

## B-6

## 加熱後冷却を受ける高強度鉄筋コンクリート柱の熱伝導解析

## Heat Conductivity Analysis of High-Strength Reinforced Concrete Columns Under Cooling after Heating

○笠原貴喜<sup>1</sup>, 田嶋和樹<sup>2</sup>, 長沼一洋<sup>2</sup>Takayoshi Kasahara<sup>1</sup>, Kazuki Tazima<sup>2</sup>, Kazuhiro Naganuma<sup>2</sup>

Abstract: In order to clarify the performance of high-strength reinforced concrete columns subjected fire, flexural shear loading tests after heating and cooling had been conducted. However, there are few reports on analysis of reinforced concrete columns subjected fire. Therefore, as a preliminary step, thermal conductivity analyses were performed on two specimens subjected to heating and cooling. As a result, it is found that the temperature under cooling process can be analyzed by using thermal characteristic values for heating. In addition, it is confirmed that transition of the temperature distribution from heating through cooling can be simulated well.

## 1. はじめに

鉄筋コンクリート部材の高温加熱時の熱応力解析は、ファイバー法や有限要素法によって行われており、解析結果の精度は十分とは言えないものの、ある程度の性状を捉えることが可能になってきた。

しかし、高温加熱後の RC 柱に常温下で水平荷重をした解析はほとんど行われていない。また、加熱冷却後の RC 柱を解析するにあたって、降温時の熱伝導解析は重要である。理由としては、冷却中も断面中心温度はある程度上がるため、加熱終了時と冷却終了時では経験した最高受熱温度が異なるからである。

そこで本研究では、加熱冷却後の構造性能に関する解析を行う前段階として、加熱から冷却に至る過程の有限要素法による非定常熱伝導解析を行う。

## 2. 実験概要

松戸ら<sup>1)</sup>と道越ら<sup>2)</sup>の加熱実験を解析対象とした。それぞれの試験体形状および試験体温度測定位置を Fig.1 に示す。a)は松戸らの試験体、b)は道越らの試験体であり、赤点は温度測定位置を示している。

松戸らの実験における加熱方法は ISO834 の標準加熱曲線に沿った 3 時間加熱であり、加熱終了後は炉内での自然冷却となっている。道越らの実験における加熱方法は火災温度上昇係数  $\alpha 700^\circ\text{C}/\text{min}^{1/6}$ 、60 分加熱でその後冷却とされている。含水率は 5% である。

どちらの試験体もポリプロピレン短繊維が混入されており、a)には 0.2vol%、b)には 0.28vol% 含まれている。どちらも実験中に爆裂を起こさない試験体である。

## 3. 解析手法

それぞれの加熱実験に対して、有限要素法による非定常熱伝導解析を行う。試験体の要素分割図を Fig.2

に示す。a)は松戸らの試験体、b)は道越らの試験体を示している。どちらもコンクリートを六面体要素、鉄筋を線材要素でモデル化しており、試験体の対称性を考慮して 1/4 をモデル化した。高さ方向は帯筋間を 2 分割とした。高さ方向の温度分布は一樣と仮定した。

解析に用いた熱特性値は、コンクリートは Eurocode4<sup>3)</sup>の式に対する斎藤らの提案値<sup>4)</sup>を用い、鉄筋は Eurocode4<sup>3)</sup>の式を用いた。冷却時の熱特性値についても上記のものを使用した。また、蒸発潜熱を考慮し、含水率は 5% とした。ただし水分の移動については考慮していない。

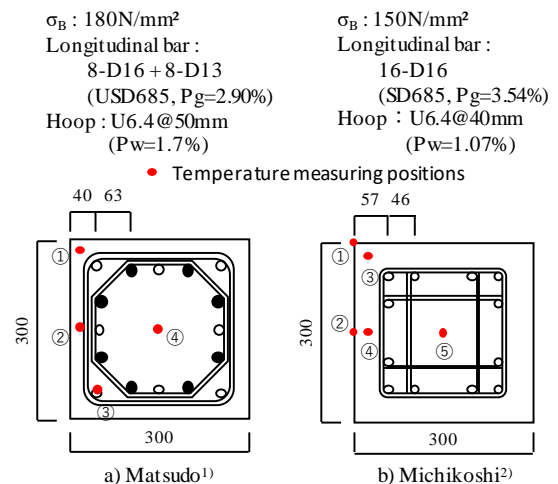


Fig.1 Geometry of Specimen

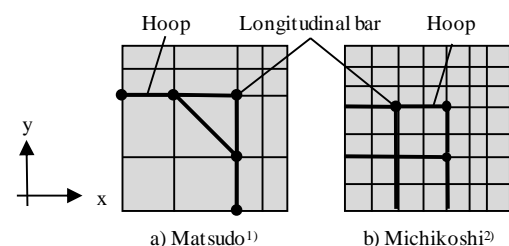


Fig.2 Mesh Decision of Specimen

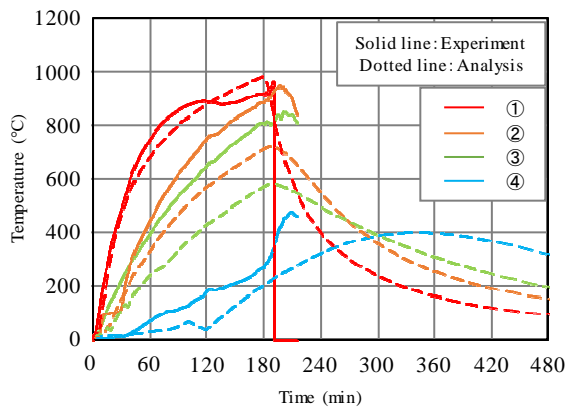


Fig.3 Temperature-Time relationships of Matudo's Specimen

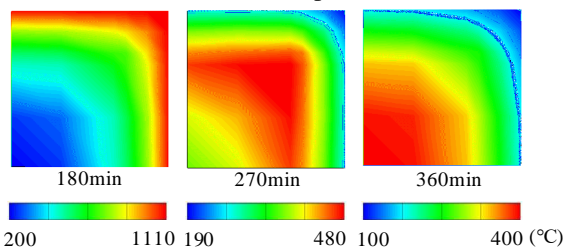


Fig.4 Temperature Distributions in a cross section

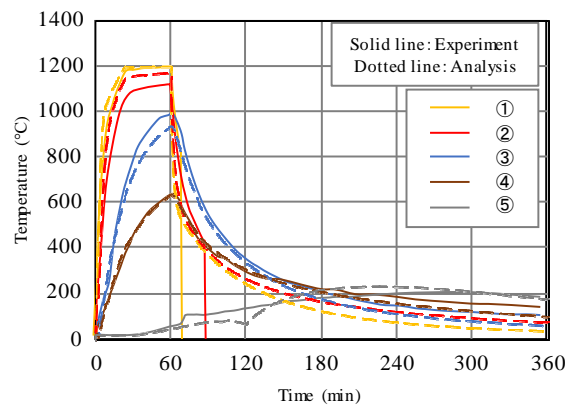


Fig.5 Temperature-Time relationships of Michikoshi's Specimen

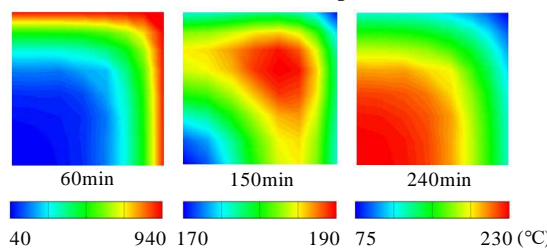


Fig.6 Temperature Distributions in a cross section

#### 4. 解析結果

熱伝導解析結果を Fig.3 および Fig.5 にそれぞれ示す。図中は実線が実験値、点線が解析値である。また、Fig.4 および Fig.6 にはそれぞれの温度分布図を示す。

松戸らの試験体の解析結果は、試験体表面と断面中心のコンクリート温度は良好に解析できたものの、鉄筋温度については実験値よりも 200°C ほど低くなった。これは鉄筋によるコンクリートの断面欠損やモデル化における鉄筋位置のずれ、かぶりコンクリートに生じる多数のひび割れなどの原因が考えられる。

道越らの試験体の解析結果は、どの温度測定位置でもかなり良好に対応している。この結果から、冷却過程を解析する際でも加熱時の熱特性値を使用して問題ないと思われる。

温度分布図に着目すると、両試験体とも加熱終了時は一般的な加熱時の温度分布となった。加熱終了後 90 分経過すると試験体表面の温度が低下する。この時、試験体表面の隅角部の温度が最も低い。時間が経つと温度が高い領域が少しずつ断面内に移動していくような挙動を示す。240 分経過時には中心が最も温度が高く、表面が最も温度が低い温度分布となり、徐々に温度が低下していく。両試験体を比較すると、加熱時間が長いほうが大きな熱量を受けているため、冷却中の中心温度も高くなることわがわかる。

#### 5. まとめ

加熱冷却後の RC 柱の荷重試験に対する構造的な性能に関する解析の前段階として、加熱冷却過程の熱伝導解析を実施した。その結果、鉄筋温度を過小評価したが、コンクリート温度については加熱終了後 300 分ほど経過しても解析で再現できた。また、加熱から冷却に移る際の温度分布の推移や加熱時間の差異による冷却中における中心温度の違いを確認することができた。

#### 6. 参考文献

- [1] 松戸正士, 他: 「耐火対策を施した超高強度鉄筋コンクリート柱の加熱冷却後における曲げせん断実験(その1)」, 日本建築学会構造系論文集, Vol.74, No.645, pp.2137-2144, 2009.
- [2] 道越真太郎, 他: 「火害を受けた高強度鉄筋コンクリート柱の構造的な性能(その1)」, 日本建築学会大会梗概集, pp.79-80, 2015.
- [3] 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
- [4] 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