

鋼材の腐食量とコンクリートのひび割れ幅に関する解析的検討

首都高速道路株式会社 正会員 ○津田 誠
 JIP テクノサイエンス株式会社 正会員 川口 和広
 前首都高速道路公団 正会員 植木 博

1. はじめに

鉄筋コンクリート構造物の耐久性の検討において、鋼材の腐食状況を的確に把握することが重要である。特に、都市内の高架コンクリート構造物においては、剥離コンクリート片が落下した場合、第三者への被害が想定されることから、鋼材腐食に起因するコンクリートのひび割れ発生時期と性状を定量的に予測し、補修を計画的に行っていくことが予防保全型の管理上重要である。本研究では、実構造物で補修が必要となる時期を定量的に求めるための基礎的研究として、既往の実験データを対象に鋼材の腐食生成物の膨張によるひび割れ進展解析を行い、鋼材の腐食量とコンクリート表面に現れるひび割れ幅を実験データと比較し、解析モデルの妥当性と課題について考察した。

2. 解析モデル、解析条件

今回の解析検討の比較として、実鉄筋コンクリート構造物とその配筋施工誤差を鑑みて、供試体 $300 \times 300 \times 270\text{mm}$ に丸鋼鉄筋 $\phi 19$ がかぶり 70mm 、 25mm で配筋されている田森らによる実験¹⁾を対象とした。解析には2次元有限要素法を用い、コンクリートには平面ひずみ要素を、また、ひび割れ進展を離散ひび割れモデルで予測するため、ひび割れ面にはインターフェイス要素を用いた。離散ひび割れモデルは予め発生するひび割れ面に設定したインターフェイス要素にてひび割れの局所的な挙動を表現するモデルである。ひび割れ予測面には、実験結果¹⁾から鋼材を中心に十字に設定した。解析メッシュを図-1に示す。鋼材の腐食進行は、コンクリート要素に対して円孔（鋼材部）の半径方向に均一な強制変位を漸増してモデル化した。境界条件は、解析モデルの対称性と構造的な安定性を確保するため、図-1のそれぞれのモデルにおいてA点とB点の鉛直方向変位を同一とした。

コンクリートの材料特性は、実験データ¹⁾の圧縮強度 30.5N/mm^2 を用いて、土木学会コンクリート標準示方書²⁾から表-1のように設定した。また、ひび割れを表現するインターフェイス要素の引張軟化曲線、および、コンクリートの圧縮特性を図-2に示す。

3. 解析結果

3.1 ひび割れ性状図

実構造物に対して樹脂注入等による補修が必要とされるひび割れ幅 0.20mm が生じた時点でのひび割れ性状結果を図-3に示す。ひび割れはかぶりコンクリートに現れるだけでなく、鋼材の水平方向および

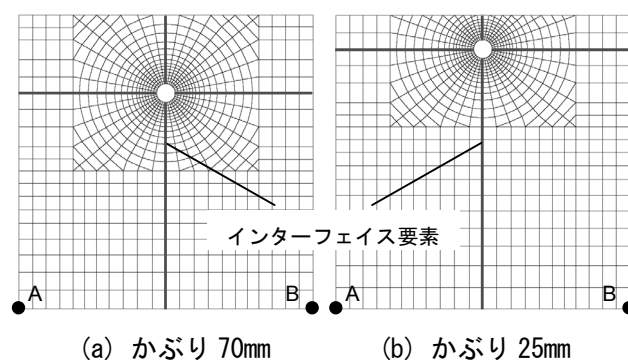


図-1 メッシュ図

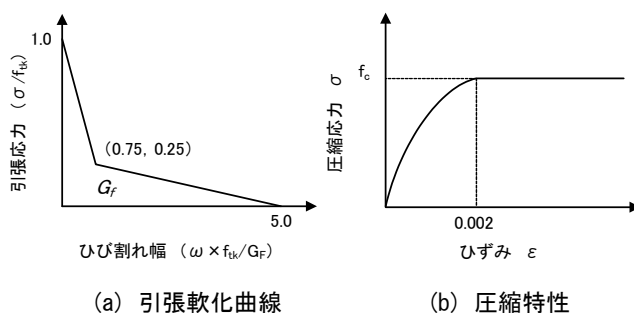


図-2 材料特性

表-1 コンクリートの材料物性値

圧縮強度 (N/mm^2)	30.5
引張強度 (N/mm^2)	2.25
ヤング係数 (N/mm^2)	2.80×10^4
ポアソン比	0.20

キーワード 鋼材腐食、ひび割れ幅、FEM 解析、離散ひび割れモデル

連絡先 〒104-0041 東京都中央区新富 1-1-3 首都高速道路株式会社西東京管理局 TEL : 03-3552-1476

深部へ進展した．かぶり 70mm およびかぶり 25mm のモデルに対して，コンクリート表面でのひび割れ幅が 0.20mm に達するのは，鋼材の腐食量がそれぞれ 0.185mg/mm²，0.255mg/mm²であった．

3.2 鋼材腐食量－ひび割れ幅関係

図-4 に，鋼材腐食量とコンクリート表面に現れたひび割れ幅の関係について，田森らの実験近似式¹⁾ および元らの算定式³⁾と解析結果の比較図を示す．なお，鋼材腐食量の算定には，強制変位量 U （半径増分量）と腐食生成物による体積増加量が等しいとして式(1)を用いた⁴⁾．

$$W_r = \frac{\rho_s}{(n-1)} U \quad (1)$$

ここで， W_r は鋼材腐食量(mg/cm²)， ρ_s は鋼材の密度(7.85mg/cm³)， n は腐食生成物の体積膨張率($n=3$)， U は鋼材が半径方向に増大した厚さ(cm)である．

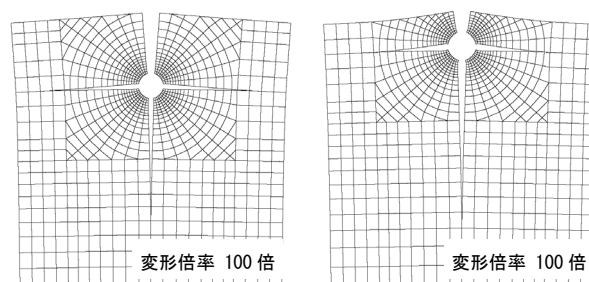
かぶり 70mm，25mm の両モデルともに，鋼材腐食量とひび割れ幅の関係は実験および提案されている算定式と概ね同様の傾向が得られた．また，かぶりが大きいとひび割れ幅の拡大速度は大きくなり，実験結果¹⁾と同様の結果であった．本解析条件で示すように，材料特性に設計時の特性値を適用することで概ね実験結果の再現が可能で，また，解析モデルの妥当性が確認できたと考えられる．

しかし，解析結果は実験近似式よりもかぶり 70mm の場合には同じ鋼材腐食量に対してひび割れ幅が大きく，一方のかぶり 25mm の場合には，同じ鋼材腐食量に対してひび割れ幅が小さくなっている．これは，鋼材とコンクリート間に生成される遷移帯，コンクリート中の微細ひび割れ，コンクリートのクリープ，腐食生成物の不均一性，腐食生成物のコンクリート空隙への溶出など，各種要因が考えられる．今後，実構造物に適用する場合には，実構造物からの各種データの蓄積を図り，予測精度の向上に努めていきたい．

4. おわりに

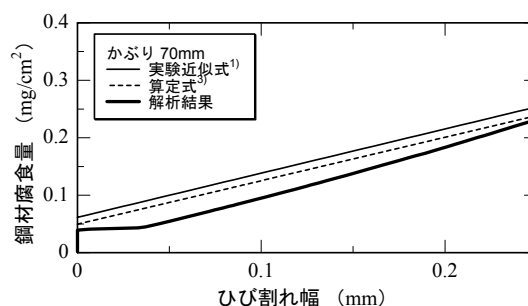
現在，筆者らは，コンクリートの中性化解析，鋼材腐食モデル，およびひび割れ進展解析の一連解析モデルを構築している．このモデルは，配合，施工および環境条件や，ひび割れモデル，遷移帯領域などのパラメータを柔軟に設定できることが特長である．今後，鉄筋コンクリート構造物の維持管理を計

画的に行うためのツールを構築するために，実構造物に対する比較検討解析を実施し，解析精度の向上に努めていきたい．

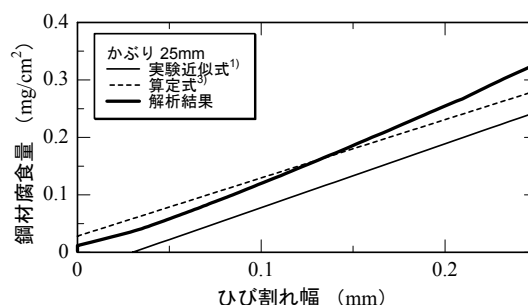


(a) かぶり 70mm (腐食量 0.185mg/mm²) (b) かぶり 25mm (腐食量 0.255mg/mm²)

図-3 ひび割れ性状図（ひび割れ幅 0.20mm 時）



(a) かぶり 70mm



(b) かぶり 25mm

図-4 鋼材腐食量－ひび割れ幅関係

参考文献

- 1) 田森清美・丸山久一・小田川昌史・橋本親典：鉄筋の発錆によるコンクリートのひび割れ性状に関する基礎研究，コンクリート工学年次論文報告集，10-2，pp.505-510，1988，2) 土木学会，2002 年制定コンクリート標準示方書 [構造性能照査型]，pp.21-27，2002.3，3) 元 路寛・関 博：鉄筋腐食によるコンクリートのひび割れ発生状況及びひび割れ幅に関する研究，土木学会論文集 No.669/V-50，pp.161-171，2001.2，4) 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報告集，Vol.19，No.2，pp.99-104，1997