

防錆剤混入ポリマーセメントモルタルによる塩害劣化コンクリートの防食効果

金沢大学大学院 ○牧尾 誠 金沢大学大学院 辻 裕和
(株)クエストエンジニア 青山實伸 金沢大学工学部 鳥居和之

1. はじめに

従来、防錆剤混入のポリマーセメントモルタル(PCM)による防錆効果は、屋外暴露試験における鉄筋の腐食減量の調査結果から判断されてきた。しかし、厳しい塩分環境下の鉄筋コンクリート部材を対象として、防錆剤による鉄筋の再不動態化とその後の鉄筋腐食の抑制効果との関係を分極抵抗や AC インピーダンスなどにより長期にわたり検討したものは少ないようである。本研究は、乾湿繰り返し環境下にて各種断面修復材(PCM)により補修した鉄筋コンクリート部材の電気化学的測定を長期にわたり行った結果と実際の鉄筋の腐食状況との関係を検討したものである。

2. 実験概要

セメントは普通ポルトランドセメントを使用した。練混ぜ水に塩化ナトリウムを混入し、コンクリートの塩化物イオン量を 2.5(低塩化物イオンレベル)および 7kg/m³(高塩化物イオンレベル)とした。PCM は湿式吹付け用のプレミック材料(SBR, P/C=5%, W/C=46%)を使用した。防錆剤は亜硝酸リチウム(LiNO₂)と亜硝酸カルシウム(Ca(NO₂)₂)の 2 種類であり、北陸地方の橋梁の塩害補修での実績を参考にして、亜硝酸イオン(NO₂⁻)のモル比が 0.8 および 2.0 となるように防錆剤の添加量を決定した。コンクリートの水セメント比は 63%、骨材の最大寸法は 10mm である。試験体の形状を Fig.1 に示す。Fig.1 における矢印位置(A,B,C)は鉄筋腐食の電気化学的な測定位置である。試験体の左側(A 点側)が低塩化物イオン側、右側(C 点)が高塩化物イオン側である。試験体の種類を Table 1 に示す。試験体はコンクリート打設後 2 日目に断面修復およびモルタル貼り付け(No.9 試験体)を実施した後、散水湿布養生を 4 日間行い、周面および貼り付けモルタルの上面をエポキシ系塗料で塗装した。

乾湿繰り返し環境は、4 日間の乾燥(温度 40℃, 湿度 50%)と 3 日間の湿潤(温度 40℃, 湿度 95%)を 1 サイクルとした。電気化学的測定は、自然電位法、分極抵抗法(K 値を 26mV として腐食電流値を計算)、AC インピーダンス法を行った。解体調査は、はつり出した鉄筋の腐食減量および腐食面積の測定、試験体の中性化深さの測定などを行った。

3. 試験結果および考察

3.1 電気化学的測定による鉄筋腐食評価

試験体の腐食電流値の経時変化を Fig.2 に示す。No.1 試験体は 200 日以後徐々に C 点の腐食速度が大きくなった。No.2,3 試験体は塩分濃度差により比較的早期から大きな腐食電流が発生した。また、両試験体ともに暴露 90 日経過時に高塩化物イオン量側の上面に鉄筋に沿ったひび割れが発生した。断面修復を実施した試験体(No.5,6,7,8 試験体)では、腐食電流値が 1μA/cm² 程度以下に抑制されており、ひび割れの発生も認められなかつた。

また、鉄筋の裏側まで断面修復したもの(No.7,8 試験体)は、鉄筋の表面までしか断面修復しなかったもの(No.5,6 試験体)と比較して腐食電流値も小さくなった。一方、No.5,6 試験体では測定点の間での腐食電流値に差が認められず、母材コンクリートと断面修復材との間のマクロセル腐食が発生しにくいものと考えられた。それに対して、No.7,8 試験体では A,B 点と比較して C 点の腐食電流値が大きく低下しており、マクロセル腐食が発生する懸念があった。また、

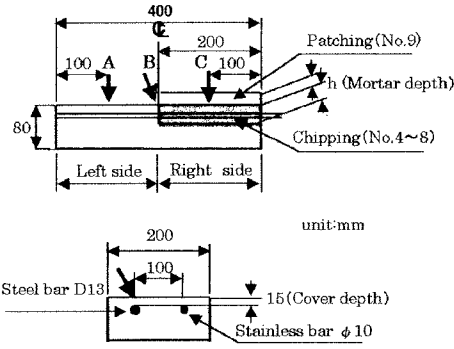


Fig.1. Dimensions of reinforced concrete specimen for steel corrosion test.

Table 1. Types of reinforced concrete specimens used for steel corrosion test.

No.	Chloride content (kg/m ³)		Chipping repair material	Chipping depth (mm)	Amount of corrosion inhibitor *
	Basis part (left)	Repair part (right)			
1	2.5	0	—	—	—
2	2.5	7.0	—	—	—
3	2.5	7.0	—	—	LN 8.5kg/m ³ (0.8)
4	2.5	7.0	PCM	35	Without corrosion inhibitor
5	2.5	7.0	PCM	15	LN 21.0 kg/m ³ (2.0)
6	2.5	7.0	PCM	15	CN 30.0 kg/m ³ (2.0)
7	2.5	7.0	PCM	35	LN 8.5 kg/m ³ (0.8)
8	2.5	7.0	PCM	35	CN 12.0 kg/m ³ (0.8)
9	2.5	7.0	OPC Mortar	15** (Thickness)	LN 57.5 kg/m ³ (5.4)

*LN; LiNO₂, CN; Ca(NO₂)₂, () ; NO₂⁻ mole ratio

**OPC mortar layer adding LN of 57.5 kg/m³ was attached on the surface of concrete.

No.5,6,7,8 試験体がほぼ同様な腐食挙動を示すことから、亜硝酸イオンのモル比が同じ場合には亜硝酸リチウムと亜硝酸カルシウムの防錆効果はほぼ同程度であると判断された。No.9 試験体では No.2 試験体に比較すると腐食電流値が小さくなったが、本実験での測定期間内では鉄筋腐食の抑制効果は十分に発揮されておらず、暴露 150 日経過時にコンクリート表面に鉄筋に沿ったひび割れが発生した。

3.2 解体調査

鉄筋の腐食状況の展開図を Fig.3 に示す。図の上下端が鉄筋の上端位置、中央が鉄筋の下端位置にあたる。なお、鉄筋の腐食度は、土木学会コンクリート標準示方書(維持管理編)を参考に目視により判定した。また、割裂試験体の中性化深さは、母材コンクリートで 3~10mm、断面修復部(PMC)で 2~3mm であり、測定期間中に中性化が鉄筋位置まで達することはなかった。鉄筋腐食に関して、最も激しい腐食がみられた No.2 試験体ではマクロセル腐食の進行により腐食度Ⅳの範囲が高塩化物イオン量側(右側)だけでなく低塩化物イオン量側(左側)の約 2/3 の面積までにも及んでいた。それに対して、No.3 試験体では高塩化物イオン量側(右側)が最も激しく腐食していた。一方、断面修復を実施した試験体の鉄筋腐食度は、No.2,3 試験体と比較して小さなものになった。No.5,6 試験体では断面修復材と接する鉄筋の上面の腐食は防錆剤の浸透により抑制されていたが、鉄筋の下面で腐食度Ⅲ程度の腐食が発生していた。また、No.7,8 試験体では断面修復部での鉄筋腐食は完全に抑制されていたが、断面修復の境界付近および低塩化物イオン量側(左側)で鉄筋腐食が発生しており、マクロセル腐食の進行が確認された。さらに、貼り付けモルタルによる補修を実施した No.9 試験体では、低塩化物イオン量側(左側)の腐食が効果的に抑制されていた。なお、鉄筋腐食度の目視判定結果は、鉄筋腐食の減量値とも良く一致していた。

4. まとめ

- (1) 腐食電流値の傾向から推察された腐食性状は実際の鉄筋の腐食状況によく対応していた。
- (2) 防錆剤を混入した PCM により断面修復を実施した試験体では、腐食電流値が $1\mu\text{A}/\text{cm}^2$ 程度以下になり、乾湿の繰り返し環境下で長期にわたり鉄筋腐食の抑制効果が認められた。
- (3) 鉄筋の裏側まで断面修復した試験体は、鉄筋の表面までしか断面修復しなかった試験体と比較して断面修復部の鉄筋腐食が大きく抑制された。しかしながら、断面修復部近傍および非補修部での腐食がより大きいものとなり、マクロセル腐食の進行が認められた。
- (4) 防錆剤($\text{LiNO}_2, \text{Ca}(\text{NO}_2)_2$)の種類に関して、亜硝酸イオンのモル比が同じ場合には亜硝酸リチウムと亜硝酸カルシウムの鉄筋腐食の抑制効果は同程度であった。

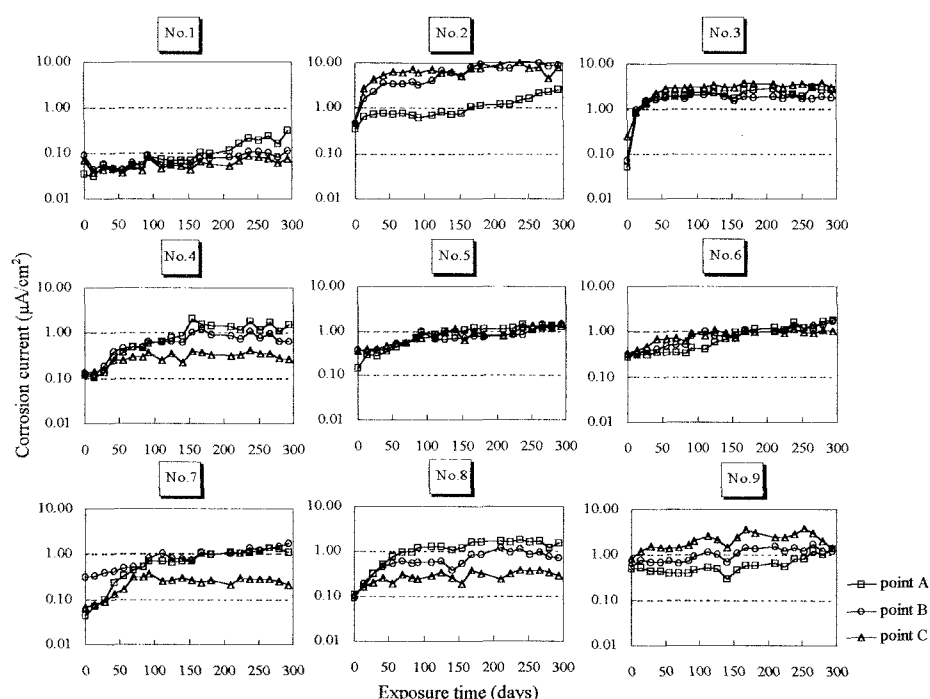


Fig.2. Variations of corrosion current with exposure time of steel bars in concrete.

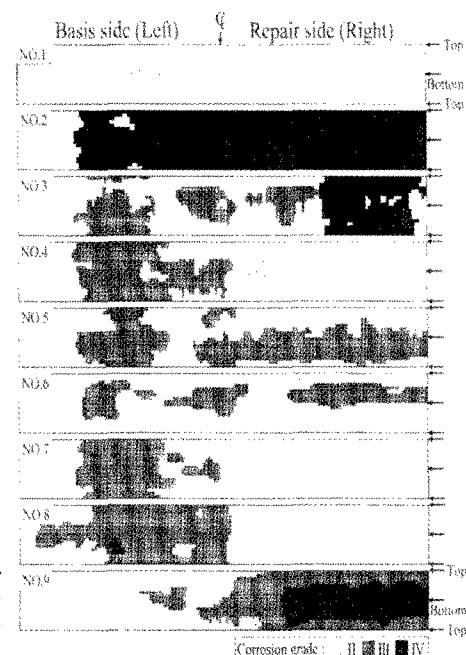


Fig.3. Corrosion area and corrosion grade of steel bars after wet and dry cycle test.