

塩害劣化を受ける構造物の劣化モードを推定する確率論的手法の構築

東電設計株式会社 正会員 ○金谷誠也
香川大学 正会員 松島学
(株) 四国総合研究所 正会員 横田優
(株) 四国総合研究所 正会員 松田耕作

1. はじめに

社会基盤は、1960 年の高度経済成長期の建設ラッシュに建設され、多くの構造物が耐用期間を迎えており、今後の維持管理が重要となる。構造物の劣化の要因の一つに塩害劣化が挙げられる。塩害劣化は、コンクリート中の鉄筋が腐食する現象である。本研究では腐食ひび割れ発生後のひび割れモードを予測し、確率論的に劣化度を評価する方法を確率論的手法に基づいて提案している。さらに、予測値を実測値の比較により劣化予測手法の妥当性を検証する。

2. 腐食ひび割れ発生モデル

腐食ひび割れはかぶり C の区分境界で、かぶりを鉄筋径 ϕ で除した無次元量 C/ϕ が大きければ鉄筋に沿ったひび割れと水平はく離ひび割れ、 C/ϕ が小さければ表面はく離ひび割れに区分さる。鉄筋間隔 L の区分境界で、鉄筋間隔を鉄筋径で除した無次元量 L/ϕ が大きければ鉄筋に沿ったひび割れ、 L/ϕ が小さければ水平はく離ひび割れに図-1 のように区分される。供試体を用いた乾湿繰返しによる塩水実験¹⁾の結果から、かぶりの区分境界は $C/\phi=1.5$ 、鉄筋間隔の区分境界は $L/\phi=7.0$ であった。鉄筋に沿ったひび割れ、水平はく離ひび割れは、共にその後の鉄筋の腐食膨張に伴ってひび割れモードがはく落になり、かぶり部分のコンクリートが剥がれ落ち、耐力の限界を迎えると構造物は供用を終える。

3. 塩害劣化予測

現実の鉄筋の腐食の進行は、環境条件に大きく作用される。本研究は、確率因子としてかぶり C 、鉄筋間隔 L 、および拡散係数 D_c にばらつきを持たせて計算している。各因子のばらつきが、他の因子に与える影響の関係を図-2 に示す。かぶり

筋間隔は現場の施工誤差などを考慮しており、ひび割れモードの区分境界 C/ϕ 、 L/ϕ に影響を与える。拡散係数は腐食速度 R や塩化物イオン濃度 C_{cr} など、腐食の開始時期や進展に影響を与える。本研究では、3000 個の乱数を用いて計算を行った。

4. 対象構造物

本研究で構築した塩害劣化予測手法の精度を検証するために、実構造物を対象に塩害劣化予測を行った。対象構造物は S 発電所の排水口で、供用

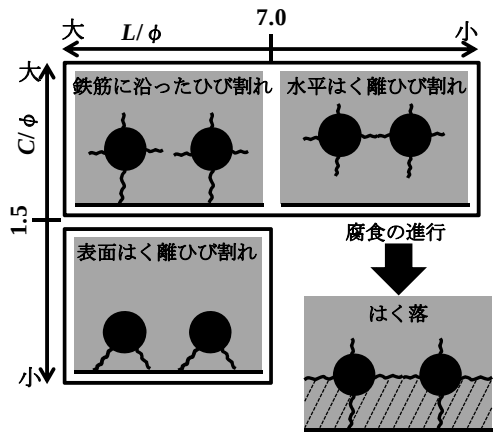


図-1 ひび割れモードと区分境界

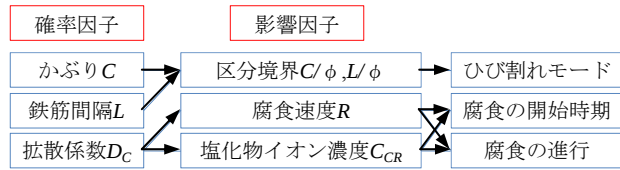


図-2 確率因子と影響因子

表-1 塩害劣化予測入力値一覧

【項目】	【平均値】	【標準偏差】
かぶり厚 C (mm)	62	10
鉄筋間隔 L (mm)	150	10
拡散係数 D_c (cm ² /sec)	1.63×10^{-8}	0.72×10^{-8}

キーワード：塩害劣化予測，確率論的手法，ひび割れモード

連絡先：東京都台東区東上野 3-3-3 Tel：(03)6372-4000 Fax：(03)6372-4100

開始から 35 年経過している。環境は飛沫滞であり、潮の満ち引きや発電所の排水口であるため温排水の排出など塩害劣化が進行しやすい環境である。劣化予測に用いる入力値の一覧を表-1に示す。H.17 年の調査結果をもとに、かぶり厚の平均値を 62 (mm)、標準偏差を 10 (mm)、鉄筋間隔 L を 150 (mm) とし、拡散係数 D_c の平均値を 1.63×10^{-8} (cm²/sec)、標準偏差を 0.72×10^{-8} (cm²/sec) とした。

5. 最適補修計画の適用

鉄筋の腐食減量を比較を図-3に示す。縦軸は腐食減量 Δ (mg/cm²)、横軸は経過年数 T (年) である。線が予測の平均値、点線が予測の標準偏差を示し、黒丸が実測値を示す。対象構造物の供用年数 35 年で比較すると、予測平均値の 250 (kg/cm²)、標準偏差を含めると 0.0~570 (kg/cm²) の範囲から大きく外れている。これは鉄筋の腐食減量調査の際に、かぶりコンクリートがはく落した鉄筋が剥き出しになっている最も腐食が厳しい箇所を採取しているためである。構造物中の腐食が最も進行している箇所であるため、実測値は予測の標準偏差内に収まらなかったと考えられる。

ひび割れ発生確率 P_f と経過年数 T (年) を図-4に示す。線で示されるのが予測値で、丸で示されるのが実測値である。対象構造物の供用年数である 35 年時で比較すると、ひび割れなしは、実測値 56% に対し予測値 41%、はく落は実測値 42% に対し予測値 51%、鉄筋に沿ったひび割れは実測値 2% に対し予測値 8% という結果になった。ひび割れなしの割合は、実測値と比較して 1 割程度少なく評価されている。鉄筋に沿ったひび割れについて、実測値は目視で確認したひび割れ幅 0.4mm 以上（推定幅）のものを記録しているのに対し、劣化予測では、鉄筋の腐食膨張圧が引張強度を超えた瞬間にひび割れの発生と判断される。これにより、予測値と実測値の鉄筋に沿ったひび割れの割合に誤差が生じたものと考えられる。

鉄筋位置での塩化物イオン濃度 C_{cx} と経過年数 T の関係を図-5に示す。線で表されるのが塩化物

イオン濃度の予測の平均値、点線で示されるのが予測の標準偏差、丸が実測値である。供用年数 35 年で比較すると、最も実測値分布の密集している 2.0~3.0 (kg/cm²) は、平均値の 4.4 (kg/cm²)、標準偏差を含めると 2.6~6.0 (kg/cm²) の範囲から少し外れた。本予測では予測値が実測値よりも腐食の進行が進んでいるといえる。しかし、現実の非常に大きな自然界の不確実性を考慮すると、この程度の誤差は妥当であると判断できる。

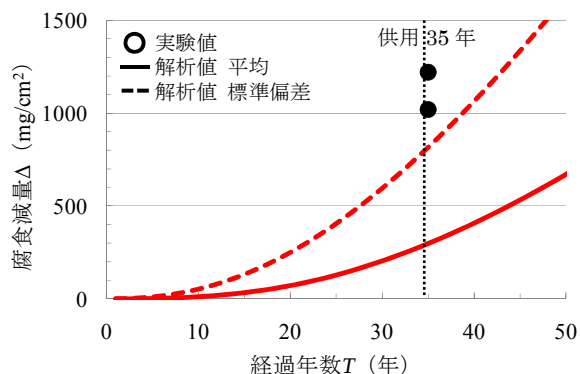


図-3 鉄筋の腐食減量の比較

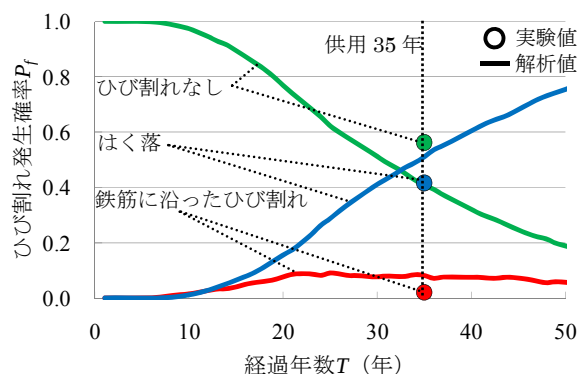


図-4 ひび割れ発生割合の比較

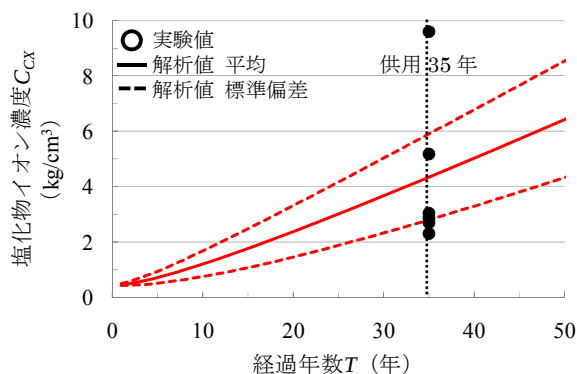


図-5 鉄筋位置での塩化物イオン濃度の比較

※1)中川裕之, 田中大博, 横田優, 松島学: 塩水を用いた乾湿繰返し促進腐食実験によるひび割れモードとひび割れ発生時の腐食量, 土木学会論文集 E, Vol.64, No.1, pp. 110-121, 2008.2.