

塩害を受けたコンクリート構造物の繰返し補修を考慮した劣化シミュレーション

香川大学大学院 学生会員 ○齊藤 友紀
 香川大学工学部 フェロー会員 松島 学
 (株) 四国総合研究所 正会員 松田 耕作
 (株) 四国総合研究所 正会員 横田 優

1. はじめに

日本は周囲を海で囲まれているため、塩害を受けやすい環境にある。劣化の進行により耐用年数が低下するため、補修を行い、耐用年数を延ばす必要がある。本研究は、繰返し補修を考慮した塩害劣化の予測手法の提案を行い、実構造物と比較し、予測手法の妥当性を検証した。実構造物の劣化因子は自然現象であり、ばらつきを持つことが普通である。そのため、本研究では、確率論的手法に基づいて解析を行っている。

2. 塩害劣化と補修モデル

塩害劣化は、潜伏期、進展期、加速期、劣化期の4つの過程で構成される。本研究で構築した劣化モデルの概要を図1に示す。潜伏期はコンクリート表面に付着した塩化物イオンが浸透し、鉄筋位置で腐食発生限界塩化物イオン濃度を越えると腐食が発生し、進展期に移行する。進展期は鉄筋腐食が進行し、その腐食量が、ひび割れ発生限界腐食量を越えるとひび割れが発生する。ひび割れがコンクリート表面まで達すると加速期に移行する。加速期は、ひび割れを通して外部から水や酸素が直接浸入するため、鉄筋の腐食速度は、約3.7倍の速さで進行するとした。ひび割れが発生することで補修を行うが、ひび割れパターンにはかぶり、鉄筋間隔に応じて、4種類に区分される。ひび割れの進展を図2に示す。鉄筋に沿ったひび割れ、水平はく離ひび割れは進行すると、はく落ひび割れへと進展し、表面はく離ひび割れとはく落ひび割れの両方の発生箇所を対象に補修を行った。本研究では拡散係数 D_c 、かぶり X_t の2つを確率因子とした。その確率因子がばらつくことで、腐食発生限界塩化物イオン濃度、腐食速度等の各因子がばらつき、各過程でばらつきを考慮した塩害劣化の予測手法を構築できる。図中の*は確

率因子を示している。

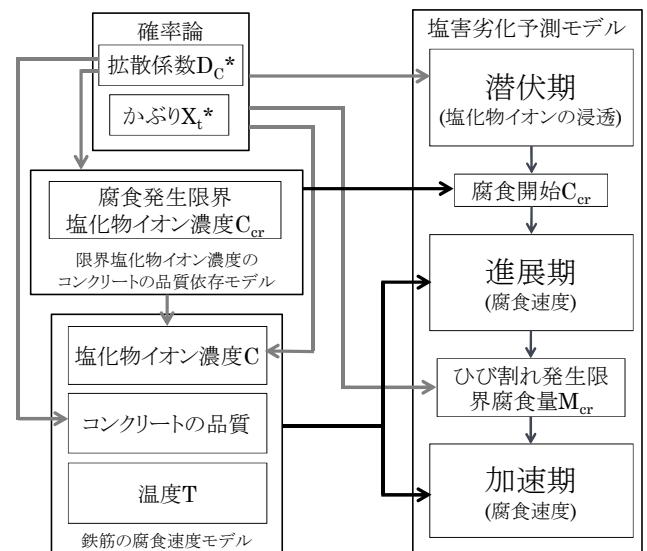


図1 塩害劣化モデル

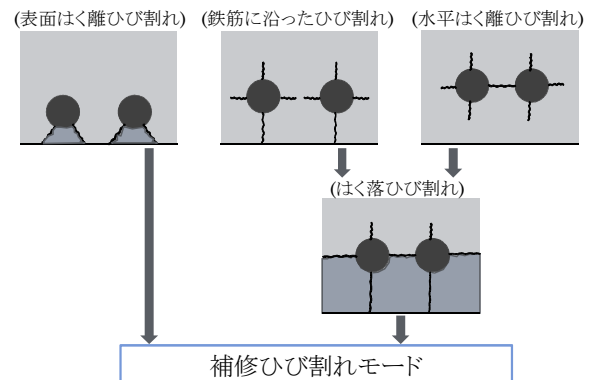


図2 ひび割れ進行モデル

3. 対象構造物と補修過程

瀬戸内海沿岸に立地するS栈橋の上部工下面の床版を対象に解析を行った。対象構造物を図3に、補修履歴を図4に示す。S栈橋は竣工から30年後の調査時までには3回の補修が行われており、竣工から11年3カ月後に一回目、そこから6年1カ月後に2回目、4年3カ月後に3回目の補修が行われている。このように補修間隔は、補修するごとに短くなっている。これ

キーワード 塩害劣化、補修、実構造物

連絡先 〒761-0396 高松市林町 2217-20 香川大学工学部安全システム建設工学科 Tel:087-864-2187

は、補修回数が多くなると、補修をすることが困難になってくることを裏付けている。実際の補修では、はく離・はく落箇所を対象に鉄筋位置までの設計かぶり 4.0cm より 1.0cm 深い 5.0cm までのはつり、補修用コンクリートを打設している。補修箇所には表面被覆材も設置している。S 栈橋は昭和に建設され、被覆材の施工が良好な状態でないことがわかっており、有効に機能していないと判断し、解析では無視した。



図 3 対象構造物

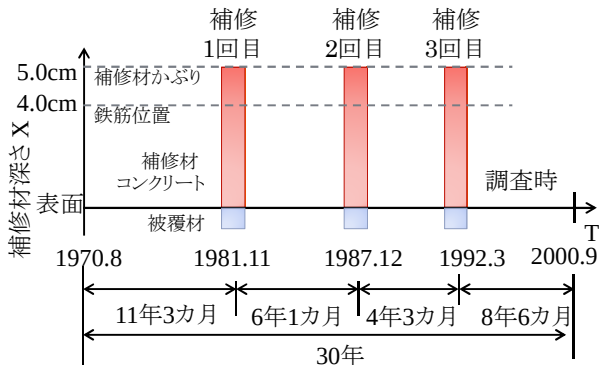


図 4 構造物の補修状況

4. 解析

拡散係数は、経過年数が経つにつれて、小さくなることは自明である。しかし、30 年後から、初期の拡散係数を推定することは難しい。本研究では、拡散係数を経時変化する場合としない場合の 2 つを考えた。2 つのパターンの拡散係数の経時変化モデルを図 5 に示す。経時変化を考慮する場合は、竣工から 30 年後の拡散係数 D_{30} から基準となる拡散係数 D_5 を求め、経時変化を考慮した(ケース 1)。拡散係数一定の場合は調査時 D_{30} の値を用いた(ケース 2)。表 1 に示す解析条件で、構築した予測手法を用いて解析を行った。解析はモンテカルロ法を用いて、乱数は 3000 個とした。2 パターンの拡散係数より求めた補修率の計算値と実測値を図 6 に示す。ここで、補修率とは、全面積に対す

るはく離・はく落を生じた補修面積を表している。実測値は、設定した 2 パターンの解析結果の間にあり、どちらかと言うと、拡散係数一定(ケース 2)の結果に近い。実際のデータは不確実性が大きく、さらに、過去の補修データ等も十分ではなく、解析条件の設定が困難であるが、実測値と同程度の結果となっている。自然界のばらつきを考えると、本提案した確率論的手法に基づいた塩害劣化の予測手法は、妥当性があると判断できる。

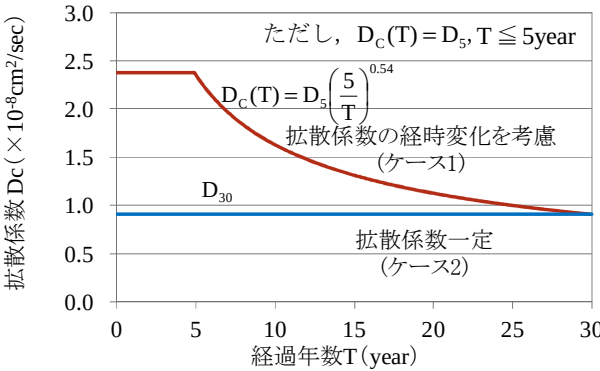


図 5 拡散係数の設定

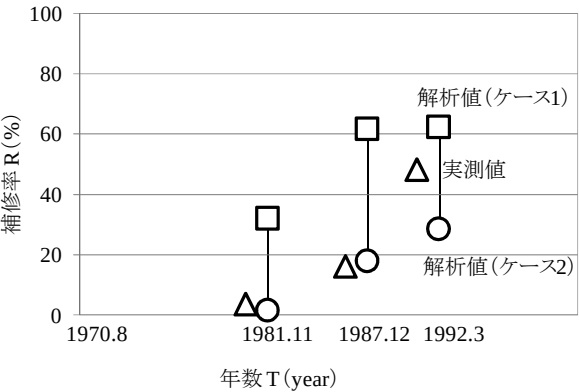


図 6 実測値と計算値の補修率の比較

表 1 解析条件

条件	値
付着塩分量 W ($\times 10^{-9}$ wt%/cm ² /sec)	3.507
初期混入塩化物イオン量 C^- (wt%)	0.019
調査時の拡散係数 D_{30} ($\times 10^{-8}$ cm ² /sec)	9.07 (0.36)
5 年時の拡散係数 D_5 ($\times 10^{-8}$ cm ² /sec)	2.38 (0.95)
設計かぶり X_t (cm)	4.0 (1.0)
補修材かぶり X_f (cm)	5.0 (1.0)
鉄筋間隔 f (mm)	150
平均気温 T (°C)	18.8

() 内は標準偏差