

鉄筋コンクリートの非均一性が電流伝導特性に及ぼす影響に関する研究

香川大学 賛助会員 ○堀家裕子 フェロー会員 吉田秀典

1. はじめに

近年、コンクリート構造物を長期的に運用していくことが議論されているが、構造物の維持管理の観点からは、早期にコンクリート内の鉄筋腐食を非破壊モニタリングする技術が望まれている。コンクリート中の鉄筋の腐食検査・診断法として、分極抵抗法がある。分極抵抗法は鉄筋の腐食速度を推定することが可能であることから注目されている。実構造物において材料が一樣であることは少なく、鉄筋の部分的な腐食やコンクリートの乾燥は被測定面積（電流分散範囲）に影響を及ぼすと考えられる。しかし、実験¹⁾により材料における非均一性を把握することは限界があるため、境界要素法（BEM）による電流分散シミュレーション²⁾が行われているが、BEMでは材料における非均一性を考慮することができない。そこで、本研究では、材料における非均一性を考慮することができる有限要素法（FEM）をベースとした電流伝導解析を行い、被測定面積ならびにインピーダンス特性曲線に及ぼす影響について検討する。

2. 解析概要

幅 1100 mm、高さ 200 mm、奥行き 150 mm の寸法を持つ鉄筋コンクリート供試体を対象に、供試体中央の鉄筋直上のコンクリート表面より印加した際、供試体内をどのように電流が伝導するかについて有限要素法解析を実施した。解析メッシュは節点・要素数削減のため 4 分の 1 とし（図 1）、鉄筋表面の界面皮膜は図 2 のように設定し、界面皮膜部のうち鉄筋端から 100 mm を絶縁部としている。パラメータとして、鉄筋径、かぶり、分極抵抗（ R_p ）、コンクリート抵抗率（ ρ ）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 $8.9 \times 10^{-6} \Omega \text{cm}$ としているが、本稿では、材料非均一性に焦点を当てているので、分極抵抗（ R_p ）、コンクリート抵抗率（ ρ ）を変化させた結果のみを提示する。分極抵抗に関しては、鉄筋の非均一性（腐食等）を考慮して部分的に分極抵抗を小さくする。以降、その部分を非均一領域と呼ぶ。コンクリート抵抗率に関しても、コンクリートの乾燥を考慮して表面と内部を変化させる。鉄筋とコンクリート界面に存在する界面皮膜の抵抗率は、皮膜の厚さ 10 nm と仮定し、分極抵抗を電気抵抗率と界面皮膜の厚さで割った値とした。境界条件は、対極を設置した供試体中央上部に 10 mV、鉄筋端に 0 V とした。

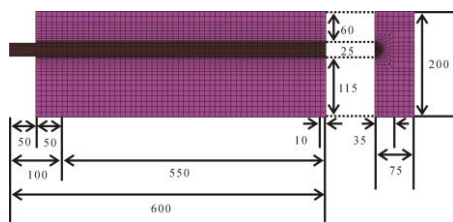


図 1 解析メッシュ例

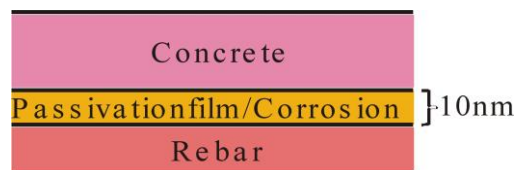
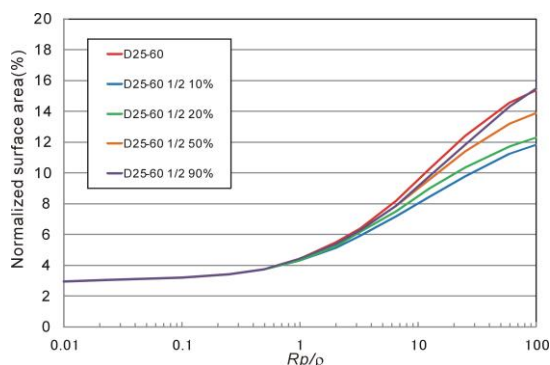
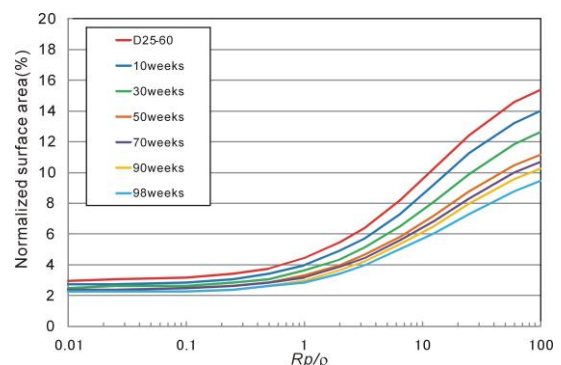


図 2 界面皮膜

3. 解析結果および考察

図 3 R_p/ρ -被測定面積（非均一領域の面積による比較）図 4 R_p/ρ -被測定面積（恒温養生期間による比較）

解析の一例として、鉄筋の非均一領域の面積の大小ならびに恒温養生期間の短長が R_p/ρ と被測定面積の関係及ぼす影響をそれぞれ図 3 ならびに図 4 に、また、インピーダンス特性曲線を図 5 に示す。

図 3 においては、解析メッシュ右端 50mm から左側に非均一領域の面積を増加させ、鉄筋の絶縁部を除く境界被膜 500mm に対しての割合を 10%, 20%, 50%, 90%と変化させた解析結果、図 4 においては、コンクリート表面から 60mm までを養生期間毎に比例変化させ、60mm より内部は一定と仮定し解析を行った結果を図示した。

図 5 においては、解析メッシュ右端 50mm から 100mm までを非均一領域とし、その領域の分極抵抗値を他の領域の 5 分の 1、50 分の

1 に小さく設定し解析を行った結果、およびコンクリート表面の乾燥を考慮しコンクリート表面の抵抗率を高くし解析を行った結果をそれぞれ図示した。また、コンクリート表面の乾燥を考慮した場合は、 R_s の値を設定する際のコンクリート抵抗率 (ρ) を、コンクリート内部のみ、平均値と変化させた値を図に示した。ここで、 R_s はかぶりコンクリートの抵抗であり、コンクリート抵抗率 (ρ) とかぶり (t) との積、 R_T は真の分極抵抗であり、かぶりコンクリートの抵抗 (R_s) と真の分極抵抗 (R_p) の和、 R_T' は見かけの分極抵抗であり、かぶりコンクリートの見かけの抵抗 (R_s') と見かけの分極抵抗 (R_p') の積と定義する。

まず、鉄筋およびコンクリートにおける非均一性が被測定面積に及ぼす影響について述べる。鉄筋の非均一領域の面積による影響としては、図 3 より、非均一領域の面積が小さいほど被測定面積への影響は大きく、全鉄筋表面積のうち被測定面積が占める割合は小さくなり、非均一領域の面積が大きくなると被測定面積への影響はほぼないといえる。また、 R_p/ρ の値が 1 より小さい場合、鉄筋の非均一が被測定面積に及ぼす影響は非常に小さい。恒温養生によるコンクリート表面の乾燥の影響として、図 4 より、恒温養生期間が長い、すなわちコンクリート表面の抵抗率と内部の抵抗率の差が大きいほど、全鉄筋表面積のうち被測定面積が占める割合は小さくなる。以上より、鉄筋における非均一性よりもコンクリートにおける非均一性の方が被測定面積に及ぼす影響は大きいと判明した。

次に、インピーダンス特性曲線について述べる。図 5 より、鉄筋の非均一領域の腐食の程度が増したと仮定すると傾きは急になるが、 $R_T/R_s \approx 1$ の時 R_T'/R_s の値はほぼ等しい値に収束する。コンクリートの乾燥を考慮した場合、 R_s が 2 以上でそれほど大きな差は無いが、2 より小さいと、乾燥の程度が大きいほど R_T'/R_s の値は小さい方に振れ、分散する傾向がある。このように、乾燥の程度によって設定するコンクリートの抵抗率を変化させることでインピーダンス特性曲線も変化することが判明した。

4. まとめ

本研究では、有限要素法による電流伝導解析を進めていくなかで、鉄筋およびコンクリートにおける非均一性が電流分散に及ぼす影響を把握することができた他、より現実に近い被測定面積およびインピーダンス特性曲線を得ることができ、非均一性を考慮することの重要性を把握した。

今後は、鉄筋およびコンクリートにおける非均一性両方を考慮した解析を行うことで、より詳細な被測定面積の推定が可能になるだろう。現実問題として、測定により実構造物の複雑な非均一性を正確に判断することは難しいため、同一供試体において複数の箇所にて印加する等、鉄筋コンクリート内部の様子を正確に知るために、複合的な実験手法を開発する必要もあると考えられる。

5. 参考文献

- 1) 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，V-88，pp.176-177，1994
- 2) 金田尚志，松岡和巳：BEM による電流分布シミュレーションと鉄筋の分極抵抗値の推定，コンクリート工学年次論文集，Vol.33，pp.1715-1720，2011

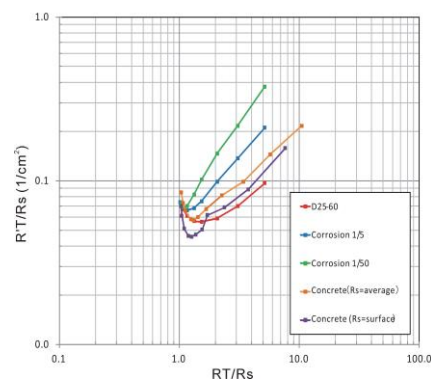


図 5 インピーダンス特性曲線