

実験と解析の比較による分極抵抗法の適用性についての研究

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¹⁾²⁾³⁾が注目されている。例えば、既往の研究⁴⁾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、その変化を生じる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、複数の実験結果との比較がなされていないことに加え、比較がマクロ的な見地にとどまっていることから、実挙動との比較を行う必要があると思われる。そこで本研究では、実際に試験を行うと同時に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

実験でのコンクリート配合と水セメント比を表 1 に示す。写真 1 のような供試体を作製した。寸法を図 2 に示す。供試体は 13 週間気中養生させ、腐食促進は行っていない健全鉄筋を使用した。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 の場合、 $\{2(t-5)+4\}$ cm 内の鉄筋の上半分の表面積を被測定面積とする。

一方、解析については、そのメッシュを図 2 に示す。節点・要素数削減するため、実験供試体の 4 分の 1 領域を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の電気分散状況について、有限要素解析を実施した。解析パラメータとして、実験で得た、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 1 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。また、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 とかぶりコンクリートの抵抗 R_s の和を全抵抗 R_T 、および 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。実験で得た値と解析で得た値からインピーダンス特性曲線を作成し、両者を比較する。

表 1 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	-



写真 1 実験供試体

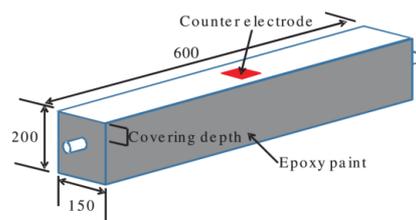


図 1 実験供試体

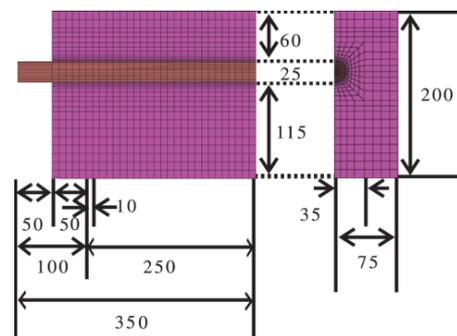


図 2 解析供試体

キーワード 分極抵抗, 鉄筋コンクリート, 電気伝導解析
 連絡先 〒761-0396 香川県高松市林町 2217-20 TEL 087-864-2015

3. 解析の結果および考察

実験結果と解析結果を図3に示す。実験値は水セメント比40%と60%、解析値は実験値で得た分極抵抗とコンクリート抵抗率をパラメータにとって解析した値である。

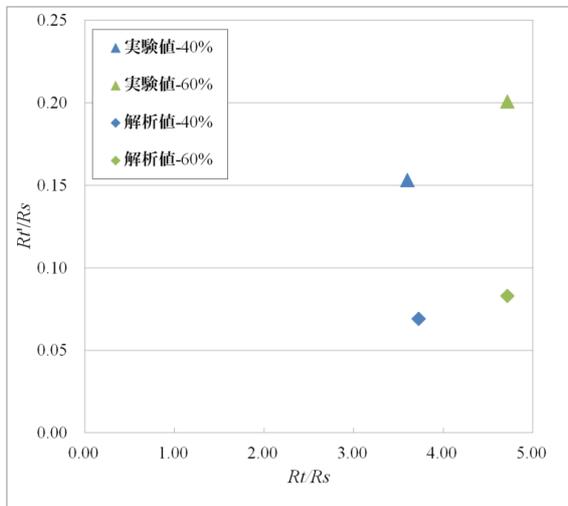


図3 実験値と解析値のインピーダンス特性曲線

4. 考察

実験結果について、実験値を比較すると水セメント比が40%の結果より、60%の結果が右上にプロットされた。これは水セメント比が60%と高く、コンクリート内に含まれる水分が多いため、コンクリートの抵抗が小さくなり、その結果 RT/R_s と Rt/Rs が大きくなったためであると考えられる。解析結果でも同様に60%の供試体の方が右上にプロットされている。

実験結果と解析結果の比較をすると水セメント比40%と60%の実験結果の RT/R_s が解析結果に比べて大きくなった。これは、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、被測定面積は前述した式と鉄筋径より算出していることから一定値となるが、実際にはかぶり厚や鉄筋径だけで決まる値ではないことが原因であると考えられる。また、解析では分極抵抗を単位面積あたりに換算する被測定面積は鉄筋表面に流れる全電流量の内、各メッシュが全電流量の内の何%を占めているか計算し、その値の大きい順に合計値が25%になるまで足していき、25%に達するまでに足したメッシュの数の合計面積を被測定面積とする。水セメント比が40%の供試体はコンクリート内部に含まれている水分の量が少なく、コンクリートが乾燥して抵抗が大きくなったため、コンクリート内に電気が分散しにくくなり、電流が鉄筋に集中する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。被測定面積が小さくなることで分極抵抗も小さくなり、 RT/R_s の値が小さくなった。こうした被測定

面積の定義の違いによって解析値と実験値に差が生じているものと考えられる。また、解析で用いたコンクリートの抵抗の値はコンクリートの内部と表面で均一としたため実際のコンクリート抵抗値とは異なる値であったと考えられる。今後は節点型ではなく精度の高い測定器を使い、コンクリートの抵抗値を測定する必要がある。

5. まとめ

本研究では、数値解析だけでなく、実験も行い、両者の比較を通して、分極抵抗法の適用範囲等について考察を加えることを目的とした。実験週が進んでいないことから、本稿では13週養生の供試体のみを対象としていることから、実験と解析の比較は限定的なものとなっており、現時点で普遍的な考察は困難である。しかしながら、数少ない検討項目(今般はインピーダンス曲線)ではあるが、実験と解析にはかい離があり、その差などについて、早い段階で考察しておくことには意義がある。

今後は、13週以外の結果、例えば26週や52週という結果が出てくるので、それらについて考察すると同時に数値解析も行い、分極抵抗法の適用範囲等について議論を行うだけでなく、不動態被膜の劣化やコンクリートの乾燥、ならびにそれらの不均一性等も詳細に考慮し、さらには解析との比較を通して、これらが電流分散に与える影響について議論をしたいと考えている。また、上述した実験に加え、電食実験や養生期間・方法を変化させるなど、様々な供試体も追加作製して本稿と同様の検討を行い、最終的にはすべてを統括して、普遍的な結果の導出を目指したいと考えている。

参考文献

- 1) 横田優：建設後24年経過した地下道側壁の鉄筋腐食モニタリング結果について、土木学会第55回年次学術講演会，V-467，pp.936-937，2000
- 2) 横田優：建設後36年経過したRC造開水路側壁の腐食モニタリング結果について、コンクリート工学年次論文報告書，Vol.20，No.1，pp.185-190，1998
- 3) 横田優：分極抵抗法に基づく鉄筋腐食非破壊検査方法の実構造物への適用試験，土木学会四国支部第5回技術研究発表会講演概要集，V-14，pp.340-341，1999
- 4) 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