

火災時におけるコンクリートの爆裂挙動解析に関する基礎的研究

名古屋大学大学院 学生会員 中島 浩亮

名古屋大学大学院 正会員 中村 光, 国枝 稔, 上田 尚史

防衛大学校 正会員 山本 佳士

1. はじめに

火災時のコンクリート構造物の耐火性および安全性は、コンクリートの表層部が爆裂挙動を生じることで大きく左右される。火災等におけるコンクリートの熱応力解析は、一般に有限要素法により行われるが¹⁾、爆裂挙動までを解析的に再現しようとした場合、連続体力学に基づく手法は必ずしも適切な手法とは考えられない。そこで本研究では、火災時における爆裂挙動の解析的評価の可能性を、ひび割れなどの不連続挙動を扱うのに適している剛体-バネモデルにより検討した。

2. 解析手法

2.1 剛体-バネモデル(RBSM)

本研究では、コンクリートの爆裂現象に伴う部材のひび割れ進展および剥落現象を直接的に表現できる解析手法として3次元RBSMを用いた。コンクリート要素は、Voronoi多角形分割により生成し、各々の要素間の境界面上にバネを配置し、6自由度を持つ剛体としてモデル化した。ただし、本モデルでは、回転バネはモデル化せず、図-1に示すようにVoronoi多角形の境界面上の母点と頂点を結んで出来る領域の各重心に垂直バネとせん断バネを配置した。すなわち、境界面上で複数の垂直バネおよびせん断バネを設定することで隣接要素の回転相対変位に対する非線形抵抗特性を表現した。

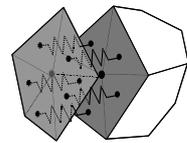


図-1 バネの設定

2.2 コンクリートの材料モデル

垂直バネについては、圧縮領域では圧縮強度まで Saenz の式に

従い、その後は破壊エネルギーを考慮し終局ひずみまで直線近似するモデルを用い、引張軟化領域については1/4モデルを用いた。せん断バネについては、既往の研究に基づきモデル化した²⁾。なお、コンクリートの材料強度に対して温度依存性が存在するが、今回の解析では、簡単のためその影響を無視した。

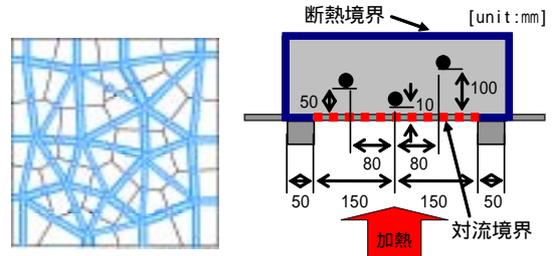


図-2 トラスモデル

2.3 熱伝導解析および熱応力解析

熱伝導解析は図-2に示す各Voronoi母点間をトラスネットワークによって結ぶトラスモデル³⁾を用いた。トラスモデルは1次元の熱伝導方程式を考えるだけでよく、容易にモデル構築が出来る。また、今回は考慮していないが、複数のトラスの重ね合わせで湿気移動なども同時に、かつ容易に扱うことが出来る。なお、表面にひび割れが生じた際は、ひび割れ間のトラス節点を対流境界と同一にし、ひび割れ部における熱移動を考慮した。

コンクリート中の温度上昇と熱膨張ひずみは線形の関係にあると仮定し、熱膨張ひずみ増分を求めた。熱応力解析は、熱伝導によって生じた熱膨張ひずみをRBSMの垂直バネ方向に与えることで、初期ひずみ問題として行った。

3. 解析対象

解析の対象としたのは北村ら⁴⁾の行なった400×400×150(mm)の寸法を有するコンクリートスラブの耐火性試験である。図-3に実験概略図を示す。なお、実験では図に示す測定点(加熱面から10mm, 50mm, 100mmの位置)で温度が測定されている。

4. 解析条件

解析は、対象性を考慮して実験供試体の1/4モデル(200×200×150(mm))で行った。寸法、境界条件および対流境界(網掛け)部分を図-4に示す。Voronoi分割は、加熱面近傍では約2.5mmの大きさになるように行った。表-1に解析で用いたコンクリート物性値を示す。熱伝導率

キーワード 爆裂, 温度応力, 3次元RBSM, トラスネットワークモデル

連絡先 〒464-8603 愛知県名古屋市千種区不老町 工学部9号館526号室 (名古屋大学)

〒239-0811 神奈川県横須賀市走水 理工学部5号館 (防衛大学校)

表-1 コンクリートの物性値

圧縮強度 (N/mm^2)	ヤング係数 (N/mm^2)	熱膨張 係数	ポアソン比	密度 (kg/m^3)
41.9	3.01×10^4	1.00×10^{-5}	0.16	2274.2

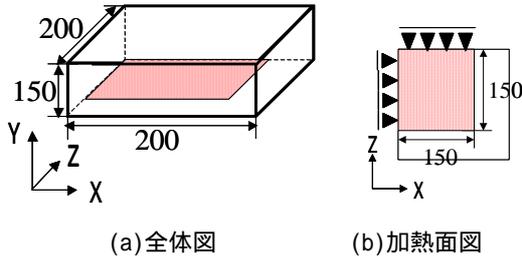


図-4 解析モデル

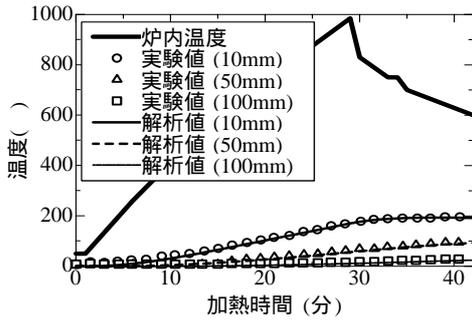


図-5 温度推移(実験値・解析値)

および比熱に関しては温度依存性の影響が報告されており¹⁾、本解析においても温度依存式を用いて解析を行った。熱伝達率についても温度依存性はあるが、今回は一定値とし、実験における温度履歴を妥当に評価出来る値として $7(W/m^2)$ を仮定した。

5. 解析結果および考察

熱伝導解析は、簡単のため熱輻射の影響を無視し、炉内温度を供試体モデルの対流境界における周囲温度として与えた。図-5に温度推移の実験値および解析値を示す。解析値は、いずれの測定点の温度推移も精度良く再現しており、トラスモデルおよび物性値設定の妥当性が示されている。

コンクリートの挙動は、加熱開始から 27 分後に加熱面のコンクリート要素の剥落が発生した。図-6に剥落発生後から 20(s)毎の加熱面から見た変形挙動を示す。図によれば、表層部で発生した剥落挙動は、放射状にある深さまで進展し、広がっていく挙動が示されている。解析で得られた爆裂深さは約 12mm であり、実験では約 10mm と報告されており、概ね爆裂深さは一致している。今回の解析は爆裂挙動が加速しだした時点で不安定となり終了したが、本解析手法により爆裂挙動開始の定性的な挙動が示されていると推測される。

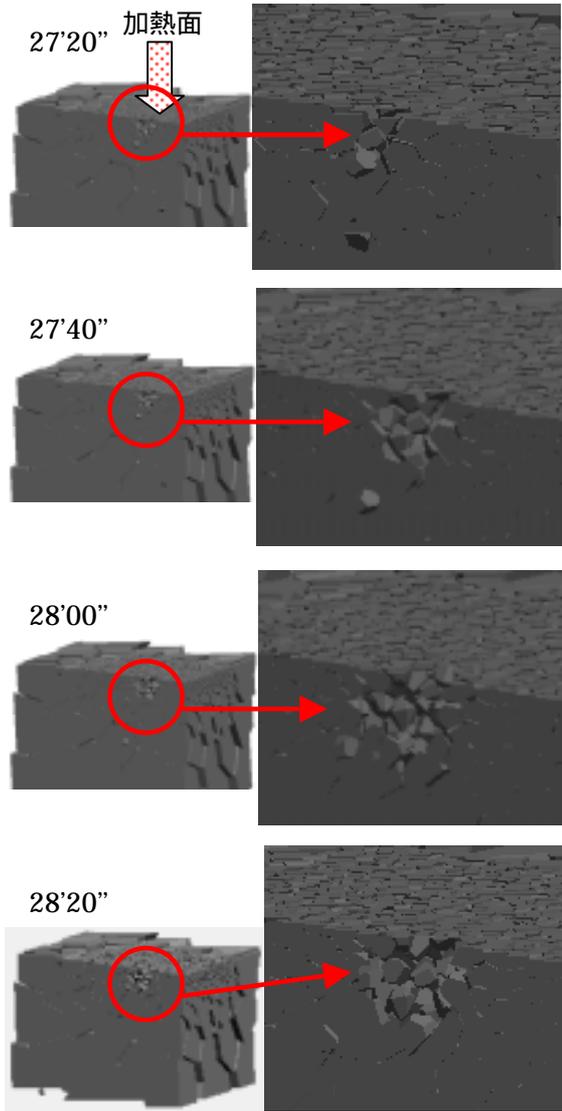


図-6 時間ステップ毎の爆裂性状(変形 2 倍)

6. まとめ

本研究では温度応力に着目し、火災等のコンクリートの爆裂現象を、3次元RBSMにより解析的に再現することを試み、その可能性を示した。本手法は、蒸気圧応力を始めとした爆裂発生要因とも容易に連成可能であり、今後有用な手法と成り得ると考えられる。

参考文献

- 1) コンクリート構造物の耐火技術研究小委員会報告ならびにシンポジウム論文集,土木学会,2004
- 2) Saito, S. : Fracture analyses of structural concrete using spring network with random geometry. ,Doctoral thesis, Kyushu University, 1999
- 3) Nakamura, H : Time-Dependent Structural Analysis Considering Mass Transfer to evaluate Deterioration Process of RC Structures. , Journal of Advanced Concrete Technology, Vol.4, No.1, pp.147-158, February, 2006
- 4) 北村ら: コンクリートの耐火性に関する研究, <http://www.cive.gifu-u.ac.jp/lab/st1/works/2>