

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

Study on corrosion progression of rebar in concrete specimen assuming water leakage including cryoprotectant

苫小牧工業高等専門学校 環境都市工学科 ○学生員 附柳天馬 (Temma Tsukeyanagi)
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. はじめに

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。凍結防止剤の主成分は塩化物である NaCl や CaCl_2 などであり、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する。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、塩害に繋がる。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. 実験概要

橋脚・橋台を模した供試体を作製し、凍結防止剤を含む漏水を想定した塩水を流下する事で、漏水の流出を再現し、鉄筋の腐食量の分布と腐食速度の推定を行った。

2.1 供試体の種類

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、図-2 に示すように、供試体の型枠脱型面(600mm×400mm の面)の半分に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、供試体の半分に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。

2.2 塩水流下試験

現場における漏水の流出を想定し、本研究では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。

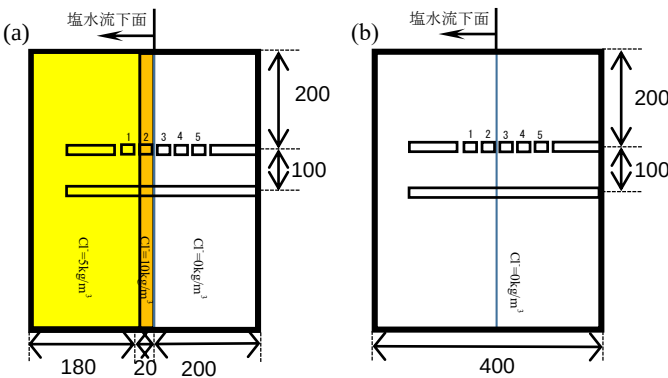


図-1 作製した供試体

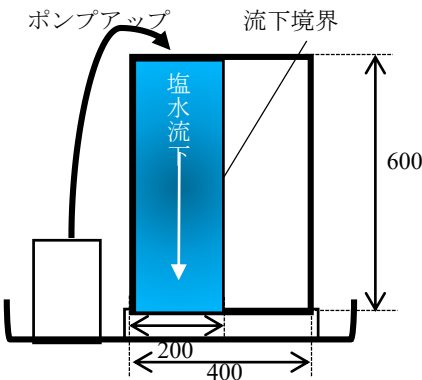


図-2 実験装置概要

表-1 コンクリートの配合

W/C (%)	s/a (%)	スランプ (cm)	空気量 (%)	単位量(kg/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

2.3 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には、鉄筋内を流れるマクロセル電流とミクロセル電流を測定する必要がある。各電流測定のため、コンクリート供試体内部に埋設される鉄筋を分割し、マクロセル電流とミクロセル電流を測定した。

(1) マクロセル電流の測定

異なる分割鉄筋要素の間に無抵抗電流計を介する事で、ある分割鉄筋要素に流入する電流を測定し、その合計をマクロセル電流とした。この電流を鉄筋要素の表面積で除することによりマクロセル電流密度とした。ある鉄筋要素 i のマクロセル電流密度 a_i ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$) の算定式を式(1)に示す。

$$a_i = \frac{A_{i-1,i} + A_{i+1,i}}{S_i} \quad (1)$$

ここで、 $A_{i-1,i}$ ：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)、 S_i ：鉄筋要素 i の表面積 (cm^2)

(2) ミクロセル電流の測定

鉄筋要素の分極抵抗を、周波数応答解析装置 FRA を用いた交流インピーダンス法により求めた。求めた分極抵抗からミクロセル電流を算定した。ある鉄筋要素 i のミクロセル電流密度 b_i ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$) の算定式を式(2)に示す。

$$b_i = \frac{K}{R_i \times S_i} \quad (2)$$

ここで、 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)

(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。

3. 結果と考察

各分割鉄筋要素の、流下サイクルと推定される腐食速度の関係を、塩化物イオン濃度を増加させた供試体について図-3 に、塩化物イオン濃度増加させていない供試体について図-4 に示す。

グラフは、横軸に分割鉄筋の要素番号を示し、縦軸に推定される鉄筋の腐食速度を示している。図-3 において、塩化物イオン濃度が $5\text{kg}/\text{m}^3$ の部分を薄黄色、 $10\text{kg}/\text{m}^3$ の部分を薄橙色で示しており、図-3、図-4 ともに塩水の流下域を水色で示している。

図-3 より、塩化物イオン濃度が $10\text{kg}/\text{m}^3$ になっている領域に存在する要素 2 番の腐食速度の増加が最も大きく、隣接していて、塩化物イオン濃度が $5\text{kg}/\text{m}^3$ になっている要素 1 番がその次に大きい。塩化物イオン濃度を増加させていない領域の中で塩水流下域との境界に最も近い要素 3 番がその次に大きく、要素 4、5 番にみられるように塩水流下域の境界から離れるにつれて腐食速度の変化が小さくなっているのがわかる。

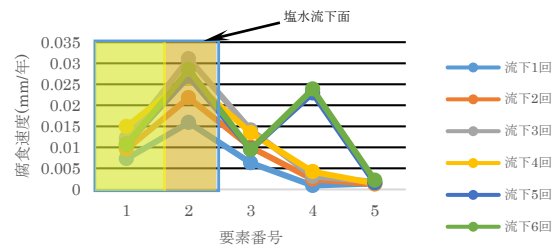


図-3 塩化物イオン濃度を増加させた供試体の腐食速度の推移

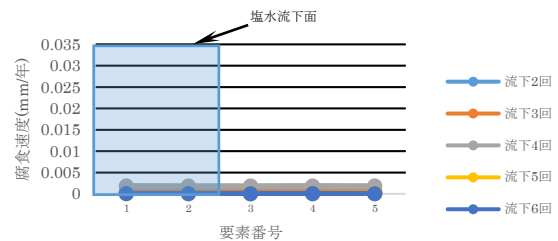


図-4 塩化物イオン濃度を増加させていない供試体の腐食速度の推移

図-3 において、塩化物イオン濃度が高い領域にある要素 1 番と 2 番の腐食速度が増加するのはミクロセル腐食によるものと考えられ、塩化物イオン濃度が高くない領域にある要素 3 番と 4 番の腐食速度が増加するのは、マクロセル腐食によるものと考えられる。また、塩水流下境界は毛細管現象等により 1cm 程度広がっていくためマクロセル腐食が発生する範囲は広がっていくと考えられる。

図-4 では、塩化物イオン濃度を増加させていないため、腐食速度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、腐食速度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。

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速度推定を行った。結果をまとめると以下になる。

- (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。

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，pp547-552 (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，pp638-644 (1979)