

ひび割れ発生および補修後における分極抵抗法適用時の電流分散に関する検討

(一財) 電力中央研究所 正会員 ○金光 俊徳

1. はじめに

分極抵抗法により、RC 構造物のひび割れ発生後、補修後の腐食速度を測定できれば、地震等の荷重作用により生じたひび割れから侵入する劣化因子による腐食、ひび割れ補修後の残留塩分等による再劣化等を評価することが可能となる。一方、適用時の問題点として、ひび割れ近傍の局所的腐食や補修材の影響により測定電流が集中、分散し、測定範囲が特定できず定量的評価が困難になる。そこで、ひび割れ発生後および補修後の分極抵抗法の測定範囲を非破壊で明らかにする方法を、ひび割れや補修の有無を要因とした試験体の測定および FEM 解析から検討した。

2. 測定実験概要

ひび割れ発生前後および補修後の測定電流の分散性を評価することを目的として、鉄筋を埋設した小型試験体に対して、面積の異なる 2 通りの対極を用いた交流インピーダンス測定を行った。試験体の概要を図-1 に、試験体の要因を表-1 に示す。コンクリート試験体は、100×100×376mm で、W/C=55%とし、練り混ぜ水に対する所定の濃度の NaCl を混入し、腐食区間を 300mm とした黒皮付き異形鉄筋 D10(SD295A)をかぶり 30mm の位置に 1 本埋設した。ここで要因に対応するようにひび割れ導入および補修を行った。かぶり面表面および側面の鉄筋位置に II ゲージを設置して 3 点曲げ载荷を行い、かぶり面表面に 0.4mm の残留ひび割れを導入した。鉄筋位置でのひび割れ幅は 0.28mm 程度であった。さらに低圧注入によりエポキシ補修材を注入し、目視で充てんを確認した。その後かぶり面およびその反対側の面以外の 4 面をタールエポキシで被覆し、40℃ 80%RH、毎日 3%の塩水を 3 分間噴霧する環境負荷装置にかぶり面が上になるように静置した。装置内はコンクリート表面の含水率を静電容量式水分計で測定すると常に 10%以上を示す湿潤環境である。測定は、環境負荷開始 3 か月後に、周波数を 100kHz-

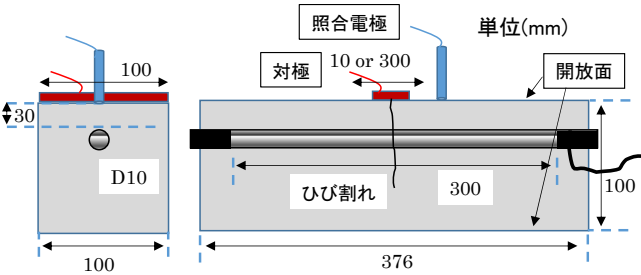


図-1 試験体概要

表-1 試験体要因

| 試験体名    | ひび割れ導入   | ひび割れ補修  | NaCl濃度(%) | 試験体数 |
|---------|----------|---------|-----------|------|
| N-N-1.5 | 無        | 無       | 1.5       | 3    |
| N-N-3.0 | 無        | 無       | 3.0       | 3    |
| C-N-0   | 有(0.4mm) | 無       | 0         | 3    |
| C-N-3.0 | 有(0.4mm) | 無       | 3.0       | 3    |
| C-R-0   | 有(0.4mm) | 有(エポキシ) | 0         | 3    |
| C-R-3.0 | 有(0.4mm) | 有(エポキシ) | 3.0       | 3    |

10mHz とした交流インピーダンス法によって行った。作用極(WE)に鉄筋、対極(CE)に 100×10mm または 100×300mm のステンレス板、照合電極(RE)に直径 22mm の鉛照合電極(PRE)を接続し、かぶり面を PVA クロスにより 10 分間湿らせた後、ひび割れや補修導入箇所上に対極を設置して測定した。

3. 試験体の測定結果

対極として、100×10mm と 100×300mm を用いた場合の分極抵抗( $R_p$ )の測定結果の比較を図-2 に示す。図-2 (b) は、図-2 (a)における  $R_p=0\sim1500(\Omega)$ の範囲を拡大したものである。図-2 より、対極面積が大きく異なる場合でも、 $R_p$  の大小およびひび割れや補修の有無によらず同程度の測定値となった。これは、対極面積の違いによる被測定面積の違いが小さいことを示しており、 $R_p$  が大きい場合は鉄筋の全表面積、小さい場合は腐食が大きい箇所にほぼ全ての電流が流れるためであると考えられる。次に、対極が異なる場合の溶液抵抗( $R_{sol}$ )の測定結果の比較を図-3 に示す。 $R_{sol}$  が大きい場合は、対極面積による違いは見出せないが、 $R_{sol}$  が小さくなるにつれて、100×10mm 測定時に対する 100×300mm 測定時の  $R_{sol}$  が大きくなっている。特に、腐食が局所的に発生していると考えられ

キーワード 鋼材腐食、分極抵抗法、ひび割れ、電流分散解析、被測定面積

連絡先 〒270-1194 千葉県我孫子市我孫子 1646 (一財)電力中央研究所 地球工学研究所 TEL04-7182-1181

る要因 C-N-0, C-N-3.0 および要因 N-N-3.0, C-R-3.0 の一部は  $R_{sol}$  に 1.5 倍程度の違いが見られた. この違いの原因を検討するために, FEM による電流分散解析を行った.

#### 4. 電流分散解析概要

測定電流の分散性の評価を有限要素法の汎用ソフトである COMSOL Multiphysics の AC/DC モジュールを用いて行った. 電流分散解析はスカラーポテンシャル  $\phi$  を用いた式(1)のラプラス方程式を解くことで行うことができる.

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial z^2} = 0 \quad (1)$$

解析対象の設定は図-1 の試験体と同様とし, 要素数削減のために 1/4 モデルとし, 要素数約 50000 の四面体メッシュを与えた. 吉田らの文献<sup>1)</sup>を参考に, 局所的な腐食区間を設定した. 鉄筋表面の  $R_p$  を, 軸方向の中心部 40mm は  $R_p=9.0k\Omega \cdot cm^2$ , それ以外の区間は  $R_p=90.0k\Omega \cdot cm^2$  とした. また, コンクリートの溶液抵抗(体積抵抗)を  $R_{sol}=10.0k\Omega \cdot cm$  とした.

#### 5. 電流分散解析結果

解析によって得られた電流密度分布を図-4 に示す. 図中では対極近傍の電流密度を 1.0 として正規化した値を示した. 図-4 (a), (b) を比較すると, 中心から鉄筋軸方向に 5~15cm の位置に流れる電流密度に差が見られることから, 対極 100×300mm の方が, 広い範囲に電流が流れていると判断できる. さらに図-3 と合わせると対極面積増大に伴う  $R_{sol}(\Omega)$  の変化は, 電流が流れる範囲における断面積の増大より経路長の増大の影響が大きいと考えられる. 一方で, 腐食が生じていないか全面的な場合は, 電流の経路長が大きくならず,  $R_{sol}(\Omega)$  の変化は小さいと考えられる. 以上のことから, 局所的腐食の測定範囲が狭いほど, 対極面積の変化に伴う溶液抵抗  $R_{sol}(\Omega)$  の変化が大きくなるため, これを利用すれば局所的腐食の範囲, すなわち被測定面積を非破壊で特定できる可能性がある.

#### 6. 今後の検討

今後は, 溶液抵抗の違いを利用した被測定面積の予測方法を確立し, 所定期間終了後に取り出した鉄筋の腐食箇所との比較による精度検証を行う予定である.

**謝辞** 本研究における試験体作製, 測定業務では, (株)日本ソフトテクニカル, 大塚章様に多大なるご協力

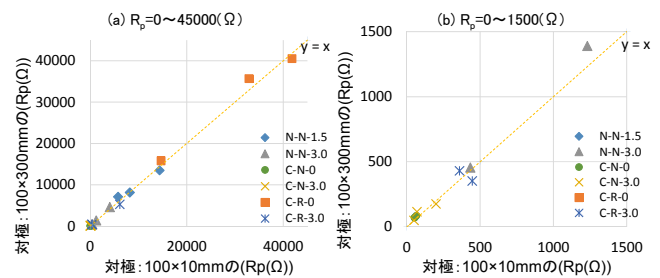


図-2 対極が異なる場合の分極抵抗値の比較

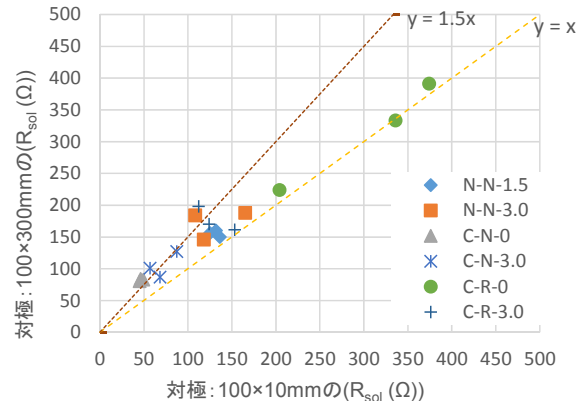


図-3 対極が異なる場合の溶液抵抗値の比較

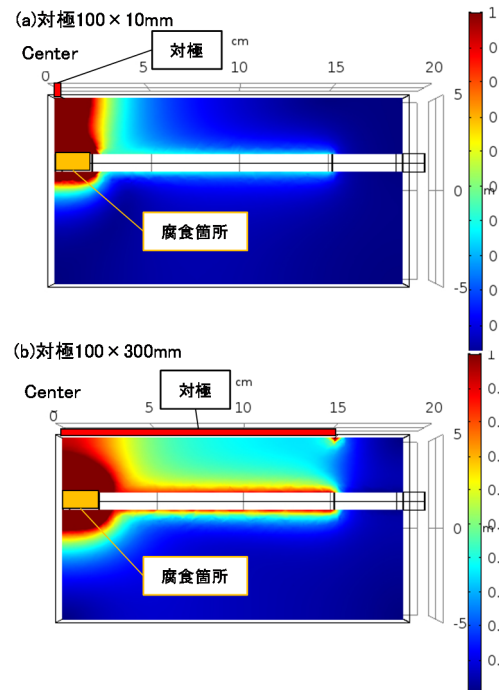


図-4 電流密度分布の解析結果(断面図)

をいただいた. ここに謝意を示す.

#### 参考文献

- 1) 吉田秀典, 堀家裕子, 横田優: 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, 構造工学論文集, Vol.62A, pp.12-22, 2016.3.