

逆推定法による分極抵抗値を用いた腐食評価

大阪大学大学院 学生員 ○岡田 英哲
大阪大学大学院 フェロー 松井 繁之

新日鉄製鉄(株) 正会員 松岡 和巳
大阪大学大学院 正会員 大西 弘志

1. はじめに

現在、コンクリート中にある鋼材の腐食モニタリングを目的とした分極抵抗法の適用性に関する研究が多く行われ、分極抵抗値(R_p)による腐食判定指針も幾つか既往の研究で提案されている。しかしながら、構造物を対象として測定された分極抵抗値(以下 R_p' と呼ぶ)は、鉄筋の径、かぶり、配置等の幾何学的形状による誤差を含む。このため松井・松岡ら¹⁾は BEM 解析を用いた解析によりこれら誤差を修正する逆推定法を提案している。今回、関東住宅地区に 17 年間暴露された供試体を用いて分極抵抗測定を行い、この測定データに逆推定法を適用し、腐食状況との対比を検討した結果を報告する。

2. 実験概要

1) **分極測定法** 本実験の分極測定では 2 周波数重畳法によるコロージョンモニター（新日本製鉄（株）製）を用いた。測定周波数は、高周波側 400Hz、低周波側 0.1Hz とした。

2) **供試体仕様** 供試体の概要を図 1 に示す。コンクリート仕様は $w/c=50\%$ である。各供試体には鉄筋は $\phi 26, 18, 12, 8$ を 1 本ずつ、計 4 本を配置し、かぶり B を表 1 の 4Case に変化した。

3) **調査内容** 液抵抗値 R_s' 、分極抵抗値 R_p' を各供試体の鉄筋上面において 10cm 間隔で測定した。測定後コンクリートを破砕し、鉄筋を回収し腐食発生面積を測定した。



表 1 各供試体のかぶり

	No1	No3	No5	No9
B (mm)	18.5	4.6	18.4	9

3. 解析概要

1) **BEM 解析理論** 分極抵抗測定法等の電気化学測定法を用いたコンクリート構造物中铁筋の腐食測定は、1 次近似として均質な溶液中に置かれた試料極となる鉄筋とこれに電圧を印加するために溶液表面に置かれた対極、電位を参照する参照極とを有する領域のポテンシャル問題とみなせる。この支配方程式は式(1)に示す 3 次元のラプラス方程式で表される。¹⁾

$$\nabla^2 \phi = 0 \quad \dots (1)$$

ここで κ はコンクリートの電導度で比抵抗 ρ の逆数で、 ϕ は電位を示す。境界条件については紙面の関係上省略する。

2) **解析モデルとインピーダンス特性曲線** 3次元 BEM 解析によるインピーダンス測定状況のシミュレーションでは、比抵抗 $\rho = 100 \text{ k}\Omega \text{ cm}$ を有する半無限コンクリートの表面下、かぶり $B = 3, 5, 10, 20 \text{ mm}$ の位置に長さ $L=100 \text{ cm}$ 、径 $\phi 26, \phi 18, \phi 12, \phi 8$ の鉄筋が埋設されている図 2 に示すようなモデルを用いた。ここで鉄筋表面のインピーダンス特性は、全表面で一定値 R_p であると仮定し、対極と鉄筋との間に電圧を印加した境界条件で BEM 解析を行った。この解析結果から対極中心での電位変動量 ϕ と対極への流入電流 I とから見掛けのインピーダンスが計算できる。これを種々の変化させた R_p について行

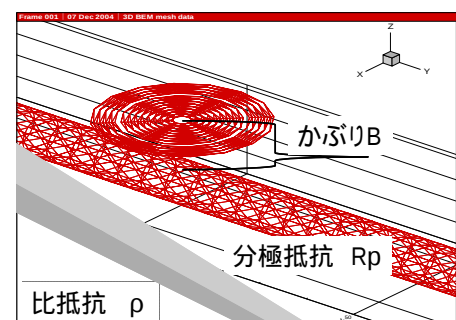


図 2 解析モデル

Keyword: 鉄筋腐食，モニタリング，分極抵抗

連絡先：〒565-0871 吹田市山田丘 2-1, Tel.06-6879-7618, Fax.06-6879-7621

い整理することで図3のようなインピーダンス曲線が得られる。逆推定法とはこのインピーダンス曲線と測定結果(R_s' , R_p')を用い,高周波域でのインピーダンスより R_s (液抵抗)を推定し,また低周波域でのインピーダンスより $R_t(=R_s+R_p)$ を逆計算で推定する手法である。ここでは $R_p=5^0, 5^1 \sim 5^9 \Omega \text{ cm}^2$ の10ケースの解析を行った。

4. 結果考察

上記の解析から,各鉄筋径 ϕ ,かぶり B について作成したインピーダンス曲線を用いて各測定値に逆推定法に適用し,分極抵抗 R_p を得た。ここでは No.9 の供試体($B=9\text{mm}$)のみを図4に示す。かぶり9mm以上のNo1,5,9供試体ではほぼ R_p は $10 \sim 30 \text{ k}\Omega \text{ cm}^2$ の範囲にあった。一方,かぶりが9mm未満のNo3では $20 \sim 50 \text{ k}\Omega \text{ cm}^2$ と若干大きな値であった。次に鉄筋長手方向の腐食面積率を図5に示す。いずれの供試体の腐食面積率も $0 \sim 40\%$ の範囲であった。各分極抵抗測定位置を含む10cm区間の腐食面積率の平均値と R_p の関係を図6に示す。腐食面積率と R_p との間には指数関数的関係が見られた。そして,かぶり9mm以上の供試体では R_p が $30 \text{ k}\Omega \text{ cm}^2$ 以下で腐食発生があり,かぶり9mm未満の供試体では, R_p が $50 \text{ k}\Omega \text{ cm}^2$ 以下で腐食発生があるとの結果となった。腐食面積率と R_p との全体的傾向は報告²⁾と一致するものであり,腐食発生の閾値は報告³⁾と近い値となった。

5. まとめ

長期暴露材に対して,逆推定法を用いて求めた分極抵抗と腐食面積率と対比した結果,過去の報告との一致が認められた。したがって本手法を実構造物に適用することにより,鉄筋の幾何学的形状による分極抵抗の誤差を有効に補正でき,腐食面積率等による腐食程度の定量的評価が可能となると考えられる。
参考文献: 1)松岡,松井:数値解析を用いた交流インピーダンス測定値の定量的評価法について,JCI年次論文集,2003, 2)後藤,松岡他:交流インピーダンス法による鉄筋腐食評価に関する一考,JCI年次論文集,2001, 3)小林,竹本:高炉スラグ微粉末がコンクリートの鉄筋防食性能に与える影響について,JCI年次論文集,Vol.23,2001

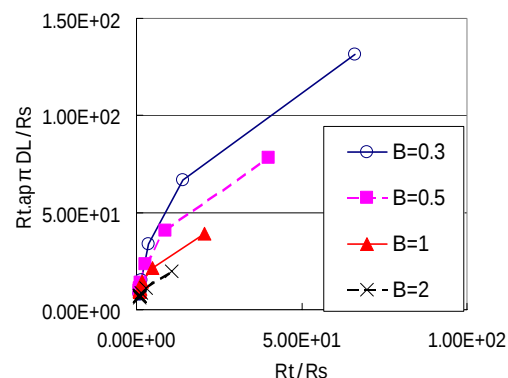


図3 インピーダンス曲線 $\Phi 8$

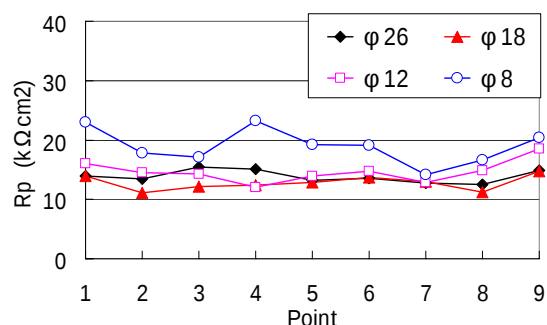


図4 分極抵抗分布 No9 供試体

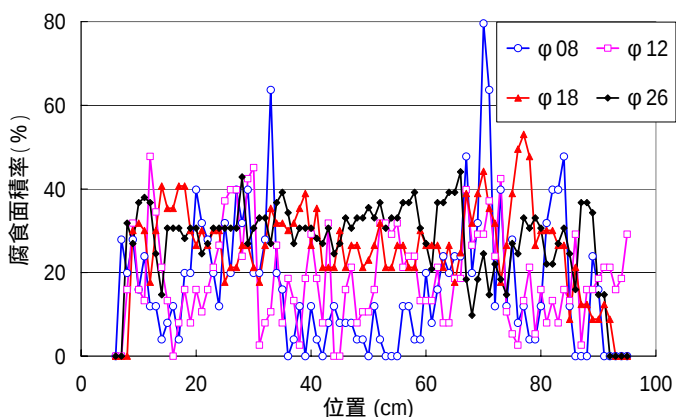


図5 腐食面積率分布 No9 供試体

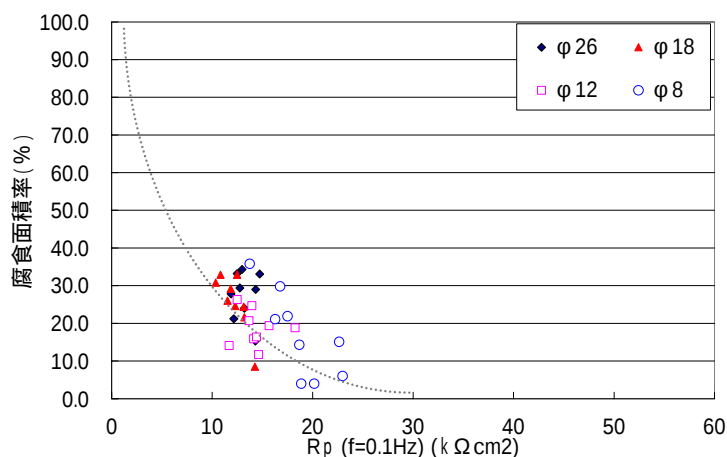


図6 腐食面積率と R_p の関係 No9 供試体