

橋脚を模擬した鉄筋コンクリート供試体の鉄筋腐食状況に関する研究

Study on Steel Bar Corrosion State of concrete test specimen modeled on Bridge Pier

苫小牧工業高等専門学校 環境都市工学科 ○学生員 鈴木健太 (Kenta Suzuki)
 苫小牧工業高等専門学校 創造工学科 都市・環境系 正員 渡辺暁央 (Akio Watanabe)
 苫小牧工業高等専門学校 創造工学科 都市・環境系 正員 廣川一巳 (Kazumi Hirokawa)

1. 序論

北海道のような積雪寒冷地域では、車両の安全な走行を確保するために、凍結防止剤が散布されている。凍結防止剤の主な成分は塩化物である NaCl などであるため、塩化物イオンが含まれた水が伸縮装置部から橋脚や橋台の壁面に流出し、コンクリートの塩害を引き起こしている。凍結防止剤含んだ水が流出する箇所は限られているため、局所的範囲で塩化物イオンの浸透が大きくなり、鉄筋コンクリート内部の鉄筋が腐食し、ひび割れにつながる。それ故、構造物における塩化物イオンの浸透性を理解し鉄筋の腐食を理解することが重要である。

コンクリート内部の鉄筋の腐食は、マクロセル腐食とミクロセル腐食に大別される。このうちマクロセル腐食とは、アノードとカソードが異なる箇所に位置する腐食を指し、ミクロセル腐食とはアノードとカソードが同じ箇所に位置する腐食を指す。

本研究では、既往の研究¹⁾で立証されたコンクリート供試体内の鉄筋の腐食速度推定法を利用し、凍結防止剤を含む漏水の流出を受ける橋脚・橋台内の鉄筋の腐食量の分布および腐食速度の推定を実験的に行うことを目的とする。

2. 実験方法

2.1 分割鉄筋の作製及び供試体の打設

各要素の長さが 10mm の分割鉄筋を作製した。図-1 に示すように、高さ 600mm×幅 400mm×厚さ 100mm の寸法で W/C=55%のコンクリートを打設した。塩化物イオン濃度を調整することで、供用年数の差による鉄筋の腐食量の違いを見るため(a)と(b)の供試体を作製した。打設後一週間の湿潤養生を行った後、一か月間屋内に放置した。

その後、供試体の型枠脱型面(600mm×400mm の面)の半分は塩水を流下させる装置を作製した。供試体型枠は、メタルフォームを使用し、塩水の流下面は 600mm×200mm のメタルフォームを連結させて、塩水流下境界を型枠継ぎ目と一致させることにより、供試体の半分のみ流下するようにした。なお、配合は表-1 に示すとおりである。

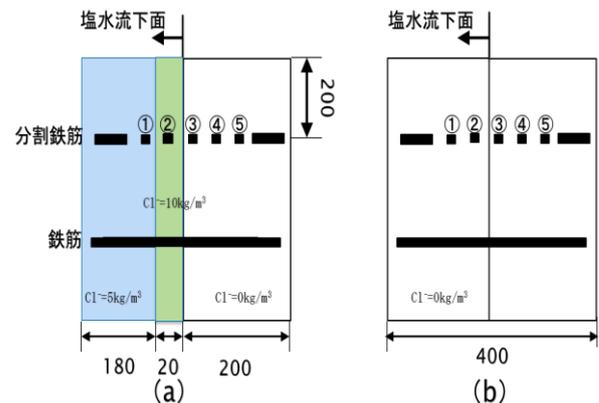


図-1 作製した供試体

表-1 コンクリートの配合

W/C (%)	s/a (%)	スランプ (%)	空気量 c m	単位量 (k g / m ³)				
				セメント	水	細骨材	粗骨材	AE 減水剤
55	41	8	5	250	138	817	1189	2.5

2.2 塩水流下試験

現場における漏水の流出を想定し塩水流下試験を実施した。塩水はポンプを用いて循環させ、 1.0 ± 0.1 リットル/min の流量を流下させた。流下頻度は、1日塩水流下と6日間の放置(室内での自然乾燥)を1サイクルとした。今回の実験で流下させる塩水の濃度は 3.5%と設定した

2.3 鉄筋の腐食量

既往の研究¹⁾より、鉄筋の腐食量および腐食速度の推定のため鉄筋内を流れるマクロセル電流、ミクロセル電流を無抵抗電流計により測定を行い、それぞれを要素の表面積で除すことで電流密度とした。

2.3.1 マクロセル電流の測定

次式によって各要素のマクロセル電流密度を求める。

$$a = \frac{A_{i-1,i} + A_{i+1,i}}{S_i}$$

ここに、

S_i : 鉄筋要素 i の表面積(cm^2)

$A_{i-1,i}$: 鉄筋要素 $i-1$ から i に流入する腐食電流(μA)

$A_{i+1,i}$: 鉄筋要素 $i+1$ から i に流入する腐食電流(μA)

2.3.2 ミクロセル電流の測定

鉄筋要素の分極抵抗 R_c を、周波数応答解析装置 FRA を用いた腐食モニタリングにより求めた。求められた分極抵抗より次式によってミクロセル電流密度を求める。

$$b = \frac{K}{R_i \times S_i}$$

ここに、

R_i : 鉄筋要素 i における分極抵抗($\Omega \cdot \text{cm}^2$)

K : 定数(本研究では、文献²⁾を参考にし、 0.0209V)

S_i : 鉄筋要素 i の表面積(cm^2)

2.3.3 腐食形態の評価法

マクロセル電流密度とミクロセル電流密度の合計である総腐食電流密度が $100\mu\text{A}/\text{cm}^2$ は、腐食速度が $1.16\text{mm}/\text{年}$ に相当する。

2.4 塩化物イオン量測定試験

塩化物を含む供試体にひび割れが生じ、総腐食電流密度からも腐食が確認されたため、供試体の解体を行い深さ方向の塩分濃度の差による腐食量を調べるため、JIS A 1154:2012 硬化コンクリート中に含まれる塩化物イオンの電位差推定法より、塩化物イオン量測定試験を行った。なお、試料は、コンクリート供試体の深さ 2cm、4cm、6cm、8cm ごとにドリル法によって試料を採取する。

3. 結果および考察

3.1 塩水流下試験結果および考察

各鉄筋要素における総腐食電流密度を図-2 に塩化物を含む供試体、図-3 に含まない供試体の結果を示す。

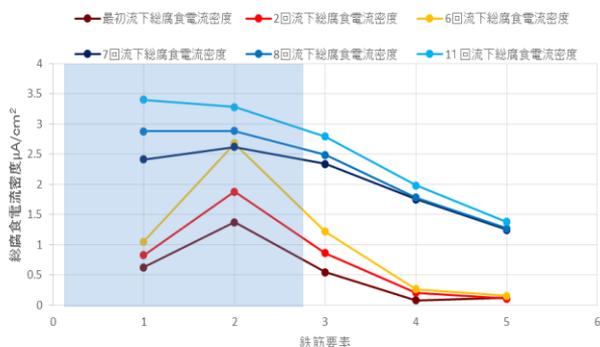


図-2 塩化物を含む供試体の総腐食電流密度の推移 (6回流下と7回流下の間には3カ月間の放置期間がある。)

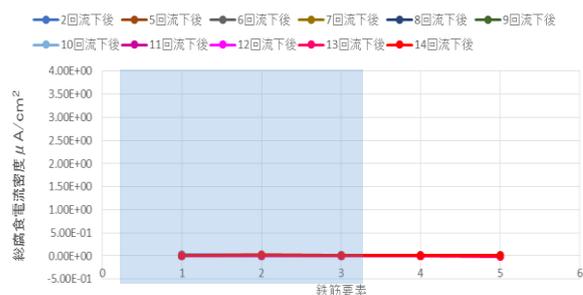


図-3 塩化物を含む供試体の総腐食電流密度の推移

グラフは、横軸に鉄筋要素、縦軸に総腐食電流密度を示し、水色部分は塩水流下を表している。また、本研究は引き継ぎ研究であるため3カ月の期間が空いてしまった。

図-2 より塩化物を含む供試体では、流下面では腐食が激しく乾燥面では比較的腐食量が小さいことがわかる。これは塩水の浸透による塩分濃度の差によるものだと考えられる。また、既往の実験³⁾と比較すると、鉄筋要素4,5番にも腐食が見られた。これは、流下面と乾燥面との塩分濃度差によるマクロセル腐食が起きているためだと考えられる。

図-3 に示す塩化物を含まない供試体では、塩化物イオン濃度を増加させていないため、腐食の増加は起きていない。よって塩化物イオン濃度を増加させずに本試験を行う場合は、腐食の増加を得るまでに長い期間が必要であると考えられる。

3.2 塩化物イオン量測定試験結果および考察

資料採取位置を図-4 に示す。

グラフは横軸に深さ、縦軸に塩分濃度をとる。塩水流下面である塩化物を混ぜている面では、深さ方向では塩分濃度に差はあまり見られなかった。比較的表面

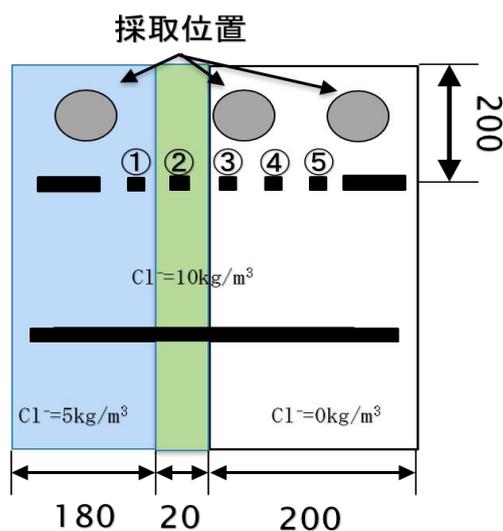


図-4 塩化物を含む供試体における試料採取位置

に近い2,4cmでは塩水の浸透によって濃度が増加している。

塩水流下境界面では、深さが深くなるほど塩分濃度が薄くなっていることがわかる。また、2~4cmでは鋼材の腐食が始まる $1.2\text{kg}/\text{m}^3$ に達していることを示した。

塩水を流下させていない乾燥面では、まったく塩水の浸透が見られなかった。

塩水流下試験と比べると総腐食電流密度が大きい部分では塩分濃度が高いことが確認できる。乾燥面では、濃度に変化は見られなかったが総腐食電流密度はやや腐食を示している。これは、マクロセル腐食により、塩化物イオンの影響が広い範囲まで腐食が進行していることが考えられる。

塩化物イオン濃度を図-5に示す。

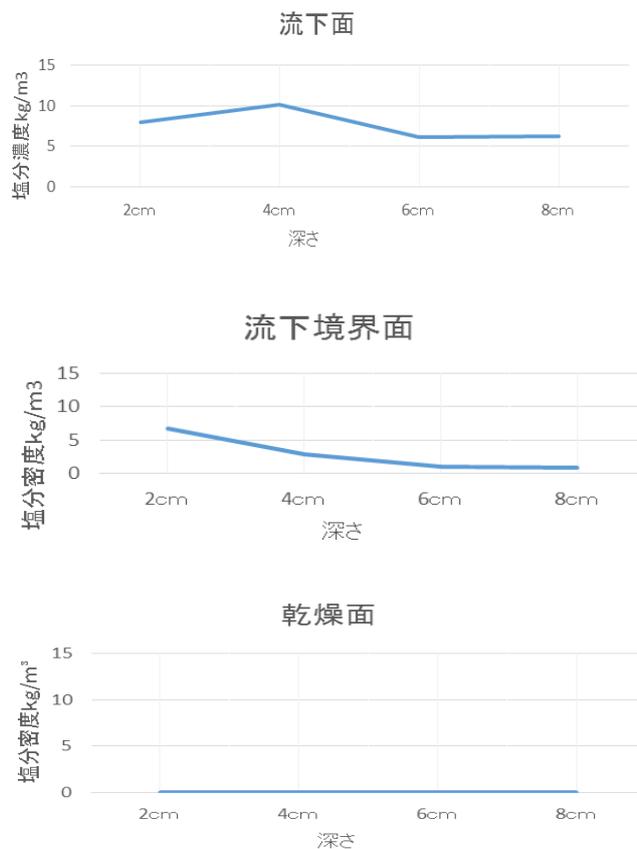


図-5 採取場所別塩化物イオン濃度実験結果

4. まとめ

本研究では、凍結防止剤を含む漏水が橋脚等に浸透することを想定して鉄筋の腐食量の推定を行った。結果をまとめると以下ようになる。

- (1) 塩化物イオン濃度を増加させると鉄筋の腐食進行が速くなる。
- (2) 塩化物イオン濃度の違う領域にある鉄筋要素間でマクロセル腐食が発生する。
- (3) 塩化物イオン濃度を増加させなかった供試体については、より長期の実験が必要となる。
- (4) 塩分濃度については、流下面（塩化物を含む）では深さ方向の濃度に大きな変化は見られなかった。

流下境界面では、深くなるにつれ塩分濃度が薄くなっていることが確認できた。

参考文献

- 1) 宮里心一, 大即信明, 小長井彰祐: 分割鉄筋を用いたマクロセル電流測定方法の実験的・理論的検討、コンクリート工学年次論文報告集, Vol.23, 552 (2001)
- 2) 水流徹, 前田龍, 春山志郎: 交流法腐食モニターの局部腐食への適用、防食技術, Vol.28, 638 (1979)
- 3) 附柳天馬: 凍結防止剤を含む漏水を想定したコンクリート供試体内の鉄筋の腐食進行に関する研究, 土木学会北海道支部 論文報告集 第73号 E-24 (2016)