

補修を施した暴露試験体の塩分浸透および拡散に関する実験的検討

大日本塗料(株) 正会員 ○里 隆幸 オリエンタル建設(株) 正会員 二井谷教治
 (株)熊谷組 正会員 松田 敏 ショーボンド建設(株) 正会員 宇野 祐一
 電気化学工業(株) 正会員 荒木 昭俊 芝浦工業大学 F 会員 魚本 健人

1. はじめに

塩害により劣化し、補修を施した鉄筋コンクリート(RC)構造物が早期に再劣化する事例が増えており、これには不適切な補修方法の適用も一因であると考えられる。筆者らはこのような塩害による再劣化メカニズムの解明と適切な補修対策の提案を目的として各種の検討を実施している。本稿では海洋暴露実験開始から3年間経過した試験体内部の塩分の分析結果をもとに、外来および内在塩分の浸透および拡散による塩分の分布状況を評価検討した結果を報告する。なお、本研究は、東京大学生産技術研究所と民間16社の共同研究「劣化したコンクリート構造物の補修工法に関する研究」として平成14年度より5年間の計画で実施中のものである。

2. 実験概要

試験体は道路橋床版を想定したもので、図-1に示すように寸法150×150×530mmのコンクリートにD19鉄筋を2本配置した。補修部の範囲および深さにより6種類の形状の試験体(A~F)を作製したが、ここでは本稿に報告する3形状(A,B,E)のみを示した。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、補修条件に応じて柔軟形エポキシ樹脂系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、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に試験体の補修条件を示す。上面および下面の被覆材の有無は床版上下面の防水の有無を模擬したものである。なお、海洋暴露は静岡県伊豆半島東海岸の波打ち際に設置された、常時海水飛沫を受ける極めて厳しい塩害環境の暴露場で実施した。

3. 実験結果および考察

3.1 塩化物イオン含有量

図-2はJCI-SC4に準拠した分析方法による試験体の全塩分量の測定結果である。この結果から、断面修復のないE試験体において表面被覆材の有無で塩分の浸透状況に違いが認められた。即ち、全面被覆した場合(2-E-有)では塩化物イオンはほぼ均一な濃度で分布していることから、表面被覆は外来塩分の浸透を有効に阻止し、塩分の分布状況は試験体を作成した時から殆ど変化していないものと考えられる。これに対し、上面に被覆が無い場合(2-E-上無)では下面側では外来塩分の浸透を阻止しているものの、上面からの塩分の浸透は著しく、初期塩化物イオン量(2.4kg/m³)を考慮すると外来塩分は下面から50mm程度まで浸透しているようである。また、上下面に被覆が無い場合(2-E-上下無)では双方から塩分の浸透が認められ、特にかぶり側である下面では鉄筋腐食に起因するコンクリートのひび割れ発生により、上面よりも塩分の浸透が著しかった。この結果は道路橋床版のような構造物において、断面修復補修後の再劣化を防止するためには断面修復部分に表面被覆を適用するだけでなく、床板上部からの塩分の浸

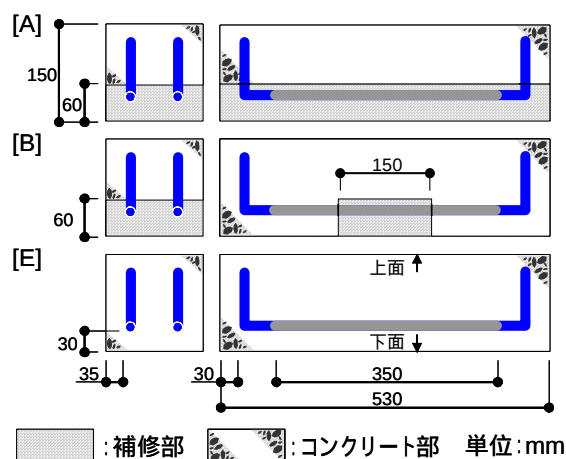


図-1 試験体の形状と寸法

表-1 試験体の補修条件

記号＊	補修部		初期Cl ⁻ 量 (kg/m ³)	表面被覆
	範囲	深さ		
2-A-上下無	全面	鉄筋裏	2.4	上下面無し
2-B-上下無	部分			
2-E-上下無	補修無し			
2-E-上無				
2-E-有				
				上面無し
				全面塗布

*: 塩化物イオン量の水準・試験体形状・表面被覆方法

キーワード

塩害, 補修, 断面修復, 海洋暴露, 再劣化, みかけの拡散係数

連絡先

〒324-0036 栃木県大田原市下石上1382-12 大日本塗料(株)構造物塗料事業部 TEL:0287-29-1917

透を防止するための適切な防水工が必要であることを示唆している。一方、断面修復を施した場合(2-A-上下無および2-B-上下無)では形状の違い(AおよびB)に拘わらず、コンクリートと断面修復との境界部において塩化物イオンのコンクリート側での低下と断面修復材側での増加が認められ、内部拡散による塩化物イオンの移動が確認された。また、外部からの断面修復材への塩化物イオンの浸透が顕著であり、母材コンクリートから断面修復材への移動に比べて大きかった。ただし、3年程度の暴露期間では何れの場合も断面修復材中の鉄筋位置での塩化物イオンの増加は認められなかった。

3.2 見かけの拡散係数および将来の分布予測

構造物の劣化の開始時期を把握することは維持管理上重要であるが、塩害の場合、鋼材位置での塩化物イオン量を予測し、鋼材の腐食発生時期を推定することになる。そこで、暴露実験の結果から、土木学会による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コンクリートの見かけの拡散係数を推定し、表-2にその値を示した。その結果、これらの推定値は土木学会¹⁾および国土交通省²⁾による予測値と比べて妥当な結果となった。

次に、この推定値を用いて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、断面修復材の見かけの拡散係数はコンクリートの1/10と仮定した。図-3に解析による塩化物イオンの分布状況を示した。暴露10年後には初期および上下面から浸入する塩化物イオンの拡散によって、かなりの量の塩化物イオンが断面修復材の内部にも浸透拡散し、鉄筋位置近傍の量も高くなると予測される。また、母材コンクリートと断面修復材との比較で塩化物イオンの浸透拡散速度の違いが明確である。

図-4は2.4-D-無試験体の暴露3年における塩化物イオンの分布について、FEM解析結果と試験体から採取した試料のEPMA(電子線マイクロアナライザー)による面分析結果とを比較したものである。両者はコンクリートと断面修復材との境界の隅角部に着目したもので、EPMAの画像はFEM画像の白丸部分を拡大したものである。なお、Dタイプ試験体はBタイプ試験体の補修部深さを20mm小さくしたものである。両者には良好な相関性が見られ、隅角部における2面からの塩化物イオンの浸透拡散現象が良く再現されており、FEMは塩化物イオン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ことを確認した。

参考文献

1) (社)土木学会：コンクリート標準示方書〔施工編〕，2002年，pp24-28

2) 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()，2001年3月，pp44-47

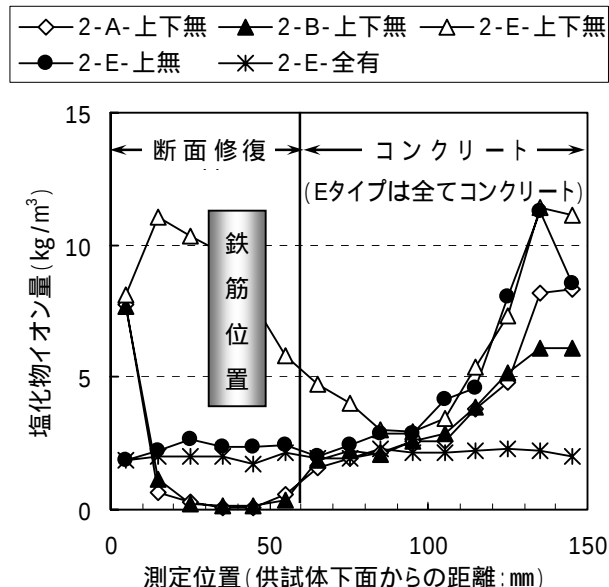


図-2 3年暴露後の塩化物イオン測定結果

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 (cm ² /年)	
		コンクリート	断面修復材
暴露実験	12.5	1.26	0.105
土木学会	13.0	3.41	-
国土交通省	13.0	1.35	-

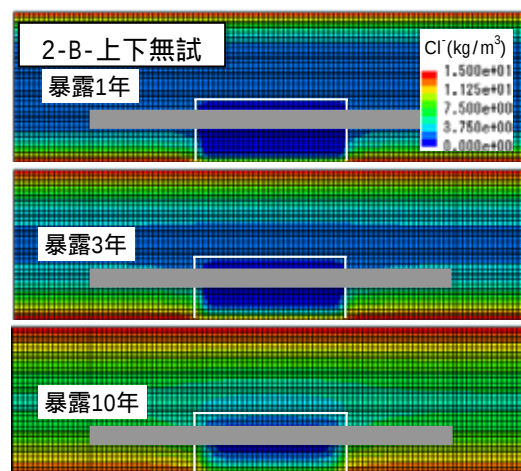


図-3 塩化物イオンの分布の将来予測

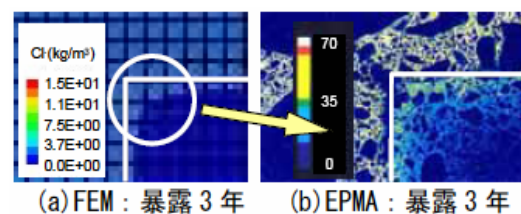


図-4 隅角部における分布状況(2.4-D-無)