

電気化学的再アルカリ化後に表面保護を適用した鉄筋コンクリートの補修効果に関する検討

徳島大学大学院 学生会員○中山一秀 徳島大学大学院 正会員 上田隆雄
デンカ(株) 正会員 七澤章 徳島大学大学院 正会員 塚越雅幸

1. はじめに

電気化学的防食工法の一つである再アルカリ化工法は、中性化によって劣化したコンクリート構造物の性能改善を図るものである。一方で、再アルカリ化工法適用後のコンクリート表面に、表面保護工法を適用することで外部からの炭酸ガス等の劣化因子を遮断することが出来れば、より長期的な補修効果が期待できる。しかし、通電後のコンクリートは高アルカリ性電解液の電気化学的浸透や鉄筋近傍のカソード反応による OH⁻の生成などの影響で、陽極システムの撤去後に一般的な表面保護工法を適用しても、十分な性能が得られない場合があることが指摘されている。そこで本研究では、再アルカリ化工法を適用した鉄筋コンクリート供試体に対して、24 ヶ月間の促進中性化を行い、定期的に電気化学的モニタリングを行うことで、通電後の保護材の耐久性及びコンクリート中の鉄筋防食効果持続性について検討した。

2. 実験概要

本実験で用いたコンクリートの水セメント比(W/C)は 60%とし、コンクリート中には発錆限界濃度程度の 2.0 kg/m³ の Cl⁻ 量となるように NaCl を練混ぜ水に溶解して混入した。本研究で作製した鉄筋コンクリート供試体のコンクリート部分は 100×100×250mm とし、正方形断面の中央部分に鉄筋 D13 SD295A を配した。供試体は 28 日間の封緘養生後、電解液に 1.5N の K₂CO₃ 溶液を用い 1A/m² で 2 週間の再アルカリ化処理を行った。通電面は、側面 1 面とし、通電面以外をエポキシ樹脂で絶縁塗装した。通電終了後、表面含水率が 8%程度となった時点で、表-1 に示す 3 種類の表面保護を施工し、保護を行わない供試体も別途設けた。表面保護施工後、供試体を促進中性化環境 (20℃, 60%R.H., CO₂ 濃度 5%) で保管しながら、電気化学的鉄筋腐食指標 (自然電位、分極抵抗、コンクリート抵抗) の経時変化を測定した。また、再アルカリ化直後および 24 ヶ月間の促進中性化後、コンクリート中の各種イオン (Cl⁻, Na⁺, K⁺) 濃度分布及び pH 分布を測定し、表面保護材に対しては建研式接着強度試験および透水量試験を実施した。

表-1 表面保護工の内訳

種類	材料構成	塗布量(g/m ²)
有機系	耐湿潤性エポキシ樹脂	800
無機系	アクリル樹脂系ポリマーセメントモルタル	プライマー (200) 中塗り (1600)
含浸系	シラン・シロキサン系高性能浸透性吸水防止材	200

3. 24 ヶ月間の促進中性化を行った再アルカリ化供試体中の R₂O 分布と保護材の耐久性

24 ヶ月間の促進中性化を行った再アルカリ化供試体中の R₂O 分布を図-1 に示す。また、比較のために通電直後の分布も示している。なお R₂O 量は、コンクリート中の Na⁺ 濃度および K⁺ 濃度の測定値を用いて、式 (1) により求めた。

$$R_2O = Na_2O + 0.658K_2O (kg / m^3) \quad (1)$$

再アルカリ化直後は、電解液中の K⁺ がコンクリート中に電気浸透したことにより、コンクリート表面付近に高濃度のアルカリ金属イオンが集積していることが分かる。24 ヶ月間の促進中性化試験を行った通電供試体に関して、エポキシ樹脂を塗布した供試体中のアルカリ金属イオンは、他の供試体に比べコンク

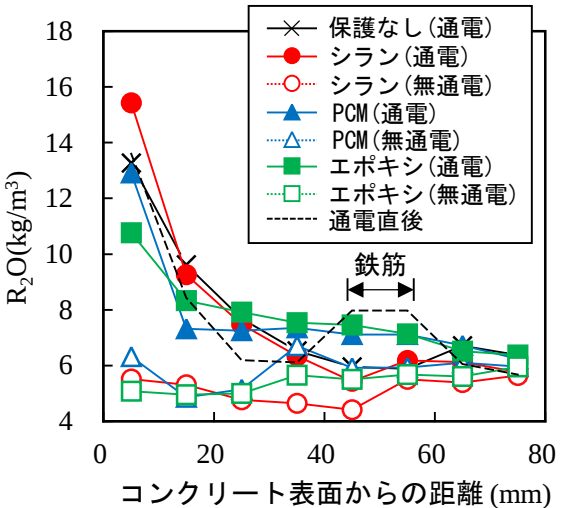


図-1 24ヶ月間の促進中性化を行った再アルカリ化供試体中のR₂O分布

リート内部へ拡散していることが分かる。これは、エポキシ樹脂の塗布により促進期間におけるコンクリート内部の乾燥が抑制されたことが原因と考えられる。

24ヶ月間の促進中性化を行った再アルカリ化供試体の保護材の付着強度および遮水率を図-2に示す。なお遮水率は、式(2)により求めた。

遮水率(%) =

$$\frac{\text{保護なし供試体の透水量(ml)} - \text{各供試体の透水量(ml)}}{\text{保護なし供試体の透水量(ml)}} \times 100 \quad (2)$$

図-2より、通電供試体の付着強度は、無通電供試体に比べ、ポリマーセメントモルタル(PCM)で約50%、エポキシ樹脂で約36%低下しているが、一般的な保護材の付着強度の基準値である1.0N/mm²は満足している。また、遮水率に関しては、PCMおよびエポキシ樹脂では通電の有無による差は見られない。しかし、シラン系含浸材においては無通電供試体に比べ通電供試体の遮水率が20%程度小さくなっている。このような再アルカリ化後に適用した保護材の耐久性低下は、図-1に示したようなコンクリート表面付近の高濃度のアルカリ金属イオンにより保護材の加水分解や撥水層の形成が阻害されたことが原因と考えられる。

4. 24ヶ月間の促進中性化を行った再アルカリ化供試体中の鉄筋防食効果

24ヶ月間の促進中性化を行った供試体の自然電位の経時変化を図-3に示す。ACST C 876の腐食判定基準によると、通電の有無に関わらず保護なしおよびシラン含浸供試体の自然電位は、約20ヶ月間の促進中性化期間を経て、鉄筋腐食領域を示しており、シラン系含浸材による中性化抑制効果は期待できないものと考えられる。一方、エポキシ樹脂およびPCM塗布供試体の値は、通電供試体においても促進期間中、非腐食領域を保持している。また、これらの供試体の中性化深さを測定した結果を表-2に示す。シラン含浸供試体は、通電の有無に関わらず、通電保護なし供試体と同程度の中性化深さを示しており、自然電位の結果と整合している。一方、PCM塗布供試体においては、無通電に比べて通電供試体の方が約3mm大きな値を示しており、再アルカリ化によって炭酸ガス浸入抑制効果が低下したことが考えられる。エポキシ樹脂に関しては、通電の有無に関わらず高い中性化抑制効果が得られた。

24ヶ月間の促進中性化を行った再アルカリ化供試体の全Cl⁻濃度を図-4に示す。中性化の進行が確認された保護なしおよびシラン含浸供試体では、中性化領域にあたる約30mm位置までのCl⁻量が減少し、中性化フロント以降の約30~50mm位置のCl⁻量が増加するといった中性化に伴うCl⁻の濃縮現象が確認でき、鉄筋腐食が促進されたものと考えられる。

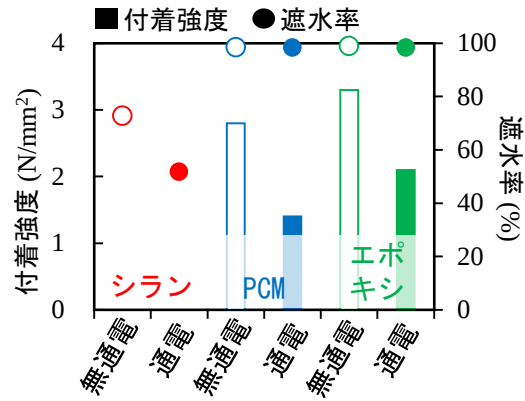


図-2 24ヶ月間の促進中性化を行った保護材の付着強度および遮水率

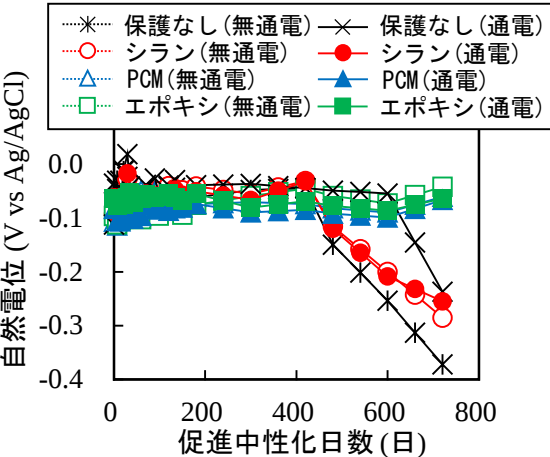


図-3 24ヶ月間の促進中性化を行った供試体の自然電位の経時変化

表-2 24ヶ月間の促進中性化を行った供試体の中性化深さ

供試体名	中性化深さ(mm)
保護なし(通電)	37.3
シラン(無通電)	34.1
シラン(通電)	35.6
PCM(無通電)	0.9
PCM(通電)	3.9
エポキシ(無通電)	0.0
エポキシ(通電)	0.0

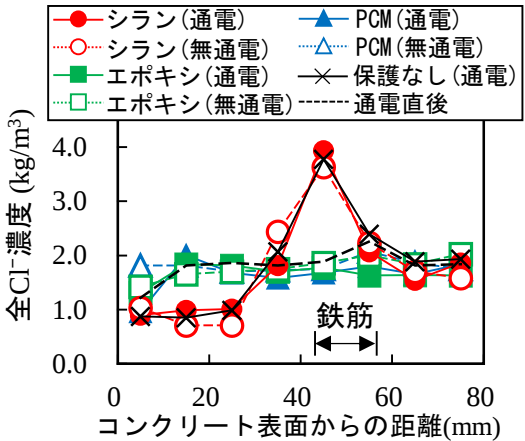


図-4 24ヶ月間の促進中性化を行った供試体中の全Cl⁻濃度