

構造用集成材梁部材の火災時耐力 (その7. 梁の載荷実験の解析概要)

正会員 ○ 片倉 佑介*
同 市川 萌都*
同 平島 岳夫*
同 金城 仁**

構造用集成材 梁 火災時耐力
耐力低下 放冷過程 解析

1. はじめに

現在、木構造部材に耐火性能を付与する手法として木材と不燃材の複合構造を採用することが多い。木材の優れた熱伝導性を鑑みると、大断面の構造部材では火災終了後も相当の未炭化部分が残存するため、木構造部材の火災時性能を正確に把握することができれば、前述のような特殊な工法を用いずとも、構造用集成材のみで構成された耐火木造建築が可能であると考えられる。火災時における木構造部材の耐力は、炭化による断面減少および内部温度の上昇によって、加熱中のみならず火災終了後の放冷過程に大きく減少することが既往の研究で報告された^{1),2)}。

本研究の目的は、火災加熱を受ける架構の熱応力解析プログラム³⁾を木質材料まで拡張し、木構造部材の火災時性能を把握することである。本報では既往のカラマツ構造用集成材からなる梁部材の耐火実験を対象に、火災時および加熱終了後の放冷過程における、たわみ挙動・崩壊挙動の追跡を行う。

2. 木材の高温時応力-ひずみ関係

既往の2次元熱応力解析プログラムは鋼・コンクリートからなる部材を対象としているため、高温時を含む木質材料の力学的特性を与えた。

木材の高温時における応力 σ -ひずみ ε 関係は Richard 式⁴⁾を用いて以下のように与えた。式(1)に用いる各温度での諸係数を表1に、木材の応力-ひずみ関係を図1に示す。

$$\sigma = \frac{(E - E_p) \cdot \varepsilon}{\left[1.0 + \left|\frac{\varepsilon}{\varepsilon_1}\right|^n\right]^{\frac{1}{n}}} \quad (1)$$

- E: 弾性係数
- E_p: E/1000
- n: 要素の温度によって定まる変数
- ε : ひずみ
- ε_1 : 降伏ひずみ

表1. 応力-ひずみ関係の設定に用いる値

温度 [°C]	引張		圧縮		n
	E [N/mm ²]	ε_1 [10 ⁻³]	E [N/mm ²]	ε_1 [10 ⁻³]	
20	969.4	2.73	969.4	2.38	4.0
50	732.9	2.60	788.1	2.55	3.2
100	339.3	1.96	484.7	3.11	2.0
150	254.9	1.96	636.5	3.11	2.0
200	169.6	1.95	242.3	3.10	2.0
250	85.3	1.95	121.2	3.10	2.0

図2に Eurocode5 に示された高温時の木材の強度低下率⁵⁾と既往の素材試験から得られた圧縮強度低下率⁶⁾を示す。Eurocode5 の強度低下率が素材試験のものに比べて大きいのは、クリープの影響を考慮しているためと考えられる。既報¹⁾での Eurocode5 の低下率を用いた梁の耐力計算において概ね実験結果と一致したことから、本解析プログラムでは Eurocode5 による強度・剛性低下率に基づき設定した。ここで木材の常温時強度は既報(その6)²⁾の結果に基づき 51.0[N/mm²]とした。この強度設定値は、式(1)における降伏ひずみ ε_1 に反映される。自然放冷時に断面内部温度が低下しても強度回復は無いものとし、強度設定では分割要素の最高履歴温度を用いる。木材のひずみ増分に関しては、熱膨張・過渡ひずみは考慮しないものとした。図3に本解析で設定した応力-ひずみ履歴(正まわり)を示す。

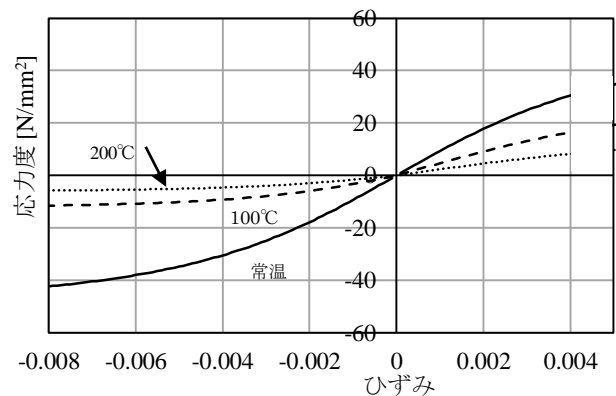


図1 木材の応力-ひずみ関係

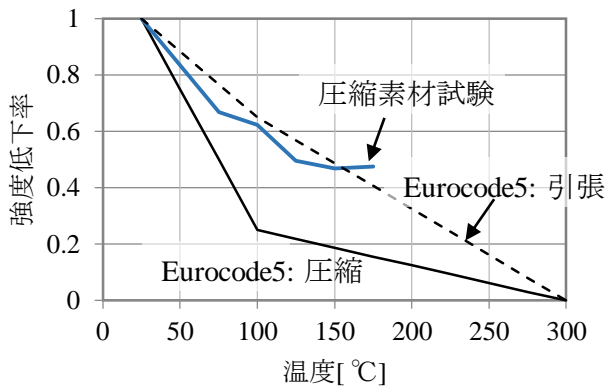


図 2. 高温時強度低下率

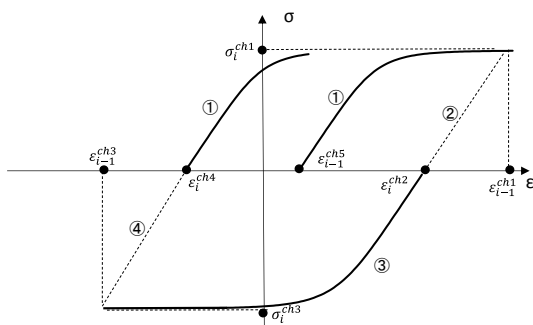
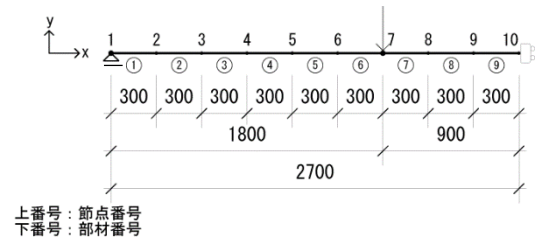


図 3. 木材の応力-ひずみ履歴

3. 解析モデルの設定

本解析では、既報^{1),2)}で報告したカラマツ構造用集成材からなる梁実験を対象とする。図 4 に解析モデルと断面を示す。変形の対称性を考慮して梁の 2 分の 1 の範囲をモデル化した。そのため、モデル右端は Y 方向の変位のみを自由境界としたローラー支持とした。実験では梁中央から 2000mm が加熱範囲であるものの、加力条件から実際の非加熱部の曲げモーメントは小さいと考えられるため、解析では梁全体が一様な加熱を受けるものとした。梁断面は高さ方向を 15mm または 7.5mm 毎の 29 分割、幅方向を 30mm または 7.5mm 毎の 14 分割とした。内部温度は 8 時間分(計測間隔 30 秒)の実験値を基に線形補間した。ただし、加熱面付近は、既往の熱伝導解析プログラム⁷⁾で計算した値を用いた。図 5 に解析で与えた断面内部温度の分布を示す。260°C 未満の未炭化領域は既報その 1 の実験結果の炭化状況と概ね整合した。



上番号: 節点番号
下番号: 部材番号

図 4. 解析モデル

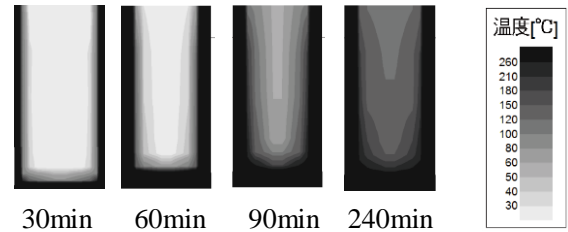


図 5. 梁断面の温度分布

解析では引張側の非炭化領域における引張ひずみが 4000×10^{-6} に達した時点で破壊と判定する。これは、常温での载荷実験において、崩壊時は最下層ラミナの引張破断に起因する曲げ破壊が生じ、その時の引張縁ひずみが約 4000×10^{-6} であったためである。

4. まとめ

本報(その 1)では構造用集成材の火災時挙動の解析概要について述べた。次報(その 8)でその解析結果と実験結果の比較を報告する。

謝辞

本研究はベターリビング・齋藤木材工業との共同研究「構造用集成材を用いた木構造梁部材の火災時耐力及びその耐火性能評価」の継続研究として実施されたものです。また、本解析では元千葉大学大学院生、松本匠氏に多大な協力を頂きました。付記して謝意を表します。

【参考文献】

- 1) 金城仁, 遊佐秀逸, 堀尾岳成, 平島岳夫, 松本匠, 齋藤潔: 標準火災加熱を受けたカラマツ集成材梁の放冷過程における挙動, 日本建築学会構造系論文集 Vol.80, No.711, 2015.5
- 2) 金城仁他: 構造用集成材梁部材の火災時耐力, 日本建築学会構造系論文集 2015.9
- 3) 生田浩子他: 火災加熱を受ける鋼構造骨組の変形解析(その 1. 立体フレーム火災応答解析の概要), 日本建築学会大会学術講演梗概集 pp.27-28, 2010.9
- 4) RICHARD, R.M., AND ABBOTT, B.J: VERSATILE ELASTIC-PLASTIC STRESS-STRAIN FORMULA, JOURNAL OF ENGINEERING MECHANICS, ASCE, VOL.10, No.4, pp.511-515, 1975
- 5) EUROCODE5: DESIGN OF TIMBER STRUCTURES - PART 1-2 - GENERAL - STRUCTURAL FIRE DESIGN, 2014
- 6) 片倉佑介他: カラマツ集成材の高温時強度に及ぼす水分蒸発の影響, 日本建築学会大会学術講演梗概集 pp. 131-134, 2015.9
- 7) 日本建築センター: 燃え止まり部材の耐火構造開発の研究報告書 pp. 119-120, 2005.3

*千葉大学院工学研究科
**(一材)ベターリビング

*Graduate School of Eng., Chiba Univ.
**Center for Better Living