

二重管試験によるマクロセル腐食電流と塩化物イオン濃度の関係

(株)富士ピー・エス 正会員 徳光 卓 ・ 山口 光俊
 電気化学工業(株) 正会員 石橋 孝一 ・ 山岸 隆典
 長岡技術科学大学 フェロー 丸山 久一

1. はじめに

コンクリート構造物の塩害に対する代表的な補修方法に断面修復・保護塗装工法がある．この工法により塩害補修したのち，数年後に再劣化を生じる事例がしばしば見られている．図 - 1 に外部環境を原因とする塩害における鋼材の腐食状態と塩化物イオン濃度分布の概念図を示す．現在我国ではコンクリート構造物の塩害耐久性の指標として，鋼材腐食発生限界濃度 1.2kg/m^3 を採用しているが[1]，既に塩害劣化を生じた構造物では通常 1.2kg/m^3 を大幅に超える塩化物イオンが存在している[2]．図 - 1 のような鉄筋片面のみでの激しい腐食はマクロセル電流によるものと推測され，水・酸素の供給量の差とともに塩化物イオンの濃度差の影響が大きいと考えられる．また，断面修復材料には塩分が含まれていないことから，補修によって修復部と未修復部の間に塩分の濃度差を生じてマクロセル腐食が加速された可能性も否定できない．

マクロセル腐食電流は鋼材の腐食速度と相関があり，構造物の耐荷力低下やライフサイクルコストの算定などに重要な情報を与えると考えられる．本研究は塩化物イオン濃度とマクロセル腐食電流との関係を測定することにより，既設構造物の塩化物イオン濃度が補修後の再劣化速度に与える傾向を把握するものである．

2. 二重管試験の概要

塩化物イオン濃度が異なるコンクリート間に流れるマクロセル電流の測定は確立された方法がないため，新たに二重管を用いた試験方法を考案した．供試体を図 - 2 に示す．本供試体の特長は内外管のアノード・カソード面積が定量化でき，平均電極間距離を一定にできること，両電極の酸素と水分の供給条件がほぼ変わらないことが挙げられる．なお，本供試体のアノード：カソード面積比は約 3：7 である．

供試体はまず内管の内部と外周部に NaCl を混入したモルタル(M_{Cl})を打設，硬化後に脱枠し，外管を設置したのち塩分を混入しないモルタル(M_N)を打設して作成した．実験に用いたモルタルの配合を表 - 1 に示す．水セメント比はプレテンション PC 桁を想定し 35%とした．供試体打設後，温度 20℃，湿度 80%の室内に静置した．マクロセル電流は打設後 10 日目より，約 1 週間毎に無抵抗電流計を用いて測定した．各塩化物イオン濃度に対する供試体数は 2 体であり，計測期間は 3 ヶ月とした．

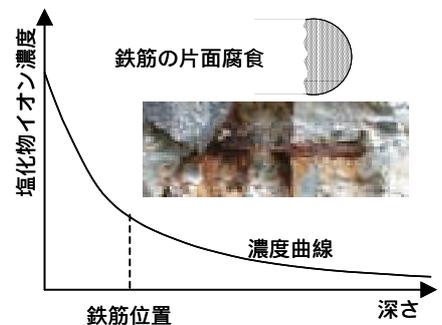


図 - 1 マクロセル腐食の概念図

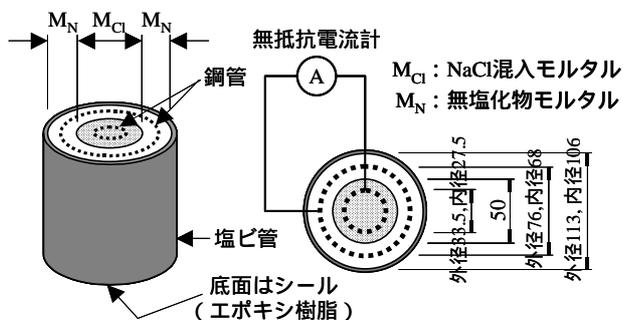


図 - 2 二重管試験供試体

表 - 1 モルタルの配合

種別	記号	OPC	NaCl	W	S	Ad	Cl ⁻ 濃度
M_N	N-0	500	0	175	1750	0.00	0.00
M_{Cl}	N-2		2			0.93	1.21
	N-3		3			0.93	1.82
	N-4		4			0.93	2.43
	N-5		5			1.00	3.03
	N-6		6			1.00	3.64
	N-7		7			1.00	4.25
	N-8		8			1.25	4.85
	N-10		10			1.25	6.07
	N-12		12			1.25	7.28
	N-14		14			1.25	8.50

(単位: kg/m^3)

キーワード 塩化物イオン濃度，マクロセル電流，断面修復，腐食速度，鋼材腐食

連絡先 〒105-0004 東京都港区新橋4-24-8 (株)富士ピー・エス技術本部メンテナンス室 Tel 03-3432-0836

3. 実験結果と考察

材令3ヶ月までのマクロセル電流と塩化物混入モルタルの塩化物イオン濃度の関係を図-3に示す。全体的にマクロセル腐食電流の値は塩化物イオン濃度の増加と共に増加する傾向を示したが、材令の経過と共に各塩化物イオン濃度におけるマクロセル腐食電流は減少する傾向が見られた。この電流の減少は、鋼材表面に発生した錆による絶縁と間隙水中の溶存酸素量の減少によるものと考えられる。図-3を見る限り、マクロセル腐食電流が顕著な増加を始める塩化物イオン濃度は、材令11日では2kg/m³を超えた付近、材令31日以降では5kg/m³を越えた付近であり、1.2kg/m³では微弱な電流が確認されたのみであった。図-4に図-3の縦軸を対数表示した図を示す。図のマクロセル腐食電流と塩化物イオン濃度の関係は線形であり、限界塩化物イオン濃度のようなしきい値は確認できなかった。そこで、マクロセル腐食電流と塩化物イオン濃度との関係を式(1)で回帰した。

$$I_{corr} = A \cdot e^{(B \cdot d_{Cl})} \quad (1)$$

ただし、 I_{corr} ：マクロセル腐食電流(μA)

d_{Cl} ：塩化物イオン濃度(kg/m³)

$A \cdot B$ ：環境や配合等の各種条件による定数

数式の各定数と相関係数を表-3に示す。各回帰式の相関係数は0.95以上であり良好な相関が見られた。この回帰式から材令31日における塩化物イオン濃度1kg/m³の腐食速度と比較すれば、塩化物イオン濃度が5kg/m³の場合は約10倍、塩化物イオン濃度が8.5kg/m³の場合は約100倍腐食が速いことになる。塩素イオンのような不動態皮膜破壊アニオンは、不動態皮膜を局部破壊させ下地金属を孔食させることが知られている。水溶液中の実験によって、不動態皮膜破壊アニオンによる不動態皮膜の破壊は確率過程であり、不動態皮膜破壊アニオン濃度の増加と共に孔食電位は低下し、水酸イオンなどの皮膜補修アニオン濃度の増加と共に孔食電位は増加することが知られている[3]。本実験の結果は不動態皮膜破壊アニオンがコンクリート中でも水溶液中と同様にふるまうことを示すものと考えられ、コンクリート中の塩化物イオン濃度が多いほど断面修復後の再劣化速度が速くなり、また、断面修復時に電気化学的脱塩を行えば、少量の塩化物が残留しても、腐食速度は大幅に低下することを示すものと考えられる。

4. まとめ

本実験の範囲内での知見をまとめると以下のとおりになる。

(1) 腐食限界塩化物イオン濃度のようなしきい値は認められず、マクロセル腐食電流と塩化物イオン混入モルタルの塩化物イオン濃度の関係は回帰式 $I_{corr} = A \cdot e^{(B \cdot d_{Cl})}$ により近似できた。

(2) 補修されるコンクリート中の塩化物イオン濃度が濃いほど断面修復後の再劣化速度は速くなる。

参考文献

[1] コンクリート標準示方書[施工編]：土木学会，2002.11
 [2] 例えば，弁天大橋の電気化学的脱塩前後の塩化物イオン濃度分布とその状態：坂上悟・横山文夫・徳光卓・宮本正尊・原与司人，土木学会第57回年次学術講演会，V-579，pp.1157-1158，2002.9
 [3] 腐食防食ハンドブック：腐食防食協会，丸善，p23，1999.2

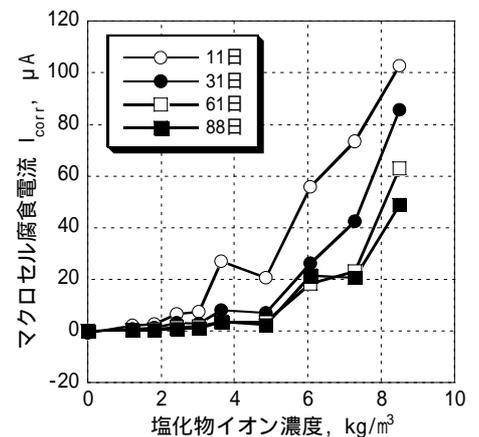


図-3 マクロセル腐食電流と塩化物イオン濃度の関係

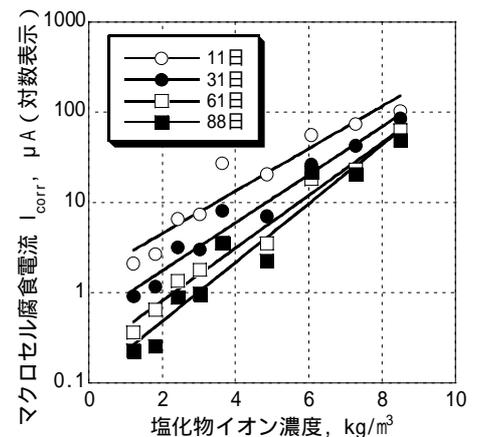


図-4 マクロセル腐食電流と塩化物イオン濃度の関係（縦軸を対数表示）

表-3 回帰式の定数と相関係数

定数		相関係数
A	B	R
1.153	0.541	0.954
0.512	0.614	0.996
0.212	0.673	0.991
0.108	0.751	0.962