

腐食ひび割れを考慮した RC 梁の耐荷性能及びひび割れ進展に関する解析的検討

愛知工業大学 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

近年，土木構造物を合理的に維持管理していくことは自然災害の多いわが国では重要課題の1つである．鉄筋の腐食を有した RC 構造に地震動などの外力が作用した場合，コンクリートの剥落が生じた事例も過去に散見される．そのため，劣化した RC 構造の現有性能を定量的に把握し，コンクリートの剥落危険性を適切に予測することが重要である．RC 梁を対象とした既往の研究では，腐食による鉄筋の断面欠損や鉄筋とコンクリート間の付着性能の低下を適切に考慮することが一般的であり，有用な研究事例が多く挙げられる．一方で，上記の項目以外に鉄筋の腐食による膨張圧がコンクリートに与える影響および鉄筋間隔の違いによる腐食ひび割れの進展挙動を考慮した RC 梁の定量的耐荷性能評価に関しては検討の余地が残されている．そこで，本研究では，FEM を用いて，RC 梁に対して腐食ひび割れ進展解析および静的曲げ解析を実施し，解析手法の検討および鉄筋の腐食によるコンクリートの腐食ひび割れが耐荷性能およびひび割れ性状に与える影響について検討する．

2. ひび割れを考慮した RC 梁の解析

2.1 解析手順

本解析の解析フローを図-1に示す．本解析では事前解析による腐食ひび割れを引き継ぎ，鉄筋腐食による鉄筋の断面積減少および鉄筋とコンクリート間の付着強度の低下を考慮したモデルと腐食ひび割れを考慮しないモデルについて静的曲げ解析を実施し，解析モデルの妥当性および適用性について検討を行った．

2.2 解析対象

RC 梁供試体の寸法および配筋を図-2に示す．鉄筋は D13 を使用し，鉄筋の配筋間隔は鉄筋軸方向ひび割れを誘発させる 100mm と鉄筋間でのひび割れを誘発させる 50mm とした．鉄筋の腐食率は 0%，6% のものについて解析を実施する．

静的曲げ解析については中心から 100mm を載荷点とし，強制変位 30mm を与えた．

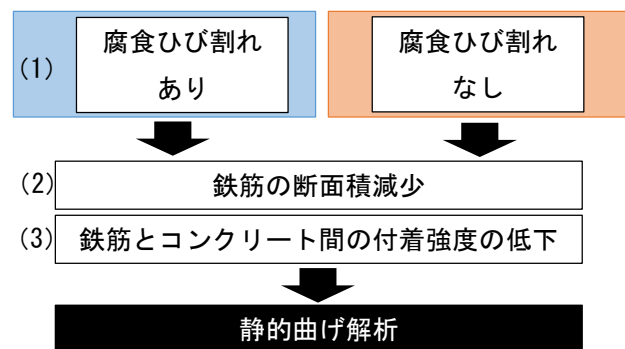


図-1 解析フロー

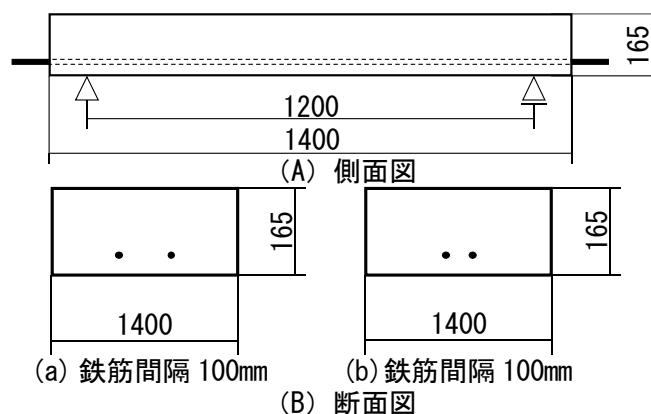


図-2 RC 梁試験体の寸法および配筋図（単位：mm）

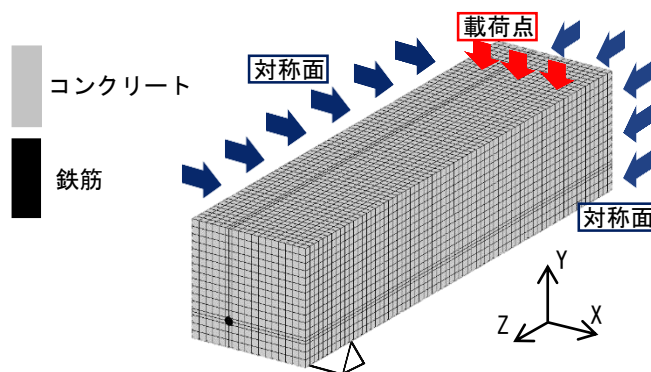


図-3 解析モデル

2.3 腐食した RC 梁の解析モデル化および材料特性

本研究で用いた解析モデルを図-3に示す．腐食ひび割れ解析，静的曲げ解析ともに解析モデルは対称性を考慮した 1/4 モデルで作成する．表-1 に解析で用いた材料特性を示す．また，鉄筋とコンクリートともに von Mises の降伏条件に従い，コンクリートは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： 5795×10^{-6} ）．

キーワード 鉄筋腐食，ひび割れ，RC 梁，FEM，異方性

連絡先 〒470-0392 愛知県豊田市八草町八千草 1247 愛知工業大学 TEL (0565) 48-8121

(1) 腐食膨張によるコンクリートのひび割れ

腐食ひび割れを考慮する事前解析として、コンクリートのモデル化に等方性と異方性を考慮した場合の検討を行った。腐食膨張による損傷の表現方法につい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、鉄筋の腐食膨張によるひび割れを考慮した。事前解析より、Ignacio Carol ら¹⁾が提案した3主軸方向毎に影響を考慮した異方性構成則を考慮することで腐食ひび割れの進展を良好に評価可能であることが確認できたため、静的曲げ解析にも採用することとした。

(2) 鉄筋の断面積の減少

腐食率(0%, 6%を表現)によって解析モデルの鉄筋の断面積を直接的に減少させるとともに、李ら²⁾が提案した腐食鉄筋の弾性係数および降伏強度の算出式を用い、腐食率に応じて鉄筋の力学特性を低下させた。

(3) 鉄筋とコンクリート間の付着強度の低下

付着強度およびすべり量に関しては、腐食率をパラメータとした付着強度の低減率より算出した後、長岡ら³⁾が提案した算出式を用い、付着強度に達した後は軟化すると仮定した。

3. 静的曲げ解析結果

鉄筋間隔 100mm おける解析結果と実験結果の比較を図-4、鉄筋間隔 50mm における変位 20mm, 30mm 時点でのひずみ分布を図-5 に示す。図-4 には鉄筋間隔 100mm のケースのみ示しているが、鉄筋間隔 50mm においても解析結果は実験結果を精度よく再現しており、鉄筋間隔 50mm, 100mm とともに腐食ひび割れ、鉄筋の断面減少、付着強度の低下を考慮することで実験でも見られるような最大荷重の低下が確認できた。また、腐食ひび割れを考慮していない場合においても最大荷重に多少の差異はあるが良好に評価可能であることが確認できた。しかし、図-5 に示すような内部ひび割れが先行するケースのひずみ分布に着目すると腐食ひび割れを考慮することで載荷時に鉄筋間でのひずみ分布がより集中的となり、載荷によるひび割れが生じることで剥離が発生する危険性が高まることが確認できた。以上より、載荷時に腐食ひび割れを考慮することで剥離ひび割れに対する評価が可能になると考える。

4. おわりに

本研究では、鉄筋腐食した RC 梁に対して腐食ひび割れ進展挙動および静的曲げ載荷について解析を実施した。その結果、異方性損傷を考慮したモデルを用いて鉄筋の腐食膨張による腐食ひび割れ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、

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	28033	0.2	圧縮 (38.53) 引張 (2.875)
鉄筋	205000	0.3	345

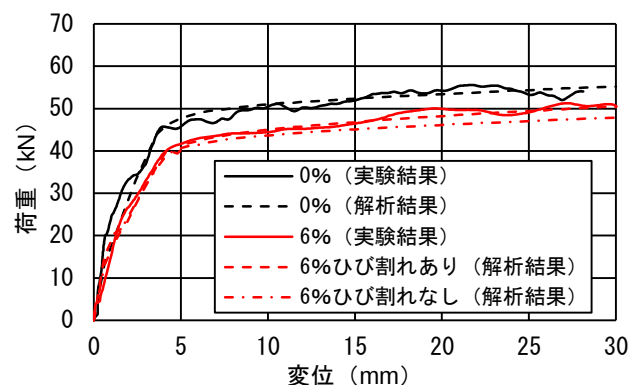
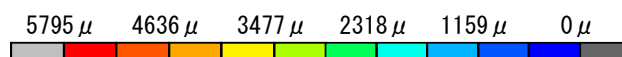


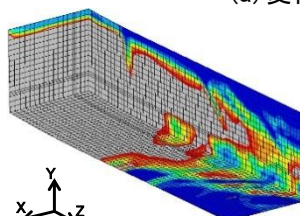
図-4 荷重-変位関係 (鉄筋間隔 100mm)



腐食ひび割れあり

腐食ひび割れなし

(a) 変位 20mm 時点



腐食ひび割れあり

腐食ひび割れなし

(b) 変位 30mm 時点

図-5 ひずみ分布 (鉄筋間隔 50mm)

腐食ひび割れを考慮することで剥離ひび割れに対する評価が可能になると考える。

参考文献

- 1) 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
- 2) 李翰承, 友澤史紀, 野口貴文, 鹿毛忠継 : 有限要素法による鉄筋の腐食した RC 梁の耐力性能評価, コンクリート工学年次論文集, Vol.19, No.1, pp.1147-1152, 1997
- 3) 長岡和馬, 阿部哲雄, 番場俊介, 村上祐貴 : 主筋の腐食膨張挙動に対するコンクリートの拘束圧に基づく付着割裂性状評価, コンクリート工学論文集 第 24 巻第 2 号, pp.29-42, 2013