

表面保護工法を用いた構造物の塩化物イオン侵入抑制効果と LCC 試算

大林組技術研究所 正会員 ○竹田 宣典
 大林組技術研究所 フェロー 青木 茂
 大林組技術研究所 正会員 安田 敏夫

1. 目的

海洋環境下におけるコンクリート構造物に長い耐用年数が求められる場合、塩化物イオンの侵入による鋼材腐食に対する耐久性を向上させるために、表面保護工法や埋設型枠工法を適用する場合がある。

表面保護工法には表面被覆材、表面含浸材などがあり、埋設型枠工法としては、塩化物イオン侵入の抑制を目的とした薄型のボードなどが開発されている。しかしながら、これらの工法を適用した場合の耐久性向上の効果は十分に把握されていない。そこで、表面被覆材、表面含浸材、薄型の埋設型枠を適用した場合の塩化物イオン侵入の抑制効果、建設後の補修時期、LCC について把握するために、ケーススタディによる比較検討を行った。

2. 検討概要

検討を行った表面保護工法や埋設型枠工法を表 1 に示す。コンクリート (W/C:50%) 表面に耐久性向上対策を施すこととし、表面被覆材はエポキシ樹脂 (膜厚 450 μm)、表面含浸材はシランを主成分とするもの (塗布量 400g/m²)、埋設型枠は有機系繊維を含有した無機系材料からなる薄肉ボード (厚さ 14mm) とこのボード内に樹脂を含むものとし、比較のために対策を施さないものも検討した。塩化物イオンの見掛けの拡散係数は、エポキシ樹脂および埋設型枠中の樹脂については「道路橋の塩害対策指針 (案)・同解説」の「コンクリート塗装材料の品質試験」により求め、表面含浸材は土木学会「浸せきによるコンクリート中の塩化物イオンの見かけの拡散係数試験方法 (案)」(JSCE-G 572) により求め

た。表面含浸材を用いたコンクリートの見掛けの拡散係数は厚さ 20mm の範囲における値とした。

汀線付近に建設される構造物中の鉄筋位置 (かぶり 100mm) の塩化物イオンの侵入量を予測した。設計耐用期間は 100 年とし、鉄筋位置の塩化物イオン量が 1.2kg/m³ となると腐食が開始するとし、かぶりコンクリートを除去し、同等のコンクリートで断面修復した後、建設当初と同じ工法を適用する補修を行う場合の補修回数と LCC の試算を行った。

表面保護工、埋設型枠を用いた場合の塩化物イオンの浸透量分布のモデルを図 1 に示す。これらの塩化物イオン量の予測は、表面保護工法や埋設型枠工法の適用により、塩化物イオンの侵入に対してかぶり厚さが増加するとみなし下記の式を用いた¹⁾。

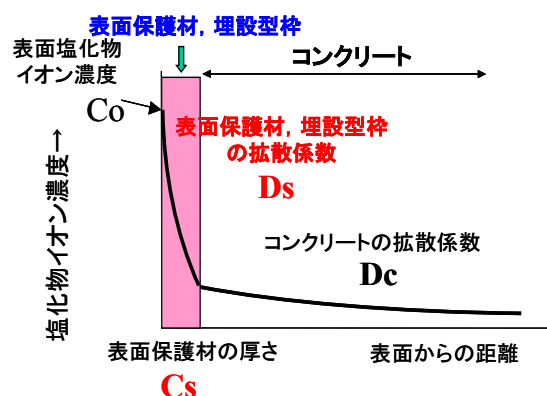


図 1 表面保護工、埋設型枠を用いた場合の塩化物イオンの浸透量分布

$$C(x, t) = \gamma cl Co \left(1 - \operatorname{erf} \left(\frac{0.1}{2\sqrt{t}} \left(\frac{Cc}{\sqrt{Dc}} + \frac{Cs}{\sqrt{Ds}} \right) \right) \right)$$

$C(x, t)$: 距離 x における塩化物イオン濃度 (kg/m³)
 Co : コンクリート表面における塩化物イオン濃度 (kg/m³)
 Cc : コンクリート部分の厚さ (mm)
 Cs : 表面保護材, 埋設型枠の厚さ (mm)
 Dc : コンクリートの見掛けの拡散係数 (cm²/年)
 Ds : 表面保護材, 埋設型枠の見掛けの拡散係数 (cm²/年)
 t : 経過年数 (年)
 γcl : ばらつきを考慮した安全係数 (=1.3)

表 1 表面保護工法や埋設型枠工法の種類

	表面保護工法、埋設型枠工法の種類	厚さ (mm)	塩化物イオンの拡散係数 (cm ² /年)
A	無対策	コンクリート(W/C:50%)	—
B	表面被覆材	エポキシ樹脂	0.45
C	表面含浸材	アルキルアルコキシシラン	含浸
D	薄型埋設型枠	樹脂なし	14
E	型枠	樹脂あり	15

キーワード 表面保護工、表面被覆材、表面含浸材、埋設型枠、塩化物イオン、LCC

連絡先 〒204-8558 東京都清瀬市下清戸 4 丁目 640 (株) 大林組技術研究所 土木材料研究室 TEL 0424-95-0937

また、コストは表-2に示す値を用いた。初期コストは対策を行わない場合に対する 1m^2 当たりのコストの増分を示し、補修コストは1回の補修にかかる 1m^2 当たりのコストを示す。

3. 検討結果および考察

建設後、鉄筋腐食が開始するまで年数を図-2に示す。対策を行わない場合は12年、エポキシ樹脂では20年、シラン系含浸材では19年、埋設型枠（樹脂なし）では23年で鉄筋腐食が開始すると予測される。樹脂を含む埋設型枠を用いた場合は100年後も鉄筋腐食が開始する塩化物イオン量は侵入しない。

また、腐食開始塩化物イオン量に達した時点で補修を行うとした場合の100年間の補修回数を図-3に示す。対策を行わない場合は7回、シラン系含浸材では5回、エポキシ樹脂および埋設型枠（樹脂なし）で3回の補修が必要と予測される。このように適用する工法によって、鉄筋腐食が開始する年数や耐用期間内における補修回数が異なり、どの工法を選定するかによって維持管理計画は異なってくる。

上記の結果を基に100年間のLCCを試算した結果を図-4に示す。ここでのLCCは、初期に対策を施さなかった場合の初期建設費に対する増分で表した。

各工法のLCCは、対策を施さなかった場合に対して、エポキシ樹脂では約30%の減少、シラン系含浸材では約10%の減少、埋設型枠（樹脂なし）では約20%の減少となった。埋設型枠（樹脂あり）では、100年の間に補修を行わなくてよいために、補修コストは発生せずLCCは極端に少なくなった。LCCは環境条件や施工条件その他の要因により変動ため、ここで示す値は、ある条件における試算の一例である。

4. まとめ

有機系表面被覆材では紫外線による劣化や剥離、シラン系含浸材では成分の溶出や変質による性能低下、埋設型枠では長期的な一体性など十分に把握されていない点もあるが、表面保護材や埋設型枠の見掛けの拡散係数が正確に求められれば、塩化物イオン侵入量の予測に基づいた維持管理計画の策定やLCC評価を行うことが可能となり、初期建設時の工法の選定に役立てることができると考える。

参考文献

- 1) 土木学会コンクリートライブラリー119 表面保護工法設計施工指針（案）、2005

表-2 初期コストと補修コスト

	表面保護工法、埋設型枠工法の種類	初期コスト (Unit/ m^2)	補修コスト (Unit/ m^2)
A	無対策(W/C:50%コンクリート)	(0)	450
B	表面被覆材	150	600
C	表面含浸材	50	500
D	薄型埋設型枠(樹脂なし)	200	700
E	薄型埋設型枠(樹脂あり)	250	750

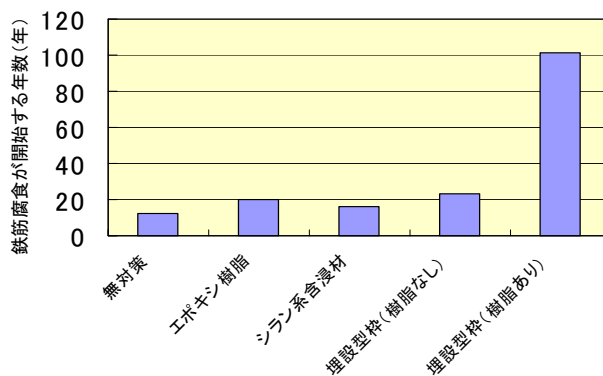


図-2 鉄筋腐食が開始するまでの期間

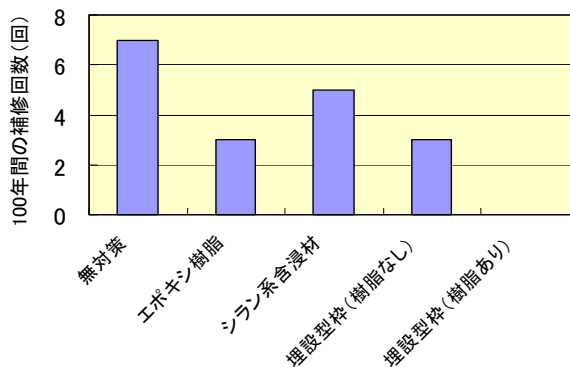


図-3 100年間の補修回数

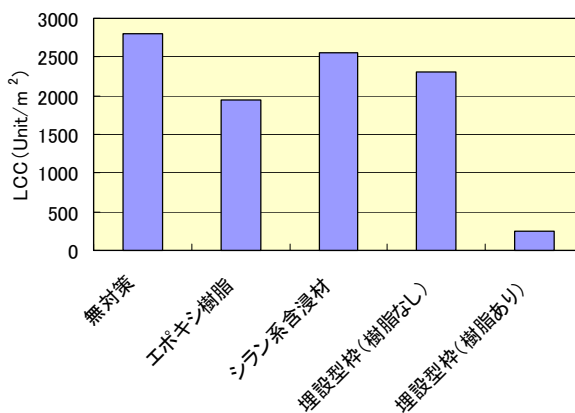


図-4 100年間のLCC
(無対策の初期建設費からの増分)