

加熱処理したスギ製材の曲げ強度向上と実大材への適用

その2 試験結果および提案式の評価

Increase in MOR of cedar lumber by heat treatment and application in structural sizes

Part 2: Experimental results and evaluation of the expression

秦一平¹, 廣石秀造¹, 阿久戸信宏², 溝口晴紀², 高村佳典³, 〇古谷亘³

Hata Ippai¹, Hiroishi Shuzo¹, Akuto Nobuhiro², Mizoguchi Harunori², Takamura Yoshifumi³, Furuya Wataru³

Abstract: We examine the changes in strength of cedar lumber with a square cross section of 30,45,60mm when heat-treated at 180 ~ 220 °C for the purpose of increasing strength. In part 2, we show the test results and evaluate the proposed formula. As a result of the bending load test (the authors showed the method in Part 1), MOE was improved at each size, and MOR at 30,45 mm. The change of MOR at this time had a clear tendency from increase to decrease. The experimental constants were obtained by fitting the proposed equation for test results using the least squares method. The proposed equation accurately represents the change in MOR of heat-treated cedar wood.

1. はじめに

前報では、加熱処理を施した木材の強度変化を表わす提案式を構築した。また、式中の実験値を求めるための試験方法を示した。本報では、曲げ載荷試験の結果を示し、実験値の算出および提案式の評価を行う。

2. 試験結果

2.1. 内部温度計測結果

紙面の都合上、結果のみを Fig. 1 に示す。

2.2. 曲げ載荷試験結果

試験体のばらつき・試験条件の影響を抑えて強度変化を評価するため、見かけ曲げヤング係数は同一試験個体の加熱前後の比 E/E_0 、曲げ強さについては無処理

試験体の平均値との比 σ/σ_0 を取り、以降分析に用いる。

加熱時間と強度性能変化の関係を Fig. 2, Fig. 3 に示す。見かけ曲げヤング係数は全寸法について向上したが、その変化は単調ではなく増減を繰り返しており、加熱条件の違いによる明確な傾向は見られなかった。

曲げ強さについては、30, 45mm 角試験体において、向上とその後の低下が見られ、平井氏らによる研究^[1]における動ヤング係数の結果と類似する傾向を示した。60mm 角試験体については、加熱による向上は見られず、加熱初期は無処理材と同等の値を示し、さらに長期の加熱で低下した。節等の欠点が材全体の強度を決定付けてしまい、向上しなかった可能性が考えられる。

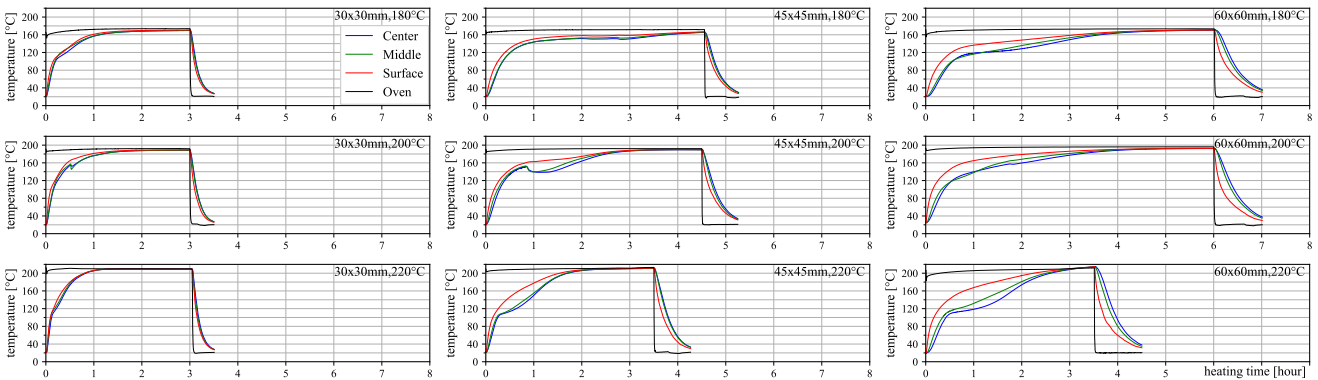


Fig. 1 Internal temperature of the wood during heat-treatment

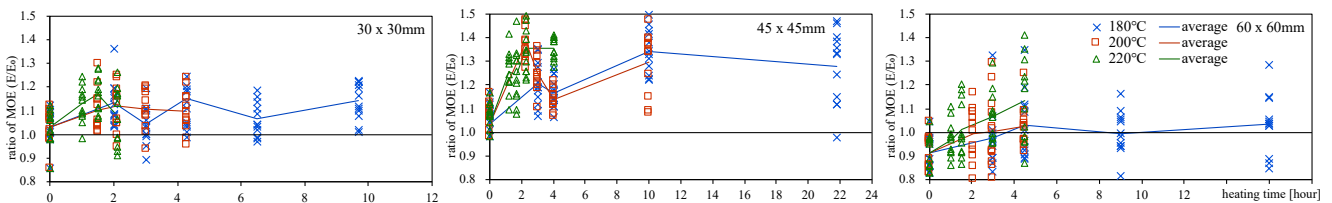


Fig. 2 Effect of heat treatment on MOE

1 : 日大理工・教員・建築 2 : 日大理工・院(前)・建築 3 : 日大理工・学部・建築

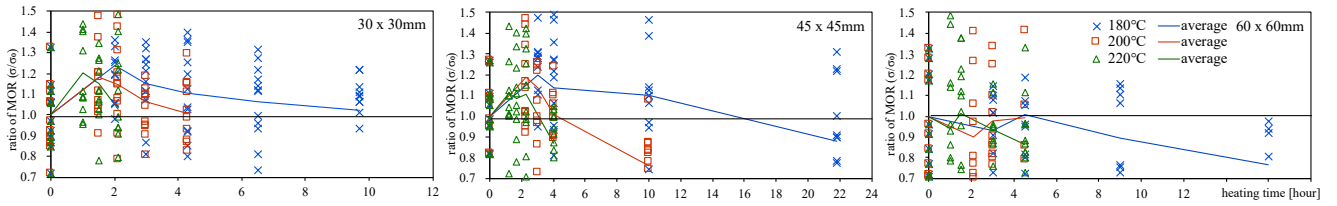


Fig. 3 Effect of heat treatment on MOR

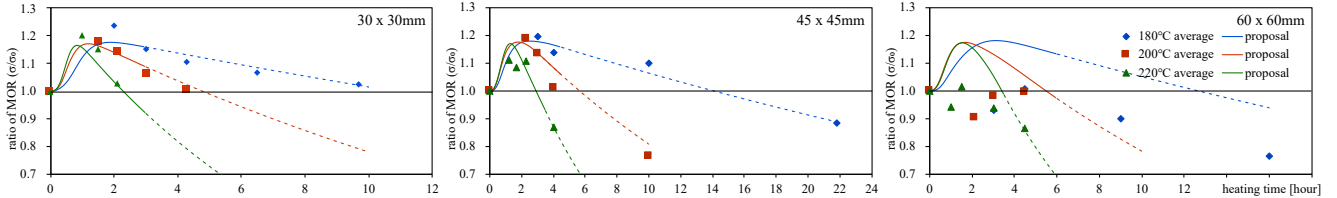


Fig. 4 Test results and the proposed equation

3. 定数の決定

以上の結果のうち、変化傾向が明確な 30, 45mm 角試験体の曲げ強さ変化をもとに各定数を求める。まず、前報その 1 より (3), (4) 式に、内部温度の計測結果のうち、木材表面から 5mm 深さの計測データを代入する。この時、 $\Delta t=1/3600[\text{hour}]$ とする。温度計測時の加熱時間は内部温度が上昇し、安定するまでとしているが、それを超える範囲については、温度上昇後の内部温度が一定と仮定し、計測値を補外する。そして、最小二乗法により Fig. 3 に示した平均値と提案式の残差の二乗和が最小となる ΔE_C , ΔE_D , c , A , B を採用する。算出した各定数を以下に示す。

$$\Delta E_C = 54480 \text{ [J/mol]}, \quad \Delta E_D = 83548 \text{ [J/mol]}$$

$$c = 0.17, \quad A = \exp(15.9), \quad B = \exp(18.7)$$

構築した提案式と試験結果を Fig. 4 に示すと、30, 45mm 角試験体について、提案式が試験結果の傾向とほぼ合致しており、加熱処理条件と曲げ強さ比の関係をよく表していることが確認できる。一方 60mm 角試験体では、強度向上が確認されず、合致しなかった。

代入する計測温度として表面温度を採用したのは、寸法による最適加熱時間の違いが小さく、温度上昇の違いがより顕著な中心部の計測データよりも、試験結果と合致しなかったためである。強度変化がスギ材表面の温度状態によって表されることは、曲げ破壊が引張側の縁応力によって引き起こされることと一致する。以上より、曲げ強さの向上は材内部より材表面への加熱による材質変化が特に寄与していると考えられる。

4. まとめ

- 180~220°Cで加熱した 30, 45mm 角スギ材の強度向上を確認したが、60mm 角では確認されなかった。
- 加熱条件と曲げ強さの関係を表す式を構築した。
- 特に木材表面への加熱が強度向上へ寄与する。

5. 謝辞

本研究を行うにあたり、株式会社 魚津社工務店の皆様には、試験体となるスギ角材を提供していただきました。多大なご協力に対し心より御礼申し上げます。

6. 参考文献

- [1]平井信之, 祖父江信夫, 浅野猪久夫:木材の圧電効果に関する研究(第4報)熱処理による木材の結晶性の変化と圧電効果 木材学会誌 Vol.18, No.11, pp.535-542, 1972
- [2]日本木材学会 木材強度・木質構造研究会:ティンバーメカニクス 木材の力学理論と応用 海青社, 2015

【付録】

Table 1 Results of loading test (average)

size	Temperature T [°C]	Time t [hour]	Before heating			After heating				
			Volume [cm³]	Density [g/cm³]	MOE(app) E _s [N/mm²]	Volume [cm³]	Density [g/cm³]	MOE(app) E _s [N/mm²]	MOR σ [N/mm²]	MC [%]
30 x 30mm	180	2.0	433.3	0.37	10038.8	418.0	0.35	11453.2	77.8	2.97
		3.0	433.5	0.36	10094.3	420.5	0.33	10521.3	72.4	2.95
		4.3	432.8	0.36	10039.3	421.5	0.34	11625.6	69.5	3.89
		6.5	433.0	0.37	10086.6	422.8	0.35	10728.1	67.1	4.30
		9.7	433.3	0.37	10047.3	419.2	0.35	11459.2	64.4	3.85
	200	1.5	433.5	0.38	10071.8	415.3	0.35	11029.4	74.3	2.37
		2.1	433.1	0.37	10064.6	421.3	0.34	11376.2	72.0	4.13
		3.0	433.3	0.38	10032.0	422.4	0.35	11136.8	67.0	3.92
		4.3	432.8	0.36	10029.3	418.9	0.34	11071.7	63.2	3.46
		Untreated	1.0	432.9	0.39	10112.5	420.6	0.36	11395.4	75.6
45 x 45mm	180	1.5	433.1	0.38	10053.2	418.9	0.36	11785.5	72.4	4.12
		2.1	432.8	0.39	10030.0	417.2	0.35	10879.0	64.8	3.90
		Untreated	433.5	0.37	10056.3	430.1	0.37	10468.2	62.9	11.19
		3.0	1436.4	0.44	9378.9	1372.9	0.41	11392.2	93.4	3.49
		4.0	1438.5	0.41	9391.1	1378.8	0.38	11024.6	88.9	5.10
	200	10.0	1437.3	0.44	9381.4	1368.1	0.40	12625.4	85.9	3.95
		21.8	1443.4	0.44	9375.5	1361.0	0.40	12148.8	68.8	3.72
		2.3	1441.9	0.44	9384.7	1380.9	0.41	12987.8	92.8	5.44
		3.0	1438.6	0.43	9412.9	1367.4	0.39	11779.7	88.5	2.34
		4.0	1435.8	0.42	9381.5	1399.0	0.37	10715.0	78.8	4.43
220	10.0	1440.1	0.42	9343.3	1361.1	0.38	12119.4	59.6	3.52	
	1.2	1442.5	0.45	9380.4	1395.6	0.43	11835.9	86.8	8.07	
	1.7	1440.5	0.43	9394.6	1358.2	0.39	11748.3	84.7	3.34	
	2.3	1438.7	0.44	9384.5	1379.3	0.40	12609.5	86.4	4.40	
	4.0	1435.1	0.43	9384.3	1363.5	0.38	12678.8	67.7	3.45	
Untreated	1446.3	0.43	9387.6	1421.2	0.43	9761.6	78.0	12.23		
60 x 60mm	180	3.0	3348.9	0.39	6839.0	3223.8	0.36	6473.6	45.3	3.17
		4.5	3344.9	0.38	6824.2	3230.7	0.36	6790.4	49.2	4.63
		9.0	3356.5	0.40	6795.6	3240.6	0.37	6713.2	43.8	3.53
		16.0	3344.5	0.41	6854.8	3197.4	0.37	6961.1	37.3	3.10
		Untreated	3339.9	0.40	6804.0	3247.4	0.37	6561.2	43.9	3.05
	200	3.0	3339.3	0.38	6816.8	3271.2	0.36	6666.4	47.8	4.86
		4.5	3340.9	0.40	6767.0	3226.2	0.37	6832.7	48.5	3.35
		1.0	3343.7	0.40	6794.5	3257.7	0.39	6482.1	45.9	5.46
		1.5	3340.7	0.40	6728.1	3277.8	0.38	6582.6	49.5	5.54
		3.0	3341.0	0.38	6755.7	3260.9	0.34	7128.5	45.7	3.39
4.5	3352.1	0.39	6872.0	3197.7	0.35	7488.4	42.1	2.93		
Untreated	3342.1	0.41	6817.0	3301.4	0.41	6159.2	48.8	10.91		