コンクリート中鉄筋の電気防食時の腐食速度に関する検討

株式会社ナカボーテック　正会員　○大谷俊介，蝦名仁美，篠田吉央
西日本旅客鉄道株式会社　正会員　吉田隆浩
京都大学大学院　フェロー　宮川豊章

１．はじめに

コンクリート中鉄筋に対する電気防食工法は，これまでの実績から防食が有効に機能することは明らかになっている．しかし，その評価方法は，所定の電位変化量（復極量 100mV）以上であることや鉄筋のオフ電位（自然電位）の貴化などによる場合が多く，電気防食時の腐食速度に関する検討は少ない．そこで，本検討では，塩化物イオン濃度が異なる鉄筋コンクリートに対してアルミニウム系流電陽極方式の電気防食法を適用した試験体を用いて電気防食時の鉄筋の腐食速度を推定した．

２．試験方法

２．１　電気防食試験体

通電試験は，塩化物イオン濃度が異なる 3 種類の鉄筋コンクリート試験体にアルミパネルを設置して行った．試験体の種類を表-1 に示す．コンクリートは，W/C=70%で作製し，NaCl を用いて塩化物イオンを混入した．コンクリート中には直径 28mm，長さ 170mm のみがき丸鋼を埋設した．試験体の形状と通電方法を図-1 に示す．アルミパネルは，28 日間湿布養生を行ったあとの鉄筋コンクリート試験体の 1 面に結束バンドによって固定した．アルミパネルと鉄筋から取り出したリード線を固定抵抗（20Ω）を介して短絡させ，抵抗両端の電圧値より発生電流を連続測定した．電位測定は，飽和銀塩化銀照合電極（SSE）をアルミパネル中央に設けた穴に差し込んで行った．なお，本稿では SSE で測定した電位を飽和硫酸銅電極（CSE）基準に換算して表した．

表-1　試験体種類

No.	コンクリート中の Cl^-濃度
1	3 kg/m³
2	9 kg/m³
3	15 kg/m³

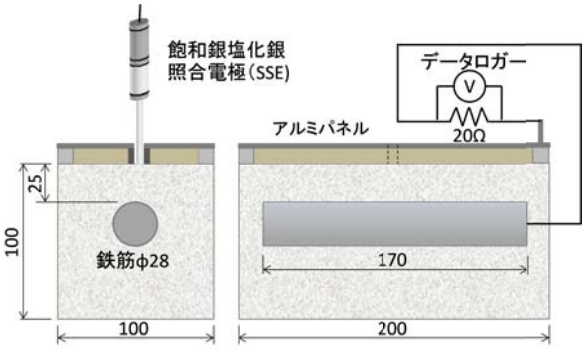

図-1　試験体の形状と通電方法

２．２　測定項目

測定は，データロガーを用いた防食電流の計測のほか，328 日間の試験期間中に電気防食の状態から鉄筋の分極曲線を 3 回測定した．測定では，既往の検討[1)]を参考に電気防食時(短絡時)の通電電流を計測したあと，短絡通電の切断と同時に直流電源で短絡時の通電電流を供給し，その後貴方向に電位変化するよう電流を変化させながら分極曲線を測定した．

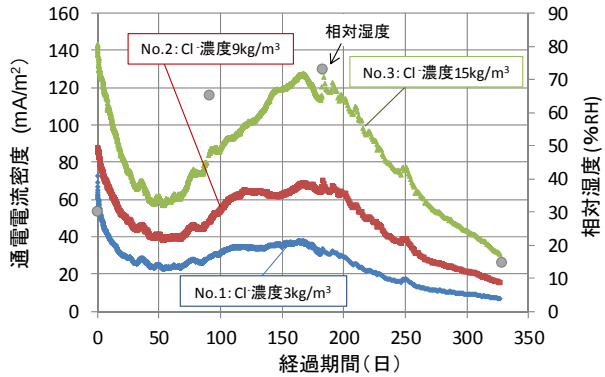

図-2　通電電流密度の経時変化

３．実験結果

３．１　通電電流密度

鉄筋表面積当たりの通電電流密度の経時変化を図-2 に示す．通電電流密度は，コンクリート中の塩化物イオン濃度が高い試験体ほど大きかった．また，いずれの試験体も初期は低減傾向を示したが 50～170 日にかけて増加傾向が認められた．通電試験は室温が 20℃で，相対湿度が変化する室内環境で行った．通電電流密度が増加した時期は実験室の湿度が上昇した時期であった．

キーワード　鉄筋コンクリート，電気防食，鉄筋の腐食速度
連絡先　〒362-0052　埼玉県上尾市中新井 417-16　事業開発本部　技術開発センター　ＴＥＬ048-781-5431

表-2　鉄筋の電位と腐食速度，不動態保持電流密度まで低下させるための電位変化量

試験体 (Cl⁻濃度)	経過期間 (日)	E_{corr} (mV vs.CSE)	i_{corr} (mA/m²)	E_{pass} (mV vs.CSE)	i_{pass} (mA/m²)	E_{corr}-E_{pass} (mV)
No.1 (3 kg/m³)	91	-203	0.4	-380	0.1	177
	183	-261	0.5	-440	0.1	179
	328	-280	0.1	-400	0.1	120
No.2 (9 kg/m³)	91	-217	1.0	-410	0.1	193
	183	-265	1.5	-480	0.1	215
	328	-284	0.2	-420	0.1	136
No.3 (15 kg/m³)	91	-259	1.0	-450	0.1	191
	183	-257	2.5	-470	0.1	213
	328	-284	0.4	-440	0.1	156

３．２　電気防食時の鉄筋の腐食速度

電気防食時の鉄筋の分極曲線を図-3 に示す．ここでは，No.3 の試験体を例として示した．図中には推定される内部アノード分極曲線の概念図 [2]を示した．既往の検討 [1]では，酸化還元の変化点から 40～60mV アノード分極した電位/電流密度の傾きが内部アノード分極曲線のターフェル勾配に相当することが示されている．いずれの測定時期においても内部アノード分極曲線の外挿線は，電気防食時の電位（E_{cp}）より貴電位である不動態保持電流密度（i_{pass}）に対応する電位（E_{pass}）に至った．つまり，電気防食時の鉄筋の腐食速度は，i_{pass} に相当することが考えられる．

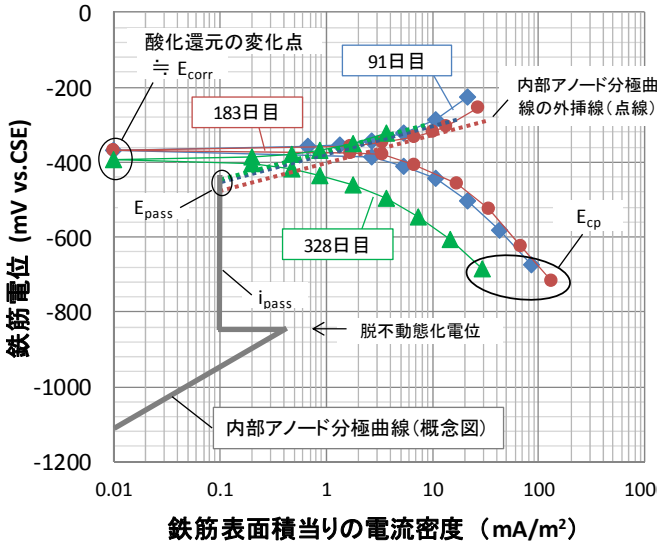

図-3　電気防食時の分極曲線（No.3 試験体）

３．３　電位変化量と腐食速度の関係

図-3 において外挿した内部アノード分極曲線に対応する酸化還元の変化点の電位は自然腐食状態の電位に相当する．そこで，各試験体の自然腐食状態に対応する鉄筋腐食速度（i_{corr}）と鉄筋電位（E_{corr}），不動態保持電流密度（i_{pass}）に対応する鉄筋電位（E_{pass}），i_{pass} まで低下させるための鉄筋電位変化量（E_{corr}-E_{pass}）を表-2 にまとめた．i_{corr} はコンクリートの塩化物イオン濃度が高いほど大きくなる傾向にあったが，E_{pass} は電気防食時の電位（E_{cp}）よりも貴電位であることから何れの試験体も電気防食期間中は i_{pass} に相当する腐食速度になった．また，E_{corr}-E_{pass} は，測定時期によってばらつきが見られ 120～215mV の範囲にあった．本実験では，通電停止から約 24 時間後に測定した鉄筋の復極量が 200～400mV であったため必要以上に電位変化量が大きかったと言える．これは，使用したコンクリート試験体の抵抗率が低いために流電陽極から供給される通電電流が大きくなったことが影響したと考えられる．本検討では，試験終了後に鉄筋のアノード分極抵抗が増大したことを別途確認したが，鉄筋電位を 200mV 以上変化させても電気防食時の腐食速度は i_{pass} 相当までしか低下しないこと，さらに大きな通電電流密度で長期間通電することで酸欠により脱不動態化が生じる可能性があることから，現行の防食基準のように 100mV 程度の電位変化量で運用するのが妥当であると考えられる．

４．まとめ

アルミニウム系流電陽極方式の電気防食法を鉄筋コンクリート試験体に適用して電気防食時の鉄筋の腐食速度を推定した．その結果，鉄筋の自然電位から 200mV 以上電位変化させても不動態保持電流密度に相当する腐食速度にしか低減せず，現行の防食基準である 100mV 程度の電位変化量が妥当であると考えられた．

参考文献

1) 塚本英晃ほか：分極曲線を用いた電気防食効果の判定手法に関する検討，材料と環境 2014，D-106，2014
2) W.L.Sluijter：Potentio dynamic polarization curves and steel corrosion，Heron，Vol.22，1977