

梯子状センサを用いた港湾コンクリート構造物の腐食モニタリング

(株)ナカボーテック(元:(独)港湾空港技術研究所) 正会員 ○ 小林浩之
(独)港湾空港技術研究所 正会員 山路 徹
(株)東洋建設(元:(独)港湾空港技術研究所) 正会員 審良善和

1. はじめに

コンクリート中に鉄筋を多段に配置することで、腐食状態をモニタリングしようとするセンサ(以下、梯子状センサと記す)がある。外来塩分によって変化するセンサの電気化学特性をモニターすることによって、鉄筋の腐食状態を評価するものであるが、その長期的な電気化学特性について検討した例は少ない。経済的かつ効率的に港湾施設の維持管理を行うことを目的として、実構造物に梯子状センサを埋設し、定期的に電気化学測定を実施した。本報告は、設置 8 年後の現場計測結果と同期間、(独)港湾空港技術研究所の海水シャワー場に暴露したコンクリート試験体の計測結果から、梯子状センサの腐食速度評価手法としての適用可能性について検討したものである。

2. 試験方法

梯子状センサの設置場所は、福岡県博多港の栈橋上部工(はり、スラブ)と(独)港湾空港技術研究所の海水シャワー場(飛沫環境模擬)である。なお、栈橋上部工ではセンサを躯体内(はり、スラブ)に埋設し、海水シャワー場ではコンクリート試験体(150×100×200mm)内に設置して各環境下に暴露した。栈橋上部工と試験体のコンクリート配合を表-1 に示す。栈橋上部工および試験体には、防食対策として防錆剤が添加されている。

表-1 コンクリート配合

		W/C %	単体量 (kg/m³)				防錆剤 L/m³
			W	C	S	G	
栈橋上部工		53.5	165	308	758	1084	10
							20
試験体	B5500	40	172	313	764	1041	0
	B5510	55					10
	B5520	55			767		20

梯子状センサの外観を写真-1 に示す。梯子状センサには、一定の間隔で 4 本のセンサが配置されており、コンクリート表面から各センサまでの距離は、栈橋上部工:4cm, 6cm, 8cm, 10cm, 試験体:2cm, 3cm, 4cm, 5cm である。センサはφ9mm の SS400 と SUS316L を絶縁材を介して一体形状にしたものであり、それぞれの金属から計測用のリード線を取り出している。このリード線をゼロ抵抗電流計を介して短絡することにより、マクロセル電流を計測した。マクロセル電流は、短絡開始から約 1 分後の安定した電流値を読み取った。また、マクロセル電流と腐食速度の相関を確認するために、SS400 の AC インピーダンス測定を実施した。AC インピーダンスの測定は 3 電極(照合電極:MnO₂ 電極, 対極:SUS316L)で行い、測定周波数 10Hz~20mHz, 振幅±10mV とした。

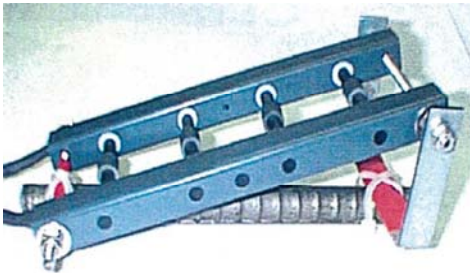


写真-1 梯子状センサの外観

3. 試験結果および考察

3. 1 自然電位と腐食速度

SS400 の自然電位と腐食速度の関係を図-1 に示す。なお、自然電位は ASTM C876, 腐食速度は CEB の判定基準に基づいて腐食判定を行った。また、自然電位は飽和 KCl 銀塩化銀電極基準に換算した値を用いた。栈橋上部工

キーワード 塩害, コンクリート, 鉄筋腐食, 非破壊検査, 腐食速度, モニタリング, 梯子状センサ
連絡先 〒362-0052 埼玉県上尾市中新井 417-16 (株)ナカボーテック 技術研究所 TEL:048-781-5431

においては、部位による変化は見られず、防錆剤の添加量による差も認められなかった。SS400 の自然電位は、いずれの部位においても -80mV 以上を示しており、『90%以上の確率で腐食なし』と判定された。また、腐食速度は、いずれの部位も $0.04\mu\text{A}/\text{cm}^2$ 以下を示しており、CEB の判定では『不動態状態』と判定された。 $0.01\mu\text{A}/\text{cm}^2$ 前後の非常に小さい値であり、自然電位判定結果が速度論的にも裏付けられた。以上の結果より、10 年経過後の栈橋上部工は、腐食に対して健全な状態を維持していると結論付ける。

一方、海水シャワー場に暴露した試験体の自然電位は、8 年目の測定において、防錆剤なしの B5500 と $20\text{L}/\text{m}^3$ 添加の B5520 が -80mV 以下を下回り、『不確定』もしくは『90%以上の確率で腐食あり』と判定された。また、腐食速度は、 -80mV を下回ったデータの多くが $0.1\mu\text{A}/\text{cm}^2$ を上回っており、CEB の判定では『低～高程度の腐食速度』と判定され、栈橋上部工の結果と同様、自然電位判定結果を裏付ける結果となった。本環境下においては、自然電位と腐食速度の間に負の相関が認められた。

3.2 マクロセル電流密度と腐食速度の関係

図-2 に示すように、マクロセル電流密度よりも腐食速度の方が大きい値を示した。また、マクロセル電流密度の増加とともに腐食速度も増加する傾向を示した。腐食速度が非常に小さい $0.001\sim 0.01\mu\text{A}/\text{cm}^2$ の領域においてデータのバラツキが生じているものの、 $0.01\mu\text{A}/\text{cm}^2$ 以上ではほぼ直線的に増加した。腐食発生のしきい値を $0.1\mu\text{A}/\text{cm}^2$ とした場合、しきい値前後のプロットが直線的に変化していることから、梯子状センサのマクロセル電流は、鉄筋の腐食状態を敏感に捉えているものと考えられる。図-3 より、 $0.1\mu\text{A}/\text{cm}^2$ 以下では腐食面積率は非常に小さい値であるのに対し、それ以上になると腐食速度とともに増加するのを確認した。

4. まとめ

1) 梯子状センサを用いた自然電位計測、マクロセル電流計測、AC インピーダンス計測を長期間にわたり実施した。その結果、博多港の栈橋上部工においては、腐食に対して健全であることを平衡論および速度論的に確認した。また、海水シャワー場に暴露した試験体においては、自然電位と腐食速度との間に負の関係が見られ、8 年目の計測では防錆剤の有無に関係なくいずれの判定基準によっても『腐食あり』と判定された。

2) マクロセル電流密度と AC インピーダンス計測から求めた腐食速度との間には、直線関係が認められた。この関係式を用いることにより、センサのマクロセル電流計測から比較的精度の高い腐食速度の推定が可能になるものと考えられる。今後は、データの数を増やし、関係式の信頼性を向上させることが必要である。

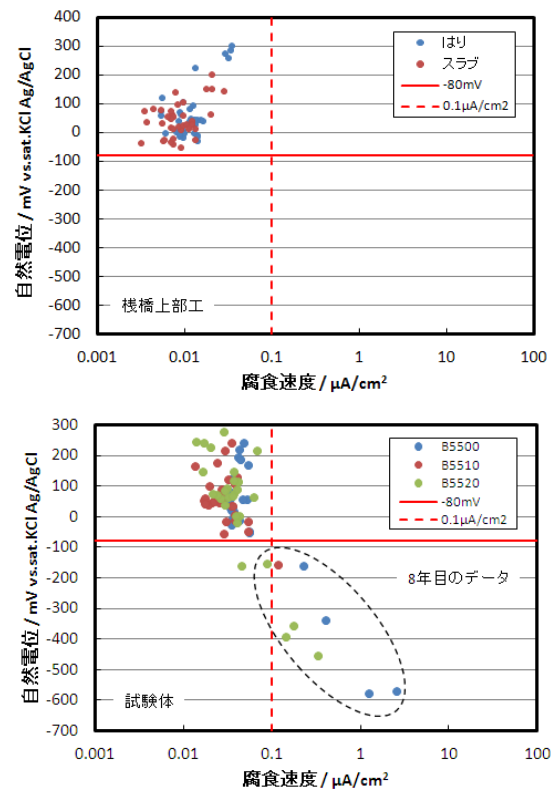


図-1 自然電位と腐食速度の関係

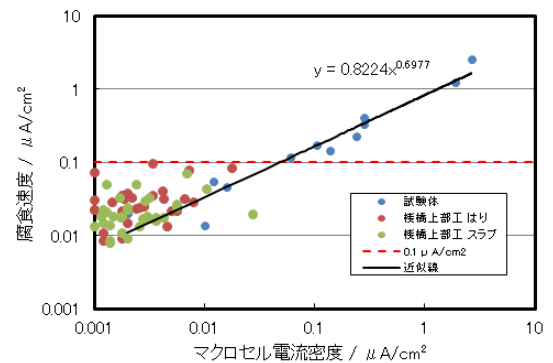


図-2 マクロセル電流密度と腐食速度の関係

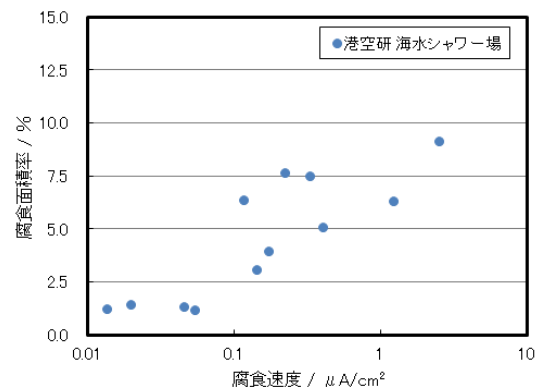


図-3 腐食速度と腐食面積率の関係