

補修を施した暴露試験体における塩化物イオンの浸透および拡散に関する研究

オリエンタル建設(株) 正会員 ○二井谷教治
(株)熊谷組 正会員 松田 敏

大日本塗料(株) 正会員 里 隆幸
東京大学生産技術研究所 正会員 岸 利治
東京大学生産技術研究所 F 会員 魚本 健人

1. はじめに

塩害により劣化した鉄筋コンクリート（RC）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いる．これは，相当量の塩化物イオンがコンクリート内部に侵入しているにもかかわらず，部分的な断面修復によって補修が行われていることが大きく関わっていると考えられる．筆者らは，RC 構造物の適切な延命化や経済的に優れる補修方法を合理的に選定するために不可欠な，再劣化のメカニズムを明らかにすることを目的として，各種検討を行っている．本報告は，海洋暴露した試験体内部の3年目までの塩分の分布状況を調査した結果をもとに，外来および内在塩分の浸透および拡散について検討したものである．

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タイプの例のみを示す．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(0, 2.4, 4.8kg/m³) - 試験体形状(A～F) - 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．

3. 実験結果および考察

3.1 塩化物イオン含有量

JCI-SC4 で定める塩分の分析方法に従って，暴露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．図に示した試験体の全ては，上面に表面被覆がないため，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の試験体では，外部から侵入した塩化物イオンが，暴露開始から1年後で既に上面から50mm程度まで達していることがわかる．暴露開始から3年後では，上面からの浸透深さは

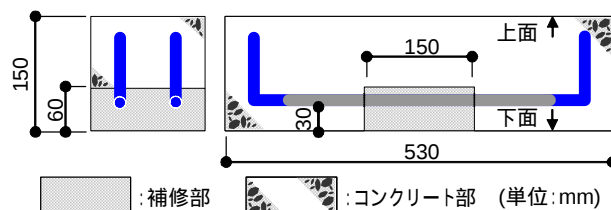


図-1 暴露試験体の形状寸法の例（Bタイプ）

表-1 試験体の種類と補修条件

記号*	補修部		初期Cl量 (kg/cm ³)	表面被覆
	範囲	深さ		
0-A-無	全面	鉄筋裏	0	上面無し
0-B-無	部分			
2.4-A-無	全面			
2.4-B-無	部分			

*: 塩化物イオン量 - 試験体タイプ - 上面被覆の有無

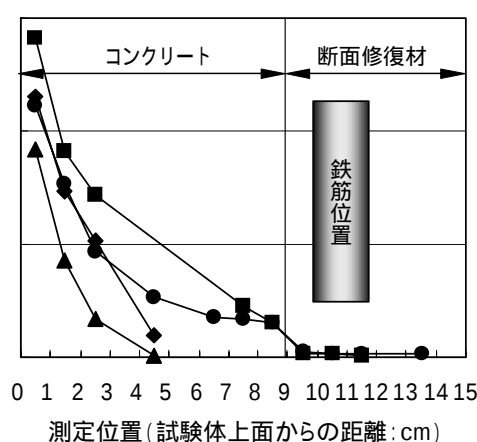
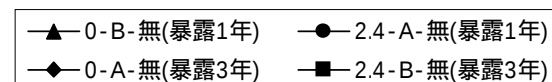


図-2 塩化物イオン量測定結果

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

大きくは変化していないものの、浸透した塩化物イオンの総量は確実に増加している。補修部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 2.4-A-無および 2.4-B-無では、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。

3.2 見かけの拡散係数および将来の分布予測

塩害を受ける構造物が、将来どのような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。一般に、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が基本となる。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、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の推定を試みた。表-2 に求めた値を示す。表面塩化物イオン量および見かけの拡散係数の推定値は、土木学会¹⁾および国土交通省²⁾による予測値と比べてほぼ妥当な結果となった。

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、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。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、2.4-B-無試験体の例で、暴露開始後 1 年、3 年および 10 年の分布状況を推定したものである。暴露開始 10 年後には、外来および内在塩分の浸透拡散によって、かなりの量の塩化物イオンが断面修復材の内部にも移動し、鋼材位置の塩化物イオン量もかなり高くなることが予測される。

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。これらの画像は、コンクリートと断面修復部との境界の隅角部に着目したもので、EPMA の画像は FEM による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。両者にはよい相関関係が見られ、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よく再現されている。FEM 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。

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 年より 5 年間の計画で実施しているものである。

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

表-2 見かけの拡散係数の推定値

供試体	暴露期間	表面塩化物イオン量 (kg/m ³)			見かけの拡散係数 (cm ² /年)		
		実験	土木学会	国土交通省	実験	土木学会	国土交通省
1-B-無	1年	11.5	13.0	13.0	1.4	3.41	1.35
2-A-無	1年	11.3			2.0		
1-A-無	3年	13.2			1.2		
2-B-無	3年	12.1			1.3		
平均		12.0			1.5		

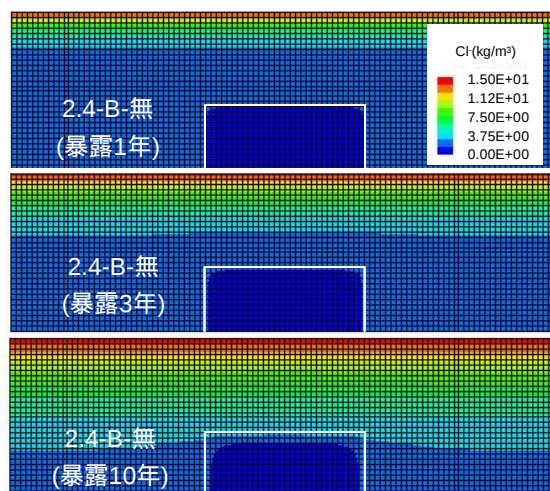
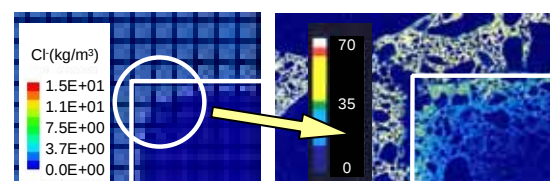


図-3 塩化物イオン分布の将来予測



(a)FEM：暴露 3 年 (b)EPMA：暴露 3 年

図-4 隅角部における分布状況(2.4-D-無)