塩害補修における犠牲陽極材の防食効果に関するモニタリング技術検証

日本工営（株）　正会員　○中野雅章，高地透，松山公年

１．はじめに

近年，コンクリート構造物の維持管理に対する取組意識が増し，各地で長寿命化に対する対策が促進されている．しかし，塩害に関しては，部分的に補修された構造物の既設部（未補修部）と補修部の境界付近で腐食（マクロセル腐食）が発生し，補修と再劣化を繰り返すケースも多い．本研究では，補修部に設置することでマクロセルおよび進行中の鉄筋腐食を抑制することが可能となる犠牲陽極材による防食効果のモニタリング手法を実証すべく，塩分を十分に含むRC供試体を用いた劣化促進試験を行った．

２．実験概要

2.1 供試体および試験方法

供試体はH27年からCl濃度15%の塩水に400日程度浸漬したRC梁供試体[1)]を切り出したものである(**図-1**)．試験前に，供試体端部で電位差滴定した結果および断面補修部での鉄筋の腐食状況（質量減少率）は**表-1**のとおりである．なお，断面修復は同部の鉄筋の除錆後，防錆処理を行わずに施工した．犠牲陽極材は亜鉛を特殊モルタルに包んだものを用いた．犠牲陽極材は，鉄筋に結束することで，イオン化傾向の違いを利用して，亜鉛をアノード部，鉄筋をカソード部とする防食回路が形成され，鉄筋に防食電流を供給することで鉄筋腐食やマクロセル腐食を抑制しようとするものである．断面補修部は通常，本犠牲陽極材と併用される電気抵抗値の低いポリマーセメントモルタルを用いた．また，比較のため，犠牲陽極材を用いない場合についてもモニタリングを実施した．

試験は，水道水で浸漬養生を1日行い，その後2～3日間自然乾燥後，7日に1回のペースで測定を行い各種センサー値による腐食状況のモニタリングを実施した．また，養生方法を下記の3ステップとして劣化促進を試みた．①補修後41日：20±3℃で気中養生．②補修後41日目以降～72日目：20±3℃での乾湿繰返し養生．③補修後73日目～94日：50±4℃のチャンバーに移動し乾湿繰返し養生．

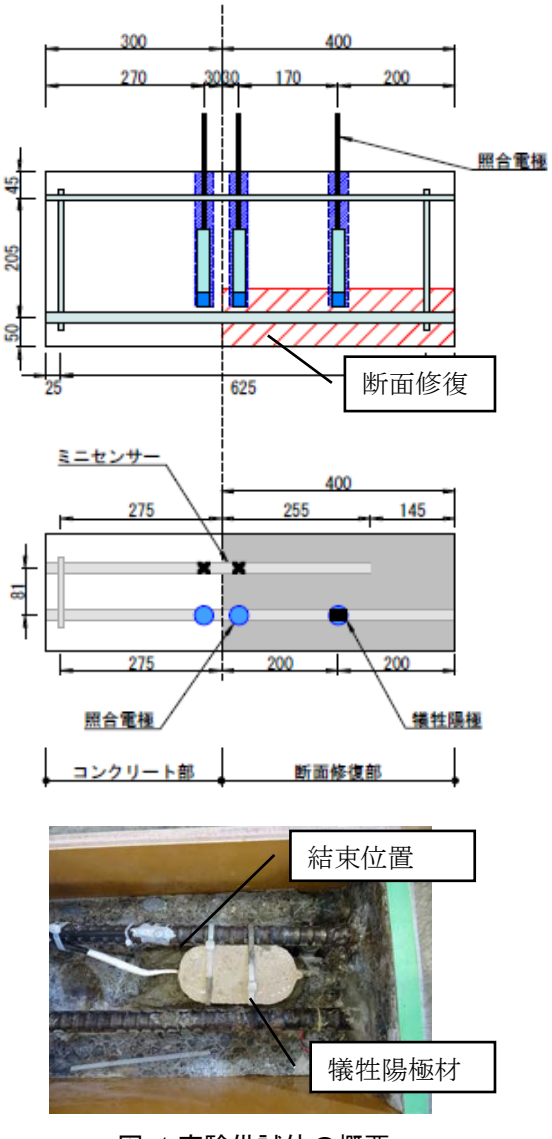


図-1 実験供試体の概要

2.2 計測機器について

鉄筋の腐食モニタリングでは，「鉛照合電極」および「ミニセンサー」（直径4mmの円形の参照電極と内径6mm外形10mmの環状対極を有する）を用いた．それぞれの設置個数と設置位置は図-1のとおりである．計測項目は，既設構造のモニタリングにおける計測の容易さを考慮し，自然電位とした．

３．自然電位の計測結果

各供試体の自然電位について，犠牲陽極材が無い供試体のミニセンサーの計測結果を**図-2**に，犠牲陽極材を用いた供試体の照合電極およびミニセンサーの計測結果を**図-3**に示す．

表-1　試験前の内在塩分と鉄筋の腐食状況

鉄筋位置付近の塩分量 (kg/m^3)	鉄筋の質量減少率 (%)
5.49～15.28	4.04～4.67

キーワード　塩害，モニタリング，犠牲陽極材，照合電極，ミニセンサー

連絡先　〒300-1259 茨城県つくば市稲荷原2304 Tel.029-871-2032 Fax.029-871-2022

犠牲陽極材が無い場合は，50℃乾湿繰返し開始後にコンクリート部の鉄筋の電位のみが徐々に低下し始め，鉄筋の腐食が進行していることが推察された．

一方，犠牲陽極材を用いた供試体では，50℃乾湿繰返し開始後に補修部およびコンクリート界面の電位が急激に低下している．これは，犠牲陽極材の腐食反応が活発化し，鉄筋に防食電流が流れたためと考えられる．

試験後に界面付近の鉄筋をはつり出し腐食状況を確認した結果を写真-1 に示す．犠牲陽極材が無い場合は，界面を挟んで表面に薄い錆が観られたが，犠牲陽極材がある場合には，ほとんど目立った錆は見られなかった．これらの結果は，上記の自然電位の計測結果と概ね整合している．コンクリート部で若干の点錆は見られたが，これらは試験前から存在していたものと思われる．

また，補修部界面から離れた断面補修部の一部では明らかな鉄筋腐食がみられた．これは犠牲陽極材が結束されている位置からスターラップ筋を介して導通している約 950 ㎜程度の位置にあたり，本犠牲陽極材が推奨する設置間隔 750 ㎜を超える範囲で効果があったことを示唆している（図-4）．

４．塩害補修後のモニタリングについて

本研究では，内在塩分が十分に高い供試体を用いて，補修後の犠牲陽極材の効果に関してモニタリングした．照合電極とミニセンサーを用いて，補修部とコンクリート部の界面の鉄筋の自然電位の挙動を計測することで，犠牲陽極材の防食効果をモニタリング可能であることがわかった．今後は，マクロセル腐食も含めた塩害補修後の実用的なモニタリングの在り方について検討する予定である．

５．謝辞

本研究は，モニタリングシステム技術研究組合（RAIMS）が実施した研究であり， 内閣府の「ＳＩＰインフラ維持管理・更新・マネジメント技術」の一環として 国土交通省が実施する「社会インフラへのモニタリング技術の活用推進に関する技術研究開発」 委託事業研究の成果です．

金沢工業大学宮里教授と花岡講師には，本試験に関して貴重なご助言をいただいた．また，本試験実施にあたり八洋コンサルタント株式会社の関係各位には多大なご協力をいただいた．ここに記して深謝いたします．

参考文献

1)高地，中野，米田，小原：コンクリートの塩害モニタリングに資する鉄筋腐食促進試験，土木学会第 71 回年次学術講演会講演概要集，2016.

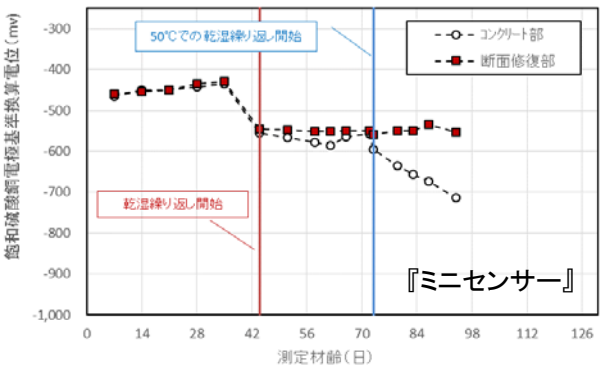
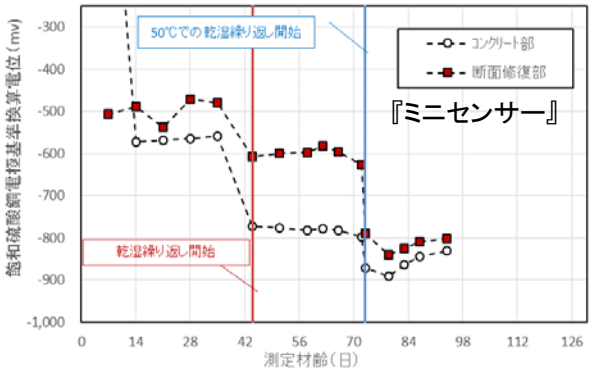


図-2　犠牲陽極材無の計測結果



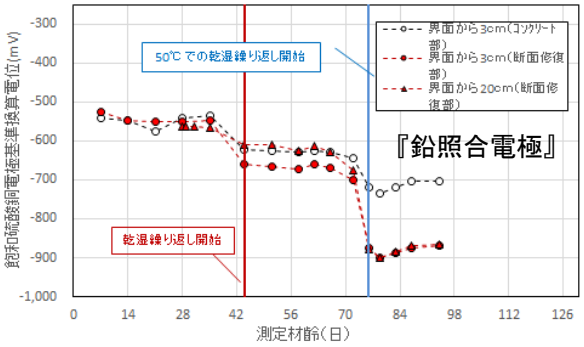
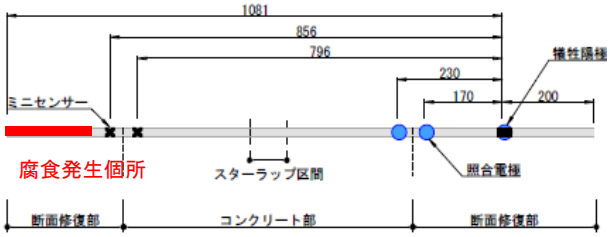


図-3　犠牲陽極材有の計測結果

写真-1　試験後の界面付近の鉄筋の腐食状況



（鉄筋を１本に見立てた場合の犠牲陽極材からの距離）

図-4　犠牲陽極材の有効範囲