

コンクリートのかぶりを考慮した 分極抵抗および分極電流の分布について

荒木 弘祐¹・関 博²・金子 雄一³

¹正会員 工修 西日本旅客鉄道株式会社 (〒530-0012 大阪市北区芝田 2-4-24)

²正会員 工博 早稲田大学理工学部土木工学科 (〒169-8555 東京都新宿区大久保 3-4-1 51-16-09)

³正会員 工修 東電設計株式会社火力土木部 (〒110-0015 東京都台東区東上野 3-3-3)

コンクリート構造物中の鉄筋の腐食診断方法として、従来から非破壊による電気化学的方法が適用されている。この方法の中で分極抵抗法は、量的、質的な情報を得られる方法であるが、実用には未だに課題が残されている。その一つは、鉄筋と対極間にかぶりコンクリートが存在するため、電極からの電流が分散し、鉄筋の測定箇所が不明となり得られる情報の評価が難しいことにある。電流の分散の補正方法は、様々な研究者によって研究されているが、明確となっていないのが現状である。そこで本論文においては、腐食部と健全部を有するコンクリート中の鉄筋の分極抵抗を測定し、また鉄筋に流入するマクロセル電流や各鉄筋の独立電位を測定し、分極抵抗の分布や電流の分散の挙動を実験的・理論的に明らかにすることを目的とした。

Key Words: non-destructive inspection, current distribution, polarization resistance, cover

1. まえがき

近年、コンクリート中の鉄筋が腐食することによるコンクリート構造物の劣化が大きな課題として取り上げられている。これは、鉄筋腐食により使用性や安全性が低下するためである。鉄筋が腐食し始めると、腐食生成物の体積膨張によりかぶりコンクリートにひび割れが生じ、このひび割れを通じて、腐食反応に必要な酸素や水分の浸入が容易となるため、さらに腐食速度が増加することになる。

そこで、初期の腐食状態で腐食箇所を発見し、早期に補修などの対策を立てることが必要であると思われる。鉄筋の腐食は電気化学的反応であり、腐食反応は非常に微弱であるため、腐食箇所の発見には電気化学的手法を用いることが適していると思われる。しかしながら、この手法は長年研究されてきたにも

関わらず、コンクリート構造物の適用に関しては、未だに不明な点を多く残している。

電気化学的手法により測定される診断因子として、単位面積当たりの鉄筋の分極抵抗（一般にこれを“分極抵抗”と呼ぶが、本文では区別を明確にするため“単位分極抵抗”と呼ぶこととする）があげられる。単位分極抵抗は測定された分極抵抗に分極面積を乗じたものとして計算できるが、分極面積を正確に求めることはきわめて困難である。これは、鉄筋の分極抵抗の測定に際しては、必ずかぶりコンクリートを介して測定を行うため、かぶりコンクリート中で電極からの電流が分散し（本文でこれを“電流拡散”と呼ぶこととする）、分極の箇所が不明になってしまうことが原因となっている。このため、多くの研究者によって数学的処理による補正方法が考えられているが¹⁾²⁾、実際のコンクリート構造物などで電

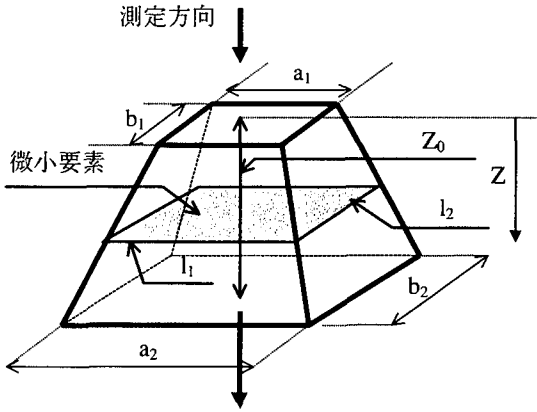


図-1 台形抵抗算出のモデル

流拡散を確認したものは少ない³⁾。

そこで本論文においては、電流拡散のモデルを構築し理論式を提案する事を目的とした。さらに、理論式を確認するためにシリーズ1及びシリーズ2の2種の実験を実施している。シリーズ1としてはコンクリート中の鉄筋に対し理論的に求めた分極抵抗と測定された分極抵抗を比較し、シリーズ2としては各鉄筋部の自然電位及びマクロセル電流から鉄筋の腐食状態を明らかにし、電流拡散の挙動について実験、理論双方から明らかにすることを目的とした。

2. 電流拡散の理論式

(1) 台形抵抗の算出

図-1に示すような、台形の抵抗体の全抵抗値を算出する。この台形抵抗体の比抵抗を均一の ρ ($\Omega \cdot \text{mm}$)とする。図における z 方向の厚さ ΔZ の抵抗値 R_{dz} は式(1)によって算出することが出来る。

$$R_{dz} = \frac{\rho \cdot dZ}{\left(\frac{a_2 - a_1}{Z_0} Z + a_1 \right) \left(\frac{b_2 - b_1}{Z_0} Z + b_1 \right)} \quad (1)$$

この式を $Z=0$ から $Z=Z_0$ まで積分することにより、全台形抵抗を算出することが出来る。式(1)を積分すると、式(2)が得られる。

$$R_z = \frac{Z_0 \cdot \rho}{a_2 b_1 - a_1 b_2} \ln \frac{a_2 b_1}{a_1 b_2} \quad (2)$$

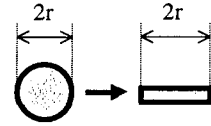


図-2 鉄筋断面のモデル化

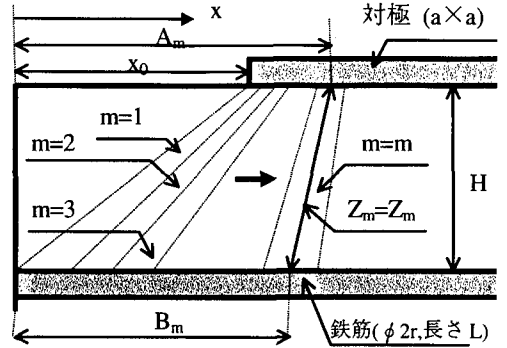


図-3 対極・鉄筋間の流線モデル

(2) 分極抵抗のモデル化

対極から鉄筋への電流は鉄筋周囲に流れるとの解析例もあるが³⁾、分極の影響は鉄筋の測定面側半分には影響を及ぼさないと考えもある⁴⁾。このため、今回のモデルでは簡便化を考えて分極面積は鉄筋測定面側のみとすることとした。

図-2はモデル化の鉄筋断面を示したものであり、鉄筋を鉄筋の直径を幅とした平鋼に置き換えた。このモデル化により、鉄筋の単位分極抵抗を一定値 R_t とすると、長さ L の分極抵抗(R_p)は以下の式によって求められる。

$$R_p = \frac{R_t}{2r \cdot L} \quad (3)$$

(3) 流線モデル

コンクリート中の鉄筋の各部に流れる分極による応答電流(本文では、分極電流と呼ぶ)を解析するためには、各部ごとにコンクリート要素を分割し、解析していく必要がある。解析の簡便化のため、対極と鉄筋間の流線モデルを図-3のように設定した。この図では、以下のように仮定する。

- 鉄筋の長さを L とし、コンクリート面上の対極は一辺 a の正方形とする。鉄筋の直径は $2r$ である。

- 2.分極は鉄筋全体に影響を及ぼしている。
- 3.分極による対極からの分極電流は迷走せず、一定な分散をする。
- 4.分極部を n 個に分ける。その際、左から要素の番号を m とする。
- 5.座標を左から鉄筋方向に取り x とする。対極左端部は鉄筋左端部から x_0 の距離にある。
- 6.分極抵抗は鉄筋を通じて一定とする。
- 7.コンクリートの比抵抗は各部で一定とする。

図-3 に示すように、各要素 m の端部からの対極中心までの距離を $x=A_m$ 、鉄筋中心までの距離を $x=B_m$ とすると、それぞれの距離は次のように m の関数として与えられる。

$$A_m = \left(x_0 + \frac{a}{2n} \right) + (m-1) \frac{a}{n} \quad (4)$$

$$B_m = \frac{L}{2n} + (m-1) \frac{L}{n}$$

各要素の鉄筋と対極間の距離を Z_m とする。また、鉄筋のかぶりを H とすると、 Z_m は式(4)を用いて、以下の式によって算出される。

$$Z_m^2 = \left\{ \left(x_0 + \frac{am}{n} - \frac{a}{2n} \right) - \left(\frac{mL}{n} - \frac{L}{2n} \right) \right\}^2 + H^2 \quad (5)$$

したがって、要素 m の分極電流 $I_m(t)$ は、式(2)及び式(3)を利用して、以下の式(6)のように算出できる。ここで、 R_{zm} は各要素のコンクリートかぶり抵抗、 R_{pm} は単位分極抵抗である。

$$I_m(t=0) = \frac{\Delta E}{R_{zm}} \quad (6)$$

$$I_m(t=\infty) = \frac{\Delta E}{R_{pm} + R_{zm}}$$

ただし、

$$R_{zm} = \frac{Z_m \cdot \rho \cdot n}{a(L-2r)} \ln \frac{L}{2r}, R_{pm} = \frac{R_t \cdot n}{2r \cdot L}$$

上式と式(5)を併せて用いると、各要素の分極電流 I_m の定常値および瞬間値を算出することが可能である。さらに、式(6)を鉄筋全長にわたり考慮することに

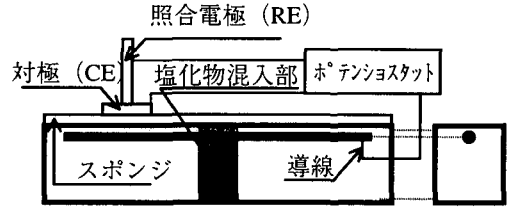


図-4 供試体および測定回路(シリーズ I)

より、以下の式(7)のように電極間に流れる全分極電流の定常値、瞬間値を算出することができる。

$$I(t=0) = \sum_{m=1}^{m=n} I_m(t=0) = \sum_{m=1}^{m=n} \frac{\Delta E}{R_{zm}} \quad (7)$$

$$I(t=\infty) = \sum_{m=1}^{m=n} I_m(t=\infty) = \sum_{m=1}^{m=n} \frac{\Delta E}{R_{pm} + R_{zm}}$$

また、全分極電流に対する各要素の分極電流はそれぞれ以下の式によって与えられる。ここで、全瞬間値に対する各要素瞬間値を $P1(m)$ 、全定常値に対する各要素定常値を $P2(m)$ とする。

$$P1(m) = \frac{I_m(t=0)}{I(t=0)} \times 100(\%) \quad (8)$$

$$P2(m) = \frac{I_m(t=\infty)}{I(t=\infty)} \times 100(\%)$$

式(8)から、各要素に流れ込んでいる分極電流の割合を算出することが出来る。

さらに、式(7)によって求められる全分極電流から鉄筋の分極抵抗 (R_{pc}) が式(9)の様算出される。

$$R_{pc} = \left\{ \frac{\Delta E}{I(t=\infty)} - \frac{\Delta E}{I(t=0)} \right\} \quad (9)$$

3. シリーズ1-分極抵抗分布の再現

(1) 供試体の作成

シリーズ1で用いた供試体を図-4に示す。供試体の大きさは $80 \times 80 \times 560$ mm、鉄筋のかぶりは 15 mm であり、長さ 500 mm、 $\phi 9$ mm の丸鋼を埋設した。鉄筋は黒皮付き鉄筋を用い、10%クエン酸二アンモニウム溶

液に48時間浸漬し、黒皮を完全に除去した。コンクリートは普通ポルトランドセメントを用い、 $W/C=0.6$ とした。細骨材は川砂を用い、粗骨材は最大寸法10mmの碎石を用いた。これをコンクリート(1)とする。供試体の作成には、このコンクリート(1)と同配合で塩化ナトリウムを 15kg/m^3 混合したコンクリート(2)を併せて使用した。打設は、まず最初に供試体中央部の幅50mmの塩化物混入部にコンクリート(2)を打設し、脱型した後、塩化物無混入部にコンクリート(1)を打ち込んだ。コンクリート硬化後、脱型し水中養生を2週間行った後、湿度95%の環境に所定材齢まで保管した。

(2) 実験方法

照合電極および対極とコンクリート面の接触抵抗を低減させるために水酸化カルシウムを含んだスポンジを敷いた。対極は50mmの正方形で、中央に照合電極設置用に直径10mmの抜きが施してあり、照合電極は銀・塩化銀電極を用いた。測定点は、鉄筋の端から50mm等間隔で、計10点と、塩化物混入部真上1点の11点で行った。測定は図-4に示すとおりであり、かぶり抵抗は10mVまでの分極による電流の瞬間値から計算し、分極抵抗はほぼ安定した電流の測定値とかぶり抵抗から算出した。また、コンクリートの比抵抗は管理供試体($\phi 50 \times 30\text{mm}$)を用いてACインピーダンス法(周波数1kHzにおける比抵抗)で測定を行った。

(3) 測定分極抵抗の傾向について

測定された分極抵抗の一例を図-5に示す。シリーズ1の実験供試体は供試体中央部の鉄筋が腐食状態になると考えられる。このため、供試体中央部の測定点、つまり対極位置5,6,7では測定された分極抵抗が小さくなるはずであり、実験結果でも同一の結果が得られた。しかし、腐食鉄筋と健全鉄筋の単位分極抵抗は大きく相違すると予想されるのに対し、測定結果では腐食鉄筋部の測定値(対極位置5,6,7)とそれ以外の測定点での値はそれほど大きな違いが見られなかった。これは、健全鉄筋部の測定点においても、分極抵抗が遥かに小さい腐食鉄筋部に分極電流がかなりの割合で流れこんでいるためではないかと考えられる。このため、測定された分極抵抗は腐食鉄筋の影響を受け、健全鉄筋で予想される値よりも小さな

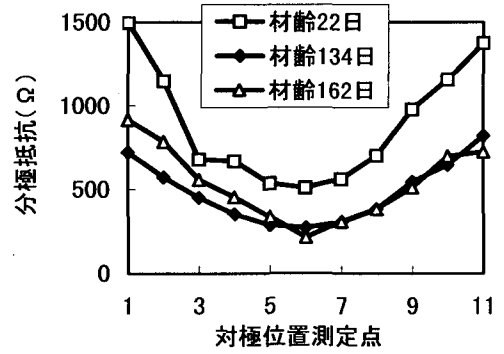


図-5 実測分極抵抗

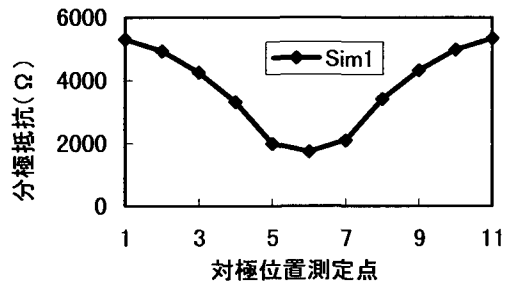


図-6 シミュレーション(Sim1)の結果

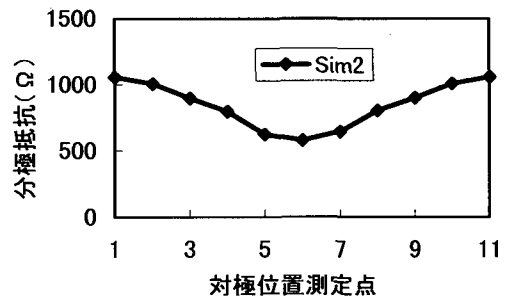


図-7 シミュレーション(Sim2)の結果

値になったのではないかと考えられる。

(4) 理論式によるシミュレーション

a) シミュレーション1

実測された分極抵抗を今回提案した理論式を用いて再現することを試みた。今回のシミュレーションをSim1とし、電流の拡散理論式(5),(6),(9)を用いた。要素分割は $n=100$ とした。これらの式におけるパラメータは実験供試体と同一の $a=50\text{mm}$, $L=500\text{m}$, $2r=9\text{mm}$, $H=15\text{mm}$, $\Delta E=0.01\text{V}$ とした。コンクリー

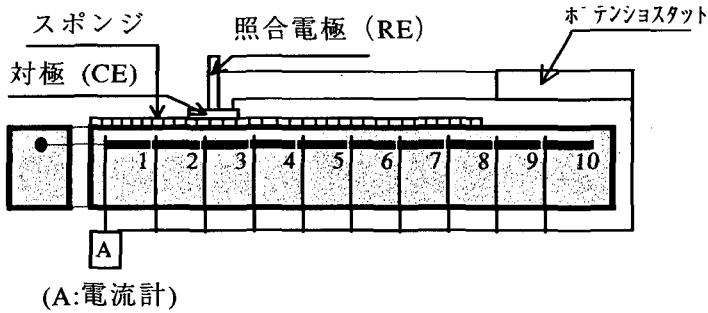


図-8 供試体およびマクロセル電流測定試験回路(シリーズⅡ)

ト比抵抗は実験値から、塩化物の有無に関係なく $50000 \Omega \cdot \text{mm}$ とした。また、鉄筋の単位分極抵抗は Gonzalez らが報告している腐食鉄筋で $8.0 \times 10^5 \Omega \cdot \text{mm}^2$ 、健全鉄筋で $300 \times 10^5 \Omega \cdot \text{mm}^2$ とし⁹⁾、腐食鉄筋を $m=45 \sim 55$ とした。この設定により、電流拡散の理論式は x_0 と m の関数となる。Sim1 の結果を図-6 に示す。

b) 実験値と理論値の整合性

図-6 の Sim1 を見ると、このシミュレーション結果は実験値の傾向をよく捉えていると言える。しかし、シミュレーションにより算出された分極抵抗は実験値と比べて 5~10 倍大きい。これは、最初に仮定した健全部の単位分極抵抗 ($300 \times 10^5 \Omega \cdot \text{mm}^2$) が大きすぎたためと考えられる。供試体中の鉄筋の大部分は腐食を生じていないと考えられ、この部分の分極抵抗を大きく仮定すると、全体の分極抵抗が大きくなり、分極電流が小さくなることにより、算出される分極抵抗は大きくなる。

c) シミュレーション 2

実験結果と整合性を持たせるために、腐食部の単位分極抵抗はそのままの $8.0 \times 10^5 \Omega \cdot \text{mm}^2$ 、健全部の単位分極抵抗は $30 \times 10^5 \Omega \cdot \text{mm}^2$ とした場合の Sim2 の結果を図-7 に示す。この図を見ると、実験値の分布の傾向にさらに近づくことがわかる。また、理論分極抵抗の値と実験測定分極抵抗の値もかなり近くなっており、整合性もよくなっている。このように、健全鉄筋の単位分極抵抗を小さく設定した方が実験データに近づくため、実際の供試体においても同一の現象が生じているのではないかと考えられる。何らかの僅かな腐食反応が健全鉄筋で生じていれば、分極抵抗は完全に健全である鉄筋の分極抵抗よりも小さくなる。また、健全部の単位分極抵抗自体が材齢にとも

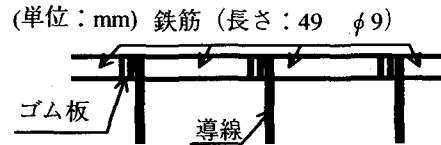


図-9 セル鉄筋の概要

ない変化している可能性も考えられる。

以上のように、腐食部、健全部の単位分極抵抗が適切に設定されれば、実際に測定された分極抵抗を再現することが可能であると考えられる。今回の電流拡散の理論式は、実際の実験状況をかなり単純化したものであるにも関わらず、実験で得られた測定値の傾向に近いシミュレーション結果が得られており、今回提案した解析方法の妥当性を示していると考えられる。

4. シリーズ 2-電流拡散の再現-

(1) 供試体の作成

シリーズ 2 の実験供試体及び測定回路の詳細を図-8 に示す。供試体の大きさはシリーズ 1 の供試体と同一の $80 \times 80 \times 560 \text{mm}$ である。鉄筋は長さ 49mm、 $\phi 9 \text{mm}$ であり、厚さ 1mm のゴム板を介して 10 本接合し、導線を全て短絡すれば電気的には一本の鉄筋になるように作成した。以下、この鉄筋全体を模型鉄筋と呼ぶ。また、各鉄筋をセル鉄筋と呼び、左からセル鉄筋 No.1~No.10 と呼称する。セル鉄筋の詳細を図-9 に示す。コンクリートは 3.1 で設定したコンクリート (2) のみを使用した。かぶり厚は 15mm とした。供試体は 24 時間で脱型し、水中養生を 14 日間行った。その後、測定面以外をエポキシ樹脂でそれぞれ 3 層にコーティングし、測定期間中は湿度 95% の環境に

保管した。養生期間中は導線を短絡しておいた。

(2) 実験方法

a) 測定方法

シリーズ 2 での測定点は基本的にはシリーズ 1 とほぼ同様である。測定点は左から等間隔 50mm の 10 点である。対極および照合電極はシリーズ 1 と同様のものを用いた。

シリーズ 2 の測定方法を以下に示す。シリーズ 1 と同様に接触抵抗を低減させる処理を行った後、図-8 の様に測定回路を組む。この際、対極は対極位置 1 に設置する。最初に、電流計をセル鉄筋 No.1 に接続する。電流計は、マイナス端子をセル鉄筋側に、プラス端子をそれ以外の導線側に接続する。まず、ポテンシostatにより全鉄筋の自然電位を測定する。また、電流計によりセル鉄筋 No.1 に流れるマクロセル電流 (I_{mi}) を測定する。その後、電流計を保持したままポテンシostatで全鉄筋の自然電位に対して 10mV の分極量を与える。この際、ポテンシostat内蔵の電流計で全鉄筋分極電流 (I) を測定し、さらに電流計でセル鉄筋 No.1 に流れているセル鉄筋の分極電流も測定する。ここで、最初に測定したマクロセル電流と、分極中のセル鉄筋分極電流の差が、分極によってセル鉄筋に流れた電流量である。これを補正セル鉄筋分極電流と呼ぶことにし、(Ii) とする。

測定終了後、対極位置は変化させず、電流計をセル鉄筋 No.2 に移動し、同様に分極させ測定値を得る。この測定をセル鉄筋 No.10 まで行った後、対極を対極位置 2 に移動し、電流計を再びセル鉄筋 No.1 に接続して同様の測定を行い、引き続きセル鉄筋 No.2～No.10 まで測定を行う。

この測定は、対極位置 10、セル鉄筋 No.10 まで同様に行う。その後、導線を全て切断し、各セル鉄筋の電位 (E_s 、本文では、これを“独立電位”と称することとする) の測定を行う。

以上がシリーズ 2 の測定方法である。

b) 実験測定値の処理方法及び測定結果

測定された I, I_i の処理を式(10)によって行う。

$$\begin{aligned} P1_i &= \left[\frac{I_i(t=0)}{I(t=0)} \right] \times 100(\%) \\ P2_i &= \left[\frac{I_i(t=30)}{I(t=30)} \right] \times 100(\%) \end{aligned} \quad (10)$$

式(10)において t は分極時間を示す。つまり、 $t=0$ は

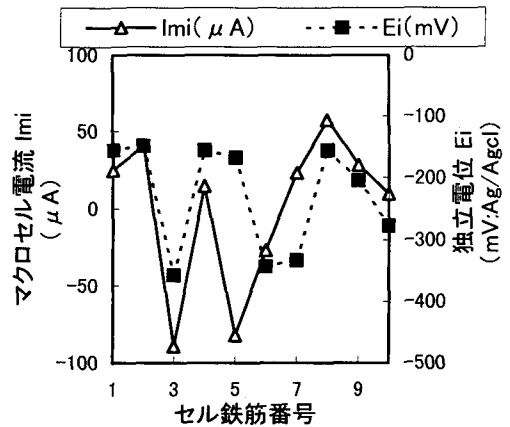


図-10 マクロセル電流及び独立電位分布 (供試体No.1 材齢26日)

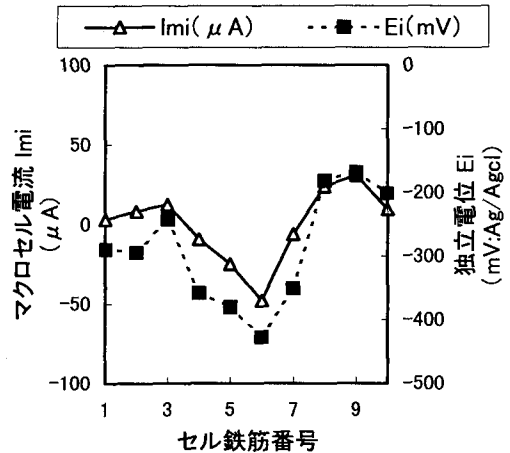


図-11 マクロセル電流及び独立電位分布 (供試体No.3 材齢61日)

分極させた瞬間の電流値であり、 $t=30$ は分極させてから 30 秒後の電流値である¹⁾。

この式の $P1, P2$ は全分極電流に対する補正セル鉄筋分極電流の比率を示している。つまり、 $P1, P2$ の値が大きければ大きいほどそのセル鉄筋に分極電流が流れ込んでいることになる。

(3) セル鉄筋の腐食判定

セル鉄筋の腐食の有無は、測定で得られたマクロセル電流及び独立電位で判定した。マクロセル電流、独立電位の測定例を図-10、図-11 に示す。

図-10、図-11 を見ると、基本的にはマクロセル電流と独立電位は相関性があると考えられる⁶⁾。マクロセル電流が負の値を示している場合は、独立電位も大

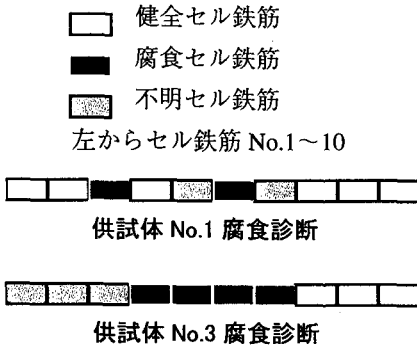


図-12 各供試体の腐食診断

大きく卑の値を示している場合が多い。独立電位が卑に大きな値を示している場合は鉄筋が腐食している可能性が高く、また、電流計の接続方法からも、負のマクロセル電流が得られている場合は、そのセル鉄筋に電流が流れ込み、腐食反応によって電子を放出しているセル鉄筋と考えられる。このようなセル鉄筋は「腐食セル鉄筋」と診断した。その逆も同様に、「健全セル鉄筋」と診断した。

しかしながら、この図-10、図-11 を見るとマクロセル電流と独立電位が相反しているケースや、判断が難しいケースが存在することが分かる。たとえば、図-10 のセル鉄筋 No.5 では、独立電位は他のセル鉄筋と比べて卑であるとは言いが、マクロセル電流は明らかに腐食の可能性を示しており、矛盾している。さらに、供試体 No.3 ではセル鉄筋 No.1,2,3 のマクロセル電流、独立電位ともに No.4~No.10 の値に対し中間の値であり、このようなセル鉄筋は複雑な腐食形態をとっていると思われるので、独立電位とマクロセル電流のみでは明確な腐食判定をすることが出来ない。このため、このようなセル鉄筋は「不明セル鉄筋」と診断した。

このようにして得られた診断結果を図-12 に示す。

(4) 要素分極電流における電流拡散の再現

a) 理論式による再現

腐食診断で得られた鉄筋の腐食状況から、各セル鉄筋の単位分極抵抗を設定し、電流拡散理論式により要素分極電流の全分極電流に対する比 P1, P2 の再現を行う。

図-13 及び図-14 はもっとも典型的な P1, P2 の測定結果を示している。図-13 は材齢 26 日における供

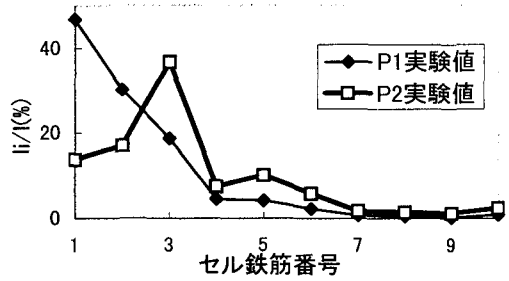


図-13 要素分極電流 (I_i) に対する全分極電流 (I) の比率 (供試体 No.1)

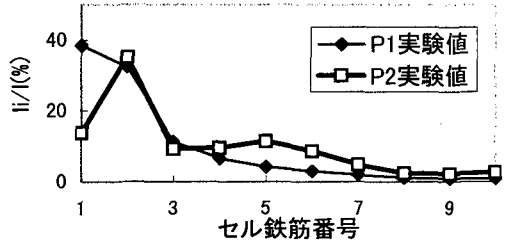


図-14 要素分極電流 (I_i) に対する全分極電流 (I) の比率 (供試体 No.3)

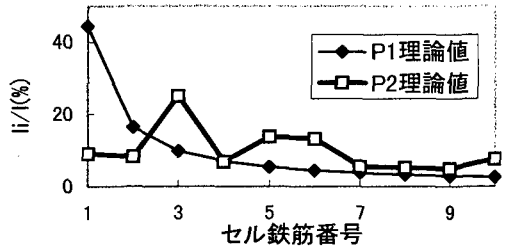


図-15 要素分極電流 (I_i) に対する全分極電流 (I) の比率 (供試体 No.1)

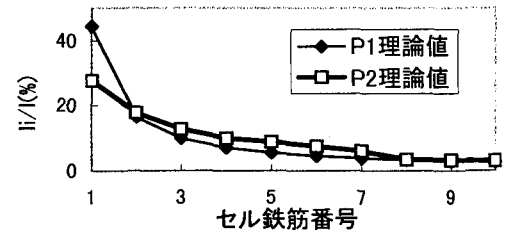


図-16 要素分極電流 (I_i) に対する全分極電流 (I) の比率 (供試体 No.3)

試体 No.1、対極位置 1 の測定結果であり、図-14 は材齢 61 日における供試体 No.3、対極位置 1 の測定結果である。

電流拡散理論式で示した式(5)~(8)を用いる。シリーズ 1 と同様に各パラメータを設定する。図-13 及び

図-14の実験値で示したと同様、対極は対極位置1に設置したと仮定した。このため、シリーズ1とは異なり、式(5)中の x_0 は常に0である。各要素の単位分極抵抗の設定は、腐食診断で得られた診断結果を利用した。単位分極抵抗は、腐食セル鉄筋に対しては $8.0 \times 10^5 \Omega \cdot \text{mm}^2$ 、健全セル鉄筋に対しては $30 \times 10^5 \Omega \cdot \text{mm}^2$ を用いた。不明セル鉄筋の単位分極抵抗は、腐食部と健全部の面積比が1:10の割合の場合であると仮定し、 $16 \times 10^5 \Omega \cdot \text{mm}^2$ を用いた。供試体No.1のシミュレーション結果を図-15、供試体No.3のシミュレーション結果を図-16に示す。

b) 実験値と理論値の比較

分極電流瞬間値($t=0$)は理論式を見ても分極抵抗に無関係であるため、コンクリートが均一であればP1の値は図-15及び図-16のように減衰曲線を描くはずである。実験値においても瞬間値の比率P1は減衰曲線を描いているといえる。理論的にも実験値においてもこれを確認できたため、式(6)の理論式によるかぶり抵抗 R_{zm} の算出方法は実験値を良く近似できているといえる。

定常値のP2は理論式を見ても、分極抵抗の影響を大きく受けることが分かる。腐食部の分極抵抗は健全部の分極抵抗に比べ非常に小さく、このため、以前から対極直下ではなく周辺に腐食部が存在する場合は、分極電流の多くがこの腐食部に流れ込み、対極真下の鉄筋の分極抵抗を測定できないと指摘されてきた⁵⁾。実験値の図-13、図-14を見ると、対極位置はセル鉄筋No.1の真上に配置したのにも関わらず、分極電流は対極位置真下のセル鉄筋No.1ではなく、供試体No.1ではNo.3、供試体No.3ではNo.2に流れ込んでいることがわかる。これは、明らかに電流拡散を生じていることを示している。

さらに、理論式による分極電流の分布(図-15、図-16)を見ると、図-15はよく実験値の傾向をとらえているといえる。しかしながら、図-16を見ると、実験値と理論値の分極電流の分布が一致していないことがわかる。これは、最初に設定した単位分極抵抗が実験値と大きく異なっていたためと思われる。供試体No.3は実際には複雑な腐食形態をとっていると思われるので、単位分極抵抗の設定が難しい。供試体No.1の様に、独立電位、マクロセル電流が明らかに腐食状況を示す場合には、今回の解析方法により実験傾向をとらえることが出来ると思われる。

今回の実験結果から、電気化学的方法においては実際に電流拡散を生じていることが明らかになった。また、様々なパラメータから明らかに腐食判定できる場合は、理論式によりこの二次元の電流分布を再現することが可能であると思われる。

5. 結論

今回提案した理論式及び実験結果から以下のことが明らかになったと思われる。

- (1) 提案した電流拡散理論式(式(5)~(9))を用い、各部に適切な単位分極抵抗を設定することにより、実際に生じている分極抵抗の分布を再現することができる。
- (2) 実際の測定においても電流拡散が生じていることが確認できた。
- (3) 腐食状況によっては、電流拡散理論式を用いて分極電流の分布を再現することが可能である。

謝辞：本実験の実施に当たり、小山 雅義君(株式会社ピーエス)、土屋 三智久君(建設技術研究所)に御協力頂いた。記して感謝の意を表する次第である。

参考文献

- 1) Feliu, S., Gonzalez, J.A., Andrade, C., and Feliu, V.: On-Site Determination of the Polarization Resistance in a Reinforced Concrete Beam., CORROSION, Vol. 44, No. 10, pp.761-765, October 1988.
- 2) Feliu, S., Gonzalez, J.A., Andrade, M.C., and V.Feliu: Determination Polarization Resistance in Reinforced Concrete Slabs., Corrosion Science. Vol. 29, No.1, pp.105~113, 1989.
- 3) 研究委員会報告書:コンクリート構造物の電気防食法:社団法人日本コンクリート工学協会, pp.179-194, 1994.10.
- 4) Shehgal, D.A., Li, Kho, Y.T., K.Osseo-Asare, and H.W.Pickering: Reproducibility of Polarization Resistance Measurements in Steel-in-Concrete Systems., Corrosion-Vol.48, No.9, pp.706~714, 1992.
- 5) Feliu, S., Gonzalez, J.A., Escudero, M.L., Feliu, Jr, S., and Andrade, M.C.: Possibilities of the Guard Ring for Electrical Signal Confinement in the Polarization Measurements of Reinforcements., Corrosion, Vol.46, No.12, pp.1015~1020, 1990.
- 6) 岡田 清, 小柳 洽, 宮川 豊章: コンクリート部材のひび割れと鉄筋腐食に関する研究, 土木学会論文報告集, 第281号, pp.75~87, 1979年1月。

(1997. 3. 11 受付)

THEORETICAL AND EXPERIMENTAL STUDIES OF CURRENT DISTRIBUTION IN NON-DESTRUCTIVE INSPECTION METHOD OF REINFORCEMENTS EMBEDDED IN CONCRETE

Kosuke ARAKI, Hiroshi SEKI and Yuichi KANEKO

Various electrochemical methods in non-destructive techniques have been applied to inspect reinforcements embedded in concrete members. Though the polarization resistance measurement provides qualitative and quantitative information for the corroded situation of reinforcements, there have been remained some problems so as to apply for the practical usage. Main problem is caused by the current distribution through cover concrete. In this paper, the theoretical model is proposed. The model is evaluated based on the laboratory tests of concrete specimens, in which the macro cell current, the independent voltage and the polarization resistance of reinforcements embedded in the specimen are measured.