

# スギ心持ち平角乾燥材における含水率および内部割れの材長方向分布

松元 浩・石田洋二・村野朋哉\*・小倉光貴\*\*

スギ心持ち平角に対して高温セット処理を伴う人工乾燥を行い、乾燥材の含水率および内部割れの材長方向分布について検討した。その結果、含水率の材長方向分布は全体的に材端部から材内部に向かって増加する傾向を示し、その増加率は材内部に向かうほど緩やかになるものの、材端から 100cm まではすべての試験体で含水率傾斜が認められた。特に材中央部の含水率が 20%超の試験体では材端部と材内部の含水率差が大きい傾向を示した。内部割れ総長さは材端部が最も多く材内部に向かうにつれて減少する傾向を示した。材長方向に含水率傾斜のある乾燥材の含水率を求める場合、両材端部 30cm 部分に加えて材中央部も計算に含むことが望ましい。

キーワード：スギ心持ち平角、高温セット、含水率、内部割れ、材長方向分布

## I. はじめに

我が国の人工林、特にスギにおいて高齢級化が進み大径材の供給が増加している。大径材の有効利用について様々な木取りが検討されているが、その中でも大径材だからこそ得られる大きな断面の構造用製材として、心持ちや心去りの平角が考えられる。平角は、梁や桁といった強度や寸法精度を要求される部位に使用されることから適切な条件で乾燥することが必須となるが、心持ちの場合は心持ち正角と同様に乾燥に伴い材面割れが発生しやすい。また、材面割れ抑制を目的とした高温セット処理を適用する場合、処理条件によっては強度に影響を及ぼすような内部割れが発生する可能性がある。そこで筆者らは、これまでにスギ心持ち平角に対して、高温セット処理を用いて割れが少なく強度特性が低下せずかつ乾燥時間とコストとのバランスが取れる乾燥条件を検討してきた（松元ら 2021）。その際、乾燥仕上りの目安として材長方向中央部の含水率が目標とする含水率に到達することを目指して試験を実施してきたが、蒸気式乾燥法のように材の外部から乾燥が進む方式の場合、断面内の表層と中央の含水率傾斜に加えて材長方向にも含水率傾斜が発生することが知られており（たとえば、吉田・橋爪 2000）、断面内あるいは材長方向の含水率傾斜についても確認しておくことも重要である。一方、材端部および材端から内部の木口断面に発生する割れ（以下、内部割れ）の材長方向分布については、心持ち正角において材端部で割れ長さが大きく、その後材内部に向かって急激に減少し 30~50cm あたりで

一定の値に落ち着く傾向が示されている（「安全・安心な乾燥材生産技術の開発」研究グループ 2012；寺西ら 2016a, b）。一般的に、平角は正角よりも断面が大きいことから、所要乾燥時間も長くなり、それによって含水率および内部割れの材端部と中央部の傾斜は大きくなると推測されるが、心持ち平角に関する報告は少ない（河崎・野上 2006）。そこで本報では、スギ心持ち平角に対して高温セット処理を伴う人工乾燥を行い、乾燥材の含水率および内部割れの材長方向分布について検討した結果を報告する。

## II. 試験方法

### 1. 供試材および乾燥条件

石川県産スギ心持ち平角（断面寸法 120×285mm、長さ 4000mm）30 体に対し、蒸気式乾燥装置（新柴設備（株）製 SKIF60HPT）を用いて、95℃蒸煮 7 時間の後、高温セット処理を乾球温度 120℃、湿球温度 90℃で 18 時間行い、その後の乾燥を目標含水率 20%とし、乾球温度 90℃、湿球温度 60℃で 336 時間行った。なお、調湿（イコーライジング）は行っていない。

### 2. 含水率および割れの測定方法

乾燥終了後および断面寸法を 105×270mm にモルダー加工後に重量、寸法を測定した。モルダー加工後の試験体は、材面に現れた割れについて 1 本ずつ長さと最大幅を測定後、図-1 に示す通り所定の位置（計 25ヶ所）から繊維方向に約 25mm の含水率および内部割れ観察用試験片（以下、A 試験片）を採取するとともに、材長 200cm 位置（以

\*森林研究・整備機構森林総合研究所、\*\*元石川県農林総合研究センター林業試験場

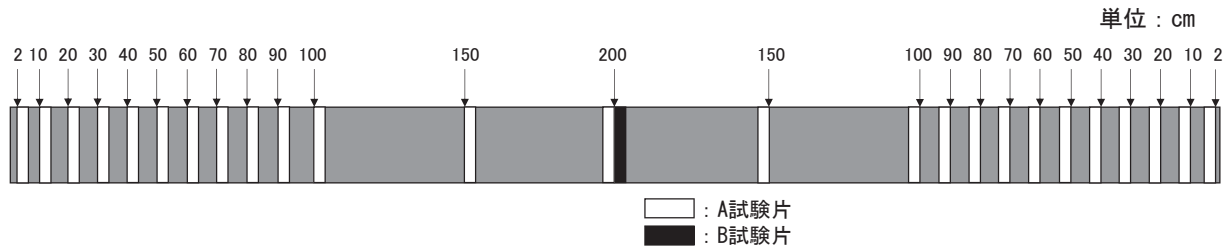


図-1. 含水率および内部割れの試験片採取位置

下、材中央部)においては断面内の含水率分布測定用試験片(以下、B試験片)を採取した。A試験片は採取後すみやかに重量を測定し、その後スキャナにより木口面の画像を撮影(保存形式:JPEG、解像度:200dpi)した。なお、撮影面は矢印で示した部分、すなわち2~150cm位置は材端側、200cm位置はB試験片との隣接部である。B試験片は図-2に示すように2方向に合計17分割し、それぞれの重量を速やかに測定した。A、B試験片とも上記作業終了後に全乾法による含水率を求めた。なお、乾燥終了後から含水率測定まで約1ヶ月経過した。

撮影した画像は画像解析ソフトImage Jに取り込み、図-3に示すように2値化し、節内部の割れを除いたすべての割れの長さと同面積を測定した。なお、図-3の場合、内部割れ総長さは697mm、総面積は742mm<sup>2</sup>である。

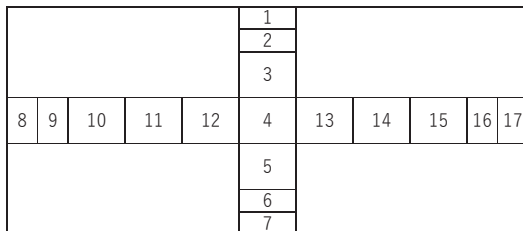


図-2. 断面内の含水率分布測定 (B試験片)

①画像のトリミング ②割れの塗りつぶし ③2値化・分析



図-3. 内部割れの測定方法

### III. 結果および考察

#### 1. 乾燥後含水率と材面割れ

表-1に乾燥前後の試験体のみかけの密度、含水

率および材面割れの測定結果を示す。乾燥後密度、含水率および材面割れの値はモルダー加工後の値である。また、含水率は材中央部(A試験片)の含水率を示した。含水率は、平均18.5(8.0~35.1)%で、含水率20%以下が全試験体の7割にあたる21体であった(図-4)。材面割れ総長さ(試験体1本あたりの総延長)は平均で2087mmであったが、図-5に示すように、30体中23体は2000mm以下であった。筆者らがプレカット工場や住宅供給会社に対して行ったアンケート調査結果((一社)全国木材組合連合会2023)によると、梁に対して許容できる材面割れの長さは、材長の1/4程度以下が多かった。また、許容できる割れ幅は1~3mm程度までが多かった。今回の試験材の長さは4000mmであることから、許容される割れ長さは、材長の1/4で1000mmとなる。そこで、許容される割れ長さが1000mm以下、かつ割れ幅が1mm以下を基準として、材面割れの測定結果をみると、総割れ長さと最大幅の組み合わせで4面のうち1面でも基準を超過する試験体は30体中10体であったが、単独の割れで長さが1000mm超のものは現れなかった。

表-1. 乾燥前後の密度、含水率および材面割れ

	乾燥前密度 (kg/m <sup>3</sup> )	乾燥後密度 (kg/m <sup>3</sup> )	含水率 (%)	材面割れ総長さ (mm)	材面割れ総面積 (mm <sup>2</sup> )
平均値	692	435	18.5	2087	1109
最小値	495	370	8.0	389	71
最大値	1080	522	35.1	9733	4501
標準偏差	134.8	39.7	8.1	1985	966

注)乾燥後密度および材面割れはモルダー後、含水率はモルダー後の材中央部の値

#### 2. 断面内の含水率分布(材中央部)

材中央部の断面内含水率分布は、短辺方向(図-2の1~7)および長辺方向(図-2の8~17)ともに表層側で含水率が低く、断面の中央部に向かって高くなる傾向を示した(図-6)。また、表層の含水率は20%以下に乾燥していても、中央部の含水率は40%超の高い状態の材も出現した。このような材は乾燥時間を延長しても所定の含水率まで乾燥することは難しいと推察される。

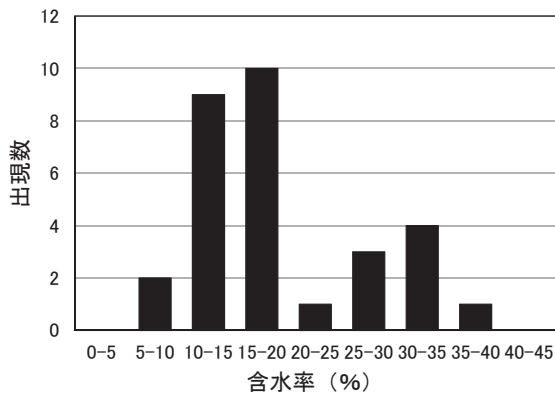


図-4. 含水率の出現数

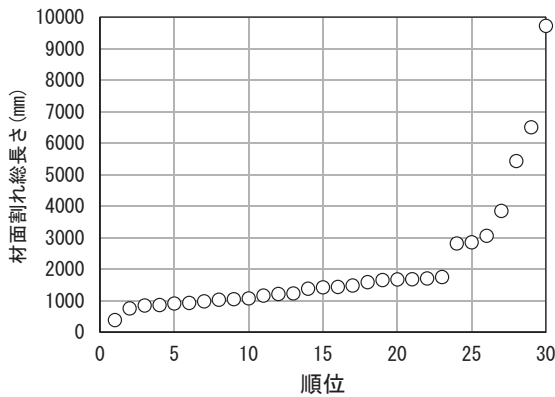


図-5. 材面割れ総長さの発生状況

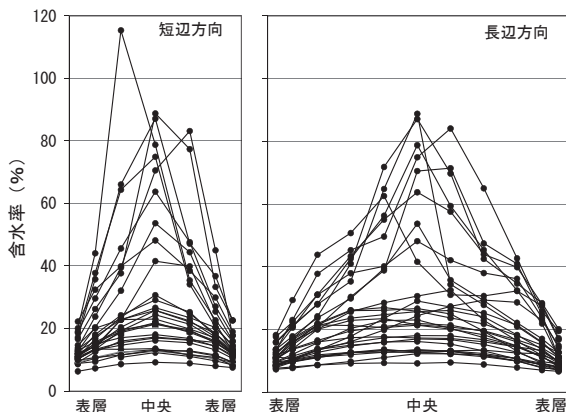


図-6. 断面内の含水率分布

### 3. 含水率および内部割れの材長方向分布

材長方向の含水率(断面の平均含水率)分布は、図-7 に示すように材端部から材内部に向かって増加する傾向を示した。その増加率は材内部に向かうほど緩やかになるものの、材端から約 100cm まではすべての試験体において含水率の傾斜が認められた。特に中央部の含水率が高い試験体では、材端部と材内部の含水率差が大きい傾向を示した。

内部割れ総長さと内部割れ総面積との関係を図-8 に示す。内部割れ総長さが長くなるほど内部割れ総面積のばらつきが大きくなるものの、両者には高い相関関係が認められる。本報においてはどちらの指標を用いても傾向が変わらないことから、

内部割れの結果はすべて内部割れ総長さで示した。

内部割れ総長さの材長方向分布を図-9 に示す。心持ち直角で報告されている結果(「安全・安心な乾燥材生産技術の開発」研究グループ 2010)と同様に、内部割れ総長さは材端部が最も多く、材内部に向かうにつれて減少する傾向を示し、約 50 cm 内部になると落ち着く傾向が認められた。

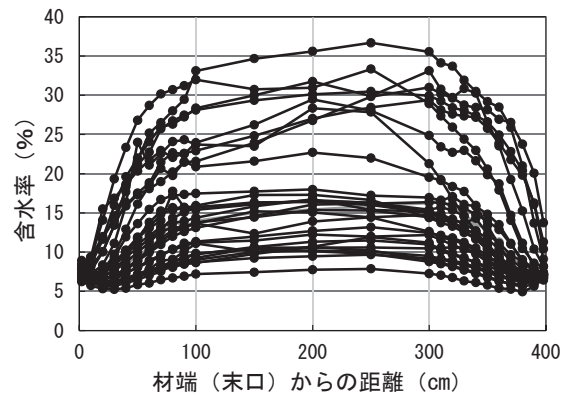


図-7. 含水率の材長方向分布

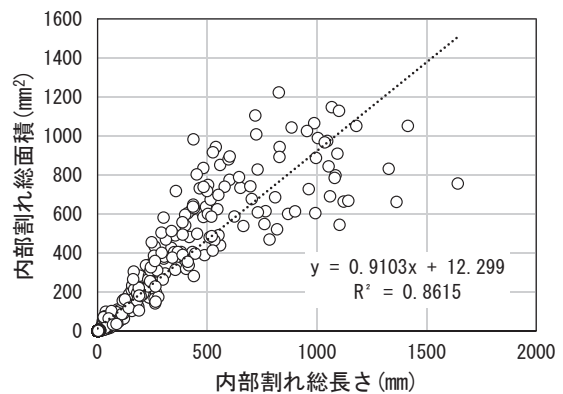


図-8. 内部割れ総長ささと内部割れ総面積との関係

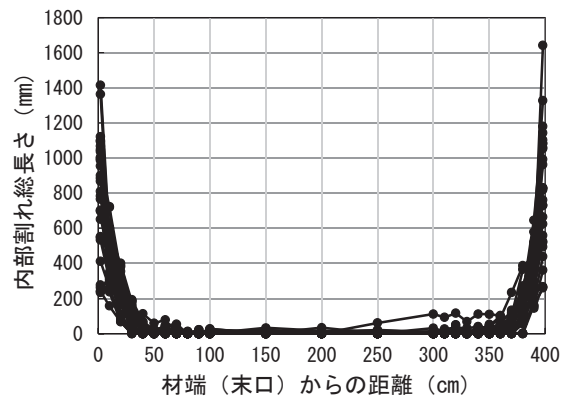


図-9. 内部割れ総長さの材長方向分布

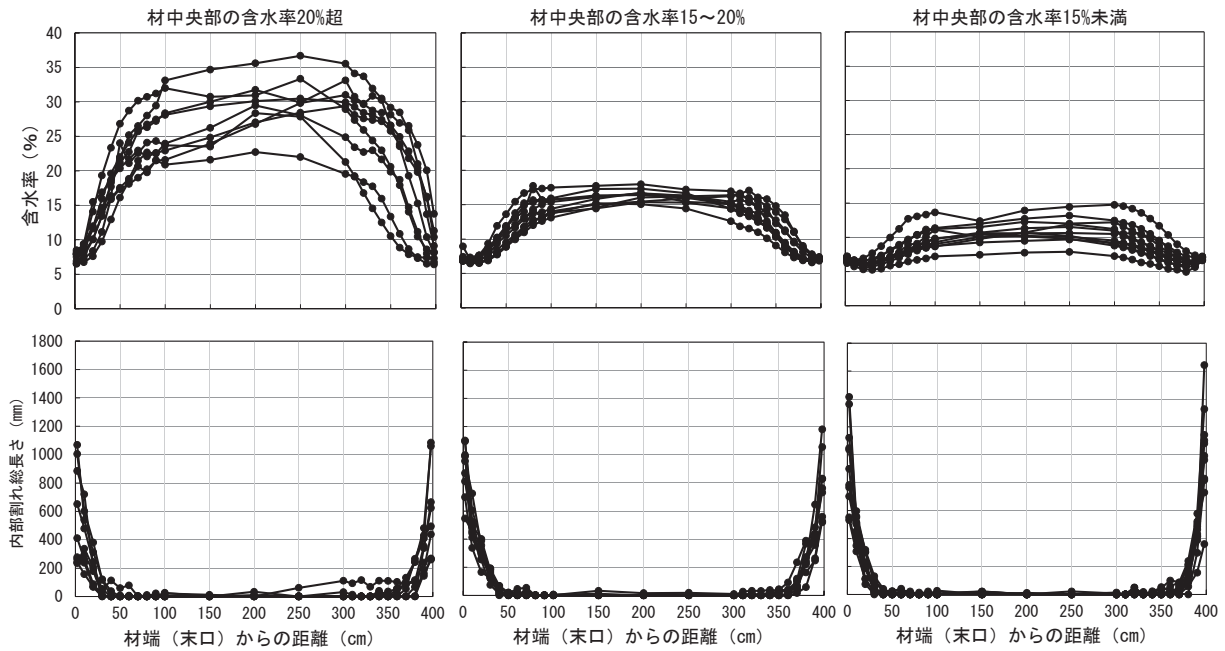


図-10. 含水率および内部割れ総長さの材長方向分布

含水率および内部割れ総長さについて、材中央部の含水率が20%超（図の左側）、15～20%（図の中央）、15%未満（図の右側）の試験体に分けて図-10に示す。材長方向の含水率傾斜（最大値-最小値）は、材中央部の含水率が20%超のグループ、15～20%のグループおよび15%未満のグループで、それぞれ、13.7～25.4%、9.8～12.8%および6.1～10.2%となり、材中央部の含水率が高いグループの含水率傾斜が大きい傾向であった。なお、材中央部の含水率が20%未満の試験体については、ほとんどの試験体で材端部から10cmまでの含水率が材端部から20cmの位置よりも含水率が高くなった。これは乾燥終了から計測までに約1ヶ月間経過したため、材端部が吸湿したことによるものと推察される。一方、内部割れ総長さについては、材長方向の傾向に違いはないが、材中央部の含水率が低いグループほど材端部の内部割れ総長さが多い傾向を示した。

#### 4. 含水率と内部割れとの関係

全てのA試験体の含水率と内部割れ総長さとの関係を図-11に示す。含水率が低くなるにつれて、特に含水率が10%以下になると内部割れ総長さが大きくなる傾向を示した。

#### 5. 乾燥材の含水率の検証

製材の日本農林規格における製材の格付けのための含水率の試験方法は、人工乾燥処理を施した材の場合、各試料製材の長さ方向の両端から約

30cm内側で欠点の影響が最も少ない部分から試験片を採取し、天然乾燥材の場合は、上記に加えて長さ方向の中央部も加える（（一社）全国木材検査・研究協会 2015）。ただし、工場認証を受ける際には人工乾燥材の場合も両材端から約30cm内側に加え材中央部からも試験片を採取し、3ヶ所の平均値を採用している。そこで今回の試験結果を用い、それぞれの試験体について、①両材端から30cm部分の平均値、②両材端から30cm部分および材中央部の平均値を求めた。

また、各試験体から25個のA試験片を採取しているが、それらの採取間隔に応じた加重平均値が各試験体の真の含水率に近いと考え、その値を式(1)に基づいて計算した。

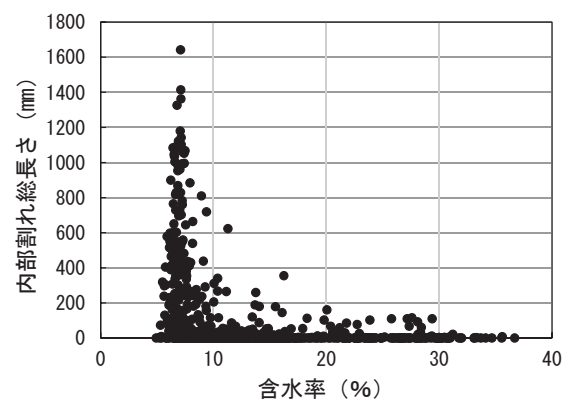


図-11. 含水率と内部割れ総長さとの関係



$$\Sigma (MC_n \times L_n) / 400 \quad (1)$$

ここで、 $MC_n$ :n cm 部分の含水率 (%)  
 $L_n$ :分担幅 (重み) (cm)  
 $n$  が 2、10、20~90、100、150~200 の  
 場合、 $L_n$  はそれぞれ、6、9、10、30、  
 50 とする。

加重平均値と①および②との関係を図-12 に示す。①、②のいずれも加重平均値よりも含水率が低めに計算され、①は 30 体中 28 体が含水率 20% 以下、30 体中 24 体が含水率 15% 以下、②は 30 体中 24 体が含水率 20% 以下、30 体中 22 体が含水率 15% 以下と判断される結果となった。また、②の計算結果の方が加重平均値との差が小さかった。

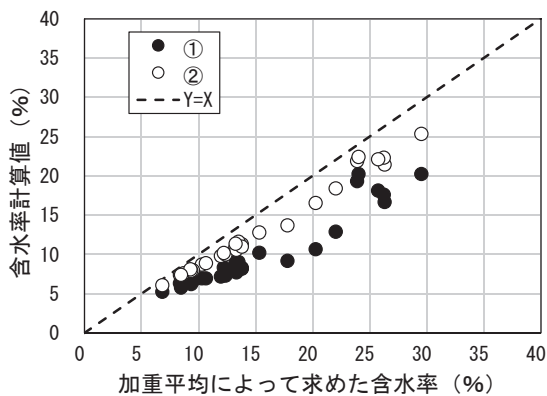


図-12. A 試験片の採取間隔に応じて求めた加重平均値と製材 JAS を参考に求めた含水率との関係

現状の製材 JAS の含水率試験方法は、人工乾燥材は材長方向に均一に乾燥されていることを前提にしているものと考えられるが、蒸気式乾燥法の場合は本試験結果のように材長方向にも含水率傾斜が生じていることから、人工乾燥材においても天然乾燥材と同様、格付けによる含水率試験を実施する場合は、両材端から 30cm の部分に加え材中央部の含水率も測定する方が望ましいと考えられる。

#### IV. おわりに

平角は住宅における梁や桁等、構造上重要な部分に使用されるため、含水率傾斜が大きい場合はその後の材の変形等による不具合を引き起こす可能性があり、また材端部の割れが大きい場合は接合強度に影響を及ぼすことになる。今後さらに材長方向の含水率傾斜や材端部付近に多く発生する内部割れを軽減するための対策に取り組むことが重要である。

#### 謝辞

本研究は農研機構生研支援センター「革新的技術開発・緊急展開事業 (うち先導プロジェクト) (課題名:要求性能に応じた木材を提供するため、国産大径材丸太の強度から建築部材の強度を予測する技術の開発 (実施年度 H28~R2))」の支援を受けて行った。

#### 引用文献

- 「安全・安心な乾燥材生産技術の開発」研究グループ (2012) 「安全・安心な乾燥材生産技術の開発」研究グループ (2012) 推奨乾燥条件. (安全・安心な乾燥材の生産・利用マニュアル—内部割れのない乾燥材生産を目指して!—, 「安全・安心な乾燥材生産技術の開発」研究グループ). 14-33
- 河崎弥生・野上英孝 (2006) 品確法に対応するための高品質乾燥材の生産技術の開発 (V) —オープンラボ装置によるスギ平角材の複合乾燥法の開発—. 平成 18 年度岡山県木材加工技術センター業務報告書: 14-47
- 松元 浩・石田洋二・小倉光貴・加藤英雄・長尾博文・小林 功 (2021) スギ心持ち平角に対する適正な高温セット処理条件とその曲げ強度特性. 木材工業 76(11): 478-483
- 寺西康浩・海本 一・松元 浩・吉田孝久・古田裕三 (2016a) スギ心持ち正角に対する蒸気・高周波複合乾燥 (I) 高温セット時間が内部割れの発生に及ぼす影響. 木材工業 71(2): 52-57
- 寺西康浩・海本 一・松元 浩・吉田孝久・古田裕三 (2016b) スギ心持ち正角に対する蒸気・高周波複合乾燥 (II) 高温セット後の乾燥条件が内部割れ発生に及ぼす影響. 木材工業 71(5): 186-191
- 吉田孝久・橋爪丈夫 (2000) カラマツ及びスギ心持ち柱材の高温乾燥特性. 長野県林総セ研報 14: 1-18
- (一社) 全国木材検査・研究協会 (2015) 乾燥処理. (製材の日本農林規格並びに改正の要点及び解説. (一社) 全国木材検査・研究協会). 194-200
- (一社) 全国木材組合連合会 (2023) 人工乾燥材 (製材) に対するニーズ. (品質の確かな人工乾燥材の生産にむけて. (一社) 全国木材組合連合会). 1-6