

(資料)

高温乾燥したアカマツ心持ち平角材の曲げ強度試験

中嶋 康・東野 正・坂東 学*

Bending test of Japanese red pine timber dried at high temperature

Yasushi NAKASHIMA, Tadashi HIGASHINO, Manabu BANDOU

要 旨

人工乾燥時の初期の温度を100°C以上、中期から末期の温度を100°C以下とする高温乾燥方法でアカマツ心持ち平角材を乾燥した場合の、乾燥後の養生期間について検討した。さらに、高温乾燥したアカマツ平角材の曲げ強度性能について評価した。その結果、アカマツ平角材を高温乾燥後に7ヶ月間養生することで、含水率20%以下となることが確認された。また、表面割れの多寡によらず、今回の乾燥スケジュールで高温乾燥した平角材の曲げ強さが、国土交通省告示の基準強度を下回ることはなかった。

キーワード：アカマツ，高温乾燥，曲げ強さ，含水率，表面割れ

目 次

1 はじめに.....	8	3 結果と考察.....	9
2 実験方法.....	8	3.1 養生期間中の水分変化	9
2.1 供試材	8	3.1.1 含水率の変化	9
2.2 乾燥条件	8	3.1.2 水分傾斜の変化	10
2.3 含水率の測定	8	3.2 曲げ強度試験	10
2.4 水分傾斜の測定	8	3.2.1 破壊形態	10
2.5 曲げ強度試験	9	3.2.2 目視等級区分別の曲げ強さ	10
2.5.1 節と表面割れの測定	9	3.2.3 表面割れと曲げ強さ	11
2.5.2 曲げ強さ，ヤング係数	9	4 おわりに	11
		引用文献	12

1 はじめに

人工乾燥時の乾燥温度を100℃以上とする高温乾燥法は、アカマツ、カラマツ、スギなど針葉樹心持ち材を、従来の中温乾燥よりも短時間・低コストで乾燥する方法とされている^{5,10)}。その一方で、高温乾燥は木材が100℃以上の高温に長時間さらされることによる材の変色、さらに材料強度の低下が問題とされている^{1,2,6,7)}。

最近になって、高温乾燥による材の変色の抑制を目的として、初期の乾燥温度を100℃以上、中期から末期にかけて100℃以下とし、さらに乾燥終了後に材を一定期間養生させる改良型の高温乾燥方法が公表されている⁸⁾。

しかし、この高温乾燥方法をアカマツ平角材に適用した場合、乾燥後の含水率変化と養生期間との関係が明らかになっていない。さらに、高温乾燥したアカマツ平角材の曲げ強度性能を報告した事例がない。

そこで本研究は、材の変色を抑制する高温乾燥スケジュールで、含水率20%以下まで低下させたアカマツ心持ち平角材の、養生期間別の含水率および水分傾斜の変化を測定し、適正な養生期間について検討した。さらに、高温乾燥スケジュールで仕上げたアカマツ平角材の曲げ強度性能を検討した。

2 実験方法

2.1 供試材

岩手県産アカマツ丸太（末口径φ28～33cm、長さ400cm）から、135×265×4000mmの平角材を製材した。試験体数は、曲げ強度試験用を24体とし、高温乾燥中の乾燥経過測定用を1体とした。



写真-1 アカマツ平角材と蒸気式高温乾燥機

2.2 乾燥条件

写真-1に高温蒸気式乾燥機を示す。乾燥機は(株)新柴製の蒸気式乾燥機を用いた。

図-1に高温乾燥スケジュールを示す。アカマツ心持ち平角材を、乾球温度95℃、湿球温度95℃で10時間蒸煮した後、乾燥初期を乾球温度120℃、乾湿球温度差30℃で24時間、乾燥中期を乾球温度105℃、乾湿球温度差40℃で36時間、乾燥末期を乾球温度90℃、乾湿球温度差40℃差で乾燥経過測定用試験体の含水率が20%以下となるまで乾燥した。

高温乾燥中の含水率は、乾燥経過測定用試験体に水分抵抗式含水率センサーを材中40mmに打ち込み、これにより追跡した。

乾燥終了後、試験体を室内で7ヶ月間養生した。

2.3 含水率の測定

試験体の重量を乾燥前、乾燥直後、養生1ヶ月後、養生3ヶ月後、養生7ヶ月後に測定した。養生7ヶ月後に、試験体の幅と高さをモルダで120×240mmに修正挽きし、直ちに曲げ強度試験を行った後、厚さ30mmの含水率測定試片を採取し、全乾法で含水率を測定した。この含水率を養生7ヶ月後の含水率として、養生7ヶ月後の試験体の重量から平角材の全乾重量を推定した。

乾燥前、乾燥直後、養生1ヶ月後、養生3ヶ月後の平角材の重量を、推定した全乾重量で割り返して、各時点での含水率を算出した。

2.4 水分傾斜の測定

乾燥経過測定用の試験体から、乾燥直後、養生3ヶ月後、養生7ヶ月後にそれぞれ、木口より20cmの部位から厚さ30mmの材片を切り出し、72分割した。

得られた小片の含水率を、全乾法により測定し、材の

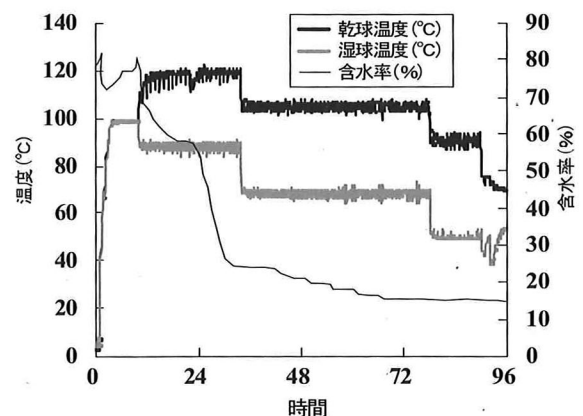


図-1 アカマツ平角材の高温乾燥スケジュール

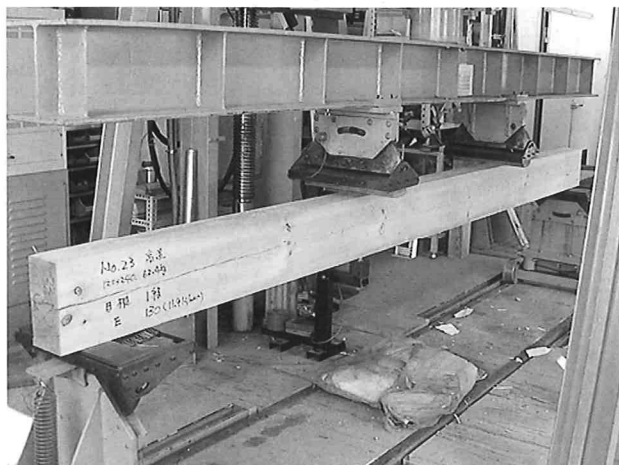


写真-2 アカマツ平角材の曲げ試験状況

表面から20mm未満を外側部, 20mm以上40mm未満を中間部, 40mm以上を中心部として, 各部位の含水率の平均値と標準偏差を算出した。

2.5 曲げ強度試験

2.5.1 節と表面割れの測定

修正挽き後, 試験体の全ての面の節径 (mm) を測定した。測定した節から, 各試験体の最大節径比 (%) と集中節径比 (%) を求め, 「製材の日本農林規格 (以下製材JASとする)」の構造用IIの目視等級区分に基づき1級～3級に分類した。

節の測定終了後, 各試験体の最大割れ幅 (mm) と合計割れ長さ (mm) を求めた。

2.5.2 曲げ強さ, ヤング係数

写真-2 に実大曲げ試験状況を示す。曲げ試験は「構造用木材の強度試験法」¹⁾に基づき, 全スパン3900mmの3等分点4点荷重方式とし, 荷重速度3～5 mm/minで, 試験体が破壊するまで加力した。試験終了後, 次式によ

り曲げ強さ (N/mm²) と曲げヤング係数 (N/mm²) を算出した。

$$f_m = aF_{ult}/2Z$$

f_m : 曲げ強さ (N/mm²)

F_{ult} : 最大荷重 (N)

a : 支点間の距離 (1300mm)

Z : 断面係数 ($b \times d^2/12$)

b : 試験体の幅 (120mm)

d : 試験体の梁せい (240mm)

$$E_m = a(3L^2 - 4a^2) \cdot (F_2 - F_1) / \{48I(w_2 - w_1)\}$$

E_m : 曲げヤング係数 (N/mm²)

L : 全スパン (3900mm)

I : 断面2次モーメント ($b \times d^3/12$)

$F_2 - F_1$: 荷重変形曲線の直線部分の荷重の増分 (N)

F_1 : 最大荷重の10%

F_2 : 最大荷重の40%

$w_2 - w_1$: $F_2 - F_1$ に対応する変形の増分 (mm)

実験で得られた曲げ強さ, 曲げヤング係数は, 曲げ強度試験後に測定した全乾法による含水率をもとに, 以下の式による係数を用いて, 含水率15%時の値に調整した³⁾。

曲げ強さ: $K_{m-F} = 1.25 / (1.75 - 0.0333M)$

曲げヤング係数: $K_{m-E} = 1.14 / (1.44 - 0.02M)$

M : 含水率 (%)

3 結果と考察

3.1 養生期間中の水分変化

3.1.1 含水率の変化

図-2 に乾燥前, 乾燥直後, 養生1ヶ月後, 養生3ヶ月後, 養生7ヶ月後の含水率の変化を示す。試験体の平均含水率は, 乾燥直後で21.3% (標準偏差: 2.9), 養生

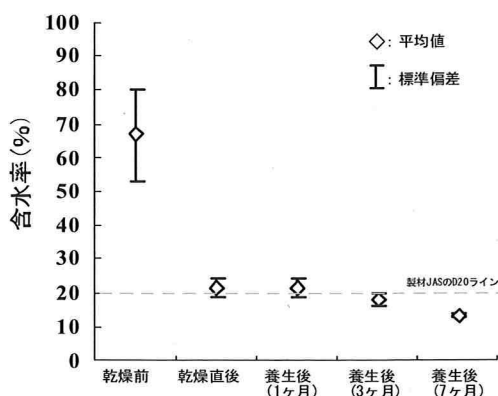


図-2 高温乾燥前後の含水率変化

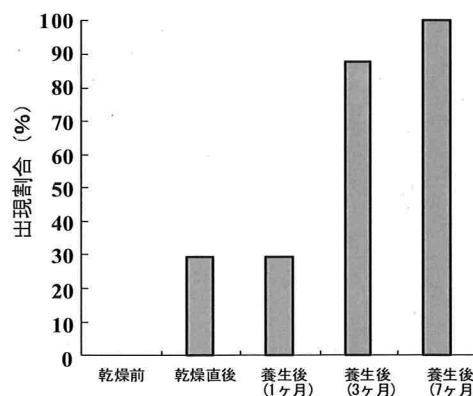


図-3 製材JAS-D20をクリアする試験体の出現割合

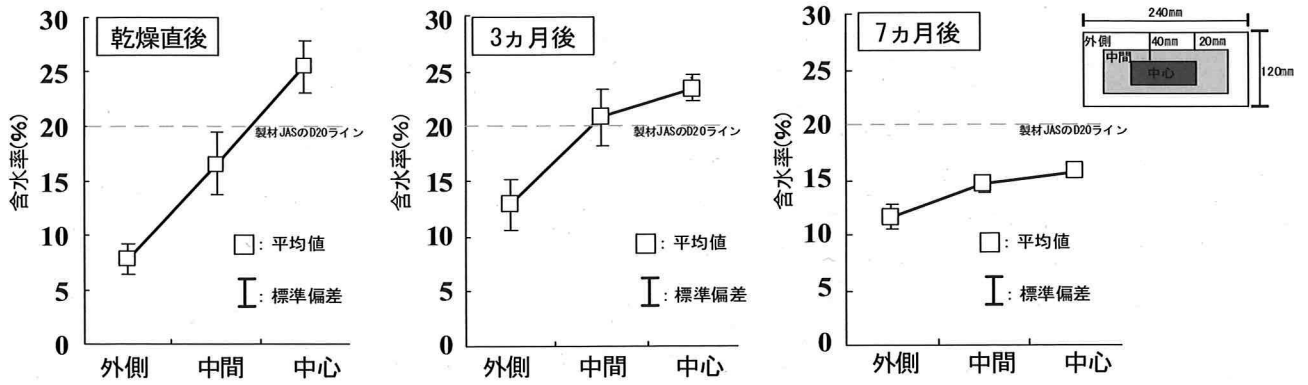


図-4 高温乾燥したアカマツ平角材の養生中の水分傾斜の推移

3ヶ月で17.9% (標準偏差:1.7), 養生7ヶ月で13.4% (標準偏差:0.7) となり, 養生中の含水率低下, 個体間のバラツキの減少が見られた。

図-3 に製材JASに規定するD20となる試験体の出現割合を示す。D20となった試験体の割合は, 乾燥直後で29%, 養生1ヶ月で29%, 養生3ヶ月で88%, 養生7ヶ月で100%となり, 養生期間が長いほど割合が増加した。

3.1.2 水分傾斜の変化

図-4 に養生中の水分傾斜の推移を示す。乾燥直後と比較して, 養生3ヶ月後は水分傾斜の減少が見られた。また, 養生3ヶ月後と比較して, 養生7ヶ月後についても水分傾斜の減少が見られた。

3.1.1で示したとおり, 養生3ヶ月後に全体の約90%の試験体が含水率20%以下となった。しかし, 図-4に示すとおり, 養生3ヶ月後では中心の含水率は20%以上であった。

乾燥後の水分傾斜は, 材の寸法変化に影響するとされている⁴⁾。そのため, 今後は水分傾斜の少ない高温乾燥条件, 養生期間の検討が必要である。

3.2 曲げ強度試験

3.2.1 破壊形態

写真-3, 4 に曲げ破壊時の典型的な破壊形態を示す。破壊は, スパン中央付近の節周辺の目切れが生じ, 単独節で発生する場合と集中節で発生する場合に分かれた。

3.2.2 目視等級区分別の曲げ強さ

表-1 に曲げヤング係数と曲げ強さを目視等級区分別に示す。目視等級区分別の試験体数は, 1級が3体, 2級が11体, 3級が8体となり, 2および3級と比較して1級の本数が少なかった。また, 全試験体(24体)中2体が, 製材JASの目視等級外となった。

各等級区分において, 曲げヤング係数の最小値は, 1級で11.9kN/mm², 2級で7.6kN/mm², 3級で7.4kN/mm²となり, 日本建築学会が規定する基準弾性係数¹⁾を下回る値は見られなかった。

また, 各等級区分の曲げ強さの最小値は, 1級で44.6N/mm², 2級で27.3N/mm², 3級で20.0N/mm²となり, 国土交通省が規定している基準強度¹⁾を下回る値は見られなかった。



写真-3 単独節からの目切れ破壊

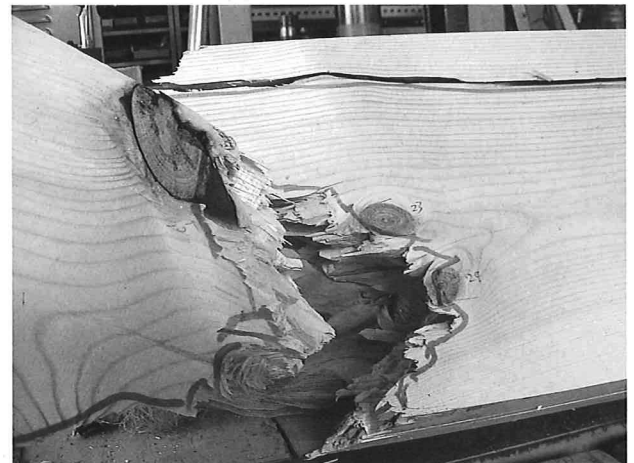


写真-4 集中節からの目切れ破壊

表-1 アカマツ平角材の曲げ強度試験結果

目視等級区分	試験体数	節径比		集中節径比			含水率	密度	曲げヤング係数	曲げ強さ	基準強度(甲種構造材)			
		狭い材面	広い材面	狭い材面	広い材面						曲げヤング係数 ^{*1}	曲げ強さ ^{*2}		
		%	%	%	材縁	中央							材縁	中央
1級	3	平均值	5.6	7.2	12.1	5.6	7.2	24.7	14.1	529	13.5	50.3		
		標準偏差	9.6	6.3	3.6	9.6	6.3	5.1	0.5	61	2.0	5.0		
		変動係数	173.2	86.8	29.5	173.2	86.8	20.6	3.7	12	15.2	10.0	6.5	33.6
		最小値	0.0	0.0	8.8	0.0	0.0	19.2	13.6	467	11.9	44.6		
		最大値	16.7	11.3	15.8	16.7	11.3	29.2	14.7	590	15.8	53.9		
2級	11	平均值	25	19	21	26	16	40	13.4	491	9.4	34.4		
		標準偏差	10.6	4.4	6.6	15.7	7.0	7.3	0.5	27	1.3	3.5		
		変動係数	41.8	23.2	31.5	61.3	43.1	18.3	4.0	6	13.4	10.2	6.5	20.4
		最小値	0	7	14	0	0	28	12.5	435	7.6	27.3		
		最大値	39	22	35	48	24	52	14.2	534	12.0	38.9		
3級	8	平均值	35.0	25.6	18.8	40.1	25.7	42.9	13.4	471	8.6	29.2		
		標準偏差	9.0	2.2	2.0	11.4	11.9	8.3	0.8	28	0.8	5.9		
		変動係数	25.6	8.4	10.9	28.4	46.5	19.3	5.8	6	9.5	20.4	6.5	14.4
		最小値	25.8	22.1	16.7	25.8	0.0	31.7	12.5	431	7.4	20.0		
		最大値	48.3	29.2	20.8	58.3	40.8	56.7	14.7	500	9.6	40.8		

*1木質構造設計基準・同解説-許容応力度・許容耐力設計法(日本建築学会) *2平成12年5月31日建設省告示第1452号

3.2.3 表面割れと曲げ強さ

図-5に最大割れ幅と曲げ強さの関係、図-6に合計割れ長さと曲げ強さの関係を、目視等級区分別に示す。最大割れ幅、合計割れ長さとも曲げ強さとの間に明確な関係は見られなかった。

4 おわりに

材の変色の低減を目的とした高温乾燥スケジュールで乾燥したアカマツ心持ち平角材の、乾燥後の養生期間別

の含水率減少経過と水分傾斜を測定し、適正な養生期間について検討した。さらに、高温乾燥したアカマツ平角材の曲げ強度性能を検討した。その結果、以下の知見が得られた。

- 1) 高温乾燥後に7ヶ月間養生した平角材の含水率は、製材JASの含水率基準20%を下回った。
- 2) 平角材の曲げヤング率および曲げ強さは、表面割れの多寡によらず、国土交通省が告示している基準強度を下回ることにはなかった。

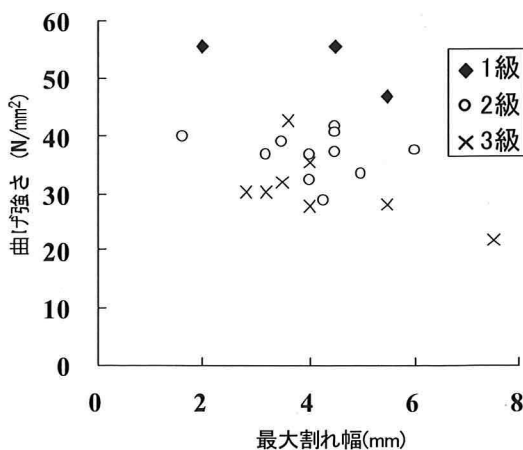


図-5 最大割れ幅と曲げ強さとの関係

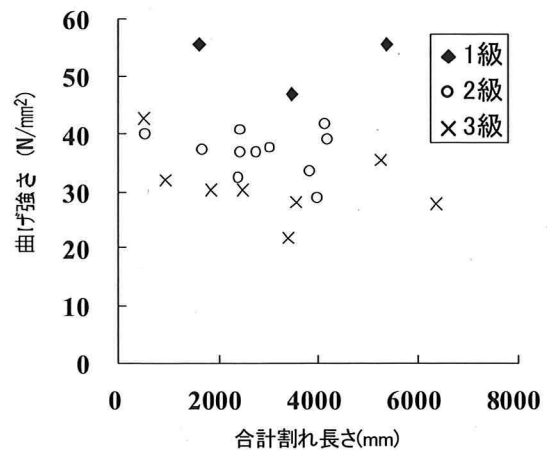


図-6 合計割れ長さと曲げ強さとの関係

引用文献

- 1) 橋爪丈夫・伊東嘉文・吉田孝久・印出稔・印出晃・鈴木徹夫・羽場俊夫 (2003) 乾燥条件がカラマツ正角の強度に及ぼす影響. 日本木材学会大会研究発表要旨集53: 91.
- 2) 飯島泰男・狩野仁美・林和男・澁谷栄・土居修一 (2003) スギ材の材質変化に及ぼす乾燥条件の影響 (II) 力学的性能について. 日本木材学会大会研究発表要旨集53: 594.
- 3) 飯島泰男 (2007) 構造用木材の強度性能評価法の標準化. 木材学会誌53(2): 63-71.
- 4) 河崎弥生 (1998) 高温乾燥したスギ柱材中の水分分布と乾燥後の寸法変化. 木材工業53(4): 166-171.
- 5) 久慈敏・中嶋康・東野正 (2001) アカマツ心持ち平角材の人工乾燥. 岩手県林業技術センター研究報告9: 15-21.
- 6) 中畠厚・瀧澤忠昭・山崎亨史 (1996) トドマツ人工林材の高温乾燥試験. 日本木材学会大会研究発表要旨集46: 158.
- 7) 小田久人・重山晴義 (2001) 県産スギ平角材の乾燥方法別強度性能に関する研究. 宮崎県林業技術センター業務報告33: 35-36.
- 8) 社団法人全国木材組合連合会編 (2004) わかりやすい樹種別乾燥材生産の技術マニュアル. 109pp, 全国木材組合連合会, 東京.
- 9) 社団法人全国木材組合連合会編 (2008) わかりやすい新製材JASの解説. 109pp, 全国木材組合連合会, 東京.
- 10) 吉田孝久 (2006) 4. 高温乾燥技術の進展. 木材工業61 (11): 499-501.
- 11) 財団法人日本住宅・木材技術センター (2000) 平成11年度住宅資材性能規定化対策事業報告書 <構造用木材の強度試験法>. 102pp, 日本住宅・木材技術センター, 東京.