

高温セット法におけるカラマツ正角材の 乾燥条件と強度との関係

土橋 英亮

中嶋 厚

Relation Between Drying Conditions and Strength of Square Posts of Karamatsu in High-temperature Setting Method

Hideaki TSUCHIHASHI

Atsushi NAKAJIMA

To determine the proper drying conditions in the high-temperature setting method, square posts with pith, 120 × 120 × 3,650 (L) mm, of Karamatsu (*Larix leptolepis* Gordon) wood were dried in 5 conditions of high-temperature drying and air drying. After drying, the twist, crook, check and strength were measured. The results were as follows:

- 1) As for the twist and crook, no difference according to drying conditions was found.
- 2) The check area grew in the drying with a short high-temperature processing time. There was a significant difference between high-temperature drying and air drying.
- 3) For the modulus of elasticity (MOE), there was no difference between the different drying conditions.
- 4) The modulus of rupture (MOR) showed the tendency to decrease by the temperature of the high-temperature processing high and by the time of the high-temperature processing long. Compared with air drying, the mean value of MOR decreased significantly by about 20% in the drying condition that the maximum temperature was 130 °C and the time processed by 130 °C was 24 hours.
- 5) The bending rupture energy showed the tendency to decrease by the temperature of the high-temperature processing high and by the time of the high-temperature processing long. The ratio of the decrease was larger than that of MOR. Compared with air drying, the mean value of bending rupture energy decreased significantly by about 40% in the drying condition that the maximum temperature was 130 °C and the time processed by 130 °C was 24 hours.

From the above-mentioned results, as for the proper drying condition in the high-temperature setting method, it is thought that 120 °C is suitable as the maximum temperature, and it is thought that about 12 hours is suitable as the time processed by 120 °C.

Key words: high-temperature drying, square posts, modulus of rupture, bending rupture energy
高温乾燥, 正角材, 曲げ強さ, 曲げ破壊仕事量

高温セット法における適正な乾燥条件を探るため,カラマツの120mm角心持ち正角材を5条件の高温乾燥と天然乾燥により乾燥し,ねじれ・曲がり・割れおよび強度性能を測定した。結果を以下に示す。

- 1) ねじれと曲がり は、乾燥条件による違いが認められなかった。
 - 2) 割れ面積は、高温乾燥の時間が短いほど大きくなり、高温乾燥と天然乾燥には有意差が認められた。
 - 3) 曲げヤング係数 (MOE) は、乾燥条件間で差がなかった。
 - 4) 曲げ強さ (MOR) は、高温乾燥の温度が高く、時間が長いほど低下する傾向を示し、130 で24時間処理した場合には、天然乾燥に対して平均値が約20%有意に低下した。
 - 5) 曲げ破壊仕事量は、高温乾燥の温度が高く、時間が長いほど低下する傾向を示し、低下の割合はMORよりも大きかった。130 で24時間処理した場合には、天然乾燥に対して平均値が約40%有意に低下した。
- 以上の結果から、高温セット法における乾燥条件は、最高温度を120、時間を12時間程度とするのが適当と考えられる。

1. はじめに

心持ち柱材等の乾燥においては、表面割れが発生しやすいことから、乾燥初期に高温低湿処理を行い、表層部に引張のドライングセットを形成させることで表面割れの発生を抑制する高温セット法¹⁾が提案され、割れの抑制と乾燥時間短縮の面で効果を上げている。その一方で、高温乾燥による強度性能の低下に関する報告^{2,3)}もあり、高温セット法を用いる場合は強度性能と割れ抑制効果等とのバランスを考慮しつつ、可能な限り低温かつ短時間で実施する必要があると考えられる。そこで今回は、カラマ

ツ正角材を用いて高温乾燥を行い、ねじれ・曲がり・割れを測定して乾燥条件による仕上がり状態の違いを把握するとともに曲げ強度試験を行い、乾燥条件による割れ抑制効果や強度性能の差について検討した。

2. 試験方法

製材寸法 120 × 120 × 3,650mm のカラマツ心持ち正角材 150 本を 25 本ずつの 6 グループに分け、高温乾燥 5 条件と天然乾燥 (対照) を行った。高温乾燥スケジュールの概要は第 1 表のとおりで、すべての

第 1 表 高温乾燥スケジュールの概要

Table 1. Outline of high-temperature drying schedules.

130-24			130-12			120-36			120-12			120-6		
乾球温度 DBT	湿球温度 WBT	時間 Time	乾球温度 DBT	湿球温度 WBT	時間 Time	乾球温度 DBT	湿球温度 WBT	時間 Time	乾球温度 DBT	湿球温度 WBT	時間 Time	乾球温度 DBT	湿球温度 WBT	時間 Time
()	()	(h)	()	()	(h)	()	()	(h)	()	()	(h)	()	()	(h)
95	95	14	95	95	14	95	95	14	95	95	14	95	95	14
130	90	24	130	90	12	120	90	36	120	90	12	120	90	6
90	60	6	90	60	44	90	60	0.5	90	60	76	110	80	18
												90	60	26

注) 130-24,130-12,120-36,120-12,120-6 は、個々の乾燥条件における最高温度 () と、最高温度で処理した時間 (h) を示す。
Notes) 130-24, 130-12, 120-36, 120-12, and 120-6 indicates the maximum temperature () in each drying schedule and the time (h) processed by the maximum temperature, DBT: dry bulb temperature, WBT: wet bulb temperature.

第 2 表 乾燥条件別の含水率 (%)

Table 2. MC (%) by drying conditions.

	高温乾燥 High-temperature drying												天然乾燥 Air drying											
	130-24				130-12				120-36				120-12				120-6				天然乾燥 Air drying			
	平均 av.	最小 min.	最大 max.	標準偏差 s. d.	平均 av.	最小 min.	最大 max.	標準偏差 s. d.	平均 av.	最小 min.	最大 max.	標準偏差 s. d.	平均 av.	最小 min.	最大 max.	標準偏差 s. d.	平均 av.	最小 min.	最大 max.	標準偏差 s. d.	平均 av.	最小 min.	最大 max.	標準偏差 s. d.
生材時 after being sawn	45.3	36.0	64.1	6.3	44.6	26.7	57.2	6.2	47.0	39.1	65.3	6.9	45.0	36.9	56.4	5.2	46.8	37.9	56.9	5.3	45.0	36.4	63.7	5.5
乾燥後 after drying	14.8	9.5	25.9	4.0	19.3	15.7	23.0	1.5	16.4	9.9	23.9	4.0	18.1	13.9	24.9	2.7	20.9	12.3	27.8	3.3	20.8	19.4	22.7	0.7
養生後 after storage	14.4	10.6	21.7	2.9	17.9	15.4	20.1	1.2	15.8	10.6	21.6	3.1	16.9	13.7	23.2	2.2	19.3	12.4	25.1	2.6	19.4	18.0	21.2	0.7
強度試験後 after bending test	14.1	10.1	18.0	2.0	16.3	13.4	17.5	1.0	14.7	10.6	17.7	2.0	15.4	13.7	17.3	1.1	16.5	13.2	18.2	1.2	16.0	15.1	16.8	0.5

注) 130-24 ~ 120-6 は第 1 表参照
Note) 130-24 ~ 120-6: See Table 1.

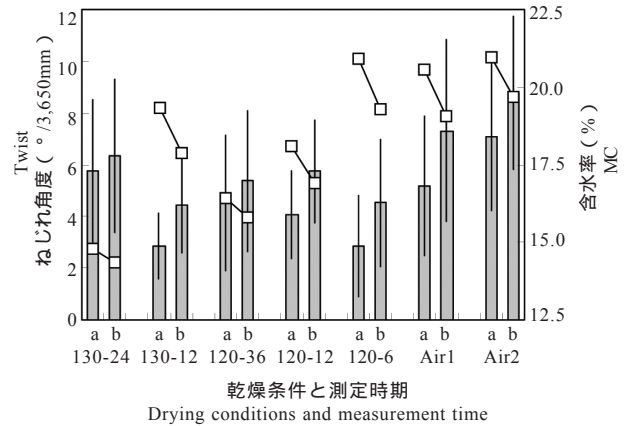
材を棧木接触圧 $29.1 \times 10^4 \text{Pa}$ で圧縮した。また、天然乾燥は H16.7.29 から H16.10.5 までの約 70 日間実施し、12 本の材を棧木接触圧 $19.1 \times 10^4 \text{Pa}$ で圧縮し、残り 12 本は非圧縮とした。なお、高温乾燥・天然乾燥ともに 1 本の材は含水率を把握するための乾燥サンプル材とした。これらの材について、ねじれ角度、曲がり矢高、長さ 50mm 以上のすべての割れの長さと幅を、高温乾燥材については乾燥終了直後と約 2 ~ 3 か月養生した後の計 2 回測定した。天然乾燥材は乾燥終了直後と 10 日後にねじれ・曲がり・割れを測定した。その後 105mm 角に鉋削仕上げし、スパン 1,890mm の 3 等分点 4 点荷重方式により曲げ強度試験を行い、曲げヤング係数 (MOE)、曲げ強さ (MOR)、曲げ破壊仕事量を求めた。なお、各グループへの材の振り分けは、製材直後に測定した打撃音法による動的ヤング係数に基づいて行い、グループ間の偏りが生じないようにした。

第 2 表は乾燥条件別の含水率を示したものである。なお、生材時、乾燥後、養生後の含水率は、長さ 3,650mm の材から強度試験用の試験体 (長さ 2,100mm) を作製した後の端材から含水率測定用の試験片を採取して全乾法により求め、鉋削前後の含水率を同一と仮定して計算した。強度試験後の含水率は、試験終了後の試験体から含水率測定用の試験片を採取して全乾法により求めた。

3. 結果と考察

3.1 ねじれと曲がり

第 1 図は乾燥条件と測定時期別のねじれ角度を示したものである。非圧縮天然乾燥のねじれが最も大きく、天然乾燥においても圧縮の効果が認められる。また、養生後にはすべての条件でねじれ角度が増加しているが、これは含水率の低下による収縮の影響が主因と考えられる。第 2 図は乾燥後と養生後の含水率の差とねじれ角度増加率の関係を示したもので、含水率差が大きいほどねじれ角度は増加する傾向が認められ、高温乾燥 5 条件についてはほぼ直線的な関係である。天然乾燥材は、高温乾燥 5 条件と比較すると含水率低下に伴うねじれ角度増加率が小さくなった。また、非圧縮材は養生期間の形状変化が圧縮材より小さい⁴⁾といわれるが、今回の測定



第 1 図 乾燥条件別のねじれ角度

Fig. 1. Twist by drying condition.

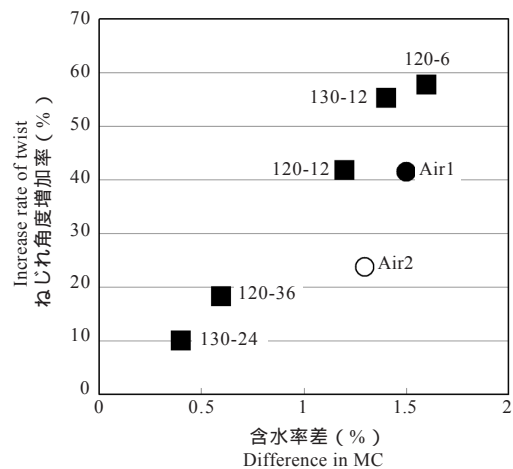
凡例 ■ : ねじれ, □ : 含水率

注) 1) 130-24 ~ 120-6: 第 1 表参照, a: 乾燥後, b: 養生後, Air1: 圧縮天然乾燥, Air2: 非圧縮天然乾燥。2) 線は標準偏差を示す。3) 含水率は第 2 数値軸を使用した。

Legend) ■ : Twist, □ : MC

Notes) 1) 130-24 ~ 120-6: See Table 1, a: after drying, b: after storage, Air1: compressed air drying, Air2: non-compressed air drying.

2) Bars show the standard deviation. 3) MC was used as the second vertical axis.



第 2 図 含水率差とねじれ角度増加率の関係

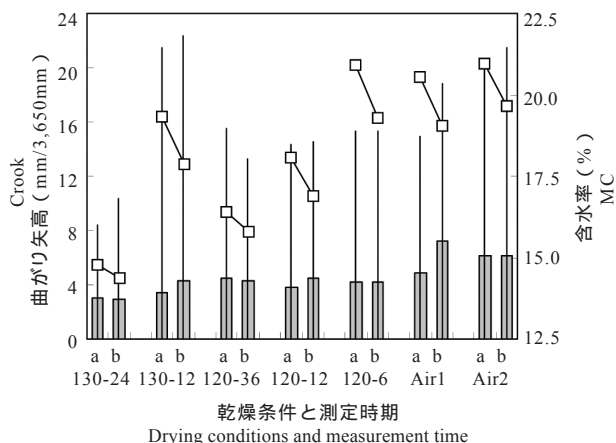
Fig. 2. Relation between difference in MC under storing and increase rate of twist.

注) 1) 130-24 ~ 120-6: 第 1 表参照, Air1, Air2: 第 1 図参照

2) 含水率差は次式により計算した。 $MC = MC_a - MC_b$, MC : 平均含水率の差, MC_a : 乾燥後の平均含水率, MC_b : 養生後の平均含水率。3) ねじれ角度増加率は次式により計算した。 $T_{ir} = 100 \times (T_b - T_a) / T_a$, T_{ir} : 平均ねじれ角度増加率, T_a : 乾燥後の平均ねじれ角度, T_b : 養生後の平均ねじれ角度

Notes) 1) 130-24 ~ 120-6: See Table 1, Air1, Air2: See Fig. 1. 2) The difference in MC was calculated by the next expression. $MC = MC_a - MC_b$, MC : difference in the mean value of MC, MC_a : the mean value of MC after drying, MC_b : the mean value of MC after storage. 3) The increase rate of twist was calculated by the next expression. $T_{ir} = 100 \times (T_b - T_a) / T_a$, T_{ir} : increase rate of the mean value of twist, T_a : the mean value of twist after drying, T_b : the mean value of twist after storage.

においても天然乾燥の非圧縮材 (第 2 図の Air2) が他の条件と比べて含水率低下に伴うねじれ角度増加率が小さかった。



第3図 乾燥条件別の曲がり矢高

Fig. 3. Crook by drying condition.

凡例) ■: 曲がり, □: 含水率
 注) 1) 130-24 ~ 120-6: 第1表参照, a, b, Air1, Air2: 第1図参照, 2) 線は標準偏差を示す。3) 含水率は第2数値軸を使用した。
 Legend) ■: Crook, □: MC
 Notes) 1) 130-24 ~ 120-6: See Table 1, a, b, Air1, Air2: See Fig. 1.
 2) Bars show the standard deviation. 3) MC was used as the second vertical axis.

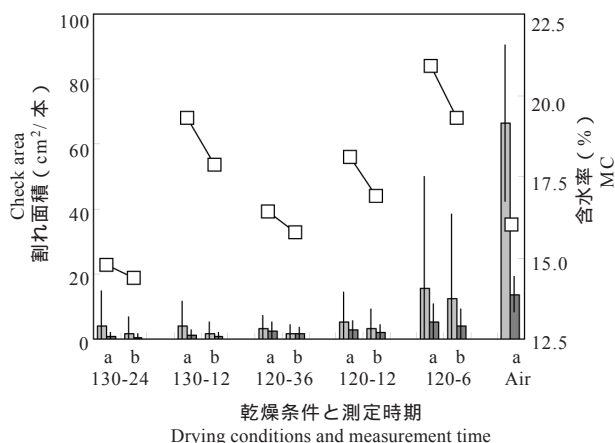
第3図は乾燥条件と測定時期別の曲がり矢高を示したものである。すべての乾燥条件において75%以上の材が針葉樹構造用製材の日本農林規格1級の基準(0.2%, 材長3,650mmでは7.3mm)内で, 格外的ものはなかった。乾燥後から養生後にかけての曲がり矢高の増減傾向はまちまちで, 含水率変化との間に一定の傾向は認められず, あてなど個々の材の材質的特性が影響していると考えられる。

3.2 割れ

第4図は, 乾燥条件と測定時期別に材1本あたりの割れ面積を示したものである。割れ面積は, 割れ1個ごとの「割れ長さ×最大幅/2」を総計して求めた。割れに関しては, 天然乾燥の圧縮と非圧縮の差はなく, 一括して取り扱った。高温乾燥は, 天然乾燥に対して平均値が有意に約74~94%低下した。高温乾燥ではすべての条件で養生後の割れ面積が減少していた。これは, 養生期間中に材内部の乾燥が進み, 表層の圧縮応力が大きくなったことで割れ面積が減少したものと考えられる。なお, 高温乾燥の条件別では, 図中右側の乾燥条件ほど割れ面積が大きくなる傾向が認められるが, この理由としては, 同じ乾燥温度条件であっても, 処理時間が短いとドラインセットが不十分であったことが考えられる。

3.3 曲げヤング係数

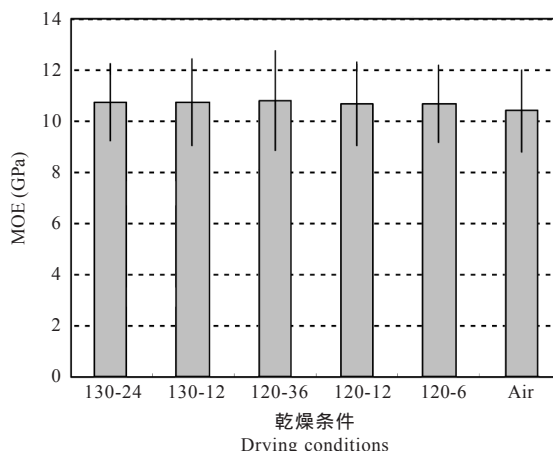
第5図に, 曲げヤング係数を乾燥条件別に示した。



第4図 乾燥条件別の割れ面積

Fig. 4. Check area by drying condition.

凡例) ■: 木口割れ, □: 表面割れ, □: 含水率
 注) 1) 130-24 ~ 120-6: 第1表参照, a: 乾燥後, b: 養生後, Air: 天然乾燥
 2) 線は標準偏差を示す。3) 含水率は第2数値軸を使用した。
 Legend) ■: Cross section check, □: Surface check, □: MC
 Notes) 1) 130-24 ~ 120-6: See Table 1, a: after drying, b: after storage, Air: air-drying.
 2) Bars show the standard deviation. 3) MC was used as the second vertical axis.

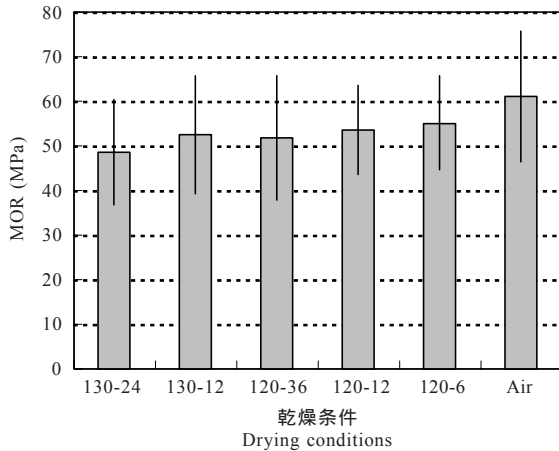


第5図 乾燥条件別の曲げヤング係数 (MOE)

Fig. 5. Modulus of elasticity (MOE) by drying condition.

注) 1) 130-24 ~ 120-6: 第1表参照, Air: 天然乾燥。2) 線は標準偏差を示す。
 Notes) 1) 130-24 ~ 120-6: See Table 1, Air: air-drying. 2) Bars show the standard deviation.

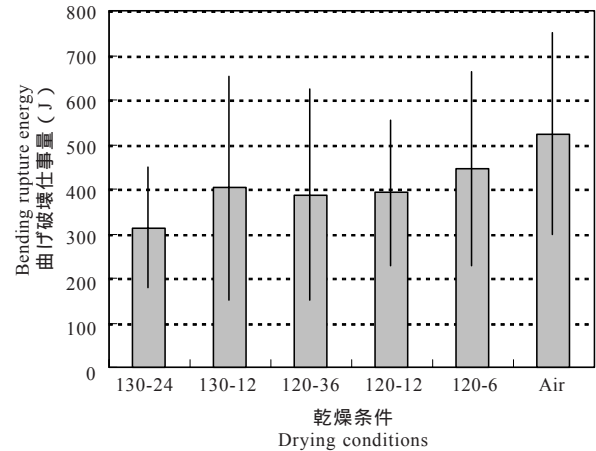
数値は含水率の影響を取り除くため, ASTM D2915の式に従い含水率15%相当の値に補正したものである。いずれの乾燥条件においても平均値は10GPa程度で大差はなく, 乾燥条件によるヤング係数の違いは認められなかった。なお, 天然乾燥材は高温乾燥材より著しく割れ面積が大きい, 割れは曲げヤング係数や曲げ強さに影響しない⁵⁾と報告されていることから, 今回の試験においても割れが強度性能に及ぼす影響はないものとして, 高温乾燥材との比較を行った。



第 6 図 乾燥条件別の曲げ強さ (MOR)

Fig. 6. Modulus of rupture (MOR) by drying condition.

注) 1) 130-24 ~ 120-6: 第1表参照, Air: 天然乾燥。2) 線は標準偏差を示す。
Notes) 1) 130-24 ~ 120-6: See Table 1, Air: air-drying. 2) Bars show the standard deviation.



第 7 図 乾燥条件別の曲げ破壊仕事量

Fig. 7. Bending rupture energy by drying condition.

注) 1) 130-24 ~ 120-6: 第1表参照, Air: 天然乾燥。2) 線は標準偏差を示す。
Notes) 130-24 ~ 120-6: See Table 1, Air: air-drying. 2) Bars show the standard deviation.

3.4 曲げ強さ

第 6 図に、曲げ強さを乾燥条件別に示した。ヤング係数と同様に、含水率 15% 相当の値に補正した。いずれの乾燥条件においても、カラマツ無等級材の基準強度 (26.7MPa) 以下の材はみられなかった。しかし、天然乾燥材と比べると、高温乾燥材は曲げ強さの平均値が 130-24 で約 20%，130-12 で約 14%，120-36 で約 15%，120-12 で約 12%，120-6 で約 10% 低下しており、Tukey の多重比較では、低下割合が最大の 130-24 と天然乾燥には 5% 水準で有意差が認められた。

3.5 曲げ破壊仕事量

第 7 図に、曲げ破壊仕事量を乾燥条件別に示した。曲げ破壊仕事量とは、荷重 - 変位曲線のゼロ点から最大荷重までの面積を計算したものである。天然乾燥材と比べると、高温乾燥材は曲げ破壊仕事量の平均値が 130-24 で約 40%，130-12 で約 23%，120-36 で約 26%，120-12 で約 25%，120-6 で約 15% 低下しており、低下の割合は曲げ強さよりも大きかった。また、Tukey の多重比較では、低下割合が最大の 130-24 と天然乾燥には 5% 水準で有意差が認められた。

4. 結論

今回行った高温乾燥では、120-6 で割れ面積が大きくなる傾向が認められたが、ねじれや曲がりについては、乾燥後の含水率やあてなどの材質的特性の

影響が大きく、乾燥条件による違いは認められなかった。また、高温乾燥材の強度試験によると、曲げヤング係数は乾燥条件間の差違が認められなかったものの、曲げ強さと曲げ破壊仕事量は乾燥温度が高く、高温処理の時間が長くなるほど低下する傾向が認められた。最高温度 120 でもある程度時間をかければ十分な割れ抑制効果を得られることから、割れを抑制しつつ強度低下を最小限に抑える乾燥条件は、最高温度を 120 とし、処理時間 12 時間程度が妥当と考えられる。

文 献

- 1) 吉田孝久：スギ構造材の乾燥法，林業技術，No. 736, 14-20 (2003)
- 2) 中島厚，瀧澤忠昭，山崎亨史：第46 回日本木材学会大会研究発表要旨集，158 (1996)
- 3) 橋爪丈夫ほか6名：第53 回日本木材学会大会研究発表要旨集，91 (2003)
- 4) 中島厚，土橋英亮：日本木材学会北海道支部講演集第32号，29-32 (2000)
- 5) 荒武志朗ほか3名：スギ構造材の干割れが力学的性質に及ぼす影響，木材工業，48，166-170，(1993)

- 技術部 製材乾燥科 -
(原稿受理：05.08.19)