

県産スギ正角材の曲げ強度性能に及ぼす乾燥条件の影響

滝本 裕美・松元 浩・小倉光貴

要旨：これまで、石川県産のスギ心持ち無背割り材については、その強度性能を担保した乾燥条件と強度データが明らかにされていない。本研究では、天然乾燥を含めた3種の乾燥条件を設定し、県産スギ正角材の曲げ強度性能に及ぼす乾燥条件の影響について検討した。その結果、曲げ強度は、天然乾燥>120℃高温セット-90℃乾燥>120℃高温セット-105℃乾燥という結果になり、高温セット後の乾燥時の温度が高いほど曲げ強度が低下する傾向が認められた。

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

I はじめに

近年、住宅に使用される木材は乾燥材が主流となる中で、柱材のように目に見える部材の表面割れを軽減するために、高温乾燥技術の開発とその普及がすすめられてきた(吉田, 2008)。その成果により、スギ間伐材から得られる心持ち無背割り材についても、表面割れを少なく乾燥することが可能になっている。

しかしながら、スギは材質のばらつきが大きいいため、一様に乾燥することは依然として難しいのが現状である。また、乾燥条件によっては木材の表面からは見えない内部割れが発生する場合もあり、乾燥材を取り扱う関係業者や建築現場関係者、一般消費者には、その強度や施工性への影響が懸念されている。一方で、石川県産のスギ心持ち無背割り材については、その強度性能を担保した乾燥条件と強度データは明らかにされていない。

そこで本研究では、天然乾燥を含めた3種の乾燥条件を設定し、県産スギ正角材の曲げ強度性能に及ぼす乾燥条件の影響について検討した。

II 試験方法

供試材は、石川県加賀市および小松市産の120mm×120mm×3,000mmのスギ心持ち正角材150本を用いた。これらを試験体密度と縦振動法によるヤング係数(Efr)の平均値および分散に有意差が生じないように50本ずつ3グループに分け、表-1に示す条件で乾燥した。乾燥

終了後、105mm角にモルダー仕上げし、長さ2,100mm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法」に準拠し、荷重速度10~15mm/min.の3等分点4点荷重法による静的曲げ試験を行った。切断部においては、図-1のように内部割れ(天然乾燥を除く)、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本あたりの総延長、総面積(長さ×幅×1/2)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。

III 結果および考察

1 含水率

各試験体の乾燥前、乾燥後、仕上げ後の密度、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、それぞれの平均値を乾燥条件別に表-2に示す。仕上がり含水率は、120℃-105℃およ

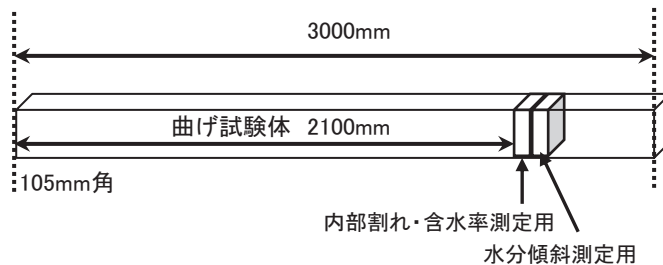


図-1 曲げ試験体と各試験片の採取箇所

表-1 乾燥条件

略称		120℃-105℃		120℃-90℃		天然乾燥
試験体数(本)		50		50		50
乾燥条件	蒸煮(温度, 時間)	96℃	12h	96℃	12h	32ヵ月間(2008.12~2011.7)屋内(シャッター開閉可)に棧積みして静置
	高温セット(乾球温度/湿球温度, 時間)	120℃/90℃	24h	120℃/90℃	24h	
	乾燥(乾球温度/湿球温度, 時間)	105℃/80℃	192h	90℃/60℃	240h	

表-2 各乾燥条件別の品質測定(平均値)

乾燥条件		120°C-105°C	120°C-90°C	天然乾燥
密度 (kg/m ³)	乾燥前120mm角300cm	670.1	696.0	665.4
	乾燥後120mm角300cm	429.1	415.3	429.9
	仕上げ後105mm角300cm	435.3	424.6	432.0
Efr (kN/mm ²)	乾燥前120mm角300cm	7.5	7.7	7.5
	乾燥後120mm角300cm	8.7	9.0	7.9
	仕上げ後105mm角300cm	8.3	8.6	7.3
平均年輪幅 (mm)		5.5	5.6	5.3
仕上がり含水率 (%)		13.6	13.0	17.8
表面割れ	1本あたり総延長(cm)	258	160	353
	1本あたり最大幅(mm)	1.5	1.6	2.0
内部割れ	1本あたり総延長(mm)	102	36	-
	1本あたり総面積(mm ²)	100.0	20.3	-

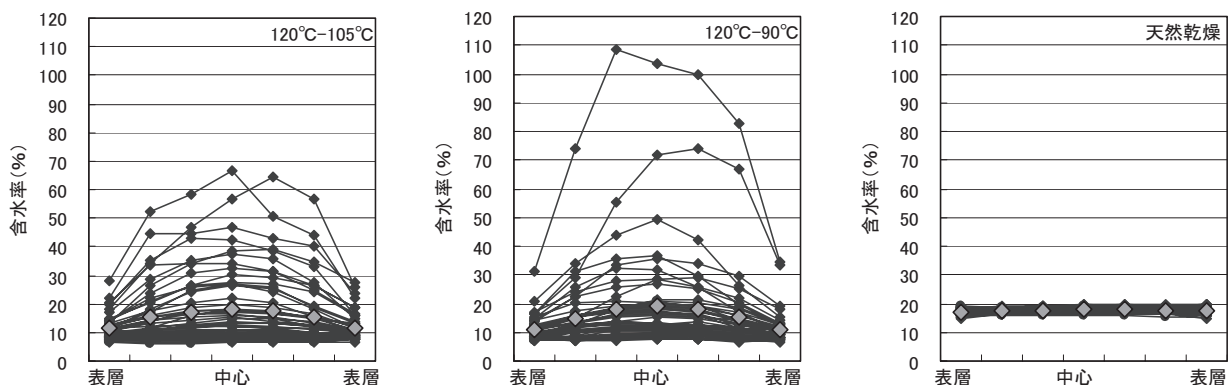


図-2 水分傾斜の比較 (◆は平均値を示す)

び 120°C-90°Cの条件では平均値で 15%以下となったが、天然乾燥では平均値で 17.8%となり、他の2条件に比較してやや高めとなった。図-2において各乾燥条件別に試験体全ての水分傾斜を比較したところ、120°C-105°Cおよび 120°C-90°Cの条件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かった。個体によっては 120°C-105°Cでは中心部で 60%、120°C-90°Cでは中心部で 100%を超えるものも見られた。一方、天然乾燥では全体的に表層から中心にかけてほぼ均一となり、ばらつきも小さく 20%以下におさまった。

2 割れ

表面割れは、試験体 1本あたりの総延長の平均値で天然乾燥 > 120°C-90°C > 120°C-105°Cという

結果になった。図-3で各乾燥条件の測定値を順位化したところ、天然乾燥に比較して、120°C-105°Cおよび 120°C-90°Cの乾燥条件では表面割れが少なくなった。これは高温セットによる表面割れ抑制効果が現われているものと思われる。

内部割れは、120°C-105°Cおよび 120°C-90°Cの乾燥条件において、1本あたりの総延長、総面積の平均値のいずれについても 120°C-105°C > 120°C-90°Cという結果になった。さらに図-4に内部割れ総延長、図-5に内部割れ総面積について順位化して比較したところ、120°C-105°Cと 120°C-90°Cには明らかに差が見られた。高温セット後の乾燥温度が高くなると、内部割れの総延長および面積が増加することは既往の研究でも報告されており(吉田ほか、2004)、今回の結果からも

内部割れの発生に関して高温セット後の乾燥温度の影響は大きいと考えられる。

3 強度性能

表-3に曲げ試験結果を示す。曲げ強度 (MOR) は、天然乾燥 > 120°C-90°C > 120°C-105°Cとなり、有意差 ($p < 0.05$ Tukey-Kramer HSD) がみられた。曲げヤング係数 (MOE) と曲げ強度の関係を見たところ、図-6に示すように、それぞれ有意な相関関係があった。そのうち、120°C-105°Cの乾燥条件では、他の条件と比較して回帰直線の傾きの低下がみられた。さらに、今回の結果を針葉樹の構造用製材の JAS 機械等級区分および目視等級区分 (乙種) の基準強度値 (建設省告示第 1452 号) と比較したところ、機械等級区分においては 120°C-105°Cにおいて基準強度以下となるものがいくつか見られた。一方、目視等級区分(乙種)については、図-7に示すように全体で2級が多かったが、全て1級の基準強度を上回った。これらの結果より、各乾燥条件について、主に圧縮性能が要求される柱材としての曲げ強度は満たしていると言える。しかし、高い曲げ性能が要求される横架材等、構造上重要な部材としての利用を考慮した場合、120°C-105°Cの乾燥条件では現行の機械等級区分による基準強度は満たせない恐れがある。

図-8の密度と曲げ強度の関係については、天然乾燥において相関関係が見られたが、他の乾燥条件では相関関係は見られなかった。また、図-9では 120°C-105°Cおよび 120°C-90°Cの内部割れ面積と曲げ強度の関係を示しているが、双方とも

相関関係は見られなかった。一般的に、密度が高いと曲げ強度も高くなる傾向にあり、天然乾燥にはその傾向が現れていると言える。一方、120°C-105°Cおよび 120°C-90°Cに関してはその傾向は見られず、また内部割れとの相関もないことから、高温による材質の劣化といった他の要因についても考慮すべきと思われる。

IV まとめ

本研究で実施した天然乾燥を含めた3種の乾燥条件において、120°C-105°Cおよび 120°C-90°Cでは、仕上がり含水率を 15%以下にするためには十分な乾燥スケジュールであるが、天然乾燥と比較すると水分傾斜および個体間のばらつきは大きく

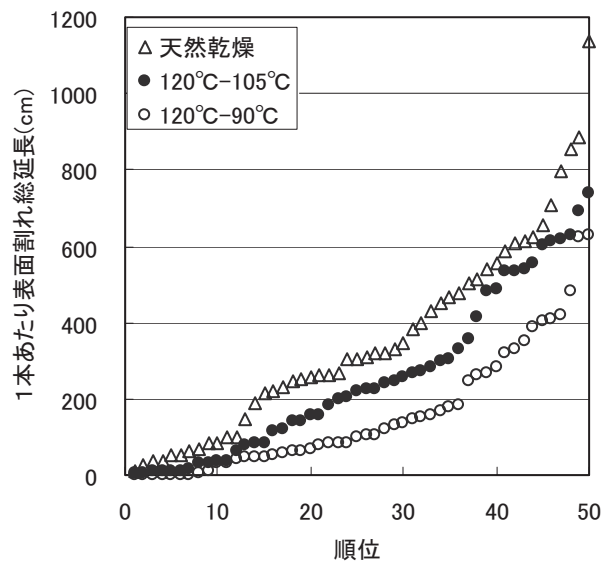


図-3 表面割れ総延長の順位化

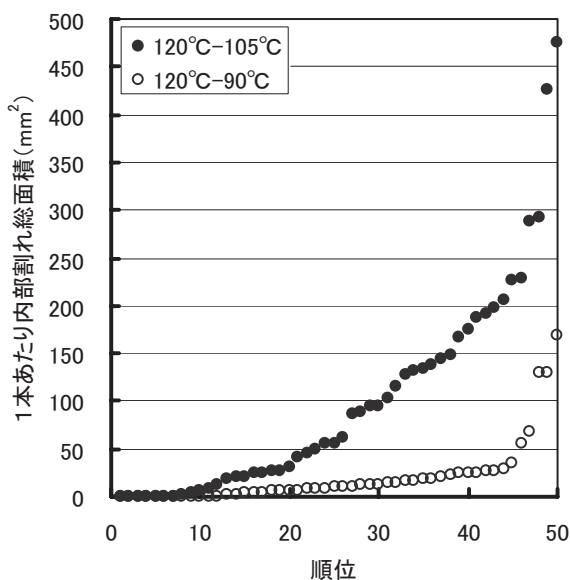


図-4 内部割れ総面積の順位化

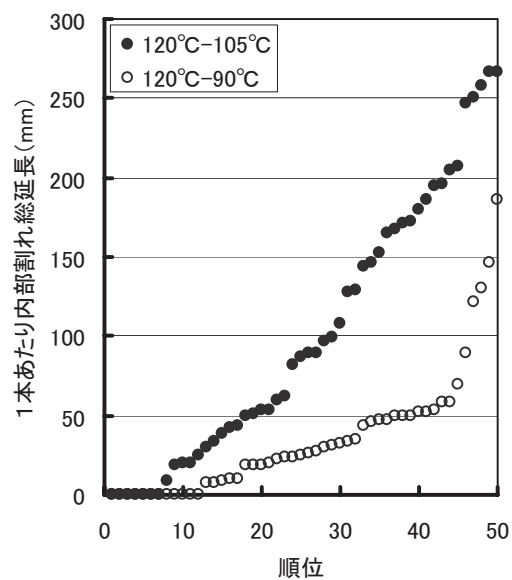


図-5 内部割れ総延長の順位化

なった。また、表面割れについては高温セットによる抑制効果が表れているが、内部割れについては高温セット後の乾燥温度が高くなると増加する傾向にあり、乾燥温度の影響が示唆された。さらに、曲げ強度については、天然乾燥 $>120^{\circ}\text{C}-90^{\circ}\text{C}>120^{\circ}\text{C}-105^{\circ}\text{C}$ という結果になり、高温セット後の乾燥時の温度が高いほど曲げ強度が低下する傾向が認められた。特に $120^{\circ}\text{C}-105^{\circ}\text{C}$ については、機械等級区分による基準強度を満たせない恐れがあり、スギが圧縮性能だけでなく高い曲げ性能を必要とする構造上の重要な部位を担っていくためには、乾燥温度の影響に十分注意すべきと思われる。

以上の結果を踏まえて、スギ乾燥材の使用部位のニーズと要求される強度性能を考慮しつつ、今後さらに乾燥条件を細分化して各種強度との関係を追究していく必要がある。

参考文献

- 吉田孝久（2008）木材の高温乾燥研究の変遷－恒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.
- 吉田孝久・橋爪丈夫・徳本守彦・武田孝志・印出晃（2004）スギ心持ち無背割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．長野県林業総合センター研究報告 **18**：125-141.

表-3 各乾燥条件別の曲げ試験結果

	120°C-105°C		120°C-90°C		天然乾燥	
	曲げ強度(MOR) (N/mm ²)	曲げヤング係数(MOE) (kN/mm ²)	曲げ強度(MOR) (N/mm ²)	曲げヤング係数(MOE) (kN/mm ²)	曲げ強度(MOR) (N/mm ²)	曲げヤング係数(MOE) (kN/mm ²)
平均	42.3	8.5	47.8	8.5	52.8	8.2
最大	65.1	14.1	69.5	12.7	69.7	12.2
最小	23.5	4.3	26.7	5.4	38.8	5.2
標準偏差	9.21	1.85	10.07	1.60	8.53	1.47
5%下限値	25.7		29.6		37.3	

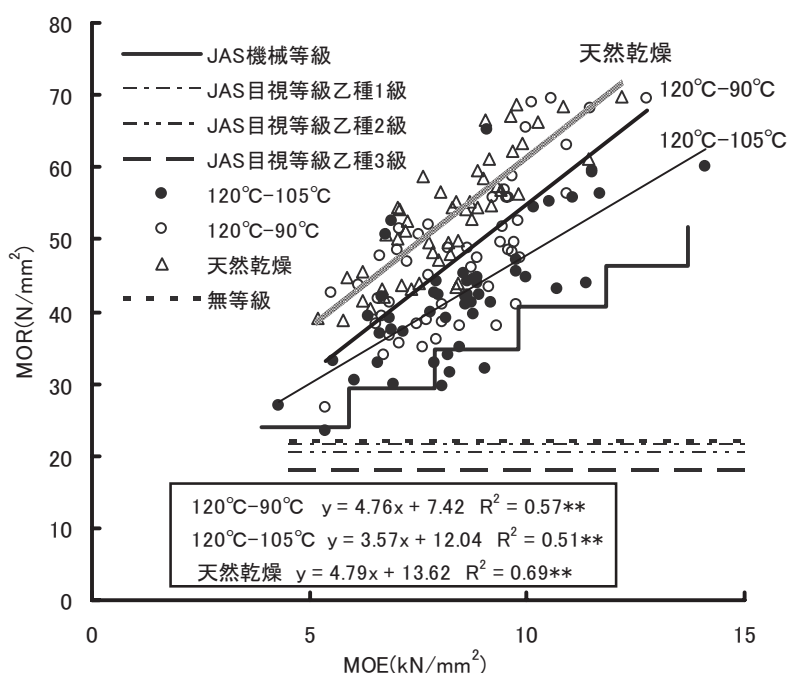


図-6 曲げヤング率 (MOE) と曲げ強度 (MOR) の関係

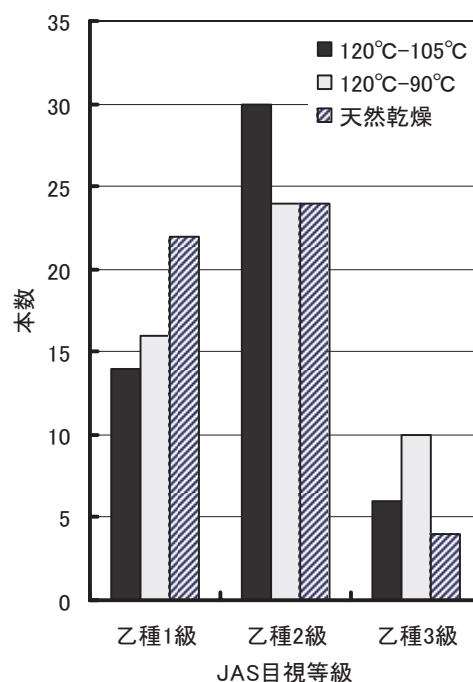


図-7 JAS目視等級区分 (乙種) による内訳

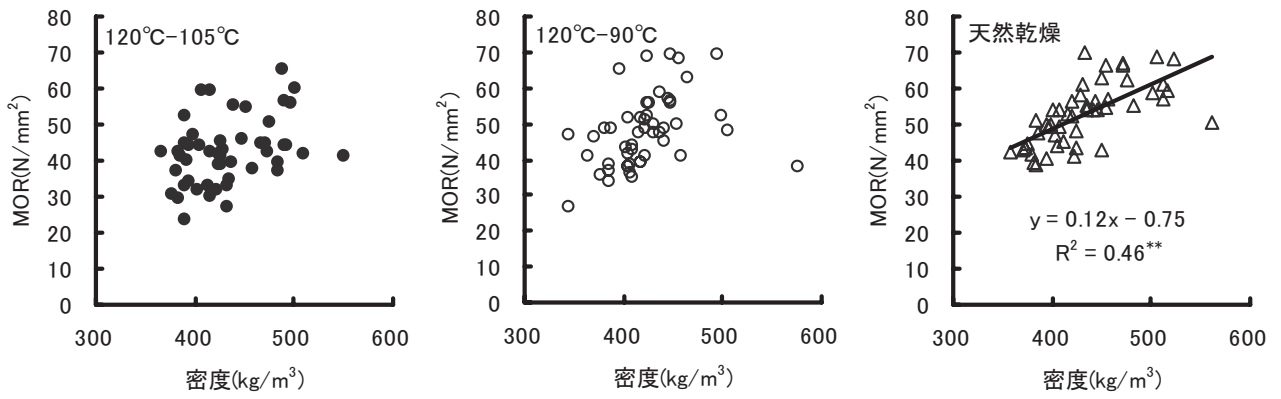


図-8 密度と曲げ強度 (MOR) の関係
**は1%で有意であることを示す

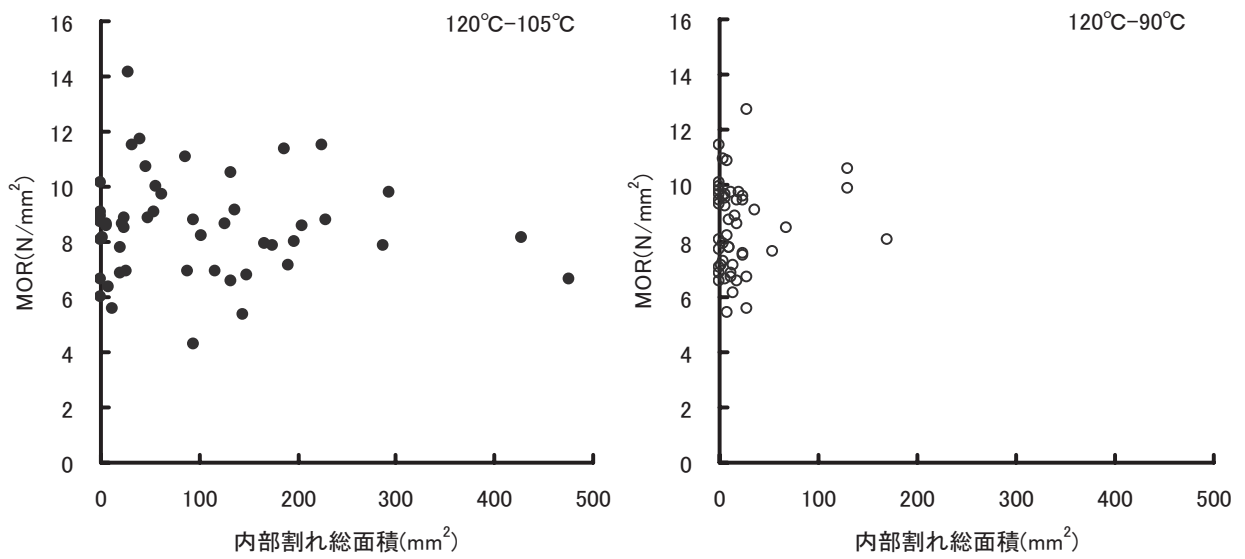


図-9 内部割れ総面積と曲げ強度 (MOR) の関係