

塩害環境下において長期供用された RC 桁の鋼材腐食・塩分量調査結果

九州大学 学生会員 池之平 勉 九州大学大学院 学生会員 森川 亮太
九州大学大学院 正会員 濱田 秀則 九州大学大学院 正会員 佐川 康貴

1. はじめに

S 橋は、九州北部の日本海側に位置する RC 海上橋であり、側面のうち一方は日本海に面し（外海側）、他方は内海に面している（内海側）。本橋は昭和 7 年に架設され、昭和 42 年には活荷重の増加に伴い、桁の断面増厚（セメントモルタル）および主鉄筋の追加による補修・補強が行われた。写真-1 に桁断面の状況を示す。昭和 49 年には、PC 橋が併設され、PC 部が車道として、RC 部が歩道として用いられてきたものの、劣化が著しく、供用約 80 年で解体された。本研究では、S 橋解体桁を用いて電気化学的手法による非破壊試験およびはつり調査を行うことにより、供用 80 年を経た実構造物の鋼材腐食について調査した。

2. 試験項目および測定箇所

非破壊試験は、携帯型腐食診断器（（株）四国総合研究所製 SRI-CM-III）を用い、照合電極に飽和銀/塩化銀電極を用いて、自然電位と分極抵抗を測定した。なお、測定前日に桁を湿布で覆い、測定中も随時散水し、コンクリートを湿潤にした状態で測定を行った。また、ブレーカーにより桁表面のモルタルをはつり取り後、鉄筋の目視観察および丸鋼について直径の測定を行うとともに、JIS A 1154「硬化コンクリート中に含まれる塩化物イオンの試験方法」に従い、全塩化物イオン濃度を測定した。

図-1 に示す歩道部 RC 橋の長さ 1m の供試体を用いた。各試験は橋梁下部のモルタル部分について行った。非破壊試験は、内海側の異形棒鋼（以下「内海異形」）、外海側の異形棒鋼（以下「外海異形」）、および丸鋼 2 本（以下「外海中段丸鋼」、「外海上段丸鋼」）の計 4 本を対象として行った。測点は、それぞれ 10cm 程度の間隔で微細ひび割れを考慮して選定した。はつり調査後には、鉄筋を外海異形、外海中段丸鋼、および外海上段丸鋼の計 3 本を採取した。また、塩化物量試験の試料として、桁側面および桁下面からコアを採取した。

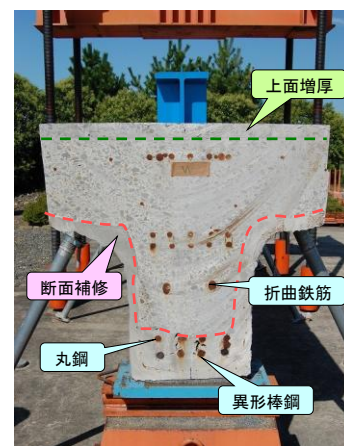


写真-1 解体桁断面状況

3. 実験結果および考察

図-2 に飽和硫酸銅電極(CSE)の電位に換算した自然電位の測定結果を示す。図-2 中の破線は ASTM C 876 による判定基準線を示している。ASTM C 876 によると、丸鋼は全て「90%以上の確率で腐食無し」と判定され、異形棒鋼は全て「不確定」と判定された。両側面の異形棒鋼を比べると外海側の方が自然電位は卑（一）となり、内海側より外海側の方が腐食の進行が速いと考えられる。また、外海側の丸鋼と異形棒鋼を比べると異形棒鋼の方が自然電位は卑となり、異形棒鋼の方が丸鋼より自然電位が卑となった。

図-3 に分極抵抗の測定結果を示す。図-3 中の破線は CEB による判定基準線を示している。CEB の判定基準によると、ほぼ全ての箇所で $130\text{k}\Omega \cdot \text{cm}^2$ より高い値を示し、「不動態状態（腐食無し）または極めて遅い腐食速度」と判定された。

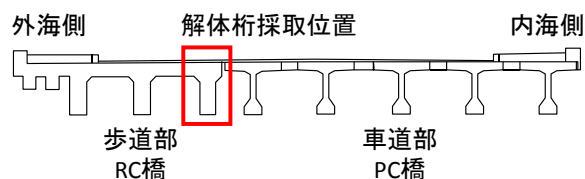


図-1 解体桁採取位置

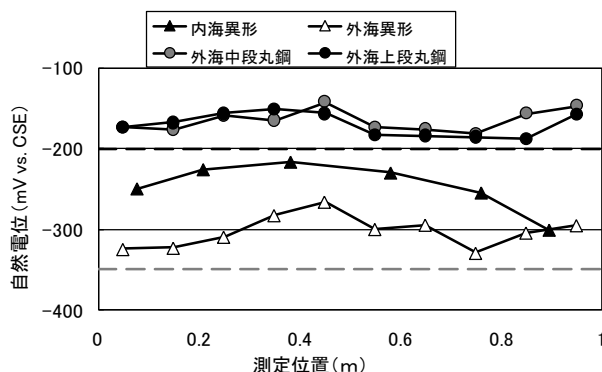


図-2 自然電位の測定結果

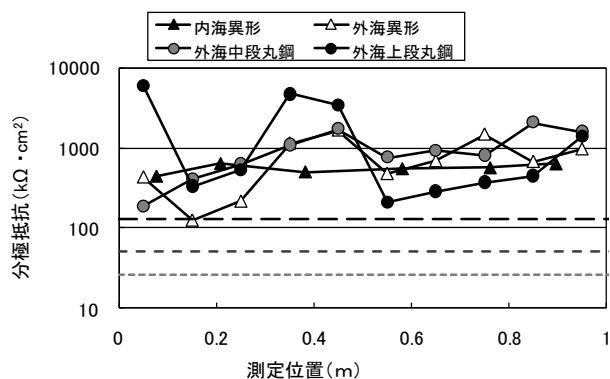


図-3 分極抵抗の測定結果

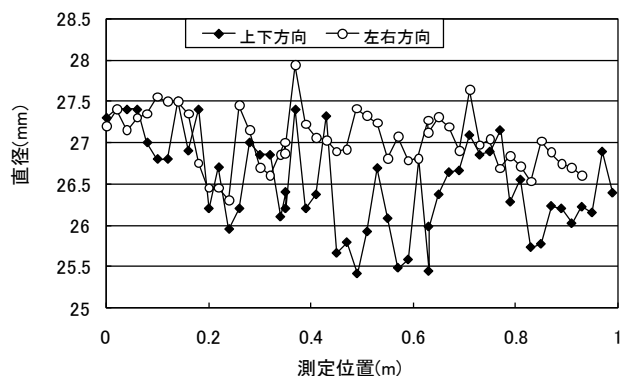


図-4 中段丸鋼の直径計測結果

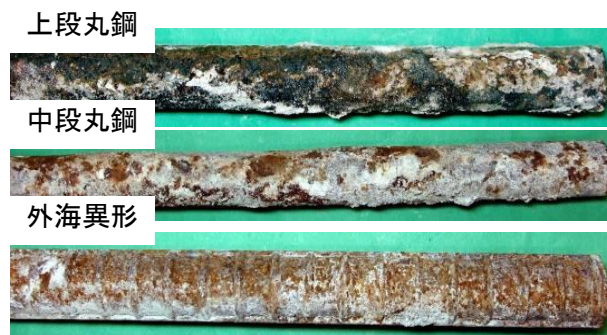


写真-2 鉄筋の腐食状況

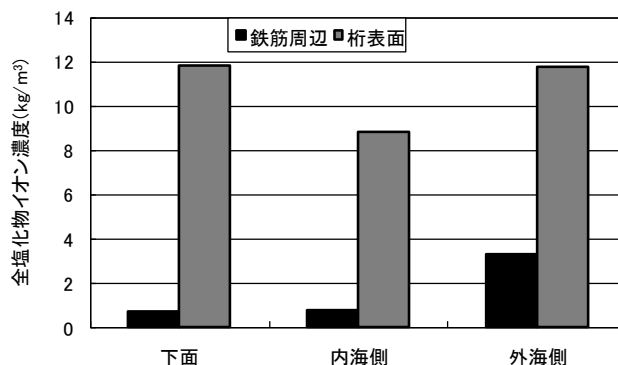


図-5 モルタルの全塩化物イオン濃度

写真-2 に鉄筋の腐食状況を示す。自然電位の測定結果より、異形棒鋼より丸鋼が腐食していると考えられ、さらに、分極抵抗の測定結果より、不動態被膜が存在していると考えられる。しかしながら、腐食のグレードと鋼材の状態¹⁾によると、異形棒鋼は「部分的に浮きさびがあるが、小面積の斑点状である。」と判定され、丸鋼は「断面欠損が生じている。」と判定され、丸鋼において実際の腐食状況と非破壊試験の判定が異なる結果となった。鉄筋が不動態状態にある時はアノード反応が抑制され、この時の腐食電流は極めて小さく、腐食速度は無視できるほどであり、実際の自然電位と比べて高い値を示す事が分かっている。このことから、丸鋼は断面補修によって再び不動態被膜が形成されたと考えられる。

図-4 に中段丸鋼の直径分布を示す。測定は、クエン酸水素二アンモニウムにより腐食部を取り除いた後にノギスを用いて行った。水平方向より鉛直方向の直径が小さくなり、上段丸鋼においても同様の傾向が見られた。建設当時の丸鋼の製造精度は不明ではあるが、鉄筋の左右方向よりも上下方向の断面減少の方が大きいと考えられる。

図-5 にモルタルの全塩化物イオン濃度を示す。本調査では、桁表面(表面～2cm の平均)および鉄筋周辺(下面は 11cm, 桁側面は 9cm)の全塩化物イオン濃度を求めた。コンクリート表面の塩化物イオン濃度は、内海側の塩化物イオン濃度が小さく、下面と外海側からの塩化物イオン濃度が大きくなった。また、鉄筋周辺の塩化物イオン濃度は、外海側の塩化物イオン濃度が高くなった。

4. 結論

- (1) 丸鋼において、非破壊試験では腐食無しと判定されたが、実際には腐食が認められた。この腐食は、断面補修を実施する以前に発生していたと推察される。
- (2) 丸鋼において、鉄筋の直径を計測した結果、左右方向よりも上下方向の断面減少が大きい傾向が認められた。
- (3) 桁の下面と外海側において表面の塩化物イオン濃度が高くなり、特に外海側では鉄筋周辺の塩化物イオン濃度も高くなった。

【参考文献】1) 土木学会：2007 年制定コンクリート標準示方書[維持管理編]，p.109，2007.3