

## 栈橋上部工に埋設された梯子状センサによる鉄筋腐食の長期モニタリング

(株)ナカボーテック (元：港湾空港技術研究所 材料研究グループ) 正会員 ○田土 弘人  
 港湾空港技術研究所 材料研究グループ 正会員 西田 孝弘  
 港湾空港技術研究所 材料研究グループ長 正会員 山路 徹

### 1. はじめに

コンクリート構造物中の鉄筋の腐食環境をモニタリングする手法として、梯子状センサがある。梯子状センサは炭素鋼とステンレス鋼を対にしたものであり、両者に流れるマクロセル電流を測定し、コンクリート中铁筋の腐食環境の変化を把握するものである。既報<sup>1)</sup>では、約15年経過後の結果を報告したが、本論は約18年経過後の結果を報告するものである。また、実構造物中の鉄筋の測定結果も併せて報告する。

### 2. 試験方法

梯子状センサの概要を図-1に示す。本センサは $\phi 9\text{mm}^2$  (表面積 $5\text{cm}^2$ ) のSS400とSUS316Lを対として一体形成したものであり、一定の間隔で4段に配置されたものである。対になった鋼材間に流れるマクロセル電流の経時変化を計測することによって、鉄筋腐食環境の変化をモニタリングするものである。本センサは図-2に示すとおり博多港の栈橋上部工(梁および床版)に設置され、約18年が経過している。なお、博多港はH.W.L.+2.16mであり、センサは栈橋上部工の躯体内(梁底面付近+2.50m付近、床版底面付近+3.45m付近)に埋設されている。栈橋上部工のコンクリートの配合およびセンサの埋め込み深度は表-1のとおりである。なお、本構造物は、鉄筋の防錆対策としてコンクリートに防錆剤(主成分は亜硝酸カルシウム)が添加されている。

また、梯子状センサSS400とSUS316Lとの間のマクロセル電流はゼロ抵抗電流計にて短絡開始から1分程度の安定した後計測した。次に、マクロセル電流の比較として、SS400のACインピーダンスを測定し腐食速度を求めた。測定は3電極(照合電極:MnO<sub>2</sub>, 作用極:SS400, 対極:SUS316L)で行った。測定周波数として高周波数10Hz, 低周波数20mHz, 振幅 $\pm 10\text{mV}$ とした。また、センサの計測と併せて実鉄筋の自然電位も経時的に測定した。

### 3. 試験結果

#### 3.1 実鉄筋とセンサの自然電位の経時変化

栈橋上部工の実鉄筋の自然電位の経時変化を図-3に、センサの深度別自然電位の経時変化を図-4に示す。また、自然電位は海水塩化銀照合電極に換算して示した。約18年経過後の実鉄筋及びSS400の自然電位はいずれの部材(梁, 床版)においても $-135\text{mV}$  (vs SSE[海水])以上を示しており、ASTM C867の判定において「90%以上の確率で腐食なし」と判定された。また、栈橋上部工の実鉄筋(梁部かぶり厚さ約9cm, 床版部かぶり厚さ約7cm)の自然電位は経時的に梁部では卑な方向(-側)に変化し、床版部ではほぼ変化が見られない。センサの自然電位においても床版部では変

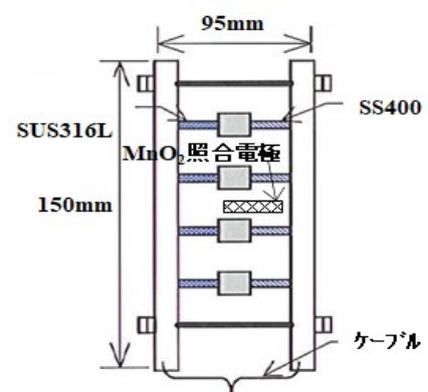


図-1 梯子状センサの概要

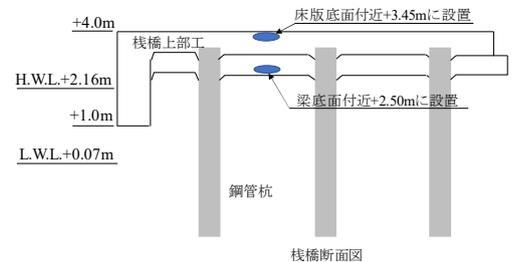


図-2 センサ設置位置図

表-1 栈橋上部工コンクリートの配合

	部材	W/C		単用量(kg/m <sup>3</sup> )				防錆剤 L/m <sup>3</sup>	センサの埋め込み深さ cm
		%	W	C	S	G			
栈橋上部工	梁	53.5	165	308	758	1064	10	4, 6, 8, 10	
	床版							4, 5.5, 7, 9	

キーワード 塩害 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 東京都中央区新川2-5-2 (株)ナカボーテック事業開発部 TEL: 03-5541-5827

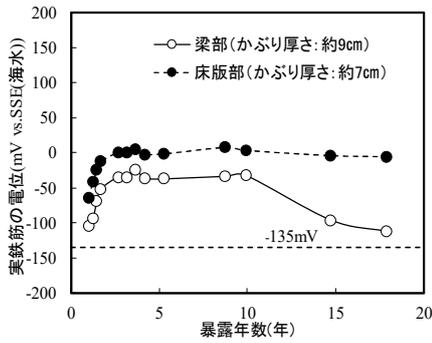


図-3 実鉄筋の自然電位経時変化

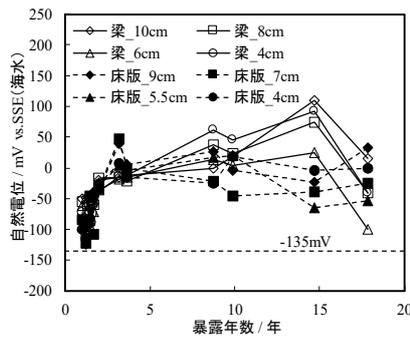


図-4 センサの自然電位経時変化

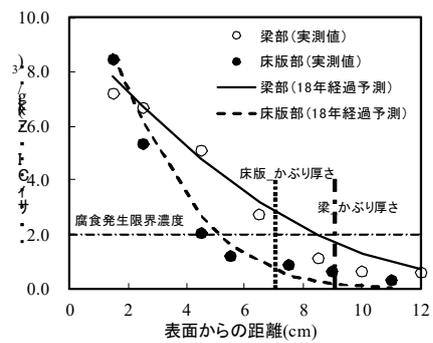


図-5 全塩化物イオン濃度予測結果

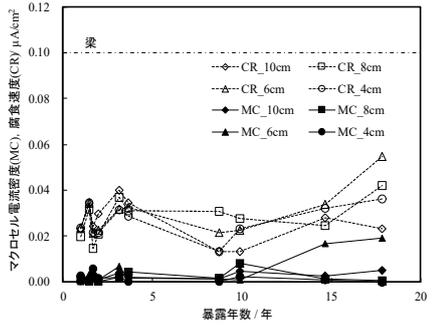


図-6 梁部設置センサのマクロセル電流密度と腐食速度経時変化

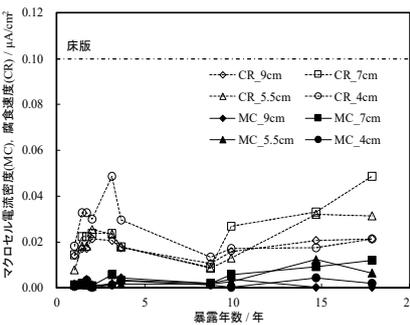


図-7 床版部設置センサのマクロセル電流密度と腐食速度経時変化

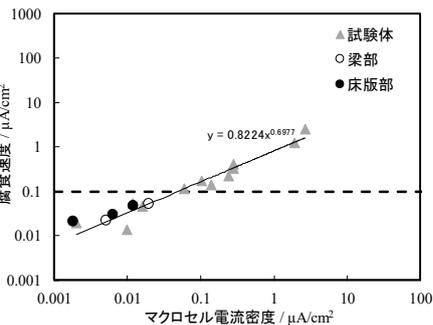


図-8 暴露試験体と栈橋上部工のマクロセル電流密度と腐食速度の関係

化が小さいが、梁部では経時的に卑な方向に変化する結果になった。ここで、約15年経過後にセンサ近傍から採取されたコンクリートコアの全塩化物イオン濃度の分析結果を約18年経過後の全塩化物イオン濃度分布を予測して図-5に示す。実鉄筋およびセンサは腐食環境にはないが、コンクリート中の塩化物イオン濃度分布等の環境変化を敏感に捉えている可能性が示唆された。

### 3. 2 マクロセル電流密度と腐食速度の経時変化

栈橋上部工における深度別のマクロセル電流密度および腐食速度の経時変化を図-6に梁部、図-7に床版部を示す。その結果、腐食速度は、いずれの部位においても $0.1 \mu A/cm^2$ 以下を示しており、CEBの判定により「腐食なし」と判定された。また、マクロセル電流密度においてもいずれの部位においても $0.02 \mu A/cm^2$ 以下と小さな値を示した。なお、港空研にて実施した海水シャワー場での暴露10年間の結果、試験体のマクロセル電流密度と腐食速度の関係は直線関係にあることを確認している。<sup>2)</sup>ここに栈橋上部工の測定結果をプロットした結果を図-8に示す。腐食速度とマクロセル電流密度はいずれも $0.1 \mu A/cm^2$ 以下と小さいもののシャワー場の暴露試験による近似直線付近の値を示していた。実構造物においても、マクロセル電流によって腐食環境の変化を捉えている可能性が示唆された。今後は、センサをコンクリート中より取出し、実際の腐食速度とマクロセル電流との関係を比較することによって、実構造物における関係性を評価することが必要であると考えられる。

### 4. まとめ

栈橋上部工中に埋設した格子状センサを用いて自然電位、マクロセル電流、腐食速度および実鉄筋の自然電位を計測した。その結果、約18年間の長期にわたり、実構造物の鉄筋は腐食環境にないことを確認するとともに実構造物においてもセンサにより環境変化を捉えている可能性が示された。

### 参考文献

- 1) 田土弘人, 山路徹, 染谷望, 小林浩之: 第64回材料と環境討論会講演集, B-113, 2017
- 2) 小林浩之, 山路徹, 審良善和: 土木学会年次学術講演会講演概要集, V-379, 2013