

資料

島根県産スギ構造材の干割れと曲げ強度性能との関係

中山 茂生・間水 博文*・大国 隆二**

Effects of Season Cracks on Bending Properties of Sugi Structural Lumbers
in Shimane Prefecture

NAKAYAMA Shigeo, MAMIZU Hirofumi* and OGUNI Ryuji**

要 旨

島根県産スギ正角と平角の曲げ強度試験結果に基づき、干割れと曲げ強度性能との関係について分析し、干割れが曲げ強度性能に及ぼす影響について考察した。その結果、正角、平角のいずれにおいても、干割れは曲げ強度と曲げヤング係数への影響は認められず、干割れを生じやすい材はむしろ曲げ強度性能が高い傾向を示した。また、平均年輪幅や繊維傾斜といった外観特性から干割れの程度を予測することは困難であった。

キーワード：干割れ，スギ，正角，平角，曲げ強度

I はじめに

島根県の林野率は78%と高く、全国第3位の森林県である。本県の森林から産出される素材（丸太）の生産量は2011年が314千 m^3 であり、このうち、スギ（*Cryptomeria japonica* D. Don）が最も多く167千 m^3 を占めている¹⁾。本県では県産木材を利用した地場の木造住宅建築推進のために、建築業界、木材業界とともに推奨する木造住宅の仕様「しまねの木の家」設計マニュアル²⁾を作成し、資源の豊富な県産スギ材を木造住宅用の構造材として積極的に使用していくことを働きかけている。

スギ製材品を建築用構造材として使用するためには乾燥材であることが必須条件である。しかし、丸太を製材後、製材品を屋外の屋根付き土場内に静置して行うような天然乾燥、もしくは木材乾燥機により乾球温度40～70℃程度の低～中温域で人工乾燥を行うと、心持ち材の場合、乾燥の進行によりほとんどの材に干割れ（木口割れ、材面割れを含む）が発生する。この干割れが発生した構造材（写真1）について、住宅を建築する施主から「強度が低下しているのではないか」との不安の声や部材の

交換を求められる場面もあることから、性能の明確化が求められている。

一方、本県では針葉樹構造材を乾燥する際の木材乾燥機の選定に当たっては、平成21年以降、高温蒸気式木材乾燥機を推奨している。これは、高温セット法により材面割れ抑制が可能であるからである。高温蒸気式木材乾燥機の導入は徐々に進んでいるものの、現在7社11基程度に止まっており、県内の製材工場の多くは天然乾燥もしくは低～中温域の人工乾燥で対応している実態がある。

また、製材の日本農林規格において、構造用製材の割れの基準は「貫通割れ（木口、材面）」のみを対象³⁾としており、造作用製材の品質基準にある材面の短小割れや、広葉樹製材の品質基準にある木口割れ、干割れは対象としていない。これは、繊維に沿って生じた干割れは繊維の連続性を大きく断絶することがなく、軸方向に作用する曲げ、引張り、圧縮等の応力に対して、強度の低下要因に当たらないとする考え方⁴⁾によると思われる。しかし、このような考え方が必ずしもエンドユーザーに

*島根県立農業大学校森林管理科（現須佐チップ工業有限公司）、**島根県立農業大学校（現島根県立農林大学校）

理解されていないのが現状である。

これまで、天然乾燥もしくは低～中温域の人工乾燥により発生したスギ正角の干割れと曲げ強度性能との関係についてはいくつかの報告があり、その結論として、干割れは曲げ強度と曲げヤング係数には影響せず⁵⁻⁹⁾、強度低下はないと考えるのが妥当である¹⁰⁾としているが、本県産のスギ正角においては確認していない。また、全国的にもスギ平角において報告された例は見当たらない。

そこで、本報では、これまでに報告した本県産のスギ正角と平角の曲げ強度試験結果^{11, 12)}を基に、その研究過程で取得した干割れデータと曲げ強度性能との関係について分析し、干割れが曲げ強度性能に及ぼす影響について考察した。また、干割れと外観特性との関係についても併せて検討したので報告する。

II 試験方法

1. 試験材

1) スギ正角

島根県飯石郡赤来町（現飯南町）、簸川郡佐田町（現出雲市佐田町）、美濃郡匹見町（現益田市匹見町）の30年生の林分において、それぞれ30本ずつ伐採したスギ造林木を造材し、材長3mの1, 2番玉合計180本について、その径級に適した心持ち正角（12×12×300cm, 10.5×10.5×300cm, 9×9×300cm）に製材し、試験材とした。

2) スギ平角

島根県森林組合連合会斐伊川共販市場及び益田共販市場からそれぞれ購入した材長4mのスギ中目丸太各40本、隠岐郡西郷町（現隠岐の島町）の林分から伐採・搬出した材長4mのスギ中目丸太40本、合計120本について、心持ち平角（13×23×400cm）に製材し、試験材とした。

2. 乾燥

1) スギ正角

正角試験材は、製材後に屋外の屋根付き土場内に栈積みし、4～6ヶ月の天然乾燥を行った後、乾球温度55～70℃、乾湿球温度差4～14℃で間けつ運転により人工乾燥を行った。

2) スギ平角

平角試験材は、製材後に屋外の屋根付き土場内に栈積みし（写真2）、7～10ヶ月の天然乾燥を行った後、モルダーにより12×21cmの断面寸法に仕上げ加工を行った。

3. 干割れの測定

試験材の乾燥は天然乾燥のみ、もしくは天然乾燥と中温域の人工乾燥の併用であり、高温乾燥を行っていないことから内部割れは発生していない。したがって、測定する干割れは試験材の木口部分から発生した材面割れと材面に独立して発生した材面割れである。正角試験材の干割れは、乾燥終了後に各試験材の木口面を除く4材面について、目視で確認できる全ての干割れの長さを1mm単位目盛りのスケールで測定し、試験材4材面の材長の合計（4L）に対する同材面に発生した干割れ総長さ（ Σl ）の割合、すなわち（ $\Sigma l / 4L$ ）×100（%）を干割れ率として算出した⁵⁾。また、平角試験材の干割れは、モルダーによる仕上げ加工後に同様に測定して、干割れ率を求めた。なお、各試験材の外観特性（平均年輪幅、繊維傾斜、曲がり、節数）も併せて測定したが、平均年輪幅、繊維傾斜、曲がりの測定は、製材の日本農林規格の測定方法に準拠して行い³⁾、節数は試験材の4材面に存する全ての節数を合計した。

4. 実大曲げ試験

1) スギ正角

正角試験材の試験機へのセットは材面による干割れの多少を考慮せず無作為に行い、スパン（支点間距離）270cm、荷重点間距離90cm、3等分点4点荷重方式による実大曲げ試験を行った。そして、全スパンの曲げヤング係数と曲げ強度を測定した。曲げヤング係数は、たわみを正角試験材の下部中央で50kgごとに600kgまで12回計測した平均値として算出した。試験機は万能木材強度試験機（円井製作所製、最大容量10t、電子自動平衡型）を使用して行い、破壊に要した時間は10分前後であった。また、破壊した試験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。

2) スギ平角

平角試験材の試験機へのセットは縦使い（写真3）

とし、構造用木材の強度試験法にしたがってスパン378cm、荷重点間距離126cm、3等分点4点荷重方式で、定速ストローク制御により載荷する実大曲げ試験を行った¹³⁾。そして、全スパンの曲げヤング係数と曲げ強度を測定した。曲げヤング係数は変位計（（株）東京測器研究所製SDP-200D）により平角試験材の下部中央でたわみを測定して算出した。試験機は（株）前川試験機製作所製「IPA-100R-F」を使用して行い、破壊に要した時間は10分前後であった。また、破壊した試験材から含水率試験片を採取し、同様に試験時の含水率を求めた。

Ⅲ 結果と考察

1. 干割れ率

正角と平角試験材の干割れ率の測定結果を表1に示した。正角、平角試験材ともに、ほとんど干割れのないものから100%を超えるものまであり、個体差が大きかった。平均値では正角試験材が80.4%、平角試験材が67.9%であった。

表1 干割れ率の測定結果

	正角試験材 (n=180)	平角試験材 (n=120)
平均値 (%)	80.4	67.9
最大値 (%)	124.7	166.3
最小値 (%)	0.0	8.7
標準偏差	22.9	27.3
変動係数 (%)	28.5	40.2

2. 実大曲げ試験

正角と平角試験材の実大曲げ試験結果を表2、3にそれぞれ示した。正角試験材は平角試験材と比べて断面寸法が小さく、天然乾燥期間は短かったものの、仕上げに人工乾燥を行い、含水率のバラツキの少ない仕上がりになったことから、曲げ試験時の含水率は正角試験材が15.1%、平角試験材は21.1%であった。

3. 干割れと曲げ強度性能との関係

1) 干割れと曲げ強度との関係

正角と平角試験材における干割れ率と曲げ強度との関係を図1、2にそれぞれ示した。正角試験材、平角試験材ともに、危険率1%で有意な正の相関を示しており、干割れが多いほど曲げ強度が高い傾向であった。この傾向は荒武らの報告と一致している⁵⁾ことから、干割れによって縦断面が欠損した材であっても、曲げ強度が低いとはいえず、むしろ干割れを生じやすい材の曲げ強度は、材質的に高いことが示唆された結果といえる⁵⁾。

ここで、干割れを生じやすい材は何故曲げ強度が高い傾向にあるのかを考察する。曲げ強度に影響する因子の1つに密度がある。密度と曲げ強度との関係は比例と考えて良く¹⁴⁾、密度が大きい材は曲げ強度も高いといえる。一方、干割れの発生する原因は表層部の乾燥による収縮が内層部によって拘束されるためであり、これに係する因子として材の収縮や変形のしやすさがあげられる¹⁵⁾。収縮率は密度にほぼ比例するので、同一条件下

表2 正角試験材の実大曲げ試験結果

スギ正角 (n=180)	含水率 (%)	気乾密度 (g/cm ³)	平均年輪幅 (mm)	曲げヤング係数 (kN/mm ²)	曲げ強度 (N/mm ²)
平均値	15.1	0.39	5.8	6.51	36.4
標準偏差	1.1	0.03	1.0	1.16	6.3
変動係数 (%)	7.4	7.9	17.6	17.9	17.4

表3 平角試験材の実大曲げ試験結果

スギ平角 (n=120)	含水率 (%)	気乾密度 (g/cm ³)	平均年輪幅 (mm)	曲げヤング係数 (kN/mm ²)	曲げ強度 (N/mm ²)
平均値	21.1	0.41	5.3	7.98	38.5
標準偏差	6.5	0.04	1.6	1.37	7.5
変動係数 (%)	31.0	10.2	30.0	17.2	19.5

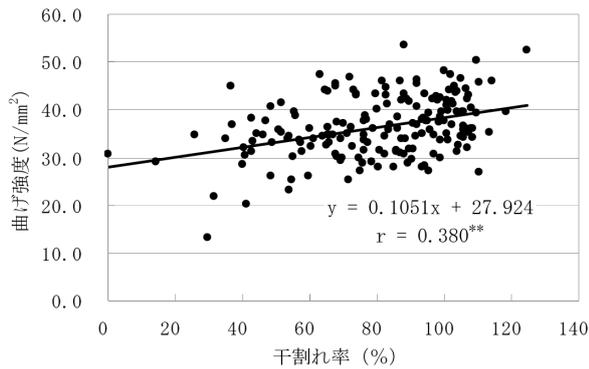


図1 正角試験材の干割れ率と曲げ強度との関係
注：**：危険率1%で有意

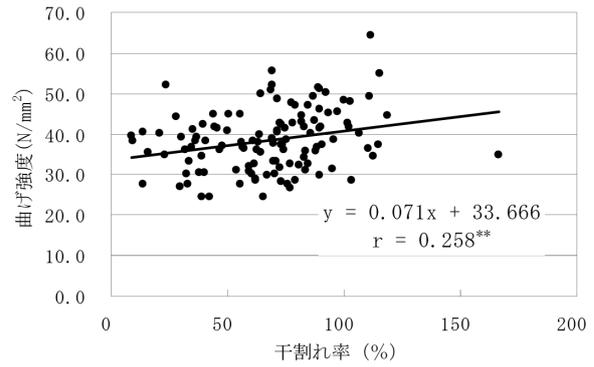


図2 平角試験材の干割れ率と曲げ強度との関係
注：**：危険率1%で有意

で乾燥したときには、密度が大きい材ほど割れやすいとされている¹⁵⁾。すなわち、干割れを生じやすい材は収縮率が大きく、密度も大きい材と考えられることから、曲げ強度も高いと推察できる。

しかし、正角と平角試験材における気乾密度と干割れ率との関係を図3、4にそれぞれ示したが、平角試験材においては、気乾密度と干割れ率との間にバラツキは大きいものの危険率1%で有意な正の相関が認められたのに対し、正角試験材では相関は認められなかった。したがって、収縮率と密度の関係のみから、干割れと曲げ強度との関係を説明することは十分とはいえない。

2) 干割れと曲げヤング係数との関係

正角と平角試験材における干割れ率と曲げヤング係数との関係を図5、6にそれぞれ示した。正角試験材、平角試験材ともに、危険率1%で有意な正の相関を示しており、干割れが多い材ほど曲げヤング係数が高い傾向であった。この傾向は、干割れと曲げ強度との関係よりさ

らに顕著であり、干割れの発生に関係する因子の1つが変形のしやすさである¹⁵⁾とされていることから、干割れの生じやすい材は変形しにくい、すなわち曲げヤング係数の高い材であるといえる。

4. 干割れと外観特性との関係

乾燥を行う前の段階で、製材品の外観特性から乾燥後の干割れの程度を予測可能かどうか検討するため、単回帰分析を行い、単相関係数を表4に示した。その結果、平角試験材において、平均年輪幅と干割れ率との間に危険率1%で有意な負の相関が認められたが、正角試験材では相関は認められなかった。また、繊維傾斜、曲がり、節数のいずれの因子においても、干割れ率との相関は認められなかった。このことから、外観特性から干割れの程度を予測することは困難と考えられた。

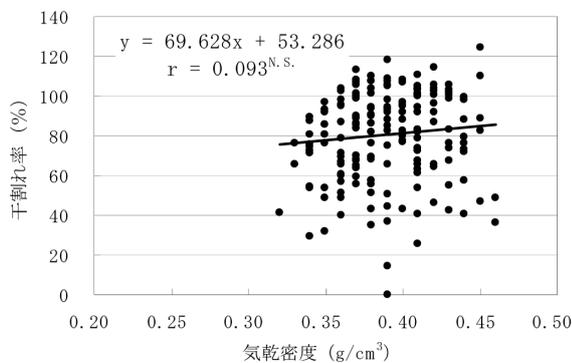


図3 正角試験材の気乾密度と干割れ率との関係
注：N.S.：危険率5%で有意でない

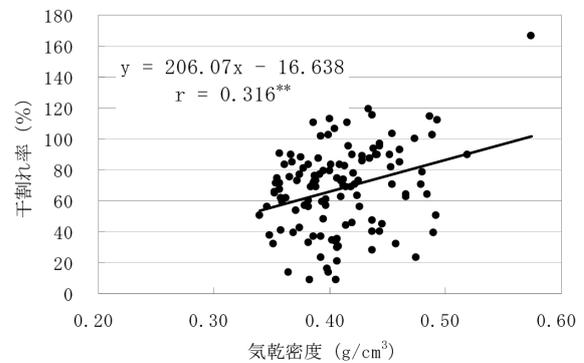


図4 平角試験材の気乾密度と干割れ率との関係
注：**：危険率1%で有意

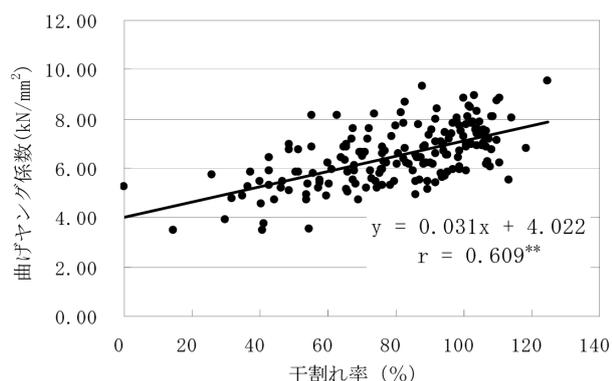


図5 正角試験材の干割れ率と曲げヤング係数との関係
注：**：危険率1%で有意

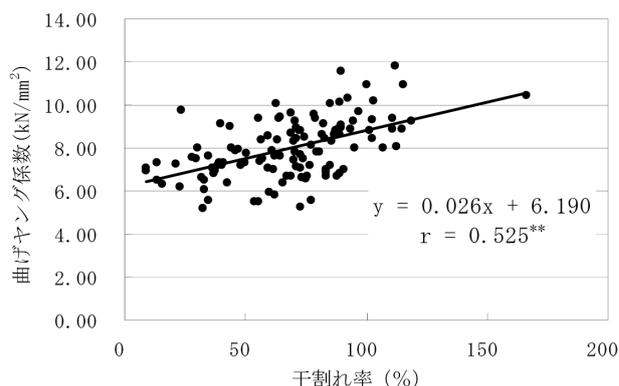


図6 平角試験材の干割れ率と曲げヤング係数との関係
注：**：危険率1%で有意

表4 干割れ率と外観特性因子の相関関係

	材種	平均年輪幅	繊維傾斜	曲がり	節数
干割れ率	正角	-0.007	-0.035	-0.168	0.001
	平角	-0.252**	-0.017	-0.148	-0.048

注：**危険率1%で有意

IV まとめ

島根県産のスギ正角と平角の曲げ強度試験結果を基に、その研究過程で取得した干割れデータと曲げ強度性能との関係について分析し、干割れが曲げ強度性能に及ぼす影響について考察した。また、干割れと外観特性との関係についても併せて検討した。その結果、正角、平角のいずれにおいても、干割れは曲げ強度と曲げヤング係数への影響は認められず、干割れを生じやすい材はむしろ曲げ強度性能が高い傾向を示した。また、外観特性から干割れの程度を予測することは困難であった。

引用文献

- 1) 島根県農林水産部 (2012) 平成24年島根県の森林・林業・木材産業. 島根県農林水産部林業課: 85
- 2) 島根県・木造住宅建築プロジェクト会議 (2006) 県と業界がともに推奨する木造住宅の仕様「しまねの木の家」設計マニュアル. 「しまねの木の家」推進センター・島根県農林水産部林業課木材振興室.
- 3) 製材の日本農林規格 (2007) 平成19年8月29日農林水産省告示第1083号.
- 4) 池田潔彦 (2011) 乾燥材の割れは強度を低下させま

すか?。(最新データによる木材・木造住宅のQ&A. 木構造振興株式会社): 71.

- 5) 荒武志朗・有馬孝禮・迫田忠芳・中村徳孫 (1993) スギ構造材の干割れが力学的性質に及ぼす影響—曲げ強さと曲げヤング係数について—. 木材工業 48 (4): 166-170.
- 6) 岡崎泰男・飯島泰男・小林好紀 (2001) スギ乾燥材の割れと強度の関係. 第51回日本木材学会大会研究発表要旨集: 93.
- 7) 吉田孝久・伊藤嘉文・橋爪丈夫 (2002) スギ及びカラマツ天然乾燥材の割れと曲げ強度との関係. 平成13年度長野林総業報: 80-81.
- 8) 菅原弥寿夫・岩崎昌一 (2004) スギ正角材の乾燥割れが曲げ強度に与える影響. 新潟森研研報 45: 43-47.
- 9) 池田潔彦 (2005) スギ, ヒノキ構造用製材の乾燥割れや背割り加工が強度性能に及ぼす影響. 静岡林技研報 33: 15-21.
- 10) 「安全・安心な乾燥材生産技術の開発」研究グループ (2012) Q&A割れと強度性能との関係. (安全・安心な乾燥材の生産・利用マニュアル 内部割れない乾燥材生産を目指して!). 石川県林業試験場 石川ウッドセンター): 67.
- 11) 中山茂生・錦織 勇・池淵 隆・安井 昭 (1991) 島根県産スギ造林木の強度性能—スギ正角材の曲げ強度—. 島根林技研報 42: 17-36.
- 12) 越智俊之・中山茂生 (2007) 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.

- 13) (財)日本住宅・木材技術センター(1999) 構造用木材の強度試験法.(財)日本住宅・木材技術センター.
- 14) 北原覺一(1967) 木材の機械的性質(実用木材加工全書〈別巻〉木材物理. 森北出版): 156.
- 15) 寺沢 真・筒本卓造(1986) 乾燥経過と損傷(木材の人工乾燥改訂版. 社団法人日本木材加工技術協会): 47.



写真1 建築物のスギ構造材に生じた干割れ（矢印）



写真2 スギ平角試験材の天然乾燥



写真3 スギ平角試験材の実大曲げ試験（縦使い）