

人工乾燥温度が曲げ強度に及ぼす影響 ～太田川流域産スギ、アカマツ平角材の乾燥及び強度特性について～

山 本 学

山本 学：人工乾燥温度が曲げ強度に及ぼす影響～太田川流域産スギ、アカマツ平角材の乾燥及び強度特性について～、広島県林技セ研報31：33～38，1999。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，広島県の地域産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，人工乾燥温度を80℃から100℃以上に上昇させることによって，スギ，アカマツ平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) スギ平角材はJASの等級にかかわらず，乾燥温度の上昇によって，比例限度強度が低下すると共に，曲げ強度も低下し，更に破壊断面も材のもろさを示す形状となった。
- (2) アカマツ平角材ではJAS等級が低くなるほど，比例限度強度が低下すると共に，曲げ強度も低下し，スギ同様に材のもろさを示す破壊形状となった。

[キーワード]

人工乾燥温度，曲げ強度，もろさ

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。

事業実施にあたって，スギ，アカマツ平角材の試験材

数を，強度試験に必要な本数として99本（9 m³）に設定した。当センターに設置してある人工乾燥機は，平角材の材積で4.5 m³しか乾燥できないため，9 m³人工乾燥しようとするとき，2回乾燥機を動かさなければならない。そこで，人工乾燥条件を1回転目は現場での対応が可能な中温乾燥（乾燥温度80℃）とし，2回転目は最近針葉樹構造材の高速乾燥として注目をあびている高温乾燥（乾燥温度100～110℃）として，乾燥試験を行った。乾燥試験終了後，引き続き曲げ強度試験を行った。曲げ強度試験実施中に高温で乾燥した材料が，中温で乾燥した材料に比べ，もろく（脆弱に）破壊する傾向がみられた。

2. 試験方法

2.1 試験材

スギ，アカマツ平角材の寸法は，幅10.5×厚さ21×長さ400cm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，アカマツ平角材とも，「針葉樹の構造用製材の日本農林規格」の甲種構造材構造用Ⅱ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，表1のようになった。スギ，アカマツ平角材とも試験材99本のうち，49本を中温乾燥

表1 試験材

JAS等級	スギ平角材(本)			アカマツ平角材(本)		
	中温乾燥	高温乾燥	小計	中温乾燥	高温乾燥	小計
1級	14	20	34	11	9	20
2級	24	17	41	20	21	41
3級	9	10	19	15	16	31
格 外	2	3	5	3	4	7
合 計	49	50	99	49	50	99

注) JAS等級については、針葉樹の構造用製材のJASにおける甲種構造材構造用IIを適用した。

表2 スギ10.5×21cm平角材の乾燥スケジュール

含水率範囲 (%)	中 温 乾 燥			高 温 乾 燥		
	乾燥時間 (時)	乾燥温度 (℃)	湿球温度 (℃)	乾燥時間 (時)	乾燥温度 (℃)	湿球温度 (℃)
蒸煮処理	0~12 (12)	80.0	80.0	0~13 (13)	98.0	98.0
生~70	12~95 (83)	80.0	78.0	13~95 (82)	100.0	97.0
70~60	95~120 (25)	80.0	77.5	95~122 (27)	100.0	96.5
60~50	120~168 (48)	80.0	76.5	122~151 (29)	100.0	95.5
50~45	168~210 (42)	80.0	75.5	151~166 (15)	100.0	94.5
45~40	210~267 (57)	80.0	75.0	166~182 (16)	100.0	94.0
40~35	267~330 (63)	80.0	74.0	182~201 (19)	100.0	93.0
35~30	330~402 (72)	80.0	73.0	201~221 (20)	105.0	96.0
30~25	402~474 (72)	80.0	72.0	221~241 (20)	105.0	95.0
25~	474~554 (80)	80.0	71.0	241~262 (21)	108.0	97.0
冷却	554~570 (16)	乾燥機ストップ		262~277 (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3 アカマツ10.5×21cm平角材の乾燥スケジュール

含水率範囲 (%)	中 温 乾 燥			高 温 乾 燥		
	乾燥時間 (時)	乾燥温度 (℃)	湿球温度 (℃)	乾燥時間 (時)	乾燥温度 (℃)	湿球温度 (℃)
蒸煮処理	0~14 (14)	80.0	80.0	0~14 (14)	98.0	98.0
生~40	14~27 (13)	80.0	76.0	14~29 (15)	100.0	97.0
40~35	27~37 (10)	80.0	75.0	29~35 (6)	100.0	96.0
35~30	37~51 (14)	80.0	73.0	35~42 (7)	100.0	94.0
30~25	51~86 (35)	80.0	71.0	42~51 (9)	104.0	94.0
25~	86~118 (32)	80.0	69.0	51~62 (11)	110.0	98.0
冷却	118~134 (16)	乾燥機ストップ		62~77 (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。

試験に、残り50本を高温乾燥試験に使用した。

2.2 乾燥スケジュールの設定

スギ平角材の乾燥スケジュールを表2に、アカマツ平角材の乾燥スケジュールを表3に示す。

スギ材は過去の研究成果⁹⁾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、スギ材の中温乾燥条件を80℃に設定した。また、最

近針葉樹構造材の高速乾燥法として高温乾燥が目目をあびているため、湿度制御が可能な範囲で一番高温となるように高温乾燥条件を100~108℃に設定し、中温乾燥状況と比較した。アカマツ材においても、乾燥温度が高いほどヤニ抜きと乾燥速度促進に有利なことから、中温乾燥条件を80℃に設定した。スギ材と同様、アカマツ材でも高温乾燥条件を100~110℃に設定し、中温乾燥状況と比較した。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。

表4 スギ10.5×21cm平角材の強度試験結果

JAS等級	最大たわみ (mm)			曲げヤング率 (tf/cm ²)			曲げ強度 (kgf/cm ²)			比例限強度 (kgf/cm ²)			比例限比 (%)		
	中温乾燥	高温乾燥	増減比	中温乾燥	高温乾燥	増減比	中温乾燥	高温乾燥	増減比	中温乾燥	高温乾燥	増減比	中温乾燥	高温乾燥	増減比
1 級	86.4	74.6	86.3	80.6	79.4	98.5	431.9	359.3	83.2	345.3	299.3	86.7	80.6	83.7	103.8
2 級	79.8	70.5	88.3	78.3	79.2	101.1	393.6	333.9	84.8	309.5	269.0	86.9	79.0	80.9	102.4
3 級	83.8	76.2	90.9	91.5	77.0	84.2	460.1	346.8	75.4	350.4	276.6	78.9	75.3	80.1	106.4
格 外	74.5	56.3	75.5	69.8	77.1	110.5	323.4	266.1	82.3	302.6	226.9	75.0	94.0	83.0	88.3

注1) 表中の値は平均値を示す。

注2) 比例限比=比例限強度/曲げ強度×100 (%)

注3) 増減比=高温乾燥の値/中温乾燥の値×100 (%)

表5 アカマツ10.5×21cm平角材の強度試験結果

JAS等級	最大たわみ (mm)			曲げヤング率 (tf/cm ²)			曲げ強度 (kgf/cm ²)			比例限強度 (kgf/cm ²)			比例限比 (%)		
	中温乾燥	高温乾燥	増減比	中温乾燥	高温乾燥	増減比	中温乾燥	高温乾燥	増減比	中温乾燥	高温乾燥	増減比	中温乾燥	高温乾燥	増減比
1 級	86.5	77.9	90.1	125.4	119.5	95.3	544.4	513.8	94.4	310.6	348.3	112.1	57.7	69.3	120.1
2 級	67.2	71.3	106.1	110.8	106.3	95.9	437.2	408.4	93.4	295.2	274.3	92.9	68.9	68.2	99.0
3 級	64.7	54.5	84.2	96.2	90.6	94.2	374.5	294.8	78.7	264.9	211.7	79.9	73.3	73.4	100.1
格 外	42.0	54.0	128.6	120.4	94.1	78.2	360.6	316.2	87.7	293.0	264.1	90.1	84.0	84.0	100.0

注1) 表中の値は平均値を示す。

注2) 比例限比=比例限強度/曲げ強度×100 (%)

注3) 増減比=高温乾燥の値/中温乾燥の値×100 (%)

2. 3 曲げ強度試験

乾燥試験終了後、スパン378cm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

スギ平角材の強度試験結果を表4に、アカマツ平角材の強度試験結果を表5に示す。なお、格外についての考察はスギ、アカマツ平角材とも試験材数が少なく、信頼性に欠けるため省略した。

スギ平角材の乾燥温度を80℃から100℃に上昇させることによって、最大たわみ量は10%前後、曲げ強度は15~25%程度、比例限強度は13~20%程度減少した。曲げヤング率は変化がなかった。ただし、3級材において曲げヤング率の減少が認められるが、1・2級の傾向と中谷ら¹⁾や山之内ら³⁾の報告から、3級材はたまたま強度分布が偏ったものと思われる。このことから、曲げヤング率の減少分を曲げ強度や比例限強度に補正をかけると、高温乾燥による曲げ強度や比例限強度の減少は90%前後

に補正できる。また、比例限比は若干高くなる傾向にあった。これらのことを整理すると、中温で乾燥した材も高温で乾燥した材も曲げ試験の際の応力-ひずみ曲線の立ち上がり時の傾きは同じ(曲げヤング率は変化なしによる)だが、乾燥温度の影響によって高温乾燥材は比例限度が低下する(比例限強度が減少による)。また比例限度を越えた後の破壊までの挙動は、熱に関係なく同じような挙動を示す(比例限比はほとんど変化なしによる)。そのため、比例限度の低下につられて高温乾燥材は曲げ強度も低下すると考察できる。すなわち、比例限度が低下するということは、材料に荷重を加えた後、その荷重を取り除いても元の状態に戻る荷重範囲が狭くなることであるから、高温で乾燥した材はもろくなったと判断できる。その他、曲げ試験破壊時に、高温で乾燥した材は真二つに破壊される割合が多くなったことも、材料がもろくなったことを肯定できる。

アカマツ平角材については、若干減少傾向にある曲げヤング率を除いて、乾燥温度を80℃から100℃に上昇させることによる傾向は、1級材(良質材)と2・3級材(並材)で違いがあった。1級材では最大たわみ量が10%、曲げ強度が5%減少した。それに対して比例限強度は12%、比例限比は20%増加した。2・3級材は最大たわみ量、曲げ強度、比例限強度は等級が低くなるにつれ

て減少割合が大きくなった。比例限比については変化がなかった。これらのことを整理すると、アカマツ平角材において、高温で乾燥した材は中温で乾燥した材に比べ、曲げ試験の際の応力-ひずみ曲線の立ち上がり時の傾きが若干小さくなる（曲げヤング率は若干減少傾向による）が、乾燥温度の影響によって、高温乾燥材は曲げヤング率減少割合以上に、等級が低くなればなるほど曲げ強度、比例限強度の減少割合が大きくなり、最大たわみ量も同様に等級が低くなればなるほど小さくなると考察できる。すなわち、アカマツ平角材は等級が低くなればなるほど、熱によるもろさが増加すると判断できる。その他、曲げ試験破壊時に、高温で乾燥した材は等級が低くなるにつれて歯切れの悪い音とともに真二つに破壊される割合が多くなったことも、材料が等級が低くなるにつれもろくなることを肯定できる。

高温で乾燥した材料がもろくなる理由として、高温によりリグニンが軟化し変質したために、特に節の近辺における繊維が乱れたり、繊維の長さが短くなった部分の繊維の結合力が弱まった結果起こるものと推測される。そのため、アカマツ平角材では、等級が低くなればなるほど、大きく集中した輪生節の出現確立が高くなり、その分繊維の乱れや短縮化が起こりやすくなり、等級が低くなるにつれ乾燥温度の影響を受けやすくなって、材料もそれに合わせてもろくなると説明付けられる。

4. まとめ

人工乾燥温度を80℃から100℃以上に上昇させることによって、材料がもろくなることが分かった。よって、人工乾燥条件を設定するにあたり、乾燥速度促進効果、割れ防止効果及び低コスト化だけで乾燥温度条件を決定することは、非常に危険であることが示唆された。

その他、本報告には直接関係ないが、今回の結果をまとめることで、今後出材状況が増加すると予想されるスギ中目材を横架材として十分利用できる結論付けられた。その理由として次のことがあげられる。

(1) 「太田川流域産材の乾燥特性と強度評価」事業報告書²⁾から、アカマツ材はJAS1級のような良質材は、確かにスギに比べ強度的に優れている。しかし、JAS2・3級のような並材は、建設省が設定している許容応力度も考慮に入れると、スギ材の方が強度的に優れている。また、スギ材はアカマツ材に比べ比重が軽い。事業報告書から、スギ平角材とアカマツ平角材の乾燥後の重量を比較すると、スギ材が約35kg、アカマツ材が約50kgとなり、スギ材の方がはるかに軽く、加工性及び現場での作

業性の面で非常に有利である。

(2) 松くい虫や山の手入れ不足などから良質なアカマツ材の安定供給が難しくなっている。それとともに、アカマツ材はスギ材に比べ、通常に材料を製材しても、1級材の出現割合が低い。なぜなら、事業計画当初試験材数を1級、2級、3級それぞれ33本ずつ予定していたが、実際に製材して欠点調査による等級区分をしてみると、表1から分かるように、スギ平角材が1級34本、2級41本、3級19本、格外5本となり、アカマツ平角材は1級20本、2級41本、3級31本、格外7本となった。すなわち、アカマツ材は大きく集中して出てくる輪生節の影響で、1級を33本用意しようとして製材してもそのうち20本しか1級にならなかったことになる。

(3) 表4及び5から、アカマツ材はスギ材に比べ曲げヤング率が高い。しかし、スギ材はアカマツ材に比べ、JAS1級材の曲げ強度は劣るものの、比例限強度はすべての等級で優れている。このことは、梁や桁等の住宅用構造部材としてスギ、アカマツ平角材を使用した場合、アカマツ材の方が曲げヤング率が高いため、その材料に2階重量や屋根重量等の死荷重を載せたときのたわみ量や、人間が家の中を移動したりするときの振動時のたわみ量は少ない。一方で、スギ材の方がすべての等級で比例限強度が強いため、地震時などの激しい荷重に対しては持ちこたえる能力がある。なぜなら、材料に荷重をかけていき、いったん比例限度をこえると、その時の荷重を取り除いても、材料的には破壊が進んでおり、残留変形が残り、元通りには戻らないためである。すなわち、地震などの非常時にはスギ材の方が有利であり、九州地方で実際にスギを横架材として使用していることなどからみても、アカマツ平角材に充分代替が可能であると考えられる。

6. 引用文献

- 1) 中谷 浩・坂井正孝・橋本 彰(1998)シベリア産アカマツの実大強度性能。(第48回日本木材学会大会研究発表要旨集)。112。
- 2) 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。
- 3) 山之内清竜・函師朋弘・福留重人(1998)鹿児島県スギ材の乾燥温度別強度性能。(第48回日本木材学会大会研究発表要旨集)。584。
- 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 temperature

~Kiln drying properties and strength properties of Japanese cedar and Japanese red pine flat 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, in 1998, [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 red pine flat square timbers' bend strength that was exerted by rising the kiln drying temperature from 80℃ to 100℃ were revealed:

- (1) Japanese cedar flat square timbers became fragile with constant rate regardless of the JAS grading.
- (2) Japanese red pine flat square timbers became more fragile as the JAS grading became worst.