

環境要因と構造物各部位における鉄筋腐食の関係

新潟大学大学院 自然科学研究科 学生会員 ○小平一徳
新潟大学 社会基盤工学プログラム 学生会員 本間美海
新潟大学 正会員 佐伯竜彦
新潟大学 正会員 齋藤豪

1. はじめに

鉄筋コンクリートの主な劣化原因は内部鉄筋の腐食である。腐食の進行は水掛かりによるコンクリート内部の含水状態の変動や、温度、湿度の変動など様々な環境要因によって左右される。しかし、環境要因及びその変動が鉄筋腐食に及ぼす影響を定量的に評価した研究は少なく、実構造物において環境要因の影響を受け、経時的に変化する腐食電流を長期にわたって正確に把握することはできていなかった。

そこで本研究では実構造物を模した大型供試体を作製し、内部温度、水掛かり及び各部位における腐食電流の測定を経時的に行い、構造物各部位における環境要因の変化とそれが腐食電流に与える影響について考察した。

2. 実験概要

2.1 供試体概要

本研究で使用した供試体は 図1 及び 2 に示すように、T 桁橋梁、箱桁橋梁を模したコンクリート供試体である。

本供試体は普通ポルトランドセメントを用い、水セメント比は 50% とし、 $Cl^- = 5\text{kg/m}^3$ となるように NaCl をコンクリート練り混ぜ時に混入した。また左右でかぶり 5mm, 30mm とした。



図1 T 桁型供試体



図2 箱桁型供試体

2.2 環境要因及び腐食電流測定方法

(1) 腐食電流測定

供試体内部の腐食電流及び液抵抗の測定にはミニセンサ（マルイ製）を用いた¹⁾。ミニセンサを図2²⁾のように鉄筋表面にプラスチックベルト用いて固定し、計測を行った。

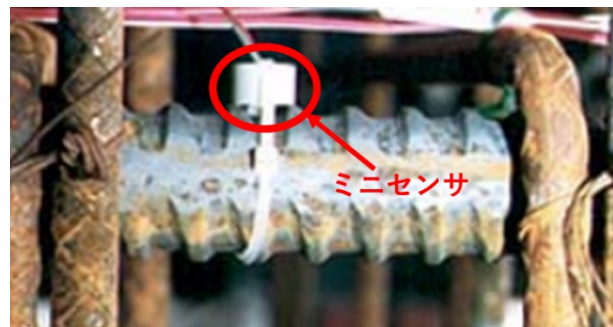


図3 ミニセンサ設置状況

測定にあたっては微弱電流を鉄筋に印加することによって鉄筋の分極抵抗とコンクリートの液抵抗をミニセンサによって計測し、計測された分極抵抗を式(1)に代入することで腐食電流を求めた。

$$I_{corr} = \frac{K}{R_p} \quad (1)$$

ここで I_{corr} : 腐食電流 (A/cm^2), K : 定数, R_p : 分極抵抗 (Ω) である。なお本研究では $K=0.026$ とした。

(2) 内部温度測定

内部温度の測定には熱電対を用いた。これを内

部鉄筋におけるミニセンサ設置位置に固定することで測定を行った。

(3)水掛かり評価

水掛かりの評価にはACMセンサを用いた。供試体各部位に貼り付けることで各部位における水掛かり時間を計測した。

(4)センサ，熱電対番号

以後本論文で用いるセンサ，熱電対番号と供試体各部位の関係は図4,5の通りである。今後本論文ではT桁供試体の1番センサはT①というように表記する。なお図には供試体各部位におけるかぶり厚さ(mm)を付記した。

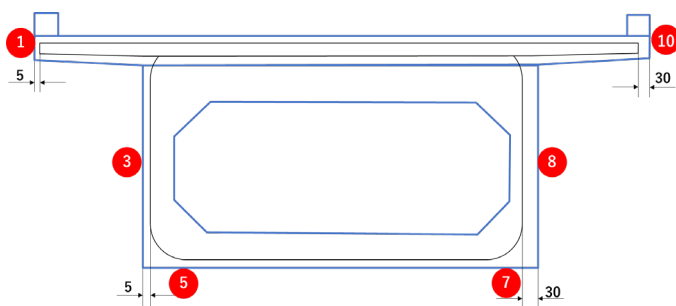


図4 箱桁センサ，熱電対番号

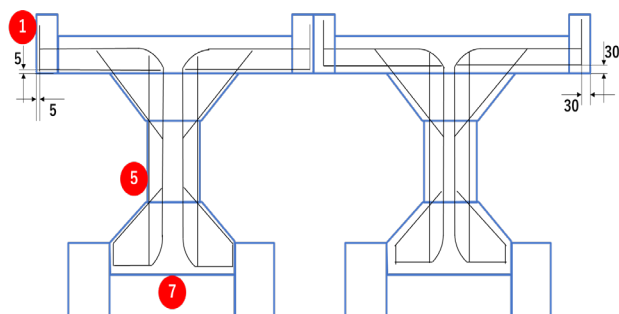


図5 T桁センサ，熱電対番号

3. 結果及び考察

3.1 温度の影響

測定の結果腐食電流の変動は供試体，部位に関わらず，内部温度と強い相関があることが確認された。一例として図6にT①における腐食電流と内部温度の測定結果を重ね合わせた結果を示す。図よりこれらの変動傾向が一致していることがわかる。このことから鉄筋腐食は内部温度の影響を強く受けることがわかる。

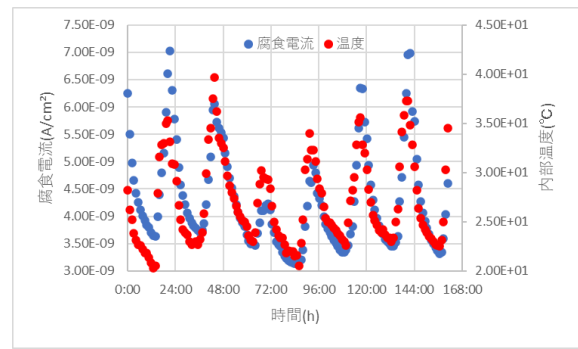


図6 腐食電流，内部温度測定結果

3.2 水掛かりの影響

鉄筋腐食の主な要因は水と酸素がコンクリート内部に侵入することである。そのため，基本的には含水率の上昇に伴って腐食電流は増大する。本研究では腐食電流と供試体に対する水掛かり，含水率の関係について考察した。

(1)温度補正

図6の通り，鉄筋の腐食はコンクリート中の内部温度に大きな影響を受ける。そのため本研究では，水掛かりの影響をより正確に把握するため，式(2)で求められる係数³⁾を計測された腐食電流に，式(3)で求められる係数を液抵抗にそれぞれ用いることで温度補正を行い，20°Cの値に換算した。

$$f_T = \exp \left\{ -\frac{E_a}{R} \left(\frac{1}{T_{cover}} - \frac{1}{T_0} \right) \right\} \quad (2)$$

ここで f_T :腐食電流温度補正係数， E_a :活性化エネルギー[J/mol]， R :気体定数[J/mol/K]， T_{cover} :鉄筋位置の内部温度[K]， T_0 :基準温度[K]である。なお鉄の活性化エネルギーは $E_a=50.0$ [kJ/mol/K]，基準温度は $T_0=293$ [K]とし一定値とした。

$$R_T = 2.5 \times 10^{-0.02T} \quad (3)$$

ここで R_T :液抵抗温度補正係数， T :内部温度[°C]である。

以後示す腐食電流，液抵抗は温度による補正をした値である。

(2)短期間における水掛かりの影響

図7に梅雨期間に測定した箱桁，T桁各部位における腐食電流の経時変化と，測定時の降水の様子を重ね合わせた結果の一例を示す。水掛かりがあった場合含水率が上昇し，それに伴い腐食電流の値も増大すると考えられていた。しかしこの結

果の通り本研究では、1週間程度の短期間においては水掛かりの有無による腐食電流の変動は確認されなかった。このことから短期間の降雨では水分が鉄筋まで到達せず腐食電流に大きな影響を与える含水率の変動は起きていないと考えられる。

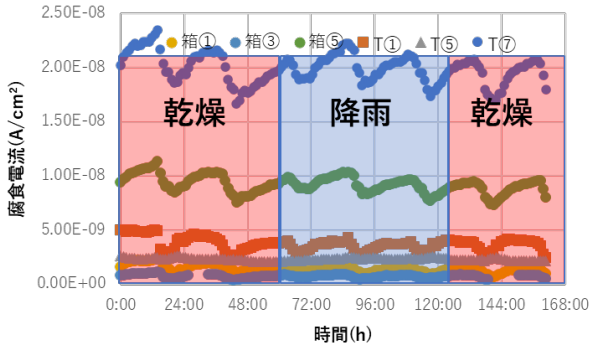


図7 箱桁, T桁供試体各部位における腐食電流経時変化及び降雨, 乾燥

(3) 長期間における水掛かりの影響

図8に7月初めから9月半ばにかけてのT桁各部位における腐食電流の変化と各週における降水量を重ね合わせた結果を示す。なお横軸に示す日付は各週月曜日の日付であり、腐食電流は月曜日から日曜日まで1週間に測定された腐食電流の平均値である。図より降水のほとんどない7/24から8/21にかけて腐食電流の値が小さくなり、降水量の増加する8/28日以降で大きくなっていることがわかる。この結果から水掛かりは、数か月単位の長期的な傾向においては、腐食電流に影響を及ぼすことが考えられる。

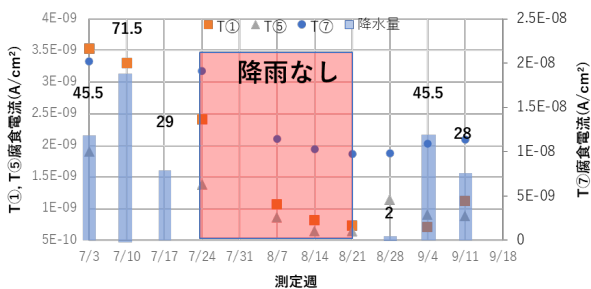


図8 T桁各部位における腐食電流の変化及び各週における降水量

ただし現状箱桁供試体においては図9に示すように長期的な測定においても水掛かりの影響は確認できていない。そのため今後も長期的な水掛か

りが腐食電流に与える影響について考察を進める必要がある。

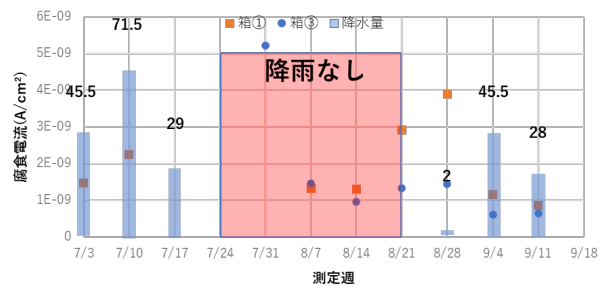


図9 箱桁各部位における腐食電流の変化及び各週における降水量

(4) 腐食電流と液抵抗の関係

既往の研究⁴⁾より液抵抗はコンクリート内部の含水率との間に負の相関があることがわかっている。そのため液抵抗と腐食電流の関係から含水率が腐食電流に与える影響を把握することができると考えられる。各部位における腐食電流と液抵抗の関係は図10のようになった。

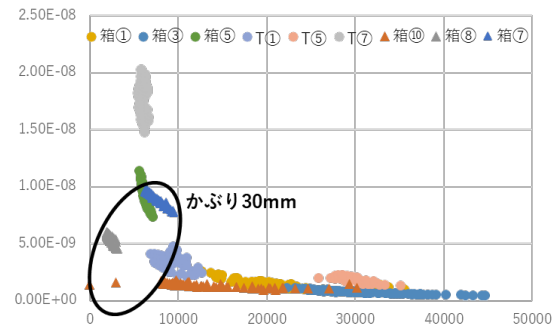


図10 箱桁, T桁各部位における腐食電流, 液抵抗の関係

図より液抵抗と腐食電流は部位, 供試体に関わらず一定の負の相関関係を持つことが分かった。以上よりかぶり5mmにおいては、腐食電流は液抵抗即ち含水率に依存するため、これを把握することで腐食電流を算出できることが示唆された。またかぶり30mmの場合は腐食電流が小さくなる傾向がみられた。これは酸素の影響が考えられるが今後検討する。

3.3 部位ごとの腐食電流の差

(1) 湿度の影響

図7~図10より箱⑤, T⑦の供試体の下部で腐食

電流が非常に大きくなっていることがわかる。これらの部位は水掛かりが少ないため実構造物においては腐食電流が小さくなると考えられるが、本研究ではその予想に反する結果が得られた。

この要因としては湿度の影響が考えられる。図11に温度補正をした箱①、箱③腐食電流と大気中の相対湿度を重ね合わせた結果を示す。図より腐食電流と湿度の間に強い相関があることが見て取れる。

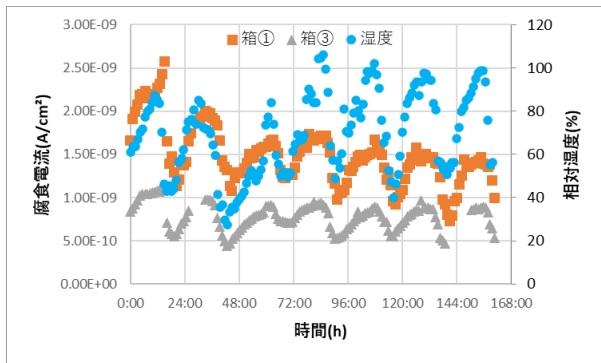


図 11 腐食電流, 湿度測定結果

ここで降雨時における箱桁供試体の様子を示す。図 11 より本供試体は実構造物と異なり降雨時、降雨後は路面から蒸発する水分の影響を受けることが考えられる。特に箱⑤は供試体の影になっている部分の為降雨後も高湿度に保たれ、その結果腐食が促進されている可能性がある。そのため、今後は各部位における湿度の測定を行い、腐食電流との相関関係を確認する必要がある。

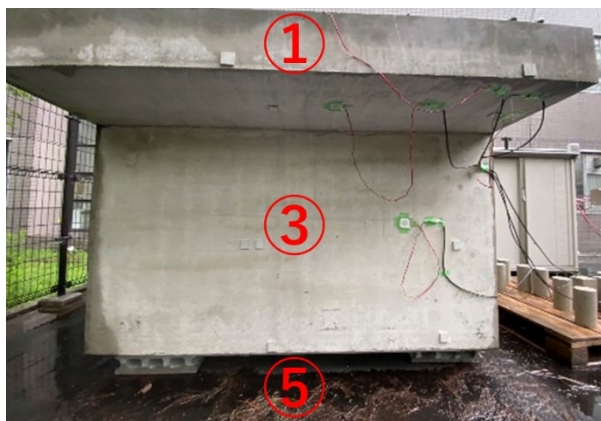


図 12 箱桁供試体各部位における水掛かり
(2)かぶりの影響

本研究では腐食電流に対するかぶりの影響も確認された。一例として箱桁型供試体におけるかぶ

り 5mm, 30mm の腐食電流比較結果を図 13 に示す。図よりかぶり 5mm の部位と比較して 30mm の部位は腐食電流の値が小さく、その変動範囲も小さくなっていることがわかる。

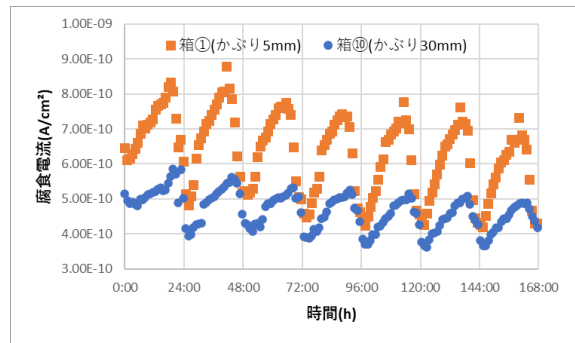


図 13 箱桁供試体におけるかぶりの影響

4. まとめ

- (1) 短期間においては内部温度が腐食に与える影響が大きいことが確認された。
- (2) 液抵抗と腐食電流の関係より、含水率と腐食電流には正の相関があることが確認された。
- (3) 実構造物に近い環境下においては、長期的な水がかりの傾向に従って含水率が変動し、それに伴って腐食電流が変化することが示唆された。
- (4) 湿度が腐食と腐食電流に間に強い相関があることが確認され、本研究においてはこれが測定結果に影響を与えている可能性が示唆された。
- (5) かぶりが厚い方が、腐食電流及び変動幅が小さくなることが確認された。

参考文献

- 1) 金光俊徳, 高谷哲, 山本悟, 竹子賢士郎, 山本貴士: Tafel 外挿法を用いた腐食モニタリングによる コンクリート中の鉄筋腐食進行評価, 材料と環境, 67, 298-303 (2018)
- 2) (財)日本建築総合試験所ホームページ
https://www.gbrc.or.jp/building_inspection/chosa/research2/
- 3) 渡邊一旭, 下村匠, 藤本憲宏, 笠原久稔, 鈴木崇伸: 温湿度作用の詳細予測に基づく通信用マンホールのコンクリート中鉄筋の腐食予測, 土木学会論文集 E2(材料・コンクリート構造), Vol.76, No.2, 78-88, 2020
- 4) 山本佳域, 舛田佳寛, 中村成春: 中性化したコンクリートの含水状態が鉄筋腐食に及ぼす影響, 日本建築学会構造系論文集, 第 576 号, 15-21, 2004 年 2 月