

塩害を受ける鉄筋コンクリート構造の性能の経時変化予測システム

長岡技術科学大学大学院 学生会員 久保晶彦

長岡技術科学大学工学部 正会員 下村 匠

1. はじめに

構造物の耐久性と安全性・使用性等の性能を統一的に考慮するためには、供用期間中の荷重作用・環境作用による構造物中の材料の劣化、損傷の累積を予測し、構造物の保有性能を時間軸上で評価する技術の確立が不可欠である。これを具現化するための第一歩として、著者らは、簡便な力学モデルを組み合わせた数値シミュレーションにより、塩害を受ける鉄筋コンクリート構造の力学性能の経時変化を予測するシステムを構築し¹⁾²⁾、その改良に努めている。本研究では、各部分に最新の研究成果を反映したモデルを組み込んだ予測システムを用いて、材料・構造・環境条件が塩害を受ける鉄筋コンクリート構造の供用寿命に及ぼす影響について検討する。また、脱塩工法および連続繊維シートによる補修補強工法を表現する部分をシステムに追加し、それらの補修補強工法の効果が解析結果に合理的に反映されるかどうか検討する。

2. 予測システムの概要

予測システムの全体の構成は図-1 に示すようであって、かぶりコンクリート中の鋼材腐食促進物質（水分、塩化物イオン、酸素）の移動²⁾³⁾、コンクリート中における鋼材の腐食の進行⁴⁾、鋼材腐食による損傷の導入（鉄筋の断面積欠損、腐食ひび割れ、付着の低下）²⁾、鉄筋が腐食した鉄筋コンクリート部材の曲げ挙動⁵⁾、を解析する部分より成る。これらの計算を時間ステップごとに繰り返すことにより、鉄筋コンクリート部材の曲げ性状（荷重-変形関係）の経時変化が得られる。本稿では説明を省略するが、～の部分には、既往の知見および著者らの研究成果に立脚した力学モデルを用いている。本研究では、新たに以下の改良を加えた。

（ ）腐食ひび割れ発生後、かぶりコンクリート中の腐食促進物質の移動に関する拡散係数を、腐食ひび割れ幅に応じて増大させた。

（ ）脱塩工法は、処理を行った時点でかぶりコンクリート中の塩化物イオンをゼロにすることで表現した。

（ ）連続繊維シートによる補修補強は、シートによる腐食促進物質の遮蔽効果と、引張力負担効果を考慮した。物質遮蔽効果は、構造物表面に物質移動抵抗性の大きい層を設定することにより表現した。なお、本研究では遮蔽効果は恒久的であるとした。シートによる引張力負担は、完全付着を仮定し通常の鉄筋コンクリートはりの曲げ理論に基づき評価した。シートの剥離は生じないものと仮定し、破断条件のみ考慮した。

3. 数値シミュレーション

予測システムを用いて、種々の材料・構造・環境条件下において塩害を受ける鉄筋コンクリートはりの曲げ耐力の経時変化を解析した。標準となるケースの概略を図-2 に示す。

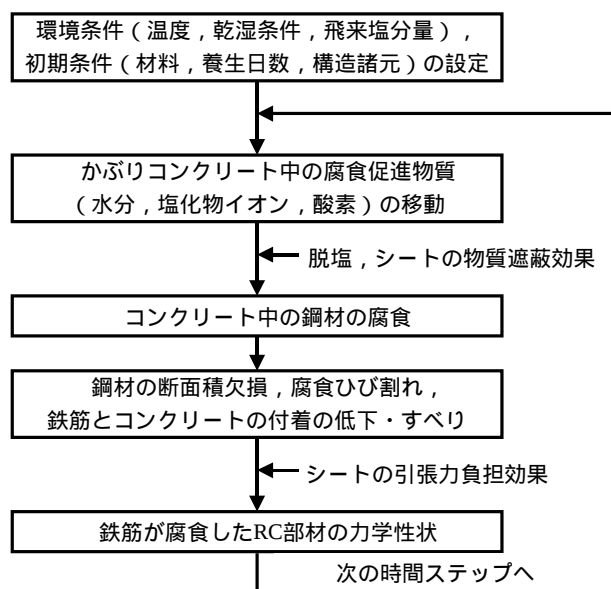


図-1 予測システムにおける解析の流れ

キーワード：塩害，物質移動，経時変化，補修補強，連続繊維シート

〒940-2188 新潟県長岡市上富岡町 1603-1，TEL 0258-47-9603，FAX 0258-47-9600

シリーズ1では、環境条件に関する感度解析を行った。環境条件の違いは、湿潤・乾燥のサイクルの違いにより表現した。解析結果を図-3に示す。縦軸は初期状態に対する各時点における曲げ耐力の比を示している。乾湿が繰り返す飛沫帯・干満帯では、常に湿潤（海中）または乾燥（大気中）条件下にある環境よりも、塩化物イオンの侵入が顕著であり、その結果鋼材の腐食が進行し、曲げ耐力の低下が早い結果となった。いずれのケースも、腐食ひび割れが発生した時点から鋼材の腐食が顕著になり、曲げ耐力が低下している。

シリーズ2では、コンクリートの配合、養生日数、かぶり厚さの初期条件に関する感度解析を行った。環境条件は飛沫帯とした。配合、養生日数の違いは、コンクリートの細孔組織構造の緻密さを表すパラメータを介して、コンクリート中の各種腐食促進物質の移動抵抗を表す係数の違いとして考慮される。解析結果を図-4に示す。標準的なケースに比べ、水セメント比を小さくしたケースおよび養生日数を長くしたケースでは、細孔組織が緻密になり、塩化物イオンの侵入が抑制される。一方、かぶりを小さくしたケースでは、早期に劣化する結果となった。

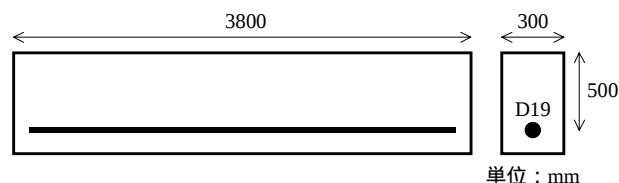
シリーズ3では、脱塩工法および連続繊維シート接着による補修補強が、構造物の性能の経時変化に及ぼす影響を検討した。環境条件は飛沫帯とし、供用開始から15年後に補修補強を行うことを想定した。解析結果を図-5に示す。脱塩工法は鋼材腐食の進行を抑制すること、また、連続繊維シートは耐力を増大させるとともに、物質遮蔽効果により鋼材腐食の進行を抑制することにより、相乗的に供用寿命の延命に寄与することが表現されている。

4. まとめ

予測システムによる解析結果は、鉄筋コンクリート構造の塩害に関する一般的知見に照らし合わせて、合理的であった。このことは、材料・構造・環境条件が概ね妥当に考慮されていることを示すものである。

参考文献

- 1) 濱田 宏・丸山久一・下村 匠・青山敏幸：腐食性環境下における鉄筋コンクリート構造物の劣化予測モデル，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.19，No.1，pp.811-816，1997.6.
- 2) T.Shimomura: Simulation for time-dependent performance change of RC structures subjected to salt attack, Proceedings of the RILEM International Conference on Life Prediction and Aging Management of Concrete Structures, pp.128-133, July 1999.
- 3) 日本コンクリート工学協会：コンクリート構造物の補修工法研究委員会報告書（ ），1996.10.
- 4) 菱田 亮：コンクリート中の鉄筋の腐食に関するモデル化，長岡技術科学大学修士論文，2000.3.
- 5) 青山敏幸・下村 匠・丸山久一：塩害により鉄筋が腐食した RC 部材の曲げ性状，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.20，No.2，pp.883-888，1998.6.



環境条件：飛沫帯（湿潤0.25日，乾燥9.75日）
水セメント比：55%（W=165，C=300）
養生日数：7日
かぶり厚さ：100mm

図-2 解析対象供試体（標準ケース）

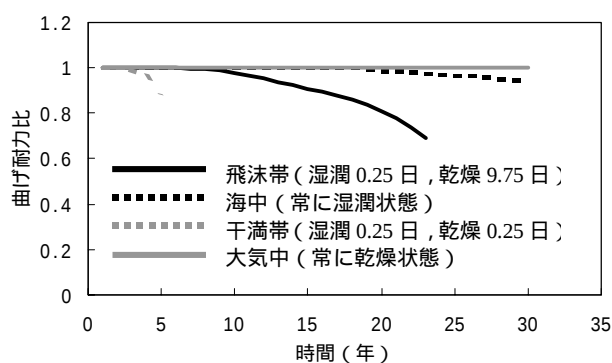


図-3 シリーズ1の解析結果（環境条件の影響）

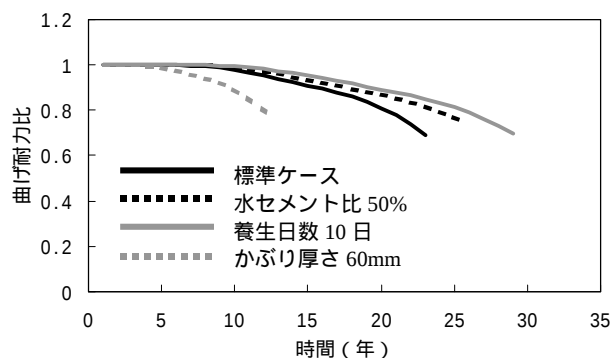


図-4 シリーズ2の解析結果（初期条件の影響）

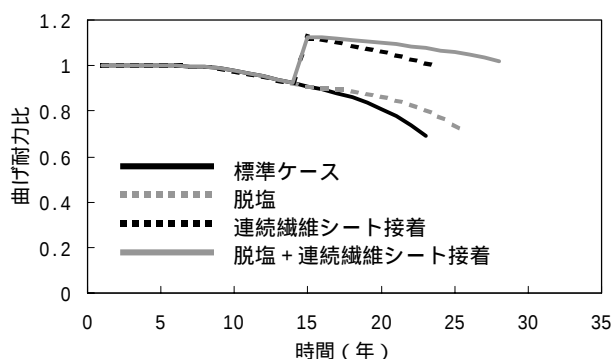


図-5 シリーズ3の解析結果（補修補強の効果）