

塩害劣化を受ける鉄筋コンクリート構造物の補修を考慮した劣化予測

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、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。実構造物の劣化は一樣ではなくばらつきが生じており、確率論的手法に基づいてばらつきを考慮した解析を行っている。

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。進展期は腐食速度が大きくなり、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、ひび割れには形状の変化によって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、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それぞれの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。

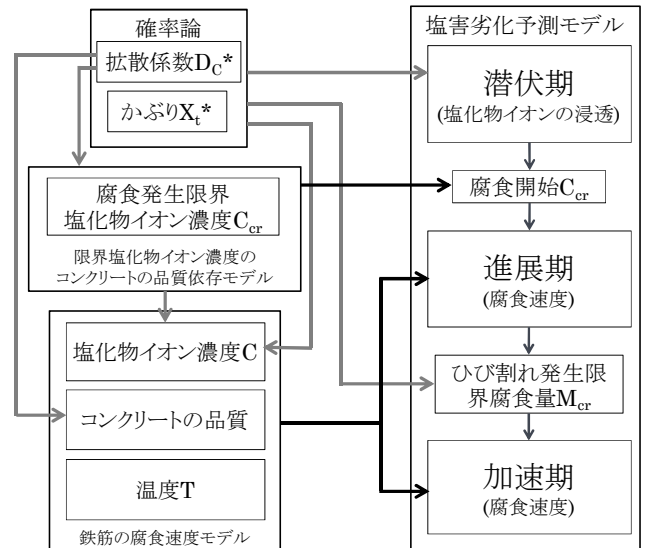


図1 塩害劣化モデル

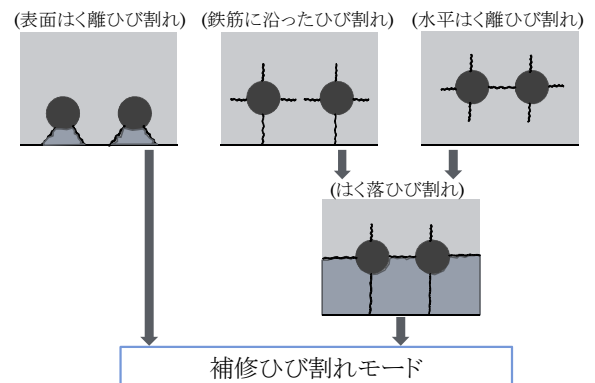


図2 補修対象ひび割れ

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。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まではつり、補修用のコンク

リートを打設している。補修箇所は表面被覆材も設置している。S 栈橋は昭和に建設され、被覆材の施工が不良であり、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

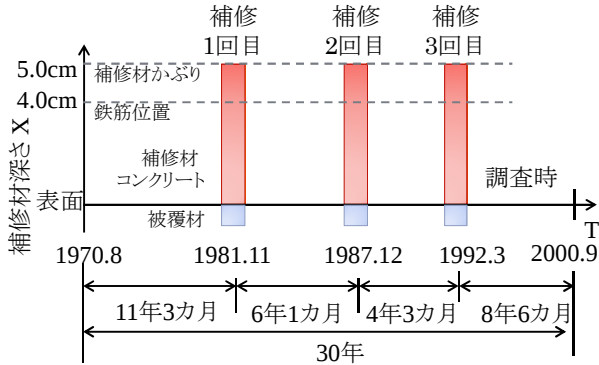


図 4 構造物の補修状況

4. 解析

S 栈橋から得られた調査結果の不確実性を考え、確率因子である拡散係数を、経時変化を考慮する場合としない場合の 2 つを考えた。2 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 を求めて経時変化を考慮した(ケース 1)。拡散係数一定の場合は 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。なお、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。このように、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。

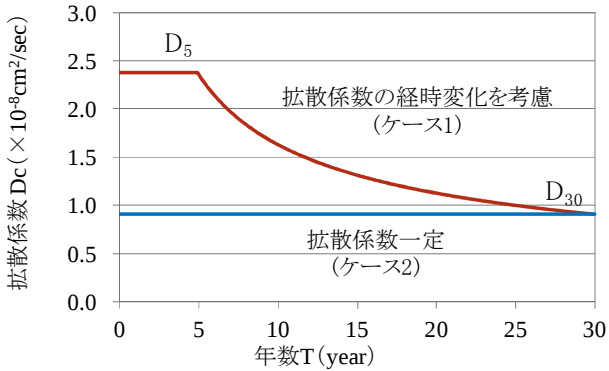


図 5 拡散係数の設定

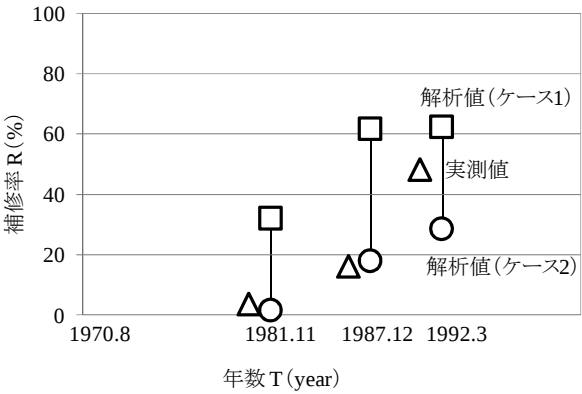


図 6 実測値と計算値の補修率の比較

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)
乱数 n (個)	3000
鉄筋間隔 f (mm)	150
平均気温 T (°C)	18.8

() 内は標準偏差