

# 論文 セル定数を用いたコンクリート比抵抗と等価被測定面積を用いた コンクリート中の鉄筋の分極抵抗の推定

金田 尚志\*1・松岡 和巳\*2

**要旨:** コンクリート中の鉄筋の分極抵抗を測定する際、分極抵抗測定器は高周波数パルスで測定したコンクリート抵抗と高低二周波数の抵抗差で求められる鉄筋の分極抵抗を表示するが測定値( $\Omega$ )からコンクリート比抵抗( $\Omega \cdot \text{cm}$ )や単位面積で定義される真の鉄筋の分極抵抗( $\Omega \cdot \text{cm}^2$ )に換算する必要がある。そこでBEMシミュレーションで予めセル定数と等価被測定面積を算出しておき、測定値に定数を乗じるだけでコンクリート比抵抗と真の鉄筋の分極抵抗を推定できる手法を紹介する。事前に測定対象の配筋状況がわかっている場合、この手法を適用すれば、現場で瞬時にコンクリート比抵抗と真の鉄筋の分極抵抗を把握することができる。

**キーワード:** 分極抵抗, コンクリート比抵抗, 境界要素法(BEM), セル定数, 等価被測定面積

## 1. はじめに

著者らは、3次元境界要素法(以下BEMとする)によるコンクリート中の電流分布解析手法を適用してコンクリート中の鉄筋の真の分極抵抗を精度良く推定する方法を提案している<sup>1), 2)</sup>。この手法は、コンクリート表面上に設置したプローブ位置と測定対象となるコンクリート中の鉄筋の配筋状況をモデル化(BEMメッシュの構築)し、コンクリート比抵抗や鉄筋の真の分極抵抗を変化させてシミュレーションを行い、現場で得られた測定値に合致する条件を逆推定するものである。

この手法は精度良く鉄筋の真の分極抵抗を推定できるものの、現場計測の後にBEMシミュレーションと逆推定を行うため、現場で瞬時に結果を出すことができない。また特殊なシミュレーションが必要であり、測定・解析データの解釈にも知識が要求されるため、誰もが簡単に行えるものではない。計測現場では誰もが簡単に瞬時に結果を得られる手法が有効であり、例えば測定器が表示する測定値に予め求めておいた係数を乗じる等のロジックで計算できれば大変便利である。

そこで、測定値  $R_s'(\Omega) \div \text{セル定数}(\text{cm}^{-1})$  でコンクリート比抵抗( $\Omega \cdot \text{cm}$ )を、測定値  $R_p'(\Omega) \times \text{等価被測定面積}(\text{cm}^2)$  で真の鉄筋の分極抵抗( $\Omega \cdot \text{cm}^2$ )を算出する手法を提案する。セル定数と等価被測定面積の算出は、配筋条件ごとに行う必要があるが、データを蓄積してパターン化しておけば同様な配筋条件の調査にも応用が可能となり、これまでのようにその都度BEMシミュレーション+逆推定を行う手間が省略できると考えられる。

## 2. 測定電流の分布の特性

### 2.1 溶液中における測定電流の分布状況

コンクリート中の鉄筋の分極抵抗の測定時の電流分

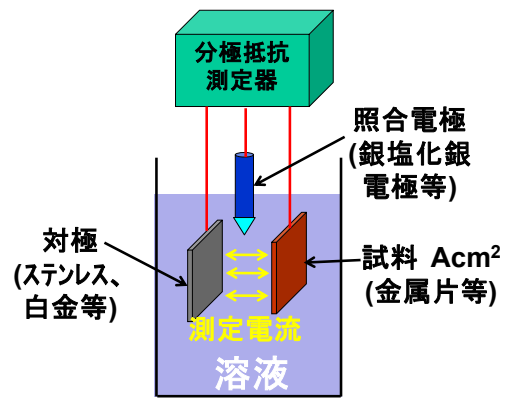


図-1 溶液中における金属片の分極抵抗の測定例

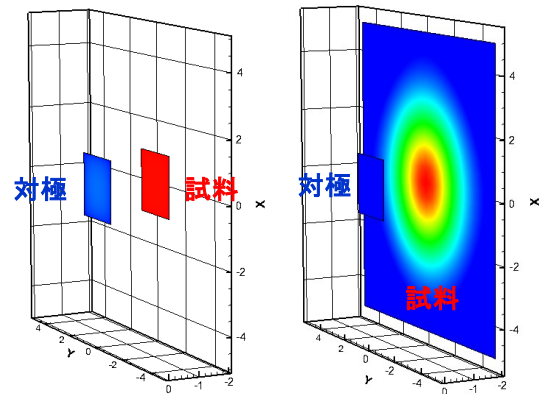


図-2 試料の面積増大による電流密度分布の変化

布状況を把握する前に、簡単な例として溶液中の金属片(表面積:  $A \text{ cm}^2$ )の分極抵抗を求める場合を考える。表-1に本論文で用いる用語、記号、単位、説明の一覧を示す。図-1のように測定は1つの対極を用いた基本的な手法とする。測定に用いる金属片は、対極と対面する側以外は絶縁シールを施して裏側に電流が回り込ないようにしておく。対極の大きさが金属片とほぼ同じで、且つ金属片表面の分極抵抗が一様である場合には、図-2(左)のよう

\*1 (株)日鐵テクノリサーチ 検査・計測事業部 君津センター 技術主幹 博士(工学) (正会員)

\*2 新日本製鐵(株) 鉄鋼研究所 鋼構造研究開発センター 主幹研究員 博士(工学)

表-1 用語の説明

用語	記号	単位	説明
真の分極抵抗	$R_p$	$\Omega \cdot \text{cm}^2$	測定対象となる鉄筋(鋼材)の分極抵抗
コンクリート(溶液)比抵抗	$\rho$	$\Omega \cdot \text{cm}$	コンクリート(溶液)の比抵抗、導電率の逆数
見掛けの分極抵抗	$R_p'$	$\Omega$	測定器が表示する鉄筋(鋼材)の分極抵抗
見掛けのコンクリート(溶液)抵抗	$R_s'$	$\Omega$	測定器が表示するコンクリート(溶液)抵抗
見掛けの総抵抗	$R_t'$	$\Omega$	$R_s'$ と $R_p'$ の和で、BEMシミュレーションでは $\rho$ 、 $R_p$ 、 $R_{p,CE}$ を入力すると出力として得られる
セル定数	$K$	$\text{cm}^{-1}$	理想的な平板モデルの場合、電極間距離÷電極面積で求められる
等価被測定面積	$EA$	$\text{cm}^2$	鉄筋(鋼材)の測定電流密度が一律と仮定した場合の被測定面積
対極の分極抵抗	$R_{p,CE}$	$\Omega \cdot \text{cm}^2$	プローブ対極(Counter Electrode)の分極抵抗、事前に計測して求めておく
分極パラメーター	$L_p$	$\text{cm}$	電流が集中して流れるか拡散するかの指標、 $R_p \div \rho$ で求められる

に対極から金属片に向かって測定電流は一律に流れ、金属表面で電流密度はほぼ均一となる。金属片の真の分極抵抗  $R_p(\Omega \cdot \text{cm}^2)$ は式(1)で示すように測定値  $R_p'(\Omega)$ に金属片の表面積  $A(\text{cm}^2)$ を乗じることで簡易に求めることができる。

$$R_p(\Omega \cdot \text{cm}^2) = R_p'(\Omega) \times A(\text{cm}^2) \quad (1)$$

溶液の比抵抗 $\rho(\Omega \cdot \text{cm})$ は見掛けの溶液抵抗  $R_s'(\Omega)$ をセル定数  $K(\text{cm}^{-1})$ で除して求めることができる。

$$\rho(\Omega \cdot \text{cm}) = R_s'(\Omega) \div K(\text{cm}^{-1}) \quad (2)$$

セル定数は、同じ面積の金属板が向かい合っている場合、金属板の間隔  $L(\text{cm}) \div$  金属板の面積  $A(\text{cm}^2)$ で近似できる。例えば、 $1\text{cm}^2$ の金属板を  $1\text{cm}$ の間隔でセットした場合のセル定数は  $1\text{cm}^{-1}$ となる。図-3 は土壌の比抵抗を測

定している例である。このセルを用いて測定を行った場合、 $K=9\text{cm} \div (3\text{cm} \times 3\text{cm})=1\text{cm}^{-1}$ となるため、土壌の比抵抗は測定器が表示する  $R_s'(\Omega)$ をそのまま $\rho(\Omega \cdot \text{cm})$ に読み替えて求めることができる。土壌や溶液等は容易に所定寸法のセルに入れて比抵抗を測定できるが、実構造物からコンクリートを切り出して側面に電極板を設置して測定することは現実的ではないため、後述のように対極と鉄筋間のかぶりコンクリートの  $R_s'$ からコンクリート比抵抗を計算することとする。

図-2(右)のように対極に対して試料の面積が大の場合、試料の電流密度は均一とならず、対極に近い箇所の電流密度が高くなり、対極から離れるにつれ電流が流れなくなっていることが確認できる。コンクリート中の鉄筋の分極抵抗を測定する場合の電流分布も同様に対極の面積に対して試料となる鉄筋の面積が大であるため、測定電流はコンクリート内部に拡散しながら流れる。鉄筋表面の電流密度が一定にならないため、式(1)のように簡単に真の鉄筋の分極抵抗を求めることができないことが分極抵抗法を鉄筋の腐食調査に適用する際の課題となっている。

## 2.2 コンクリート中における測定電流の分布状況

コンクリート中の鉄筋の分極抵抗を測定する場合、コンクリート表面に設置したプローブの対極と内部の鉄筋間に交流電流を流すが、この測定電流の分布に影響を及ぼすのは、配筋状態(かぶり、鉄筋径、ピッチ)、プローブの対極の寸法と鉄筋の幾何学的配置(通常対極は測定対象の鉄筋の直上に設置)、コンクリート比抵抗、鉄筋と

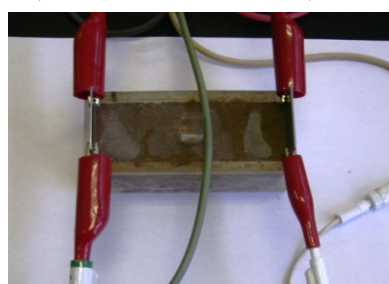
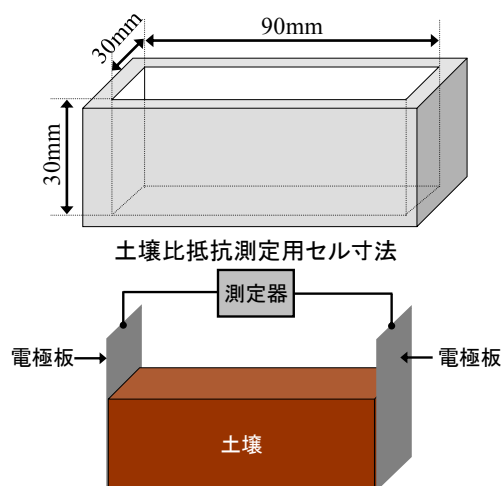


図-3 土壌比抵抗の測定例

表-2 測定電流の集中拡散の傾向

	集中	←電流の拡散傾向→	拡散
かぶり	薄い	⇔	厚い
ピッチ	広い	⇔	狭い
コンクリート比抵抗	高い	⇔	低い
鉄筋の分極抵抗	低い	⇔	高い
対極の分極抵抗	低い	⇔	高い
鉄筋径	太径	⇔	細径

対極の分極抵抗である。測定電流が対極直下の鉄筋に集中して流れるか、拡散して流れるかの傾向をまとめると表-2 のようになる。かぶりが薄いと対極直下の鉄筋に集中して電流が流れ、かぶりが厚くなると拡散する。ピッチが広い場合、対極直下の鉄筋と隣の鉄筋の距離が広がるため、対極直下の鉄筋に集中して電流が流れる。コンクリート比抵抗が低いと電流はコンクリート中を流れやすくなるため拡散して流れる。鉄筋の分極抵抗が高いとコンクリート⇄鉄筋間の電流が流れにくくなり、広い鉄筋の面積で電流を受けようになるので、拡散して流れるようになる。対極の分極抵抗も鉄筋の分極抵抗と同様な傾向を示すが、鉄筋面積と比較して対極面積が小さいため、対極の分極抵抗が電流分布に及ぼす影響は小さい。鉄筋径が大きくなると、プローブ直下の鉄筋の上面側に電流が集中して流れる。本論文では、鋼材の分極抵抗は全表面一律と仮定し、腐食生成物の影響や、局部腐食箇所(分極抵抗が局部的に低い箇所)に測定電流が集中して流入する現象等の鋼材の不均一性については評価できないものとする。また、同様に比抵抗も一律としている。

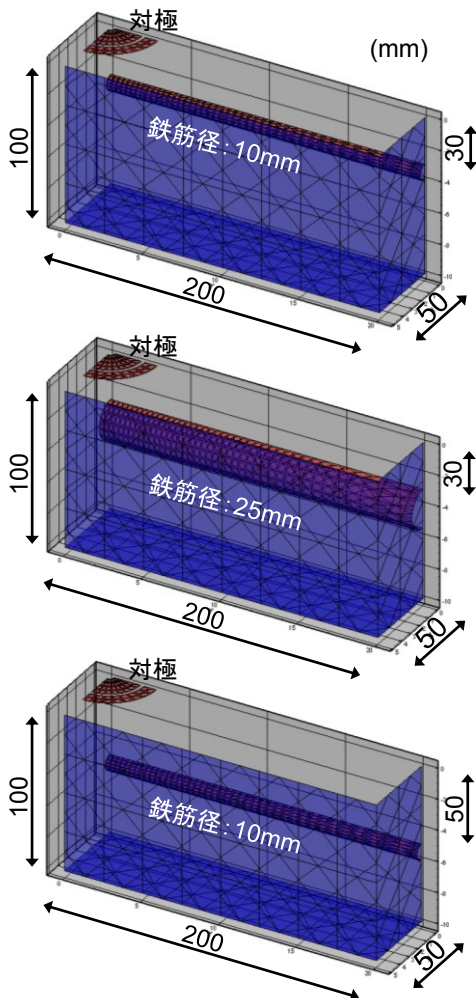


図-4 単鉄筋モデル BEM メッシュ(1/4 モデル)

### 3. 単鉄筋モデルのセル定数と等価被測定面積の算出

#### 3.1 単鉄筋モデルの構築

セル定数と等価被測定面積は BEM シミュレーションの結果から算出する。実構造物の配筋状況は一般的に格子配筋であるが、簡単なモデルとして室内実験で行われているような 100×100×400mm の型枠に鉄筋が一本配置されている試験体モデルを構築する。かぶりと鉄筋径の違いによるセル定数と等価被測定面積の変化を確認するため、かぶり 30mm に鉄筋径 10mm と 25mm、かぶり 50mm に鉄筋径 10mm を配置した合計 3 モデルとした。プローブの対極はモデルの中央に設置した場合とし図-4 のように左右、軸方向で対称なため 1/4 モデルとする。

#### 3.2 単鉄筋モデルのセル定数の算出

表-2 に示すとおり、コンクリート比抵抗によって電流分布が変化するため、鉄筋の真の分極抵抗を推定する際にコンクリート比抵抗も正確に推定しておく必要がある。

BEM のシミュレーションの順解析では、 $\rho$ 、 $R_p$ 、 $R_{p,CE}$  を設定すると出力として  $R_p'$  と  $R_s'$  が得られる。コンクリート比抵抗は高周波数で測定するため、鉄筋と対極の分極抵抗成分を無視できる。BEM シミュレーションでは、鉄筋と対極の分極抵抗をほぼゼロとして計算(BEM では便宜上  $1.0\Omega \cdot \text{cm}^2$  としている)することで高周波数測定時の電流分布を模擬する。 $R_p=R_{p,CE}=1.0\Omega \cdot \text{cm}^2$  に設定し、 $\rho$  を一般的なコンクリートの比抵抗である  $10^3 \sim 10^5 \Omega \cdot \text{cm}$  として計算させると図-5 のように  $\rho$  と  $R_s'$  の比例関係が得られる。式(2)を変形して式(3)でそれぞれのモデルのセル定数が算出される。

$$K(\text{cm}^{-1})=R_s'(\Omega) \div \rho(\Omega \cdot \text{cm}) \quad (3)$$

これらの試験体を分極抵抗測定器で測定した場合のコンクリート比抵抗は、測定器が表示した  $R_s'$  に相応す

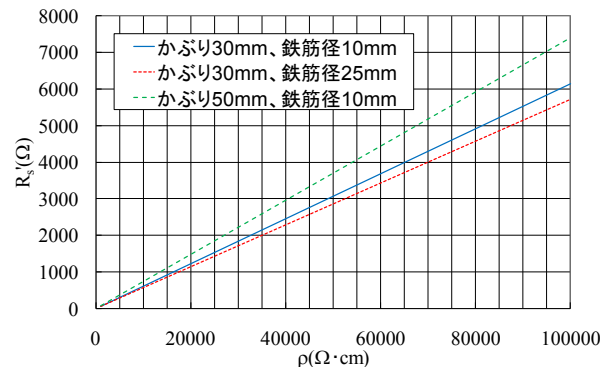


図-5 単鉄筋モデルの  $\rho$  と  $R_s'$  の関係

表-3 単鉄筋モデルのセル定数の算出

かぶり	鉄筋径	BEMシミュレーション		
		$\rho(\Omega \cdot \text{cm})$	$R_s'(\Omega)$	$K(\text{cm}^{-1})$
30mm	10mm	$10^5$	6151	0.0615
30mm	25mm	$10^5$	5712	0.0571
50mm	10mm	$10^5$	7402	0.0740

る $\rho$ 値を図-5のグラフから直接を読み取るか、 $R_s'$ を表-3のK値で除すことで求められる。

3つのモデルを比較してみる。同じかぶり径で鉄筋径が異なる場合、かぶり30mm、鉄筋径25mmの方がかぶり30mm、鉄筋径10mmと比較して $R_s'$ の値が小さくなっている。これは、鉄筋径が太い方が鉄筋の表面積が大きいため、鉄筋径が細い場合より電流が流れ易いためである。セル定数は見掛けの面積が大となるため鉄筋径の太い方が小さくなる。鉄筋径が同じでかぶり径が異なる場合、かぶり50mm、鉄筋径10mmの方がかぶり30mm、鉄筋径10mmと比較して $R_s'$ の値が大きくなっている。当然ながらかぶり径が厚い方がコンクリート抵抗が大きくなり、見掛けの距離が長くなるためセル定数は大きくなる。

### 3.3 単鉄筋モデルの等価被測定面積の算出

分極抵抗は低周波数で測定するため、その測定結果には $\rho$ 、 $R_p$ 、 $R_{p,CE}$ の影響が含まれてくる。 $R_{p,CE}$ は測定に用いるプローブの対極の分極抵抗を事前に測定しておき、その測定値を用いる。ここでは事前の測定結果から1.74

$\times 10^5 \Omega \cdot \text{cm}^2$ を用いることとする。未知数である $\rho$ 、 $R_p$ を変化させてBEMシミュレーションを行い、 $R_p'$ はBEMで計算される総抵抗から3.2で算出した $R_s'$ を差し引いて求める( $R_p' = R_t' - R_s'$ )。 $\rho$ はセル定数の算出時と同様に $10^3$

表-4 単鉄筋モデルの等価被測定面積の算出

かぶり	鉄筋径	BEMシミュレーション				
		$\rho(\Omega \cdot \text{cm})$	$R_p(\Omega \cdot \text{cm}^2)$	$R_p'(\Omega)$	EA( $\text{cm}^2$ )	$L_p(\text{cm})$
30mm	10mm	$10^3$	$10^3$	31	32.57	1
			$10^4$	111	89.70	10
			$10^5$	830	120.44	100
			$10^6$	7993	125.11	1000
			$10^7$	79614	125.61	10000
		$10^4$	$10^3$	171	5.84	0.1
			$10^4$	302	33.11	1
			$10^5$	1109	90.14	10
			$10^6$	8298	120.52	100
			$10^7$	79922	125.12	1000
		$10^5$	$10^3$	1159	0.86	0.01
			$10^4$	1329	7.53	0.1
			$10^5$	2617	38.21	1
			$10^6$	10667	93.75	10
			$10^7$	82543	121.15	100
30mm	25mm	$10^3$	$10^3$	26	38.86	1
			$10^4$	67	148.32	10
			$10^5$	360	278.07	100
			$10^6$	3225	310.05	1000
			$10^7$	31874	313.74	10000
		$10^4$	$10^3$	164	6.10	0.1
			$10^4$	252	39.65	1
			$10^5$	669	149.55	10
			$10^6$	3590	278.52	100
			$10^7$	32247	310.11	1000
		$10^5$	$10^3$	1145	0.87	0.01
			$10^4$	1260	7.94	0.1
			$10^5$	2120	47.17	1
			$10^6$	6249	160.04	10
			$10^7$	35454	282.06	100
50mm	10mm	$10^3$	$10^3$	29	34.26	1
			$10^4$	106	94.39	10
			$10^5$	824	121.41	100
			$10^6$	7986	125.22	1000
			$10^7$	79608	125.62	10000
		$10^4$	$10^3$	184	5.44	0.1
			$10^4$	286	34.91	1
			$10^5$	1054	94.88	10
			$10^6$	8231	121.49	100
			$10^7$	79855	125.23	1000
		$10^5$	$10^3$	1295	0.77	0.01
			$10^4$	1416	7.06	0.1
			$10^5$	2437	41.04	1
			$10^6$	10105	98.97	10
			$10^7$	81877	122.14	100

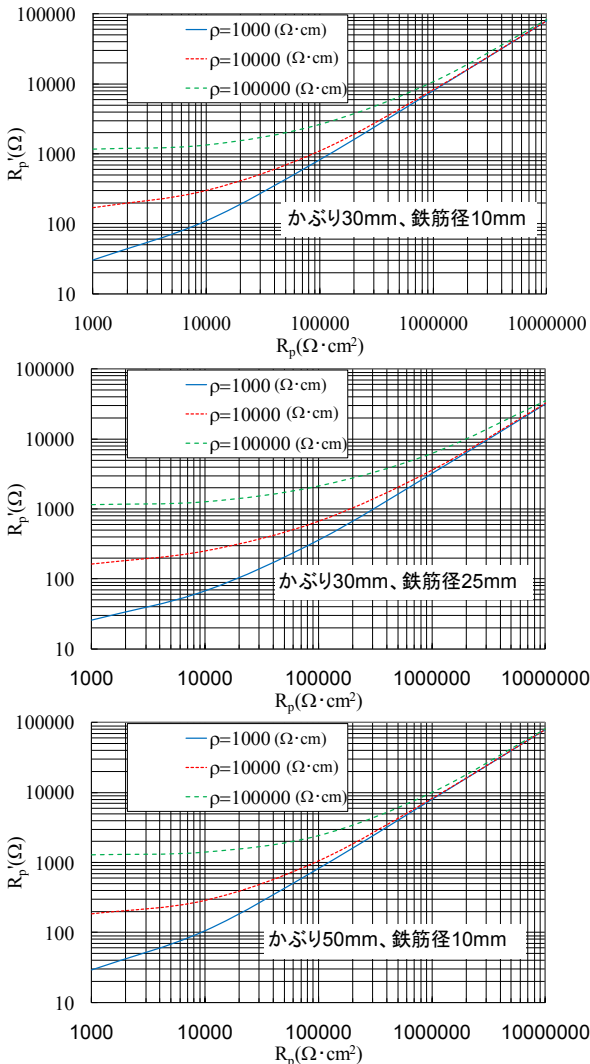


図-6 単鉄筋モデルの $R_p$ と $R_p'$ の関係

～ $10^5\Omega\cdot\text{cm}$  とし、 $R_p$  は腐食環境～不動態化した状態を想定して、 $10^3\sim 10^7\Omega\cdot\text{cm}^2$  の範囲で計算を行った。

図-6、表-4 に  $\rho$  ごとの  $R_p$  と  $R_p'$  の関係を示す。 $\rho$  と  $R_s'$  の関係は図-5 のように比例関係であったが、 $\rho$  と  $R_p$  の比率により電流の拡散状況が変化するため、 $R_p$  と  $R_p'$  の関係は曲線となる。また、 $\rho$  により曲線が異なるので、 $R_p'$  から  $R_p$  への変換は  $R_s'$  から  $\rho$  への変換のように単純に求められない。

等価被測定面積の概念は、鉄筋表面の電流密度が一定と仮定した場合、その被測定面積がどれ位の面積になるかを算定するものであり、式(4)で求めることとする。

$$EA(\text{cm}^2) = R_p(\Omega\cdot\text{cm}^2) \div R_p'(\Omega) \quad (4)$$

$\rho$  が小さく、 $R_p$  が大きくなると、電流が拡散して流れるため、EA が大きくなるのがわかる。これらのモデルの鉄筋の全表面積はそれぞれ  $1\text{cm} \times \pi \times 40\text{cm} \doteq 125.7\text{cm}^2$ 、 $2.5\text{cm} \times \pi \times 40\text{cm} \doteq 314.2\text{cm}^2$  であるが、 $R_p$  が大きく電流が拡散して流れる場合は、EA は試験体の鉄筋の全表面積に近づいていくことがわかる。電流が集中するか拡散するかの指標となる Wagner の分極パラメータ<sup>3)</sup>を式(5)で求める。

$$L_p(\text{cm}) = R_p(\Omega\cdot\text{cm}^2) / \rho(\Omega\cdot\text{cm}) \quad (5)$$

これらのモデルの場合、対極からの測定電流の拡散範囲は、 $100 \times 100 \times 400\text{mm}$  の型枠で制限されているため、 $L_p$  が  $100\text{cm}$  を超えると EA が鉄筋の全表面積とほぼ等し

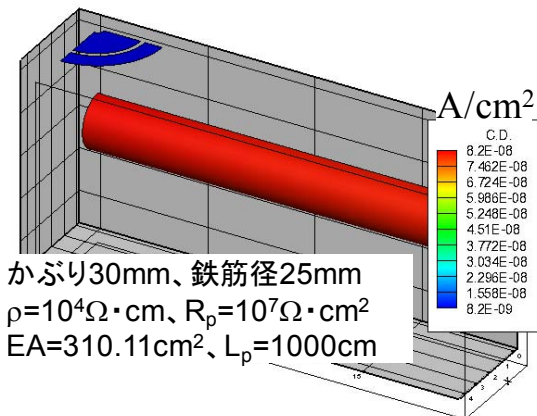
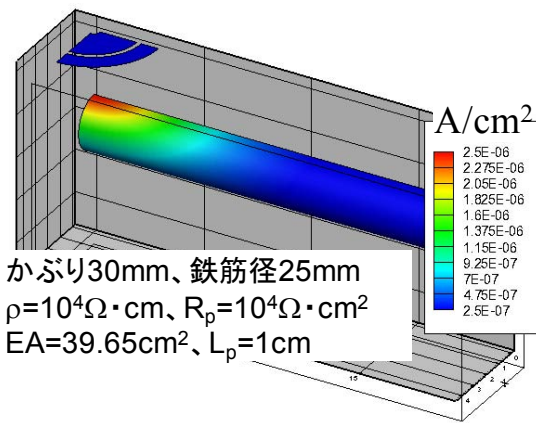


図-7 単鉄筋モデルの鉄筋の電流密度分布

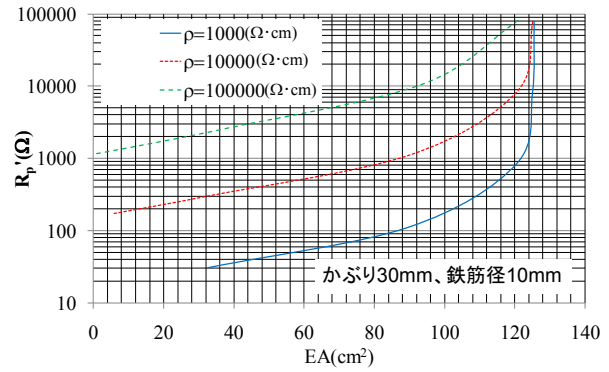


図-8 単鉄筋モデルの EA と  $R_p'$  の関係

くなり、 $R_p=R_p' \times$  鉄筋の全表面積( $\text{cm}^2$ )で近似できる。

図-7 にかぶり 30mm、鉄筋径 25mm、 $\rho=10^4\Omega\cdot\text{cm}$  の場合の  $R_p=10^4$  と  $10^7\Omega\cdot\text{cm}^2$  に設定した場合の鉄筋の電流密度分布を示す。 $R_p=10^4\Omega\cdot\text{cm}^2$  では、対極直下の鉄筋上面に電流が集中して流れ、対極から離れた鉄筋にはほとんど電流が流れていない。 $EA=39.65\text{cm}^2$  であり、これを  $2.5\pi\text{cm}$  で除すと  $5.05\text{cm}$  となり、プローブ中心から約 2.5cm の範囲が被測定範囲と換算される。実際には、鉄筋の下側の電流密度が低くなっているため、鉄筋上面だけに注目するともう少し広い範囲に電流が流れている。

$R_p=10^7\Omega\cdot\text{cm}^2$  では鉄筋の分極抵抗が高く電流が拡散して流れるため、対極直下と鉄筋端部の電流密度差が顕著に見られず  $EA=310.11\text{cm}^2$  と鉄筋の全表面積とほぼ同じになり、鉄筋全長が被測定範囲と換算される。

図-8 に例としてかぶり 30mm、鉄筋径 10mm のモデルの EA と  $R_p'$  の関係を示す。まず、3.2 で説明したように、測定器に表示される  $R_s'$  から、 $\rho$  を求める。求めた  $\rho$  と測定器に表示される  $R_p'$  の値から図-6 を用いて直接  $R_p$  を読み取るか、図-8 から EA を読み取り、 $R_p(\Omega\cdot\text{cm}^2) = R_p'(\Omega) \times EA(\text{cm}^2)$  で真の鉄筋の分極抵抗を求める。

#### 4. 実構造物の測定例

実構造物は室内実験モデルと異なり、コンクリート寸法の制限が無く、一般的に格子配筋である。単鉄筋モデルと比較すると電流分布状態が複雑となり、節点数が多くなるため BEM シミュレーションにも時間を要するが



写真-1 棧橋の床版上面

基本的な手順は3.で説明した通りである。

調査対象は九州地方東部沿岸に建設された栈橋で、写真-1のように床版上面から調査を行った。中央部のはつり箇所鉄筋を露出させて作用極を設置し、また目視による腐食状況の確認も行った。一部はつりと鉄筋探査により、かぶり40mm、上側鉄筋がD13、下側鉄筋がD16、ピッチ200×200mmの配筋とがわかった。プローブの対極の設置位置は上側鉄筋の格子間中央とし、図-9にそのBEMモデルを示す。対称配置となるため節点削減と計算時間の短縮のため1/4モデルにしている。

分極抵抗の測定は3回行い、その平均値は $R_s'=3280\Omega$ 、 $R_p'=684\Omega$ であった。BEMシミュレーションの結果 $K=0.0611\text{cm}^{-1}$ となり、 $\rho=3280\Omega/0.0611\text{cm}^{-1}=5.368\times 10^4\Omega\cdot\text{cm}$ となった。事前にBEMシミュレーションを行う場合は、現場計測を行うまで $\rho$ が未知数であるため、 $\rho$ を変化

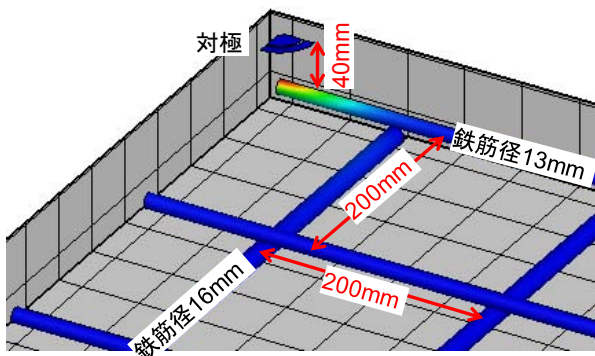


図-9 栈橋床版上面のBEMモデル(1/4モデル)

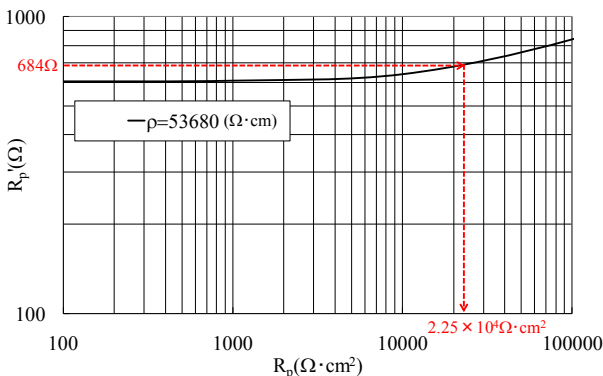


図-10 栈橋床版上面の $R_p$ と $R_p'$ の関係



写真-2 はつりによる鉄筋の腐食状況確認

させて計算しておく必要があるが、ここでは、得られた $\rho=5.368\times 10^4\Omega\cdot\text{cm}$ を用いて $R_p'$ と $R_p$ の関係を求めた。 $R_{p,CE}=1.74\times 10^5\Omega\cdot\text{cm}^2$ とし、 $R_p$ を変化させると図-10が得られ、 $R_p'$ に $684\Omega$ を代入すると $R_p=2.25\times 10^4\Omega\cdot\text{cm}^2$ が求まる。かぶりコンクリートのはつりにより鉄筋の腐食状況を確認したところ、写真-2のように断面欠損を伴う腐食が確認された。著者らの曝露実験<sup>4)</sup>によると、鉄筋の分極抵抗が $3\times 10^4\Omega\cdot\text{cm}^2$ 近傍を境として、 $3\times 10^4\Omega\cdot\text{cm}^2$ 下回った箇所腐食が確認され、それ以上の箇所では、ほとんど腐食していなかったことが確認されており、その傾向とこの調査結果も一致している。

## 5. まとめ

BEMシミュレーションによりセル定数と等価被測定面積を算出しておき、測定器の表示する $R_s'$ と $R_p'$ から $\rho$ と $R_p$ を求める手法を紹介した。これにより、予め配筋等の情報が得られている場合、事前に $K$ と $EA$ を求めておけば現場で $\rho$ と $R_p$ を瞬時に推定することができる。 $K$ は配筋状況とプローブの設置位置が決定すれば固定値となるが、 $EA$ は $\rho$ と $R_p$ の関係により変化するので注意が必要である。図-6、図-8から $R_p$ や $EA$ を求める場合、読み取り誤差が生じる可能性があるため、手間ではあるが $\rho$ が求まった後、その $\rho$ の値を用いて再度BEMシミュレーションを行うと図-10のようなグラフが得られ、精度良く $R_p$ を推定することができる。

$EA$ を求めると、対極からの測定電流が鉄筋のどの範囲に流れているかを推定することができる。実験試験体のように測定電流の拡散範囲が制限されている場合、鉄筋の分極抵抗が高く $L_p$ が大の条件では、 $EA$ は鉄筋の全表面積と等しくなり、 $R_p$ は $R_p'$ に鉄筋の全表面積を乗じることで近似できる。

## 参考文献

- 1) 金田尚志, 松岡和巳: BEMによる電流分布シミュレーションと鉄筋の分極抵抗値の推定, コンクリート工学年次論文集, Vol.33, No.1, pp.1715-1720, 2011.7
- 2) 金田尚志, 松岡和巳: 格子鉄筋の分極抵抗測定時の電流分布シミュレーション, 土木学会第66回年次学術講演会概要集, V-055, pp.109-110, 2011.9
- 3) James T. Waber and Bertha Fagan: IV. Influence of Electrolyte Thickness on Potential and Current Distributions over Coplanar Electrodes Using Polarization Parameters, J. of The Electrochemical Society, Vol.103, No1, pp.64-72, 1956
- 4) 松岡和巳: 分極抵抗法を用いたRC構造物中鉄筋の定量的腐食評価に関する研究, 大阪大学博士論文, 2005.2