

非破壊試験による塩害調査の予防保全への活用検討（その5）

－非線形有限要素解析を用いた腐食状況が構造性能に与える影響の検討－

東京工業大学 学生会員 ○神谷 慧力, 学生会員 鈴木 悠人
 正会員 千々和 伸浩, 正会員 岩波 光保
 国土舘大学 正会員 津野 和宏
 大田区 正会員 後藤 幹尚, 非会員 藤森 竣平

1. 検討目的

日本では建設後 50 年をこえる多くの RC 構造物が補強・補修の時期を迎えており、より効率的な維持管理を目指し、非破壊試験によって構造物の変状を早期に検知しようとする検討が進められている。その一方で、非破壊試験によって検知された変状と、構造性能変化との関係については未解明な点も多い。そこで本検討では軽微な鉄筋腐食を有する RC 構造物の構造性能に関して、実験と非線形有限要素解析を用いて腐食状況が与える影響の検討を行った。

2. 供試体概要と実験結果

津野らは塩水噴霧を行い、異なる濃度の塩水を噴霧することによって主鉄筋を腐食させた RC 試験体を作成し、非破壊試験によって鉄筋腐食状況を評価するとともに、4 点曲げ試験による構造性能変化の評価を行っている¹⁾。この実験では塩水濃度によって非破壊試験による応答の変化が認められている一方で、曲げ試験における構造性能では大きな変化は認められなかった。一定の腐食期間が設けられているものの、構造的な変状をもたらす程度の腐食を生じさせるには期間が短かったものと考えられる。

3. 数値解析による評価

ここでは数値解析によって実験結果の妥当性を評価するとともに、腐食が更に進行した場合にどのような変状が生じることになるかを解析によって検討する。使用する解析プログラムは鉄筋コンクリート非線形有限要素解析システム COM3²⁾である。腐食モデルは Toongoenthong らによるモデルを使用する³⁾。なおこのモデルでは腐食ゲルの外部流出による膨張圧の低減は考慮されていない。解析に使用したメッシュと材料物性を図-1、表-1 に示す。本検討では実験で使用した供試体の腐食程度と、劣化が進展した場合を想定し解析を行った。実験と同じような鉄筋腐食を模擬するため、鋼材腐食プロセスでは試験体を空間上に固定するための最低限の拘束条件とし、載荷時には単純支持条件となるように支持条件を変更して検討を行った。引張強度は乾燥の影響を考慮して、圧縮強度に基づく推定値から 2 割を減じた値とした。検討におけるパラメータは、断面欠損率、腐食部位、腐食のばらつきの 3 つである。

図-2 は、主鉄筋に対して一様に腐食が生じた場合を想定し、断面欠損率を変化させた解析である。断面欠損率が小さな場合には、腐食による膨張圧によって若干耐力が向上するものの、それ以降は断面欠損率に比例した耐力低下がみられた。

図-3 は、腐食部位が構造性能に与える影響を検討したものである。腐食部位として、等曲げモーメント区間 (Moment)，せん断スパン内の載荷点直下から有効高さ D の幅領域（それぞれ O-D, D-2D, 2D-3D）に対して断面欠損率 8%を与え解析を行った。結果、曲げ降伏発生荷重について、腐食位置と、そこに作用する曲げモーメントとの間に関係がみられた。また載荷点直下からせん断スパン側に D だけ張り出した領域で腐食が生じた場合には、曲げひび割れの進展に変化がみられ、他のケースに比べて圧壊が早まるような応答がみられた。

実構造物での腐食分布のばらつきも構造性能に影響する可能性がある。そこで Gumbel 分布⁴⁾を仮定し、尺

キーワード 鉄筋腐食，非線形有限要素解析，耐荷性能，腐食ひび割れ，腐食分布

連絡先 〒152-8552 東京都目黒区大岡山 2-12-1-M1-21

東京工業大学 環境・社会理工学院 土木・環境工学系 TEL03-5734-3194

度パラメータ μ と平均値からの分布幅 σ をパラメータとした検討も行った．図-4 にその結果を示す．尺度パラメータ μ は分布の広がり表現し，値が小さいほどなだらかな分布になる．このため断面欠損率の最頻値が同一の場合でも，尺度パラメータが小さいと断面欠損率の大きい値をとる割合が大きくなるため，部材降伏荷重に影響がみられた．ただし降伏後の反力は，変形進行に伴って同一の値に収束していく結果となった．

4. おわりに

本検討では非線形有限要素解析を用いて，腐食量や腐食部位，腐食のばらつきに着目し，構造性能に与える影響を検討した．今後，非破壊試験と構造性能評価との連携を一層深めていく必要があると考えている．

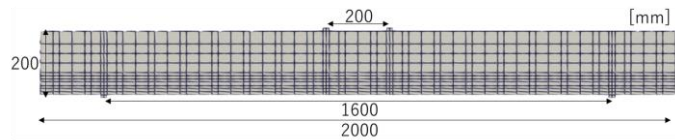


図-1 使用したメッシュ

表-1 設定した材料物性

コンクリート	圧縮強度	47.4N/mm ²
	ヤング係数	32.5kN/mm2
主鉄筋 (SD345 D13)	降伏強度	380N/mm2
	引張強度	490N/mm2

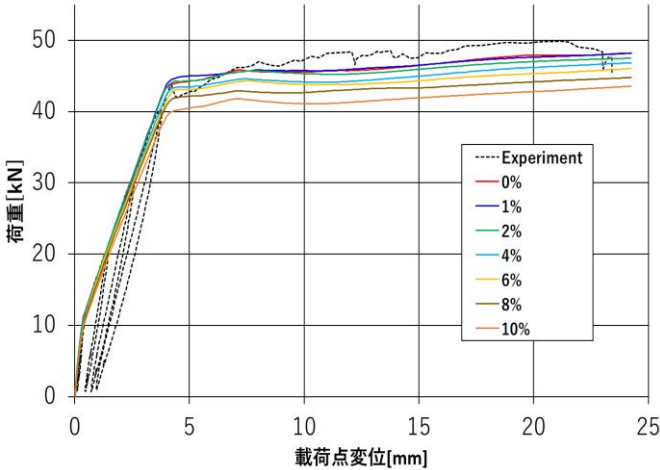


図-2 変位荷重曲線（一様な腐食の場合）

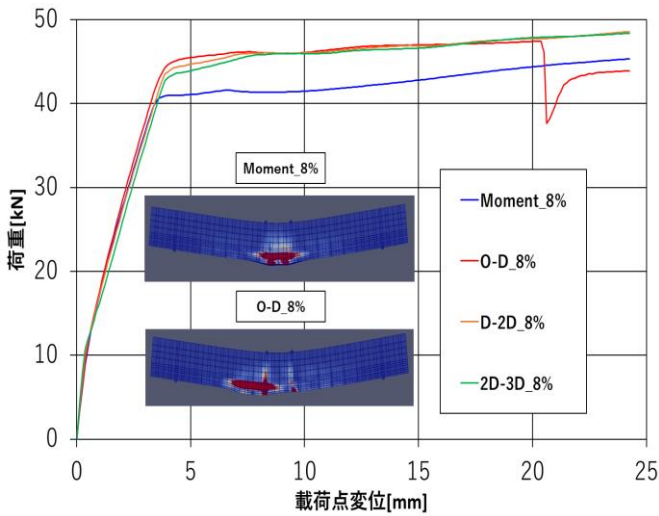


図-3 変位荷重曲線（腐食部位の影響）

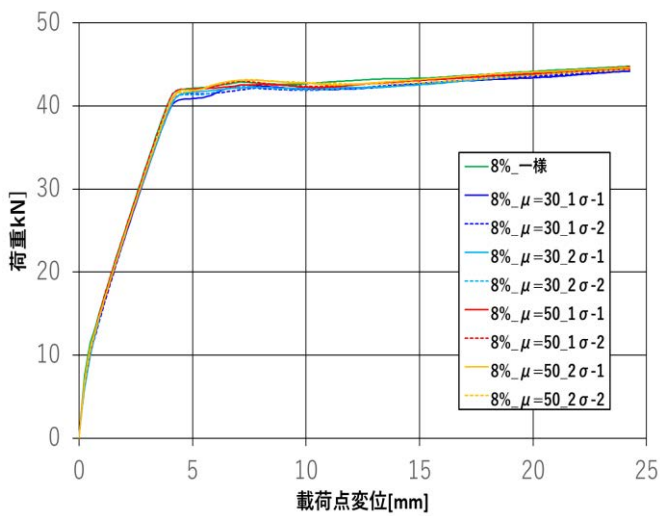


図-4 変位荷重曲線（腐食のばらつきの影響）

謝辞

本研究は一般財団法人橋梁調査会の研究開発助成を受けて行われました．ここに謝意を表します．

参考文献

1) 津野和宏ほか，非破壊試験による塩害調査の予防保全への活用検討（その1）－初期の鉄筋腐食が構造に与える影響に関する実験的研究－，令和5年度土木学会全国大会第78回年次学術講演会，V部門，2023．
2) Maekawa, K., Okamura, H., Pimanmas A., Nonlinear mechanics of Reinforced Concrete, Spon Press, 2003.
3) Kukrit Toongoenthong, Koichi Maekawa, Simulation of Coupled Corrosive Product Formation, Migration into Crack and Propagation in Reinforced Concrete Sections, Journal of Advanced Concrete Technology, 3(2), pp.253-265, 2005.
4) 上田隆雄，溝口茂，芦田公伸，宮川豊章，塩水を噴霧したPC鋼材の応力腐食挙動，コンクリート工学年次論文集，22(1), pp.109-114, 2000.