

(資 料)

# スギ材への熱処理条件が強度性能と寸法安定性能に及ぼす影響

谷内 博規・高橋 功\*

Effect of heat treatment condition of cedar wood on strength performance  
and dimensional stability performance

Hironori TANIUCHI・Isao TAKAHASHI

## 要 旨

スギ材を床暖房用の床材やエクステリアウッドなどへ活用するため、異なる温度条件で熱処理を行ったスギ板材について、処理条件別の強度性能、寸法安定性の評価を行った。その結果、熱処理温度の上昇とともに寸法安定性は向上するが、強度等の物性値が若干低い値を示すことから、床材やエクステリアウッドなど用途と求められる性能により、処理条件を選択する必要があると考える。

キーワード：スギ, 熱処理, 寸法安定性, 強度

## 目 次

1	はじめに	6
2	実験方法	6
2.1	供試材料	6
2.2	熱処理	6
2.3	曲げ試験	6
2.4	寸法安定性試験	7
3	結果	7
3.1	曲げ試験	7
3.1.1	曲げ試験の破壊挙動	7
3.1.2	曲げ強さとヤング係数の関係	7
3.2	寸法安定性	8
4	まとめ	8
	引用文献	9

\*：株式会社 オノダ 取締役工場長

## 1 はじめに

丸太から柱材を製材する際、柱材は主材となり、丸太の樹皮付近の材は側材となる。側材の有効利用は、丸太の価値歩留まりの向上、経営の安定化に影響する重要な事項である。

岩手県内における側材の用途は、壁・床材、下地材、製紙用チップ材、発電用燃料となっているが、寸法安定性や耐朽性などの機能を板材へ付与できれば、床暖房用の床材やエクステリアウッドなどの製造により板材の高付加価値化が可能となり、丸太の価値歩留まりの向上が期待できる。

熱処理は、薬剤を使用せずに寸法安定性や耐朽性を付与できる技術であるが、同時に強度性能の低下を引き起こすことが知られている<sup>1)</sup>。今回は、異なる条件で熱処理を行ったスギ板材について、処理条件別の強度性能、寸法安定性の評価を行った。

## 2 実験方法

### 2.1 供試材料

長さ 3050 mm × 幅 135 mm × 厚 20 mm の岩手県産スギ乾燥板材(含水率 8~10%)を供試した。

### 2.2 熱処理

ヒルデブランド株式会社製木材改質処理装置(スーパーヒートコンディショナー)を用い、表1に示す条件で熱処理を行った。冷却後、モルダを用い、熱処理スギ材を長さ 1000 mm × 幅 95 mm × 厚 15 mm に調製した。また、無処理スギ乾燥材を対照として実験に供した。

全ての試験材は、FFT アナライザーを用い、縦振動法<sup>2)</sup>による固有振動数  $f$  を測定し、次式のとおり動的ヤング係数  $Efr$  を算出した。さらに試験材は、それぞれの処理条件で  $Efr$  が同様の分布となるよう2分し、曲げ試験、寸法安定性試験に供した。

$$\text{動的ヤング係数 } Efr(\text{GPa}) = (2fl)^2\rho$$

$f$ : 固有振動数(Hz),  $l$ : 材長(m),

$\rho$ : 密度( $\text{g}/\text{cm}^3$ )

### 2.3 曲げ試験

(株島津製作所製の万能試験機を用い、フローリングの日本農林規格の曲げ試験<sup>3)</sup>に準拠して試験を行った。なお、曲げ試験はスパン 700 mm, 中央集中荷重で行い、荷重 3 kg, 7 kg 時の変位を測定した。その後、荷重を加え続け破壊するまで試験し、最大荷重から便宜的に曲げ強さ、最大荷重の 10, 40% にあたる荷重差、たわみ差から曲げヤング係数<sup>4)</sup>を次式のとおり算出した。

$$\text{曲げ強さ (MPa)} = 3P_{\max}l/2bh^2$$

$P_{\max}$ : 最大荷重(N),  $l$ : スパン(mm),

$b$ : 試験材幅(mm),  $h$ : 試験材厚(mm)

$$\text{曲げヤング係数(GPa)} = \Delta Pl^3/bh^3\Delta y$$

$\Delta P$ : 最大荷重の 40% と 10% 荷重の差(N),

$l$ : スパン(mm),  $b$ : 試験材幅(mm),

$h$ : 試験材厚(mm),

$\Delta y$ :  $\Delta P$  に対応するスパン中央のたわみの差(mm)

表1 処理条件

項目	工程	圧力* (kPa[G])	温度 (°C)	時間 (hrs)	枚数 (枚)
共通処理	前処理	-80	90	24	
190°C 処理	昇温	-80 → 20	90 ⇒ 190	5	48
	処理	20***	190	2	
200°C 処理	昇温	-80 → 20	90 ⇒ 200	8	34
	処理	20***	200	3	
220°C 処理	昇温	-80 → 20	90 ⇒ 220	9	48
	処理	20***	220	3	
無処理	人工乾燥材(含水率 8~10%)				30

\* : 大気圧を 0 としたゲージ圧, -80 kPa = 160 torr, 20 kPa = 0.196 kgf/cm<sup>2</sup>

\*\*\* : 飽和水蒸気による加圧

2.4 寸法安定性試験

寸法安定性試験は優良木質建材等の品質性能評価基準 K-1 熱処理壁用製材<sup>5)</sup>に準拠した。

長さ 40 cm の試験材を切り出し、試験材の重量、長さ、端部から 10 cm 及び中央部の厚さ及び幅を測定し、次に水中(10~25℃)に 24 時間浸漬後、試験材の重量寸法を測定した後、70℃ の恒温乾燥機中で、試験前の質量の 100~110% の範囲となるよう乾燥した。

乾燥後、試験材の重量、寸法を測定し、さらに、試験材を 105℃ の恒温乾燥機中で乾燥し全乾時の重量と寸法を測定した。吸水率、膨潤率は次式により算出した。

$$\text{吸水率(\%)} = (W_2 - W_1) / W_1 \times 100$$

$W_2$ : 浸漬後重量,  $W_1$ : 浸漬前重量

$$\text{膨潤率(\%)} = (V_2 - V_1) / V_1 \times 100$$

$V_2$ : 浸漬後体積,  $V_1$ : 浸漬前体積

3 結果

3.1 曲げ試験

フローリング JAS の曲げ試験において、判定基準は荷重 3 kg, 7 kg 時の変位の差が 3.5 mm 以内となっているが、今回の実験では、全ての処理条件で性能基準を満たした。以降、熱処理条件が曲げ強さ、曲げヤング係数に与える影響について示す。

3.1.1 曲げ試験の破壊挙動

図 1 にスギ熱処理材の曲げ試験における応力ひずみ曲線の一例を処理温度別に示す。処理温度の上昇に伴い、最大荷重は減少し、200, 220℃ 処理では比例限度荷重と最大荷重が重なり、塑性域が観察されなかった。このことから、処理温度の上昇により、非結晶性セルロースの分解が過度に促進し、靱性が低下して、脆くなっていること<sup>6)</sup>が推測される。

3.1.2 曲げ強さとヤング係数の関係

図 2 に熱処理材の曲げヤング係数と曲げ強さの関係を示す。無処理材の曲げヤング係数が 7~14 GPa, 曲げ強さが 54~97 MPa に分布するが、190, 200℃ 処理では、曲げヤング係数が 4~14 GPa, 曲げ強さが 30~88 MPa, 220℃ 処理では、曲げヤング係数が 4~12 GPa, 曲げ強さが 23~79 MPa となり、処理温度の上昇に伴いヤング係数と曲げ強さの分布が低い値にシフトする傾向を示した。

さらに図 3 に熱処理材の容積密度と曲げ強さの関

係を示す。無処理の容積密度は 305~448 kg/m<sup>3</sup> に分布するが、190, 200℃ 処理では 281~398 kg/m<sup>3</sup>, 220℃ 処理では 277~359 kg/m<sup>3</sup> となり、処理温度の上昇に伴い、特に 220℃ 処理では、容積密度が若干低い値に分布する傾向を示した。

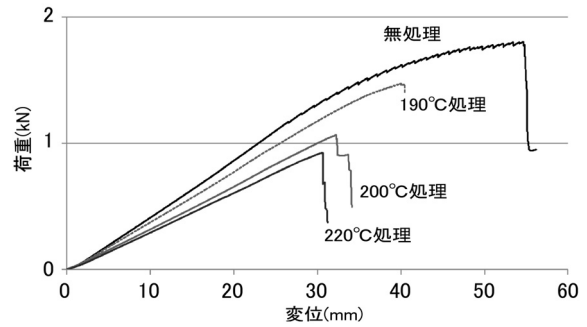


図 1 曲げ試験における応力ひずみ曲線(一例)

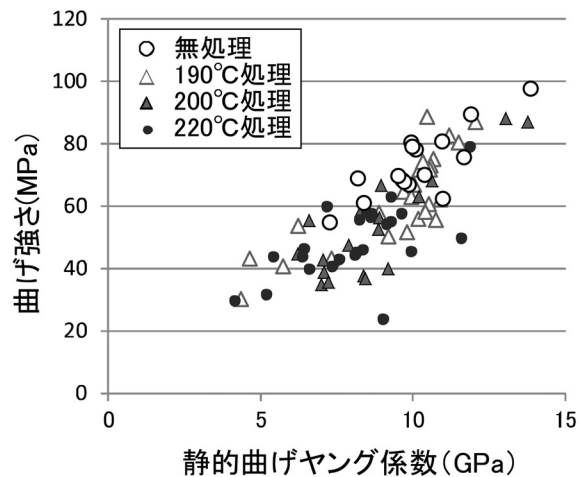


図 2 熱処理材の曲げヤング係数と曲げ強さ

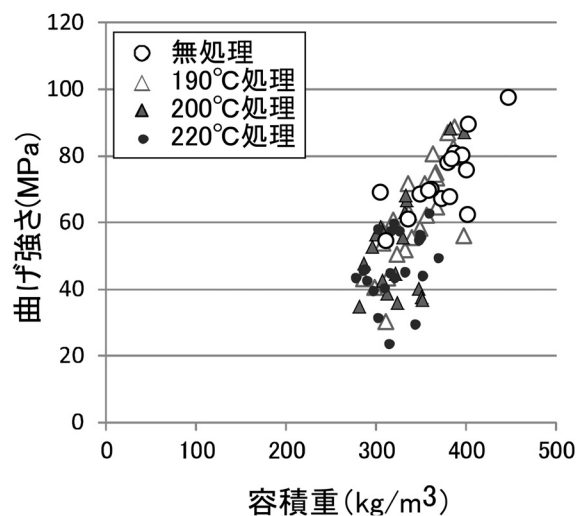


図 3 熱処理材の容積密度と曲げ強さ

窒素加圧下で酸化を抑制し 130~220℃ で熱処理した木材では、曲げ強さは低下するが、曲げヤング係数、容積密度は低下しないことが知られている<sup>1)</sup>。今回の熱処理では、一見すると木材が酸化・容積密度低下を引き起こし、ヤング係数や曲げ強さの低下を引き起こしたように見えるが、処理前の強度性能を把握していないため、原因は定かでない。

### 3.2 寸法安定性

優良木質建材等の品質性能評価基準 K-1 熱処理壁用製材において、判定基準は、浸漬前に測定した寸法と乾燥後に測定した寸法の差が  $\pm 1$  mm 以内となっているが、今回の実験では各処理条件で性能基準を満たした。

図 4 に熱処理材の処理温度と吸水率の関係を示す。無処理の吸水率の平均値は 29.3% であったが、処理温度が 190, 200, 220℃ と上昇するに伴い、吸水率の平均値は 17.4, 17.8, 8.9% と減少傾向を示した。換言すると、処理温度 190, 200℃ で吸水率が 4 割、処理温度 220℃ で吸水率が 7 割減少すると言える。

図 5 に熱処理材の処理温度と膨潤率の関係を示す。無処理の膨潤率の平均値は 6.0% であったが、処理温度が 190, 200, 220℃ と上昇するに伴い、膨潤率の平均値は 2.7, 1.9, 1.4% と減少した。

これらのことから、熱処理を行うと吸水率と膨潤率が大幅に減少し、特に 220℃ 処理では、無処理に比べ、吸水率、膨潤率が 7 割程度減少することが明らかとなった。

3.1 の曲げ試験の結果を併せて考えると、処理温度の上昇に伴い、曲げ強さ、容積密度等が若干低下するが、寸法安定性は著しく向上することが明らかとなった。

既往の熱処理の知見<sup>1)</sup>では、窒素加圧などを行えば、容積密度や曲げヤング係数の低下は抑制できるとされる。今回の製造方法では、フローリングやエクステリアなどの用途と求められる性能により、処理条件を選択する必要があると考える。

## 4 まとめ

異なる温度条件で熱処理を行ったスギ板材について、処理条件別の強度性能、寸法安定性の評価を行った。その結果は次のとおりとなった。

(1) 190~220℃ で熱処理したスギ材は、フローリング JAS の曲げ試験の性能基準を満たした。

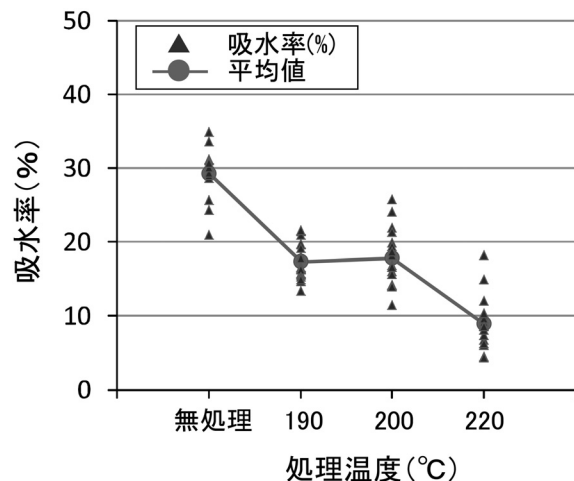


図 4 熱処理材の処理温度と吸水率の関係

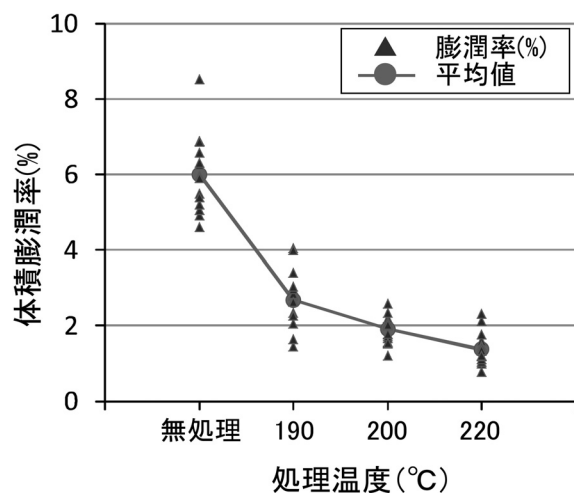


図 5 熱処理材の処理温度と膨潤率の関係

- (2) 処理温度の上昇に伴いヤング係数と曲げ強さの分布が低い値にシフトする傾向を示した。
- (3) 190~220℃ で熱処理したスギ材は、優良木質建材等の品質性能評価基準 K-1 熱処理壁用製材の性能基準を満たした。
- (4) 特に処理温度 220℃ の条件では寸法安定性の向上が観察され、無処理材と比較すると吸水率、膨潤率が 7 割程度減少した。
- (5) 今回の製造方法では、熱処理温度の上昇とともに寸法安定性は向上するが、強度等の物性値が若干低い値を示すことから、用途と求められる性能により、処理条件を選択する必要があると考える。

## 【参考】スギ熱処理材の物性(寸法：長さ 1000 mm×幅 95 mm×厚 15 mm)

項目条件		容積密度 (kg/m <sup>3</sup> )	含水率 (%)	吸水率 (%)	膨潤率 (%)	動的 ヤング係数 (GPa)	曲げ ヤング係数 (GPa)	曲げ強さ (MPa)
無処理	平均値	380.7	11.6	29.3	6.0	10.9	10.2	73.1
	c.v*(%)	10.8	11.8	12.2	17.0	16.3	15.4	14.9
190℃ 処理	平均値	345.4	7.1	17.4	2.7	10.2	9.5	62.8
	c.v*(%)	10.2	13.2	13.5	23.2	21.7	21.8	23.5
200℃ 処理	平均値	315.0	5.4	17.8	1.9	9.3	8.8	53.1
	c.v*(%)	8.7	7.7	20.9	17.8	22.5	23.7	31.2
220℃ 処理	平均値	321.1	5.1	8.9	1.4	8.8	8.1	48.6
	c.v*(%)	9.1	13.5	33.9	24.7	19.4	22.8	24.4

\*：変動係数

## 引用文献

- 1) 森林総合研究所監修(2004)改正4版 木材工業ハンドブック：893-894, 丸善(株), 東京.
- 2) 公益財団法人日本住宅・木材技術センター(2011)構造用木材の強度試験マニュアル：59-63.
- 3) 日本木材学会編(1985)木材科学実験書Ⅰ. 物理・工学編：212, (有)中外産業調査会, 東京.
- 4) 農林水産省告示第2903号(2013)フローリングの日本農林規格：10-18.
- 5) 公益財団法人日本住宅・木材技術センター(2016)優良木質建材等品質性能評価基準「K-1 熱処理壁用製材」：143-145.
- 6) 森林総合研究所監修(2004)改正4版 木材工業ハンドブック：528, 丸善(株), 東京.

