

自然電位法による鉄筋腐食状況の定量化手法に関する一検討

鹿児島大学工学部 学生員 ○比嘉 浩

同 上 正会員 武若耕司

1. まえがき

コンクリート中における鉄筋の腐食性状を非破壊的に検査する方法として最も実用化が期待されているものが自然電位法である。これは、この方法が複雑な装置を必要とせず、鉄筋の腐食反応に関連のある電気化学的な情報を簡単に測定できることによるものである。ところが現状では、この自然電位の測定結果と鉄筋腐食性との関係についての検討が不十分なために、この方法を未だ有効に活用できず、実用化に歯止めが掛かった状態となっている。そこで著者は、この自然電位法をより実用的な非破壊検査方法として有効に活用させることを目的として一連の実験的検討を行っているが、その中で、特に自然電位の分布状況に着目し、この状況から鉄筋の腐食位置や腐食量に関する情報を得るための手法について模索している。

ここでは、この自然電位分布から鉄筋腐食状況を推定するために著者が提案している手法の概要を示し、さらにその妥当性について、一昨年より継続して実施している腐食実験を元に検討を行った結果について報告する。

2. 自然電位分布による鉄筋腐食状況推定手法の概要

2-1 自然電位分布の概略

鉄筋の自然電位の分布は、鉄筋にマクロ腐食セルが形成されることによって生じる電位の分極状態を表していると予想される。図-1は、コンクリート中の鉄筋のマクロ腐食セル形成過程および鉄筋の電位分布に関する概念図を示したものである。コンクリート中の鉄筋の一部が塩分の影響によって活性化し腐食が発生すると、その部分と不動態化している健全な鉄筋部の間で電位に大きな差が生じるため(図-1(b))、この電位差によって新たな腐食電流の流れが生じ、マクロ腐食セルが形成される(図-1(a))。この腐食電流はコンクリート中をかなり広い範囲にわたって流れるため、その電流量はコンクリートの電気抵抗にも大きく影響を受け、流れる道筋が長くなるほど小さくなる。一方、電流が流れると、同時に電位は分極を起こしてセルの起電圧は変化し、最終的に鉄筋の電位は、 $\Phi_{C1} - \Phi_{A1} = R_1 \cdot i_1$ となる電位 Φ_{C1} および Φ_{A1} に落ち着く(図-1(c))。これが自然電位分布として現れるのである。

2-2 腐食状況の推定方法

1) 腐食領域の推定: 図-1(d)でも明らかなように、一般には鉄筋のアノード(腐食)領域とカソード(非腐食)領域の境界は自然電位分布の変曲点となると予想される。そこで、測定された自然電位分布の変曲点の電位が推定できれば腐食領域が決定できると考え、ここではこの変曲点を、電位分布を4次曲線で最小2乗近似させて求めた第一次変曲点とし、その平均の電位で囲まれる領域を腐食領域とした。

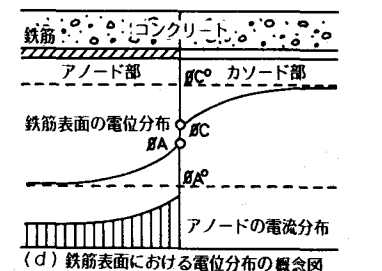
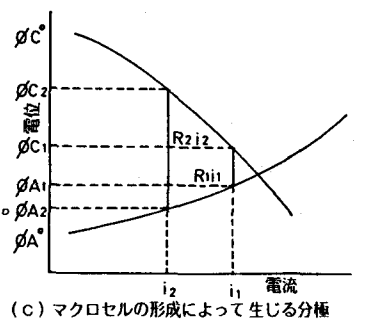
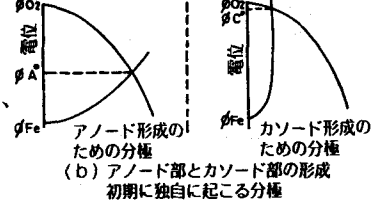
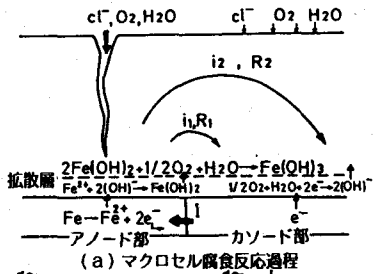


図-1 鉄筋のマクロ腐食セル形成過程と自然電位分布の概念図

2) 鉄筋腐食量の推定：マクロセルの形成によって生じる鉄筋腐食量 W は、このセルを流れる電流量 I と比例関係にあり、一般に次式で推定される。

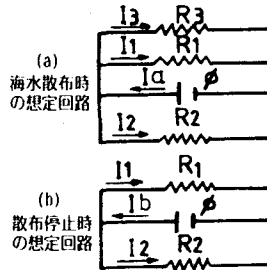
$$W = \int_{t_0}^t k \cdot I(t) dt \dots \dots \textcircled{1}$$

k :電気化学当量、 t_0 :腐食開始時間

そこでここでは、取り敢えずマクロ腐食セルを図-2に示すような簡単な電気回路に置換えて、この回路に流れる電流量を求めることによって、腐食量の推定を行った。

3. 推定結果と実際の鉄筋腐食状況との比較検討

これまで約1年半にわたって海水散布による鉄筋腐食の促進と自然電位分布の継続的な測定を実施してきたRCスラブ供試体を用いて、鉄筋腐食状況の推定とその推定結果の妥当性について検討を行った。図-3には、鉄筋のはつり調査の直前に測定した電位分布とこの分布の変曲点を求めることによって推定した鉄筋腐食領域および、実際の腐食状況の調査結果について示したものである。この結果からまず明かなように、自然電位分布から推定された鉄筋腐食領域は、実際に鉄筋に著しい腐食の進行が確認された領域とほぼ完全に一致しており、今回の推定方法が非常に信頼性の高いものであることが確められた。また、腐食量の分布状況を電位分布の形状と比較してみると、推定腐食領域内の電位分布形と腐食量変化の状況とが非常に似通ったものであることも確認できる。一方、表-1には、図-2のモデルをもとに計算された鉄筋腐食量の推定結果を、この計算を行うために用いた諸数値とともに示した。なお、計算用値として用いたコンクリートの比抵抗、電位差あるいは腐食領域等は、いずれも腐食実験中に継続的に測定された値の平均値である。今回の結果では、腐食量の大概の値およびその供試体間での相違等、いずれも実測値に比較的近い値を推定することができた。ただし、この腐食量の推定方法については、計算モデル或使用計算用値など未だ十分であるとはいえず、今後さらに詳細な検討も必要であると思われる。



$$R_1 = \lambda_a \left(\frac{s}{2A} + \frac{1}{2S} \right) + \lambda_c \left(\frac{s}{2C} + \frac{1}{2S} \right)$$

$$R_2 = \lambda_a \left(\frac{d}{2A} + \frac{1}{2d} \right) + \lambda_c \left(\frac{d}{2C} + \frac{1}{2d} \right)$$

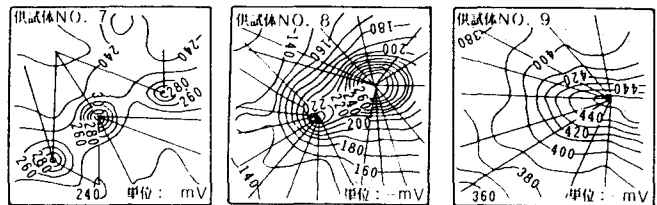
$$R_3 = \frac{\lambda_a \cdot s}{A} + \frac{\lambda_c \cdot s}{C}$$

$$I_1 = \frac{\Phi}{R_1} (\Phi_c - \Phi_a) \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right)$$

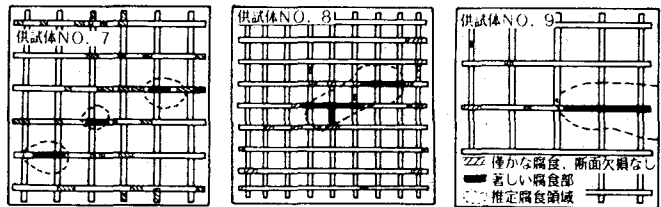
$$I_{1b} = \frac{\Phi}{R_1} (\Phi_c - \Phi_a) \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$

A, C : アノードおよびカソード面積
 λ_a, λ_c : アノードおよびカソード部のコンクリートの比抵抗
 Φ_c, Φ_a : アノードおよびカソード部の鉄筋の平均電位
 I_1, I_{1b} : 海水散布時および散布停止時の電流量

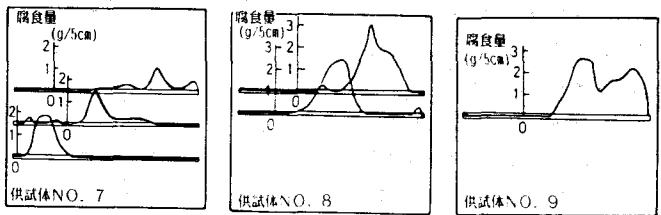
図-2 マクロ腐食電流推定のために想定した電気回路



(a) 鉄筋の自然電位分布状況 (図中の直線上の電位分布の変曲点を求める)



(b) 鉄筋腐食領域の推定結果と実際の腐食位置



(c) 鉄筋腐食量の分布状況

図-3 スラブ供試体中の鉄筋の電位分布、腐食領域の推定結果および実際の腐食状況

表-1 鉄筋腐食量推定のために使用した計算用値と推定腐食量

供試体NO.	NO. 7	NO. 8	NO. 9
計算用値			
A (cm)	169	617	412
C (cm)	2996	4131	3017
λ_a (Ω cm)	8285	8924	8924
λ_c (Ω cm)	8346	11055	11055
Φ (V)	0.06	0.092	0.092
t (週)	10	0	0
t (週)	85	80	80
s (cm)	2	2	2
d (cm)	8	8	8
R_1 (Ω)	4208	5025	5025
R_2 (Ω)	1238	1316	1351
R_3 (Ω)	92.5	33.2	48.3
推定腐食領域中の全腐食量			
推定値 (g)	4.2	19.4	13.3
実測値 (g)	9.9	15.4	12.9