

脱塩工法を適用したモルタル中における鉄筋の不動態皮膜の電気化学的評価に関する基礎的検討

東京工業大学 正会員 ○中山 一秀
 東京工業大学（現 中日本高速道路株式会社） 宮村 優希
 東京工業大学 大平 博斗
 東京工業大学 正会員 岩波 光保

1. 目的

電気化学的防食工法の一つである脱塩工法は、コンクリート表面に設置した仮設陽極システムとコンクリート中の鉄筋の間に直流電流を供給することで、コンクリート中の塩化物イオンをコンクリート外に抽出する工法である。加えて、通電処理に伴い鉄筋近傍のカソード反応によって水酸化物イオンが生成され pH 値が上昇することで、腐食環境の改善効果が期待できる。一方で、脱塩後コンクリートへの表面処理材の併用の有無や環境条件によっては、塩化物イオンがコンクリート中へ侵入し、再劣化が生じる可能性が指摘されている。このような脱塩後コンクリート中の鉄筋近傍における pH 値や塩化物イオン濃度の変化に伴い、脱塩後コンクリート中の鉄筋の腐食あるいは防食状態は変化すると考えられる。

そこで本研究では、脱塩後コンクリート中の鉄筋の不動態皮膜の状態を定量的に評価する手法として、自然電位や交流インピーダンスといった電気化学的測定手法の適用性について基礎的な検討を実施した。

2. 実験概要

本研究で作製したモルタル試験体は、図-1 に示すように、モルタル部分は $\phi 50 \text{ mm} \times 100 \text{ mm}$ とし、かぶり 10 mm となるように円形断面の中央部分に鉄筋 SGD400 D30 を 1 本配した。鉄筋の端部は、絶縁テープとエポキシ系樹脂で絶縁処理をした。モルタルの水セメント比は 40%、50%、60% の 3 種類とし、細

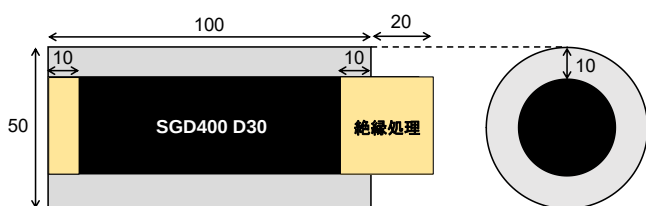


図-1 モルタル試験体の概要

骨材量は全て一定の値となるようにした。モルタル中には 2.5 kg/m^3 の Cl^- 量となるように NaCl を練混ぜ水に溶解して混入した。試験体は 14 日間の封緘養生後、電解液に 0.1 mol/L ホウ酸と飽和炭酸リチウムの混合溶液を用いて、モルタル表面あたり 1 A/m^2 の電流密度で 2 週間脱塩処理を実施した。脱塩処理は、電解液に浸漬した試験体に対して、モルタル表面の全面を覆うチタンメッシュ製の陽極材と鉄筋との間に直流電流を印加することで実施した。脱塩処理後は、鉄筋の自然電位を経時的に測定し、自然電位が十分貴化したことを確認した後、pH と塩化物イオン濃度を調整した水溶液への浸漬と 20°C 気中乾燥を 1 週間ごとに繰り返した。浸漬に用いた水溶液の pH 値は 13.0 または 13.5 となるように水酸化カルシウムと水酸化ナトリウムを純水に添加して調整した。また、塩化物イオンと水酸化物イオンのモル比が 2.0 となるように塩化ナトリウムを添加した。浸漬と乾燥の繰り返し期間中、自然電位および交流インピーダンスを経時的に測定した。照合電極には飽和塩化銀電極 (SSE) を、交流インピーダンス測定時の対極にはチタンメッシュを用いた。

また、脱塩後コンクリート中のような高 pH 環境下にある鉄の不動態皮膜の安定性を比較的迅速に評価するため、塩化物イオンと水酸化物イオンのモル比が 2.0、pH 値が 12 または 13 または 13.5 となる水溶液中に鉄筋 SGD400 D30 を浸漬させ、鉄筋のアノード分極試験を実施した。

3. モルタル試験体中の鉄筋の自然電位と交流インピーダンスの経時変化

試験体中の鉄筋の自然電位の推移を図-2 に示す。モルタルの水セメント比にかかわらず、脱塩直後はカソード分極の影響で -1100 mV 程度の電位を示して

キーワード 脱塩工法, 不動態皮膜, 交流インピーダンス, アノード分極曲線
 連絡先 〒152-8552 東京都目黒区大岡山 2-12-1 M1-21 TEL : 03-5734-3194

いる。その後 50 日程度乾燥環境下で保管したことにより、電位は-200mV 程度まで貴化しており、鉄筋近傍への酸素の供給に伴い不動態皮膜が再生されたものと考えられる。水溶液への浸漬と乾燥の繰り返し環境に移行した後は、浸漬時に電位が卑化し、乾燥時に電位が貴化する傾向が確認できる。これは、水溶液に浸漬したことで鉄筋近傍の溶存酸素濃度が比較的小さくなり貧酸素状態となったことが原因と推察される。したがって、本実験環境においては、自然電位の傾向から脱塩後の鉄筋の腐食発生を評価することは難しいと考えられる。そこで、交流インピーダンスの挙動から評価を試みた。水溶液浸漬前および浸漬と乾燥を 5 サイクル終えた試験体中の鉄筋の交流インピーダンスを図-3 に示す。脱塩後に自然電位が貴化した時点（浸漬前）においては、図-3 の半円の大きさで表されるインピーダンスは比較的大きな値を示しており、分極抵抗の高い不動態皮膜が生成されているものと考えられる。一方で、浸漬と乾燥の繰り返し後、インピーダンスは減少しており、鉄筋近傍への塩化物イオンの浸透に伴い不動態皮膜の腐食抵抗性が小さくなったものと考えられる。特に、水セメント比 60%のモルタル試験体を割裂し、鉄筋の外観を観察したところ、軽微な腐食が確認された。

4. 水溶液中の鉄筋のアノード分極曲線

塩化物イオンを含む高アルカリ水溶液中における鉄のアノード分極曲線を図-4 に示す。図-4 より、pH 値 13.0 および 13.5 の場合には、不動態保持電流が確認できる。このことから、塩化物イオンと水酸化物イオンのモル比が 2.0 となる水溶液中においては、pH 値 12.5~13.0 の範囲内で鉄の不動態皮膜の安定性が大きく変化する閾値があることが分かる。また、pH=13.5 の場合の方が若干大きな不動態保持電流を示している。以上のことから、脱塩後コンクリート中のような高 pH 環境下では、安定性の高い不動態皮膜が生成される可能性があると考えられる。

5. まとめ

塩化物イオンを含む水溶液中において、pH 値が 12.5~13.0 の範囲内で鉄の不動態皮膜の安定性が大きく変化する事が分かった。また、交流インピーダンスを用いて脱塩後コンクリート中の鉄筋の腐食抵抗性を評価できる可能性を示した。

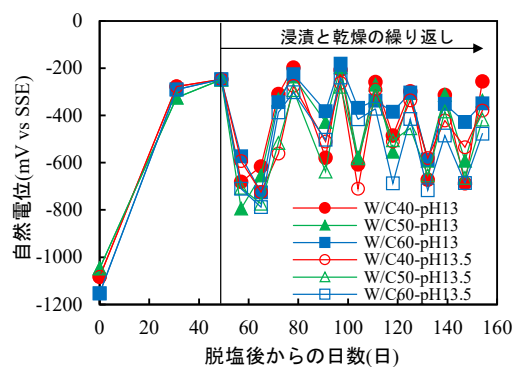


図-2 モルタル試験体中の鉄筋の自然電位の推移

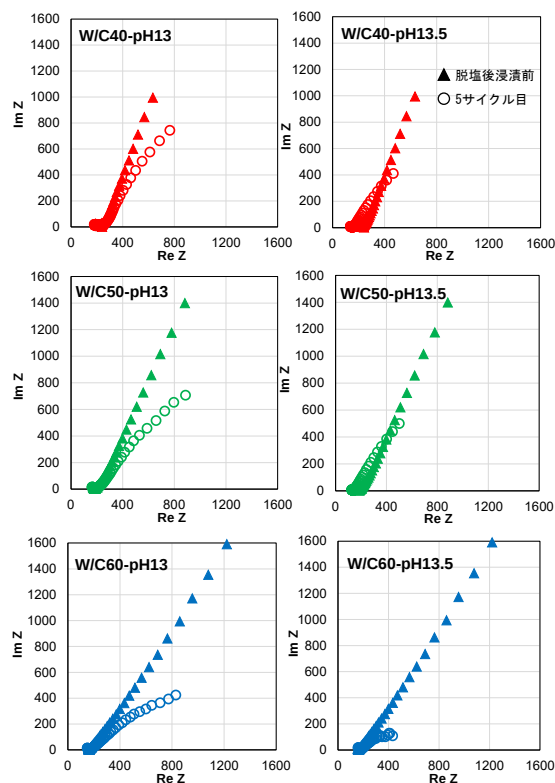


図-3 交流インピーダンスの推移

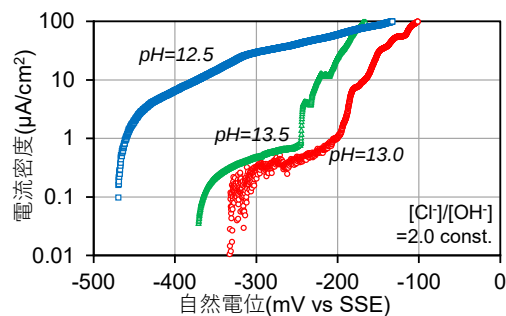


図-4 水溶液中の鉄筋のアノード分極曲線

謝辞

本研究の一部は、令和3年度土木学会吉田研究奨励賞の一環として実施したものである。

参考文献

- 1) 土木学会:コンクリートライブラリー第157号, 電気化学的防食工法指針, 2021.