

香川大学大学院 学生会員 ○山本 佑人
 香川大学工学部 正会員 松島 学
 (株) 四国総合研究所 正会員 横田 優

1. 目的

本研究は、塩害劣化の進行過程を劣化予測によって求め、腐食ひび割れ幅を指標とした耐用期間内のライフサイクルコストを用いた補修計画の最適化手法を提案する。

2. 劣化予測

塩害劣化は、図 1 に示すようにコンクリート表面から塩化物イオンが浸透し、腐食が開始するまでの潜伏期、腐食が開始し、ひび割れが生じるまでの進展期、ひび割れ発生によって腐食が加速する加速期の三つの過程に分けられ、各期間を求めることで劣化予測を行った。各期間を決定するモデルは、以下のように考えた。

- ①潜伏期：Fick の拡散方程式を外部から一定量の塩化物イオンが連続して浸透すると考え、鉄筋位置での塩化物イオン濃度を求め、限界塩化物イオン濃度 C_{cr} に達したとき、腐食が開始するものとした。
- ②進展期：外気温、かぶり位置での塩化物イオン濃度、コンクリートの品質から時間 t の腐食速度を求めた。腐食速度から求められる腐食量が限界腐食量 M_{cr} に達したとき、腐食ひび割れが発生すると仮定した。
- ③加速期：腐食速度を進展期の 3.7 倍と仮定した。

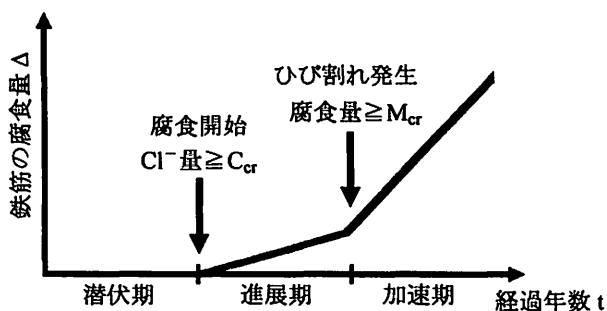


図 1 劣化モデルの各期間

3. 腐食量と腐食ひび割れ幅の関係

塩害を受けるコンクリート構造物の劣化レベルは、腐食量と線形の関係にあることから、外観から計測できる腐食ひび割れ幅によって劣化レベルを評価した。既往の電食実験から腐食量と腐食ひび割れ幅の関係

は図 2 の点のように得られ、一次式で近似した。

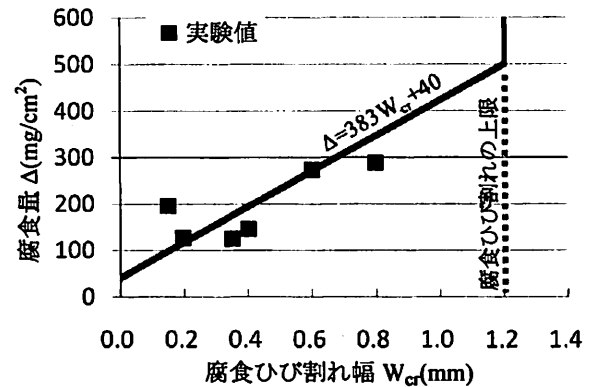


図 2 腐食量と腐食ひび割れ幅

4. 耐用期間内の再劣化

コンクリート中に浸透した塩化物イオンを完全に除去することは困難であり、補修後は新設時より速く劣化が進行する。図 3 に示す橋梁の例では、補修間隔が 0.67 倍ずつ短くなっている。式(1)に示すように補修間隔に再劣化係数を乗ずることで再劣化により補修間隔が短くなることをモデル化した。

$$T_n = T_1 \times \alpha^{n-1} \quad (1)$$

ここで、 T_n ： n 回目の補修間隔、 T_1 ：一回目の補修間隔、 α ：再劣化係数、図 3 より $\alpha=0.7$ とした。

補修間隔が極端に短くなると、腐食を抑制する電気防食が採用される。本研究は、断面修復工法のための維持管理を行うために、制約条件として補修回数は 2 回までとした。

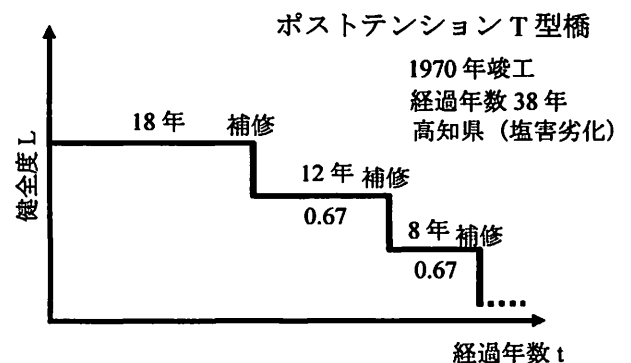


図 3 再劣化の実例

鉄筋コンクリートは鉄筋の断面減少率が 20% にな

ると終局耐力が急激に低下することが知られている。本研究では、安全を考慮して断面減少率の上限を 17% とした。

6. 総補修費用のモデル

補修工法は断面修復工法に限定し、補修費用は腐食ひび割れ幅が大きくなるにつれて、指数的に増大するモデルを考えた。補修費用のモデルを図 4 に示す。本研究では、補修費用を足場の仮設費用のように劣化の状況に依存しない費用 C_{R0} と劣化レベルが進行するに従って指数的に増大する費用 C_m の 2 つの費用でモデル化した。構造物の耐用期間内に必要な総補修費用 C_T は、補修ひび割れ幅に対応する補修コストの無次元量 C_R に耐用期間の補修回数 n を乗ずることで求められる。制約条件を満足する C_T のうち、最も低いものを最適な補修ひび割れ幅とする。

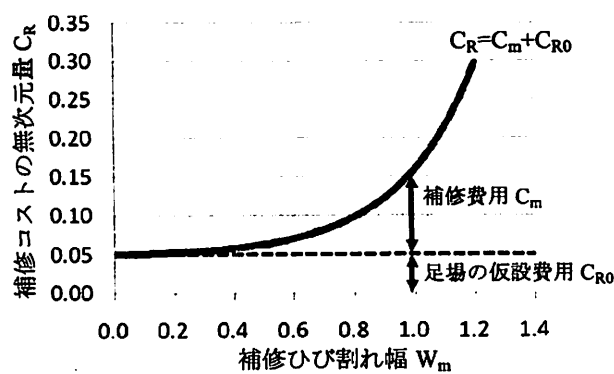


図 4 補修コストのモデル

8. 最適補修計画

本研究で構築した手法を用いて、非常に厳しい塩害環境にある RC 栈橋の床版を想定し、耐用年数 50 年で補修計画の最適化を行った。計算条件を表 1 に示す。かぶりはコンクリート標準示方書の特に厳しい腐食性環境にある床版の基準値である 5.0cm からバラツキを考慮して 4.0cm とした。補修ひび割れ幅ごとの断面減少率を図 5 に示す。補修ひび割れ幅が小さいほど、断面減少が抑制される傾向にある。上限値である 17% を超えるのは、補修ひび割れ幅が 0.7mm、0.8mm の場合であった。補修回数は図 6 に示すように、補修ひび割れ幅が大きくなるほど回数が少なくなった。補修回数の上限を超えるのは補修ひび割れ幅が 0.2mm と 0.3mm の場合であった。補修ひび割れ幅が小さい場合、補修コストの無次元量 C_R が小さくても補修回数が大きくなるため、補修ひび割れ幅ごとの総補修費用の無次元量 C_T は図 7 に示すように、下に凸の形となった。

制約条件を満たす総補修費用のうち、最も経済的なものを選ぶと、最適な補修ひび割れ幅は 0.9mm となった。

表 1 計算条件

耐用年数 T (年)	50
鉄筋径 ϕ (mm)	16
かぶり X (cm)	4.0
見かけの拡散係数 D_c (cm^2/sec)	1.7×10^{-8}
表面塩化物イオン量 C_o (kg/m^3)	30

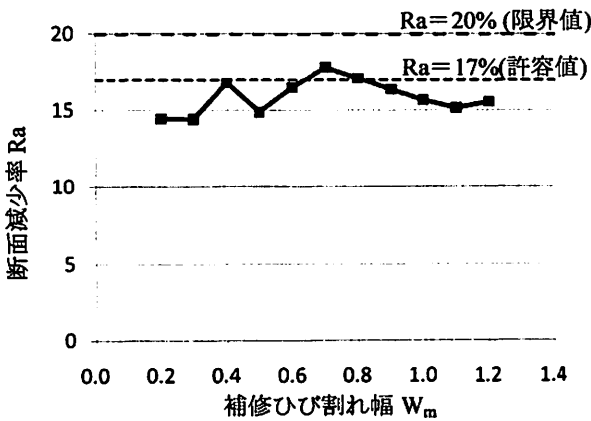


図 5 補修ひび割れ幅 W_m ごとの断面減少率 R_a

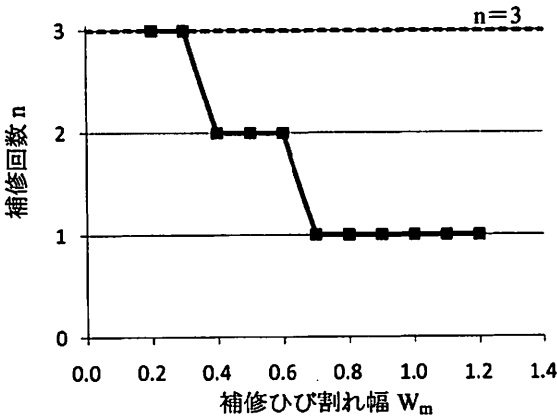


図 6 補修ひび割れ幅 W_m ごとの補修回数 n

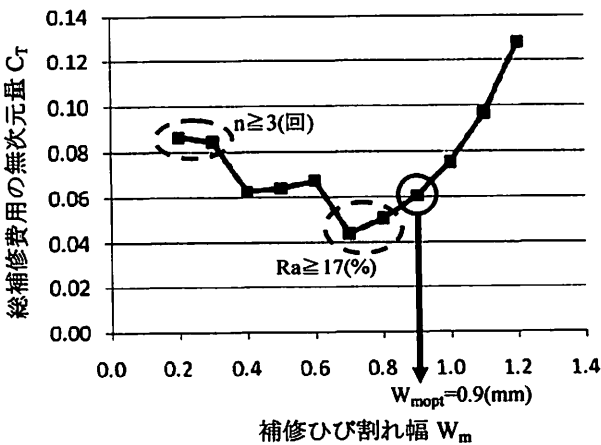


図 7 総補修費用 C_T