

V-20 電着工法を適用したコンクリートの補修効果と海洋環境への影響

四国電力(株)	正会員	○米澤和宏
徳島大学工学部	正会員	上田隆雄
電気化学工業(株)	正会員	七澤 章
(株)四国総合研究所	正会員	横田 優

1. はじめに

近年、海洋構造物のひび割れ補修や耐久性向上を目的として、電気化学的補修工法である電着工法が開発された。電着工法による補修効果についてはこれまで様々な検討がなされているが、電着工法を適用した海洋構造物が周辺の海洋環境に与える影響については未解明な部分が多い。

そこで本研究では、人工海水を電解液として電着工法を適用した鉄筋コンクリート供試体を対象に、電着工法による補修効果と併せて補修後コンクリートが周辺の海洋環境に与える影響について検討を行った。

2. 実験概要

供試体は $10 \times 10 \times 15 \text{ cm}$ の角柱の中央に丸鋼鉄筋 $\phi 13 \text{ mm}$ を 1 本配したものとした。コンクリート中 Cl^- 量は比較的厳しい塩害を受けた場合を想定し、コンクリート体積に対して 8.0 kg/m^3 とし、比較のため Cl^- 無混入のものも作製した。水セメント比(W/C)は 55%，単位水量(W)は 175 kg/m^3 とした。通電面は 1 面とし、残り 5 面はエポキシ樹脂を塗布することにより絶縁した。通電時の電解液は人工海水を用い、通電処理期間は 2 ヶ月および 5 ヶ月とした。通電処理終了後は、①電着層に関する各種測定(電着層厚さ測定、電着層のマイクロスコブ観察、電着層の微小硬度測定)②コンクリート中の全塩分量分布測定③人工海水に浸漬した供試体の鉄筋自然電位経時変化測定④海洋暴露供試体の生物付着状況の観察および周辺の水質調査を行った。生物付着状況については、生物の個体数カウントと付着状況の撮影を行い、水質調査項目は塩分濃度、pH、DO(溶存酸素量)とした。

3. 結果および考察

電着層およびセメントペーストの微小硬度測定結果を図-1 に示す。図-1 よりセメントペーストのビッカース硬さは約 20~60、電着層では約 40~80 となっている。供試体中の Cl^- の有無や通電期間の違いによるビッカース硬さの大きな違いは見られなかった。実験結果より、電着層はセメントペーストよりも硬くて緻密であると判断できる。また、電着層厚さは通電期間 2 ヶ月で約 0.29 mm 、5 ヶ月で約 0.83 mm 程度だった。一般的には通電期間が 5 ヶ月程度の場合約 10 mm の電着層が形成されると言われているが、本研究では 1 mm 弱の電着層厚さしか得られていない。本来、電着物 CaCO_3 が析出するには pH8~9 以上、 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ では pH9~10 以上が必要となる。実海域では、周辺から流入する海水の影響が卓越するため、pH が顕著に低下することはないが、本実験では限られた溶液量の中での通電処理であったため、通電処理前には pH8.3 であった電解液が通電 7 日後には pH7.5 まで低下した。このために電着物が析出するだけの pH 値を維持できなかったと考えられる。

通電後の供試体中の全塩分量分布測定結果を図-2 に示す。図-2 より供試体中の全塩分量は、初期混入量の 8.0 kg/m^3 に対し 2 ヶ月通電

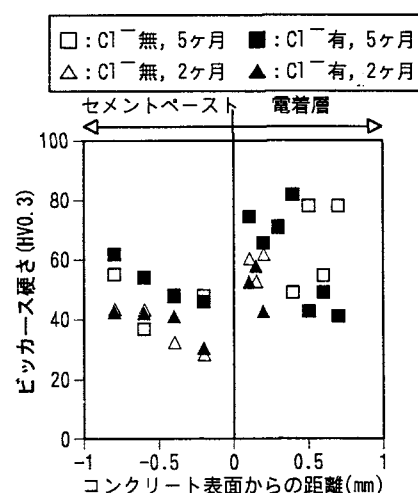


図-1 微小硬度測定結果

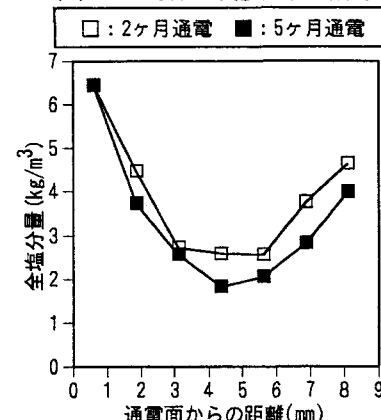


図-2 コンクリート中の Cl^- 量

後では鉄筋近傍で約 60%，通電面から見て鉄筋裏側においても約 40～50%除去されている。5 ヶ月通電後には鉄筋近傍で約 75%，鉄筋裏側においても 50～60%の塩分が除去されている。この結果から，電着工法の副次的効果として脱塩効果が期待できることが分かる。

人工海水に浸漬した供試体の鉄筋腐食モニタリングの結果を図-3 に示す。図-3 より Cl^- 無混入で無通電の供試体については海水の影響により鉄筋の自然電位が卑変しているが， Cl^- 無混入で 2 ヶ月の通電処理を行った供試体の鉄筋の自然電位は貴変している。 Cl^- 混入で無通電の供試体については，人工海水に浸漬する前から鉄筋の自然電位は腐食領域にあり浸漬後 90 日後においても変化はないが， Cl^- 混入で 2 ヶ月の通電処理を行った供試体の場合，鉄筋の自然電位は人工海水に浸漬後 90 日後においても防食領域にある。この結果から，電着工法による鉄筋防食効果は得られていると考えられる。

2 ヶ月通電供試体および無通電供試体を海洋暴露し，供試体の通電面に付着した生物の個体数カウントを行った。本研究での主な付着生物はウズマキゴカイで，海藻類の付着も若干見られた。一般的に付着しやすいと言われるフジツボ類やカキ類の繁殖期間は春季や秋期で，本実験の測定期間とは異なったため付着は見られなかった。1 cm^2 あたりの付着生物数(N)を個体密度(N/cm^2)とすると，無通電供試体の個体密度が 1.05 N/cm^2 で，2 ヶ月通電供試体の個体密度は 0.19 N/cm^2 となった。港湾構造物等に付着する生物の生息環境を規定する要因には，光，水質，海水流動，および付着基質の状態等が考えられるが，最も大きな影響を与える要因は波浪と構造形式だと言われている。海生生物の多くは生息環境に平らな地形を好む傾向があることから，電着物の凹凸が生息環境として好まれずに，無通電供試体に比べ生物付着量が小さくなった可能性がある。しかし，海洋暴露後の経過日数が短いことや季節によって付着生物の種類が異なることから，今後も引き続き測定を行い検討していく必要がある。

海洋暴露供試体周辺(コンクリート表面から 10cm 以内)の海水の水質調査の結果を表-1 に示す。表-1 より pH は 7.7~8.2 程度と供試体暴露による大きな上昇は見られない。比較のために通電処理終了後の供試体と無通電供試体をそれぞれ浸漬した人工海水の pH 経時変化を図-4 に示す。図-4 より通電処理を行った供試体を浸漬した人工海水の pH が大きく上昇しているのが分かる。通電処理を行った供試体は鉄筋付近で発生するカソード反応により OH^- が生成され，pH が 13 程度まで上昇する。このアルカリが人工海水に溶出したために大きく pH が上昇したと考えられる。このように室内実験では供試体を浸漬した人工海水の pH の上昇が見られたが，実海域では大量の海水が供給されるために供試体による周辺海水への影響は小さいと考えられる。また，塩分濃度は供試体暴露後 56 日後まで 3.0%前後で，一般的な海水の塩分濃度と同程度の値を示している。DO は 8.4~9.4 mg/l 程度であるが，一般に DO が 5.0 mg/l 以上であれば魚介類の生存に適しているとされており，本実験の供試体周辺の DO は海生生物が生活するには十分な値である。本実験の範囲内では供試体を海洋暴露することによる周辺水質への悪影響は無かったと言える。

表-1 海洋暴露供試体周辺の水質変化

経過日数	0	14	28	42	56
pH	8.18	7.97	7.94	7.71	8.05
塩分濃度(%)	3.08	3.05	3.07	3.04	2.94
DO(mg/l)	9.37	8.38	8.53	9.31	9.01

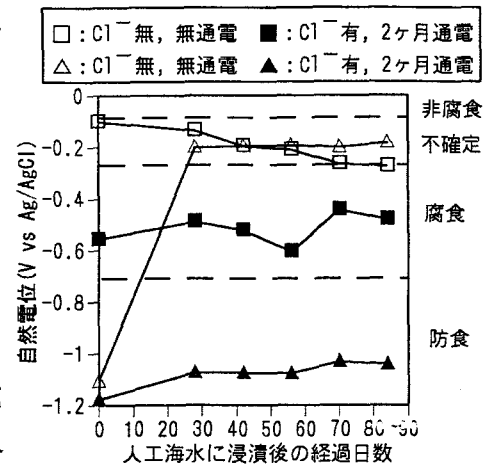


図-3 鉄筋自然電位測定結果

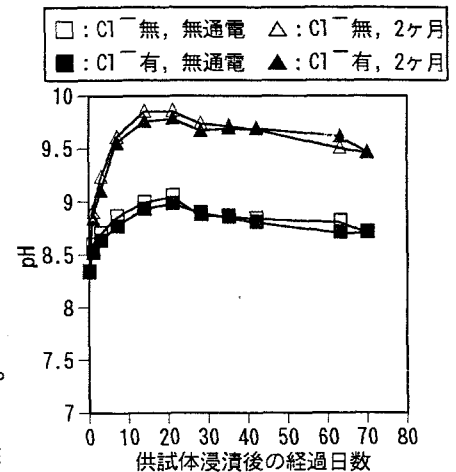


図-4 人工海水の pH 経時変化