クーロスタット法による塗装コンクリート中の鉄筋の分極抵抗測定*

中内 博二**, 望月 紀保***, 千葉 丈夫***

** 元株式会社ナカボータック技術開発研究所

*** 株式会社ナカボータック技術開発研究所

Polarization Resistance Measurement of Reinforcing Steel in Coated Concrete by Means of Coulostatic Method*

Hiroji Nakauchi**, Noriyasu Mochizuki*** and Takeo Chiba***

** Formerly R&D Laboratory, Nakabohtec Corrosion Protecting Co., Ltd.

*** R&D Laboratory, Nakabohtec Corrosion Protecting Co., Ltd.

In order to evaluate the corrosion rate of reinforcing steel (rebar) in coated concrete, the polarization resistance (R_p) of rebar was measured on the surface of concrete covered with and without various coatings by means of the coulostatic method. It was shown that R_p of rebar could accurately be measured on the bare surface of concrete by a combined sensor composed of reference and auxiliary electrodes and the values of R_p depended on the measuring time of decay curve of overpotential. Although the erroneous R_p values were obtained on the surfaces of epoxy and lacquer coatings, the normal values were measured in concrete under the coatings and on the epoxy primer paint with a low resistance. Based on comparison of decay curves, obtained on the coatings together with those measured under the coatings, it was revealed that residual voltage through the coating unavoidably measured by the combined sensor resulted in wrong R_p values. By separating a reference electrode from an auxiliary electrode, the decay curves being not affected by the residual voltage could be obtained and accurate R_p values of rebar could be evaluated even in the case of the coated concrete.

Key word : coulostatic method, polarization resistance, Stern's equation, impedance, concrete, reinforcing steel, coating

1. 緒 論

RC コンクリート構造物の鉄筋腐食診断は、社会資本の保全のため重要な技術で、コンクリート面上から鉄筋の自然電位¹⁾や分極抵抗²⁾の分布の測定により鉄筋の腐食状況を非破壊的に評価し、構造物の耐久性の予測が行われるようになった。最近では、上記2種の測定因子にコンクリートの抵抗率測定を加えた3パラメータ法^{3),4)}でより高い精度の腐食評価が行われるようになっていく。しかし、コンクリート構造物には、表面を塗装して防食が図られるものもあり、矩形波交流法(0.1 Hz お

よび0.01 Hz)を用いる現在の測定法⁴⁾では塗装をはがさないと分極抵抗の測定は困難である。

クーロスタット法⁵⁾は高抵抗環境での分極抵抗測定に適した測定法で、これと同種の緩和法であるインタラプタ法において塗膜抵抗を分離して塗膜下金属の分極抵抗を測定する理論的解析⁶⁾ならびにコンクリートに対する適用例⁷⁾もあり、クーロスタット法による塗膜上からの鉄筋の分極抵抗測定も可能と考えた。

この方法の適用性については、筆者は、既に矩形波交流法⁸⁾や初期過渡分極曲線解析法⁹⁾と比較し、コンクリート面上からの分極抵抗測定を基礎的に検討¹⁰⁾した。本報告においては、コンクリート中の鉄筋分極抵抗測定に対する表面塗装の影響を実験室的に検討し、本測定法の塗膜上よりの適用性を調べた。

* 第41回腐食防食討論会(松山, 1994)で発表

** 〒224 横浜市都筑区中川 3-1-22 (3-1-22, Nakagawa, Tsuzuki-ku, Yokohama, 224 Japan)

*** 〒362 上尾市中新井 417-16 (417-16, Nakaarai, Ageo City, 362 Japan)

Fig. 1 Experimental apparatus.

GAL.: Galvanostat, COND.: Condenser charged upto a maximum of 400 V, PWC: Puls width controller, Ref.: Reference electrode, Sensor: Combined cell composed of a calomel electrode and a Pt·Ti auxiliary electrode.

2. 実験

2.1 クーロスタット法

本測定法は、パルスを用い既知量の電荷 Δq を腐食系の電気二重層 C_p に短時間で移し、電流遮断の後の分極の時間変化を測定し、 Δq の電荷が分極抵抗 R_p で消費される過程が下記の理論式に従うとして C_p , R_p を計算するものである。

$$\eta_0 = \Delta q / C_p \quad (1)$$

$$\ln \eta_t = \ln \eta_0 - t / (C_p \cdot R_p) \quad (2)$$

ここに、 η_0 は時間 $t=0$ のときの分極であり、 η_t は t 秒経過時の分極を示す。

この測定法では、パルス遮断後の外部電流のない条件で分極を測定するので、高抵抗の環境中でも、溶液抵抗の影響が含まれない分極抵抗が測定でき、また、カレントインタラプタ法でもあるので、条件により、塗膜下の分極抵抗を塗膜抵抗に影響されずに測定できる。

2.2 供試体

100×100×180 mm の直方体のほぼ中央部に長軸沿いに直径 13 mm の軟鋼棒 (黒皮) を埋設したコンクリート供試体 (NaCl 3 kg/m³ 含有) の表面に、100×90 mm の面積のエポキシプライマーのみを塗布した面、およびその上にエポキシ塗料を上塗りした面と、クリアラッカー塗布面および無塗装のコンクリート面の 4 種類の表面を構成させた。なお、塗膜の厚みは 100 μm 程度である。各塗装面の中央のコンクリート表面から 1 mm

程度の深さに先端 2 mm を露出した被覆銅線を埋め込み、コンクリート内で鉄筋の分極抵抗を測定するための照合電極とした。供試体は、製作後腐食条件を一定に保つため、乾湿繰り返しや浸漬試験などは一切行わなかった。

2.3 実験装置および実験方法

Fig. 1 に実験装置を示す。供試体に電流パルスを与え、鉄筋の分極を測定するセンサーは、飽和甘汞電極と白金めっきチタン対極とが同一容器内の飽和 KCl ゲル溶液中に納められた 3 電極方式の照合電極・対極一体型のもので、これを供試体の試験面に当てて使用した。センサーの先端には海水を含浸したスポンジ (直径 28 mm) を装着し液絡部とした。また、試験面上でセンサー以外の部分で分極を測定するため、通常の照合電極 (液絡部は直径 4 mm の海水スポンジ) も用いた。

クーロスタット装置の電源は、コンクリート面での測定には主としてガルバノスタット (最大 50 V) を、塗装面には最高 400 V に充電したコンデンサを使用し、パルス幅制御装置で電源をオンオフし、所定の時間供試体に電荷を与えた。試験中の鉄筋の電位は、高入力抵抗のプリアンプで測定後データロガーまたは A/D コンバータ (いずれも 12 bit) で記録し、コンピュータで計算した。

鉄筋の自然電位が安定している時点で、センサーから供試体に所定時間アノード電流を通電した。鉄筋への付与電気量は電流・時間積または電源コンデンサの端子電圧の変化量とコンデンサ容量とから計算した。

自然電位の測定開始の時点から電流遮断後の 30 秒経過に至るまでの全期間の鉄筋の電位変化を 4 msec 間隔で測定し、分極の Decay を求めた。この Decay のデータは単純移動平均法で雑音を消去して平滑な曲線とした後、それを 0~1 秒から 0~30 秒の 6 区分に分割し、各区分ごとに後半の 1/2 のデータ (Fig. 2 a に直線部とみなす計算範囲を示す) について半対数回帰して、直線の傾斜および直線部の外挿による電位軸上の切片 (η_0) とから分極抵抗、分極容量ならびに環境抵抗を計算した。

鉄筋のインピーダンス特性は、試験面に置いた一体型センサーを用いる 3 電極法により、ポテンショスタットと周波応答解析器を使用し、波高値 10 mV の交流で 5 mHz~100 kHz の範囲について測定した。

3. 実験結果および考察

3.1 コンクリート面における鉄筋の分極抵抗

腐食が活性化支配のとき、分極の Decay 曲線は時間に対して対数直線となり一つに分極抵抗値が決定される。しかし、コンクリート面から実測される鉄筋の Decay 曲線は、Fig. 2 a のように直線でなく、この曲線に

Fig.2 Effect of decay time on R_p of rebar in concrete obtained by a combined sensor on the surface of concrete by means of the coulometric method.

接線を引いて分極抵抗を計算すると、Decay の測定時間の長短により値が異なってくる。実測の曲線を見ると、30 秒間の曲線の後半は直線と見なせるが前半は明らかに曲線である。その 15 秒までの曲線部を拡大すると前述の曲線とよく似た形で、その後半はほぼ直線だが前半は依然として曲線で、この状況は測定時間を 1 秒まで短くしても変わらなかった。Decay の直線部は鉄筋界面での CR の放電を示し、この抵抗はその時間領域における分極抵抗と見なせる。測定時間ごとの直線部から計算される分極抵抗は次第に小さくなり、本実験の条件では、分極抵抗に Decay 測定時間依存性があることが分かった。Decay 曲線の非直線性については後に検討する。

30~100 μC の電荷を与えて測定したコンクリート面での分極抵抗を Decay 曲線の 6 区分について計算した結果を Fig. 2 b に示す。同図では、各計算区分における分極抵抗は、便宜的にその計算区分の直線部の中央の時間の位置にプロットしてあるが、この図は測定時間を

変えて測定した分極抵抗の測定時間依存性を示すものである。同図から、分極抵抗は電源方式には影響されず、測定時間が長くなるほど大きい値となるが、測定の精度は 30 秒でやや低下した。上記の測定と並行して、4~100 秒の周期の矩形波交流で測定した鉄筋の分極抵抗も、交流周期を長くするほど値が大きくなる関係曲線が得られた。

両測定法を比較するため、それぞれの関係曲線の時間軸の長さをそろえて重ねると、Fig. 2 b に示すように、両曲線の軌跡は一致し、Decay の測定時間と交流周期の間に一定の対応が認められた。

このように、コンクリート中の鉄筋の分極抵抗は測定時間あるいは周期に依存するので、適当な測定時間（または周期）における分極抵抗と腐食減量との関係を実測し、Stern 式の K 値を定めておく必要がある。本測定法での 30 秒の Decay 曲線から計算される測定時間 5 秒と 30 秒の結果は、矩形波交流法での 0.1 Hz および 0.01 Hz の測定結果に相当し、1 回の測定で 2 回分の結果が得られるので、計測時間の短縮に効果があるものと考えられる。

続いて、本測定法の再現性を検討するため、付与電流量（通電時間は主に 0.1 秒）を変え 30 秒の測定時間を選択し、コンクリート面のセンサーと埋設電極で同時に鉄筋の分極抵抗を測定した。それらのデータの 90% はそれぞれ正規分布していると見なすことができ、表面上および表面下のデータの平均値および標準偏差の値も類似したものであった (Table 1)。

3.2 塗装面からの鉄筋の分極抵抗

次に 3 種の塗装面上から鉄筋の分極抵抗を測定した。エポキシプライマー面ではコンクリート面とほぼ同様の結果となり、エポキシ面およびラッカー面での測定では、これまでにない大きな値のしかも極めて変動の大きい結果となった。しかし、この場合でも 3 種の塗膜下のコンクリート内で測定される結果は裸のコンクリート面上の結果とよく似たものであった。コンクリート面と塗装面の上下で測定されたデータの内、それぞれ一つの正規分布と見なせる範囲のデータを用いて計算した統計値を Table 1 に示す。4 種の表面での分極抵抗は、エポキシおよびラッカーの塗膜上からの測定を除き、表面の上下とも 10 $k\Omega$ 程度の分極抵抗がかなりの再現性をもって測定されることが分かった。しかし、高抵抗の 2 種の塗膜上においては、分極抵抗に塗膜の影響が含まれ、正しい値が測定できないものと思われた。なお、電流オフ時の電位変化から測定される塗膜抵抗は $10^6 \sim 10^7 \Omega$ であった。

3.3 塗膜のインピーダンス測定

塗膜の影響を検討するため、4 種の表面について 5

Table 1 R_p values of rebar measured on the surface of concrete covered with and without coatings using a sensor and buried reference electrodes.

REFERENCE ELECTRODE	SURFACE ITEM	POLARIZATION RESISTANCE (K Ω)				
		CON-CRETE	EPOXY PRIMER	EPOXY	LACQUER	TOTAL AVG.
REFERENCE IN SENSOR	AVG.	10.5	8.5	88.6	142	
	S.D.	2.1	2.3	100	109	
	No.	219	60	50	68	
BURIED REFERENCE BELOW EPOXY COATING	AVG.	11.0	11.9	7.2	9.3	9.8
	S.D.	1.5	2.1	3.2	3.7	2.6
	No.	111	15	22	56	
BURIED REFERENCE BELOW LACQUER FILM	AVG.	10.9	11.6	11.5	9.4	10.8
	S.D.	1.5	1.5	2.6	3.2	2.2
	No.	115	17	117	72	

mHz～100 kHz のインピーダンス特性を測定した (Fig. 3)。コンクリート面では小さな活性化反応の半円と拡散のインピーダンスが、エポキシプライマー面では二つの活性化反応と拡散のインピーダンスが認められ、エポキシ面およびラッカー面ではやや潰れた半円の容量性インピーダンスが示された。活性化反応の時定数は前二者では μsec のオーダーであり、後の 2 塗膜面でも数百 μsec 程度の速いもので、電流遮断の 4 msec 後までには活性化反応や塗膜容量での放電はほぼ完了している。従って、Decay 曲線には拡散インピーダンスの変化のみが示され、その鉄筋の反応時定数は 30 秒程度もあるので、塗膜抵抗と鉄筋の分極抵抗との分離は可能の筈であるが、分離不完全と見られる結果となった。

3.4 Decay 曲線の比較

塗膜抵抗の分離についての知見を得るため、Fig. 4 に 3 種類の表面上でのセンサーと表面下の埋設電極による Decay 曲線の実測例と比較図を示す。コンクリート面では、表面の上と下での Decay 曲線は全範囲でほとんど一致し、両曲線の分極の差電圧は大部分 1 mV 以下であり、図示は省略したがエポキシプライマー塗膜面では、両曲線の差は 2～数 mV とやや大きくなった。これに対し、エポキシとラッカーの両塗膜面では、塗膜下の曲線はコンクリート面と大差ないが、センサーではかなり大きな分極が測定され、面の上下での差は大きなものとなった。分極が大きいのので塗膜面上の Decay 曲線から求まる η_0 はコンクリート面でのその 10～100 倍以上にも及び、そのため、鉄筋の容量成分が著しく小さく計算され、分極抵抗は増大した。

比較図は、曲線の傾斜を比較するため、曲線群を並行移動して 30 秒の一点に集めたもので、各塗膜面下とコンクリート面の上で測定された Decay 曲線はすべて良く一致し、この曲線の傾斜から反応の時定数は 30 秒ほ

Fig.3 Cole-Cole plots of rebar measured on the surface of concrete covered with and without coatings.

Fig.4 Decay curves of rebar measured by reference electrodes positioned on the surface and in concrete.
C : Concrete, E : Epoxy coating, L : Lacquer coating,
—: Sensor on the surface, ----: Buried reference electrode.

どと計算された。これに対し、エポキシとラッカーの塗膜面での曲線の傾斜はコンクリート面上での曲線の傾斜より急峻になっているが、15 秒ほどの時定数で塗膜と

Fig.5 Influence of film voltage resulted from current passing through the lacquer coating on decay curve of rebar.

には変化はないので、 η_0 の変化が影響するのではないかと考えられた。

3.5 供試体各部における分極の変化

コンクリート面ではほとんど認められない面の上下での分極の差が塗膜面では著しく大きくなることから、ラッカー塗膜面とコンクリート面についてセンサーで通電・分極測定すると同時に、試験面上でこのセンサーから20 mmほど離れた位置の別個の照合電極でも Decay を測定した。その結果を Fig. 5 に示す。コンクリート面では、面の上下で測定される3本の Decay 曲線はほぼ一致した。これに対しラッカー面では、塗膜面上の単独の照合電極による Decay 曲線は埋設電極による曲線とほぼ一致するが、センサーによる曲線は、これらと大きく異なり面の上下の差電圧の軌跡とほぼ一致する結果となった。この差電圧は、塗膜の厚み方向にかかる電圧と考えられるので、塗膜電圧と表記した。この塗膜電圧の経時変化とセンサーでの Decay 曲線がほぼ一致することは、測定電流オフ後もセンサー直下の塗膜内には大きな電圧が長時間にわたって残り、センサーはこの電圧を測定している恐れがある。一方、センサー部から離れている単独照合電極の位置の塗膜面上では、塗膜面下とほとんど変わりのない Decay 曲線が測定され、この部分の塗膜には電圧の発生も残留もなく測定電流が流れて

Fig.6 Comparison of R_p values of rebar measured by a fixed sensor and by an outer reference electrode being shifted its position on the surface of concrete covered with and without lacquer coating.

いないと考えられる。すなわち、測定電流が通過しない場所の塗膜面上で測定した分極には塗膜電圧の影響が含まれないので、塗膜の影響が除かれ鉄筋の分極のみを反映し、鉄筋の分極抵抗が正確に測定できるものと判断された。

3.6 照合電極の位置による分極抵抗の変化

そこで、通電の影響のない部位での測定を検討するため、コンクリート面とラッカー面が隣接する供試面において、センサーをコンクリート面またはラッカー面に固定し、通電・分極測定を行うと同時に、別個の照合電極で鉄筋の真上の位置で塗装面および無塗装面上の各測定点における分極を順次測定した。測定点とセンサーの外縁との距離は2~150 mmの範囲に設定した。その測定結果を Fig. 6 に示す。

センサーをコンクリート面に固定したとき、センサー外の照合電極が鉄筋直上をコンクリート面から塗装面に移っても各測定点での分極抵抗の値はセンサーでの平均値とほとんど変わらなかった。しかし、センサーを塗膜面上に置いて通電・測定した時には、センサーでは大きな値が測定されるに対し、面上を移動する照合電極では、センサー内のような異常値を測定することなく、多少小さ目ながら鉄筋の分極抵抗を塗膜抵抗の影響を受け

Table 2 R_p values of rebar measured on the surface of bare concrete and lacquer coating by six reference electrodes set on the surface and in concrete apart from the sensor composed of a single counter electrode.

POSITION OF REFERENCE ELECTRODE	POLARIZATION RESISTANCE (KΩ)						TOTAL AVG.
	CONCRETE			LACQUER COATING			
	SUR- FACE	UNDER E-FILM	UNDER L-FILM	DISTANCE FROM SENSOR			
ITEM				7mm	17mm	27mm	
AVG.	15.8	13.1	14.4	14.0	13.2	13.7	14.0
S. D.	1.0	4.6	4.5	3.0	3.7	3.7	3.4
No.	32	26	46	22	32	22	

ることなく正しく測定しているものと判断された。埋設電極の結果は、移動電極の値と同程度のものではあった。

このように明らかに電流が流れるセンサーの直下の塗膜のみに通電の影響が現れるのは、本実験では、10 kΩ 程度の分極抵抗の鉄筋に十分な分極を与えて精度よく分極抵抗を測定するため、200 μA 以上の電流（これ以下の電流では測定の再現性が著しく低下した）を高抵抗の塗膜を通して流すので、必然的に 400 V もの高電圧が塗膜に印加される。この高電圧により、塗膜内に荷電粒子の配列による電位勾配が生じるが、電流オフの際に直ちに元の状態に戻ることができず、いわゆる塗膜の Reactive characteristics¹¹⁾により大きな電圧が残留するのであろう。通常 5 分程度で測定前の自然電位までほぼ回復するが、測定を繰り返すと偏差が蓄積する傾向が見られ、これの復元にはかなりの時間を要した。

塗装金属の塗膜下腐食では金属の腐食速度が小さく、その分極抵抗は塗膜抵抗と同程度¹²⁾であるので、塗膜上から数十 mV 以下の電圧を印加すれば分極抵抗の測定に十分な分極を与えることができ、従って、塗膜電圧の残留は小さく、通電した塗膜上で分極抵抗を測定しても塗膜電圧が結果に影響することは少ないであろう。しかし、実構造物の塗装コンクリートでは、表面を完全に被覆することは難しく、酸素の侵入を十分に防止できないので、鉄筋の分極抵抗は比較的低く塗膜抵抗との差が大きくなり、高電圧の印加が必要となって塗膜電圧の影響は避けられない。この塗膜電圧は塗料の種類・性質により大きさや残留時間が異なろうが、通電専用のセンサーの極く近傍で、測定電流が流れない部位において分極抵抗を測定すれば、塗装の種類にかかわらず、塗膜のこの影響を完全に分離してセンサー直下の鉄筋の分極抵抗が正しく測定できるものと判断された。

3.7 分離型照合電極による測定

ラッカー塗装面において、センサーは通電のみに使用し、その周囲に複数の照合電極を設置し、電流通過の影響のない 6 箇所での分極抵抗を求めた (Table 2)。6 箇

所とも良く一致した測定値が得られ、センサーの対極の端から数 mm も離れれば塗膜に通電の影響がほとんど認められず、塗膜抵抗の影響を分離した分極抵抗が測定でき、鉄筋の腐食評価が的確にできることが明らかとなった。

3.8 分極抵抗の測定時間依存性と Decay 曲線の非直線性

一般に分極抵抗の測定において、酸性溶液中では表面皮膜の生成がほとんどないので、定電流ステップ法で測定すると分極の定常値が短時間の通電で得られ、この定常値から分極抵抗が決定できる。しかし、中性の溶存酸素を含む例えば工業用水中の鉄の腐食では、試験の初期には 10 秒以内に得られた分極の定常値も、形成するさび層が厚くなるにつれ定常値を得るのに時間を要するようになり、浸漬時間の経過とともに 5 分通電しても完全な定常値は得られなくなった¹³⁾。定常値から一つに分極抵抗を決定するには長時間を要するので、測定の迅速性を考慮して分極変化中の 10 秒、1 分、5 分の時点での分極値より分極抵抗を求め、腐食減量と対応づけると、Stern 式の K 値が前記の通電時間に応じてそれぞれ 20, 40, 60 mV となり、典型的な $\beta_a = 60$ mV, $\beta_c = \infty$ とする K 値の計算値 26 mV よりかなり大きい値が得られることが分かった。

この結果は矩形波交流法による測定でも同様で、分極抵抗と通電時間あるいは交流周期の間に依存性が認められ、分極抵抗の逆数の経時変化の比較から通電時間と交流周期の 1/2 とがほぼ対応していることが分かった。

上述の分極抵抗の時間依存性は、カソード反応（酸素の還元反応）の拡散インピーダンスの変化を示すものと推測され、測定される分極抵抗は鉄の溶解反応のアノード反応速度を直接示すものではないが、通電時間（あるいは交流周期）ごとの K 値を用いて腐食速度の評価をしても差し支えないと考えられる。

本試験において、クーロスタット法の Decay の測定時間と交流周期の間にも一定の相関が認められた。以上の結果を総合すると、通電時間、交流周期および Decay 測定時間の 3 者とも同じ理由によって依存性を示しているものと考えられる。

塩化物イオンを含むコンクリート中の鉄の腐食速度はカソード反応における酸素の拡散速度によって律速されるといわれ¹⁴⁾、Fig. 3 a に示される鉄筋の拡散インピーダンスは測定の時間によって異なる値となる分極抵抗に相当していると思われる。

本試験において、Decay 測定時間により分極抵抗が異なるのは Decay 曲線がわん曲し分極が対数的に減衰しないことによる。この曲線のわん曲について、長谷部ら¹⁵⁾は、純水中の炭素鋼の腐食速度測定に彼らが提唱し

た本測定法を適用し、本試験と同様に、5 秒の測定時間の後半の Decay 曲線は直線的に減衰するが、前半はわん曲して直線から外れる結果を得ている。彼らは腐食の進行に伴う酸化皮膜やさび層による擬似容量成分によるものと推定しているが、脱酸素条件でマグネタイト皮膜が生成するときの通電による皮膜内での組成変化¹⁶⁾とは異なり、コンクリート中での本試験の条件では、わん曲は酸素の拡散インピーダンスに基づくと考えの方が妥当と思われる。

4. 総括および結論

コンクリート中の鉄筋の分極抵抗の測定に対するクーロスタット法の適用性に関し、コンクリート面および防食塗装面の上からの測定について実験室的に検討し、下記の結果を得た。

(1) コンクリート中の鉄筋の分極抵抗は、照合電極・対極一体型のセンサーを用いて 3 電極方式でコンクリート面上から分極を測定して求められる。ただし、分極の Decay 曲線は直線にならないので Decay の測定時間の長短により計算される分極抵抗値は異なる。従って、測定時間ごとに Stern 式の K 値を定める必要がある。

(2) プライマー単層塗膜程度の低抵抗の塗装面では、コンクリート面と同様の測定法で塗膜面上からの分極抵抗測定ができることがある。しかし、防食性能のよい塗膜面では高抵抗の塗膜の影響が測定値に含まれ、過大な鉄筋の分極抵抗値が測定されることが分かった。

(3) インピーダンス測定および塗膜面上下での Decay 測定の結果、塗膜面上からの異常値測定は塗膜抵抗の分離の不完全によるものでなく、塗膜抵抗と鉄筋の分極抵抗との比が極めて大きいので測定電流により塗膜に高電圧がかかり、センサーでの測定では残留するこの電圧が影響するためと判明した。

(4) センサーは通電のみに使用し、センサーから数 mm 程度離れ測定電流の影響が及ばない塗膜面上で鉄筋の分極の Decay を測定することにより、塗膜上からでも塗膜抵抗の影響を分離してクーロスタット法により

鉄筋の評価ができることを明らかにした。

(5) 分極抵抗の測定時間依存性について検討し、Decay 曲線の非直線性が拡散インピーダンスに基づくものと推論した。

(Manuscript received April 24, 1995 ; in final form July 12, 1995)

引用文献

- 1) ASTM C 876-77: "Half Cell Potentials of Reinforcing Steel in Concrete", (1977).
- 2) 例えば、松岡和己、岡 扶樹、紀平 寛、伊藤 叡:「第 32 回腐食防食討論会予稿集」, p.267 (1985).
- 3) 望月紀保、山田哲也、黒川 允、森川 功、伊藤代志美: コンクリート工学協会コンクリート構造物の耐久性診断に関するシンポジウム論文集, p. 97 (1988).
- 4) 南 正信:「第 91 回腐食防食シンポジウム資料」, p.22 (1992).
- 5) K. Kanno, M. Suzuki and Y. Sato: *Boshoku Gijutu*, **26**, 697 (1977).
- 6) 佐藤 靖、星野 稔、田辺弘往: 防食技術, **28**, 524 (1979).
- 7) 多紀 徹、田辺弘往、片脇 清: コンクリート工学年次論文報告書, **9-1**, p.387 (1987); 多紀 徹、田辺弘往:「第 34 回腐食防食討論会予稿集」, p.119 (1987).
- 8) 朝倉祝治: 安全工学, **14**, 17 (1975).
- 9) 加藤正義、小山正晃: 防食技術, **34**, 215 (1985).
- 10) 中内博二、望月紀保、千葉丈夫:「第 36 回腐食防食討論会予稿集」, p.379 (1989).
- 11) V. Ashworth and C. J. L. Booker: "Cathodic Protection; Theory and Practice", p.281, Elsevier Horwood (1986).
- 12) 永井昌憲:「第 99 回腐食防食シンポジウム資料」, p.23 (1994).
- 13) 大里一夫、中内博二:「第 29 回腐食防食討論会予稿集」, p.32 (1982).
- 14) 大野康司、水流 徹、春山志郎: 防食技術, **29**, 337 (1980).
- 15) 長谷部裕之、鈴木雅行、佐藤倫子、菅野憲一、佐藤祐一、石倉 武、宮崎松生: 防食技術, **30**, 565 (1981).
- 16) 中内博二、大里一夫、神田幸雄、梶野秀夫:「第 24 回腐食防食討論会予稿集」, p.111 (1977).