

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	丸屋	剛
大成建設(株)土木技術研究所	正会員	武田	均
(株)篠塚研究所	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、各種構造的な性能に影響を与える(図-1)。海洋環境下におかれた構造物においては、維持管理の観点、安全性の観点から特に重要である。本研究では、塩分浸透作用と荷重作用を受ける鉄筋コンクリート部材を対象とした連成解析に関する基礎的なシステムを構築した。そして、試解析を行い、本システムの有用性について検討を行った。

2. 連成解析システムの基本構成

連成解析システムは、著者ら¹⁾による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条件に相互の解析結果を反映させるモデルからなる。図-2に基本構成を示す。本システムでは、耐久性解析より得られる鉄筋腐食量を構造解析の材料モデルに反映させ、構造解析より得られるコンクリートのひずみ(ひび割れ状況)を耐久性解析の拡散係数に反映させた。両解析の共通の尺度は時間とし、相互の解析結果の受渡しは指定した一定の時間間隔で行われるとともに、構造解析側の荷重・環境作用の組合せの自由度が増え実際の構造物のおかれた状況を反映しやすくなる。

3次元構造解析は、有限要素法により鉄筋をトラス要素、コンクリートを立体要素にモデル化し、コンクリートのひび割れ・鉄筋降伏などによる非線形挙動を表現できるものとし、ひび割れたコンクリートの挙動は回転ひび割れモデルで表現した。コンクリートの引張挙動に関しては鉄筋コンクリートのテンションスティフニングを考慮するが、鉄筋要素とコンクリート要素は完全付着とし、付着すべりを陽に扱うことはしていない。また、荷重の荷重は指定した時刻に静的に作用させている。

3次元構造解析データと2次元耐久性解析データの関係は、図-3に示すように、後者の解析断面を前者の解析の代表断面として後者の結果を前者の解析領域全体に反映させることを基本とした。ここで、解析モデルの要素分割については、解析結果を相互に補間することから同一である必要はない。

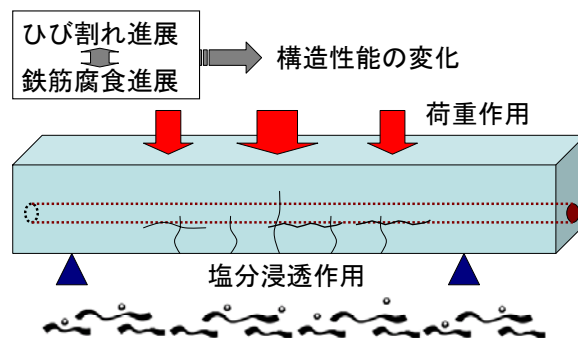


図-1 材料劣化と荷重作用

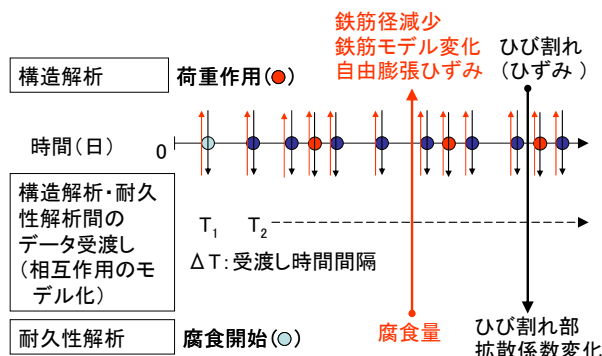


図-2 連成解析システムの基本構成

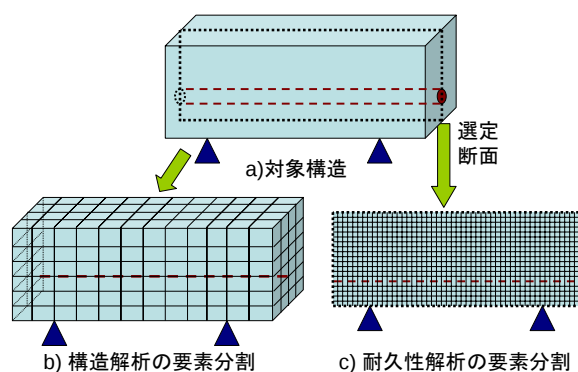


図-3 耐久性解析と構造解析の要素分割

キーワード 鉄筋腐食, 構造的な性能, 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. 相互作用のモデル化

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についてはこれまで多くの研究があり、実現象に対する定性的な傾向は明らかにされてきているものの、定量的なモデル化までできない部分も多く残されている²⁾。本研究では従来よりの知見を参考に、図-4に示すように簡易に仮定した。鉄筋腐食により周辺コンクリートに膨張圧が作用するが、これについては腐食による体積増加を腐食量の2倍と仮定し、便宜的に鉄筋軸に直交する面内にコンクリートの自由膨張ひずみとして与えた。

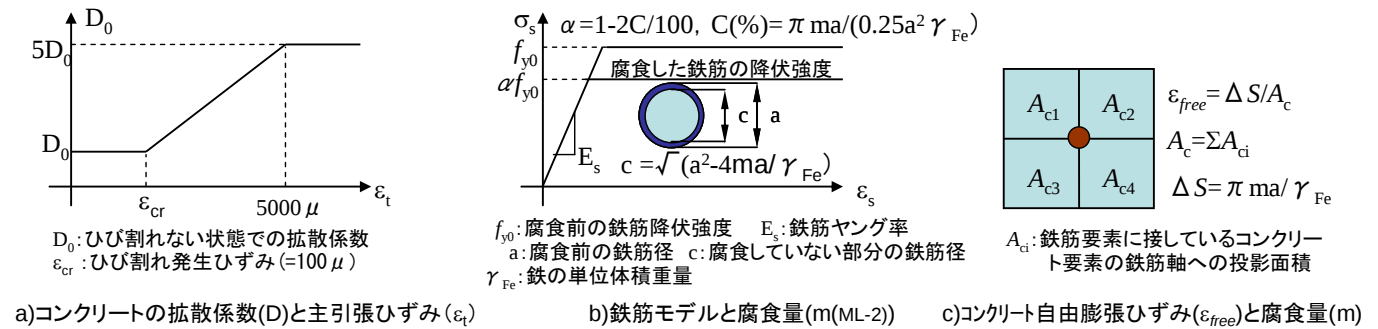


図-4 相互作用の材料モデルへの反映

4. 計算例

構築した解析システムを用いて、部材底面より一定の塩分浸透作用を受ける荷重作用下の鉄筋コンクリート梁を対象に試計算を行った。図-5に解析条件および解析結果を示す。解析は、まず $T=1$ 日において荷重 $P=12\text{kN}$ (鉄筋応力 80N/mm^2 程度) を載荷し、梁引張側に曲げひび割れを生じさせた。腐食開始 ($T=109$ 日) 後、 $\Delta T=100$ 日毎に相互のデータの受渡しと構造解析を行い、 $T=609$ 日で増分荷重 $\Delta P=10\text{kN}$ を作用させた。連成解析より得られた荷重-たわみ関係は、構造解析単独の場合よりも剛性・曲げ降伏荷重が小さくなっており、鉄筋腐食の影響が反映されている。膨張圧を考慮しない場合には、構造解析に影響を与える鉄筋腐食の影響は鉄筋断面積と降伏強度の低下のみであり、STEP-1 の荷重状態では大きな影響を与えていない。しかし、膨張圧を考慮した場合にはコンクリートの引張応力分担が低下し、腐食の進行とともにたわみが増加している。また、最大腐食量についても膨張圧を考慮することで腐食の進行がより早くなっている。

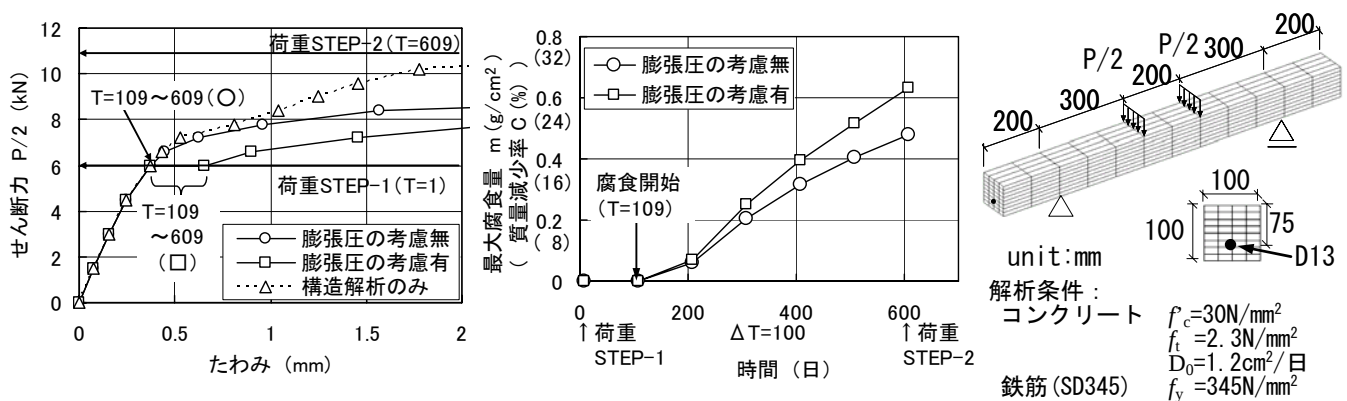


図-5 試解析モデル及び解析結果

5. まとめと課題

本研究では、塩分浸透による材料劣化と荷重作用の連成解析を行う基本的なシステムの構築と試解析を行い、相互の解析結果による連成効果を確認することができた。今後は、相互作用のモデルの材料レベルでの高精度化、及び構造解析側で採用している分散ひび割れモデルへの適用に際しての各物理量との数理的整合性について十分に検討・改善をしていく必要がある。

参考文献

- 1) 丸屋, 武田, 堀口, 小山, 許: コンクリート中の鋼材のマクロセル腐食に関する解析手法の構築, 土木学会論文集E Vol. 62, No. 4, pp. 757-776, 2006. 11.
- 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.