

異なる乾燥条件下におけるスギ柱材の乾燥割れ

小澤雅之¹・伊原隆伸¹・櫻田尚人¹・鈴木泰仁¹

1 山梨県森林総合研究所

要旨：スギ柱材の高温乾燥に伴い発生する表面割れおよび内部割れを現状より低減させるために、無背割りスギ心持ち柱材を通常乾燥とそれとは異なる4つの乾燥条件で乾燥させ、発生した割れの状況を検討した。通常乾燥での含水率は平均値13.6%を示し、表面割れを目視診断したが、商品として問題ないことが確認された。単位面積当たりの表面割れ率は、高温セットの設定温度が低いと小さくなる傾向が認められたが、通常乾燥では低い値を示した。通常乾燥における内部割れ率は、全乾燥条件のうち2番目に高い値を示し、材全体に割れが進展している可能性が示唆された。高温セットの設定温度を低くすることで内部割れが減少する傾向が認められたことから、通常乾燥において高温セットの温度を低くすることで材全体の内部割れを減少させられることが示唆された。

キーワード：スギ柱材、無背割り、高温乾燥、表面割れ、内部割れ

Drying checks of sugi (*Cryptomeria japonica* D. Don) square lumber under different drying conditions

Masayuki OZAWA¹, Takano IYAHARA¹, Naohito SAKURADA¹, Yasuhito SUZUKI¹

1 Yamanashi Forest Research Institute

Abstract: Surface checks and internal checks that occur in sugi square lumber material due to high-temperature drying were examined under normal and four different drying conditions. As a result of normal drying condition, the average moisture content was 13.6%. The surface check was judged visually, but there was no problem as a product. When the set temperature of the high-temperature setting was low, the surface checking rate per unit area tended to decrease. Normal drying condition showed values close to this group. The internal check rate in normal drying condition was the second highest value among all drying conditions, and the results of image analysis suggested that checks might have progressed throughout the material. Regarding internal checks, it was found that the value tended to decrease by lowering the set temperature of the high-temperature setting. By lowering the temperature of the high-temperature setting than the current one, it may be possible to reduce the internal checking of the entire material under normal drying condition.

Key-word: sugi square lumber, high-temperature drying, surface check, internal check

1 はじめに

我が国では戦後の人工造林が伐期を迎え、これまで輸入材が主だった需給状況においても徐々に国産材へシフトし、木材自給率は2018年には8年連続の上昇で、用材では32.4%を示すまでに至った(6)。特に木質資源は、地球温暖化防止の観点において炭素を長期固定できる優位性から、木造建築への積極的な活用が推進され、中でもラミナを繊維方向に直交させ多層接着した面材材料によるCLT構法により、欧州を中心に中層建築物等に活用されている(2)。また、森林の成長量や蓄積を踏まえた伐採を行い、森林の適切な更新と整備により再生産を進めていく持続的な森林の利用や、地域内における経済や資源循環からも地域材の利用拡大が求められている。地域

においても人工造林された針葉樹の利用増加が期待されるが、今後は前述したCLTやプレカット材、機械等級区分材などの品質向上も併せて求められている。国産材の供給拡大には、地域材であるスギの多用途な活用が必要となり、そのためには人工乾燥の技術や基盤は重要な因子となる。これまで、地域では積極的にスギの人工乾燥に取り組んできたが、スギ材は生材の含水率に大きな変動があるため乾燥が難しく、人工乾燥させても表面等に割れなどが生じ、商品価値が下がるなど問題が生じる。そこで、高品質な地域材を供給するための人工乾燥技術向上を目的に、本報では、今回乾燥試験を依頼した事業者で通常に行われている乾燥方法(以下、通常乾燥、とする)と、それとは異なる乾燥スケジュールで試験を行い、

どのような条件であれば割れが発生あるいは抑制できるのかについて検討した。

II 試験材と測定方法

1. 試験材と各測定方法 山梨県地域で伐採された末口径 16 cm ~ 18 cm のスギ丸太を、高温乾燥を行っている事業体で長さ 3000 mm、幅 120 × 高さ 120 mm の無背割り心持ち正角材に製材した。製材直後に材中央部の断面寸法と材長および質量を測定し、木口面を除く材 4 面において、材両端部から 300 mm 材中央部に寄ったところと材中央部の 3 点計 12 カ所の含水率を高周波式含水率計 (株式会社ケット科学研究所製木材水分計 HM-500) で測定した。なお、生材を計測したため、含水率が著しく高く測定不能になる場合が生じたが、その際の含水率は測定限界である 140 %とした。これらの測定直後に高温型蒸気式木材乾燥装置 (株式会社新柴設備製 SKD-50) へ材を入れ人工乾燥試験に供した。また、高周波式含水率計とは別に全乾法による含水率を計測するための柱材を無作為に各乾燥条件について 5 本用意した。

2. 乾燥条件 通常乾燥と各回の乾燥スケジュールを表 1 に示す。なお、今回用いた乾燥装置における通常乾燥での最適な材の本数は 238 本 (材積・10.2 m³) である。本報での乾燥本数はこれよりも少なかったが、この乾燥条件を適用し、本報では便宜上通常乾燥と称した。また、乾燥させる本数が少ないことを補うため、装置内で乾燥空気が円滑に循環するよう材を装置内中央部に集積し、装置内高に揃えて積積みを行った。

表 1. 通常乾燥と各乾燥における乾燥条件

Table 1. Drying schedule in each kiln-drying.

	蒸煮処理*1	高温セット処理	乾燥処理*2		試験体数 (本)
	時間 (hrs.)	温度 (°C)	時間 (hrs.)	時間 (hrs.)	
通常乾燥	14	120	22	200	50
試験H16	16	120	96	96	50
試験H08	8	120	96	96	50
試験L16	16	110	48	96	66
試験L08	8	110	12	96	66

*1:設定温度110℃

*2:いずれも乾球温度90℃、湿球温度60℃

3. 表面および内部割れ測定法 木口面を除く 4 面に発生した表面割れについて、本来の割れ形状は紡錘形であるが、本報では割れを、全長を長辺、割れの最大幅を短辺とする長方形と見なし、その面積を表面割れ面積と定義した。計測した表面割れの総面積を材 4 面の総面積で除し、単位面積当たりの表面割れ率を算出した。なお、割れの深さについては測定が困難なため検討対象から除外した。また、節に起因すると思われる割れについても

同様とした。

内部割れについて、材内部を直接目視確認ができないため、すべての乾燥材から内部割れ測定用の試料を約 300 mm 間隔で 11 枚 (厚さ 30 mm) 切り出し、末口側と元口側の表面をデジタルカメラで撮影した。その画像をアメリカ国立衛生研究所が開発したフリーソフト ImageJ により画像処理を行い、割れ部分が画像上で黒色化することを利用し、割れ部分として黒色化した総面積を、その木口断面積で除した値を内部割れ率と定義した。乾燥材 1 本から切り出した全 11 枚の内部割れ率の平均値を材全体の内部割れ率、柱材の両木口面に最も近接した部位から切り出した 2 枚のデータを除外した 9 枚の内部割れ率の平均値を材内部の内部割れ率として算出した。なお、画像上に節などがある場合は、画像上から削除した。

III 結果と考察

1. 各乾燥条件における含水率 全乾法と高周波式含水率計による含水率の結果を表 2 に示す。乾燥前の含水率はいずれも 65 %以上の値を示した。乾燥後の含水率は、通常乾燥では全乾法 13.6 %、含水率計 7.7 %を示した。試験 H16 および試験 L16 では全乾法 8.5 %および 11.5 %と通常乾燥よりもやや過乾燥となり、逆に蒸煮処理が 8 時間であった試験 H08 と試験 L08 では全乾法で 20 % 以上を示した。今回の乾燥試験では蒸煮処理時間の長短により含水率に差異が生じる傾向が認められた。

表 2. 各乾燥条件における乾燥前後の含水率

Table 2. Initial and final moisture content in each drying schedule.

	全乾法		高周波式含水率計	
	含水率 (%)		含水率 (%)	
	乾燥前	乾燥後	乾燥前	乾燥後
通常乾燥	108.5 (40.0)	13.6 (6.7)	77.6 (15.7)	7.7 (3.4)
乾燥H16	76.1 (31.9)	8.5 (0.5)	67.7 (11.3)	8.3 (1.5)
乾燥H08	71.2 (17.6)	20.7 (8.0)	69.5 (8.0)	18.1 (3.9)
乾燥L16	84.6 (22.5)	11.5 (2.3)	70.9 (15.9)	14.2 (3.9)
乾燥L08	66.5 (11.3)	21.9 (4.8)	67.6 (13.6)	10.9 (3.2)

()内は標準偏差

2. 各乾燥条件における表面および内部割れ率

2.1 表面割れ 各乾燥条件における単位面積当たりの表面割れ率と後に論述する内部割れ率の平均値を表 3 に示す。参考までに、単位面積当たりの表面割れ率 0.02 %を示した材は、柱材 4 面に発生した割れの総本数は 19 本、割れの最長 580 mm、最小 30 mm、最大割れ幅 2 mm、最小割れ幅 0.5 mm であった。すべての乾燥材は、

実際の販売者による品質評価を行った。その結果、表面割れに関しては商品として問題がないとの評価を受けた。

表-3. 各乾燥条件における表面割れ率と内部割れ率

Table 3. Surface and internal checking rate in each drying schedule.

	表面割れ率 (%)	内部割れ率 (%)	
		材全体	材内部
通常乾燥	0.005 (0.011)	1.15 (0.89)	1.15 (1.02)
試験H16	0.010 (0.011)	1.56 (0.63)	1.78 (0.75)
試験H08	0.016 (0.018)	0.18 (0.08)	0.08 (0.07)
試験L16	0.005 (0.012)	0.36 (0.20)	0.24 (0.22)
試験L08	0.004 (0.007)	0.27 (0.14)	0.14 (0.14)

()内は標準偏差

表面および内部割れ率の算出方法は本文参照

試験 H16 および試験 H08 における表面割れ率は 0.010 %, 0.016 %を示したが、通常乾燥では表面割れ率は 0.005 %を示し、試験 H16 および試験 H08 よりも低い値を示した。一方、試験 L16 および試験 L08 では、0.005 %および 0.004 %を示し、試験 L08 は全乾燥条件の中で最も低い表面割れ率を示した。一方、乾燥後の含水率が高かった試験 H08 および試験 L08 では、表面割れ率に差異があり、今回の乾燥試験では含水率と表面割れ率とは明確な傾向が認められなかった。

各乾燥条件により生じた表面割れ長さについて 1 本あたりの発生数を図-1 に示す。通常乾燥では、表面割れが生じなかった材が認められたが、表面割れ長さでは 51-100 mm のものが全体の 38.3 %を占め、501 mm を超えるものも 3.5 %認められた。試験 H16 と試験 H08 では、通常乾燥とは異なり、割れの発生数は増加し、全ての材に割れが生じた。割れ長さは 51-100 mm のものが全体の約 30 %を示し、501 mm を超える長さの割れも約 7 %生じた。一方、試験 L16 と試験 L08 では、前述の乾燥条件とは異なり、割れの発生数は減少し、割れ長さも 51-100 mm のものが試験 L16 では全体の 23.6 %, 試験 L08 では 14.3 %となったが、501 mm を超える長さの割れが前者では 14.6 %, 後者では 30.1 %を占め、割れ長さの長大化が認められた。

図-2 に表面割れ幅における 1 本あたりの発生数とその割合を示す。通常乾燥では割れ幅 0.1~1.0 mm のものが全体の 88 %を占め、試験 H16 と試験 H08 の両者においてもその割合が 90 %以上となった。一方、試験 L16 と試験 L08 では、0.1-1.0 mm の発生割合が前者よりも減少し、逆に割れ幅が大きいものの発生割合が増加した。

通常乾燥では発生する表面割れは長さ 100 mm 以下で幅 1.0 mm 以下のものが多数を占め、試験 H16 や試験

H08 で生じた表面割れは吉田らの報告 (5) よりも短く狭い微細なものであった。一方、高温セットが 10 °C低い試験 L16 および試験 L08 では発生数は減少するが、割れの長さとは長くなる傾向が認められた。これらのことから、今回の乾燥においても乾燥初期の高温セット処理による表面割れ発生の抑制効果と思われる。

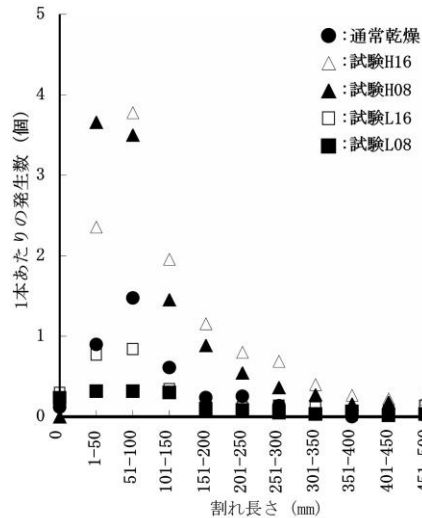


図-1. 各乾燥条件における 1 本あたりの表面割れ長さの発生数分布

Fig. 1. Distribution of the number of checks length per lumber in each drying schedule.

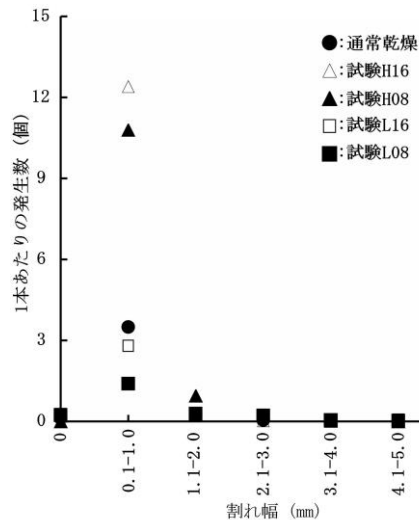


図-2. 各乾燥条件における 1 本あたりの表面割れ幅の発生数分布

Fig. 2. Distribution of the number of checks width per lumber in each drying schedule.

2.2 内部割れ 通常乾燥における内部割れは、試験 H16 よりも材内部および材全体の内部割れ率は低い値

を示したが、他の3条件よりも高く、いずれも1.1%以上の値を示した。なお、切り出したすべての木口面で内部割れの発生が確認されたのは試験 H16 だけであった。一方、試験 H08、試験 L16 および試験 L08 では、内部割れ率はいずれも0.5%以下を示したが、乾燥後の含水率で高い値を示した試験 H08 および試験 L08 における内部割れ率はさらに低い値を示した。試験 H08 では材全体の内部割れ率が0.18%であったが、木口面の割れを除いた材内部の内部割れ率は0.08%を示した。これは柱材の木口面には割れが多く認められるが、材内部には割れが少ないことを意味している。この具体例として、最上段には試験 H08 における切り出した板の撮影画像の一部を配置し、二段目にはその画像から割れを抽出した画像群を、そして最下段には割れを抽出した画像を元の柱の位置に全て再配置したものを図-3に示す。この具体例からは柱材端部に最も近い両木口断面には内部割れの発生が認められるが、材内部・中心部付近には内部割れがほとんど存在しないことが認められた。

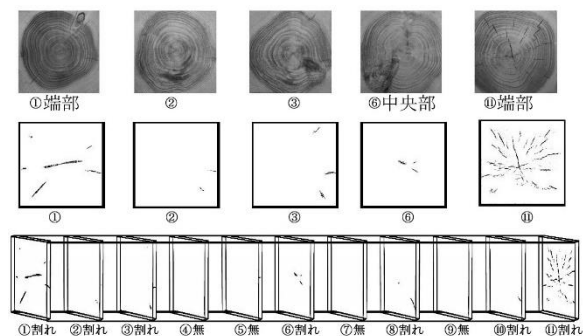


図-3. 試験 H08 における木口面画像と内部割れ分布
Fig. 3. Cross section image and internal check distribution in test H08.

同様に通常乾燥における材内部の割れについて、割れを抽出した画像を元の位置に全て再配置した具体例を図-4に示す。図-4の上段では、材両端部には内部割れが認められるが、材中央部には両端部ほどの内部割れが認められない。一方、下段では元口端部～材中央部～末口端部にわたり内部割れが連続的に生じているのもあり、このような場合、再配置した画像から判断すると内部割れが材全体を貫通している可能性が考えられる。しかし、切り出した面は不連続であり、内部を直接見ることができないため、内部割れが材全体を貫通しているかどうかについては断定できなかった。

IV まとめ

高温乾燥に伴う内部割れの発生は、乾燥条件に伴うわずき変化量が急激に大きくなる部分で起こり易いことが

明らかにされており(1)、115℃スケジュールで多数発生したが、105℃スケジュールでは顕著な割れの発生がなく、長時間115℃以上で乾燥すると内部割れの危険が生じるとの推定もなされている(3)。さらに、カラマツの場合ではあるが、120℃の乾燥では見られなかったものが、130℃の乾燥では小規模ではあるが認められている(4)。このようなことから、いずれの乾燥条件においても材両端部の木口面の状態からだけでは、材内部の割れの全容を把握することは難しいが、今回のスギの乾燥でも同様に高温セット処理温度の上昇と共に内部割れの発生が増加したものと思われる。よって、以上のことから、今回の各乾燥条件下では通常行う乾燥よりも著しく本数が少なかったが、通常の本数で行っている乾燥でも、表面割れの発生と形状等を確認しつつ、高温セット処理温度を現状より低下させることで内部割れを抑制できる可能性が示唆された。

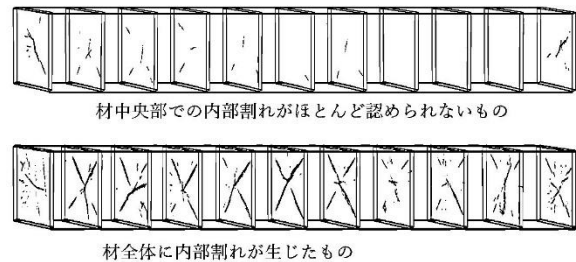


図-4. 通常乾燥における内部割れの分布

Fig. 4. Internal check distribution in commercial drying schedule.

引用文献

- (1) 植原平・綿引誠・西野吉彦・作野友康(2004) スギ正角材の高温乾燥における内部割れ抑制. 木材学会誌 **50**: 310-315
- (2) 一般社団法人日本 CLT 協会(2019) CLT 視察ツアー 2019 in 欧州報告書 <http://clta.jp/wp-content/uploads/2019/09/61b3705d79223071af7d1a11d4a63744.pdf> (2020年10月30日参照)
- (3) 三好誠治・村口良範(1998) スギ正角の高温乾燥(第1報). 愛媛県林試研報 **19**: 70-77
- (4) 吉田孝久(1996) 高温乾燥の是非を考える. 木材工業 **51**: 546-549
- (5) 吉田孝久・橋爪丈夫・武田孝志・徳本守彦・印出晃(2004) スギ心持ち無背割り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. 材料 **53**: 364-369
- (6) 林野庁(2020) 林業白書(令和元年度). <https://www.rinya.maff.go.jp/j/kikaku/hakusyo/r1hakusyo/attach/pdf/gaiyou-1.pdf> (2020年10月30日参照)