

海洋環境下に 10 年間暴露した補修試験体の塩化物イオンの浸透および拡散に関する研究

オリエンタル白石(株) 正会員 ○二井谷教治
(株)大林組 正会員 石関 嘉一

東急建設(株) 正会員 伊藤 正憲
(株)熊谷組 松田 敏
東京大学生産技術研究所 正会員 酒井 雄也

1. 目的

塩害により劣化した鉄筋コンクリート構造物を補修した後、比較的早期に再劣化する事例が増えてきている。著者らは、再劣化メカニズムの解明と適切な延命化や経済的に優れる補修方法の提案を目的として各種の実験的検討を実施している。これらの検討には、内在および外来塩分の浸透および拡散の把握が重要である。本稿は、塩害を受けた鉄筋コンクリートの部分断面修復を模擬し、海洋環境に 10 年間暴露した試験体内部の塩分分布状況を調査した結果をもとに、内在および外来塩分の浸透拡散について検討を行うものである。

2. 実験概要

試験体は、道路橋床版を想定したもので、図-1 に示すように 150×150×530mm の寸法とし、鉄筋 D19 を 2 本配置した。補修部の範囲および深さにより 6 タイプ(A～F)作製したが、ここでは B タイプの例を示す。補修部には、断面修復材としてポリマーセメントモルタルを使用した。さらに、補修条件に応じて、柔軟形エポキシ樹脂系の表面被覆材を塗布した。コンクリートに残存する塩化物イオンの影響を評価するために、コンクリートに混入する塩化物イオン量を 3 水準(0, 2.4, 4.8kg/m³) 設定した。表-1 に本稿で取り上げる試験体の補修条件を示す。上面の被覆材の有無は、床版上面の防水の有無を模擬したものである。試験体の記号は、初期塩化物イオン量の水準－試験体タイプ－上面被覆の有無を示している。海洋暴露は、静岡県伊豆半島東海岸の暴露場において実施した。この暴露場は波打ち際に設置されており、常時海水飛沫を受ける極めて厳しい塩害環境である。

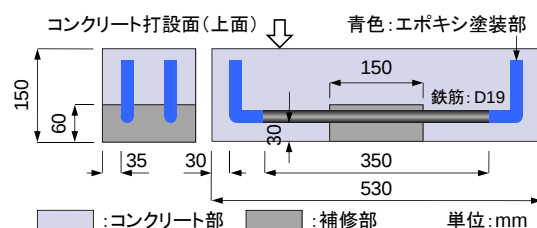


図-1 試験体の形状寸法の例 (B タイプ)

表-1 試験体の種類と補修条件

記号*	断面修復		初期Cl ⁻ 量 (kg/m ³)	表面被覆
	範囲	深さ		
1-A-無	全面	鉄筋裏	0	上面なし
2-A-無			2.4	
2-B-無	部分			全面あり
2-B-有				
3-B-有			4.8	
1-E-無	補修なし		0	上面なし

* : 塩化物イオン量の水準－試験体タイプ－上面被覆の有無

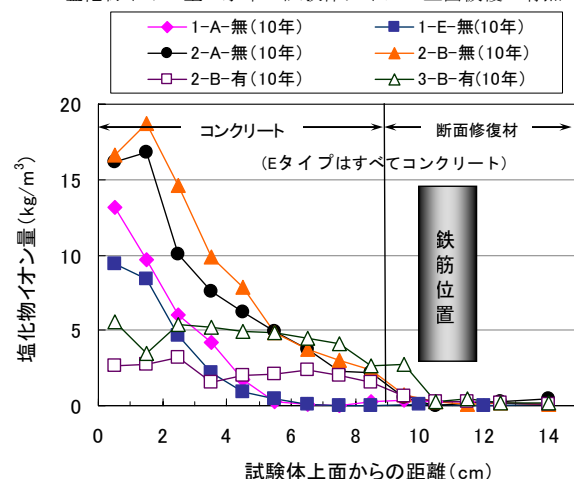


図-2 塩化物イオン量測定結果

3. 実験結果および考察

3.1 塩化物イオン含有量

JCI-SC5 で定める塩分分析方法に従って、試験体内部に含まれる全塩分量を測定した。図-2 に測定結果を示す。上面に表面被覆がない試験体では、コンクリート上面からの塩化物イオンの浸透が見られる。コンクリートの初期塩化物イオン量が 0kg/m³ の試験体から判断すると、暴露開始から 10 年間で外部から侵入した塩化物イオンは、上面から 60mm 程度まで達していることがわかる。上面に被覆があり、コンクリートに初期内在塩分を混入した試験体である 2-B-有および 3-B-有では、コンクリートと断面修復材との境界部において、コンクリート側の塩化物イオン量の低下と断面修復材側の塩化物イオン量の増加が認められ、内部拡散による材料間での塩化物イオンの移動が確認された。

キーワード 塩害, 補修, 海洋暴露, 再劣化, みかけの拡散係数

連絡先 〒321-4367 栃木県真岡市鬼怒ヶ丘 5 オリエンタル建設(株)技術研究所 TEL:0285-83-7921

3.2 見かけの拡散係数および将来の分布予測

塩害環境にある構造物が、将来どの時期に劣化を開始するかを把握することは、維持管理上重要である。特に、鋼材の腐食発生時期を推定することが重要であり、この場合、表面塩化物イオン量および見かけの拡散係数が必要となる。そこで、暴露実験の結果を利用し、塩化物イオンの拡散式¹⁾を用いた外挿法により、表面塩化物イオン量および見かけの拡散係数の推定を試みた。表-2 に求めた値を示す。コンクリートに関する推定値は、土木学会¹⁾や国土交通省²⁾による設計値と比べて、ほぼ妥当な結果となった。また、断面修復材の見かけの拡散係数は、断面修復材側に表面被覆の施されていない試験体の暴露結果を利用して外挿法によって求めたもので、コンクリートの 1/10 程度であった。

次に、求めた推定値を用い、EFM による試験体内部の塩化物イオン分布の将来予測を行った。FEM は、Fick の拡散式に基づく 2 次元解析ソフトを使用した。FEM 解析による試験体内部の塩化物イオンの分布状況を図-3 に示す。同図は、1-B-無および 3-B-有試験体の例で、暴露開始後 1 年、3 年、10 年、30 年および 50 年の分布状況を推定したものである。暴露期間の経過とともに、内在および外来塩分の浸透拡散によって、塩化物イオンが断面修復材の内部にも移動し、鉄筋位置の塩化物イオン量が増加していくことが見てとれる。また、断面修復材の隅角部では、コンクリート中の塩化物イオンが、上面と側面の 2 面から浸透していくことが確認できる。FEM による予測は、塩化物イオンの浸透の量的な把握だけでなく、分布状況の把握にも有効であるといえる。

図-4 は、1-B-無および 3-B-有試験体の断面修復材中の鉄筋上面位置における塩化物イオン量の経時変化である。断面修復材に埋められた鉄筋でも、塩化物イオン量は、上面から侵入した塩化物イオンのみによって、暴露後 30 年程度で 2.4kg/m^3 に達すると予測される。また、上面からの塩分の侵入を抑制しても、内在塩分が 4.8kg/m^3 であれば、内部拡散のみによって、暴露後 30 年程度で 2.4kg/m^3 に達することが予測される。

4. まとめ

海洋暴露を行った試験体の分析結果から、外挿法によって求めた表面塩化物イオン量および見かけの拡散係数は、示方書などの予測値と比較して妥当な値であった。また、実験結果を利用した FEM 解析は、塩化物イオンの浸透に関して、量的な把握、分布状況の把握ならびに将来予測について有効である。なお、本研究は、東京大学生産技術研究所と以下の産学 19 団体との共同研究として行ったものである。芝浦工業大学、(株)IHI、BASF ポゾリス(株)、オリエンタル白石(株)、(株)熊谷組、佐藤工業(株)、ショーボンド建設(株)、住友大阪セメント(株)、太平洋マテリアル(株)、大日本塗料(株)、電気化学工業(株)、東急建設(株)、飛島建設(株)、西松建設(株)、日本化成(株)、(株)ブリヂストン、前田建設工業(株)、ニチエー吉田(株)、コニシ(株)

参考文献

- (社)土木学会：コンクリート標準示方書〔施工編〕，2002 年，pp24-28
- 国土交通省土木研究所ほか：ミニマムメンテナンス PC 橋の開発に関する共同研究報告書（Ⅲ），2001 年 3 月，pp44-47

表-2 見かけの拡散係数の推定値

	表面塩化物イオン量 (kg/m^3)	見かけの拡散係数 ($\text{cm}^2/\text{年}$)	
		コンクリート	断面修復材
暴露実験	13.8	1.03	0.105
土木学会	13.0	3.41	—
国土交通省	13.0	1.35	—

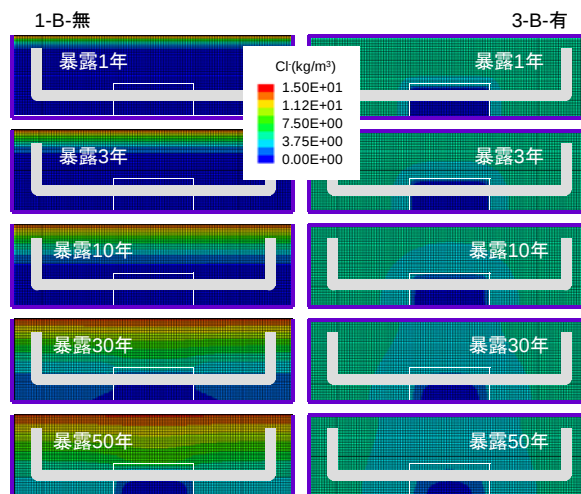


図-3 塩化物イオン分布の将来予測

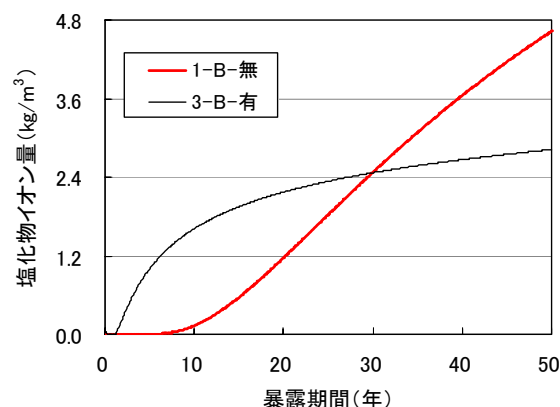


図-4 鉄筋上面の塩化物イオン量の経時変化