

可視化材料を用いた鉄筋の電食実験と分極反応領域の評価検討

東電設計株式会社 正会員 ○青木 宏明 正会員 高橋 秀明
横浜国立大学 フェロー会員 前川 宏一

1. 目的

地中構造物において塩化物イオンを含む地下水の流入に起因する塩害劣化や直流電気設備からの迷走電流による鋼材の電気腐食が問題となっている¹⁾。地中構造物は地盤に囲まれているため、地下水を含んだ地盤はそれ自身が電解質となり、電流の通り道となる可能性がある。マクロセル腐食や直流電気設備に伴う迷走電流は隣接する構造物に影響を及ぼす恐れがあり警戒を要する。そこで、本研究では地盤を含めた構造物の電気化学特性を目的とし、コンクリートの代わりに透明な可視化材料を使用した鉄筋の電食実験を実施した。

2. 可視化材料を用いた電食実験

本実験ではコンクリートの代替として、粘性と透明性を有する吸水性ポリマーを採用した。吸水性ポリマー材の粘性から、酸化反応によって発生する腐食生成物と還元反応によって発生する水素泡が鉄筋表面で発生した後も鉄筋近傍で留まるため、アノード・カソード反応領域が確定される。

地中送電用洞道を想定し、図-1に示すように横断面をモデル化した。供試体と周辺地盤からなる領域の電食実験を行い、外部電圧を周辺地盤から与えて供試体全体の分極反応領域の把握を行った。溶液はコンクリート中の代表的な電解質である水酸化カルシウムを吸水性ポリマーに含ませた。実構造物の劣化で、構造物下部に塩化物イオンが滞留しているために、実験では吸水性ポリマー材の一部に塩化ナトリウムを混在させた。

3. 非局所化分極反応モデルを用いた数値解析

本研究では、コンクリート及び鉄筋界面における電位差を適切に考慮し、鉄筋群を解析的に扱うことのできる非局所化解析モデル²⁾を採用し、数値解析を実施した。数値解析モデルを図-2に示す。当該要素における腐食量 R_{cor} は鉄筋・コンクリート間の腐食電流密度からファラデーの法則により算出される。全電流密度におけるアノード反応割合 P_a を式(1)に規定している。

$$P_a = i_a / (i_a + i_c) \quad (1)$$

ここに、 i_a : アノード電流密度(A/m²)、 i_c : カソード電流密度(A/m²)である。アノード反応割合が1に近いとアノード反応が卓越し、0に近いとカソード反応が卓越していることを表す。解析モデルでは、塩化物濃度と外部電圧を実験と同様の位置における節点にそれぞれ設定した。

4. 実験結果の概要と数値解析結果

図-3に印加開始から終了までの供試体の酸化還元反応の時系列変化の様子を示す。印加開始直後から陽極側の鉄筋群では腐食生成物、陰極側の鉄筋群では気泡の発生が目視で確認できた。吸水性ポリマー材に塩化物

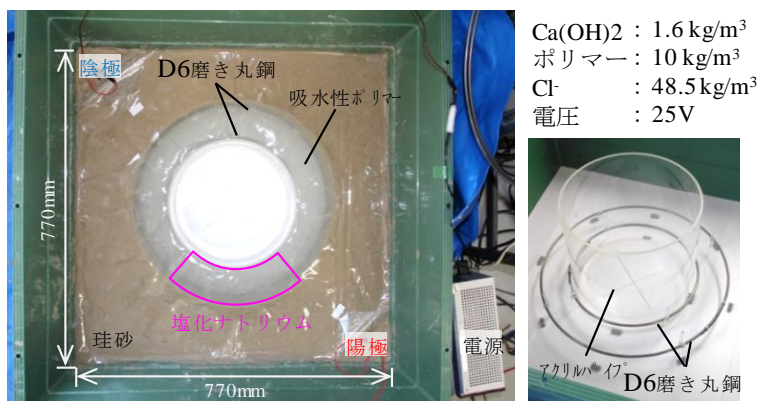


図-1 模型電食実験の概要

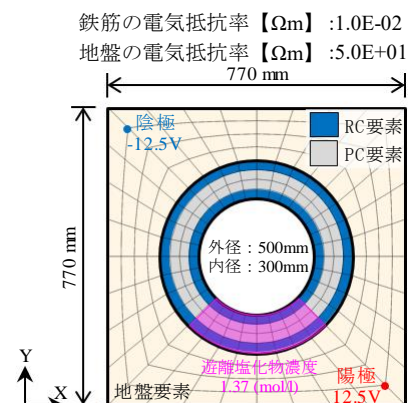
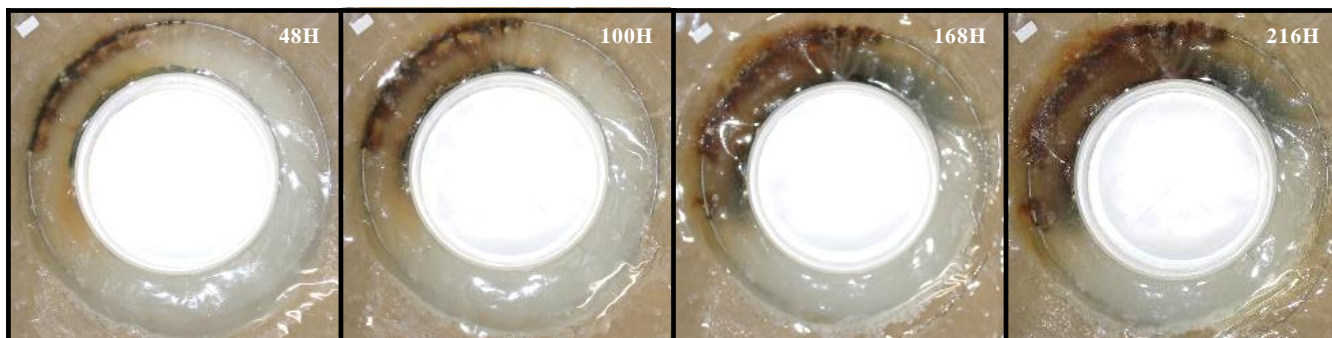


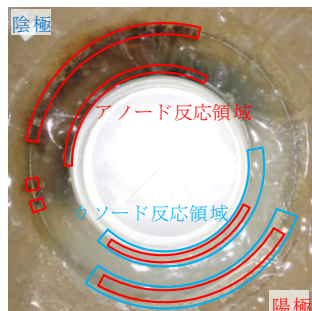
図-2 数値解析モデルの概要

キーワード 地中送電用洞道, 可視化材料, 電食実験, 分極反応領域, 数値解析

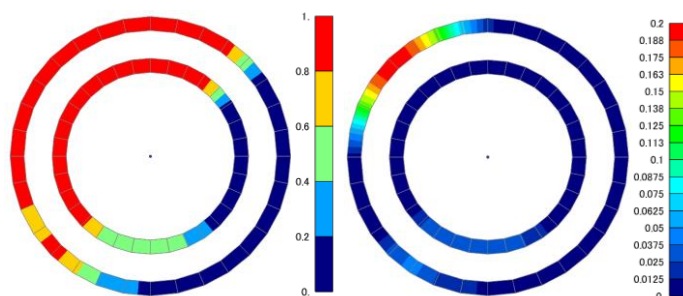
連絡先 〒135-0062 東京都江東区東雲 1-7-12 KDX 豊洲グランスクエア 9F 東電設計(株) TEL 03-6372-5787



図—3 腐食の経時変化



a) 腐食状況のスケッチ

b) アノード反応領域 P_a c) 鉄筋の腐食量 R_{cor}

図—5 電食実験と数値解析(216h時)の腐食状況と分極反応領域の比較

イオンを混ぜた範囲では、図—4に示すように気泡と腐食の両方の発生が確認された。この範囲の電極電流は、アノード電流とカソード電流が拮抗した状態にあると考えられる。

図—5 a) b)に分極反応領域が固定された後に行ったスケッチと解析から求めたアノード反応割合を示す。アノード反応割合 0.8 以上の領域と 0.2 以下の領域は、実験のスケッチのアノード反応領域とカソード反応領域にそれぞれよく対応している。アノード反応割合が 0.4~0.6 のアノード・カソード電流が拮抗している範囲は鉄筋腐食と気泡発生が同時に生じている領域と対応しており、これらの範囲は解析結果と概ね調和的である。図—3 a) c)に数値解析から得られた鉄筋の腐食量(g/cm²)と、実験の腐食状況の比較を行った。腐食量に関しても、陰極側の腐食が著しく塩化ナトリウムを添加した範囲で微少な腐食生成物が発生した状況を数値解析で再現できた。

本実験では、図—6に示すように吸水性ポリマーのpHを計測した。時計回り方向に関しては、陰極側から陽極側にかけてpHが減少する傾向がみられた。反時計回り方向については塩化ナトリウムを混ぜた範囲のpHが上昇している。アノード反応域には陰イオンである水酸化物イオン濃度が高くなり、それに伴いpHも上昇する。分極反応領域のスケッチとpHの測定結果を比較すると、アノード反応域のpHが高く、pHを計測すれば分極反応領域が定性的に評価できることがわかった。

5. まとめ

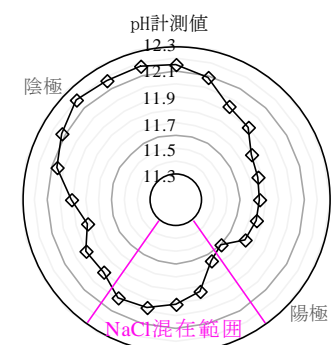
本研究では、コンクリートを可視化材料とした洞道と地盤の全体系で電食実験を行い、コンクリート部材の分極反応領域の評価を行う実験的手法を検討した。その結果、分極反応領域は目視によって確認でき、pHの計測から定性的に評価できることを示した。さらに、非局所化分極反応モデルを用いた数値解析を行い、実験の腐食状況と分極反応領域を精度良く再現できた。今後は数値解析モデルの実用化に向けて、セメントの水和反応によって生成されるイオンと海水に含まれるイオンの相互作用や、マクロセル腐食などの回路が発生する際のイオンの動きを考慮したマルチスケール解析の構築を目指す。

参考文献

- 岡滋晃, 梶原誠, 実広拓史: 電力用シールド洞道での内空変形と鋼材腐食事例, 電力土木, No379, 53-56, 2015
- Maekawa K, Okano Y, Gong F: Space-Averaged Non-Local Analysis of Electric Potential for Polarization Reactions of Reinforcing Bars in Electrolytes, Journal of Advanced Concrete Technology 17(11):616-627



図—4 NaCl混在範囲の鋼材の様子



図—6 吸水性ポリマーのpH計測値