【論文】

UDC : 691.32 : 666.97 : 620.194

日本建築学会構造系論文報告集 第410号・1990年4月
Journal of Struct. Constr. Engng, AIJ, No.410, April, 1990

コンクリート表面における腐食モニタリング用 電気化学的特性値の一解釈

AN INTERPRETATION OF THE MEASUREMENTS OF ELECTROCHEMICAL CHARACTERISTICS FOR CORROSION MONITORING TAKEN ON CONCRETE SURFACES

田村 博*, 永山 勝**

Hiroshi TAMURA and Masaru NAGAYAMA

It is very important to clarify both effects of electrochemical characteristics of steel in concrete and those of concrete cover on the electrochemical measurements taken on concrete surface. The authors developed a new fundamental experimental method for solving the problem. The main conclusions obtained by using this method are followings.

(1) Measurements of natural potential taken on concrete surface are affected by the inner potential difference of a measuring point on concrete surface against a point on concrete surface touching with steel in concrete.

(2) In the case that the natural potential on the steel surface is uniformly equal to E_0 and the inner potential difference mentioned above is uniformly equal to α , the natural potential taken on concrete surface is equal to $(E_0 + \alpha)$.

(3) The inner potential difference is much influenced by the moisture distribution in concrete. In the case that the outer surface portion contains more moisture than the inner surface portion touching with steel, the potential difference indicates a negative number. The absolute values of the potential difference sometimes reach around 200 mV.

(4) The electrochemical characteristics measured on concrete surface are expressed with both electrochemical characteristics of steel in concrete and concrete cover by an equivalent electric circuit.

Keywords : corrosion monitoring, concrete cover, natural potential, electrochemical characteristics, steel in concrete

1. 序

本研究の背景：コンクリート中の鉄筋の腐食状況を非破壊でモニタリングする手法は、コンクリート構造物の耐久性能を評価する有力な方法として期待され、各方面で研究が行われている。自然電位を用いる方法は、腐食の有無を判定する方法として、ASTM では既に規格化され¹⁾、測定要領ならびに判定規準が示されている。しかし、これまでに行われた内外の数多くの研究者による検討の結果、ASTM 規格どおりに利用することは難しく、なお検討の余地があるものと理解されている^{2)~4)}。特に問題となっているのは、かぶりコンクリートの影響とりわけ含水状態の影響であり、数多くの検討が行われてきたが^{5), 6)}、未だ定説はない。

著者らは、図-1 に示すように、1983 年に考案した二

極プローブによって、自然電位のみならず、分極抵抗、液抵抗を測定し、これら3つの測定値を用いて、コンクリート中の鉄筋の腐食状況として、腐食の有無のみならず腐食速度をも推定する腐食モニタリング手法 (GBRC

図-1 GBRC 腐食モニタリングシステム

* (財) 日本建築総合試験所材料試験室 室長
** (財) 日本建築総合試験所材料試験室 研究員

腐食モニタリング法)を、数年来検討してきている^{7)~10)}。かぶりコンクリートの影響が比較的小さいと考えられる飽水状態のコンクリートに同手法を適用し、連続的に鉄筋の腐食状態をモニタリングすることにより、いくつかの興味深い研究成果を得ており^{7), 11)~13)}、同手法の有効性は既に部分的に確認されている。

以上述べたとおり、コンクリート中の鉄筋の腐食モニタリングへの自然電位、分極抵抗といった電気化学的特性値の利用は有効ではあるが、未だ未解決の部分も多く、十分な信頼を得るには至っていないのが現状である。

本研究の特徴：基本に立ちかえて、まずコンクリート表面で得られる自然電位、分極抵抗、液抵抗といったすべての電気化学的特性値の意味を明らかにする必要がある。すなわち、鉄筋の各箇所の腐食状態に関する電気化学的特性値が、お互いにどのように影響しあっているか、またどのようにかぶりコンクリートの影響を受けて、結果的にコンクリート表面で測定されるかという基本法則を把握することが、重要である。

著者らは、同課題を解決するために有効な基礎的実験手法を考案した。本報告では、まず同手法の意義とその特徴を述べた後、同手法を用いて行った、均一腐食状態ならびに局部腐食状態を模擬した実験の結果により、コンクリート表面で得られる電気化学的特性値が、等価電気回路を用いて、鉄筋に関する電気化学的特性値とコンクリートに関する電気化学的特性値で表されることを、明らかにした。

2. 基礎的実験

2.1 基礎的実験手法

コンクリート表面で得られる測定値に及ぼす、鉄筋表面の各位置における電気化学的特性値、ならびにかぶりコンクリートの影響を検討するために、コンクリート中に鉄筋を埋め込んだ試験体を用いた場合には、

- ① 鉄筋表面各位置の電気化学的特性値を測定することや、それをコントロールすることができない
- ② コンクリートの含水状態をコントロールすることが困難である

などの問題がある。

そこで著者らは、図—2に示すように、

- ① 鉄筋の代わりに、安定した既知の電気化学的特性値を保持した試験極を用いる
- ② 鉄筋表面の一位置における電気化学的特性値を試験極1本によって与える
- ③ 試験極と二極プローブ（以下、単にプローブと略記）を直接当てた場合と、コンクリート板を間に挟んだ場合の両者で得られた測定値を比較することにより、コンクリートの影響を把握することとした。

2.2 実験目的と実験の種類

図—2 腐食モニタリングに関する基礎的実験手法

下記の2種類の実験を行った。

実験A：均一腐食状態において、かぶりコンクリートが自然電位に及ぼす影響を明らかにする。

実験B：局部腐食状態において、コンクリート表面の任意の位置で得られる電気化学的特性値に及ぼす、その位置以外の鉄筋表面の電気化学的特性値の影響や、かぶりコンクリートの影響を明らかにする。

2.3 試験極

試験極は、鉄筋を各種電解液に浸した容器の底部に塩橋（ $\phi 45$ mm, KCl 飽和寒天）を設けたものとした。下記の試験極 A, Y および II では鉄筋を飽和 KCl 溶液中に1年以上浸し、また試験極 B, X および I—1~4 では鉄筋を防錆剤混入セメントペースト（飽水状態）中に半年以上埋設し、安定した電気化学的特性値を保持させた。各試験極の自然電位（以下、 E と略記、単位：mV vs Ag-AgCl 以下、mV と略記）分極抵抗（以下、 R_p と略記）および液抵抗（以下、 R_s と略記）の値は、図—2(a)に示すように、コンクリート板を挟まないで直接プローブを当てた場合の測定結果は、それぞれ下記のとおりであった。腐食計には、(株)東方技研製腐食モニター 7635 を用いた。同測定器は入力抵抗が $10^{12} \Omega$ であり、抵抗の測定は三電極式定電流特殊重量波形方式で行う。今回の実験では、分極抵抗用パルス周期を4秒とし、自動レンジ（分極電圧を2~20 mV の範囲に納める最小印加電流を与える）で測定を行った。

実験A：試験極 A ($E \approx -700$ mV, $R_p \approx 0.06$ k Ω , $R_s \approx 0.01$ k Ω), 試験極 B ($E \approx -300$ mV, $R_p \approx 0.3$ k Ω , $R_s \approx 0.1$ k Ω) の2種類を準備した。

実験B：試験極 X ($E = -222$ mV, $R_p = 0.307$ k Ω , $R_s = 0.164$ k Ω), 試験極 Y ($E = -684$ mV, $R_p = 0.069$ k Ω , $R_s = 0.002$ k Ω), 試験極 I—1~4 ($E \approx -350 \sim -400$ mV, $R_p \approx 0.08 \sim 0.15$ k Ω , $R_s \approx 0.03 \sim 0.06$ k Ω), および試験極 II ($E \approx -690$ mV, $R_p \approx 0.04$ k Ω , $R_s \approx 0.02$ k Ω) の4種類を準備した。

なお、プローブ底部および試験極底部に設けた塩橋からは、ごく微量の電解液の浸出があるが、これらの液がコンクリート表面に触れないように、図—2(b)に示すように別の塩橋（KCl 飽和寒天）をプローブおよび試験極の底部に重ねて用いた。また、この塩橋は頻繁に純

水で洗浄し、コンクリートの含水状態を変化させないように、表乾状態で用いた。

2.4 コンクリート板

実験 A：市販の歩道用コンクリート平板 (JIS A 5304, $W/C \leq 50\%$, $30 \times 30 \times 6$ cm) 4 枚を用いた。

実験 B：実験 B-1 では、実験室で製作したコンクリート板 ($W/C = 70\%$, $19 \times 40 \times 6$ cm および $19 \times 40 \times 2$ cm) 2 枚を用いた。実験 B-2 では、実験 A と同様のコンクリート板を 5 cm 幅に切断し、 $5 \times 30 \times 6$ cm のコンクリート板 6 枚を製作し、実験に供した。

2.5 実験方法

実験 A では、均一腐食状態をモデル化して試験極 1 本を用いることとし、コンクリート板の含水状態や試験極を変化させ、以下に示す 4 種類の実験を行った。

実験 A-1：気乾状態のコンクリート平板 3 枚 (コンクリート板 No.1~3) について、図-3(a) に示す A 面、B 面では 1~5 の各軸上で、I 面、II 面間では a~e の各軸上で、試験極 A とプローブを、図-3(b) に示すように相対する位置 (距離 30 cm) に当てて、測定を行った。

実験 A-2：コンクリート板 No.1 について、試験極 A と電気化学的特性値の異なる試験極 B を用いて、実験 A-1 と同様の実験を行った。

実験 A-3：飽水状態のコンクリート板 No.4 を用い、測定を行った。

実験 A-4：気乾状態のコンクリート板 No.1 の一部 (d 軸以下) を水に 15 分間浸漬した後、水から引き上げ、表面水を拭き取った直後のコンクリート板を用いて、測定を行った。

実験 B では、局部腐食状態をモデル化し、電気化学的特性値の異なる試験極を連結した場合について、コンクリート板の厚さ、試験極の本数や試験極の間の距離を変化させて、測定を行った。

図-3 均一腐食モデルのモニタリング実験 (実験 A)

図-4 局部腐食モデルのモニタリング実験 (実験 B-1)

実験 B-1：図-4(a) に示すように、局部腐食状態の最も単純なモデルとして、電気化学的特性値の異なる 2 つの試験極 X、試験極 Y を距離 1 を隔てて結んで試験極とし、試験極 X の直下および試験極 Y の直下にプローブを順次当て、それぞれの場合の測定値を求めた。さらに、連結しない場合の単独の試験極の直下 (図-4(b)) や、直下から距離 1 離れた点で (図-4(c))、それぞれの試験極について測定を行った。

また、コンクリート板の厚さ t は 2 cm と 6 cm、試験極 X と Y の間の距離 1 は 10 cm、20 cm、30 cm に変化させた。コンクリート板は、いずれも飽水状態で使用した。

実験 B-2：図-5 に示すように試験極 5 本を連結してコンクリート板の底面側に当て、相対する面にプローブを当てて測定を行った。なお、5 本の試験極のうち中央位置に配した 1 本の試験極 (II) は、他の 4 本 (I-1~I-4) に比べ、卑な自然電位、小さな分極抵抗ならびに小さな液抵抗を有するものとした。また同図 (b) に示すように、ひび割れ中に水分が満たされた場合を模擬して、モデルひび割れとして塩橋 (KCl 飽和寒天、厚さ 5 mm) を、コンクリート板の中央に設けた場合についても実験した (ひび割れなしの場合の測定を行った後、それぞれのコンクリート板を中央で切断し、ひび割れありの場合の測定を行った)。実験値と理論値 (後述する腐食モニタリングに関する基本式により求めた値) を比較するため、理論値算出用データとして、それぞれの試験極ごとに各測定位置での電気化学的特性値を、図-6 に示すように測定した。なお、コンクリート板の含水状態は、湿潤、気乾および片面 (上面、下面) 湿潤の 4 種類とし、それぞれの場合について測定を行った。

3. 実験結果および考察

実験 A-1：図-7 がその結果である。同図中の E_{0A} は、試験極 A の自然電位を示している。同図から、I 面

図-5 局部腐食モデルのモニタリング実験 (実験 B-2)

図-6 各試験極・各測定位置ごとの電気化学的特性値の測定

での測定結果を結ぶ折線はⅡ面でのそれに対し、またA面での測定結果を結ぶ折線はB面でのそれに対し、それぞれ直線 $E = E_{OA}$ を対称軸としてほぼ対称となっている。すなわち、コンクリートのある相対する位置で、一対の試験極とプローブによって得られる測定値は、試験極とプローブの位置を交代させた場合、一方は $(E_{OA} + \alpha)$ 一方はほぼ $(E_{OA} - \alpha)$ となっていることが判った。

実験 A-2：図-8 に示すように、試験極 A と電気化学的特性値が異なる試験極 B を用いた場合には、試験極 A を用いて得られた $E = E_{OA}$ を対称軸とする測定結果を、 $E = E_{OB}$ まで平行移動したような $E = E_{OB}$ を対称軸とする測定結果が、得られた。

以上、実験 A-1、実験 A-2 の結果から、試験極とプローブに挟まれたコンクリート部分には、各部分に固有の内部電位差 α_i が存在することが明らかになった。

実験 A-3：図-9 がその結果である。内部電位差の絶対値は数十 mV 以下となっており、飽水状態のコン

クリートにおける内部電位差は、比較的小さいことが分かった。

実験 A-4：図-10 がその実験結果である。含水率の高い方のコンクリート部分 (B 面) の電位が含水率の低い部分 (A 面) に対して卑となり、内部電位差の絶対値は 200 mV にも及ぶ場合があることが分かった。それに対し、含水率の分布がほぼ一様と考えられるⅠ面、Ⅱ面間の電位差の絶対値は小さく、含水率が低い部分 (a, b, c 軸)、含水率が高い部分 (d, e 軸) とともに数十 mV 以下であった。

コンクリートに埋設された鉄筋表面には電池が形成されているが、上記の事実は、コンクリート自身にも電池が形成されていることを意味している。前者の電池は、鉄筋とコンクリートとの界面の電位差によって形成されている。電極と溶液の相界面に発生する電位差、いわゆる電極電位 (electrode potential) による電池である。後者の電池は、一種の液間電位¹⁴⁾ (liquid junction po-

図—10 一部加水コンクリート板を介した自然電位測定結果

(a) 液間電位が生じる場合

(b) コンクリートに液間電位が生じる場合

図—11 コンクリートにおける液間電位

図—12 実験 B—1 に対する電気回路モデル

tential, 液界電位とも訳されている) による電池である。濃度の異なる 2 つの溶液または成分の異なる (化学ポテンシャルの異なる) 2 つの溶液の界面に形成される液間電位により、電池が形成されている。液間電位の大きさは、一般に溶液の濃度差が大きいほど、またアニオン、カチオンの輸率の差が大きいほど大きくなる。コンクリートには無数の細孔が存在し、それぞれが溶液を含んでいる。このことが、コンクリートに電池を形成させる原因となっていると考えられる (図—11 参照)。鉄筋表

面の電位が場所によって変化しているように、コンクリート表面の電位も場所によって変化している。コンクリートにおける内部電位差は、コンクリート中の鉄筋の腐食にも影響を及ぼしていると考えられ、今後さらに詳細な検討を要する課題である。

実験 B—1: 試験結果を考案するにあたり、図—12(a), (b), (c) に示す各測定によって得られる測定値の関係を電気回路モデルを用いて検討した。まず腐食計による測定値は、図—12(e) に示す電気回路中の (E, R_p, R_s) が自然電位、分極抵

抗ならびに液抵抗として測定されているわけである。一方、図—12(c) は、図—12(a) と図—12(b) を並列させて組み合わせたものであることから、その等価電気回路は図—12(d) と考えられる。そこで、図—12(d) と図—12(e) の電気回路を等置し、両者の電気化学的特性値の関係を求めた。

図—12(d) に示す電気回路にキルヒホッフの法則を適用し、図—12(e) と比較すると、次式が成り立つ。

$$\begin{cases} E = E_1 - (R_{p1} + R_{s1})i & \cdots \cdots \cdots (1) \\ E = E_2 + (R_{p2} + R_{s2})i & \cdots \cdots \cdots (2) \end{cases}$$

これを解いて,

$$E = \frac{E_1 R_2 + E_2 R_1}{R_1 + R_2} \cdots \cdots (3)$$

となる。ここに,

$$R_1 = R_{p1} + R_{s1} \cdots \cdots (4)$$

$$R_2 = R_{p2} + R_{s2} \cdots \cdots (5)$$

である。

次に、抵抗についても図—12(d) と図—12(e) を比較すると、次式が成り立つ。

$$\frac{1}{R_s} = \frac{1}{R_{s1}} + \frac{1}{R_{s2}} \cdots \cdots (6)$$

$$\frac{1}{R_p + R_s} = \frac{1}{R_{p1} + R_{s1}} + \frac{1}{R_{p2} + R_{s2}} \cdots \cdots (7)$$

上式を解いて,

$$R_s = \frac{R_{s1} R_{s2}}{R_{s1} + R_{s2}} \cdots \cdots (8)$$

$$R_p = A - R_s \cdots \cdots (9)$$

となる。ここに,

$$A = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \cdots \cdots (10)$$

である。

上記の(3), (8), (9)の各式によって求めた自然電位、分極抵抗ならびに液抵抗の理論値と実験値を比較し、表—1にまとめた。同表に示すとおり、実験値は等価電気回路を考えることにより求めた、上記の理論式による理論値と良く一致した。

そこで次に、図—13(a)のように、コンクリート中の鉄筋の腐食モニタリングをコンクリート表面の任意の位置で行うという、より一般的な場合を上記と同様にモデル化し、腐食モニタリングに関する一般的な基本式を導くこととした。図—13(a)のような状態をモデル化する

図—13 コンクリート表面の腐食モニタリング測定値に関する電気回路モデル

と、図—13(b)のように試験極が多数並んだ状態になると考えられ、その電気回路モデルは図—13(c)のような並列回路になる。前述のとおり、腐食計では図—13(d)に示す電気回路中の電気化学的特性値が測定されるので、図—13(c)の電気回路モデルと図—13(d)に示す電気回路モデルを等置して、コンクリート表面の測定位置と鉄筋表面の任意の位置を結ぶ一組の要素に固有の電気化学的特性値(E_i , R_{pi} , R_{si})と、腐食計で測定される電気化学的特性値(E , R_p , R_s)の関係を、前述と同様の方法で求めた。

まず、帆足—ミルマンの定理により、電位は次式で与えられる。

$$E = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{E_i}{R_i}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{R_i}} \cdots \cdots (11)$$

ここに,

$$R_i = R_{pi} + R_{si} \cdots \cdots (12)$$

である。

また、抵抗 R は、次式で与えられる。

$$\frac{1}{R} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{R_i} \cdots \cdots (13)$$

R を、 R_s と R_p に分けて考えると、次式となる。

$$\frac{1}{R_s} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{R_{si}} \cdots \cdots (14)$$

$$\frac{1}{R_p + R_s} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{R_{pi} + R_{si}} \cdots \cdots (15)$$

さらに、コンクリート表面の測定点と、鉄筋表面の任意の点の間の電気化学的特性値(E_i , R_{pi} , R_{si})は、鉄筋表面の任意の点に関する電気化学的特性値(sE_i , sR_{pi} , sR_{si})と、同点とコンクリート表面の測定点の間のコンクリート

表—1 実験値と理論値の比較

t (cm)	1 (cm)	CASE	E			R _p			R _s		
			実験値	理論値	理論値	実験値	理論値	理論値	実験値	理論値	理論値
			(mV)	(mV)	実験値	(kΩ)	(kΩ)	実験値	(kΩ)	(kΩ)	実験値
2	10	X	-292	-306	1.05	0.251	0.228	0.91	0.638	0.625	0.98
		Y	-631	-612	0.97	0.072	0.068	0.94	0.682	0.653	0.96
	20	X	-275	-285	1.04	0.271	0.249	0.92	0.647	0.651	1.01
		Y	-639	-624	0.98	0.073	0.099	1.36	0.642	0.667	1.04
	30	X	-259	-263	1.02	0.287	0.299	1.04	0.650	0.677	1.04
		Y	-655	-657	1.00	0.077	0.077	1.00	0.694	0.651	0.94
6	10	X	-444	-429	0.97	0.111	0.121	1.09	0.556	0.443	0.80
		Y	-541	-510	0.94	0.063	0.081	1.29	0.587	0.440	0.75
	20	X	-412	-406	0.99	0.136	0.139	1.02	0.605	0.483	0.80
		Y	-568	-543	0.96	0.063	0.076	1.21	0.577	0.463	0.80
	30	X	-385	-376	0.98	0.168	0.161	0.96	0.622	0.525	0.84
		Y	-574	-537	0.94	0.077	0.078	1.01	0.694	0.584	0.84

註) 図—4(a) 参照

図-14.1 局部腐食モデルのモニタリング実験結果 (ひび割れなしの場合)

図-14.2 局部腐食モデルのモニタリング実験結果 (ひび割れ有りの場合)

図-15.1 局部腐食モデルのモニタリング実験値と理論値の比較 (気乾コンクリート, ひび割れなしの場合)

図-15.2 局部腐食モデルのモニタリング実験値と理論値の比較 (気乾コンクリート, ひび割れ有りの場合)

に関する電気化学的特性値 (cE_i , cR_{pi} , cR_{si}) の和であり, 次式で与えられる。

$$E_i = sE_i + cE_i \cdots \cdots (16)$$

$$R_{pi} = sR_{pi} + cR_{pi} \cdots \cdots (17)$$

$$R_{si} = sR_{si} + cR_{si} \cdots \cdots (18)$$

ここに (16) 式は, 実験Aで得た結果に基づくものである。すなわち, 実験Aで存在が明らかとなった, かぶりコンクリートにおける各位置の内部電位差 α_i をここでは cE_i と表現している。また, (17), (18) 式は電気抵抗 (分極抵抗あるいは液抵抗) が直列に連結するときになり立つ自明の関係である。

以上のとおり, 図-13(a) に示すような腐食モニタリングを行ってコンクリート表面で得られる電気化学的特性値 (E , R_p , R_s) は, 鉄筋表面の任意の点に関する電気化学的特性値 (sE_i , sR_{pi} , sR_{si}) と, 同点とコンクリート表面の測定点の間のコンクリートに関する電気化学的特性値 (cE_i , cR_{pi} , cR_{si}) を用いて, 上記の腐食モニタリングに関する基本式 (11)~(18) によって求められることがわかった。

実験 B-2: コンクリート板の 4 つの異なる含水状態について実施した実験結果を, ひび割れなしの場合とひび割れ有りの場合の, それぞれについてまとめ, 図-14.1 および図-14.2 に示し, 各図の (a), (b), (c) として, 自然電位, 分極抵抗ならびに液抵抗の測定結果を示した。また, それらの実測値と前述の腐食モニタリングに関する基本式によって算出した理論値を比較した代表例を, 図-15.1 (気乾コンクリートでひび割れの無い場合), 図-15.2 (気乾コンクリートでひび割れの有る場合) に示した。これらの図から, 次のようなことが明らかとなった。

- 1) ひび割れがない場合には, コンクリート表面での測定値は全体に平均化されたものとなるのに対し, ひび割れが有り, 同ひび割れ内部が飽水状態の場合に

は、ひび割れ部における測定値は真の値に近いものとなる。このことは、著者らの既往の腐食実験⁷⁾において、ひび割れ部における腐食の進展状況が、自然電位や特に分極抵抗の測定値によって、良好にモニタリングできたことを裏付けている。

- 2) 腐食モニタリングに関する基本式によって算出した自然電位、分極抵抗ならびに液抵抗の各理論値は、実験値とそれぞれよく一致した。
- 3) 上記1), 2) は、コンクリートの含水状態のいかにかわらず成り立つ。

4. 結 論

コンクリート表面で、コンクリート中の鉄筋の腐食モニタリングを行うために測定された電気化学的特性値に及ぼす、二つの要因の影響（鉄筋表面各位置の電気化学的特性値と、かぶりコンクリートの影響）を検討するために基礎的実験手法を考案し、同手法を用いた実験により、次のようなことを明らかにした。

- 1) コンクリート表面での自然電位測定値は、コンクリート表面と鉄筋に接するコンクリート面の間の内部電位差の影響を受ける（図—7～10 参照）。
- 2) 鉄筋表面の自然電位が一樣に E_0 、鉄筋に接するコンクリート面に対するコンクリート表面の電位が一樣に α の場合には、コンクリート表面での自然電位測定値は、一樣に $(E_0 + \alpha)$ となる。
- 3) 内部電位差 α についてはコンクリートの含水率の分布の影響が大きく、かぶりコンクリート表面が、鉄筋に接するコンクリート面に比べて含水率が高い場合には、負の値に、含水率が低い場合には正の値となり、その絶対値は 200 mV にも及ぶ場合がある（図—10 参照）。
- 4) コンクリートが飽水状態の場合、内部電位差 α の絶対値は、数十 mV 以内に収まる傾向がある（図—9 参照）。
- 5) コンクリート表面での電気化学的特性値は、等価電気回路を適用して、鉄筋に関する電気化学的特性値とかぶりコンクリートに関する電気化学的特性値で構成される、腐食モニタリングに関する基本式(11)～(18)によって与えられる。
- 6) コンクリートのひび割れ部分が飽水状態の場合には、ひび割れ位置における電気化学的特性値の測定値はひび割れ部分の鉄筋に関する電気化学的特性値に近いものとなる（図—14.2, 15.2 参照）。
- 7) ASTM に規格化されている自然電位法が、特に、かぶりコンクリートの影響を考慮していないのにもかかわらず、鉄筋の腐食状態を的確に推定できた場合があった理由は、上記4) および6) に示した特性に起因しているものと判断できる。
- 8) 液間電位によって生じるコンクリートの内部電位

差は、コンクリート中の鉄筋の腐食にも影響を及ぼしていると考えられ、今後さらに検討を要する課題である。

謝 辞

本報のとりまとめにあたり、大阪大学・鈴木計夫教授には貴重な助言を頂いた。また本報告は、(財)日本建築総合試験所の自主研究の成果の一部であり、研究を実施するにあたり、所内各位の御協力、御援助を得ました。ここに記して、感謝の意を表します。

参考文献

- 1) ASTM C 876-87 : Standard Test Method for Half Cell Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete, 1987
 - 2) 岸谷孝一, 朴春燮: 鉄筋コンクリート構造物の非破壊的耐久性診断方法に関する基礎的研究, セメント技術年報, 第 32 巻, pp.425～428, 1978
 - 3) 岡田 清, 小林和夫, 宮川豊章: 自然電位の測定によるコンクリート橋梁の健全度の判定基準について, 既設の橋梁構造物およびその構成部材の健全度, 耐久性の判定に関するシンポジウム発表論文集, 土木学会関西支部, pp.1～8, 1983.2
 - 4) Sharp, J. V. and Leeming, M. B. : The Assessment of Corrosion of the Reinforcement in Marine Concrete by Electrochemical and Other Methods, SP-109, ACI, 1988
 - 5) 望月紀保ほか4名: コンクリート中の鉄筋腐食評価方法について, 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, pp.97～102, 1988.5
 - 6) 福川義明, 財津寿太: 自然電位法によるコンクリート中の鉄筋腐食度の推定, 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, pp.73～78, 1988.5
 - 7) 田村 博, 吉田正友: コンクリート中の鋼材の非破壊腐食探査に関する実験的研究, 日本建築学会近畿支部研究報告集, pp.13～20, 1983.6
 - 8) 田村 博, 吉田正友: コンクリート中の鋼材の非破壊腐食探査方法, 第6回コンクリート工学年次講演会論文集, pp.205～208, 1984
 - 9) Tamura, H. and Yoshida, M. : Nondestructive Method of Detecting Steel Corrosion in Concrete, SP-82, ACI, pp.689～702, 1984
 - 10) 田村 博, 吉田正友: コンクリート中鋼材のコンクリート表面における自然電位について, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.535～536, 1984.10
 - 11) 田村 博: コンクリート中鋼材の腐食挙動に及ぼす中性化, 塩分含有量の影響・その電気化学的考察, 日本建築学会学術講演梗概集, pp.115～116, 1985.10
 - 12) 鈴木計夫ほか5名: ひびわれの生じたコンクリート中の鋼材の腐食に関する研究, 日本建築学会近畿支部研究報告集, pp.13～20, 1987
 - 13) 鈴木計夫ほか5名: コンクリート中の鉄筋の腐食に及ぼすひびわれ幅の影響, 日本建築学会構造系論文報告集, No.397, pp.1～11, 1989.3
 - 14) 田島 栄: 電気化学通論 (第三版), 共立出版, pp.90～125, 1986
- (1989年6月9日原稿受理, 1990年1月20日採用決定)