

RBSM による塩分浸透を考慮した鉄筋の腐食ひび割れ解析

山梨大学大学院 学生員 ○大武美恵子
 山梨大学大学院 正会員 斉藤 成彦
 山梨大学大学院 正会員 檜貝 勇

1. はじめに

コンクリート構造物の劣化要因の中で構造物に及ぼす影響が特に大きいと考えられるのが、塩害等によって生じる鉄筋の腐食である。構造物の耐久性を確保するためには、鉄筋の腐食開始時期、鉄筋の腐食に伴うひび割れ、剥離等を精度よく予測する必要がある。本研究では、鉄筋コンクリート供試体を対象とした鉄筋の腐食ひび割れ解析を行い、ひび割れ進展の様子、およびひび割れ幅の変化について検討を行った。コンクリートのひび割れ解析には、3次元剛体バネモデル¹⁾（以下 RBSM）を採用し、1次元トラスモデル²⁾を用いた塩分浸透解析により得られる塩分濃度分布を用いて、鉄筋の腐食膨張をモデル化した。

2. 3次元 RBSM による物質移動解析

2.1 コンクリートのモデル化

本研究では、材料を離散的に扱う解析手法の一つである RBSM を用い、コンクリート材料のモデル化を行った。RBSM は、図-1 のように、コンクリート要素を剛体と仮定し、隣接する要素をバネで結合した解析手法であり、コンクリートのひび割れ挙動を比較的容易に表現することができる。

2.2 トラスモデル

コンクリート中の塩分浸透は、1次元トラスモデルを用いた拡散問題として扱った。図-2 のように、剛体要素の母点間にトラス要素を配置し、これに適切な拡散係数を用いることで剛体内の物質移動を表現する。ここで、移動する物質には水分と塩分を考慮した³⁾。

3. 鉄筋の腐食によるひび割れ解析

3.1 鉄筋腐食のモデル化

本研究では、鉄筋位置の塩分濃度が腐食発生限界濃度(本研究では、 $1.2 \times 10^{-6} \text{ g/mm}^2 \cdot \text{day}$)を超えると腐食が開始するものとし、鉄筋の腐食速度(v)に腐食が始まってからの経過時間(Δt)をかけることにより、腐食量($Wr = v \cdot \Delta t$)を求め、更に、この腐食量を用いて式(1)から、鉄筋の膨張ひずみ⁴⁾(ε)を求める。求めた膨張ひずみを鉄筋の表面に与え、ひび割れ進展解析を行う。腐食速度には、一定の値 $1.0 \times 10^{-7} \text{ g/mm}^2 \cdot \text{day}$ を用いた。

$$\varepsilon = \frac{W_r(dV - 1)}{H \cdot \rho_s} \quad (1)$$

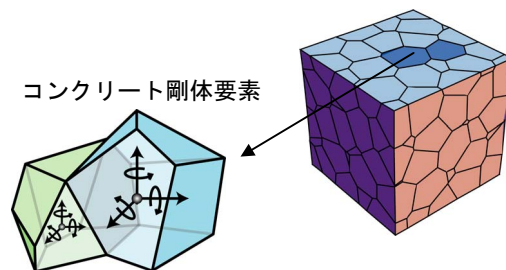


図-1 3次元剛体バネモデル

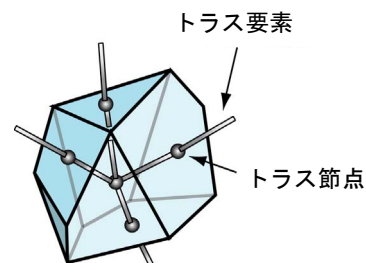
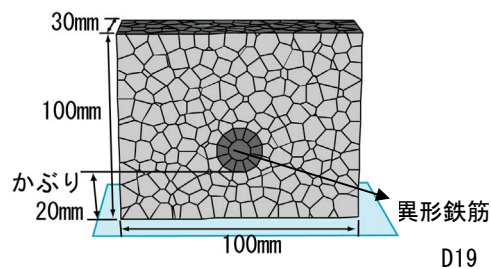
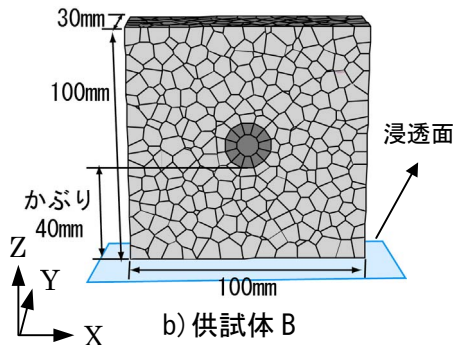


図-2 トラスモデル



a) 供試体 A



b) 供試体 B

図-3 解析モデル

キーワード 剛体バネモデル, 物質移動解析, 塩分浸透, トラスモデル, 腐食ひび割れ

連絡先 〒400-8511 山梨県甲府市武田 4-3-11 TEL055-220-8529 FAX055-220-8773

ここで、 dV は鉄筋の膨張率($dV = 2.5$), H は要素間距離, ρ_s は鉄筋の密度を表す.

3.2 解析概要

図-3 示すように, 供試体寸法 $30 \times 100 \times 80\text{mm}$, かぶり厚さ 20mm の供試体 A, 供試体寸法 $30 \times 100 \times 100\text{mm}$, かぶり厚さ 40mm の供試体 B を仮定して, 鉄筋の腐食ひび割れ進展の予測を行った. 鉄筋は, D19 の異形鉄筋を柱状にモデル化した. 本研究では, 鉄筋の腐食によるひび割れ進展挙動の把握を目的としているため, 鉄筋の腐食開始時期を早めるために含水率は 100% 一定とした. 塩分の浸透は, 供試体底面より材齢 3 日から行うものとし, 塩分浸透開始から 3600 日(10 年間)まで解析を行った.

5. 解析結果

5.1 ひび割れ性状

図-4 のように, 鉄筋の腐食膨張によって, ひび割れは鉄筋周辺から放射状に発生した. このひび割れは, かぶり厚の小さい供試体 A では表面に複数到達しており, また, かぶり厚の大きい供試体 B では, 供試体 A と比べて少ない本数のひび割れが表面に到達した. このように, ひび割れの進展挙動は, かぶり厚によって異なることが確認できた.

5.2 ひび割れ幅

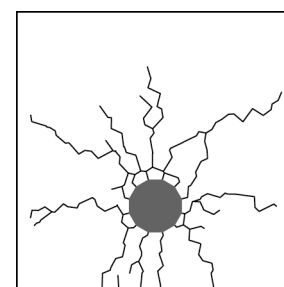
浸透面に達したひび割れについて, 同じひび割れの奥行き方向に異なる位置でのひび割れ幅を図-5 に示す. ひび割れ幅はいずれの場合も経時的に拡大しており, かぶり厚の小さい供試体 A の方が, ひび割れ幅が小さいことが確認できる. これは, 複数のひび割れが表面に到達しているため, 一本あたりの幅が小さくなったものと考えられる. また, 解析では表面にひび割れが到達した時の鉄筋の腐食量も得ることができ, ひび割れ幅と腐食量を関連付けるための情報を得ることができる.

6. まとめ

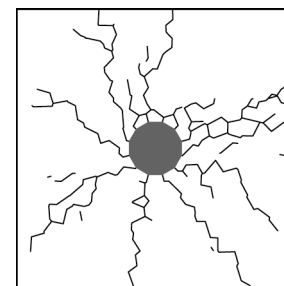
構造解析と物質移動解析を統合することにより, 鉄筋の腐食膨張によるひび割れ挙動を予測することができた. その結果, ひび割れ進展, ひび割れ幅, 腐食量に及ぼすかぶり厚の影響を評価することができた.

参考文献

- 1) Kawai, T. : New discrete models and their application to seismic response analysis of structure. *Nuclear Engineering and Design*, 48, pp.207-209
- 2) Bolander, J. E. and Berton, S. : Shrinkage induced cracking in cement composite overlays, WCCM V, July. 2002
- 3) 野城良祐, 中村 光, SRISOROS WORAPONG, 田邊忠顕: 塩分浸透による鋼材腐食を考慮した RBSM 解析, コンクリート工学年次論文集, Vol.26, No.1, 2004
- 4) 松尾豊史, 西内達雄, 松村卓郎: 鉄筋の腐食膨張に伴うコンクリートのひび割れ進展解析, コンクリート工学年次論文集, Vol.19, No.2, 1997



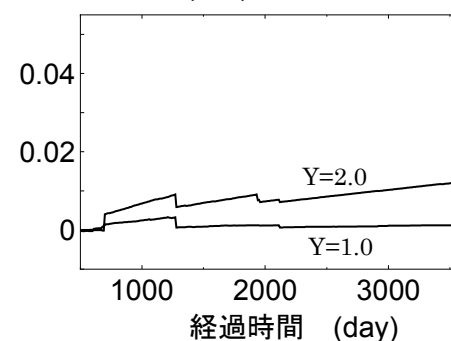
a) 供試体 A



b) 供試体 B

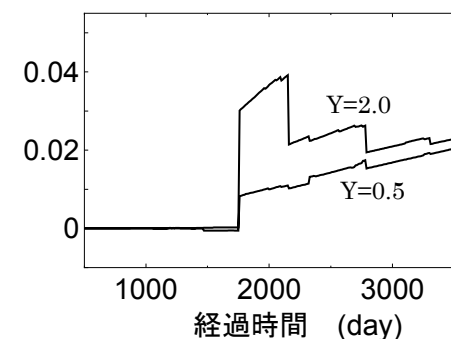
図-4 塩分浸透開始後 3600 日目のひび割れ性状

ひび割れ幅 (mm)



a) 供試体 A

ひび割れ幅 (mm)



b) 供試体 B

図-5 ひび割れ幅