

金属溶射を応用した流電陽極システム電気防食工法のコンクリート構造物への適応性に関する実験的検討

鹿児島大学 学生会員 入江 隼輝
 鹿児島大学 学生会員 清水 鉄兵

鹿児島大学 正会員 武若 耕司
 鹿児島大学 正会員 山口 明伸

1. はじめに

電気防食工法はコンクリート構造物の塩害に対する防食技術の一つで、大別すると「外部電源方式」と「流電陽極方式」の2種類がある。現在主流である外部電源方式は、直流電源装置から強制的に防食電流を供給するため、構造物の立地環境や劣化状態に応じて防食電流の調整が可能であるが、準備に時間と経費がかかり、配線も複雑なため日常的なモニタリングが必要になる。これに対して流電陽極方式は、電源設備の設置も電気代も不要で比較的簡単かつ安価である代わりに、防食期間中に防食電流を調節することは不可能となる。さらに、陽極材の種類や環境条件、さらに適用時における構造物の劣化度等により、その防食効果が大きく左右される可能性があるが、これらの検討は未だ十分になされていない。そこで本研究では、これらの要因が流電陽極方式防食システムの効果に及ぼす影響についての実験的検討を行った。

2. 実験概要

実験に用いた供試体は、図-1に示す、40cm×40cm×7cmのスラブ型鉄筋コンクリートの供試体であり、鉄筋は、溶射予定面からかぶり5cmの位置に格子状に配筋した。コンクリートの配合は表-1に示す通りであり、内部鉄筋の腐食促進のために予めNaClを12kg/m³混入し、打設後に2種類の養生方法を施すことによって異なる初期劣化状態を模擬した。具体的には、28日間気中養生によりある程度鉄筋腐食を進行させた「進展期」、および2週間の蒸気養生により腐食ひび割れまで至らせた

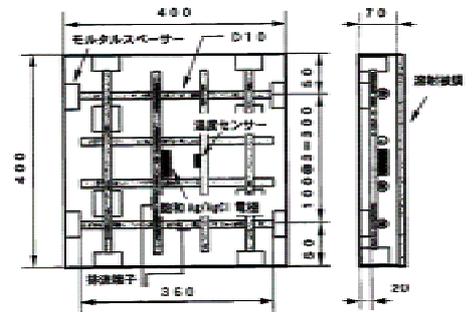


表-1 コンクリート配合

W/C(%)	S/a(%)	単位量 (kg/m ³)				
		W	C	S	G	NaCl
60	52	202	337	886	819	12

「加速期」の2種類である。なお、以下では表-2に示す通り、初期劣化状態が「進展期」の供試

表-2 初期劣化状態

供試体シリーズ	養生方法	初期劣化状態
予防保全	28日間気中養生	進展期
事後補修	2週間蒸気養生	加速期

体を用いた実験を「予防保全」、「加速期」のものを用いた実験を「事後補修」と呼ぶ。このように準備した供試体に、表-3に示す各種犠牲陽極材を用いて金属溶射を行い、同じく表-4に示す「屋内湿潤」「屋内乾湿繰り返し」「海洋飛沫滞」の各曝露環境において電気防食を開始した。また各条件において比較用に無溶射供試体も併せて曝露した。通電期間中は定期的に電流量、コンクリート抵抗、instant-off 電位、4時間後復極量の測定、および外観観察を行い、約2年間の曝露の後、供試体を解体し内部鋼材の腐食状況を確認した。

表-3 溶射金属種類

Z	亜鉛金属(Zn)
M	アルミニウムとマグネシウムの合金(Al-Mg)
AZ	亜鉛とアルミニウムの擬合金(Al-Zn)
I	亜鉛とアルミニウムの合金にインジウムを加えたもの(Al-Zn-In)
BK	無溶射

表-4 曝露環境と溶射金属種類

「予防保全」供試体			「事後補修」供試体		
20 屋内環境		海洋環境(O)	20 屋内環境		海洋環境(O)
乾湿繰り返し(R)	湿潤(W)	飛沫滞	乾湿繰り返し(R)	湿潤(W)	飛沫滞
BK,Z,M,AZ,I	BK,AZ,I	BK,AZ,I	BK,Z,M,I	BK,Z,M,I	BK,Z,M,I

3. 実験結果および考察

全供試体の通電期間中の平均復極量と平均電流密度の関係を図-2に示す。図から、構造物の劣化状態が同程度であれば、復極量と電流密度の関係はほぼ比例関係にあることがわかる。一方、劣化状態が異なればその関係が変化しており、例えば、同じ5mA/m²程度の電流密度で「予防保全」ならば約100mVの復極量を得られているのに対し、「事後補修」では50mV程度しか復極量が得られていない。つまり、加速期以降の構造物に対する「事後補修」の場合、潜伏期程度の構造物に対する「予防保全」と同様の流電陽極システムを施しても同レベルの防食効果を期待することは難しいと考

えられる。ただし、「予防保全」においても、海洋環境下においては、極めて高い電流密度が供給されているにも拘わらず、それに対応した復極量が得られていなかった状況が確認されている。これは、暴露期間後半において写真 - 1 のような溶射膜の浮きおよび剥離が生じたことが主な原因と考えられる。また、暴露環境の影響を見てみると、「予防保全」と「事後補修」は共に湿潤環境で高い防食効果が得られる傾向があり、また、犠牲陽極金属の種類の違いでは、特に Al-Zn、Al-Zn-In を用いた場合に十分な防食効果が得られる傾向が確認された。図 - 3 は解体後の鉄筋の平均腐食レベルと平均復極量の関係を、内部鉄筋の「溶射面」側および「溶射裏面」側の 2 面に分けて整理したものである。ここで、腐食レベルとは、解体後の内部鉄筋を長さ 4.5cm 毎に区分し、その腐食状況を表 - 5 に示す 4 段階の判定基準により評価した結果の平均である。「予防保全」「事後補修」いずれの場合も、無溶射供試体を含めて「溶射面」側よりも「溶射裏面」側の方の腐食が進行しているが、これは供試体製作時に溶射予定面を上にした状態で打設したために生じたブリーディングの影響で、鉄筋の「溶射面」側と「溶射裏面」側の腐食速度が異なっていたためと考えられる。これを踏まえて「予防保全」の結果をみると、「溶射面」側では元々腐食の進行が遅く防食効果を判別することが難しいが、「溶射裏面」側については、溶射供試体では無溶射供試体に比べ明らかに腐食レベルは低く、なおかつ、平均復極量が 50~150mV 程度の範囲で腐食レベル

の直線的な低下傾向もみられ、防食効果を確認できる。一方、「事後補修」の場合、元々腐食レベルが 1.5 程度の「溶射面」側では、例えば海洋環境の供試体のように、復極量は 50mV 程度であるが、ある程度の防食効果が確認できるものもあった。これ

に対して、「溶射裏面」側は断面欠損を伴う激しい腐食状態のため、このような腐食レベルではいずれの場合も防食効果は認められなかった。

以上のことから、流電陽極システムの場合、劣化状態が「潜伏期」から「進展期」程度の構造物に適用する場合、すなわち「予防保全システム」としては効果を発揮するが、加速期後期以降のように既

4. まとめ

本研究では、犠牲陽極を用いた流電陽極システムの防食効果を実験的に検討し、各種溶射金属の環境への適応性、予防保全・事後補修に対する防食効果の違い等を確認できた。今後、溶射前後の表面処理等の検討や溶射金属の消耗特性等を検討することにより、さらに効果的な工法となり得ると考えられる。なお、本研究は、鹿児島大学工学部と住友大阪セメント(株)、飛鳥建設(株)、電気化学工業(株)との共同研究による成果の一部である。

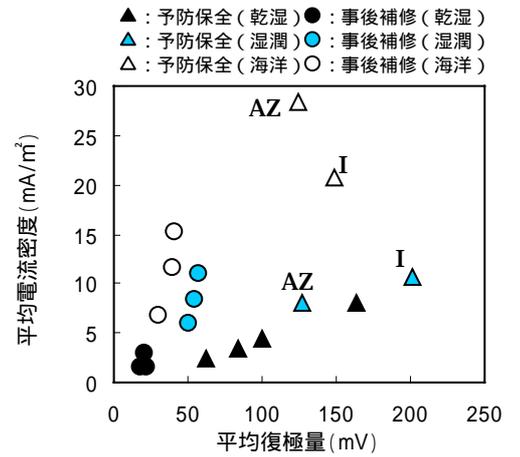
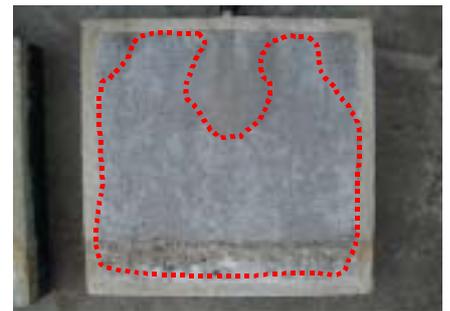


図 - 2 平均復極量 - 平均電流密度



(点線内は溶射被膜の浮き及び剥離)
写真 - 1 I 供試体溶射面(海洋環境)

表 - 5 腐食レベルの判定基準

レベル0	健全な状態
レベル1	腐食により表面が変色した状態
レベル2	欠損には至らないが激しい腐食の進行がある状態
レベル3	腐食の進行が激しく欠損している状態

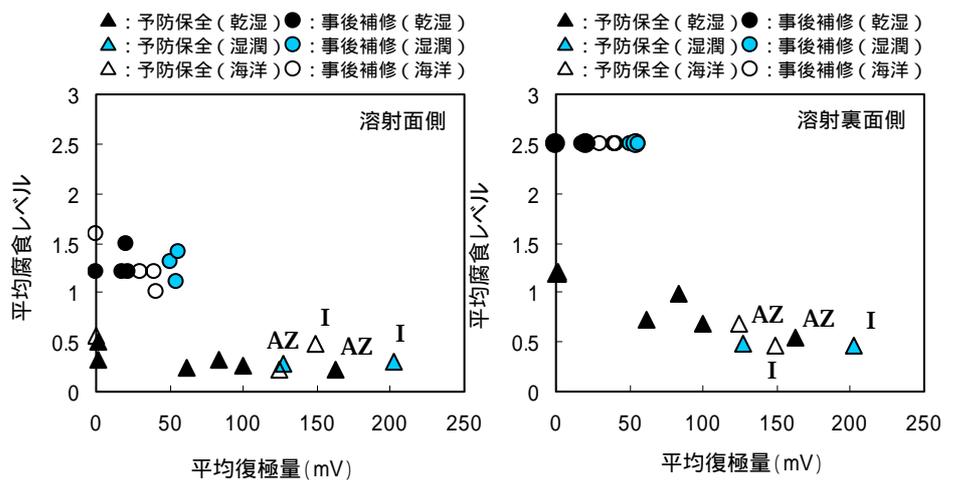


図 - 3 平均復極量 - 平均腐食レベル