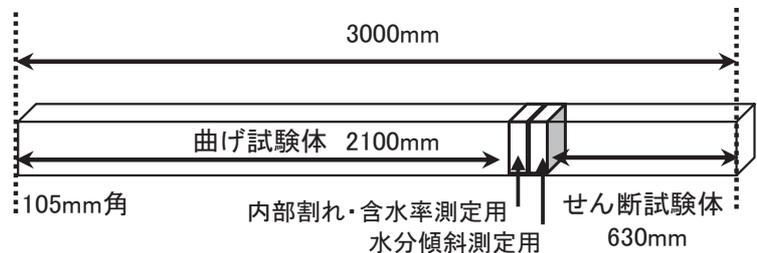


図-1 各試験体と各試験片の採取箇所

表-1 乾燥条件

略称		金沢	加賀
試験体数		40本 (曲げ40本・せん断40本)	40本 (曲げ40本・せん断40本)
乾燥条件	蒸煮(温度, 時間)	96°C, 12h	
	高温セット(乾球温度/湿球温度, 時間)	120°C/90°C, 24h	
	乾燥(乾球温度/湿球温度, 時間)	90°C/60°C, 274h	

### Ⅲ 結果および考察

#### 1 含水率

各試験体の乾燥モルダ後後の密度、縦振動法によるヤング係数 (Efr)、平均年輪幅、仕上がり含水率、表面割れおよび内部割れの測定値について、産地別に表-2に示す。2つのグループには密度に有意差がみられた ( $p < 0.05$  Tukey-Kramer HSD)。仕上がり含水率は、金沢地域産で10%以下、加賀地域産で15%以下となった。図-2において産地別に試験体全ての水分傾斜を比較したところ、加賀地域産では全体的に中心部が表層部に比較して高くなる傾向にあり、個体のばらつきも大きく、高いものでは中心部で35%に近いものも見られた。一方、金沢地域産では、加賀地域産と比較すると表層から中心にかけての水分傾斜の差は小さくなり、個体のばらつきも小さく20%以下におさまった。含水率が10%以下のものについては逆に中心部の方が表層より若干低くなる傾向にあり、中心部は過乾燥気味にあると考えられる。

#### 2 割れ

表-2より、表面割れは、試験体1本あたりの

表-2 各乾燥条件別の品質測定(平均値)

略称	金沢	加賀	
密度 (kg/m <sup>3</sup> )モルダ後	397.5	435.0	
Efr (kN/mm <sup>2</sup> )	6.2	8.0	
平均年輪幅 (mm)	7.7	4.9	
仕上がり含水率 (%)	9.3	13.8	
表面割れ	総延長(cm)	175.5	261.7
	最大幅(mm)	4.8	2.4
内部割れ面積 (1本あたり)	合計(mm <sup>2</sup> )	101.2	37.6
	最大値(mm <sup>2</sup> )	30.7	16.6

総延長では加賀地域産 > 金沢地域産であるが、最大幅では加賀地域産 < 金沢地域産という結果になった。また、内部割れは、1本あたりの面積の合計および最大値のいずれについても金沢地域産 > 加賀地域産という結果になった。さらに図-3に内部割れ面積 (1本あたりの合計) について順位化して比較したところ、金沢地域産と加賀地域産に明らかに差が見られた。前述したように、同一の乾燥条件ではあるが金沢地域産は加賀地域産と比較して水分傾斜が小さくなっており、表層部から中心部にかけてほとんど差がないか、もしくは中心部の含水率が表層部より低くなっている試験体が多く見られる。そこで、仕上がり含水率と内部割れ面積 (1本あたりの合計) の関係を見たところ、両グループにおいて含水率が10%を下回ると内部割れ面積が極端に大きい値が出現する傾向がみられた (図-4)。仕上がり含水率が10%を下回ると内部割れ面積が急激に増加する傾向は既存の研究でも報告されている (森林総合研究所交付金プロジェクト研究、2006)。さらに、水分傾斜の大きさを中心部と表層部の差 (両側の平均) として表し、内部割れの1本あたりの面積の合計および最大値との関係をみたところ (図-5)、中心部と表層部の含水率の差が0前後~マイナスになると内部割れ面積の合計、最大値ともに大きい値が出現する傾向が両地域産でみられた。特に、金沢地域産ではその傾向が顕著であり、中心部と表層部の含水率の差がプラス側である試験体に比べ、0~マイナス側の試験体の内部割れには極端に大きい値がみられた。

内部割れの発生については、表層にドライン

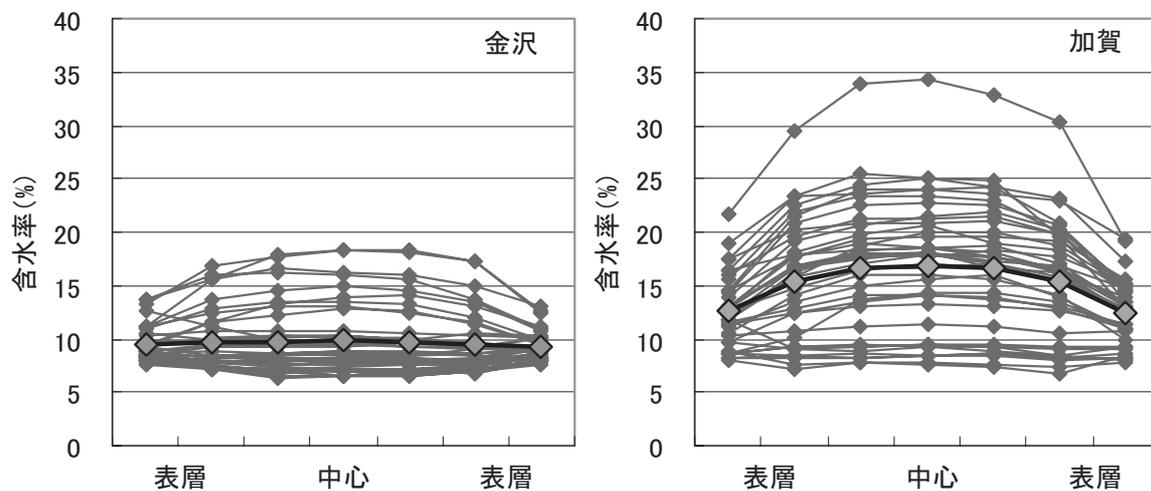


図-2 水分傾斜の比較 ◆は平均値を示す

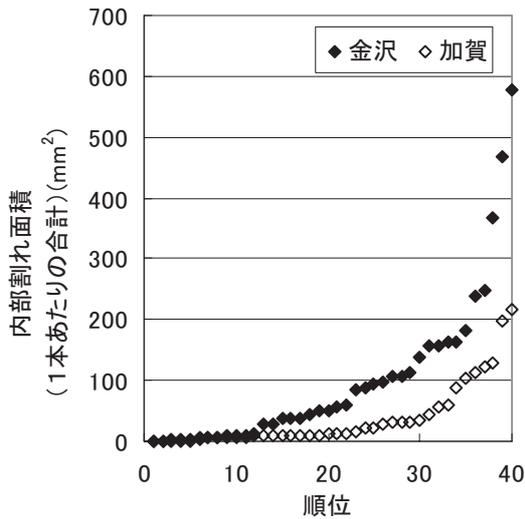


図-3 内部割れ面積の順位化

セットが生じている状態で材内部が乾燥することにより収縮しようとする際に生じる引張り応力が生じることが原因であるといわれるが、その引張り応力が大きいと内部割れも大きくなるとされている（「安全・安心な乾燥材生産技術の開発」研究グループ、2012）。金沢地域産のように高温セット法で人工乾燥した木材の水分傾斜が小さいことは、天然乾燥と比較すれば極めて短時間で内部まで乾燥されたことになり、結果として急激な収縮による大きな引張り応力が生じていたと推察される。

このように、同一の乾燥条件でありながら金沢地域産と加賀地域産で水分傾斜の傾向が異なった理由としては、両地域産の密度、Efr、平均年輪幅には有意差がみられることから、品種の違いが要因の一つと考えられる。しかし、同一品種であっても密度にばらつきは見られることから、乾燥材生産現場においては、品種に応じて乾燥スケジュー

ールを設定するよりも、乾燥材の密度等の材質指標によって乾燥スケジュールを設定する方が、仕上がり含水率をコントロールし、過乾燥による極端な内部割れの増大を抑えるには有効と考えられる。

### 3 強度性能

表-3に各種試験結果を示す。含水率補正をしない場合、金沢地域産、加賀地域産ともに、曲げ強度、曲げヤング係数、せん断強度のいずれもスギ無等級の基準強度値（建設省告示第1452号）を上回った。金沢地域産と加賀地域産では曲げ強度、曲げヤング係数、せん断強度に有意差がみられるが、試験前の密度、Efrに差があることから必然的である。一方、ASTM D-2915（2002）によって含水率を補正した場合、金沢地域産の方が含水率が低いため、金沢地域産と加賀地域産の各種強度、曲げヤング係数の差は大きくなるが、いずれもスギ無等級の基準強度値（建設省告示第1452号）を上回った。

また、図-6に示すようにJAS目視等級区分(甲種II)では、金沢地域産では3級、加賀地域産では2級が多かった。金沢地域産は加賀地域産に比べ年輪幅が広く、それによって等級が下がるものもみられたが、それぞれにおける各級の基準強度は上回った。一方、図-7に示す曲げヤング係数と曲げ強度の関係は、両地域産ともに高い相関関係が見られた。JAS機械等級区分においては、加賀地域産では基準強度以下となるものが1つ見られたが、それ以外および金沢地域産においても全て基準強度を上回っていた。

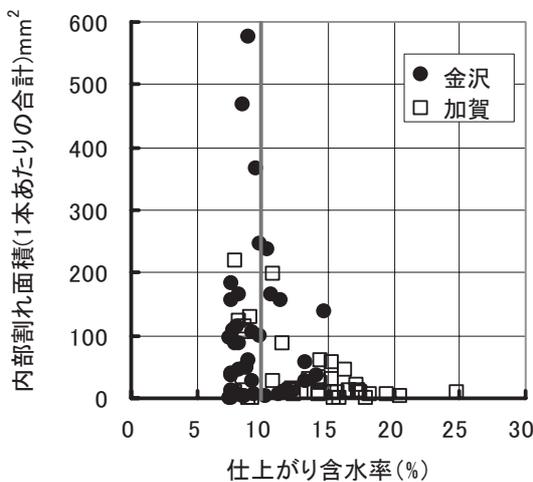


図-4 仕上がり含水率と内部割れ面積 (1本あたりの合計)

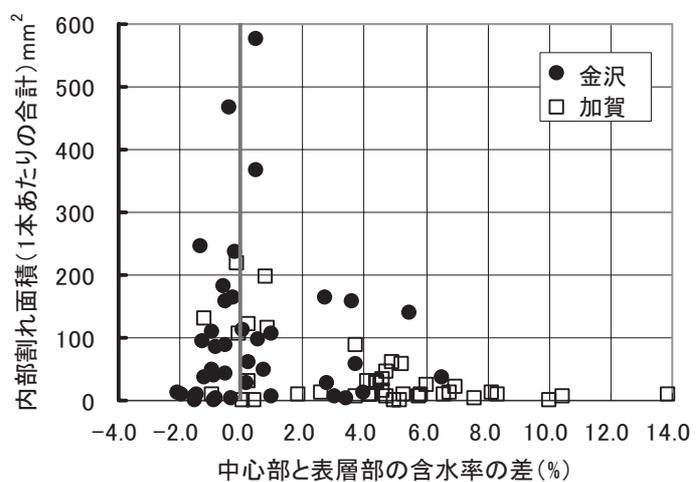


図-5 水分傾斜と内部割れ面積(1本あたりの合計)

表-3 各種強度試験結果

		曲げ強度 (MOR) (N/mm <sup>2</sup> )		曲げヤング係数 (MOE) (kN/mm <sup>2</sup> )		せん断強度 (N/mm <sup>2</sup> )	
		金沢	加賀	金沢	加賀	金沢	加賀
含水率補正無	平均	45.4	52.0	6.6	8.6	4.8	5.3
	最大	76.4	85.9	11.1	13.6	7.0	7.1
	最小	28.7	28.7	3.5	3.7	2.8	3.6
	標準偏差	9.57	10.96	1.42	1.96	1.00	0.86
	5%下限値	27.87	31.86	3.97	5.00	2.95	3.77
含水率補正有	平均	40.2	49.6	6.1	8.3	4.4	5.0
	最大	66.4	87.9	10.1	13.8	6.4	6.5
	最小	25.7	25.0	3.2	3.4	2.6	3.3
	標準偏差	8.84	11.06	1.35	1.92	0.92	0.81
	5%下限値	23.97	29.30	3.59	4.79	2.70	3.49

図-8に内部割れ面積(最大値)と曲げ強度(含水率補正無)との関係を各地域産別に比較したところ、両地域産ともに有意な相関関係は見られなかった。一方、図-9に内部割れ面積(最大値)とせん断強度(含水率補正無)の関係を各地域別に比較したところ、両地域産において内部割れ面積(最大値)が増加するに伴い、せん断強度が低下する傾向がみられた。

これらの結果より、金沢地域産と加賀地域産では試験体の密度、Efrに差があることから、曲げ強度、せん断強度に差が出ることは必然的であるが、両地域産において内部割れが強度に与える影響は曲げ強度では見られず、せん断強度では低下の要因となり得ることが示唆された。今回同一の乾燥スケジュールで乾燥したところ、金沢地域産のほうが加賀地域産より水分傾斜が小さく、内部割れ面積も大きくなっていることから、金沢地域

産としては過乾燥となり、厳しい乾燥条件であったと考えられる。

こうした結果がせん断強度の低下を招く恐れもあるので、金沢地域産では今回の乾燥スケジュールよりも乾燥時間をより短めに設定して過乾燥を防ぎ、内部割れを少なくすることが肝要であり、加賀地域産と同じ条件で乾燥するのは望ましくないと考えられる。

#### IV まとめ

本研究で実施した金沢地域産、加賀地域産スギの乾燥条件では、両地域産ともに仕上がり含水率は15%以下になったが、金沢地域産は10%以下となりかつ水分傾斜も小さいことから過乾燥になっていると考えられた。表面割れについては金沢地域産<加賀地域産となり、内部割れについては逆に金沢地域産>加賀地域産となったことから、金沢地域産の方が高温セットによる抑制効果が表れているが、逆に内部割れが増加したと考えられ、過乾燥の影響が示唆された。各種強度試験については、両地域産ともに、曲げ強度、曲げヤング係数、せん断強度はスギ無等級の基準強度値(建設省告示第1452号)、JAS目視等級区分(甲種II)における基準強度値を上回り、JAS機械等級区分においても極端に低い値を除き上回った。しかし、内部割れ面積(最大値)と各種強度の関係では、内部割れの増大に伴いせん断強度が低下する傾向が見られることから、金沢地域産では全体的に過乾燥を避け内部割れをより少なくするように、加賀地域産より乾燥時間を短縮するなど乾燥条件を

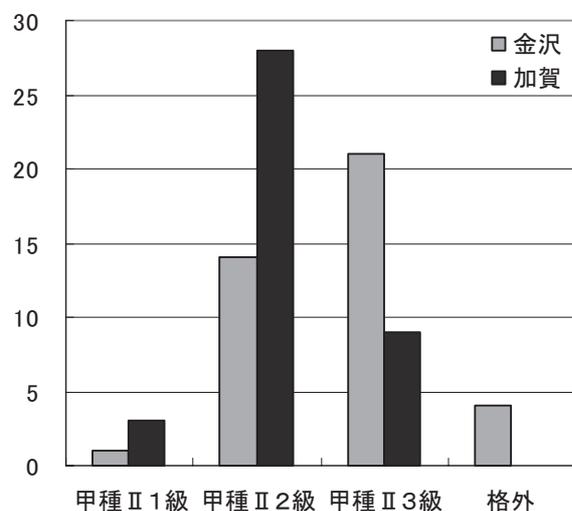


図-6 JAS目視等級区分(甲種II)による内訳

緩やかにすることが肝要である。

### 参考文献

吉田孝久 (2008) 木材の高温乾燥研究の変遷－  
高温高湿乾燥スケジュールから高温低湿乾燥ス  
ケジュールへ－. 木材工業 63 : 400-405.

森林総合研究所交付金プロジェクト研究 (2006)  
スギ材の革新的高速乾燥システムの開発. 森林総  
合研究所交付金プロジェクト研究成果集 8 : 44-  
45.

「安全・安心な乾燥材生産技術の開発」研究グル  
ープ (2012) 安全・安心な乾燥材の生産・利用マ  
ニュアルー内部割れのない乾燥材生産を目指し  
て！－ : 55.

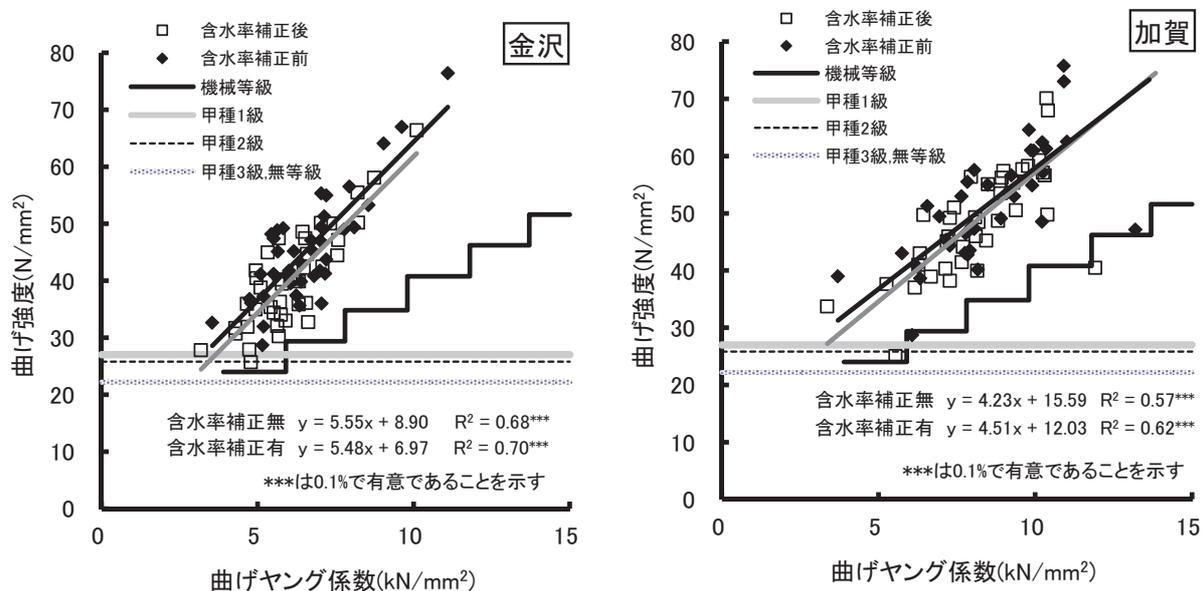


図-7 曲げヤング係数と曲げ強度の関係

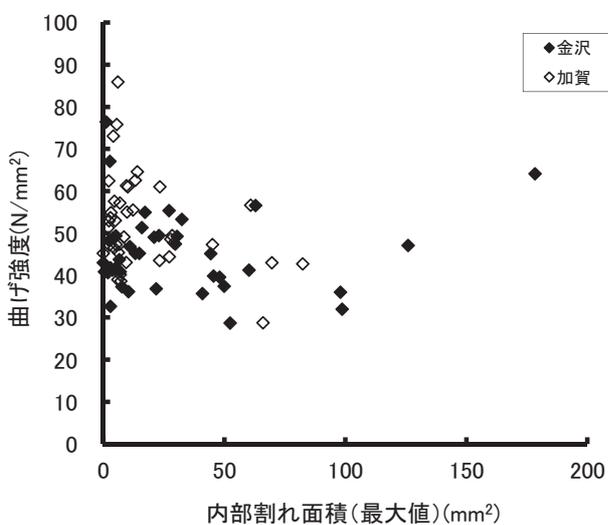


図-8 内部割れ面積(最大値)と曲げ強度との関係

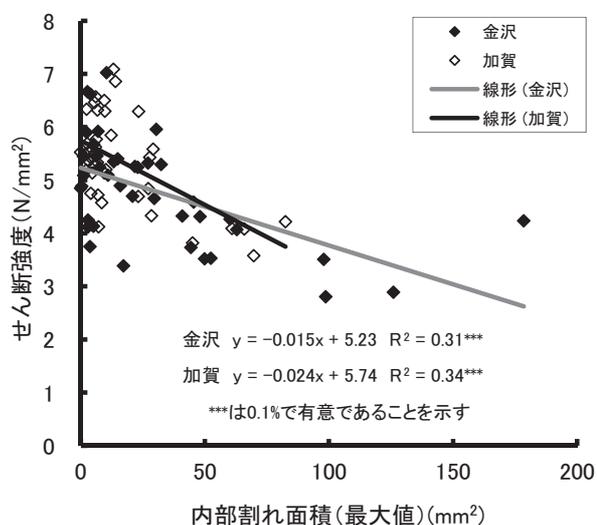


図-9 内部割れ面積(最大値)とせん断強度との関係