

鉄筋間隔が腐食ひび割れの進展挙動に及ぼす影響に関する解析的検討

愛知工業大学大学院 学生会員 ○近藤 鍊真
 愛知工業大学 正会員 宗本 理
 愛知工業大学 正会員 鈴木 森晶

1. はじめに

鉄筋コンクリート構造物において、塩害による鉄筋腐食に起因するひび割れなどの劣化が進展することでコンクリートの剝離・剝落などが生じた事例も過去に散見される。また、老朽化した構造物は年々増加傾向にあり、合理的かつ効率的な維持管理が求められる。そのため、鉄筋腐食により劣化したRC構造物について、ひび割れの進展や剝離・剝落の危険性について把握することは構造物の残存性能評価、補修・補強の工法や時期の選定にあたり非常に重要である。鉄筋腐食に伴うコンクリートのひび割れ進展挙動に関する知見は数多く存在している¹⁾²⁾。一方で複数の鉄筋が配筋された場合における鉄筋の腐食程度と表面および内部のひび割れの関係性については検討の余地が残されている。そこで本研究では、腐食膨張がひび割れに及ぼす影響について FEM による解析手法の妥当性を検証する。さらに、鉄筋間隔が表面および内部のひび割れ進展挙動に及ぼす影響について検討をする。

2. 鉄筋腐食に伴うひび割れ進展解析

2.1 解析概要

解析対象を図-1 に示す。供試体寸法は幅 350mm、高さ 160mm の断面を有する長さ 400mm である。鉄筋は D13 を使用し、各供試体に 2 本配筋した。鉄筋間隔は 50mm、100mm、150mm の 3 種類、さらにコンクリートの構成則に等方性と異方性の損傷を考慮した計 6 ケースについて解析を実施した。また、妥当性の検証では鉄筋間隔 100mm のケースを対象に実験結果と比較した。本研究で用いた解析モデルを図-2 に示す。解析モデルは対称性を考慮して 1/4 モデルで作成する。解析で用いた材料特性を表-1 に示す。鉄筋とコンクリートともに von Mises の降伏条件に従い、引張強度に達すると線形軟化する構成則とした(引張限界ひずみ: 6010×10^{-6})。腐食膨張の表現としては、鉄筋要素を熱膨張させることでコンクリートにひずみを与える方法を採用し、鉄筋の熱膨張率は 1.00×10^{-5} ($1/^\circ\text{C}$) とした。

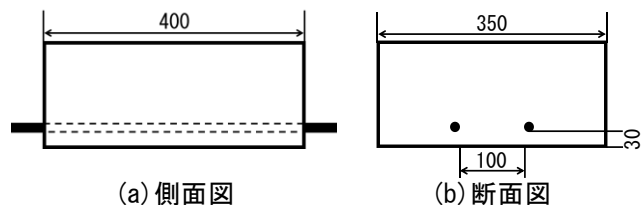


図-1 供試体の寸法と配筋図 (単位: mm)

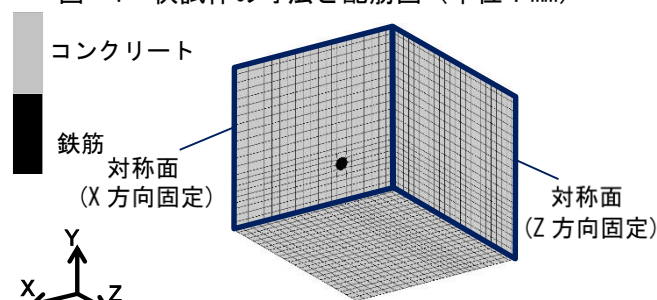


図-2 解析モデル (1/4 モデル)

表-1 材料特性

材料	弾性係数 (N/mm ²)	ポアソン比	降伏応力 (N/mm ²)
コンクリート	25000	0.2	圧縮 (30.0) 引張 (3.0)
鉄筋	205000	0.3	340

2.2 コンクリートのモデル化

コンクリートのモデルとしては、Ignacio Carol ら³⁾が提案した 3 主軸方向毎に影響低減率を考慮した異方性構成則を適用し、ひび割れによる異方性損傷を考慮した。具体的には、主ひずみ成分の中の引張成分のみを選択し、その値に応じた主ひずみ方向の損傷度を求める (式 (1))。

$$D_i^{local} = \varepsilon_i / \varepsilon_{cr}^t \quad (i = x, y, z) \quad (1)$$

ここで、 ε_{cr}^t : 引張限界ひずみである。

次に、求めた各種軸方向の損傷度を全体座標系における損傷度に置換し、全体座標軸に対する剛性残存率を算出し、式 (2) に示すように弾性マトリクスのみに乗じることで考慮した。

$$[D]^{ep} = [D]^e \times \alpha - [D]^p \quad (2)$$

ここで、 α は剛性残存率を用いて算出した軟化挙動による応力各成分の低減率である。

3. 実験結果および解析結果

3.1 妥当性の検討結果

鉄筋間隔 100mm における実験結果および解析結果を図-3 に示す。コンクリートのモデル化に異方性を考慮することで、表面ひずみが急激に上昇した後に内部ひずみが上昇に転じるといった傾向が解析でも確認できた。このことから、鉄筋の腐食膨張によるひび割れ進展解析における、コンクリートのモデル化には異方性を考慮することで実現象を良好に評価可能であることが確認できた。

3.2 鉄筋間隔がひび割れの進展に及ぼす影響

鉄筋間隔が 50mm, 100mm, 150mm での解析結果の比較を図-4, 実験におけるひび割れ表面到達時の各鉄筋間でのひび割れ性状を図-5 に示す。鉄筋間隔 100mm, 150mm では表面へのひび割れが先行しているが、鉄筋間隔 50mm では、鉄筋間隔が狭いため、鉄筋間へのひび割れが先行するといった知見通りの傾向を解析においても確認できた。また、鉄筋間隔 50mm では他の 2 ケースに比べて表面ひび割れの発生はやや遅いが最終的には鉄筋間隔 100mm と同程度の表面ひずみが生じる結果となり、鉄筋間隔 50mm では他のケースより短時間で表面と内部でひび割れが発生することが確認できた。以上の結果から、鉄筋間隔が狭くなると鉄筋間でのひび割れが先行し、かぶりコンクリート表面にひび割れが現れにくくなることが確認できた。

4. おわりに

本研究では、鉄筋の腐食によるひび割れ進展解析について、モデルの検討および鉄筋間隔がひび割れ進展に及ぼす影響について解析を実施した。その結果、コンクリートのモデル化には異方性を考慮することで実現象を解析で良好に評価可能であることが確認できた。また、鉄筋間隔が狭くなると鉄筋間でのひび割れが先行し、かぶりコンクリート表面にひび割れが現れにくく、剥離・剥落に繋がる恐れがあることが認められた。

参考文献

- 1) 藤井智大, 大下英吉: 鉄筋腐食によるひび割れ幅進展モデルを用いた内部ひび割れ進展距離に関する研究, コンクリート工学年次論文集, Vol. 37, No. 1, pp. 1137-1142, 2016

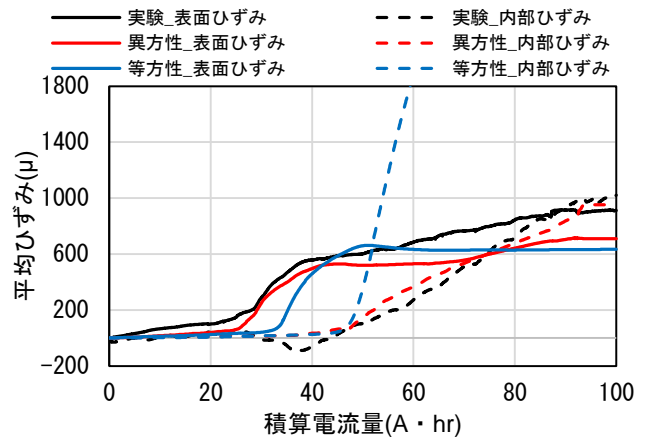


図-3 実験と解析による比較 (鉄筋間隔 100mm)

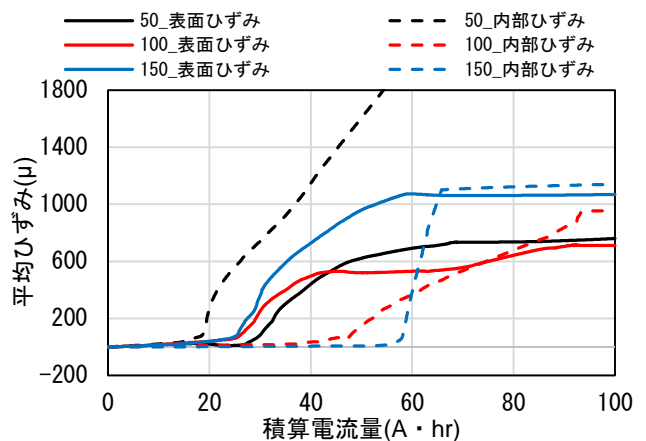


図-4 鉄筋間隔による影響 (解析結果)

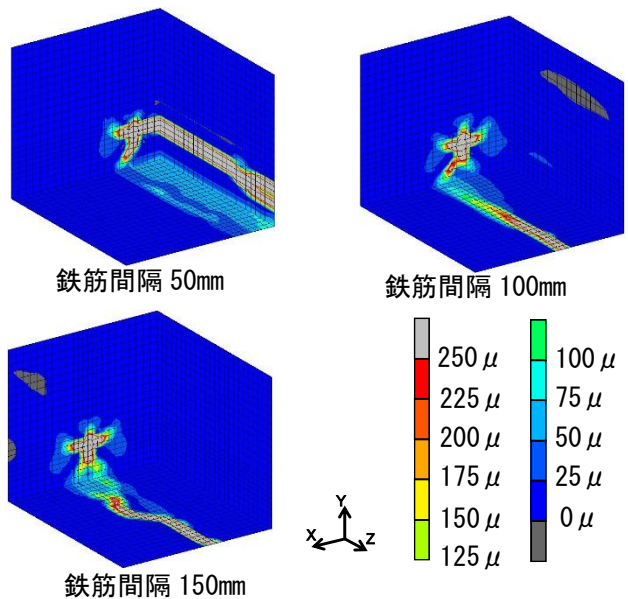


図-5 各鉄筋間でのひずみ分布

- 2) 河村圭亮, Tran Khoa Kim, 中村光, 国枝稔: 鉄筋腐食に伴うコンクリートの表面および内部ひび割れ進展挙動, コンクリート工学年次論文集, Vol. 32, No. 1, pp. 1007-1012, 2010
- 3) Ignacio Carol, Egidio Rizzi and Kaspar Willam: On the formulation of anisotropic elastic degradation. I. Theory based on a pseudo-logarithmic damage tensor rate, International journal of solid and structures 38, 491-518, 2001