

分極抵抗法を用いた鉄筋の劣化診断とその適用性に関する研究

香川大学 学生会員 ○大熊千紗都 香川大学 フェロー 吉田秀典
香川大学 正会員 岡崎慎一郎

1. はじめに

高度経済成長期に建設されたコンクリート構造物が寿命とされる 50 年以上を経過している。しかし財政的問題から、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、その中でも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¹⁾では、コンクリートの乾湿ならびに鉄筋の不動態被膜の劣化という複合的な材料変化と、その変化箇所の幾何学的非均一性を考慮し解析を行い、既往の実験で得られたインピーダンス特性曲線について詳しい考察を加えている。しかしながら、数値解析のみで議論をするだけでなく、実挙動との比較、つまり、実験結果と解析結果の比較などを行う必要があると思われる。そこで本研究では、鉄筋とコンクリートの非均一性を考慮した実験より得られるデータと解析結果の比較を通して、分極抵抗法の適用性について議論することを目的とする。

2. 解析概要・実験概要

解析メッシュは節点・要素数削減のため、左右非対称の解析では、実験供試体の 2 分の 1 領域を、また、左右対称の解析では、実験供試体の 4 分の 1 領域を、それぞれ解析対象領域とした。なお、供試体の奥行方向については対称としている。供試体の上面の中央から印加した際に、コンクリート中ならびに鉄筋中をどのように電流が拡散するかについて、有限要素解析を実施した。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、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、鉄筋端 100mm を絶縁加工した。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 10 nm 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。表 1 の養生期間ごとのコンクリート抵抗率は参考文献の水セメント比 40% のものについて恒温養生を行った際の抵抗率¹⁾²⁾から算出した値を採用した。また解析では、真の分極抵抗 R_p 、 R_p を被測定面積 A で割った値を見かけの分極抵抗 R'_p 、 R_p とかぶり t が 6cm のとき $\{2(t-5)+4\}$ cm 内の鉄筋の上半分の表面積を被測定面積とする。

R'_p と R_s との和を見かけの全抵抗 R'_T とし、 R'_T および R'_T をそれぞれ R_s で割った値をそれぞれ横軸および縦軸とすることで、インピーダンス特性曲線を得る。実験では図 3 のような供試体を作製した。供試体は 13 週間水中養生させ、腐食促進は行っていない健全鉄筋を使用した。コンクリート配合と水セメント比を表 2 に示す。携帯型鉄筋腐食診断器(CM-V)で R'_p と見かけの R_s を測定した。かぶり t が 6cm のとき $\{2(t-5)+4\}$ cm 内の鉄筋の上半分の表面積を被測定面積とする。

表 1 コンクリート抵抗率

養生 期間	コンクリート抵抗率 ρ (k Ω cm)							
	表面から 10mm	20 mm	30 mm	40 mm	45 mm	50 mm	55 mm	60 mm
13 週	17	14	11	10	10	10	10	10
26 週	50	38	27	25	23	21	19	17
52 週	163	108	70	62	53	45	36	27

表 2 コンクリート配合

水セメント比 W/C (%)	単位量(kg/m ³)			
	水 W	セメント C	細骨材 S	AE 減水剤 A(g)
40	240	603	1506	1205
60	309	515	1289	-

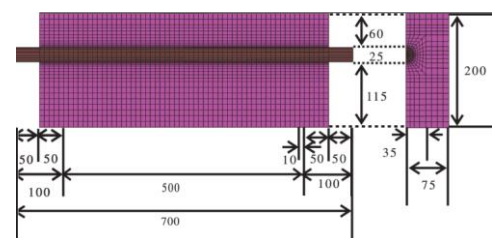


図1 解析供試体-1

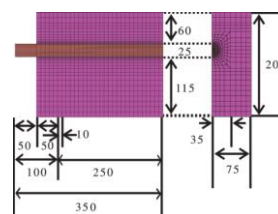


図2 解析供試体-2

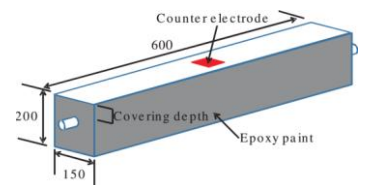


図3 実験供試体

3. 研究の結果

解析結果として養生期間 13 週、26 週、52 週の鉄筋上部の水平分布グラフを図 4 に示す。分極抵抗は $1000 \text{k}\Omega \text{cm}^2$ で均一とする。また、不動態被膜の分極抵抗

を小さくし、鉄筋腐食を表現した領域を非均一領域とする。非均一領域の位置による養生期間 13 週の鉄筋上部の水平分布グラフを図 5 に示す。非均一領域の大きさは 50mm で分極抵抗は $500\text{k}\Omega\text{cm}^2$ 、位置は右向き正として、印加部 50mm の位置から 50mm ずつずらし、左右対称と非対称の 2 通りを設定した。また、非均一領域の位置による被測定面積を比較するため養生期間 13 週の非均一領域がない場合、非均一領域印加部から遠い位置にある場合(右向き正として印加部から -250- -200mm)、非均一領域が印加部から近い位置にある場合(印加部から -100- -50mm)の分極抵抗 1000, 500, 260, 130, 80, 40, 20, $10\text{k}\Omega\text{cm}^2$ のインピーダンス特性曲線と実験値から算出したインピーダンス値と実験値から算出した値を図 6 に示す。非均一領域の分極抵抗は 1/10 の値とする。

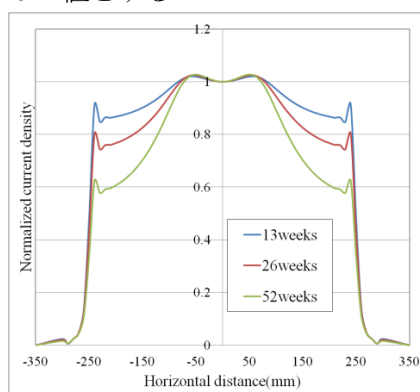


図 4 養生期間別鉄筋上部の水平分布グラフ

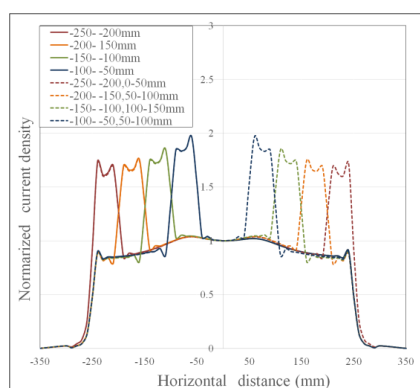


図 5 養生期間 13 週の非均一領域位置別鉄筋上部の水平分布グラフ

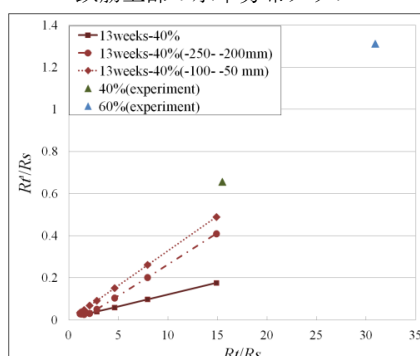


図 6 インピーダンス特性曲線と実験結果

4. 考察

鉄筋とコンクリートの非均一性が電気分散状況に及ぼす影響と実験との比較を考察する。図 4 より養生期間が長いほどコンクリート内部が乾燥し、コンクリートの抵抗が大きくなっている。そのためコンクリート内部に電流が分散されにくくなり、鉄筋表面に電流が流れやすくなることがわかる。また、図 5 より非均一領域が印加部に近づくほど電流密度は高くなっていることが非均一領域が印加部に近づくほど鉄筋表面に電流が流れやすくなっていることがわかる。これは非均一領域が印加部に近づくことで電流が非均一領域に集中しやすくなり、非均一領域が印加部から遠くなると、コンクリート内部に電流が分散してから非均一領域に集中するためであると考えられる。図 6 からは非均一領域の位置が -100- -50mm と印加部から近いにある場合の RT/Rs が大きくなることが分かる。非均一領域が印加部のほぼ直下にあるため電流が分散されずに非均一領域に集中するため、被測定面積が小さくなり、見かけの分極抵抗が大きくなったためであると考えられる。また、実験結果を比較すると水セメント比が 40% に比べて 60% は右上にプロットされることが分かる。これは水セメント比が高く、コンクリート抵抗が低くなったため RT/Rs と RT/Rs が大きくなったためであると考えられる。解析結果と比較してみると実験結果は RT/Rs が大きい値をとった。使用した携帯型腐食診断器では電流は分散しないと想定し、被測定面積は鉄筋径とかぶりから算出し、一定であるとするため、解析結果に比べて見かけの分極抵抗が過大になったと考えられる。

5. まとめ

本研究では養生期間と鉄筋の不動態被膜の非均一領域による電気分散状況を把握することができた。今後は電食実験や養生期間を考慮した様々なパラメータの鉄筋コンクリート供試体を作製し、電流伝導解析で実験に用いたパラメータをより忠実に再現することが望まれる。そして、解析から得たインピーダンス特性曲線と実験から得たデータから真の分極抵抗を算出し、実験値と解析値を比較することで分極抵抗法の適用性を議論する必要がある。

参考文献

- 1) 大本修平：鉄筋腐食とコンクリートの乾湿が電流伝導特性に及ぼす影響に関する研究，香川大学卒業論文
- 2) 吉田秀典，大本修平：不動態被膜の劣化や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，コンクリート工学年次論文集，Vol.72，No.2，pp.719-pp.730，2016