

電流分散範囲を考慮した分極抵抗評価に関する基礎的研究

香川大学 学生会員 ○荒木志帆 香川大学 非会員 川上純
香川大学 正会員 吉田秀典 四国総研 正会員 横田優

1. はじめに

コンクリート中の鉄筋の腐食検査・診断法として、分極抵抗法は鉄筋の腐食速度の推定と腐食の定量評価が可能であることから注目され、その有効性については、横田らにより検討されている^{1,2)}。分極抵抗法において鉄筋の腐食速度を評価するには、単位面積あたりで定義される真の分極抵抗が必要であるが、分極抵抗法で得られる分極抵抗は見かけの分極抵抗であることから、以下の式を用いて換算を行う必要がある。

$$R_p = R_p' \cdot A \quad (1)$$

ここで、 R_p は真の分極抵抗 (Ωcm^2)、 R_p' は見かけの分極抵抗 (Ω)、 A は被測定面積 (cm^2)である。

分極抵抗法による腐食速度評価のさらなる精度向上のためには、鉄筋の被測定面積（電流の分散範囲）を限定することが望まれ、その方法としてガード対極を用いて電氣的にガードする方法（2重対極方式）が提案されている²⁾。しかしながら、電流分散状況は鉄筋径やかぶりの大きさなどの影響を受けることが推測されることから、2重対極方式による測定の有効性について十分に検討されているとは言えない。そこで、本研究では、材料の不均一性を考慮に入れることが可能な有限要素法を用いて電流伝導解析を行い、コンクリート内部の電流の分布状況から被測定面積を把握・推定することを目的とする。本研究では、研究の第一歩として、材料の不均一性は考慮せず、鉄筋径、かぶり、コンクリートの電気抵抗（抵抗率）および分極抵抗が電流分散状況に及ぼす影響について、数値解析による検討を行った。

2. 解析概要

図-1に示す鉄筋コンクリート供試体を対象に、供試体中央（図中の矩形領域）のコンクリート表面に印加し、鉄筋径、かぶり、コンクリート抵抗率（ ρ ）および分極抵抗（ R_p ）という主たる影響因子を表-1のように設定し、

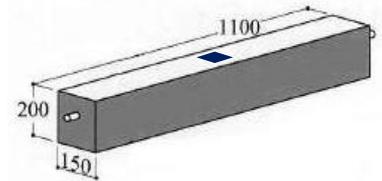


図-1 供試体の形状

3次元有限要素解析を通して、これらが電流伝導に及ぼす影響と被測定面積について検討した。なお、鉄筋の抵抗率は鉄の電気抵抗率 $8.9 \times 10^{-6} \Omega\text{cm}$ とした。また、鉄筋とコンクリート界面に存在する界面被膜の抵抗率は、被膜の厚さを 10nm （一般的に $1\text{nm} \sim 10\text{nm}$ ）と仮定し、分極抵抗を界面被膜の厚さ 10nm で割った値とした。境界条件は対極を設置した供試体中央上部に 10mV を印加し、鉄筋端を 0V とした。供試体中央の鉄筋直上のコンクリート表面に対極を設置するため、解析領域は節点・要素数削減のため $1/4$ サイズとした。解析メッシュの一例を図-2に示す。鉄筋表面の界面被膜は図-3のように設定して、界面被膜部のうち鉄筋端から 100mm は絶縁部としている。

表-1 解析パラメータ

| | |
|---|-------------------------------------|
| Diameter of rebar | D13, D25, D38 |
| Covering depth (mm) | 40, 60, 80 |
| Polarization resistance ($\text{k}\Omega\text{cm}^2$) | 10, 20, 40, 80, 130, 260, 500, 1000 |
| electrical resistance of concrete ($\text{k}\Omega\text{cm}$) | 5, 10, 20, 40, 60, 80 |

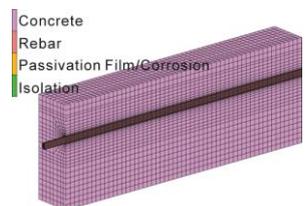


図-2 解析メッシュ

3. 解析結果および考察

解析結果の一例として、鉄筋径 D25、かぶり 60mm 、分極抵抗 $500\text{k}\Omega\text{cm}^2$ 、コンクリート抵抗率 $40\text{k}\Omega\text{cm}$ の時の鉄筋軸方向断面および直交方向断面内の各要素の電流密度分布を図-4に示す。対極からの電流がコンクリート中を伝播し、鉄筋との界面被膜を通じて鉄筋内に流れ込む様子が伺える。

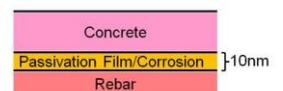


図-3 界面皮膜

鉄筋軸方向および直交方向の電流分散状況を定量的に評価するために、鉄筋断面中央および鉄筋上面と下面の界面被膜部での電流密度の分布を求めた。なお、各ケース間での電流分布状況の比較を容易にするために、鉄筋断面中央での電流密度は供試体端部（図-4の鉄筋軸方向断面図左側）における値で、また、界面被膜で

の電流密度は対極を設置した供試体中央(図-4の鉄筋軸方向断面図右側)の鉄筋上面における値で正規化している。その結果の一例として、上記の条件の解析結果を図-5に示す。さらに、全ての解析において、分極抵抗をコンクリート抵抗率で割った数値を横軸にとり、全鉄筋表面積のうち被測定面積が占める割合を縦軸としたグラフを図-6に示す。図-5は、対極を設置した供試体中央と端部との間における鉄筋上面と下面での電流密度の違い、および、鉄筋中央における電流密度の伝播状況を示している。図-6は分極抵抗とコンクリート抵抗率の値に関わらず、両者の比である R_p/ρ の値によって電流の分散状況は決まることを示している。このことから、電流分散範囲は鉄筋径とかぶりが決まれば、あとは分極パラメータ R_p/ρ の値によって決定され、被測定面積の類推が可能になることが分かる。

鉄筋径、かぶり、分極抵抗およびコンクリート抵抗率を変化させ図-4、図-5と同様の図を作成し、電流分散状況に及ぼす影響について検討した結果、次のような傾向が認められた。

- ・鉄筋径が細いほど、鉄筋下面へ回り込む割合は多く、鉄筋軸方向にも広く分散する。
- ・かぶりが小さいほど、対極直下の鉄筋上面に電流が集中し、かぶりが大きくなると分散する。
- ・鉄筋が腐食を起しておらず分極抵抗が大きい場合には、電流は供試体内を広く分散し、腐食を起し分極抵抗が小さくなると、対極直下の鉄筋上面に集中する。
- ・コンクリート抵抗率が小さい場合にはコンクリート中を電流が流れ易くなり広く分散する。反対に、コンクリート抵抗率が大きくなると、コンクリート中を電流が流れにくくなり、対極付近に集中する。
- ・全体を通じて、電流分散状況に及ぼす影響は、4つのパラメータのうち、鉄筋径やかぶりよりも、鉄筋の腐食の有無を表す分極抵抗やコンクリートの電気抵抗である抵抗率の方が大きい。

4. まとめ

本研究では、比較的大型の鉄筋コンクリート供試体を対象に3次元有限要素電導解析を行うことにより、各パラメータが分極抵抗測定時の電流分散状況に及ぼす影響について把握することができた。また、分極抵抗とコンクリート抵抗率の値に関わらず、両者の比である R_p/ρ の値によって電流分散範囲は決定され、被測定面積の類推が可能になると分かった。今後の課題としては、現場計測による結果との比較を通して、より客観的な被測定面積の把握・推定を行う他、インピーダンス特性曲線を作成し、測定値から真の分極抵抗値を求められるようする必要がある。また、部分的に分極抵抗を低く設定したり、あるいはコンクリート抵抗率を不均一に設定したりするなど、不均一性を考慮する予定である。

参考文献

- 1) 横田優, 浮田和明, 幸英昭: 交流インピーダンス法によるコンクリート中の鉄筋腐食評価 (38), 土木工学における非破壊評価シンポジウム講演論文集 (1991), pp.241-246.
- 2) 後藤信弘, 松岡和巳, 伊藤叡: 交流インピーダンス法による鉄筋腐食モニタリング法, 土木学会第45回年次学術講演会講演概要集, (1990), pp.554-555.
- 3) 横田優, 河野清: 交流インピーダンス法によるコンクリート中の鉄筋腐食診断について, 土木学会第49回年次学術講演会講演概要集, (1994), pp.176-177.

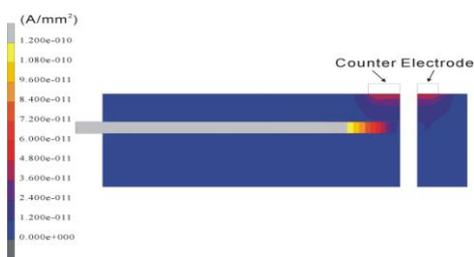


図-4 電流密度分布 (D25)

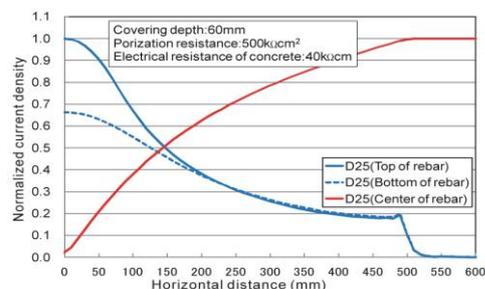


図-5 電流密度の水平分布

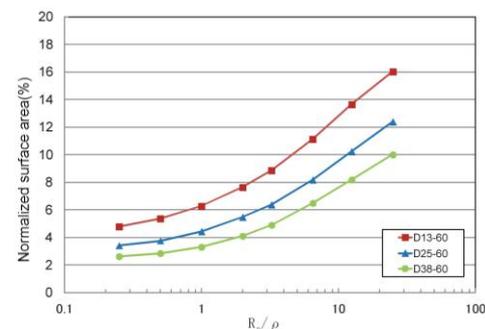


図-6 R_p/ρ と被測定面積の関係性