

硫酸劣化を生じた鉄筋コンクリート部材の寿命予測解析

大成建設(株) 正会員 ○渡部 孝彦
北海道大学 正会員 佐藤 靖彦

1. はじめに

近年、我が国では下水道施設の老朽化問題が顕現化している。下水道施設は、地中において化学的作用と力学的作用を同時に受けるため、その維持管理は容易ではない。合理的な維持管理の実施を可能とする新しい技術の開発が望まれる。三浦ら¹⁾は、Ca 溶脱や硫酸劣化によるモルタルのメゾスケールでの硫酸溶液浸漬実験と力学実験を行い、セメント水和物量・空隙量と各材料特性値との関係を明らかにした上で、化学的要因に RC より劣化したモルタルの力学挙動を再現できる解析法を開発した。本研究では、この解析法を、持続荷重を受ける RC はりのひび割れ進展・破壊解析が可能なシステム（以下ライフタイムシミュレーション）へと拡張し、硫酸劣化した RC 部材の残存耐力やライフタイムの予測を可能とした。

2. 解析方法

本解析はスパン中央への持続的な集中荷重と外部からの硫酸浸食・劣化を生じる RC はりを対象とし、図-1に示すように構造解析、硫酸劣化解析を相互に実施することにより、持続荷重下での変形の増加と劣化の進行の再現を試みる。具体的には三浦ら¹⁾が開発したシステム材料モデルの設定、構造解析、硫酸劣化解析を順番に実行させるシステムへと拡張した。図-1 (a) で示すように本解析は材料のモデル化、構造解析、硫酸劣化解析より成る。材料のモデル化はコンクリートの硫酸による劣化現象がセメント水和物の減少に起因することに準じ、セメント水和物量からコンクリート材料特性値を算出する予測式を用いる。鉄筋は中性化により断面積を減少させることにより劣化を評価した。構造解析には剛体バネモデル(RBSM)を用いた。メッシュ形状によるひび割れ進行への影響はボロノイ要素分割手法を用いることで低減した。また要素サイズは約 20mm とした。硫酸劣化解析では硫酸イオン濃度の浸透を式(1)に示す物質移動則で算出し、各要素における硫酸イオン濃度に応じた化学反応速度を用い、硫酸とセメント水和物の化学反応式に従って、セメント水和物の減少量を求めた。図-1 (b) は本解析におけるはり全体荷重-変位関係の概要図である。入力値として定めた持続荷重まで構造解析を行った後、硫酸劣化解析を実施し（図-1 (b) 中の A→B に相当）、B において材料モデルの更新を行う。このとき解析モデルの各要素では図-1 (c) に示すように材料特性値の低下に伴い、構成則が変化し、応力は図中の A→B のように変化する。以上より低下した内力を変位を増加させることにより補う（図-1 (b) 中の B→C に相当）。以上のように硫酸劣化の影響を考慮しつつ、持続的な荷重を与えることで破壊までの応力-変位の関係を解析的に求めることが本解析手法となる。

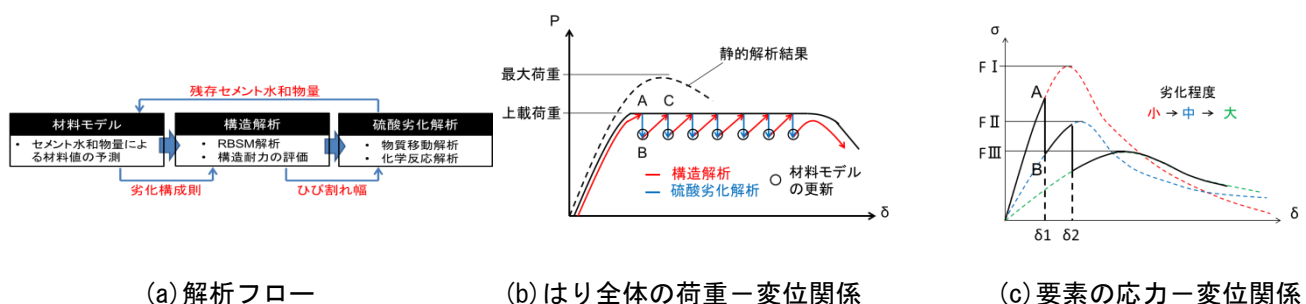


図-1 本解析の概要

$$\frac{\partial(p_p C_{liq})}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\bar{D}_w \frac{\partial(p_p C_{liq})}{\partial x} \right) + \frac{\partial C_{sol}}{\partial t} \quad (1)$$

C_{liq} : 液相中の硫酸イオン濃度 (mol/l), C_{sol} : 固相中の硫酸イオン濃度 (mol/l), p_p : セメントペースト中の空隙率 (%), $\bar{D}_w$: ひび割れ幅を考慮した硫酸イオンの拡散係数 (mm²/sec)

キーワード RC, 硫酸劣化, 持続荷重, ライフタイム

連絡先 〒160-0023 東京都新宿区西新宿1丁目25-1 大成建設(株) TEL 03-3348-1111

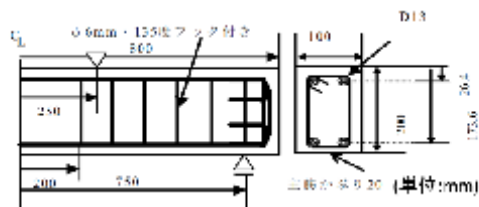
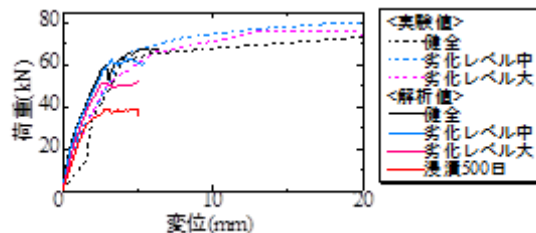
図-2 実験供試体²⁾

図-3 荷重変位曲線

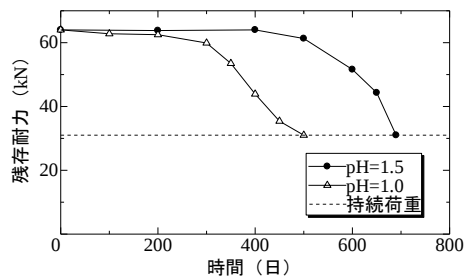


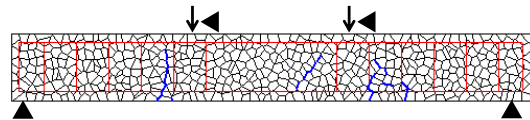
図-5 残存耐力-時間関係



(a) 健全時



(b) 劣化レベル大



(c) 500 日浸漬

図-4 ひび割れ性状

3. 解析条件

坂本²⁾が行った硫酸浸食を受けた RC 部材の曲げ試験の再現を試みた。実験の供試体諸言を図-2 に示す。実験における硫酸への浸漬は、RC はり下面方向から行われた。劣化の程度は主鉄筋に対する残存かぶりによりレベル分けしており、残存かぶりが約 10mm, 5mm, -5mm (主鉄筋が露出している状態) に対して劣化レベルがそれぞれ小, 中, 大と分類される。また解析のみさらに劣化を進行させた, 浸漬深さが約 42mm, 浸漬期間 500 日のケースの解析も実施した。解析で用いた劣化前の材料特性値に関しては弾性係数 31000MPa, 引張強度 2.67MPa, セン断強度 5.13MPa, 破壊エネルギー 0.091N/mm とした。

4. 解析結果

実験と解析結果の荷重変位曲線の比較を図-3 に、ひび割れ性状の比較を図-4 に示す。図-3 より劣化の進行に伴い、解析値が実験値より小さな値を示す傾向があることがわかった。これは実際の劣化現象に対して解析における劣化の進行が速いためだと考えられる。図-4 からは劣化によって破壊時のひび割れ性状が変化することがわかる。実験、解析共に健全時には曲げ破壊が生じているが、劣化後はせん断破壊が生じている。これは付着劣化の影響を考慮できていることによるものと考えられる。図-5 では持続荷重、硫酸劣化を与えた場合の各浸漬期間における主鉄筋の降伏荷重をプロットしたものである。硫酸溶液の pH によって降伏荷重が持続荷重を下回るまでの時間が異なっている。これより外部硫酸イオン濃度の違いによる RC はりのライフタイムの違いを表現できた。しかしライフタイムの妥当性については今後、検証する必要がある。

5. 参考文献

- 1) 三浦泰人：セメント系複合材料の準微視的化学-力学連成解析システム，北海道大学学位論文，2015
- 2) 坂本洋介：硫酸浸食を受ける RC 部材の劣化と曲げ・せん断耐荷性状に関する研究，京都大学修士論文，2008