

コンクリート構造物の電気防食における FEM による防食性の評価検討

九州大学大学院	正会員	増田 正孝
九州大学大学院		李 恩周
住友大阪セメント	正会員	川俣 孝治
住友大阪セメント	正会員	皆 川 浩
エルガードアジアサービス	正会員	荒瀬 圭介

1. 研究の目的

コンクリート構造物の腐食に対して、その効果が著しく、制御、モニタリングも容易であることから、電気防食を実施する例が多く見られるようになってきた。しかし、防食効果を予想し、適正な陽極配置を実施することは未だに困難である。本研究では、コンクリート鉄筋に対して最適な防食設計のために、有限要素法(FEM)を用いて防食効果を評価し、さらに、防食効果のモニタリングを行う手法について検討を行った。また、コンクリート中のイオンの拡散、水分の局所的湿潤などによる不均一系にも計算を拡張する手法についての検討も行った。

2. 実験概要

FEM を行うためには、境界条件の適切な設定が必要不可欠である。境界条件には、コンクリート構造物の形状、配筋の位置、などの幾何学的因子と、コンクリートの伝導率、鉄筋表面での電気化学的な分極現象、などの電気伝導現象に関係する因子、とがある。コンクリート内部の電位は、その電流の連続性から、以下の Laplace 式を満足する。

$$-\nabla(\sigma \nabla u) = 0$$

ここで、 u はコンクリート中での内部電位、 σ はコンクリートの導電率である¹⁾。

また、陽極および、鉄筋表面の電気化学的な分極現象は、コンクリート模擬液中(飽和 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 水溶液)で代表的な鋼種に対して計測した動分極曲線により決定した。本研究では、均一伝導体内部の 2 次電位・電流分布だけでなく、不均一系にも計算を拡張するため、第 1 段階として、局所的な伝導度変化が生じた場合の計算も行った。

3. 実験結果及び考察

コンクリート模擬液中での鉄筋の陰極分極曲線を図 1

に示す。これを鉄筋表面の境界条件として用いた。陽極として貴金属コーティングされたチタンメッシュ陽極の分極曲線も同じ液中で測定し、陽極表面の境界条件に組み入れた。

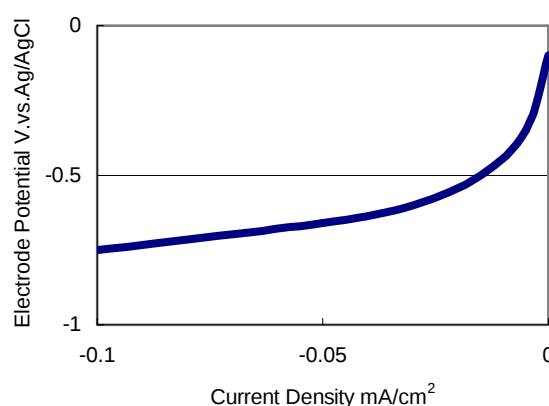


図 1 鉄筋の陰極分極曲線

計算結果を図 2 に示す。これは、かぶり深さ 5cm として直径 1cm の鉄筋が配置されている場合の鉄筋表面の防食電流分布を示している。横軸は鉄筋の円周方向の位置を意味し、0 が陽極に最も近い部位である。コンクリートの抵抗率は $20\text{k}\Omega\text{cm}$ とした。一般的な防食電流密度(コンクリート面積当たり $2.3\mu\text{A}/\text{cm}^2$)の場合、鉄筋の裏側でも平均電流密度の 70%程度の電流が流れることがわかる。図中のパラメータ L_c は分極抵抗に対応しており、分極抵抗が大きくなるほど均一な電流分布となることが確認できる。防食電流の抵抗は、コンクリート内部抵抗と電極での分極抵抗の和として与えられ、形状に依存しない分極の寄与が大きくなると、幾何学的な配置に依らずより均一な電流分布となると考えられる。逆にコンクリート抵抗が増加すると、幾何学的形状の影響が大きくなるため電流分布は不均一となる²⁾。実環境では、コンクリート抵抗や鉄筋表面の状態が変化することが考えられるた

キーワード: 電気防食、防食電流分布、分極現象、有限要素法、境界条件設定

連絡先 〒812-8581 福岡市東区箱崎 6-10-1 九州大学大学院工学研究院材料工学部門

め、これらが変化した場合の防食電流への影響を考慮しておく必要がある。

さらに、鉄筋を多重に配置した場合の電流分布も計算した。コンクリート表面から 5cm、10cm、15cm の深さに鉄筋を配置した場合、平均電流密度は、1.0:0.23:0.075 と深さの順に減少することがわかった。これから防食適応深さを予想することができる。

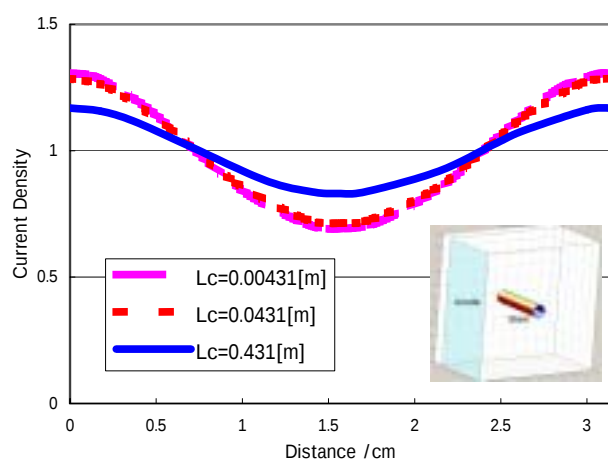


図2 鉄筋表面の防食電流分布

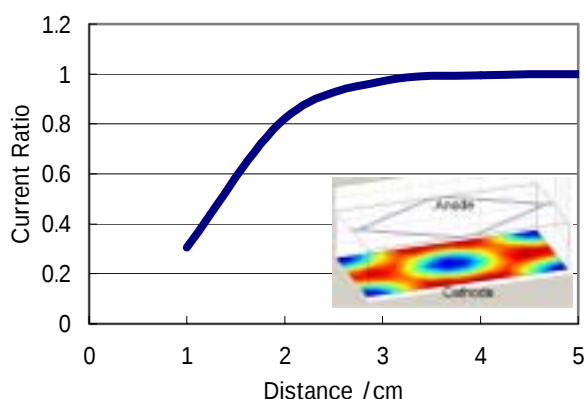


図3 電極間距離による電流分布の変化

図3では、陽極形状による電流分布の影響を調べた。陽極は広い面積に効率的に電流を分布させるためメッシュ構造となっているものが良く用いられる。ここでは、太さ 1mm のチタン線を縦 8.2cm、横 3.7cm の菱形に編んだメッシュ陽極に対して、平行平板陰極があるとき、陰極面上での電流密度の最小値と最大値の比率を電極間距離の関数として求めた。約 2cm 程度離すことにより 80%以上の均一性が得られることがわかる。これから、一般にメッシュ陽極を用いる場合、メッシュの短径と同程度以上離せば陽極の形状による影響はなくなり、均一電流

分布になると予測される。

図4は実例に近いモデルとして、スターラップの曲がり部での電流分布を計算したものである^{3),4)}。かぶり厚を 5cm として、柱の外壁に沿って L 字に曲がっている部分を想定し、陽極は柱の 1 面だけに設置されているとしている。曲がり部に電流が集中し、その近傍は逆に電流が減少していることがわかる。また、曲がり分を過ぎて陽極から遠ざかると電流は急激に減少するが、約 3cm までは陽極に平行な部分の平均電流密度の 50%以上の電流が流れ込むとの結果が得られた。

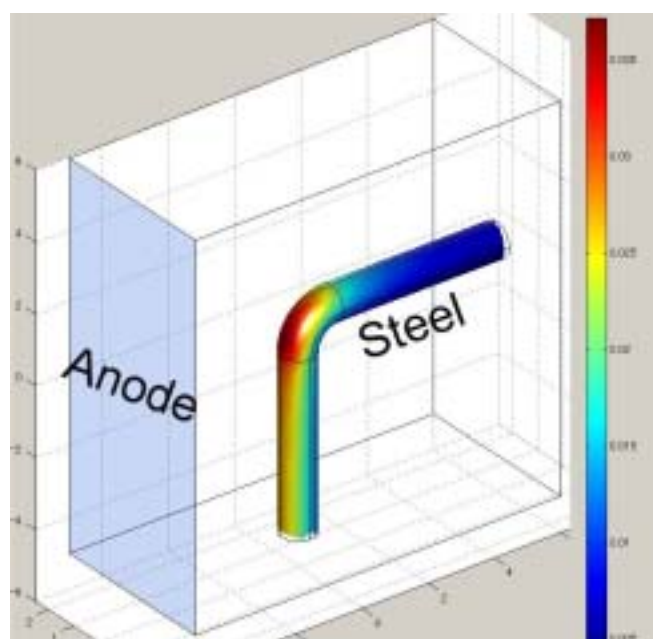


図4 鉄筋の曲がり部での電流分布

4. まとめ

コンクリート鉄筋に電気防食を施す場合の電流分布を、FEM を用いて計算することにより、防食効果を予測した。鉄筋表面の分極現象、コンクリートの電気抵抗率により電流分布が大きく影響されることを示した。陽極形状による防食電流分布への影響についても評価を加えた。今後は、より実際に即した系への展開を進めると同時に、実測データとの比較、検討を行うことにより、精度を高めることを試みる。

参考文献

- 1)「有限要素法」水本久夫、原平八郎、森北出版
- 2)「工業電解の化学」高橋正雄、増子昇、アグネ
- 3)「コンクリート材料データブック」斎藤庄二、丸善
- 4)「鉄筋コンクリートの設計」栗津清蔵、オーム社