

図 5 高温時ヤング係数と曲げ強度 (スギ)

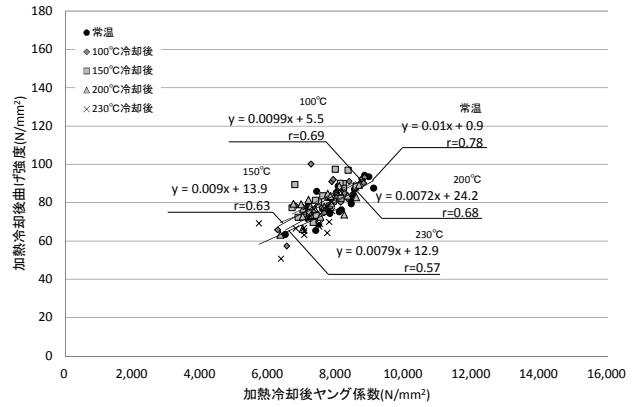


図 6 加熱冷却後ヤング係数と曲げ強度 (スギ)

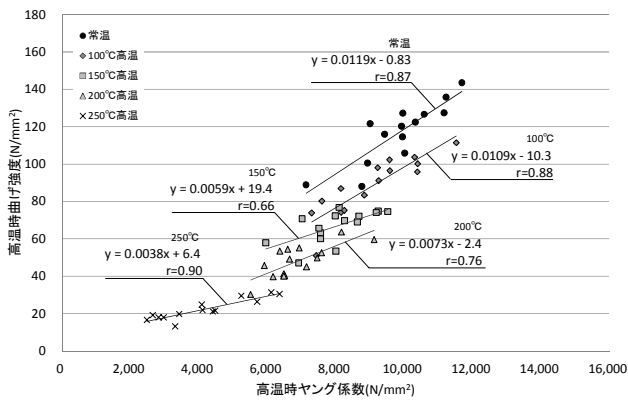


図 7 高温時ヤング係数と曲げ強度 (カラマツ)

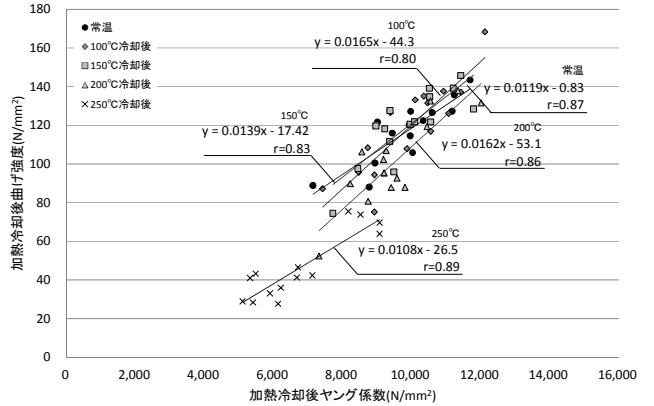


図 8 加熱冷却後ヤング係数と曲げ強度 (カラマツ)

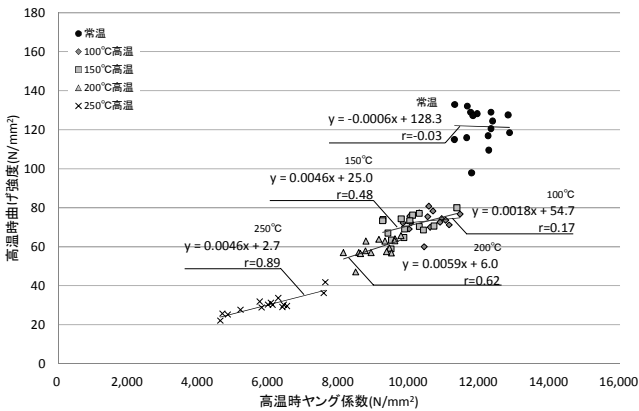


図 9 高温時ヤング係数と曲げ強度 (バイマツ)

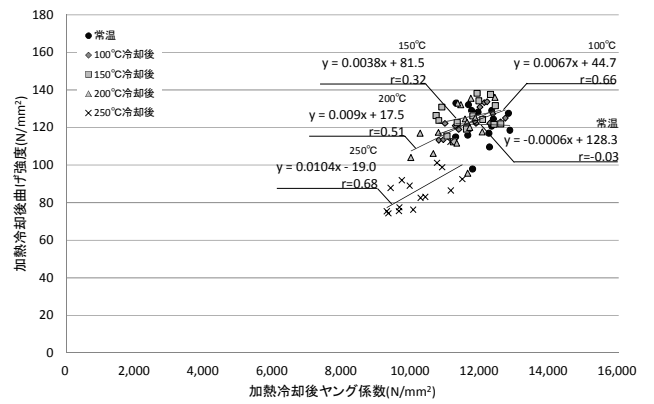


図 10 加熱冷却後ヤング係数と曲げ強度 (バイマツ)

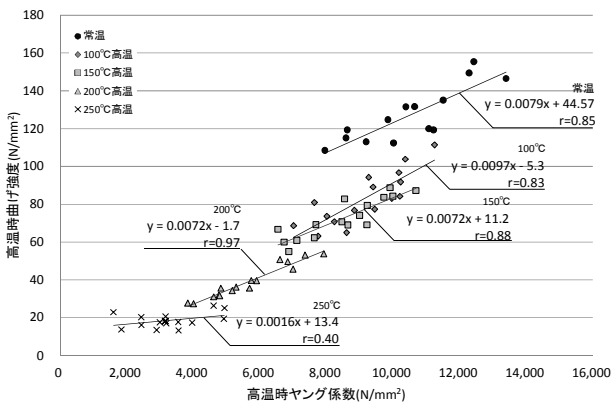


図 11 高温時ヤング係数と曲げ強度 (ケヤキ)

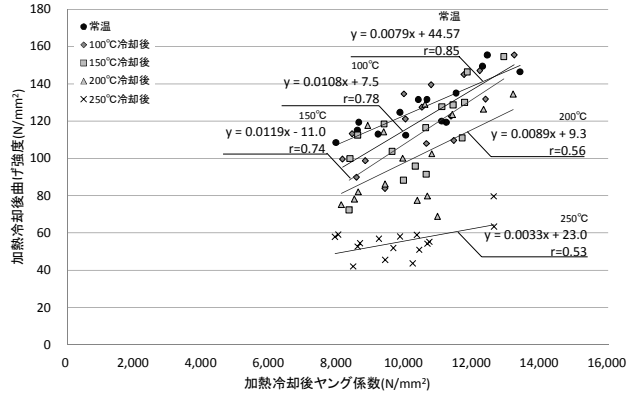


図 12 加熱冷却後ヤング係数と曲げ強度 (ケヤキ)

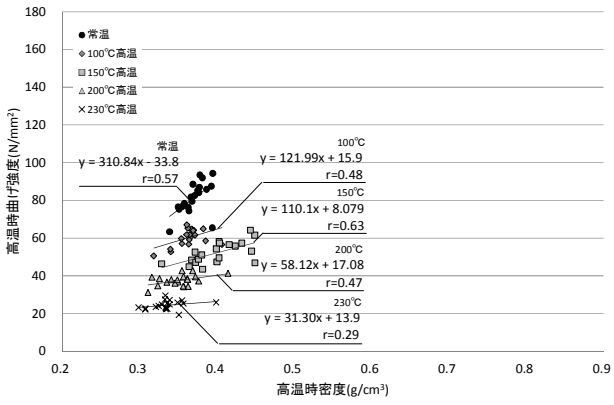


図 13 高温時密度と曲げ強度 (スギ)

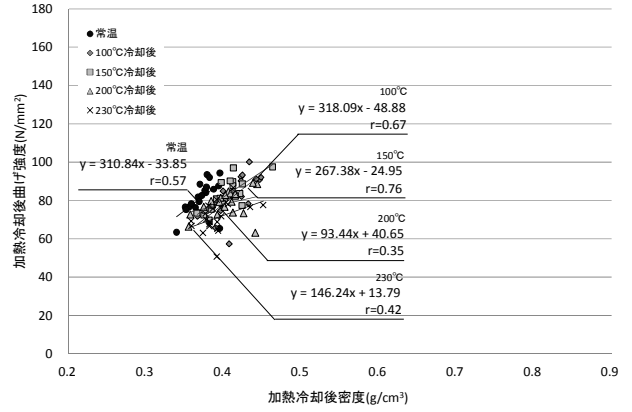


図 14 加熱冷却後密度と曲げ強度 (スギ)

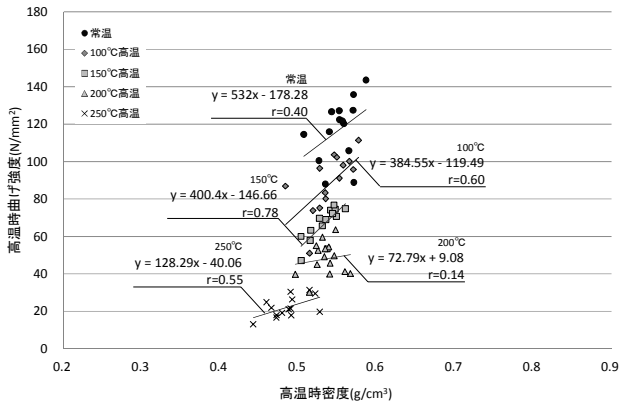


図 15 高温時密度と曲げ強度 (カラムツ)

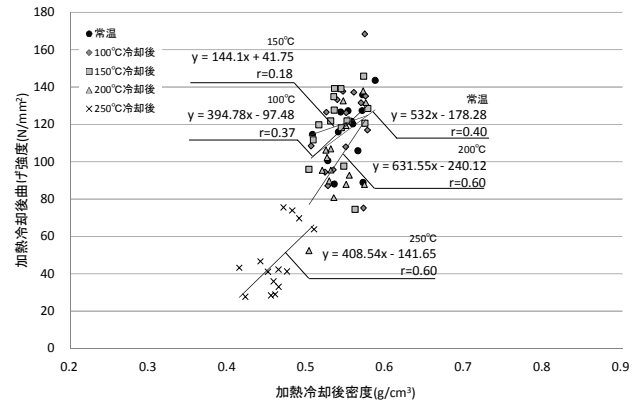


図 16 加熱冷却後密度と曲げ強度 (カラムツ)

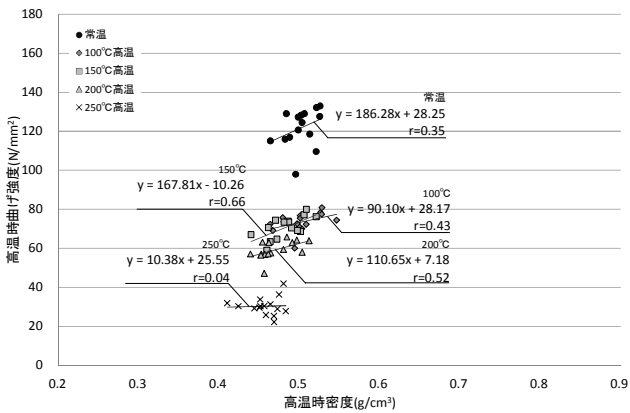


図 17 高温時密度と曲げ強度 (バイマツ)

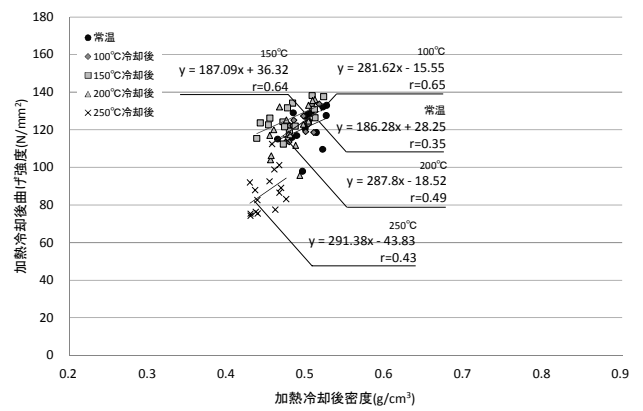


図 18 加熱冷却後密度と曲げ強度 (バイマツ)

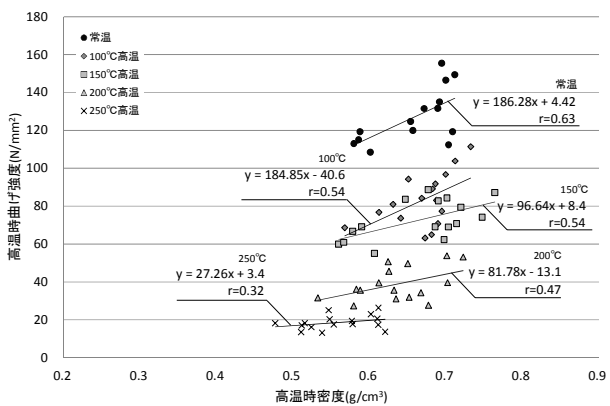


図 19 高温時密度と曲げ強度 (ケヤキ)

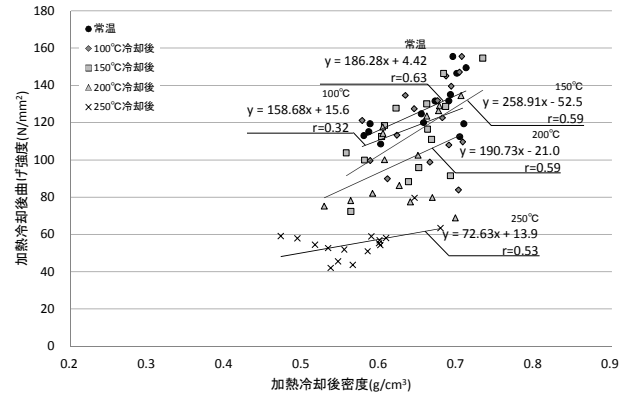


図 20 加熱冷却後密度と曲げ強度 (ケヤキ)

ケヤキ 0.55~0.77 [g/cm<sup>3</sup>]、平均 0.66[g/cm<sup>3</sup>]である。また、常温時、高温時及び加熱冷却後曲げ強度について、破壊時の密度との関係を図 13~20 に示す。図には、試験体群ごとの回帰式及び相関係数  $r$  を示すが、曲げ強度と密度の間に正の相関は認められるものの、曲げ強度の予測に活用できるほどの高い相関は見られない。なお、木材において、常温で一般に認められる密度と力学的性能の関係には、含水率も一要因となっていると考えられる<sup>17)</sup>が、本実験は試験体含水率を 3%まで下げて行っており、含水率の影響は生じ難い。

## 5. 結論

スギ、カラマツ、ベイマツ及びケヤキ製材に関する高温時及び加熱冷却後の曲げ試験により、以下の知見を得た。

- (1) 高温時ヤング係数は、全樹種において、200℃以上では残存率が著しく低下する。
- (2) 加熱冷却後は、全ての樹種において、加熱温度 200℃以下の場合、温度が再び常温まで下がると、ヤング係数は、ほぼ常温時の値に回復する。
- (3) 高温時の曲げ強度は、全樹種において、残存率が 100℃で 0.60~0.75 と、ヤング係数に比べて低温で低下が始まり、いずれも 200℃では残存率が 0.5 未満にまで低下する。
- (4) 加熱冷却後の曲げ強度は、針葉樹材は 150℃以下、広葉樹材のケヤキは 100℃以下の加熱温度では、常温時と同程度に回復する。しかし、200℃を超えると残存率の低下は著しく、カラマツ、ケヤキでは、200℃での残存率が 10%を超える低下を示し、250℃(スギは 230℃) では、高温時の著しい低下から大きくは回復しない。
- (5) 曲げ強度は非破壊測定できないが、カラマツ、ケヤキでは、200℃以下の範囲で、高温時及び加熱冷却後の曲げ強度は、同じ条件のヤング係数と高い相関を示す。他の樹種及び 250℃(スギは 230℃)では、ヤング係数の値にかかわらず、高温時及び加熱冷却後の曲げ強度は樹種毎に比較的狭い範囲に集中する。
- (6) 木材が火災加熱を受けても、100℃に達しなかった部分は、冷却後、ヤング係数・曲げ強度とも火災の影響をほとんど受けないと判断し得る。更に、スギ、ベイマツで 200℃以下、カラマツで 150℃以下の部分は、冷却後の力学的性能の変化は 10%未満に留まる。

なお、本研究は、火災加熱を想定として、木材の力学的性能と温度の直接的な関係を把握するために、その他の要因を排除するように実験を計画した。通常流通する木材を想定とした欠点の有無や心材・辺材の別、また火災加熱中の木材中の水分移動による含水率の変化等、火災時の木質部材の力学的性能に影響し得る他の要因の検討については、更に今後の研究課題としたい。

## 謝辞

本研究の実験中、針葉樹に関するものは、科学研究費補助金「大断面木質部材の防耐火性能設計の工学モデル」(研究代表者：長谷見雄二)により行った。実験の遂行にあたり、森林総合研究所の原田寿郎氏、宮武敦氏、亀山建設(株)の長尾大貴氏、研究当時早稲田大学大学院の鈴木あさ美氏、小宮祐人氏、早稲田大学大学院の山口智世氏に多大なるご協力とご支援を頂きました。また、実験の計画、分

析にあたり、日本建築学会防委員会住宅の火災安全小委員会伝統木造準耐火構造 WG の皆様、秋田県立大学の板垣直行准教授に多大なるご指導、ご協力を頂きました。心からお礼申し上げます。

## 注

注 1) 公共建築物木材利用促進法が 2010 年に制定後、木造 3 階建て学校の防火基準検討、大規模木造に対する助成等の政策が実施されている。

## 参考文献

- 1) 上杉三郎：スギ材の 180℃以下加熱における曲げ性能、日本木材学会誌 Vol.38, No.11, pp.985-994, 1992.11
- 2) 中村賢一、最上滋二、竹生敏彦、宮林正幸：構造用集成材の耐火性能(第 5 報)、日本建築学会大会学術講演梗概集、防火、pp.827-828, 1986.8
- 3) 中村賢一、最上滋二、竹生敏彦、宮林正幸：構造用集成材の耐火性能(第 6 報)、日本建築学会大会学術講演梗概集、防火、pp.787-788, 1987.10
- 4) 橋本寛、斉藤宏文：高温下木材の縦引張強さ、日本建築学会東北支部研究報告集、pp.361-364, 1996.6
- 5) 日本建築学会：構造材料の耐火性ガイドブック 2009、丸善、2009.3
- 6) 保川みずほ、安井昇、鈴木あさ美、長谷見雄二、亀山直央、豊田康二、門岡直也、上川大輔、腰原幹雄、小野徹郎：大断面広葉樹(ケヤキ)製材による軸組柱の防耐火性能予測に関する研究、日本建築学会環境系論文集 第 685 号、pp.633-638, 2013.3
- 7) 安井昇、清水真理子、長谷見雄二、村上 雅英、上島 基英、木村 忠紀、北後 明彦、田村 佳英、吉田 正友、山本 幸一：柱圧縮試験による木造土壁の火災加熱時の非損傷性予測と木造土壁外壁の防火設計、日本建築学会環境系論文集 第 574 号、pp.1-6, 2003.12
- 8) 清水真理子、長谷見雄二、村上雅英、安井昇：木造真壁の耐火性能予測、日本建築学会構造系論文集、第 611 号、pp.165-170, 2007.1
- 9) 安井昇、長谷見雄二、平井宏幸、渡邊圭太、腰原幹雄、澤野恵直、小川敦史、木村忠紀、山本幸一：横架材の加熱後曲げ応力度予測に基づく伝統木造床の防耐火設計と梁長さ・間隔の拡張可能性、日本建築学会構造系論文集 第 642 号、pp.1523-1529, 2009.8
- 10) 亀山直央、保川みずほ、長谷見雄二、安井昇、鈴木あさ美、豊田康二、門岡直也、腰原幹雄、遊佐秀逸、小野徹郎：大型寺社建築のための大断面広葉樹製材による準耐火構造の柱・はりの開発(その 2) はりの載荷加熱実験と柱・はり接合部の防耐火性能の把握、日本建築学会大会学術講演梗概集、防火、pp.165-168, 2011.8
- 11) 保川みずほ、安井昇、鈴木あさ美、長谷見雄二、亀山直央、豊田康二、門岡直也、腰原幹雄、小野徹郎、遊佐秀逸：大断面広葉樹(ケヤキ)製材による寺院建築仕様軸組の防耐火性能一はり及び柱・はり接合部の載荷加熱実験一、日本建築学会技術報告集第 43 号、pp.977-982, 2013.10
- 12) 長谷見雄二、鍵屋浩司、北後明彦、宮武敦：大規模集成木造体育館の火災調査：日本建築学会技術報告集第 17 号、pp.209-212, 2003.6
- 13) 中井孝、山井良三郎：日本産主要 35 樹種の強度的性質、林業試験所研究報告第 319 号、pp.13-46, 1982.1
- 14) 森林総合研究所監修：木材工業ハンドブック改訂 4 版、丸善、2004.3
- 15) (財)日本住宅・木材技術センター、構造用木材の強度試験マニュアル、2010.3
- 16) 飯島泰男：木質構造の研究の現状と今後の課題 Part II, 日本木材学会強度・木質構造研究会編、日本木材学会、pp.7-8, 1994
- 17) 岡野健、祖父江信夫 編：木材科学ハンドブック、朝倉書店、2006.2
- 18) 加来千紘、長谷見雄二、安井昇、保川みずほ、鈴木あさ美、上川大輔、亀山直央、小野徹郎、腰原幹雄、長尾博文、萩原一郎、遊佐秀逸：火災後の部材の継続的使用を前提とした大規模木造建築の防耐火計画法~柱の火害診断方法及び改修方法の提案~、日本建築学会大会学術講演梗概集、防火、pp.323-326, 2012.9

INFLUENCE OF FIRE EXPOSURE ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF WOOD  
– Exposure temperature dependence of Young’s modulus and bending strength of  
Cryptomeria japonica, Larix leptolepis, Pseudotsuga menziesii and Zelkova serrata under and after heating –

*Chihiro KAKU*<sup>\*1</sup>, *Yuji HASEMI*<sup>\*2</sup>, *Noboru YASUI*<sup>\*3</sup>,  
*Mizuho YASUKAWA*<sup>\*4</sup>, *Daisuke KAMIKAWA*<sup>\*5</sup>, *Naohisa KAMEYAMA*<sup>\*6</sup>,  
*Tetsuro ONO*<sup>\*7</sup>, *Mikio KOSHIHARA*<sup>\*8</sup> and *Hirofumi NAGAO*<sup>\*9</sup>

<sup>\*1</sup> Graduate School, Waseda Univ.

<sup>\*2</sup> Prof., Department of Architecture, Waseda Univ., Ph. D.

<sup>\*3</sup> Visiting Researcher, RISE, Waseda Univ., Ph. D.

<sup>\*4</sup> Tokyo Metropolitan Government, M. Eng. (Former Waseda Univ.)

<sup>\*5</sup> Forestry and Forest Products Research Institute, Ph. D.

<sup>\*6</sup> President, Kameyama Construction, M. Eng.

<sup>\*7</sup> Prof., Sugiyama Jogakuen Univ., Ph. D.

<sup>\*8</sup> Prof., Institute of Industrial Science, The University of Tokyo, Ph. D.

<sup>\*9</sup> Forestry and Forest Products Research Institute

In recent years, the wooden building has been noted from various perspective, low-carbonization and management of forest resources etc., and cases of new wood utilization to public buildings are increasing in Japan. On the other hand, fire-resistive and quasi-fireproof constructions are assessed from the mechanical fire safety view point to prevent the collapse. If a fire-spread is prevented in a large-scale timber-based building, fire damage remain locally and it is highly possible to reuse the structural members including those damaged by fire. While mechanical behaviors of wood that are cooled to the room temperature after fire have been seldom studied, it is necessary to understand the residual strength of structural members after a fire for reusing fired wooden buildings.

In this paper, Young’s modulus and bending strength of 3 species of wood commonly used for engineered timber and Zelkova serrata, hardwood normally used for traditional large building, heated up to 250°C are measured at the elevated temperature and after cooling to the room temperature as an engineering basis for the structural fire safety design and the reusability diagnosis of large-scale timber buildings. As an analysis of the experiment, the facts listed below were revealed.

1. Temperature dependence of Young’s modulus and bending strength under heating.
2. Recovery characteristics of Young’s modulus and bending strength after heating.
3. Relations between Young’s modulus, density and bending strength under and after heating.

This bending experiment, measurements of the Mechanical properties of Cryptomeria japonica, Larix leptolepis, Pseudotsuga menziesii and Zelkova serrata, was conducted under and after heating on a scale of 1 to 5 below char temperature (the room temperature, 50°C, 100°C, 150°C, 200°C, 250°C). The specimens were hewed out from same log without knots and sized 20mm square and 320mm span (fig.1). These were dewatered to approximately 3 % moisture content before the bending test. The bending test was conducted as provided by JISZ2101 “The examination method for the bending strength” and taken place in compression testing machine with heat-controlled chamber (picture.1). The experimental procedure is shown in fig.2.

The results show the both properties, either at elevated temperature or after cooling, are highly dependent on exposed temperature for 150-200°C or higher, and correlation between the Young’s modulus and the bending strength tends to become weaker with rise of exposed temperature. The bending strength at elevated temperature is found to converge while it is notably scattered at normal temperature. This study is reported experimental evidence of an assessment for the structural fire safety and the reusability diagnosis of large-scale timber buildings.

(2014年 1月31日原稿受理, 2014年 3月31日採用決定)