

加熱冷却後における RC 柱の耐震性能に関する解析的研究

(その 1) 実験概要および非定常熱伝導解析

An analytical study on seismic performance of RC columns after heating and cooling

(Part 1) Outline of experiment and transient heat transfer analysis

○月成真隆¹, 笠原貴喜², 田嶋和樹³, 長沼一洋³

Masataka Tukinari¹, Takayoshi Kasahara², Tajima Kazuki³, Kazuhiro Nagamuna³

Abstract: The purpose of this study is to verify the applicability of the analysis method for predicting the seismic performance of reinforcement concrete columns after fire. In part 1, transient heat transfer analyses are conducted under heating and cooling in considering temperature dependencies of material thermal properties. Transition of the temperature in the column obtained from the analyses show good agreements with the experimental results.

1. はじめに

建物の火害診断および補修・補強方法指針・同解説(以下補修指針)¹⁾では、火災後の補修を行う際に、構造耐力の推定が必要となる。補修指針には構造耐力の推定方法は有限要素法による方法と材料の残存強度性能を部材断面について積分する方法が記載されている。しかし、火災後の耐震性能を FEM 解析によって検討している例はほとんど見当たらず、火災後の耐震性能を把握するための解析手法も確立されていない。

そこで、本研究は火災後における RC 柱の耐震性能を有限要素法による解析で把握することが目的である。本報(その 1)では、解析対象とした実験概要および熱伝導解析結果について述べる。

2. 解析対象とした実験

本検討では熊谷らの実験²⁾と高木らの実験³⁾に対して解析を行う。これらの実験は、加熱実験中に軸力を与えず、加力実験時のみに軸力を与えているため、実際に建物に火災が発生した時の挙動とは異なる条件下で実験を行っている。しかし、加熱実験時より軸力を与えている実験が存在しないため、今回はこの二つの実験に対して解析的検討を行う。

それぞれの実験の試験体情報および材料諸元、温度履歴を Table.1, Table2 と Fig.1, Fig.2 に示す。熊谷らの実験では加熱の有無およびコンクリートの圧縮強度をパラメータとしており、 $F_c=23,40,50(N/mm^2)$ の 3 種類がある。次に高木らの実験では柱に対する加熱時間をパラメータとしており、加熱を行わない試験体と ISO834 標準加熱曲線で 1 時間加熱、2 時間加熱の 3 種類がある。また両実験共に上部に水平力を与え、逆対称変形状態となるように载荷を行っている。

Table.1 Material properties

	Concrete	Longitudinal bar		Hoop bar	
	$F_c(N/mm^2)$		$\sigma_y(N/mm^2)$		$\sigma_y(N/mm^2)$
Kumagai*2	20,40,50	12-D13	396	4-U6@50mm	1278
Takagi*3	24	6-D13	345	2-D6@40mm	295

Table.2 Specimens and parameters

	Specimen	Parameter
Kumagai*2	N20, N40, N50, F20, F40, F50	Heating or not, Concrete strength
Takagi*3	N00, F1H, F2H	Heating time

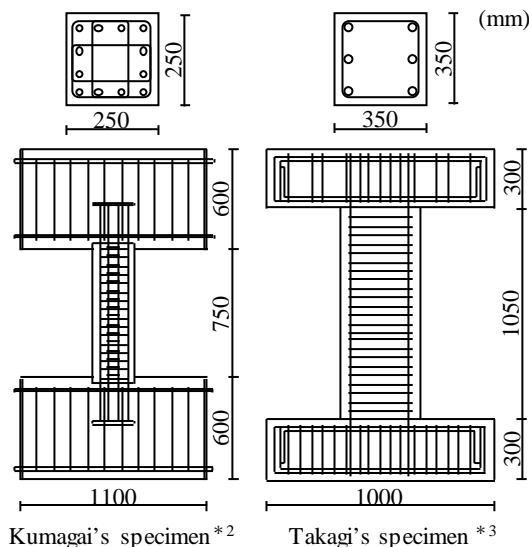


Fig.1 Detail of specimens

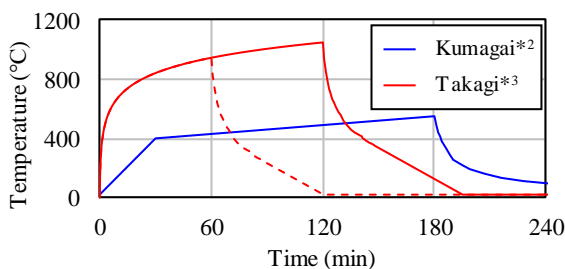


Fig.2 Heating curves

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

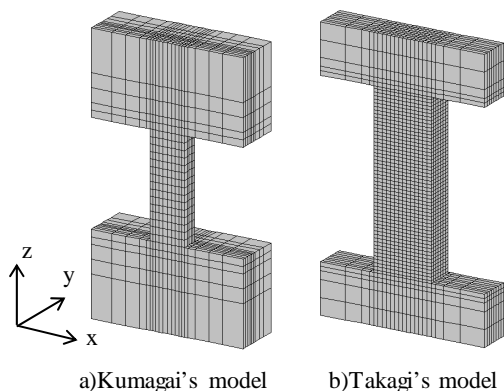


Fig.3 FE analysis models

3. 熱伝導解析手法

それぞれの加熱実験に対して、非定常熱伝導解析を行う。解析モデルは3次元でモデル化し、対称条件を用いて1/2でモデル化した。コンクリートは六面体要素、主筋と帯筋は線材要素、鉄筋-コンクリート間の付着すべりは接合要素で表現する。Fig.3に要素分割図を示す。

解析に用いた熱特性値は、コンクリートは Eurocode 4⁴⁾の式に対する斎藤らの提案値⁵⁾を用い、鉄筋は Eurocode 4⁴⁾の式を用いた。それぞれの熱特性値を Fig.4 に示す。また蒸発潜熱を考慮し、含水率を5%とした。ただし水分の移動については考慮していない。降温時の熱特性値については、昇温時と同様の値を用いて計算した。また、解析は熱放射境界を用いて、火炎の放射率は0.9、コンクリート表面の放射率は0.9と仮定し、合成放射率を0.82とした。自然冷却については実験と同様の炉内温度になるように設定した。

非定常熱伝導方程式の解法にはCrank-Nicolsonの差分法を用い、収束計算にはNewton-Raphson法を用いた。

4. 熱伝導解析結果

それぞれの実験に対して非定常熱伝導解析を行った結果を Fig.5 に示す。熊谷らの解析結果は、実験結果と良好に対応していることがわかる。しかしながら、300分以降の実験結果は論文中に記載されていないため、降温時の実験と解析の対応性については不明である。

次に、高木らの解析結果は、熊谷らの解析結果よりも温度が高いことが確認できる。これは実験時の加熱曲線(黒線)が異なることが原因だと思われる。また、高木らの論文中には断面内の温度分布は記載されていないため、実験結果と比較することができなかった。

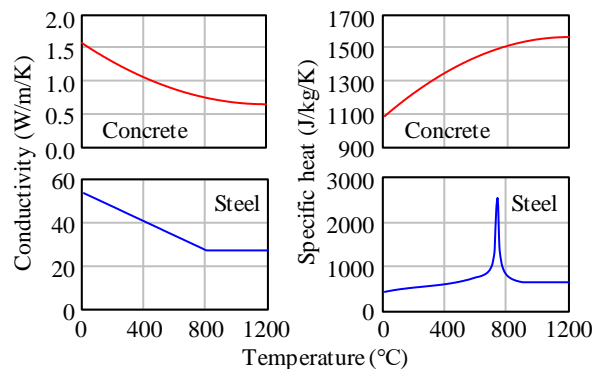


Fig.4 Temperature dependent characteristics

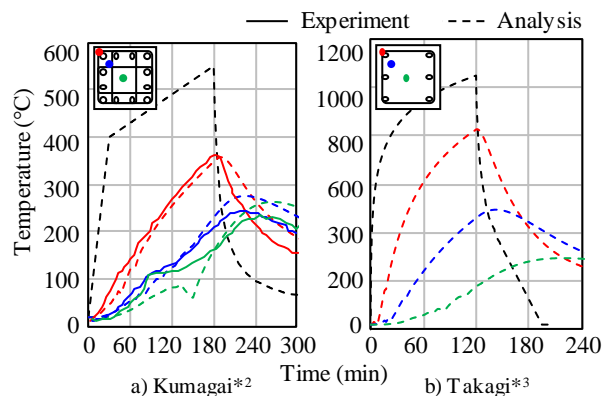


Fig.5 Analysis results

5. まとめ

実験結果に対して熱伝導解析の結果が良好に対応していることを確認した。その2ではここで得られた熱伝導解析の結果を用いて応力解析をおこなう。

6. 参考文献

- [1] 建物の火害診断及び補修・補強方法 指針・同解析, 日本建築学会, 2015.2
- [2] 熊谷仁志, 他: 高温を受けた高強度コンクリート部材の力学特性(その3.柱の曲げせん断試験), 日本建築学会大会学術講演梗概集(北陸), pp1019-1020, 1992.8
- [3] 高木仁之, 白石一郎: 火熱を受けた鉄筋コンクリート柱の強度・変形性能の劣化に関する研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.30, No.3, pp121-126, 2008
- [4] European Committee for Standardization (CEN): Eurocode 4 - Design of composite steel and concrete structures - Part 1-2: Structural fire design, European Prestandard, CEN, Brussels, Final Draft prENV 1994-1-2, Oct. 1993.
- [5] 斎藤秀人, 他: 中心圧縮を受ける充填鋼管コンクリート柱の内部温度と耐火時間に関する研究, 日本建築学会環境系論文集, 第582号, pp.249-250, 1999.