

コンクリート中鋼材電気防食用耐久性陽極材埋設部のモルタル変色メカニズムについて

日本防蝕工業(株) 正会員 ○阿部 健
日本防蝕工業(株) 正会員 山本 悟
日本防蝕工業(株) 非会員 田代 賢吉

1.目的

電気防食は鋼材腐食を確実に防止する方法として普及しており、コンクリート構造物においても多くの実績がある。しかし、躯体コンクリート面に設けた溝内に耐久性陽極材(以下、陽極材と呼ぶ)をモルタルで埋め込む方式では、湿潤な環境において過剰な電流が流れた箇所でモルタルが茶褐色に変色し、躯体表面に顕在化した事例がある^{1) 2)}。この変色が鋼材の防食効果に及ぼす影響は少なかったが、構造物の美観を損なうばかりか鋼材腐食のさび汁と間違いやすいことがあった。本報では2種類のモルタル供試体に陽極材を埋め込んで、陽極材近傍のモルタル変色のメカニズムを調べたので報告する。

2.試験方法

供試体形状は図1に示すように、H100×W100×L120mmとした。供試体は、普通ポルトランドセメントを用いて表1に示す配合で2体作製した(NPCと呼ぶ)。比較のために、鉄分が少ないとされる市販の白色ポルトランドセメント系タイル目地材に練り混ぜ水を32wt.%加えて1体作製した(WPCと呼ぶ)。なお、NPCおよびWPC共に練り混ぜ水には3%食塩水を使用した。陽極材は幅12.7mmの網状の貴金属酸化物被覆陽極材を長さ80mm露出(露出面積0.002m²)させて一辺が供試体上面面に現われるように打設した。供試体は硬化後に20日間室温で湿布養生した。

供試体番号および試験条件を表2に示す。暴露条件は、海水によって湿潤になるコンクリート部材を模擬するため、供試体を3%食塩水で50mm程度浸し、更に供試面も同水溶液を含浸させた湿布で覆った。供試体底面には陰極としてステンレス板を設置し、定電流制御で95日間通電した。電流密度は過剰な電流が流れていることを想定して、通常の電流密度である陽極材面積当たり50~200mA/m²よりも高くし、46日経過時までは500mA/m²、その後は試験終了まで1000mA/m²とした。通電はNo.2およびNo.3をそれぞれ別容器に入れ、直列で同一の電流を流した。

試験期間中は、定期的に電解電圧、陽極材のインスタントオフ電位(それぞれをV_{cell}およびE_{ins}と呼ぶ)の測定および供試体上面の観察を行った。通電終了後に供試体を割裂し、割裂面の観察、pH試験紙によるpH測定を行った。また、供試体の健全部および陽極材近傍の変色したモルタル試料を採取し、試料に2倍質量の純水を加えた上澄み液についてICP発光分光分析(JIS K 0102 準拠)で、試料中に含有する鉄分(酸化鉄Fe₂O₃)を分析した。

3.試験結果と考察

3.1 電解電圧 V_{cell} および陽極電位 E_{ins} の経時変化

電解電圧 V_{cell} および陽極電位 E_{ins} の経時変化を図2に示す。V_{cell} および E_{ins} は、時間の経過と共に上昇した。NPC および WPC の V_{cell} は 500mA/m² で 1.8 から 3.6V の範囲、1000mA/m²

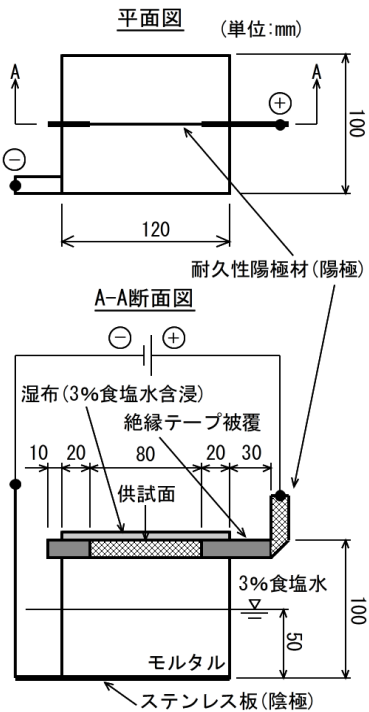


図1 供試体概略図

表1 NPCの配合

W/C (%)	単位量(kg/m ³)			
	W	C	S	Cl ⁻
57	291	510	1534	5.3

表2 試験条件

供試体番号	使用セメント	通電の有無
No.1	NPC	なし
No.2	〃	あり
No.3	WPC	あり

キーワード 電気防食, 耐久性陽極, モルタル変色, 塩害

連絡先 〒258-0021 神奈川県足柄上郡開成町吉田島 3540-2 日本防蝕工業(株) 技術研究所 TEL 0465-44-4114

で 3.2 から 3.7V の範囲を示し、電流密度が高い程高くなった。E_{ins} も+509 から+1267mV vs.CSE の範囲で同様な傾向を示した。以上のように、NPC および WPC も所定の電流密度で通電できた。

3.2 供試体の観察結果

試験終了時の供試面の外観を図 3 に、割裂後の陽極材近傍の外観を図 4 に示す。通電開始 67 日後には、通電した No.2 では陽極材を中心に茶褐色の変色が認められた。一方、No.3 では、変色はわずかであった。これらを割裂し、pH を調べたところ、図 4 のように陽極材近傍のみ pH4 程度に酸性になっており、無通電の No.1 には変色が無かった。これらのことから、通電によって陽極材近傍が酸性化し、モルタルが変質したと考えられる。また、No.2 に比べ、No.3 は供試面に顕在化した変色の発生量は少なかった。



図 3 供試面の外観

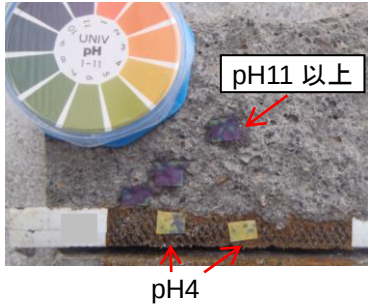


図 4 割裂面の外観(No.2)

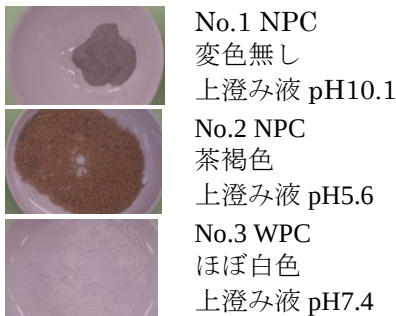


図 5 採取試料の比較

3.3 供試体の健全部および変色発生部の鉄分分析結果

変色試料の写真を図 5 に示す。また、変色試料と健全部の試料について分析した結果を表 3 および表 4 に示す。陽極材近傍の変色箇所から試料を採取する際、変色試料は樹脂製のへらで容易に削り取ることができた。

変色試料の採取量は表 3 に示すように、No.2 が 3.06g であり、No.3 の 7.5 倍と多かった。また、鉄分分析の結果から求めた鉄分量は、No.2 の 4.9 μg が最も多いことから、No.2 は通電によって変色し、その変色は鉄分に由来したと考えられる。一方、WPC は同じ通電条件においても変色が少なかった。これは、表 4 に示すように WPC に含まれる鉄分の濃度が低いためであり、セメント中の鉄分濃度がモルタルの変色に影響を及ぼすことが考えられる。

4.モルタルの変色の発生原因と対策案

モルタルの変色メカニズムとして以下のことが考えられるため、変色の対策として、①電流密度の低減化、②電流密度の均一化、③鉄分含有量の少ないモルタル使用等が挙げられる。

陽極反応→酸性化→モルタル中铁分の溶解→鉄イオンの溶出→水酸化鉄(茶褐色)が沈着

5.まとめ

通電を行った供試体では、陽極材近傍でモルタルの変色が確認されたが、通電性能に支障をきたさなかった。モルタル変色はセメントに含まれる鉄分が陽極反応によって溶出し、躯体表面に沈着するためであることが分かった。

参考文献

1)青山敏幸：電気防食の適用に伴う陽極材の品質変化およびPC 部材の構造性能の評価に関する研究，早稲田大学学位論文，p.81(2010).
2)大島高雄ほか：電気防食工法の維持管理の標準化を目的とした橋梁の詳細調査(C橋の事例)，土木学会第71回年次学術講演会概要集，V-396，pp.791-792(2016).

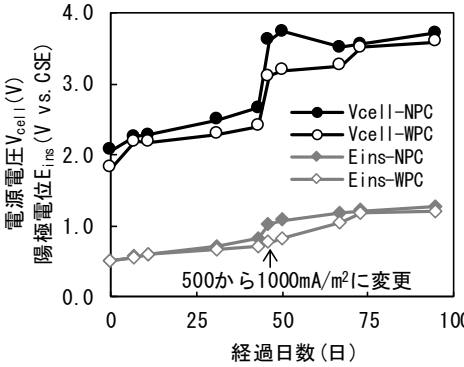


図 2 V_{cell} および E_{ins} の経時変化

表 3 変色発生部位の採取量と鉄分分析結果

供試体 番号	鉄分濃度 (mg/L)	採取量 (g)	採取量 の倍率	上澄み液中 の鉄分量 (μg)
No.1	0.11	—	—	1.8
No.2	0.28	3.06	7.5	4.9
No.3	0.55	0.41	1.0	1.3

表 4 健全部の鉄分分析結果

供試体 番号	モルタル の種類	鉄分濃度 (%)
No.2	NPC	6.5
No.3	WPC	0.3