

## 鉄筋腐食並びにコンクリートの乾湿が電気伝導特性に及ぼす影響に関する研究

香川大学 非会員 大本修平 香川大学 フェロー会員 吉田秀典

## 1. はじめに

コンクリート構造物の老朽化や公共事業の縮減に伴い、既存のコンクリート構造物を長期的に運用していく必要がある。その際に、構造物の維持管理上から、早期にコンクリート内の鉄筋腐食状態を非破壊モニタリングする技術が望まれており、コンクリート中の鉄筋の腐食速度の推定と腐食の定量評価が可能である分極抵抗法が注目されている。既往の研究では、実験を再現した解析が行われていないため、本研究では、参考文献<sup>1)</sup>にて示された実験を基に解析を行い、実験結果と解析結果を比較して、解析による実験の再現性について検討した。

## 2. 解析概要

参考文献<sup>1)</sup>に示されている供試体を基に、供試体中央の鉄筋直上のコンクリート表面に設置した対極（印加部）と内部鉄筋の間の電気伝導を有限要素法（FEM）を用いて解析した。解析メッシュは解析の簡略化、ならびに節点・要素数削減のため、全体のおおよそ8分の1の領域を解析対象とした。解析メッシュならびに供試体の寸法を

図1、図2に示す。単位はmmとする。なお、図は解析メッシュの中心断面を示している。解析パラメータとして、分極抵抗とコンクリート抵抗率をとり、その他の解析条件として、鉄筋の抵抗率は鉄の0°Cにおける電気抵抗率 $8.9 \times 10^{-6} \Omega\text{cm}$ とした。境界条件に関しては、供試体上部（図3上面中央の矩形領域）に10mVを印加し、鉄筋端を0Vとした。なお、鉄筋とコンクリート界面に存在する不動態皮膜の厚さは10nmと仮定し、抵抗率は皮膜の分極抵抗を電気抵抗率と不動態皮膜の厚さで割った値とした。また、参考文献<sup>1)</sup>に示されている防錆剤塗布量については、塗布量が $0.0 \text{ (kg/m}^2\text{)}$ の供試体をcase1、 $0.6 \text{ (kg/m}^2\text{)}$ をcase2、 $1.0 \text{ (kg/m}^2\text{)}$ をcase3とし、表1に示される参考文献<sup>1)</sup>から読み取った分極抵抗を使用し解析を行うことで防錆剤塗布量ごと解析を再現した。実験におけるコンクリートの水セメント比は70%であるが、コンクリート抵抗率に関する記載はないため、参考文献<sup>2)</sup>等から推測した値を採用している（表2）。

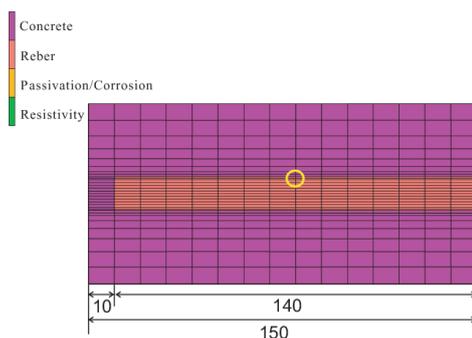


図1 解析メッシュ（断面図）

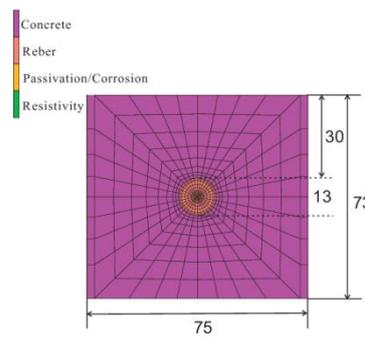


図2 解析メッシュ（側面図）

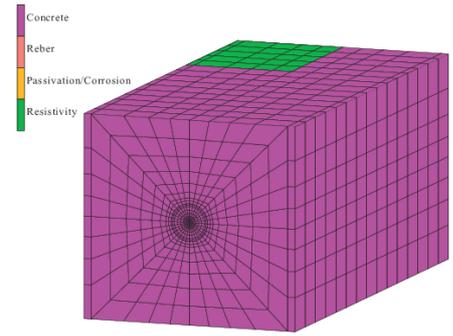


図3 解析メッシュ（俯瞰図）

表1 分極抵抗

防錆剤塗布量 (kg/m <sup>2</sup> )	分極抵抗 (Ωcm <sup>2</sup> )		
	暴露期間 10 週間	30 週間	50 週間
0.0 (case1)	80	125	87
0.6 (case2)	50	150	262
1.0 (case3)	60	200	357

表2 コンクリート抵抗率

暴露期間 (週間)	コンクリート抵抗率 ρ (kΩcm)				
	表面から 10 mm	10~20 mm	20 mm	20~30 mm	30mm
10	5.5	5.0	4.5	4.3	4.0
30	16.0	12.5	9.0	9.0	9.0
50	20.0	15.5	11.0	12.0	3.0

### 3. 解析結果

暴露期間と自然電位の関係性として、参考文献<sup>1)</sup>の実験により得られた結果を図4に、解析により得られた図5に示す。計測箇所は実験同様の位置で行っており、図1の黄色い丸で示した位置の不導体被膜と鉄筋の共有点で計測している。解析は暴露期間10週、30週、50週の自然電位を測定し、グラフに示している。得られた自然電位は、印加部のコンクリート表面の電位で正規化して示している。つまり、図4の縦軸の値が小さいほど電位差が大きく、大きいほど電位差が小さいことを示している。

### 4. 考察

暴露条件下でのコンクリートの乾燥および鉄筋腐食が自然電位に与える影響を実験データと比較し考察する。図4と図5を比較すると、どちらも防錆剤が塗布されていない(case1)は電位差が大きく、防錆剤塗布量が $0.6 \text{ kg/m}^2$  (case2)、 $1.0 \text{ kg/m}^2$  (case3)と多くなるほど電位差が小さくなり、実験結果と類似した傾向を示していると考えられる。また、case1で暴露期間が長くなると自然電位が横ばいとなっているのは、不導体被膜の劣化が進むことで分極抵抗が小さくなり、腐食領域に電流が集中するからと考えられ、解析は全面腐食と仮定しているため、電流はコンクリート中を拡散せず、印加部付近の腐食領域に集中し、計測地点から鉄筋内に流れ込む電流が減少するからと考えられる。一方で、防錆剤を塗布した供試体の電位差が小さくなっているのは、防錆剤により不導体被膜の劣化が抑えられていることに加え、コンクリートが乾燥することで、計測地点より遠くに拡散する電流が減少し、計測地点に集中する電流が増加しているからと考えられる。また、さらにコンクリートの乾燥が進行すると、電流がコンクリート中をより拡散しにくくなり、計測地点まで電流が到達せず電位差が大きくなっていくと考えられる。実験結果と解析結果には自然電位に差が出る時期が大きく異なることが見て取れます。これは参考文献<sup>1)</sup>がコンクリート抵抗率を測定するような研究ではなく、記載されていなかったため、他の参考文献<sup>2)</sup>に示されているコンクリート抵抗率を採用したことに加え、解析を暴露期間10週、30週、50週の三か所しか行っていない等の理由が考えられます。

### 5. まとめ

本研究では、有限要素法による電気伝導解析で実験再現を行い、防錆剤塗布量による自然電位の違いを再現することはできたが、解析結果と実験結果で、自然電位に差が出る時期が大きく異なり、コンクリートにおける乾湿の程度による違いをより詳細に再現する必要があることが判明した。したがって、コンクリート抵抗率を実験環境に近い場所で測定した値を用いることに加え、より精密な解析メッシュを作るとともに、腐食位置や腐食面積を変えた解析を行うことが望まれる。

### 6. 参考文献

- 1) 山城博隆, 岡田一興, 橋本広喜, 鳥取誠一: 中性化と塩害環境下での塗布型防錆剤の鉄筋防食に関する研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.22, No.1, pp.307-312, 2000
- 2) 金田尚志, 松岡和巳, 鳩野慶次, 青木優介: コンクリート表面から深さ方向の非抵抗の経時変化, コンクリート工学年次論文集, Vol.36, No.1, 2014

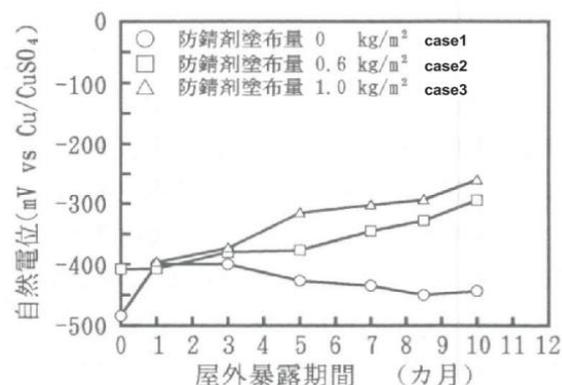


図4 暴露期間と自然電位の関係性<sup>1)</sup> (実験)

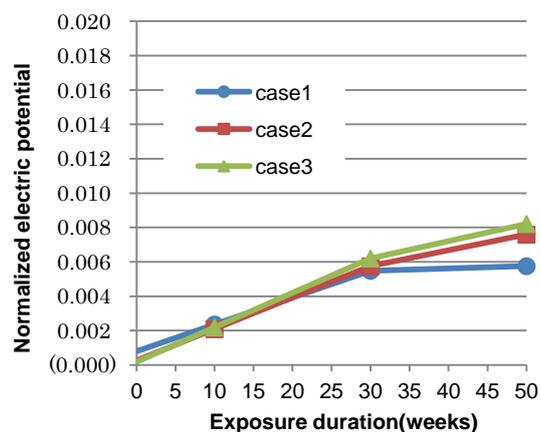


図5 暴露期間と自然電位の関係性 (解析)