

トドマツ間伐材からの正角材（２）

- 既存設備による高温乾燥の試み -

中 島 厚 山 崎 亨 史

はじめに

今後、トドマツ造林木の出材量は西暦2050～2054年ころをピークに増加の一途をたどることが統計的に予測されています¹⁾。また、予測量の径級別構成は径8～28cmのいわゆる中小径材がほとんどで、30cm上の大径材比率は将来にわたり非常に低いことも指摘されています。このような状況の中、林産試験場では在来構法の建築用材に心持ちあるいは心掛かり正角材を供給する手法を模索していますが、とりわけ心去り材に比べ困難とされる乾燥による割れ、狂いの抑制および低コスト乾燥などについて検討を行い、一般市場でも十分競合可能な商品にするための研究開発を進めています。

ここでは、乾燥コストを削減する上で有力な方法²⁾と考えられている、100以上の熱気温度を用いた高温乾燥についてこれまで実施してきたデータを中心に紹介します。古くから高温乾燥（温度80以上を含める）は、研究レベルにおいて針葉樹製材に対し特に割れ抑制の面で有利と見られてきた経緯もあり、乾燥困難な心持ちの大断面材に対しての本法に寄せる期待は全国的にも大きいものがあります。高温乾燥の最大の利点は乾燥速度が速く、生産性の面で大変有利なことです。品質の面では一般的な評価が定まっていないのが実情です。しかしながら、すでに一部では高温乾

燥装置が導入され始め、実生産を行う企業などもあり、早急な周辺整理が望まれています。

これらを踏まえ、まだ研究途上ですが、これまでの高温乾燥試験の成果をまとめてみました。

試験の概要

試験では径級16～26cmのトドマツ原木から117mmの心持ち正角材を木取り、1回の乾燥試験で計62本の試験材を用いました。なお、材長は366cmの実大寸法です。また、試験材62本の内、半数を背割り材としました。これらを1段ごとに交互に積みし、一般的な無背割り材の乾燥特性と比較しました。用いた乾燥装置は側部送風型のI F型蒸気式（ヒルデブランド社製、74-型、油圧式自動圧縮装置付）のもので、100以上の高い温度条件を設定するので、市販の電熱ヒータを装置内に付設しました。

温度条件は表1に示すとおり、中温（55～70）を基準のスケジュール条件とし、中高温（83～96）、高温（90～110、130、150）の計5条件です。これらの条件は、短尺材による予備実験の結果、比較的表割れが少ないと判断されたものです。3つの高温条件の具体的な操作方法は、初期蒸煮を100で約7時間実施し、その後、各設定温度になるべく速やかに上昇させ、湿球温度はそれぞれ98（温度110の高温

表1 乾燥スケジュール

含水率 (%)	中温条件	中高温条件	高温条件		
	乾球・湿球 (°C)	乾球・湿球 (°C)	乾球・湿球 (°C)	乾球・湿球 (°C)	乾球・湿球 (°C)
生材～			100・100	100・100	100・100
～40	55・53	83・80	110・98	130・85	150・97
～35	55・52	〃	〃	〃	〃
～30	55・50	89・84	〃	〃	〃
～25	62・53	94・88	〃	〃	〃
～20	65・54	96・91	〃	〃	〃
～15	70・56	96・88	95・90	96・92	95・90
調湿処理	70・64	91・89	90・88	90・88	90・88

表2 トドマツ心持ち材の含水率と狂いのデータ

含水率 (%)	初期	背割無有	中温条件	中高温条件	高温条件		
					110℃	130℃	150℃
					末期	背割無有	50.3 (13.8) 56.2 (15.4)
ねじれ角度 (度)	背割無有	4.0 (1.79) 4.6 (2.95)	3.5 (2.12) 3.3 (1.94)	2.8 (1.37) 2.9 (1.66)	3.4 (1.82) 3.6 (2.00)	2.8 (1.30) 2.5 (1.53)	
曲がり矢高 (mm)	背割無有	3.2 (1.77) 3.2 (2.57)	2.6 (1.67) 3.0 (1.71)	2.8 (1.61) 2.6 (1.69)	2.4 (1.03) 2.6 (1.59)	2.1 (1.45) 2.1 (0.96)	

注) () 内の数字は標準偏差

条件の場合), 85 (同130), 97 (同150)一定値で含水率20%以下を目標に制御を行い,最後に調湿処理を90~95で約1日実施したものです。乾燥に際しては狂い抑制のために,棧積み上部より約2kgf/cm²(総荷重約4.2t)の圧縮圧力を加えました(ただし,温度150条件のみ約4kgf/cm²)。

含水率と乾燥時間

乾燥終了後,試験材全数の含水率を全乾法によって調べましたが,すべての条件で背割り材の方が2~6%程度低い値を示しました。また,初期含水率が非常にばらついていたために,どの条件も仕上がり含水率が不均一となり,かつ仕上がり含水率が高いほどその度合が大きくなる傾向が認められました(表2)。これらのことから,初期含水率がなるべくそろった材をまとめ,仕上がり含水率を低めに設定することが含水率の均一化を図る上で大切と考えます。その他,操作的にはイコーライジング処理や乾燥材の養生を十分行うことが上げられ,いずれの場合も時間がある程度必要となります。以上のことは,乾燥材イコール品質管理の行き届いた工業材料として認められるか否かの重要な分岐路であり,安易に省略すべき工程ではありません。

乾燥時間は,目標含水率を17%前後に設定した今回の試験では,図1に示すとおり中温条件が約12日要したのに対し,中高温条件で約11日,高温条件では約4日(温度110),2.5日(温度130),約2.5日(温度150)となりましたが,仕上がり含水率など含水率範囲を中温条件にすべてそろえて補正すると,中高温で約9日,高温では約5日(温度110),約3.5日(温度130),約2.5日(温度150)と推定され,高温乾燥は中温乾燥に比べ60~80%の時間短縮が図られ

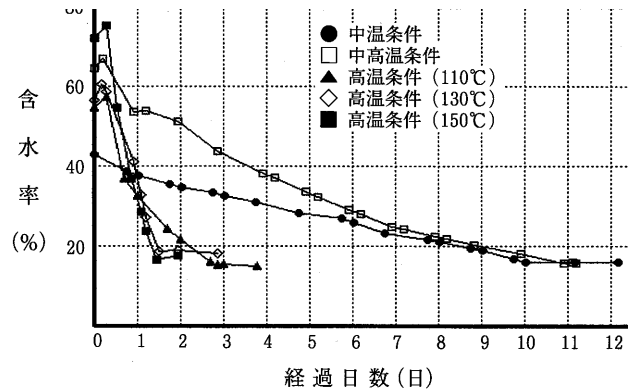


図1 乾燥経過図(サンプル材)

ています。しかし,これらはいくまで平均含水率でとらえた数字であり,含水率の均一化あるいは装置の性能などを考慮すれば必要最小限の時間と判断すべきでしょう。

狂い

乾燥による正角材の狂いの種類は,ねじれ,曲がりに分けられます。これらは,トドマツの場合,特に心去り材の場合は比較的問題は少ないものと思われます。今回行った心持ち材の場合でも,ねじれ(材長方向両端の角度差)の平均値(無背割り)は,中温条件で4.0度,高温条件が2.8~3.4度といずれも使用上の問題

表3 カラマツ材の損傷)

温度条件	ねじれ	曲がり	木口割れ	表面割れ
150℃	3.6度	2.9mm	298mm	175mm
130	3.6	3.4	141	173
60~80	5.9	3.9	1,292	5,103

注) ねじれ:材長365cm,両木口間の角度差平均
曲がり:材長365cm,中央矢高平均
木口割れ,表面割れ:材1本当たりの総割れ長さ
なお,データ数は各条件とも20本

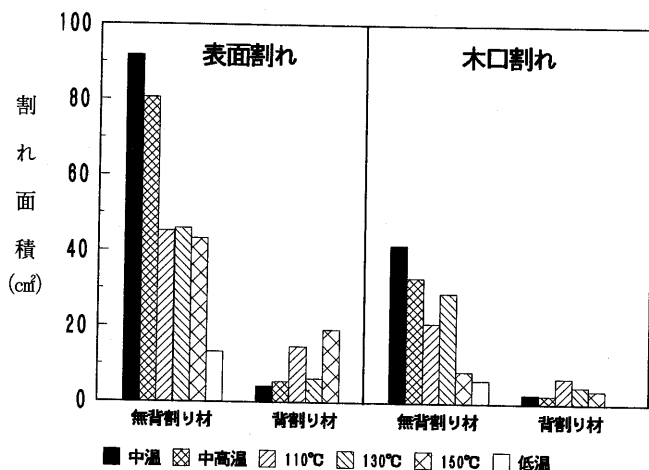


図2 乾燥温度条件別の割れ面積比較

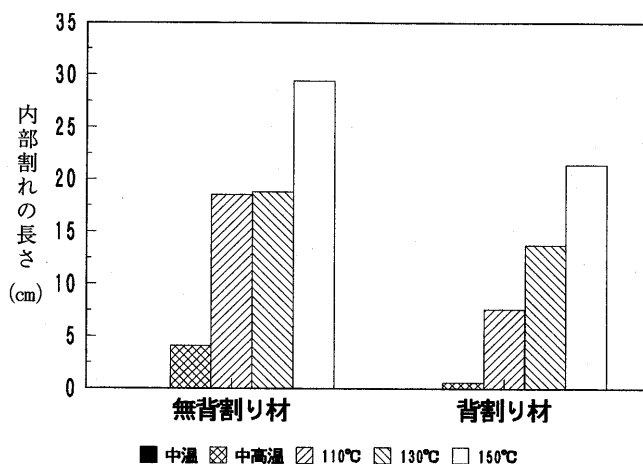


図3 乾燥温度条件別の内部割れ長さの比較

は小さいか、もしくはないものと判断されます。また、高温を与えた条件ほどねじれが少ない傾向がありました。これは既往文献³⁻⁵⁾(表3)とも一致します。さらに、曲がり(中央矢高)についても、中温条件で3.2mm、高温条件で2.1~2.8mmといずれの条件においても問題なく、乾燥温度の影響による傾向もねじれと同様でした(表2)。

割れ

カラマツ材に関する報告³⁾によれば、割れに対して高温乾燥の有効性かなり認められています(表3)。高温乾燥材の割れ長さは、中温条件に対し木口割れが約20%、表面割れが約5%の数字が示されていますので、大変な効果と言えます。

本試験においては割れの評価として、割れ長さと最大の割れ幅から割れの欠損面積を求め、その四材面合計値を算出し比較してみました。その結果、図2に示すように、背割りを入れない材では高温条件ほど、割れによる欠損発生は減少する傾向が明らかに認められます。背割り材については、背割り無しの材に比べ割れ面積がかなり小さく、乾燥条件による明らかな差は認められず、使用上の問題は少ないと思われます。しかし、本州のスギ材と違い北海道では従来から正角材に背割りを入れる風習がありません。また背割り作業の手間などを考慮すれば、一般に受け入れられるのは難しいのが現状です。したがって、トドマツ心持ち材の市場参入の可能性を探る上で、以降は無背割り材に絞って考えることにします。

図2の乾燥条件(無背割り材)の中には低温(白抜

き縦棒)が示されていますが、これは道内のある製材工場で除湿式乾燥装置によって45の低温条件で乾燥されたスプルー材(10.5cm角×30本)のデータを、一般流通材の一例として加えたものです。この低温データは、試験材の大部分が心去り材のものであり、一般流通市場で十分通用するもの(実際に建築用構造材として使用された)と判断して取り上げました。また、過去に林産試験場で行ったエゾ・トドマツ材(試験材の85%心去り材)に関する乾燥データ⁶⁾からも類似の割れ発生状況が推測されます。針葉樹の構造用製材の日本農林規格(JAS)には割れに関する規定は貫通割れ(隣接あるいは相対する互いの材面に共通する割れ)についてありますが、「不貫通の割れは干割れと称しその他の欠点として取り扱う」という記述があります。すなわち、不貫通割れ(一般には、ほとんどの割れがこれに該当する)については、取り引き上での視覚的な価値判断(例えばJASでは、軽微・顕著でない・利用上支障がない)に委ねられ、数値的な裏づけが得られない状況です。そこで、これら心去り材のデータと、今回の心持ち材による高温乾燥による割れの程度を面積で比べたところ、高温乾燥材は概ね表面割れが3倍、木口割れが1.3~4倍の発生割合となります。すなわち、心持ち材どうしの比較では高温条件の方が割れ抑制の面で優位とは言えるものの、心去り材に比べると、十分な効果は認め難いことが明らかになりました。また、背割りの有無を問わず、内部割れが高温ほど顕著に発生しました(図3)。

新たに導入した装置では、この点を考慮したスケジュール等を検討する予定です。

カラマツ材については高温乾燥による割れ抑制効果の優位性が明らかになっている今、トドマツ材への適用に向けてさらに検討を行う予定です。

変色

乾燥のため木材を加熱したとき生じる変色は熱変色と呼ばれ、材が高温にさらされる時間が長いほど褐変の程度が増大すると言われています。試験結果からも、中高温から高温条件についてはすべて濃色を呈し、表面を2mm程度削り取っても十分な解消には至りませんでした。そのため、材色を重視したい場合には、低温～中温乾燥を行う必要があります。

強度

乾燥などによる加熱処理材の強度性能については、その条件（樹種と温度および処理時間）によって異なりますが、一般的には高温、および処理時間が長くなるほど低下すると言われています。資料⁷⁾によれば温度120以下でごく短時間処理した場合、セルロースの結晶化が進み、逆に強度が増加するなどとされています。

本試験では、乾燥鉋削（105mm角）後、材長2.6m材で曲げ強度試験を全数について実施しました。その結

果を表4に示しますが、本試験の曲げ強度値は既存の値⁸⁾より高目でした。含水率がばらついているため、各条件での強度比較はできませんが、おおよその傾向は判断できます。中温条件に対する高温条件の性能比は曲げ強さについて0.85～0.92（無背割り材）、0.77～0.94（背割り材）となり、高温条件ほど低下する傾向となりました。これは高温域における加熱処理時間が長いことが一因と思われます。また、曲げヤング係数は温度130以上で約5%低い結果でした。しかしながら、これらの内で建築基準法施行令で定められているトドマツの材料強度（曲げ強さ225kgf/cm²）を下回ったものは、全体の290本中、8本（内、温度110背割り材1本、130背割り材2本、無背割り材1本、150背割り材4本）とほとんどの材が数値を大きく上回り、許容範囲内であることが分かりました。また、日本建築学会で定めている木構造設計基準では、木材の繊維方向の曲げヤング係数をトドマツ普通構造材について70tf/cm²としています。この値を下回ったものは、同じく290本中わずかに3本（温度130条件のみ）となりました。また、曲げ破壊に至るまでの仕事量についても、高温ほど低下することが分かりました（表5）。ここでは静的な曲げ強さの数値のみ取り上げましたが、縦圧縮強度についても同様の傾向が

表4 曲げ強度性能値（トドマツ心持ち材）

乾燥温度条件		中温	中高温	高温110℃	高温130℃	高温150℃
無背割り材（データ数：各29体）						
曲げヤング係数 (tf/cm ²)	平均値	95.0	95.9	95.7	89.2	90.2
	標準偏差	10.0	7.9	9.8	11.7	8.5
	最小値	77.2	77.8	76.3	56.5	76.5
	最大値	117.7	111.2	115.4	109.9	105.0
曲げ強さ (kgf/cm ²)	平均値	401.9	375.9	370.5	340.7	340.4
	標準偏差	66.3	58.6	55.6	65.9	48.5
	最小値	260.1	236.5	269.1	170.2	272.6
	最大値	538.4	468.2	468.2	447.4	513.4
含水率 (%)	平均値	17.8	17.2	23.4	23.9	15.1
背割り材（データ数：各29体）						
曲げヤング係数 (tf/cm ²)	平均値	95.5	94.9	98.4	90.4	90.7
	標準偏差	10.4	10.3	11.8	10.4	10.1
	最小値	74.3	70.8	72.9	65.0	76.9
	最大値	128.4	124.8	133.8	109.5	112.3
曲げ強さ (kgf/cm ²)	平均値	396.3	354.4	374.2	332.4	304.4
	標準偏差	80.0	63.0	79.9	69.4	64.8
	最小値	228.5	265.0	182.3	127.6	179.7
	最大値	636.8	502.3	530.8	451.7	427.7
含水率 (%)	平均値	15.3	13.4	16.9	19.8	13.2

表5 トドマツ心持ち材の曲げ破壊仕事量の比較

無背割り材：データ数29体／条件		中 温	中 高 温	高温110℃	高温130℃	高温150℃
曲げ破壊仕事量 (kg・cm)	平均値	7316.1	6575.2	6804.6	6105.2	4913.1
	標準偏差	2922.3	2961.1	2716.9	2526.5	1680.9

背割り材：データ数29体／条件		中 温	中 高 温	高温110℃	高温130℃	高温150℃
曲げ破壊仕事量 (kg・cm)	平均値	6916.5	4971.5	5744.3	5174.5	3853.1
	標準偏差	3765.5	1824.8	3070.3	2499.9	1817.3

認められています⁹⁾。

以上から、中温条件での加熱処理材に比べ強度低下は見られますが、利用上の問題はほぼないものと思われれます。また、背割りの有無と強度の関係については、無背割り材の方が背割り材に比べ性能値が上で有利と言えます。

おわりに

高温乾燥によるトドマツ心持ち正角材の狂い、強度の面では、ある程度、品質保証される結果となりました。しかしながら、無背割り材の割れや変色などについては、従来の低温～中温乾燥で行われる心去り材に比べ、視覚的なイメージの低落が多少とも認められ、これまで実施してきた高温条件ではまだ不十分とみられます。また、乾燥による収縮についてはデータのばらつきがあり一概には言えませんが、乾燥前の寸法に対して含水率20%程度まで乾燥させた場合、最大で2～2.5%の減少量を見込めば十分と思われる。ただし、背割り材については背割りの挙動による影響が上からの圧縮荷重とも関連して大きく現れ、測定位置によって大きな差が認められます。特徴の一つは、乾燥温度が高いほど背割り開きが抑えられ、背割り開き

が縮小する傾向でした。

最後に、乾燥コストについて若干触れたいと思います。表6に示すとおり、高温乾燥は従来からの乾燥方法(蒸気式・低温除湿式)に比べ、イニシャルコストがかかりますが、乾燥コストの低下が期待されます。

以上、高温乾燥技術の今後に向けた基礎的資料が得られました。引き続き、視覚的にも品質が認められる製品作りを目指し、より適正な乾燥条件を追究する必要があります。

参考資料

- 1) 林産試験場報, 9巻4号, p.42～43 (1995) .
- 2) 全国木材組合連合会：木材乾燥入門マニュアル, p.16 (1995) .
- 3) カラマツ住宅構造材開発研究会：試験報告書, 平成7年3月(1995) .
- 4) 三城昭義：木材工業, 39(4), p.177～181 (1984) .
- 5) 鷲見博史：林業試験場研究報告, No.285, p.1～28 (1976) .
- 6) 中 厚, 菅谷恵美子：林産試験場報, 6巻3号, p.11～16 (1992) .
- 7) 寺澤 真：木材乾燥のすべて, 海青社, p.626～634 (1994) .
- 8) 森泉 周：ウッドエイジ, 45巻511号, p.9～14 (1996) .
- 9) 成澤直人, 東 智則, 山崎亨史, 中 厚：日本木材学会北海道支部講演集, 第28号, p.17～19 (1996) .

(林産試験場 乾燥科, 製材科)

表6 乾燥コストについて

	蒸気式装置(中温)	低温除湿式装置	高温型蒸気式装置
設備コスト比 * 1	1 (約1,400万円)	0.7	1.3
乾燥コスト比 * 2	1 (約1万円/㎡)	0.7～0.9	0.5～0.7

- * 1：規模は収容材積14㎡, 1室, 蒸気式装置はボイラー設備込みの価格
* 2：年間330日稼働, 2310～3000㎡処理で, 設備償却費, 労務費, 補修費, エネルギー費等を勘案した場合, 仕上がり含水率約17%