

劣化予測モデルを用いた鉄筋コンクリート構造物の補修計画最適化手法の提案

香川大学大学院 学生会員 ○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

1. 最適補修計画

本研究では、塩害を受けるコンクリート構造物の劣化進行過程を劣化予測モデルを用いて予測し、耐用期間内のライフサイクルコストを考慮した最適補修計画の提案を行うものである。最適補修計画は、塩害劣化予測、腐食量と腐食ひび割れ幅の関係及び補修費用の3つのモデルから算出した。補修計画を立てる上で重要なことは、どの劣化レベルで補修を行うかということである。塩害を受ける鉄筋コンクリート構造物の劣化レベルを示すものとして鉄筋の腐食量がある。鉄筋の腐食量を外観から調べることは、技術的に難しい。図-1 に示すように、腐食量と腐食ひび割れ幅の関係が線形にあることから、腐食ひび割れ幅を腐食量の代替指標とした。式(1)に鉄筋の腐食量と腐食ひび割れ幅の関係を示す。

$$\Delta = 383.3W_{cr} + 40 \tag{1}$$

ここで Δ は腐食量 (mg/cm²) である。本研究では、補修ひび割れ幅 W_m (mm) を設定し、腐食ひび割れ幅 W_{cr} (mm) が補修ひび割れ幅 W_m (mm) に到達した時点で補修を行うこととしている。

2. 総維持損失費用のモデル

総期待損失費用のモデルは式(2)に示すように耐用期間内の補修費用 $n \cdot C_R$ と耐用期間内の破壊損失費用 $P_f \cdot C_f$ の和 C_T とする。式(3)は補修費用の算定と評価の簡単化のために総期待損失費用 C_T を建設費 C_0 で除した無次元量 C'_T として定義されている。

$$C_T = n \cdot C_R + P_f \cdot C_f \tag{2}$$

$$C'_T = C_T / C_0 = \alpha \cdot n + \beta \cdot P_f \tag{3}$$

ここで、 $\alpha = C_R / C_0$ 、 $\beta = C_f / C_0$ であり、 C_0 は建設費、 P_f は断面減少率が 20% を超える確率、 C_f は補修時の損失費用とする。

初期費用と補修ひび割れ幅の関係モデルを図-2 に表す。補修費用 C_R は補修ひび割れ幅が大きくなると指数的に増大するモデルを選定した。補修費用が建設

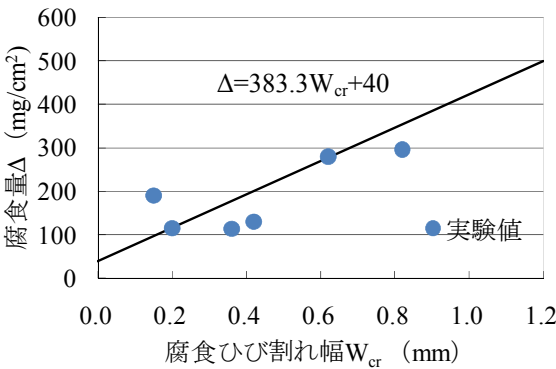


図-1 腐食量とひび割れ幅

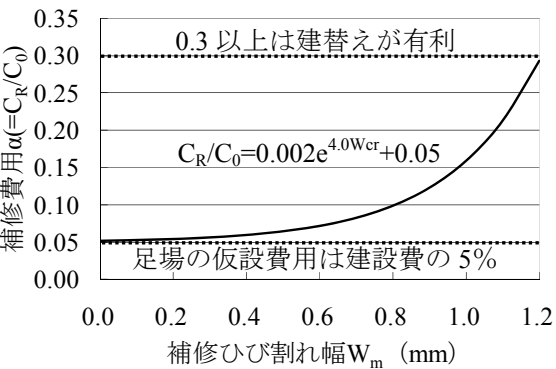


図-2 補修費用 $\alpha (=C_R/C_0)$

表-1 計算条件と初期値

耐用年数	50年
表面塩化物イオン濃度	13.0kg/cm ³
鉄筋径	15.9mm
気温	16.2℃
かぶり (平均)	5.0cm
かぶり (標準偏差)	1.0cm
見かけの拡散係数 (平均)	1.73×10 ⁻⁸ cm ² /s
見かけの拡散係数 (標準偏差)	0.692×10 ⁻⁸ cm ² /s

費の 30% を超える場合は、補修を行うよりも建替えが有利であること、また構造物を補修する際の足場の仮設には建設費の約 5% が必要であることから、最大値を 0.3、最小値を 0.05 としている。破壊の定義は、劣化により鉄筋の断面減少率が 20% を超えると異形鉄筋の付着が消滅し、耐力が急激に低下することから定義した。補修回数は、同じ位置を何度も補修するこ

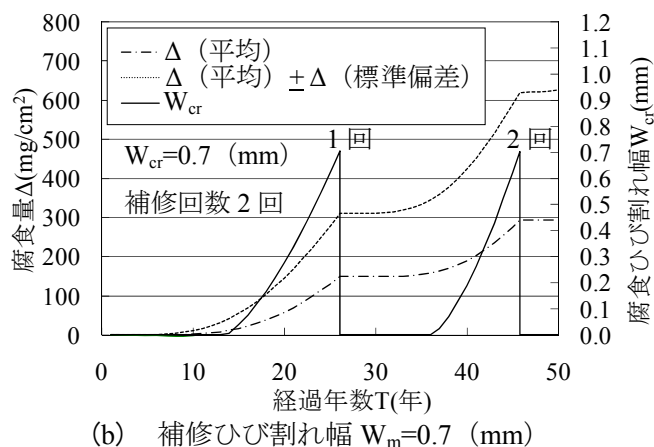
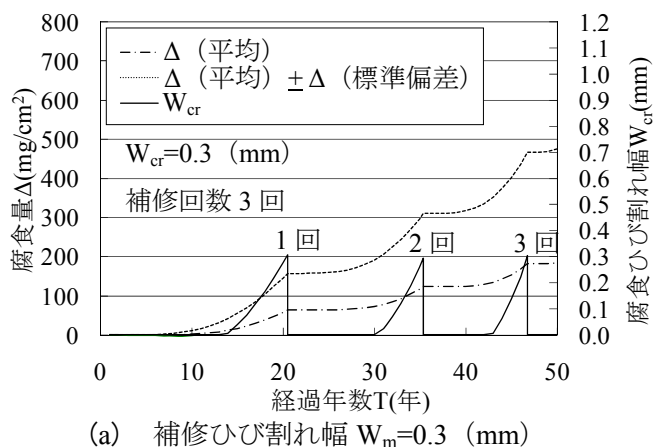


図-3 腐食量と腐食ひび割れ幅

とは不可能であると考え、耐用期間内に最大2回までとした。

3. 最適補修計画の適用

最適補修計画の実構造物の適用例として、RC 栈橋上部工の床版を仮定し、表面塩化物イオン量と耐用年数を変化させた補修計画を考えた。非常に厳しい塩害劣化環境を想定した。想定した条件を表-1に示す。補修時の損失 $\beta=100$ として計算している。図-3は腐食量と補修回数を補修ひび割れ幅ごとに示したものである。図-3(a)が $W_m=0.3$ (mm) のときの腐食量と経時変化の関係を、図-3(b)が $W_m=0.7$ (mm) のときを表す。これをみると補修ひび割れ幅の違いが構造物の腐食量と補修回数に影響を与えていることが分かる。最適補修計画は、補修ひび割れ幅を変化させ、制約条件を満たし、総期待損失費用が最も小さい補修ひび割れ幅を適用する。図-4は補修ひび割れ幅ごとの補修回数を示す。 $W_m=0.2, 0.3$ (mm) の場合は補修回数が3回で制約条件を超えているため補修計画から除外する。図-5は補修ひび割れ幅ごとの破壊発生確率を示す。ひび割れ幅が増加するに従い破壊発生確率も増大している。最大値は $W_m=1.0$ (mm) の時である。図-6は各補修ひび割れ幅の価値換算後の総期待損失費用 C_T' を示す。縦軸が総期待損失費用 C_T' 、横軸が補修ひび割れ幅 W_m を表す。図中の $C_T' - W_m$ 関係線の上に示す数値は補修回数を表す。制約条件を満たす $W_m=0.4 \sim 1.2$ (mm) の中で総期待損失費用が最も小さい $W_m=0.4$ (mm) が最適補修計画となる。今回の最適補修計画を適用した環境は、表面塩化物イオン濃度が 13.0 (kg/cm^3) と非常に厳しい塩害劣化環境

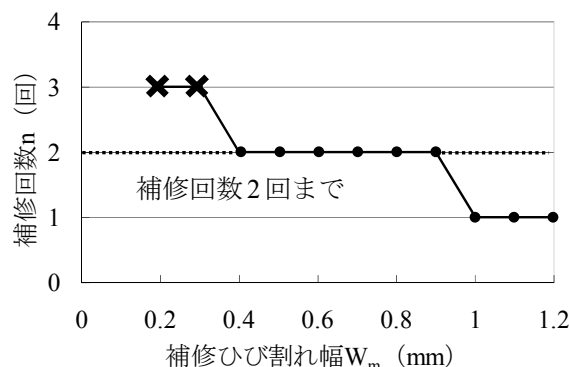


図-4 補修回数制限

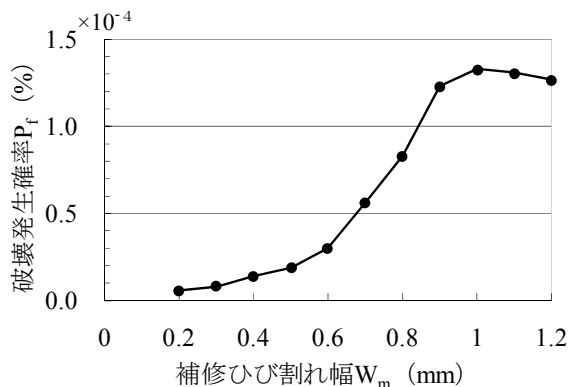


図-5 破壊発生確率 P_f (%)

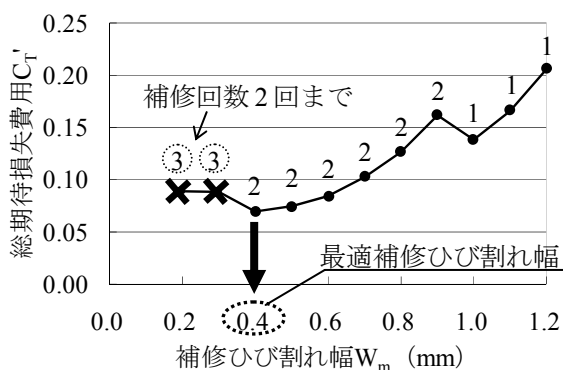


図-6 総期待損失費用 C_T'

である。このような環境でも適用結果から2回の補修回数で耐用期間内の維持管理が可能である。