

鉄筋コンクリート梁部材の鉄筋腐食と構造連成解析に関する一検討

大成建設(株)土木技術研究所

正会員 ○福浦 尚之

大成建設(株)土木技術研究所

正会員 市原 三馨

大成建設(株)土木技術研究所

フェロー会員 丸屋 剛

大成建設(株)土木技術研究所

正会員 小山 哲

1. はじめに

塩分浸透による鉄筋コンクリート構造物中の鋼材の腐食は、有効鋼材断面積の減少、腐食生成物の膨張圧によるコンクリートのひび割れ損傷などを引き起こし、各種構造性能に影響を与える。本研究では、塩分浸透作用と荷重作用を10年間受ける想定鉄筋コンクリート試験体の連成解析シミュレーションを行い、検討を行った。

2. 連成解析システムの構成と相互作用のモデル化

連成解析システムは、有限要素法を用いた鉄筋腐食に関する2次元耐久性解析モデルと荷重作用に関する3次元構造解析モデル、そして、各解析モデル中の材料挙動に相互の解析結果を反映させるモデルを組合せたものである¹⁾。図-1に基本構成を示す。

腐食した鉄筋コンクリート部材においては、鉄筋とコンクリートの付着が大きく低下する現象が生じる場合がある。本研究では、構造解析においてこの付着すべりを表す有限要素モデルを図-2のようにモデル化した。鉄筋をトラス要素で表し、鉄筋断面に相当する部分のソリッド要素を鉄筋と周辺コンクリートとの相互作用を表すインターフェイス要素とした。この要素は鉄筋軸方向には剛性を持たず、鉄筋軸を法線とする面内においては鉄筋相当の剛性を持つ。鉄筋軸に沿ったせん断方向に関しての剛性は初期状態においては鉄筋相当の剛性を持たせることで鉄筋と周辺コンクリートは剛結され、このせん断剛性を変化させることで鉄筋周面での局所的な付着すべりの進行を表現することが可能となる。また、構造解析におけるひび割れたコンクリートの挙動については、回転ひび割れモデルを用いた。

鉄筋腐食による材料自身の変質及び鉄筋コンクリート部材への影響のモデル化については従来よりの知見²⁾を参考に、図-3に示すように簡易に仮定した。腐食による体積増加に関しては、便宜的にインターフェイス要素の鉄筋軸に直交する面内方向にコンクリートの自由膨張ひずみとして与えた。

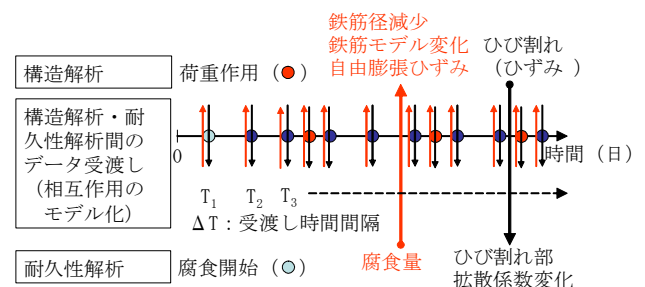
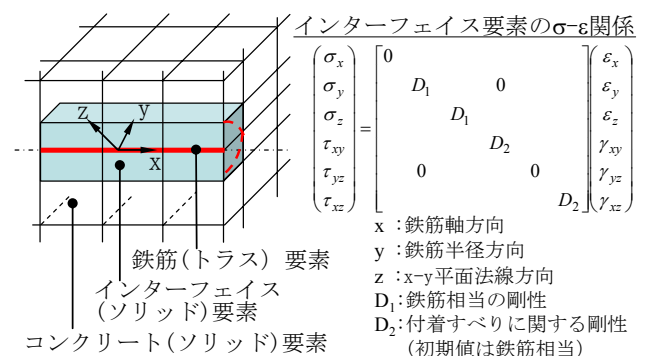
図-1 連成解析システムの基本構成¹⁾

図-2 鉄筋とコンクリート間の有限要素モデル

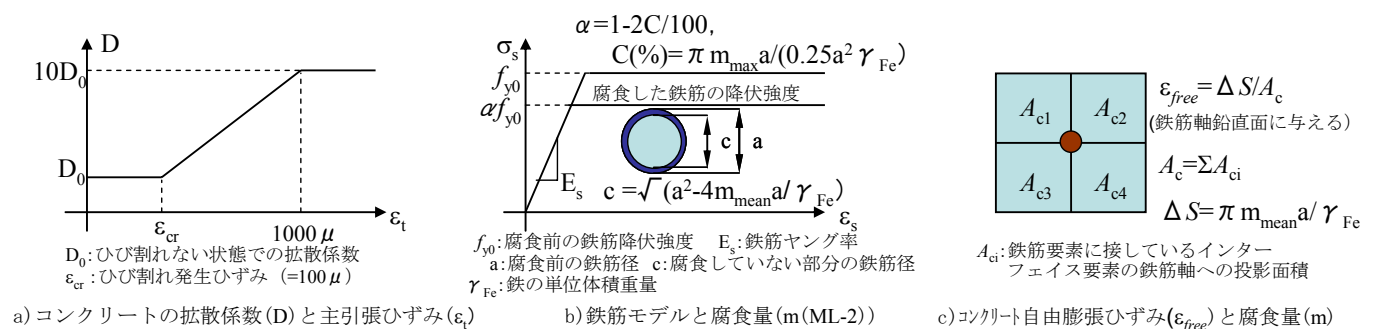


図-3 相互作用の材料モデルへの反映

キーワード 鉄筋腐食, 構造性能, 耐久性解析, 鉄筋コンクリート非線形解析

連絡先 〒245-0051 横浜市戸塚区名瀬町 344-1 大成建設(株) 技術センター

TEL 045-814-7230

3. 解析シミュレーション

解析モデルと解析ケースを図-4に示す。解析は、まず荷重が作用していない状態から鉄筋腐食解析（解析時間刻み 1 日）を開始し、 $T=10$ 日において荷重 $P=15\text{kN}$ （鉄筋応力 200N/mm^2 程度）を載荷して梁引張側に曲げひび割れを生じさせた。相互のデータの受渡しと構造解析を $\Delta T=122$ 日毎に行い、10年（3650 日）間の解析を行った。付着すべりの材料モデルについては、簡易に、鉄筋の質量減少率 1%以上においてかぶり剥落及び腐食により付着が大きく低減するものとして、インターフェイス要素のせん断剛性（図-2の D_2 ）を 0 とする。

解析結果を図-5に示す。今回の解析においては付着すべりを生じさせる鉄筋腐食量に至らなかったため、構造解析においては鉄筋とコンクリートは完全付着のままであった。そこで、比較解析として試験体支持スパン内で鉄筋とコンクリートの付着がない構造解析（インターフェイス要素の $D_2=0$ ）結果も併記した。

解析結果より、荷重載荷時に発生したひび割れにより拡散係数が増加し鉄筋腐食が誘発されていく状況が表現できている。ケース 1 では曲げ引張側の広い範囲にわたって鉄筋腐食が進行しているのに対し、ケース 2 では設定したひび割れ位置にのみ局所的に鉄筋腐食が進行しており、最大腐食量はケース 1 の約 3 倍大きくなっている。今回の解析では最大質量減少率は 0.13/0.38%（ケース 1/2）であり、腐食損傷は比較的小さい状況下での結果であるが、ひび割れ発生時の局所性を考慮することの重要性が示されていると考える。荷重変位関係においては、ケース 1/2 ともに荷重載荷後も鉄筋腐食の進行に伴い変形が進行しているが、鉄筋腐食量に見られるような大きな差異は生じていない。変位が増加する要因としては膨張ひずみの影響が大きいものと考えられる。コンクリート鉄筋間の付着のない構造解析結果との比較より、付着の低減によるすべりの発生は、荷重-変位関係における剛性低下に大きく影響を与えており、鉄筋腐食が進行し、かぶりコンクリートの剥落が生じるような状態において、この様なすべりを考慮する有限要素モデルが有効となると考えられる。

4. まとめと課題

本研究を以下にまとめる。

- ・想定試験体を対象として 10 年間の鉄筋腐食構造連成解析を行い、腐食位置の局所性を考慮することで最大腐食量については約 3 倍の差異が生じるのに対して変形に関しては大きな差異は生じない結果が得られた。
- ・今後は、鉄筋腐食量が多い場合の梁の連成挙動シミュレーションや既往実験との検証解析を行い、連成挙動の解明とシミュレーションの高精度化を図る必要がある。

参考文献

- 1) 福浦, 丸屋, 武田, 小山: 鉄筋腐食による材料劣化と荷重作用の連成解析システムの構築に関する一考察, 第 62 回土木学会年次講演会講演概要集, 5-073, pp.145-146, 2007.9.
- 2) コンクリート技術シリーズ 71 「材料劣化が生じたコンクリート構造物の構造性能」, 土木学会, 2006.

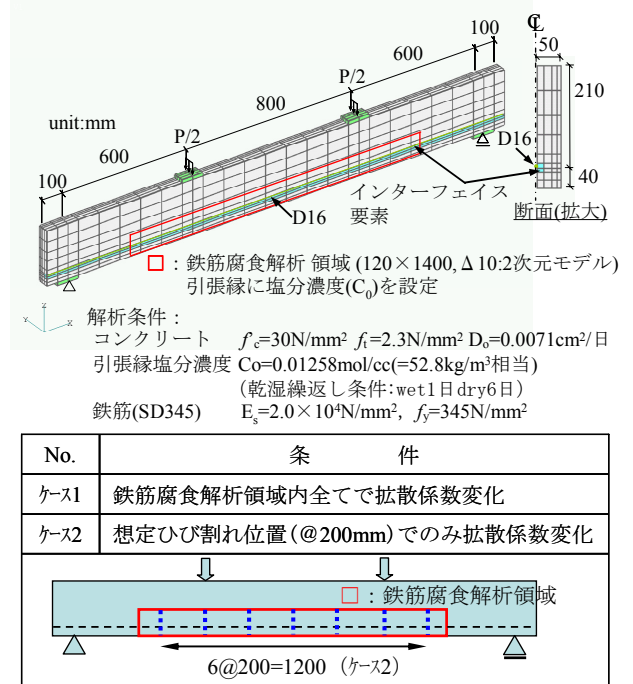


図-4 解析モデルと解析ケース

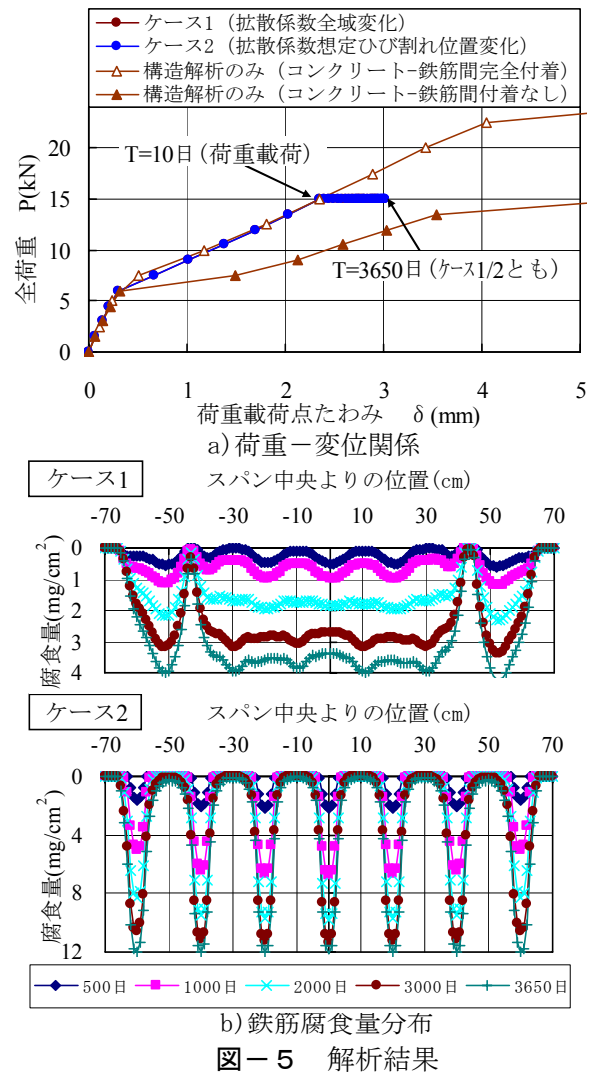


図-5 解析結果