

鉄筋腐食によるコンクリート片の剥離強度および剥離領域解析手法の開発

名古屋大学 学生会員 ○大島 直樹

名古屋大学大学院 正会員 中村 光, 山本 佳士, 三浦 泰人

1. はじめに

鉄筋腐食によるコンクリート片剥落は、発生頻度も高く第三者被害による安全性に関わることから、維持管理上の重要な事象である。コンクリート片剥落は、鉄筋腐食による内部ひび割れの進展と密接に関係しているが、内部ひび割れの進展状況とコンクリートの剥離強度の関係は明らかにされていない。また、内部ひび割れパターンは多様な要因に影響される¹⁾ため、実験的な検討には多大な労力が必要となる問題もある。そこで本研究では三次元剛体バネモデル（以下 RBSM）を用いた腐食解析と剥離解析を統合させることにより、内部ひび割れの進展状況に応じた剥離挙動および剥離領域を解析的に評価する手法を開発した。

2. 腐食ひび割れ進展と剥離挙動の統合解析手法

開発した手法は腐食解析を行った後に腐食部上面に荷重を載荷する解析を行うことで、剥離強度と剥離領域を評価するものである。それぞれの解析の概要を以下に示す。

2.1 腐食解析

解析手法は、当研究室で研究を進めてきた剛体要素間をバネで結んだモデルで構造解析を行う RBSM を用いた手法により、ボロノイ分割によって鉄筋コンクリート供試体を鉄筋、腐食生成物、コンクリートの 3 層でモデル化して解析を行うものである²⁾。腐食解析は、鉄筋要素と腐食生成物要素の間のバネに腐食質量減少に伴って生じる膨張圧を初期ひずみとして導入し、腐食ひび割れ進展挙動を再現するもの

である。また、トラスネットワークモデルを用いることで、コンクリートの細孔部やひび割れ内部に腐食生成物が移動する挙動を考慮し、ひび割れ幅の増大に伴う腐食生成物の移動および膨張圧の低減効果を考慮している³⁾。鉄筋の質量減少はトラスネットワークモデルを用いて電流解析により求め、軸方向の腐食量の分布、断面方向についてはひび割れ部やかぶり面方向の腐食の局所化を、電流効率を用いて考慮できる²⁾。

2.2 剥離解析

剥離解析は、腐食解析後に腐食部上方のコンクリート表面に強制変位を鉛直上方に与えることにより解析を行うものである。強制変位を与えた要素に作用する荷重を算出することにより、剥離強度を求める。また、鉄筋腐食によって発生した内部ひび割れから剥離解析によって進展したひび割れを評価することにより、剥離領域の算定が可能になる（図-1）。なお変位制御を行う領域は任意に選択できる。

3. 剥離挙動の解析結果

3.1 解析モデルの概要

本研究では $300 \times 150 \times 150\text{mm}$ の供試体に直径 19mm 、かぶり厚さが 30mm となるよう鉄筋を 1 本配置した図-2 に示す供試体を対象に解析を行った。供試体の下面には幅 50mm 奥行き 150mm の支承要素を両端に設定し、境界条件を腐食解析時は両端ピン支持、剥離解析時は両端完全固定とした。腐食解析は、軸方向長さ 150mm の食塩水プールを用いた電気腐食試験を想定して電流解析を行い（図-1）、供試体中央を中心に腐食が分布するようにした。なお、維持管理上では表面ひび割れ幅を点検時の一つの指標とすることから、ひび割れ幅によって腐食量を 3 段階に設定した。腐食量は

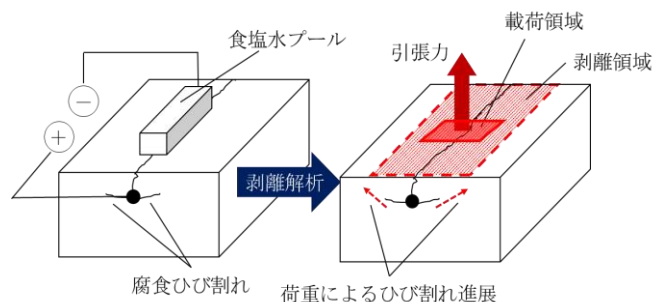


図-1 腐食および剥離解析の概要図

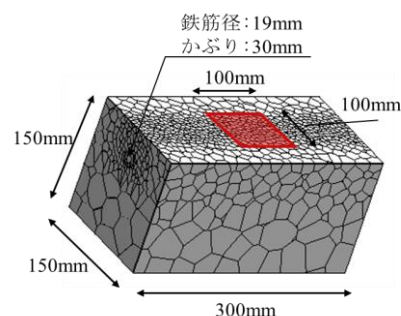


図-2 供試体概要

腐食を与えた区間で発生した量として定義した。腐食量および表面ひび割れ幅は表-1 に示す通りである。腐食解析後の剥離解析では、強制変位を図-2 に赤く示す $100 \times 100\text{mm}$ の領域内にある要素に与えた。表面ひび割れ幅は供試体中央、中央から左右 25mm の 3 点における表面ひび割れ幅の平均とした。

3.2 剥離強度

図-3 に腐食量と表面ひび割れ幅関係を示す。図中のプロットが導入した腐食量と対応している。図-4 に剥離解析で求めた剥離荷重-変位関係を示す。剥離強度は 150-a から順に 15.8kN, 8.31kN, 4.63kN である。腐食量が多いほど剥離強度は小さくなることを確認され、腐食が進むことでコンクリート片が剥離しやすくなることが示された。また、剥離強度時の変位量は 0.05mm 程度と非常に小さく、わずかな変位量で剥離に至る可能性も示されている。

3.3 剥離領域

表-2 に腐食解析終了時、剥離強度時および変位 0.25mm における内部ひび割れ状況を示す。図中の赤く示された部分はコンクリート要素間の鉛直バネの抵抗が失われた領域であり、ひび割れが大きく開いた状態と考えることができる。軸方向に部分的に腐食する場合、内部ひび割れは楕円形に進展することが明らかになっている²⁾。150-a は腐食による楕円形の内部ひび割れが腐食解析終了時に発生しているが、ひび割れ幅は小さく、剥離強度時は腐食による内部ひび割れを含む楕円形の領域で抵抗している。一方、腐食量が大きくなった 150-b, 150-c は腐食解析終了時に大きな内部ひび割れが軸方向や供試体側方に進展していることで、剥離強度時は供試体側面近傍が力に抵抗し、さらに荷重をかけるとかぶり面全体が剥離する挙動を示している。このように、本解析により剥離領域部や剥離に抵抗する領域についても検討できることが示された。

4. 結論

本研究で得られた結論を以下に示す。

- (1) 腐食解析と剥離解析を統合することで剥離強度および剥離領域を評価する解析手法を開発した。
- (2) 開発した手法により、腐食量に応じた剥離強度や剥離領域を評価でき、本解析で検討した条件では、腐食量が多いほど剥離荷重は低下し、コンクリートの剥離領域が大きくなることが示された。

5. 参考文献

- 1) 荒木弘祐, 服部篤史, 宮川豊章: 鉄筋の腐食膨張によるかぶりコンクリートの剥離現象とその予測, 土木学会年次論文集 No.82, pp209-222, 2005
- 2) Qiao, D., Nakamura, H., Yamamoto, Y., Miura, T. : Modeling of corrosion-induced damage in reinforced concrete considering electro-mechanical coupling, Journal of Advanced Concrete Technology, Vol.14, pp.664-678, 2016
- 3) Nakamura, H., Zahra Amalia, Qiao, D., Yamamoto, Y., Miura, T. : Development of Simulation Method for Crack Propagation and Corrosion Products Movement During Rebar Corrosion, JSCE, 2017

表-1 解析シリーズ

	食塩水プール長さ	腐食量	表面ひび割れ幅
	mm	mg/cm ²	mm
150-a	150	62.9	0.110
150-b		199	0.475
150-c		499	1.08

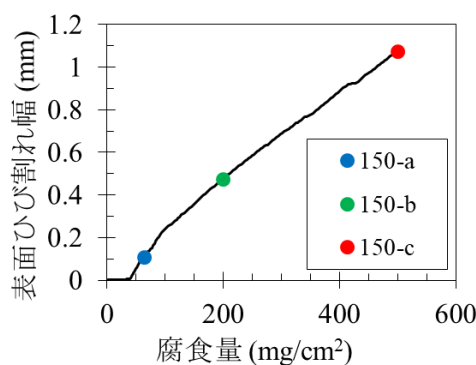


図-3 腐食量と表面ひび割れ幅の関係

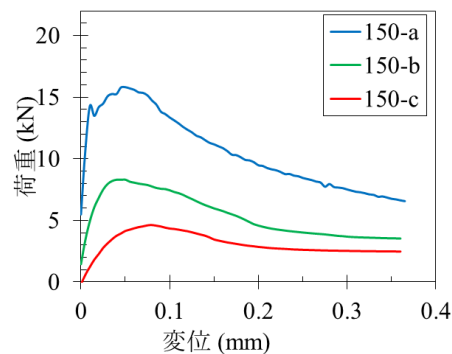


図-4 荷重変位関係

表-2 剥離領域解析結果

	150-a	150-b	150-c
腐食解析終了時			
剥離強度時			
変位0.25mm			