

論文

[1097] 鉄筋の腐食モニタリングに関する一考察

正会員○田村 博 (日本建築総合試験所材料試験室)

正会員 永山 勝 (同 上)

下澤和幸 (同 上)

1. はじめに

コンクリート中の鉄筋の腐食状況を非破壊で推定する手法の開発は重要な課題であり、著者らは腐食の有無の推定に加え、腐食速度の推定を行う目的で、検討を続けている。^{1), 2)} 同手法を開発するにあたって解決すべき課題として、かぶりコンクリートの影響に関する検討がある。既報²⁾において、同検討に有効な基礎的な実験手法を提案し、さらにそれを用いた実験により、コンクリート表面で得られる測定値には、鉄筋に関する電気化学的特性値に加え、コンクリートに関する電気化学的特性値が影響していること、ならびに、それらの電気化学的特性値を取り入れた等価電気回路を用いることにより、コンクリート表面で得られる測定値が解釈できることを示した。

本報では、まずコンクリート表面で得られる腐食モニタリング用測定値に関する基本式を提示する。さらに、局部腐食モデルのモニタリング実験結果により、かぶりコンクリートの含水状態やひびわれが、コンクリート表面で得られる自然電位 (E), 分極抵抗 (R_p) ならびに液抵抗 (R_s) の測定値にどう影響しているかの概要を把握するとともに、コンクリート表面での E, R_p および R_s の実測値と、提案した基本式による計算値を比較し、等価電気回路を用いた解釈の妥当性を確認したものである。

2. 腐食モニタリングに関する基本式

図-1(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ある点で行う場合をモデル化すると、図-1(b)のようになり、その電気回路モデルは図-1(c)のようになる。

なお、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_{p*i*}, R_{s*i*}) 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_{p*i*}, sR_{s*i*}) 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_{p*i*}, cR_{s*i*}) の和であり、次式で与えられる。

$$\begin{cases} E_i = sE_i + cE_i & \dots\dots\dots (1) \\ R_{p_i} = sR_{p_i} + cR_{p_i} & \dots\dots\dots (2) \\ R_{s_i} = sR_{s_i} + cR_{s_i} & \dots\dots\dots (3) \end{cases}$$

前報で、かぶりコンクリートによる電位差 α_i として取り扱ったものが、上記の式では cE_i となっているわけである。

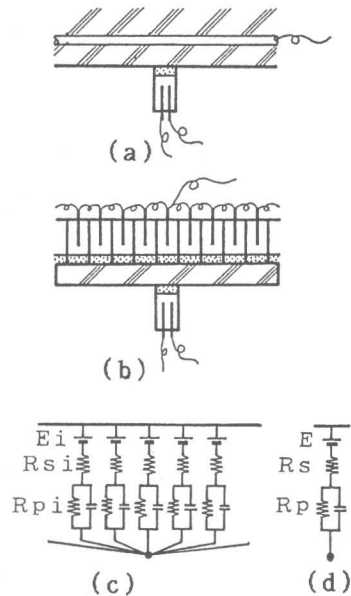


図-1 腐食モニタリング測定値を理解するための電気回路モデル

図-1(c)と等価な電気回路モデル図-1(d)の E , R_p , R_s (コンクリート表面で得られる測定値)は、以下のようにして求まる。

帆足-ミルマンの定理により、

$$E = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{E_i}{R_i}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{R_i}} \quad \dots\dots (4)$$

ここに $R_i = R_{pi} + R_{si}$ $\dots\dots (5)$ である。

また、抵抗 R は、次式で与えられる。

$$\frac{1}{R} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{R_i} \quad \dots\dots (6)$$

R を R_s と R_p に分けて考えると、次式となる。

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{1}{R_s} &= \sum_{i=1}^n \frac{1}{R_{si}} \quad \dots\dots\dots (7) \\ \frac{1}{R_p + R_s} &= \sum_{i=1}^n \frac{1}{R_{pi} + R_{si}} \quad \dots\dots (8) \end{aligned} \right.$$

3. 局部腐食モデルのモニタリング実験

3.1 実験方法

JIS A 5304に規定された歩道用コンクリート平板 (W/C $\leq 50\%$, $30 \times 30 \times 6$ cm) 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。局部腐食モデルを試験極5本を連結して作ることにし、試験極5本を準備し、うち4本(記号A-1~4)は自然電位: 約-350~-400mV, 分極抵抗: 約0.08~0.15 k Ω , 液抵抗: 約0.03~0.06 k Ω とし、残りの1本(記号B)は自然電位: 約-690mV, 分極抵抗: 約0.04 k Ω , 液抵抗: 約0.02 k Ω とした。図-2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。また、同図(b)に示すように、ひびわれ中に水分が満たされた場合を模擬して、モデルひびわれとして塩橋(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(ひびわ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、ひびわれありの場合の測定を行った)。実験値と計算値を比較するため、計算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電気化学的特性値(E_i , R_{pi} , R_{si})を、図-3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、気乾および片面湿潤とし、4種類の場合について測定を行った。

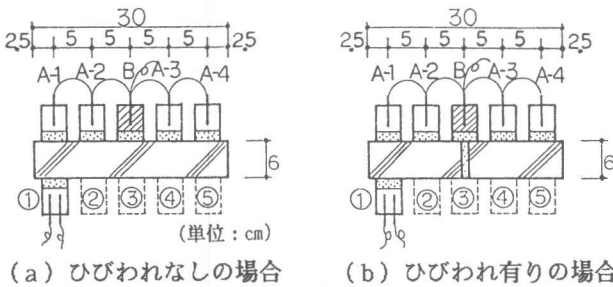


図-2 局部腐食モデルのモニタリング実験

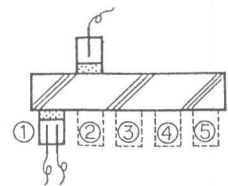


図-3 各試験極・各測定位置ごとの電気化学的測定値の測定

3.2 実験結果

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、ひびわれなしの場合とひびわれ有りの場合、それぞれについてまとめ、図-4.1, 4.2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-5.1 (気乾コンクリートでひびわれのない場合), 図-5.2 (気乾コンクリートでひびわれの有る場合) 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 ひびわれがない場合には、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、ひびわれがある場合には、ひびわれ部での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¹⁾において、ひびわ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 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。

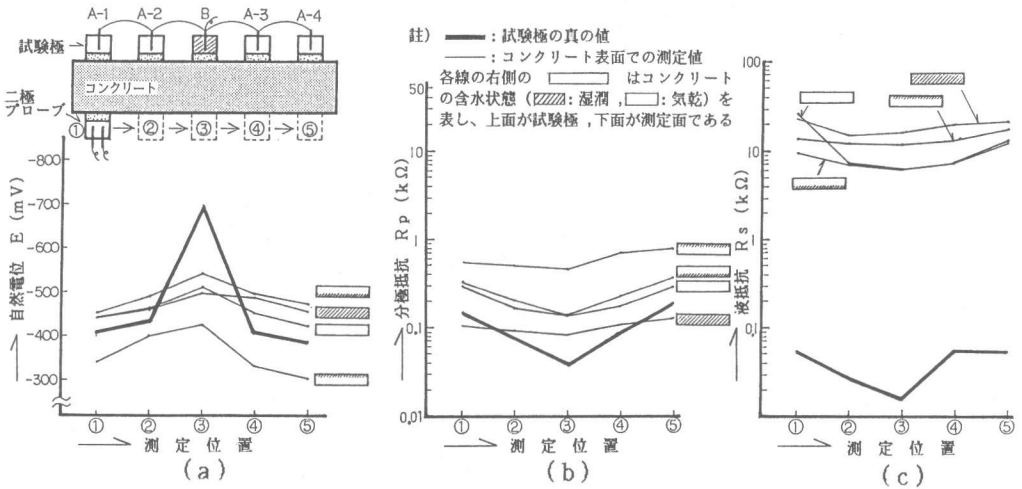


図-4.1 局部腐食モデルのモニタリング実験結果 (ひびわれなしの場合)

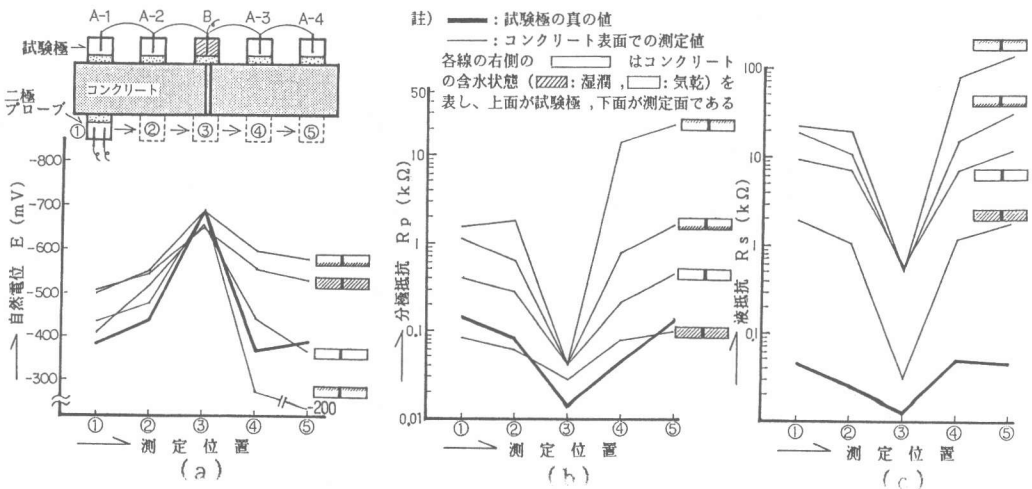


図-4.2 局部腐食モデルのモニタリング実験結果 (ひびわれ有りの場合)

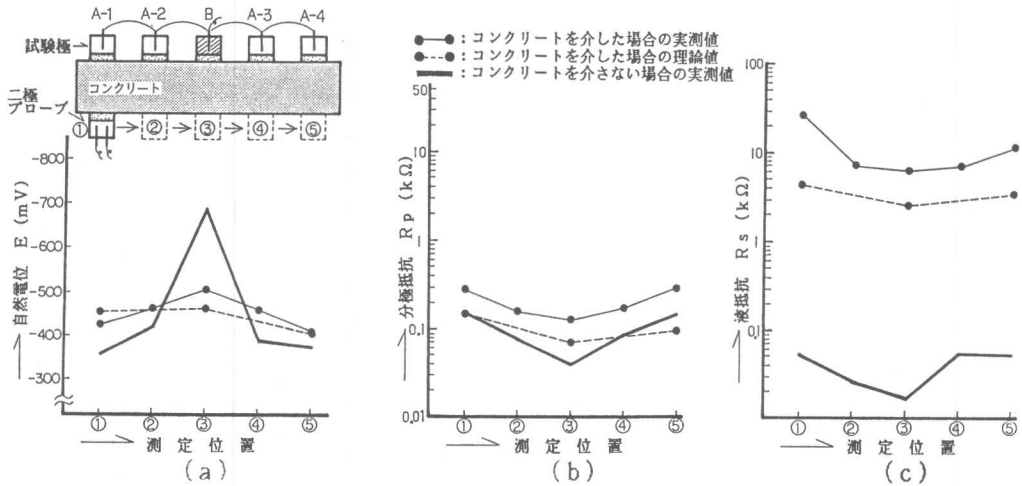


図-5.1 局部腐食モデルのモニタリング実験値と理論値の比較
(気乾コンクリート、ひびわれなしの場合)

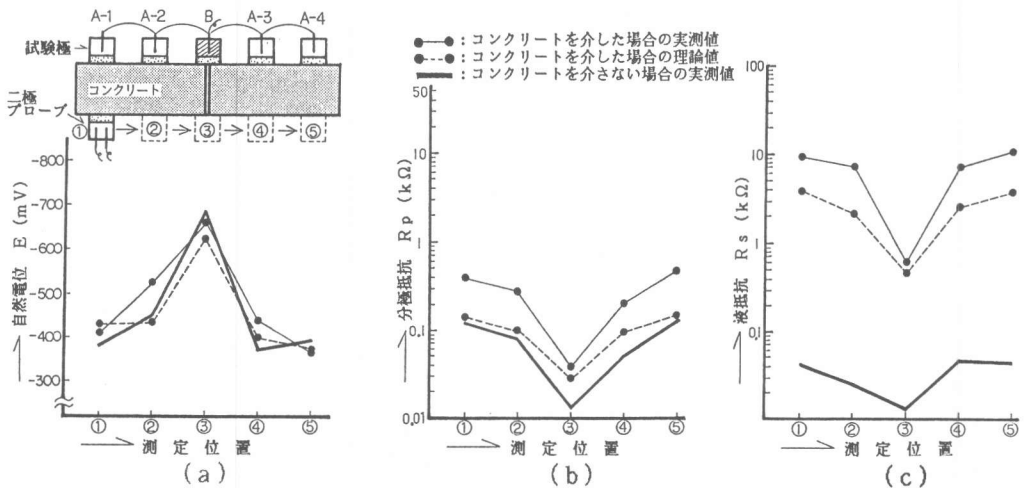


図-5.2 局部腐食モデルのモニタリング実験値と理論値の比較
(気乾コンクリート、ひびわれ有りの場合)

4. まとめ

以上のとおり、まず腐食モニタリングに関する基本式を提示し、コンクリート表面で得られる電気化学的特性値が、鉄筋表面の電気化学的特性値とかぶりコンクリートの電気化学的特性値によって与えられることを示した。さらに、局部腐食モデル実験により、同基本式の妥当性を確認した。鉄筋の腐食モニタリングについては、今後さらに詳細な検討を行ってきたい。

(参考文献)

- 1) 鈴木計夫, 大野義照, 二宮 一, Sumnake Preparntaratorn, 田村 博: セメント技術年報, 42, pp.383~390, 1988.
- 2) 田村 博, 永山 勝, 下澤和幸: 日本コンクリート工学協会「鉄筋腐食による損傷を受けたコンクリート構造物の補修技術に関するシンポジウム」, pp.7~14, 1989