

塩害環境下における港湾コンクリート構造物の最適な維持管理費の算出に関する基礎的研究

東洋大学大学院環境・デザイン専攻 学生会員 ○鈴木 大介
 東洋大学工学部環境建設学科 非会員 金井 有希
 東洋大学工学部環境建設学科 フェロー 福手 勤
 東洋建設株式会社 正会員 水谷 征治

1. はじめに

近年では補修を施した構造物が補修による所定の維持効果期間前に再び劣化が発生するという再劣化が問題となっている。本研究では、栈橋式係船岸の上部工を対象とし、表面被覆工法適用後の塩化物イオン（以下CI）の再拡散が構造物にどのような影響を与え、ライフサイクルコスト（以下LCC）にどう関わるかに重点を置き、ライフサイクルシナリオを検討した。その後、各種補修工法でのLCCを算出し評価を行った。

2. 栈橋上部工のモデル

本研究では、一般的な栈橋や橋梁のスラブ厚30cmを用いた。実際にはスラブ上下面ではCIの浸透条件は異なるが、今回は両側からのCIの浸透が同じと仮定し、スラブ厚30cmの半分となる15cmまでのCIの拡散予測を行うものとした。

3. 塩害劣化予測方法

表面被覆前のCIの拡散予測は、式1を用いて算出した。これは、Fickの拡散方程式を表面のCI濃度が一定として解いた式である。このときコンクリートのCIは見かけの拡散係数である。

$$C(x,t) = C_0 \left(1 - \operatorname{erf} \frac{x}{2\sqrt{D_c \cdot t}} \right) + C(x,0) \quad (\text{式1})$$

この式1を用いて、表面被覆の適用時点でのCI濃度分布を算出し、それを初期条件として被覆後のCIの拡散予測を行うものとした。

4. 補修後の塩化物イオンの浸透予測

4.1 表面被覆後の再拡散予測（差分モデル）

被覆時にすでにコンクリート中に浸透しているCIは、濃度勾配により表面被覆後も移動を行う。被覆の効果により被覆後のCIの浸透がないと仮定できる場合でも、被覆時点では鉄筋近傍のCI濃度が発錆限界値を下回って

いたものが、CIの再拡散によって被覆後に発錆限界値を上回る恐れがある。そこで、被覆後のCIの再拡散予測を行う必要がある。

Fickの拡散方程式を次元の差分により解いたものが式2である。このとき、初期条件は前述した通り式1を用いて算出、また外部からのCIの浸透はなく、コンクリート表面から15cmの間でCIが移動を行うものと仮定した。

$$C(x,t + \Delta t) = C(x,t) + D_c \frac{\Delta t}{\Delta x^2} \{C(x + \Delta x,t) - 2C(x,t) + C(x - \Delta x,t)\} \quad (\text{式2})$$

4.2 表面被覆後の浸透予測（等価かぶりモデル）

被覆材によるCIの遮塩効果をコンクリートのかぶり厚さの増加（等価かぶり）とみなし評価する手法がある。等価かぶりは式3で換算することができ、このとき土木学会基準評価基準値²⁾を参考に、被覆材の膜厚を0.5mm、被覆材の見かけの拡散係数を0.001cm²/年と仮定した。等価かぶりに換算後、式2に等価かぶり分を増加させCIの浸透予測を行うものとした。また被覆時および更新直後の被覆材（等価かぶり）のCI濃度は0kg/m³とし、被覆材表面の濃度を一定とするものと仮定した。

$$c_i = c_s \times \sqrt{D_c} / \sqrt{D_s} \quad (\text{式3})$$

5. ライフサイクルコスト算出方法

5.1 試算条件

(表1) 試算条件

	ケース1	ケース2	ケース3
セメントの種類	高炉セメント	高炉セメント	高炉セメント
水セメント比：W/C	50%	50%	50%
見かけの拡散係数：Dc	0.541cm ² /年	0.541cm ² /年	0.541cm ² /年
表面の塩化物イオン濃度：C ₀	13kg/m ³	13kg/m ³	6.5kg/m ³
初期含有塩化物イオン濃度	0 kg/m ³	0 kg/m ³	0 kg/m ³
腐食発生限界塩化物イオン濃度	1.2kg/m ³	1.2kg/m ³	1.2kg/m ³
鉄筋かぶり	100mm	100mm	100mm
等価かぶり：C _i	1.2cm	1.2cm	1.2cm
施工面積	300m ²	300m ²	300m ²
補修開始時期	新設時	建造後三年目	建造後三年目

一般的な栈橋構造物では、セメントの種類は高炉セメント B 種を用いることが多く、水セメント比は 50~55% であることが多いことから、(表 1) の値を仮定した。供用年数は 100 年とした。

5. 2 補修シナリオの設定と劣化状況の予測方法

補修工法は以下の 3 通りとした。

補修シナリオ 1：表面被覆（被覆後 Cl⁻ 浸透なし）と脱塩
表面被覆は 10 年毎に実施。表面被覆後は差分モデルを使用して発錆限界を上回る時期に脱塩を併用。

補修シナリオ 2：表面被覆（被覆後 Cl⁻ 浸透あり）と脱塩
表面被覆は 10 年毎に実施。表面被覆後は等価かぶりモデルを使用し、発錆限界値を上回る時期に脱塩を併用。

補修シナリオ 3：電気防食

配線配管の耐用年数を 20 年、陽極の耐用年数は新設時が 60 年、補修時は 40 年とした。

5. 3 各補修工法の費用

コスト計算に用いた工法単価は、以下の通り仮定した。

(表 2) 各種対策工法の費用

対策工法	施工の種類	単価(円/m ²)
電気防食工法	通常	85000
	新設時	68000
	配線取替	9000
	配線+陽極取替	85000
	維持管理費	200(円/m ² /年)
表面被覆工法	通常	17500
	再塗装時	19500
脱塩工法	通常	80000

6. 結果と考察

シナリオ 1：表面被覆後の Cl⁻ の浸透が無い場合

- 1) 構造物の配合条件、環境条件などの各種条件にほとんど左右されない。
- 2) 脱塩を一度行えば Cl⁻ を鉄筋の腐食発生限界濃度より減少させることができる。
- 3) 表面被覆は新設時におこなうべきである。
- 4) 内在 Cl⁻ の再拡散により、鉄筋の腐食発生限界濃度を上回る直前に表面被覆を行えば表面被覆回数が少なくなるので、より LCC を少なくすることが出来る。

シナリオ 2：表面被覆後も Cl⁻ の浸透がある場合

- 1) 表面被覆をコンクリートの拡散係数が小さいものに適用することで、LCC を少なくすることができる。
- 2) 構造物自体の配合が悪い場合は、脱塩回数が増えるため、新設時に被覆しても効果がない。

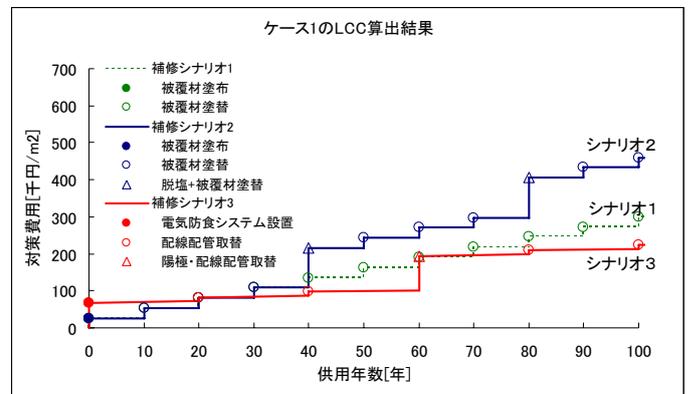
シナリオ 3：電気防食

- 1) 構造物の配合条件や環境条件に左右されない。

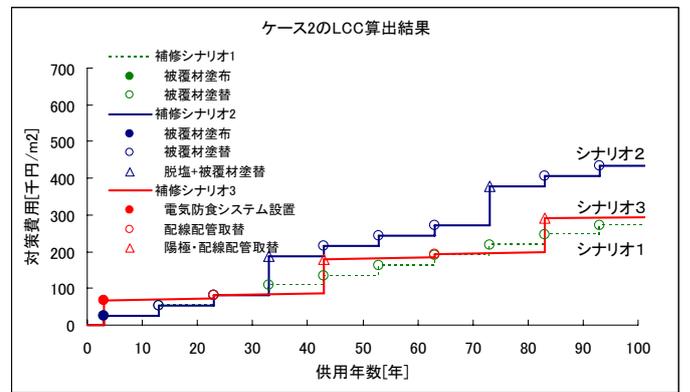
- 2) 新設時に電気防食を行えば陽極の耐用年数が延びるため、その分 LCC を少なくできる。

シナリオの比較

- 1) 表面被覆で脱塩をしない場合、電気防食と同等の LCC になる。
- 2) シナリオ 1 の場合、新設時に被覆を施せば Cl⁻ 浸透が完全に断たれるが、シナリオ 2 の場合、新設時被覆後も Cl⁻ は浸透し続け、脱塩を施す場合もある為、LCC に違いが出る。
- 3) シナリオ 2 は、構造物の配合条件が良い場合に用い、シナリオ 3 は、構造物の配合条件が悪い場合や厳しい塩害環境下に置かれている場合に用いることが効果的である。



(グラフ 1) ケース 1 の LCC



(グラフ 2) ケース 2 の LCC

謝辞

本研究を実施するに当たり、日本エルガード協会の皆様から貴重なご助言を頂いた。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 土木学会：コンクリート標準示方書[維持管理編]、pp.99-102, 2001.
- 2) 土木学会：表面保護工法 設計施工針(案)、p.117, 2005.
- 3) 古玉 悟, 田邊俊郎, 横田 弘, 濱田秀則, 岩波光保, 日比智也：港湾技研資料 No.1001, p.18, 2001.