

非破壊の腐食速度測定法を用いたコンクリート中鉄筋の腐食程度の相対評価

(一財) 電力中央研究所 正会員 ○金光 俊徳
(一財) 電力中央研究所 非会員 小野 新平

1. 研究背景

コンクリート中鉄筋の腐食速度を定量的に測定できる分極抵抗法はリード線の一部導通が必要であるため、既設構造物への適用は困難であった。そこで筆者ら¹⁾は完全非破壊で腐食速度を測定できる四端子交流インピーダンス法という手法(以下、四端子法と称する)を提案した。しかし、全面腐食させた鉄筋を埋設した試験体測定に基づいて方法論を構築したため、鉄筋が不均一に腐食している場合の適用性は不明確であった。そこで本研究では、不均一に腐食を発生させた長尺試験体に対して、位置を変えながら四端子法を適用することで、ひとつの試験体内での腐食傾向の差異を測定可能かどうか検討した。

2. 測定方法

四端子法の適用図を図-1に示す。この手法は、4個の端子(電極)をコンクリート表面に一直列に配置し、外側の2端子から広帯域の周波数の電流を印加し、内側の2端子の電位差を測定することによって、内側2端子のインピーダンス性状を算出する手法である。印加電流が鉄筋内部に流入する条件下では、鉄筋-コンクリート界面におけるコンデンサ成分の影響により印加電流と測定電位差との間に位相差が生じる。そこで、インピーダンス性状の検討には、抵抗値を実数値、位相差の影響を虚数値として複素数平面上に表す方法がよく用いられる。これをナイキスト線図といい、四端子法による代表的な測定結果は図-2のような半円形状のプロットとなる。このプロットの実数軸との2交点の差分値である端子間分極抵抗 $R_{p-four}(\Omega)$ が、従来の分極抵抗法により求まる分極抵抗 $R_p(\Omega)$ と正の相関があることはすでに示されている¹⁾。

3. 実験概要

本研究で用いた試験体の概要を図-3に示す。コンクリートの配合としては、水セメント比 60%，細骨材率 48%，粗骨材の最大寸法 13mm であり、打設時

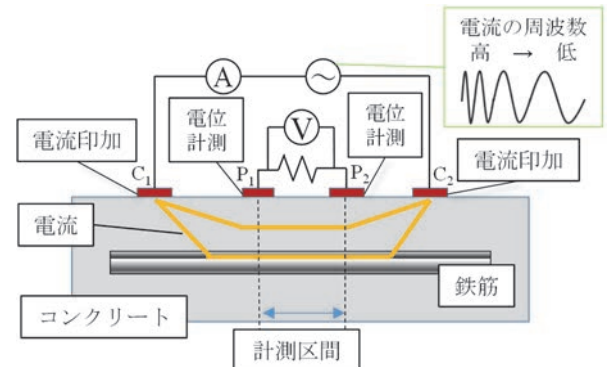


図-1 四端子法の適用図

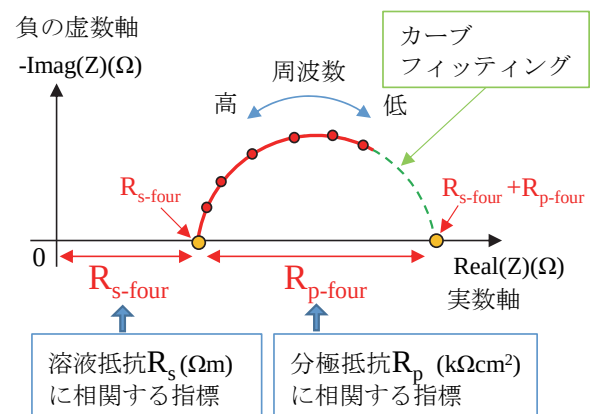


図-2 測定されるナイキスト線図

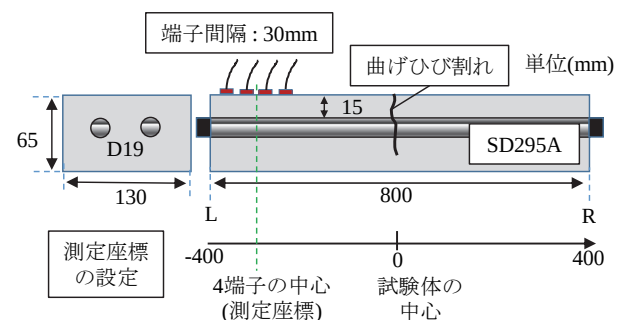


図-3 試験体概要

のスランプは 12.5cm、空気量は 6.0%であった。コンクリートを打設して 28 日の封かん養生後にかぶり 15mm の面(試験面)がひび割れ面になるように 3 点曲げ試験を実施し、試験体の中心位置に 0.4mm 幅の曲

キーワード 鉄筋腐食, 交流インピーダンス法, 四電極測定, 非破壊検査, 鉄筋コンクリート

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

げひび割れを導入した。その後、試験面以外の5面をエポキシ樹脂により遮水処理をして、1日1回3%の塩水を噴霧する装置内に2年間設置して腐食を促進させた。試験体は2体用意し名前をA,Bとした。

腐食促進後、図-3に示す測定座標-320mmから+80mmごとに9点の四端子法による測定を実施した。測定条件は、印加電圧30mV、周波数100mHz~500kHz、端子間隔30mmとした。また、4端子の中心位置を測定位置とした。検証として、測定後に試験体を解体し、50mmごとにデジタルノギスを用いて鉄筋の最小径とその直角方向の径を測定し残存断面積を算出した²⁾。健全時の断面積も測定しており、これらの値から断面減少率(%)を算出した。

4. 測定結果および考察

四端子法による測定結果を図-4に示す。端子間分極抵抗 R_{p-four} は腐食速度と負の相関があることから、この図では逆数 $1/R_{p-four}$ を示した。傾向として、座標-80~0mmにおける $1/R_{p-four}$ が特に高く、この範囲で腐食速度が比較的高いと推定した。続いて、鉄筋の断面減少率を図-5に示す。この図から座標-100~0mmにおける断面減少率が特に高いことがわかる。これらのことから、四端子法により求まる R_{p-four} が低い箇所は腐食進行が早く、 R_{p-four} が高い箇所は腐食進行が遅いといった、ひとつの試験体内での腐食速度の相对比较が可能であることが明らかとなった。さらに、図-6に試験後に取り出した鉄筋のかぶり側の写真を示す。座標-100~0mmにおいて全ての鉄筋に腐食が発生しており、腐食の有無に関しても四端子法の測定結果である $1/R_{p-four}$ と傾向が一致することがわかった。

ただし、以上の比較は腐食速度の指標と実際の腐食量との比較であり、本来は腐食量の推定値と実測値で比較すべきものである。しかし、環境条件および腐食促進期間が一定であることから、腐食速度が大きいものは腐食量も大きいとして、腐食速度の大小傾向としての比較が可能であると判断した。

活用方法として、対象構造物内に対して、測定位置を変えながら四端子法による測定を行い、位置ごとの測定値の相对比较を行うことで、補修などの対策を要する箇所、あるいは今後重点的に点検すべき箇所の特定制および縮約が可能になると考えられる。

5. まとめと今後の検討

本研究では、長尺試験体に対する測定および検証か

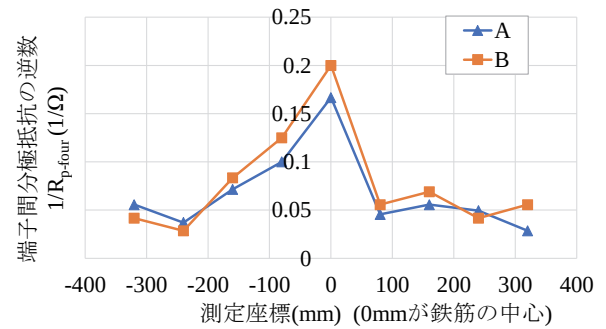


図-4 測定位置と四端子法による測定結果の関係

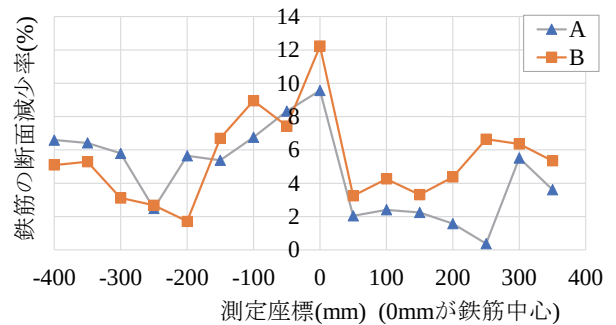


図-5 測定位置と鉄筋の残存断面積の関係

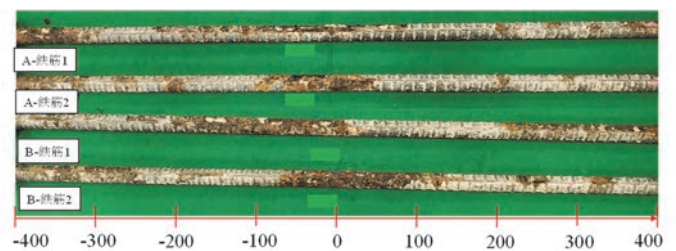


図-6 かぶり側の鉄筋の写真

ら、四端子法を用いて位置変化による腐食速度の相对比较が可能であることを示した。今後は、同一箇所の継続的なモニタリングを実施して腐食量を推定し、実測の腐食量と比較する予定である。

参考文献

- 1) 金光俊徳, 小野新平: 完全非破壊によるコンクリート内部鉄筋の腐食速度評価法の提案, 土木学会論文集 E2, Vol.76, No.4, pp.315-331, 2020.
- 2) 佐藤孝史ほか: 電食と塩分による鉄筋の腐食が鉄筋の腐食形状に与える影響の比較, コンクリート工学年次論文集, Vol.31, No.1, 2009.

謝辞

本研究は、科学研究費助成事業基盤研究 B(課題番号: 18H01514)の助成を受けて実施した。また本研究は、令和元年度土木学会吉田研究奨励賞を授与された研究である。ここに謝意を示す。