

RBSM-TRUSS Network モデルによる爆裂挙動への鉄筋の影響評価

名古屋大学大学院 学生会員 ○海野 貴裕
 名古屋大学大学院 正会員 中村 光, 国枝 稔, 上田 尚史

1. はじめに

コンクリートの火災時爆裂挙動の評価は、トンネル構造や高強度コンクリートを用いた構造物の安全性を確保するために重要な項目である。コンクリート構造物では、コンクリートと鉄筋の熱伝導特性の違いから、鉄筋がコンクリート内部の温度分布へ影響を与えることが推測されるが、鉄筋の存在が爆裂挙動へ与える影響は明らかになっていない。そこで、本研究では、蒸気圧応力および温度応力の影響を考慮できる解析手法を用い、爆裂挙動に対する鉄筋の影響を解析的に評価することを試みた。

2. 解析手法

解析手法には、構造解析を行う 3次元剛体バネモデル (3D-RBSM)と熱伝導ならびに蒸気圧移動解析を行うトラスネットワークモデルを組み合わせた手法を用いた。¹⁾ここで、構造解析を行う際の鉄筋は、はり要素によりモデル化し、RBSM でモデル化されたコンクリートとリンク要素を用いて接合している。一方、鉄筋をモデル化したはり要素と同位置にトラスネットワークモデルの一部としてトラス要素を配置し、コンクリートと異なる熱伝導特性を与えることで、同一のスキームで鉄筋とコンクリート相互の熱伝導の影響を考慮できるモデルとしている。

図-1 に解析フロー図を示す。解析ではトラスネットワークモデルを用い、一次元の拡散方程式を解くことにより温度およびコンクリート中の蒸気圧分布の算定がまず行われる。得られた温度分布を用いて、飽和蒸気圧を求め、蒸気圧移動解析を行う。次に、構造解析では、熱伝導解析により得られた温度分布を用いて算出した熱膨張ひずみ、および、蒸気圧移動解析により得られた蒸気圧を考慮した複合問題として RBSM により内力計算を行う。熱膨張ひずみは、熱伝導解析によって得られた温度勾配と熱膨張ひずみが線形関係にあると仮定して計算され、RBSM における垂直バネの初期ひずみとして与えられる。蒸気圧は、蒸気圧移動解析により得られた蒸気圧分布を用い、RBSM における初期応力として与えられる。本研究では、爆裂後の変形挙動までも再現することを目的としているため、運動方程式により構造解析を構築した。その際、動的応答に対する数値積分法として Newmark β 法($\beta=0.25$)を用い、陰的に解を求めた。

3. 解析概要

解析に用いたモデルは、図-2 に示す断面 100mm×100mm の角柱の一断面を厚さ 2mm でモデル化したものである。対称性を考慮して 1/4 モデルでモデル化し、柱の一部を模擬したことから、面内変形のみを許容し、要素が鉛直方向に変形しないように設定した。平均要素寸法は 3mm とし、ボロノイ分割を行った。加熱は全面加熱とし、

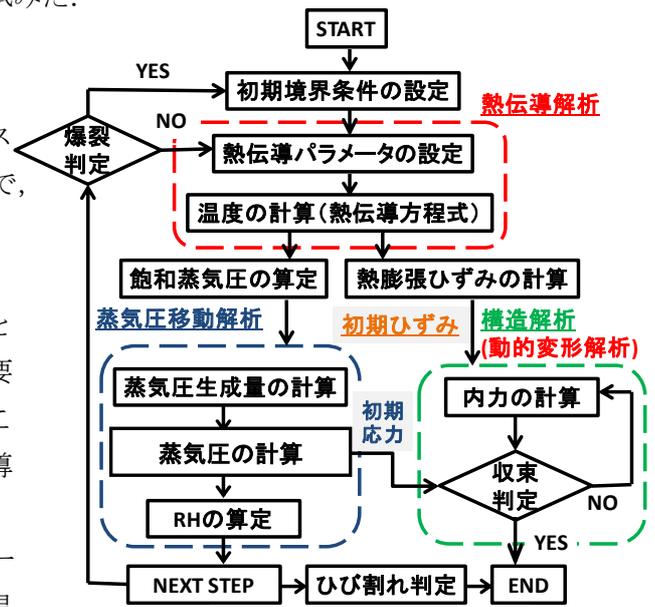


図-1 解析フロー

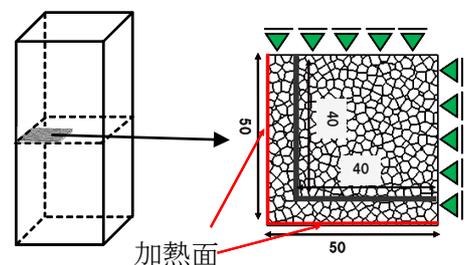


図-2 解析モデル

表-1 コンクリートの熱伝導特性

熱伝達係数 (W/s·m ² ·K)	線膨張係数 (1/°C)
11.2	1.0×10 ⁻⁵

キーワード トラスネットワークモデル, RBSM, コーナーエフェクト, 熱伝導, 蒸気圧

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 TEL 052-789-4484

RABT 曲線にしたがって与えた。解析は鉄筋を配置している配筋モデルの場合（かぶり 10mm）と配置していない無筋モデル場合で行い、鉄筋の影響を検討できるようにした。

表-1, 表-2 にコンクリートの熱伝導特性, 材料定数を示す。また, 表-3 に鉄筋の熱伝導特性を示す。

表-2 コンクリートの熱伝導特性

圧縮応力	弾性係数	引張応力
(MPa)	(GPa)	(MPa)
35.0	35.0	4.0

表-3 鉄筋の熱伝導特性

熱伝達係数	熱伝導係数	比熱	線膨張係数
(W/s・m ² ・K)	(W/s・m・K)	(KJ/kg・K)	(1/°C)
84.0	48.0	0.435	1.0×10 ⁻⁵

4. 解析結果

図-3 に鉄筋を配筋していない無筋モデルの加熱後 5 分, 10 分, 爆裂時の温度分布, 相対湿度分布, 蒸気圧分布, 変形図を, 図-4 に鉄筋を配筋した配筋モデルの加熱後 5 分, 10 分, 爆裂時の温度分布, 相対湿度分布, 蒸気圧分布, 変形図を示す。

無筋モデルでは, 加熱開始から 25 分で爆裂現象が発生し, コーナー部から吹き飛ばすような形で破壊した。断面内に同心円状に温度が分布するとともに, コーナー部では, 高温, 高相対湿度となり, 高い蒸気圧が生じるコーナーエフェクトが発生し, 爆裂現象の主要因となったことが変形図, 蒸気圧分布図から確認できる。

一方, 配筋モデルでは, 加熱開始から 10 分で爆裂現象が発生し, 鉄筋位置からコンクリートが剥落する形で破壊した。配筋モデルにおいても, コーナーエフェクトは発生したが, 変形図から破壊の主要因となっていないことがわかる。配筋モデルでは, 無筋モデルと比較すると, 鉄筋の熱伝導がコンクリートより大きい影響で, 鉄筋位置において, 温度上昇が速く進行している。温度分布も同心円状ではなく, 鉄筋の熱伝導の影響を受けた分布となっている。また, 加熱による変形において, 鉄筋内部のコンクリートは鉄筋によって拘束され, 鉄筋外部のコンクリートは自由膨張変形しやすい。以上のことから, 蒸気圧が鉄筋に沿うように発生したことから鉄筋によって内部コンクリートの変形が拘束されたことが配筋モデルにおける破壊形態の主要因であると推察される。また, 無筋モデルとの比較から, 今回のモデルにおいては, 爆裂現象に対して, 鉄筋による影響の方がコーナーエフェクトの影響よりも支配的であることが確認できる。

5. まとめ

本研究で, 角を持つ形状断面の爆裂現象に対して, コーナー部で高い蒸気圧が発生するコーナーエフェクトが爆裂現象の主要因となることを示した。コーナーエフェクトが発生する形状に対して, 小さいかぶり鉄筋を配置した場合, 鉄筋の影響によって発生する損傷の方が, コーナーエフェクトによる損傷よりも支配的になることを示した。

参考文献 1) 吉田 敬司, 中村 光, 国枝 稔, 上田 尚史: 高温加熱環境下におけるコンクリートの内部損傷および爆裂現象の評価手法の開発

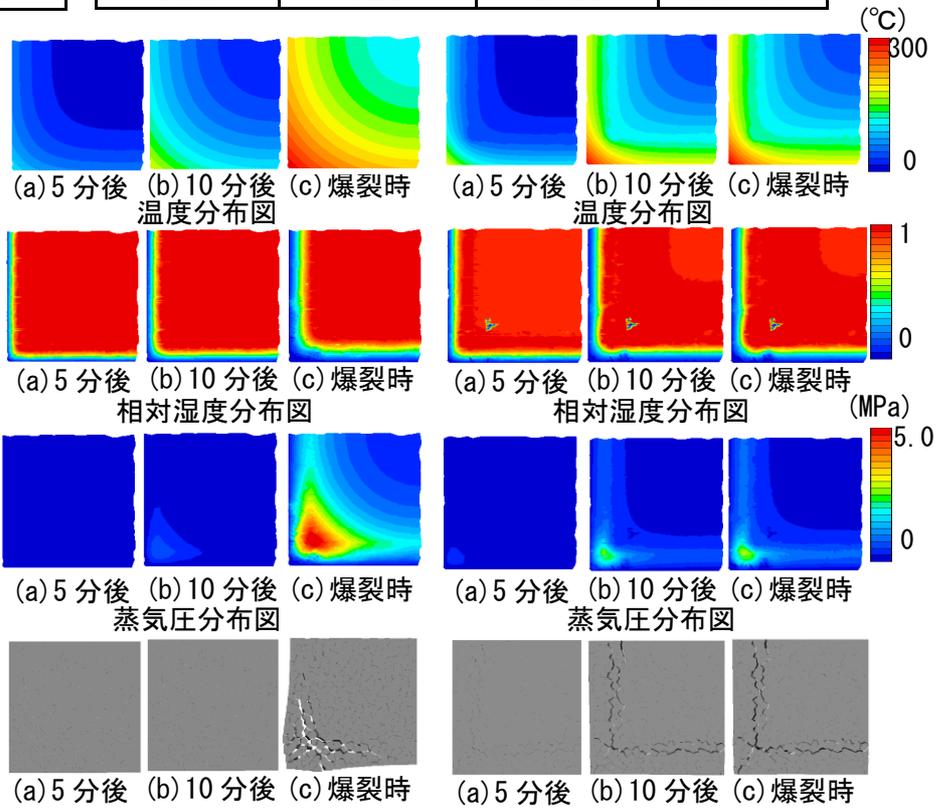


図-3 無筋モデル

図-4 配筋モデル