

RC 梁供試体の鉄筋腐食促進試験における塩分浸透モニタリング

日本工営（株） 正会員 ○末崎将司 松山公年
前田建設工業（株） 正会員 米田大樹 小原孝之

1. はじめに

コンクリート構造物の塩害は、飛来塩分や凍結防止剤から供給される塩分等により生じる劣化現象である。塩害の対策手法や適用時期を見極め、補修効果を定量的に評価するために、効果的なモニタリング技術の開発が求められている中、本研究では、加速期及び劣化期に至る塩分浸透や鉄筋腐食の状況を捕捉することを目的とし、塩水浸漬や腐食促進試験を実施し、複数のモニタリング技術の適用性について確認した。

2. 実験概要

2.1 塩水浸漬・電食試験

塩害による劣化促進を模擬するため、RC 梁供試体を塩水槽に40日間浸漬させた後、電食試験を行った。供試体下面に銅電極を配し、塩水槽に浸漬させた上で、供試体の主鉄筋に直流電流を加電する方法とした。

2.3 供試体と実験ケース

供試体の概要と電食試験の概要を図-1に示す。塩分浸透モニタリングのため、供試体には「腐食センサー」及び「エクспанションリング」(図-2)を浸漬面側から後施工した。塩害の潜伏期・進展期における塩分浸透をモニタリングする実験ケースとして、浸漬する塩水濃度(3%, 15%)をパラメータとした2ケースの浸漬供試体について考察する。電食供試体は、加速期以降に該当するため、対象外とする。

2.4 計測機器について

「腐食センサー」は、細い鉄線が腐食によって切断することを鉄線両端に生じる電位差によって検知する。電圧測定という簡単な操作で塩分浸透状況をモニタリングできる。本実験では、鉄線両端の電圧測定に加えて抵抗値を計測した。

「エクспанションリング」は、近傍に設置する楔型カソード(陰極)とエクспанションリング(陽極)の深さ方向に分割された電極(A1～A6)間の電流及び電圧(電位)を計測することで、塩分浸透を検知する。電極(A1～A6)毎に電位を計測するため、深さ方向における腐食開始時期と腐食状況を把握することが可能である。

3. 計測結果と数値解析結果

「腐食センサー」のモニタリング結果を図-3に示す。塩水濃度3%の浸漬供試体は、モニタリング最終日まで抵抗値に大きな変化が生じなかった。塩水濃度15%の浸漬供試体は、浸漬面からの深さ5mmのセンサーからコンクリート内部に向かって順番に抵抗値が急増しており、コンクリート内部への塩分浸透を検知したと考えられる。図-4に浸漬中に2回実施したEPMAのコンター図を示す。EPMAの実施時期は図-3に示した。

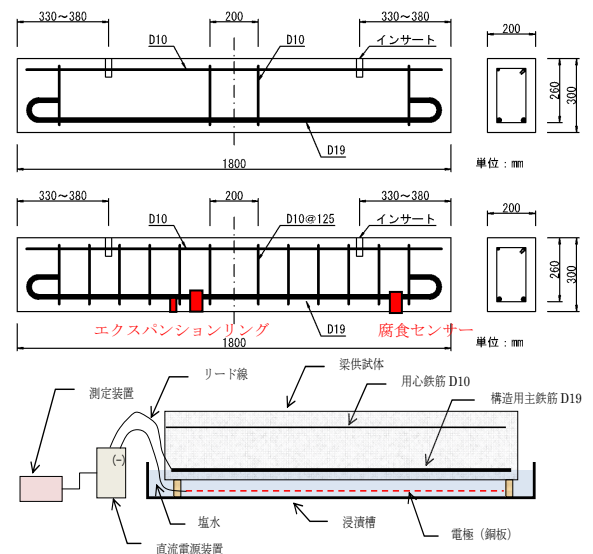


図-1 実験供試体と塩水浸漬・電食試験の概要

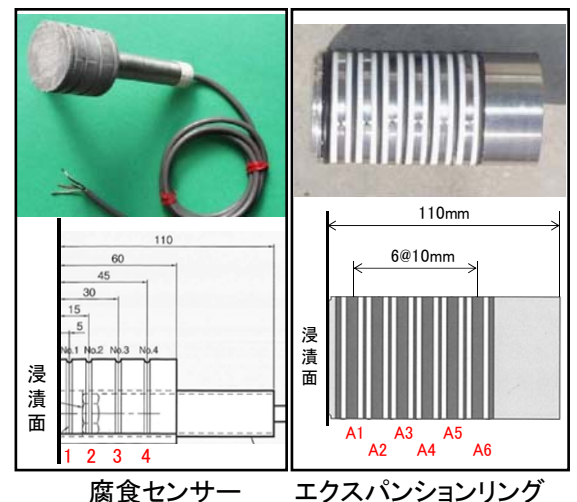


図-2 センサー概要

キーワード 塩害, モニタリング, 腐食センサー, エクспанションリング

連絡先 〒102-8539 東京都千代田区九段北 1-14-6 日本工営（株） TEL03-3238-8347

塩水 3% 供試体の EPMA (2 回目) において、浸漬面から深さ 5mm~10mm 位置の塩分濃度は 1.0% 程度であるが、腐食センサーでは、これを検知できていない。「腐食センサー」の深さ 15mm の抵抗値に変化が見られた塩水 15% 供試体の EPMA (1 回目) において、塩分濃度は 2.0% 程度である。そのため、本実験で用いた「腐食センサー」は、塩分濃度 1.0%~2.0% の範囲に腐食環境下の検知限界があったと考えられる。

「エクспанションリング」のモニタリング結果を図-5 に示す。塩水 3% 供試体は、モニタリング最終日まで電位に変化が見られなかった。前述したように、塩水 3% 供試体の EPMA (2 回目) では、深さ 5mm~10mm 位置における塩分濃度が 1.0% 程度であり、これを検知できていない。塩水 15% 供試体は、深さ 10mm で初期段階から電位が低下し、コンクリート内部に向かって順番に電位が低下していく傾向が確認できた。ただし、深さ 50mm の電位は最終日まで低下せず、EPMA による塩分濃度は 0.7% 程度であった。「エクспанションリング」も「腐食センサー」と同様に、塩分濃度 1.0%~2.0% の範囲に検知限界が存在すると考えられる。

また、図-6 に DuCOM¹⁾ による浸透解析シミュレーションの結果と、EPMA と同時期に実施した電位差滴定法による全塩分量の測定結果とを比較した。試験結果は 230 日後には浸漬面近くの塩化物イオン量が 8.0kg/m^3 程度と大きな値となり、解析結果も 6.0kg/m^3 と同定度となったが、表面から 10 mm 程度以降は、試験結果と解析結果に大きな相違がみられる。これは、本実験は W/C:70% という乾燥収縮が非常に大きくなる条件であるのに対し、解析では乾燥収縮によるひび割れの影響を考慮していないためと思われる。浸漬前の供試体に関する解析結果では表面に 300μ 程度のひずみが発生しており、微細ひび割れが発生していた可能性が高かった。これらの結果を受け、今後は塩害モニタリングにおけるひび割れ等の力学的挙動と塩分浸透の連成解析の有効性について検討する。

4. まとめ

本研究では、コンクリート配合の調整や塩水に浸漬することにより塩害による劣化促進を模擬した。また、塩害を促進させた供試体に対して、塩分浸透のモニタリングを行うための計測器を後施工し、計測器ごとのモニタリング結果について分析した。その結果、浸漬面からの塩分浸透状況を定性的に捉えることができた。今後は、潜伏期・進展期（初期段階）における腐食環境の状態を捉えるため、実構造物を対象にしたモニタリング研究を実施予定である。

5. 謝辞

本研究は、モニタリングシステム技術研究組合 (RAIMS) が実施した研究であり、内閣府の「S I P インフラ維持管理・更新・マネジメント技術」の一環として国土交通省が実施する「社会インフラへのモニタリング技術の活用推進に関する技術研究開発」委託事業研究の成果である。

参考文献 1) Maekawa, K. Ishida, T. and Kishi, T. : Multi-Scale Modeling of Structural Concrete, Talor & Francis, 2009.

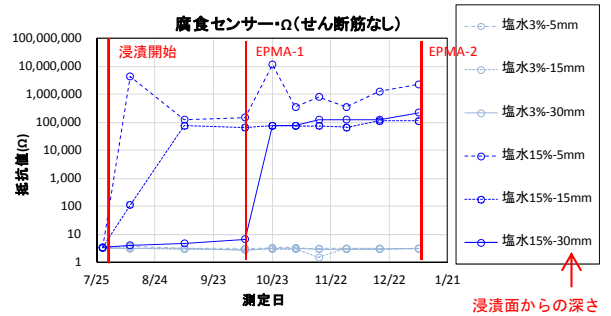


図-3 腐食センサーのモニタリング結果

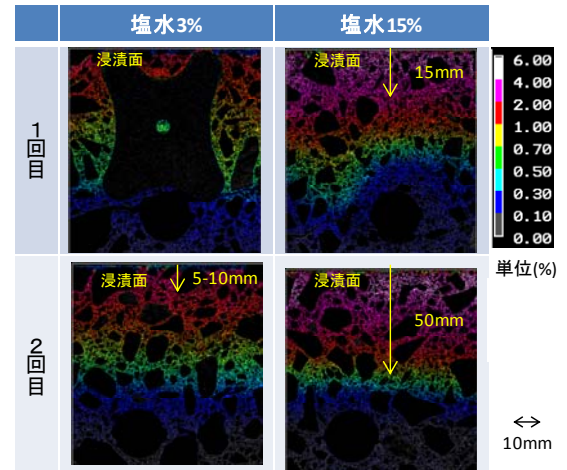


図-4 EPMA の結果

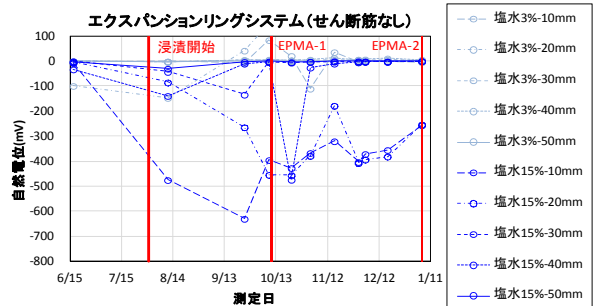


図-5 エクспанションリングのモニタリング結果

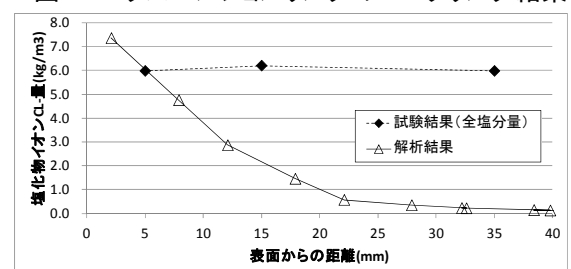


図-6 浸透解析結果と試験結果(230 日後)