

表面保護の適用が電気化学的防食効果に与える影響

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
 電気化学工業 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である再アルカリ化工法や脱塩工法は、中性化や塩害によって劣化した RC 構造物に対する補修工法として注目されている。また、外部からの劣化因子を遮断し、より長期的な補修効果を得るために、通電終了後に表面保護工法を併用する場合がある。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、比較的早期に膨れや剥がれといった保護材の変状が生じることが指摘されている。そこで本研究では、再アルカリ化又は脱塩後表面保護を適用した鉄筋コンクリート供試体に対して、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. 実験方法

本実験で用いたコンクリートの配合を表-1 に示す。コンクリートの W/C は 60%とし、再アルカリ化工法を適用するコンクリート中には、発錆限界濃度程度の 2.0 kg/m³、脱塩工法を適用するコンクリート中には厳しい鉄筋腐食環境を想定し 8.0 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。本研究で作製した供試体は正方形断面の中央部分に鉄筋 D13 SD295A を配した 100×100×250 mm の鉄筋コンクリート供試体とした。これらの供試体は 28 日間の封緘養生後、電解液に 1.5 N の K₂CO₃ 溶液を用い 1 A/m² で 2 週間、再アルカリ化処理を、電解液に 0.1 N の Li₂BO₃ 溶液を用い 1 A/m² で 8 週間、脱塩処理を行った。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。また、通電終了後、コンクリート中の各種イオン (Cl⁻,Na⁺,K⁺) 濃度分布及び pH 分布を測定した。表面保護施工後、再アルカリ化供試体は促進中性化試験 (20℃, 60%R.H., CO₂ 濃度 5%環境) を 10 ヶ月間、脱塩供試体は塩水噴霧試験 (35℃環境下で 5% NaCl 溶液を噴霧 21hr と乾燥 3hr の繰返し) を 9 ヶ月間実施した。促進中は、保護面裏面に設けた測定窓より定期的に電気化学的モニタリング(自然電位, コンクリート抵抗)を行った。また、含浸材を塗布した供試体については、接触角の測定により撥水作用の経時変化を観察し、保護面から測定したコンクリート抵抗と比較した。

3. 通電後コンクリート中のアルカリ分布

通電終了後のコンクリート中における総アルカリ量である R₂O 分布及び pH 分布を図-1 に示す。ここで、R₂O 量はコンクリート中の Na⁺濃度及び K⁺濃度の測定値より算出した。

図-1 より、脱塩供試体は全体的に高い pH 値を示し、特に鉄筋近傍の pH 値が最も大きくなっている。これは、コンクリート中に存在していた Na⁺が電気泳動で陰極である鉄筋近傍に集積したためと考えられる。一方、再アルカリ化供試体は、コンクリート表面で最も高い pH を示しているが、これは再アルカリ化に伴う K⁺の電気浸透によるものと考えられる。通電後に施工する表面保護材の早期劣化の原因の一つとして、図-1 に示すような通電後コンクリート中の高アルカリ環境が考えられる。

表-2 表面保護工の内訳

| 種類 | 材料構成 |
|-----|-----------------------|
| 有機系 | 耐湿潤性エポキシ樹脂 |
| 無機系 | アクリル樹脂系ポリマーセメントモルタル |
| 含浸系 | シラン・シロキサン系高性能浸透性吸水防止材 |

表-1 コンクリートの配合

| 適用工法 | W/C | s/a | Gmax (mm) | 単位量 (kg/m ³) | | | | | | |
|--------|-----|-----|-----------|--------------------------|-----|-----|-----|-------|-------|------|
| | | | | C | W | S | G | AE減水剤 | AE助剤 | NaCl |
| 再アルカリ化 | 60 | 48 | 15 | 300 | 180 | 816 | 826 | 0.9 | 0.019 | 3.3 |
| 脱塩 | | | | | | | | | | 13.2 |

4. シラン系含浸材の表面保護効果

シラン系含浸材を塗布した供試体について、通電後促進期間中における含浸面に落とした水滴（直径約2mm）の接触角の測定結果を図-2に示す。これより、再アルカリ化通電供試体は無通電供試体と比べて接触角が小さく、撥水効果が弱いことがわかる。特に再アルカリ化工法適用直後の接触角が小さくなっており、電解液による高アルカリ濃度環境が含浸材の撥水効果を低下させたものと推定される。一方、脱塩供試体において塩水噴霧開始後1ヶ月程度で接触角が大きく低下しており、コンクリート表面の撥水性が失われたことが分かる。これは、塩水噴霧によってシラン含浸によって付与されたコンクリート表面の撥水層が急速に劣化したことが原因と考えられる。

図-3に表面保護なし及びシラン系含浸材を塗布した脱塩供試体について保護面より測定したコンクリート抵抗を示す。これより、脱塩処理を行った場合、シラン含浸による保護効果（保護無し供試体とシラン含浸供試体のコンクリート抵抗の差）は無通電の場合よりも大きな値で推移しており、図-2に示した接触角のような、塩水噴霧に伴うコンクリート抵抗の大幅な低下も見られない。以上のことから、コンクリート内部の含浸層による表面保護効果はかぶりコンクリートのコンクリート抵抗により評価でき、そのような表面保護効果は通電終了後短期間で低下することはないものと考えられる。

5. 脱塩後塩水噴霧環境下における鉄筋防食効果

脱塩供試体に関して、表面保護施工後の塩水噴霧期間中における自然電位経時変化を図-4に示す。これより、無通電供試体は、初期塩分量が8.0 kg/m³と多いことから、表面保護の有無に関わらず塩水噴霧開始時から-0.24V vs Ag/AgCl以下の値を示しており、ASTMの判定基準における腐食領域にあることが分かる。一方、通電供試体は、塩水噴霧開始時においては表面保護種類に関わらず-1V程度の自然電位を示している。これは、脱塩に伴うカソード防食の影響であると考えられる。しかし、表面保護種類によって促進期間の経過に伴う電位の貴化傾向が異なることが分かる。一般に、通電後の電位の貴化はコンクリート表面からの酸素の供給に伴う鉄筋の再不動態化に起因するものと考えられる。図-4より、エポキシ樹脂塗布供試体では促進9ヶ月時点においても-0.8V程度の電位に留まっているのに対し、保護なし及びシラン系含浸供試体については、促進約1ヶ月程度で速やかに電位が貴変し、無通電供試体よりも貴な電位で安定している。これは、保護なし及びシラン系含浸供試体においてコンクリート表面からの酸素の供給がPCMやエポキシ樹脂を塗布した供試体と比較して容易であったことが一因と考えられる。

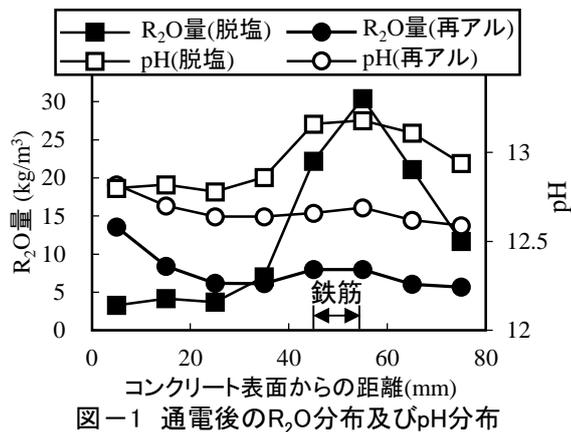


図-1 通电後のR₂O分布及びpH分布

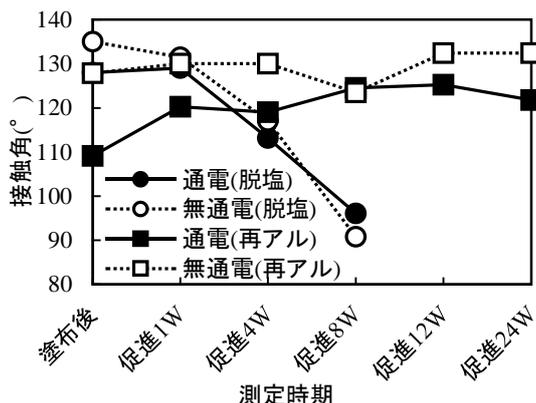


図-2 含浸材塗布面における水滴接触角の変化

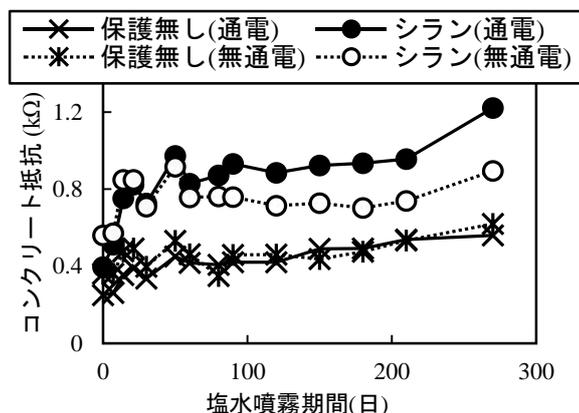


図-3 塩水噴霧環境にある含浸塗布供試体のコンクリート抵抗経時変化

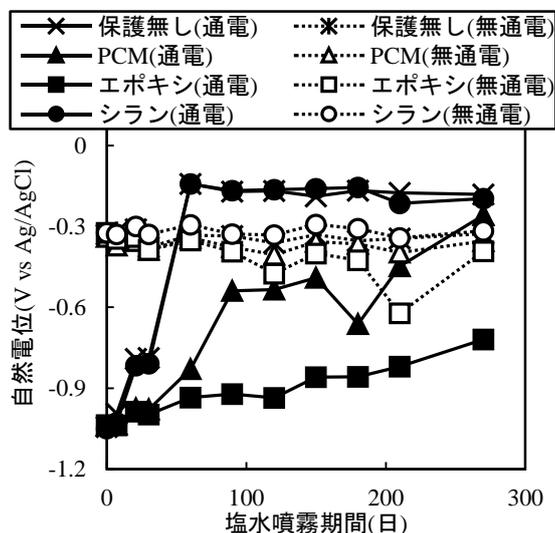


図-4 塩水噴霧環境にある自然電位の経時変化