

## 人工乾燥による材面割れが曲げ強度に及ぼす影響 ～太田川流域産スギ、ヒノキ正角材の乾燥及び強度特性について～

山 本 学

山本 学：人工乾燥による材面割れが曲げ強度に及ぼす影響～太田川流域産スギ、ヒノキ正角材の乾燥及び強度特性について～、広島県林技セ研報31：39～44，1999。最近，建築基準法の改正が行われ，仕様規定から性能規定へ移行された。そのため，広島県の地域材について乾燥及び強度特性を把握する目的で，平成9年度に「太田川流域産材の乾燥特性と強度評価」事業を行った。その結果，人工乾燥中に発生する材面割れによって，スギ，ヒノキ正角材の曲げ強度に次のような影響を及ぼすことが明らかになった。

- (1) スギ，ヒノキ正角材とも，乾燥によって割れる材は，割れない材より強い。
- (2) 乾燥による割れは，比重よりも曲げヤング率に影響を受けやすい。
- (3) 曲げ試験時の荷重方向に対する割れの発生方向は，スギ正角材の曲げ強度には影響を及ぼさなかった。しかし，荷重方向に対して横方向に発生したヒノキ正角材の曲げ強度は，JAS等級が低くなるにつれ弱くなった。

[キーワード]

人工乾燥，材面割れ，曲げ強度

### 1. はじめに

広島県の木材流通の過程で，地域材の強度等の材料性能については十分に検討がされておらず，製材品についても等級区分は化粧面としてのものが主体であり，こうした状況のもと多方面にわたる利用開発がされていないのが現状である。

その他，阪神大震災以降，住宅建築において，寸法安定効果や強度性能向上効果及び施工後のクレーム対策として，住宅部材の乾燥が注目を集めてきているとともに，強度性能が明確に把握できる工業製品のような木材の供給が求められている。

また，建築基準法の改正に伴って，材料や外形寸法等による仕様規定から，材料や外形寸法等による規格のほか，強度や耐朽性等の性能を指定した性能規定に移行されつつある。このため，今後地域材のブランド化を進めるうえでも，その地域から出材される保育過程での間伐小径材や主伐柱口材・中目材について，乾燥特性や強度特性を把握しておく必要がある。

そこで，平成9年度に太田川流域産のスギ，ヒノキ，アカマツを対象として，日本農林規格に基づいた断面形状別の乾燥スケジュールを開発し，それぞれの強度性能を明らかにすることにより用途拡大を図ることを目的として，住宅資材性能規定化対策事業，「太田川流域産材

の乾燥特性と強度評価」事業を行った。

事業報告書<sup>3)</sup>では，乾燥によって割れの入った材料は一見弱そうに見えるが，必ずしも弱くない。むしろ乾燥によって割れる材は強いと位置付けた。その原因として，一般的に乾燥によって割れやすい材は乾燥によってよく縮みやすい材であり，乾燥によってよく縮みやすい材は比重の大きい材であり，比重の大きい材は強度的に優れていると結論づけた。しかし，割れは繊維間に分離面を形成して応力分布を不規則にし，かつ抵抗面積を縮小するので，曲げ強度等を減少させる。とくに，曲げの場合にはせん断応力が最も強く生じる中立面に割れが存在する場合，その影響は最も著しいとの報告例<sup>2)</sup>もある。そのため，事業報告書とは別に詳しくデータを解析し，スギ，ヒノキ正角材を中心として乾燥割れと強度の関係をまとめることとした。

乾燥割れと強度の関係をまとめるにあたり，乾燥による割れをどのように定量化するか検討した。干割れ面積や干割れ率といった報告例<sup>1)</sup>についても検討したが，本報告を利用する現場（製材，乾燥，建築など）において，複雑な定量方法であれば混乱が生じる。そこで，単純定量化するため4材面に生じた材面割れの中で最大の割れ幅を，その材の割れ量として評価した。

## 2. 試験方法

### 2.1 試験材

スギ、ヒノキ正角材の寸法は、幅10.5×厚さ10.5×長さ300cmとした。試験材数は「構造用木材の材料強度に関する評価基準」(財団法人日本住宅・木材技術センター報告書)に基づいて設定した。当初の計画では、スギ、ヒノキ正角材とも、「針葉樹の構造用製材の日本農林規格」の乙種構造材の目視等級区分に基づいて、1級・2級・3級それぞれ33本ずつ計99本用意する予定であった。

しかし、当センターでの材面欠点調査をもとに、再び等級区分した結果、スギは1級が45本、2級が31本、3級が14本となった。ヒノキは1級が43本、2級が37本、3級が10本となった。

### 2.2 乾燥スケジュールの設定

スギ及びヒノキ正角材の乾燥スケジュールを表1のように設定した。

スギ材は過去の研究成果<sup>4)</sup>から、乾燥温度を高くすれば高くするほど乾燥速度が速くなり、乾燥割れも発生しにくいことが分かっている。また、現場に一般に普及している木材乾燥機で制御でき得る最高温度は80℃位のため、スギ材の乾燥条件を80℃に設定した。ヒノキ材は乾燥温度を60℃以上にするとヒノキ材特有の油分が蒸発するため、最高温度条件を60℃に設定した。このように設定した乾燥スケジュールに基づいて、実大材の乾燥試験を行った。

### 2.3 曲げ強度試験

乾燥試験終了後、スパン189cmの3等分4点荷重方式で曲げ強度試験を行った。試験材のJAS等級を決定す

る節等の欠点を支点間内に位置させ、荷重をかける面は無作為とした。荷重は荷重点の移動速度がほぼ一定となるように加え、破壊荷重に達するまでの時間が3分程度となるように試験を行った。

## 3. 結果と考察

### 3.1 材面割れ幅が曲げ強度に及ぼす影響

スギ正角材における各JAS等級区分ごとの人工乾燥による材面割れ幅が曲げ強度に及ぼす影響を表2～4に示す。4材面に発生した割れ幅の最大値を、その材料の最大割れ幅として曲げ強度に及ぼす影響を評価した。なお、材面割れの影響評価を分かりやすくするために、最大割れ幅が0(割れなかった材)、最大割れ幅が2mm以上3mm未満(割れがほどほどに発生した材)、最大割れ幅が5mm以上(割れがかなり発生した材)の3区分による影響評価を行った。

表2～4での結果から、人工乾燥によって割れる材は曲げ強度の高いことが分かった。事業報告書<sup>3)</sup>では、その原因として、一般的に乾燥によって割れやすい材は乾燥によってよく縮みやすい材であり、乾燥によってよく縮みやすい材は比重の大きい材であり、比重の大きい材は強度的に優れていると結論づけた。しかし、表2～4を見ると、確かに最大割れ幅の大きい材は比重が大きい傾向にあるが、そこまで乾燥割れに影響を及ぼしているとは思えない。それよりも乾燥割れの小さい材料はよく曲がり、乾燥割れの大きい材料はあまり曲がらないという、乾燥割れと曲がりの反比例の関係が明らかになった。このことから、乾燥による応力が発生した場合、応力を緩和する方向として、割れにくい材は細胞が変形して対応する。それに対して割れやすい材は細胞が収縮して対

表1 乾燥スケジュール (10.5cm角材)

ス		ギ		ヒ		ノ		キ	
含水率範囲 (%)	乾燥時間 (時)	乾燥温度 (℃)	湿球温度 (℃)	含水率範囲 (%)	乾燥時間 (時)	乾燥温度 (℃)	湿球温度 (℃)	含水率範囲 (%)	乾燥時間 (時)
蒸煮処理	0～11 (11)	80.0	80.0						
生	11～38 (27)	80.0	77.5						
60～50	38～72 (34)	80.0	76.0						
50～45	72～108 (36)	80.0	75.0						
45～40	108～144 (36)	80.0	74.0						
40～35	144～183 (39)	80.0	73.0						
35～30	183～231 (48)	80.0	71.5	生～30	0～19	50.0	46.5		
30～25	231～279 (48)	80.0	70.0	30～25	19～40 (11)	55.0	47.0		
25～	279～336 (57)	80.0	69.0	25～	40～72 (32)	60.0	49.0		
冷却	336～357 (15)	乾燥機ストップ		冷却	72～87 (15)	乾燥機ストップ			

注) 仕上げ含水率はJASで規定されているD20(含水率20%以下)とした。

表2 最大割れ幅が曲げ強度に及ぼす影響(スギJAS1級)

割れ幅区分	0(割れなし)	2mm以上3mm未満	5mm以上
試験材数(体)	16	7	7
比重(g/cm <sup>3</sup> )	0.41	0.42	0.41
曲がり(mm)	8.1	6.4	4.3
曲げヤング率(tf/cm <sup>2</sup> )	65.4	73.7	79.5
曲げ強度(kgf/cm <sup>2</sup> )	367.5	415.8	444.2

注1) 表中の値は平均値を示す。

注2) 曲がりの値は、材の長さ方向に発生する反りが材中央部で何mmあるかを示す。

表3 最大割れ幅が曲げ強度に及ぼす影響(スギJAS2級)

割れ幅区分	0(割れなし)	2mm以上3mm未満	5mm以上
試験材数(体)	15	5	4
比重(g/cm <sup>3</sup> )	0.42	0.44	0.45
曲がり(mm)	5.6	6.1	5.6
曲げヤング率(tf/cm <sup>2</sup> )	67.6	75.9	80.9
曲げ強度(kgf/cm <sup>2</sup> )	358.5	397.7	427.5

注1) 表中の値は平均値を示す。

注2) 曲がりの値は、材の長さ方向に発生する反りが材中央部で何mmあるかを示す。

表4 最大割れ幅が曲げ強度に及ぼす影響(スギJAS3級)

割れ幅区分	0(割れなし)	2mm以上3mm未満	5mm以上
試験材数(体)	3	1	3
比重(g/cm <sup>3</sup> )	0.40	0.43	0.46
曲がり(mm)	10.7	5.0	5.2
曲げヤング率(tf/cm <sup>2</sup> )	66.2	69.5	71.5
曲げ強度(kgf/cm <sup>2</sup> )	327.6	362.7	380.4

注1) 表中の値は平均値を示す。

注2) 曲がりの値は、材の長さ方向に発生する反りが材中央部で何mmあるかを示す。

応ずると考えられる。よって、木材細胞の変形の難易が乾燥割れに影響を及ぼしていると思われる。木材細胞が変形しやすいということは曲げヤング率が低いことにつながり、木材細胞が変形しにくいということは曲げヤング率が高いことにつながる。すなわち、曲げヤング率は木材の曲げ強度を非破壊的に知るうえで、最も相関の高い値であるため、木材細胞の変形の難易が曲げ強度にも影響を及ぼしていると結論づけられる。このことは表2~4の曲げヤング率と曲げ強度のデータからも裏付けられる。割れる材が強いということは、あくまでも通常の乾燥方法によって生じた割れのみで、意図的に乾燥割れを発生させた場合はこの限りでない。

次に、ヒノキ正角材における各JAS等級区分ごとの人工乾燥による材面割れ幅が曲げ強度に及ぼす影響を表5~7に示す。スギ正角材と同様、4材面に発生した割れ幅の最大値を、その材料の最大割れ幅として曲げ強度に及ぼす影響を評価した。なお、ヒノキ正角材においては乾燥割れのない材料がほとんど無かったので、材面割

れの大きさが曲げ強度にどのように影響を及ぼすかわかりやすくするために、最大割れ幅が2mm以上3mm未満、3mm以上4mm未満、4mm以上5mm未満、最大割れ幅が5mm以上の4区分による影響評価を行った。

表5~7での結果から、人工乾燥によって割れる材は強く、また、乾燥割れ幅が大きければ大きいほど曲げ強度も強くなることが分かった。事業報告書では、その原因として、一般的に乾燥によって割れやすい材は乾燥によってよく縮みやすい材であり、乾燥によってよく縮みやすい材は比重の大きい材であり、比重の大きい材は強度的に優れていると結論づけた。しかし、ヒノキ材はスギ材以上に最大割れ幅と比重の関係が不明瞭な結果となった。それよりもスギと同様、乾燥割れの大きい材料はあまり曲がらない、曲がらない材は木材細胞が変形しにくい。木材細胞が変形しにくい材は曲げヤング率が高い。曲げヤング率が高い材は曲げ強度も大きいと結論づけられた。このことは表5~7の曲げヤング率と曲げ強度のデータからも裏付けられる。割れる材が強いというこ

表5 最大割れ幅が曲げ強度に及ぼす影響(ヒノキJAS1級)

割れ区分	2mm以上3mm未満	3~4	4~5	5mm以上
試験材数(体)	4	21	13	4
比重(g/cmf)	0.51	0.54	0.52	0.53
曲がり(mm)	3.8	2.2	2.1	0.5
曲げヤング率(tf/cmf)	99.2	101.1	110.2	115.0
曲げ強度(kgf/cmf)	591.2	586.4	642.9	633.0

注1) 表中の値は平均値を示す。

注2) 曲がりの値は、材の長さ方向に発生する反りが材中央部で何mmあるかを示す。

表6 最大割れ幅が曲げ強度に及ぼす影響(ヒノキJAS2級)

割れ幅区分	2mm以上3mm未満	3~4	4~5	5mm以上
試験材数(体)	6	15	14	2
比重(g/cmf)	0.56	0.55	0.53	0.59
曲がり(mm)	1.8	1.9	0.7	0.3
曲げヤング率(tf/cmf)	94.3	96.4	104.2	117.9
曲げ強度(kgf/cmf)	562.3	544.6	607.3	737.2

注1) 表中の値は平均値を示す。

注2) 曲がりの値は、材の長さ方向に発生する反りが材中央部で何mmあるかを示す。

表7 最大割れ幅が曲げ強度に及ぼす影響(ヒノキJAS3級)

割れ幅区分	2mm以上3mm未満	3~4	4~5	5mm以上
試験材数(体)	1	6	3	なし
比重(g/cmf)	0.48	0.55	0.52	-
曲がり(mm)	0.0	0.5	1.3	-
曲げヤング率(tf/cmf)	103.9	96.0	99.9	-
曲げ強度(kgf/cmf)	573.3	516.8	541.6	-

注1) 表中の値は平均値を示す。

注2) 曲がりの値は、材の長さ方向に発生する反りが材中央部で何mmあるかを示す。

とは、あくまでも通常の乾燥方法によって生じた割れのみで、意図的に乾燥割れを発生させた場合はこの限りでない。

人工乾燥によって割れる材は強いという傾向は、表2~7のように同一樹種間で認められたが、スギ及びヒノキ正角材の傾向から、他樹種間でも認められることが分かった。すなわち、スギ正角材はあまり割れなかったが、よく曲がり、曲げヤング率及び曲げ強度とも弱かった。ヒノキ正角材はかなり割れたが、あまり曲がらず、曲げヤング率及び曲げ強度ともスギに比べかなり強かった。

### 3.2 荷重方向に対する乾燥割れの発生方向が曲げ強度に及ぼす影響

荷重方向に対する乾燥割れの発生方向が曲げ強度に及ぼす影響を、スギ正角材については表8に示し、ヒノキ正角材については表9に示す。乾燥割れの発生方向が曲げ強度に及ぼす影響評価については、曲げ試験時の荷重点間に割れが発生しているものだけを対象としてまとめ

た。表中の「なし」、「縦」、「横」とは、荷重方向に対する乾燥割れの発生方向を表している。「なし」とは、曲げ試験時の荷重点間に割れが発生しなかった材料のことである。「縦」とは、木口断面から見て荷重方向と平行、すなわち縦方向(上下方向)に割れが発生した材料のことである。「横」とは、木口断面から見て荷重方向と垂直、すなわち横方向(左右方向)に割れが発生した材料のことである。なお、縦方向と横方向に割れが同時に発生した場合は、横方向の乾燥割れとして評価した。スギ正角材については、乾燥割れの発生方向による曲げ強度の違いは認められなかった(JAS2級材において、縦方向に乾燥割れが発生した材料の曲げ強度がかなり強く評価されているが、試験材数が1体のため、他の材と簡単に比較できなかった)。スギ正角材では、乾燥割れの発生度合いが小さかったため、荷重方向に対する乾燥割れの発生方向が曲げ強度に影響を及ぼさなかったものと考えられる。ただし、ここでも割れる材は、割れない材に比べ強かった。

表8 荷重方向に対する乾燥割れの発生方向が曲げ強度に及ぼす影響 (スギ正角材)

JAS 等級	試験材数(体)			曲げヤング率 (tf/cm <sup>2</sup> )			曲げ強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )		
	なし	縦	横	なし	縦	横	なし	縦	横
1	31	8	6	71.4	84.9	84.8	394.9	441.9	448.5
2	24	1	6	69.5	90.3	78.8	370.5	510.3	386.5
3	9	3	2	67.5	70.6	83.1	356.7	396.9	433.9

注) なし、縦、横とは、荷重方向に対する乾燥割れの発生方向を表している。なしとは、割れが発生しなかった材料のこと。縦とは、木口断面から見て荷重方向と平行、すなわち縦方向(上下方向)に割れが発生した材料のこと。

横とは、木口断面から見て荷重方向と垂直、すなわち横方向(左右方向)に割れが発生した材料のこと。なお、表中の値は平均値を示す。

表9 荷重方向に対する乾燥割れの発生方向が曲げ強度に及ぼす影響 (ヒノキ正角材)

JAS 等級	試験材数(体)			曲げヤング率 (tf/cm <sup>2</sup> )			曲げ強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )		
	なし	縦	横	なし	縦	横	なし	縦	横
1	6	15	22	94.6	105.9	106.0	516.9	598.7	628.0
2	4	15	18	94.9	102.3	99.4	606.9	585.7	572.5
3	0	4	6	—	101.0	95.9	—	575.1	499.7

注) なし、縦、横とは、荷重方向に対する乾燥割れの発生方向を表している。なしとは、割れが発生しなかった材料のこと。縦とは、木口断面から見て荷重方向と平行、すなわち縦方向(上下方向)に割れが発生した材料のこと。

横とは、木口断面から見て荷重方向と垂直、すなわち横方向(左右方向)に割れが発生した材料のこと。なお、表中の値は平均値を示す。

ヒノキ正角材については、荷重方向に対して乾燥割れが横方向に発生した材料は、荷重方向に対して乾燥割れが縦方向に発生した材料に比べ、JAS等級が低くなるにつれ曲げヤング率及び曲げ強度が弱くなった。これは、JAS等級が低くなればなるほど節の出現度合いが多くなり、その影響で材面割れが長さ方向に連続して発生するようになり、基本的に割れは材面の中央部分に発生するため、荷重方向に対して横方向となる面の中央部分は、曲げ試験によって生じるせん断応力が最大になっている部分だからだと考えられる。ただし、ここでも割れる材は、割れない材に比べ強かった。ヒノキ正角材においてのみこのような結果になった理由として、3.1項で記したように、スギに比べ、ヒノキの方がかなり比重と曲げヤング率が高く、木材細胞が変形しにくかったために、ヒノキの方が割れが発生しやすい状況にあった。よって、ヒノキの方がより乾燥割れの影響を受けやすかったためだと考えられる。

#### 4. まとめ

最後に以上の結果をまとめると、スギ、ヒノキ正角材とも、人工乾燥によって割れる材は、割れない材に比べ強いことが分かった。また、乾燥による割れは比重よりも曲げヤング率に影響を受けやすいことが分かった。すなわち、割れやすい材は曲げヤング率と曲げ強度が高く、

住宅部材としては、曲げヤング率が高いことで死荷重や動的な振動に対するたわみ量が少なく、曲げ強度が高いことで地震などにも有利であることから、割れやすい材は構造部材として非常に適していることが示唆された。このことと性能規定化へ進む建築基準法により、製材加工現場では割れを気にせずもっと積極的に乾燥に取り組むべきであり、消費者も割れた材料はよく乾いて強いと割り切るべきだと提案したい。ただし、荷重方向に対して横方向に発生した乾燥割れが曲げ強度に及ぼす影響は、いくら割れない材よりも強いといっても、割れやすい材ほど曲げ強度が低下する傾向があるので、割れた材料を住宅用の横架材として使用するときは、割れの発生方向を荷重方向に対して縦方向に配置して使用することを提案したい。

#### 5. 引用文献

- 1) 荒武志朗(1996) 構造材の干割れと力学的性質。(木材工業Vol.51, No.11). 508~511.
- 2) 梶田 茂(1961) 木材の強さ。(木材工学. 梶田 茂編, 883pp, 養賢堂, 東京). 222.
- 3) 広島県林務部(1998) 住宅資材性能規定化対策事業, 「太田川流域産材の乾燥特性と強度評価」, 32pp, 広島.
- 4) 山本 学(1998) スギ材の乾燥方法の改善。(広島県立林業技術センター研究報告第30号). 33~37.

## The effect of bend strength that was exerted by the kiln drying crack.

~Kiln drying properties and strength properties of Japanese cedar and Japanese cypress square timbers that were produced at the basin of the Ota River.~

YAMAMOTO Manabu

### Summary

Recently, architectural standard law was changed the method regulation to the ability regulation. So, in1998, [Kiln drying properties and strength valuation of the timber that were produced at the basin of the Ota River] work was had done for the purpose of grasping kiln drying properties and strength properties about local timber at Hiroshima prefecture. In result, the following on the effect of Japanese cedar and Japanese cypress square timbers' bend strength that was exerted by the kiln drying crack were revealed:

- (1) The timber cracked by kiln drying was stronger than the timber that was not cracked by kiln drying.
- (2) The kiln drying crack was influenced by Young' s modulus in bending than specific gravity.
- (3) Japanese cedar square timbers' bend strength was not exerted by the crack direction for the load direction in bending test. But, Japanese cypress square timbers' bend strength that was influenced by sideway crack for the load direction in bending test was weak as the JAS grading became worst.