

## V-115 鋼材腐食の総合モニタリングシステムに関する研究

大阪セメント（株） 正員 ○佐藤弘文 京都大学工学部 正員 井上 晋  
 京都大学工学部 正員 宮川豊章 京都大学工学部 正員 小林和夫  
 京都大学工学部 正員 藤井 学

## 1. はじめに

近年、コンクリート構造物の耐久性の点から塩化物イオンによる鋼材腐食が問題となっている。そのため、本研究では、電気化学的特性値である鋼材の自然電位、分極抵抗およびコンクリート抵抗の同時測定による総合腐食モニタリングの有効性について検討した。

表-1 供試体一覧

| 供試体番号  | 形状 (cm)   | 水セメント比(%) | 曲ひび割れ | 拘束筋 | 鉄筋本数 |
|--------|-----------|-----------|-------|-----|------|
| No. 1  | 10x15x300 | 40        | 無     | 無   | 2本   |
| No. 2  |           |           |       |     |      |
| No. 3  |           |           |       |     |      |
| No. 4  |           | 60        | 有     | 有   |      |
| No. 5  |           |           |       |     |      |
| No. 6  |           | 40        | 有     | 有   |      |
| No. 7  |           | 60        |       |     |      |
| No. 8  |           | 40-60-40  | 無     | 無   |      |
| No. 9  |           |           |       |     |      |
| No. 10 |           |           |       |     |      |
| No. 11 |           | 60-40-60  | 無     | 無   |      |
| No. 12 |           |           |       |     |      |
| No. 13 | 10x20x160 | 53        | 有     | 有   | 4本   |
| No. 14 |           |           | 無     |     |      |
| No. 15 |           |           |       |     |      |

## 2. 実験概要

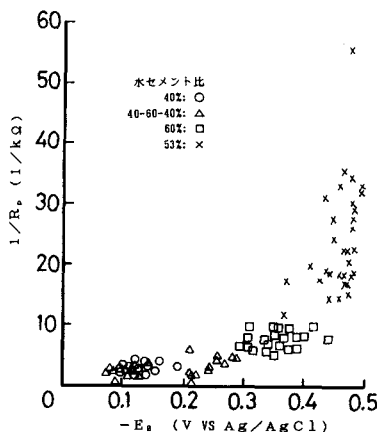
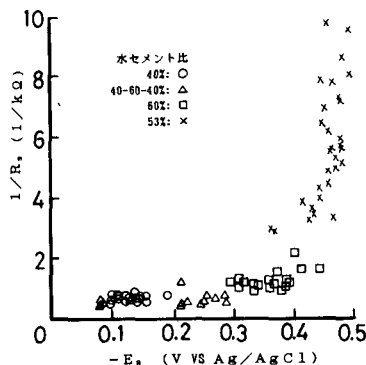
表-1に示す15本の供試体について、自然電位、分極抵抗、コンクリート抵抗の測定を行った。測定方法は、パルス周期10秒、印加電流100 $\mu$ Aの矩形波分極抵抗法とし、試料極を鋼材に、対極・参照極をかぶり（2cm）コンクリート表面に設置して行った。測定終了後、鉄筋をはり出し、腐食程度を観察（H：激、M：中、N：なし）するとともに、比較的腐食程度の激しかった箇所について酸洗いによって腐食減量を求めた。

## 3. 結果および考察

図-1, 2, 3に測定した自然電位（以下 $E_0$ ）、分極抵抗

の逆数（以下 $1/R_p$ ）およびコンクリート抵抗の逆数（以下 $1/R_s$ ）の関係を示す。

図-1から $E_0$ が-0.25Vより貴な領域では、腐食速度の大きさの目安となる $1/R_p$ は極めて小さく、少なくとも激しい腐食は生じていないものと考えられる。これに対して $E_0$ が-0.40Vより卑となった場合には $1/R_p$ が急激に増大し、軸方向ひびわれが生じている箇所も多く、激しい腐食を生じているものと考えられる。図-2から、 $1/R_s$ も $1/R_p$ とほぼ同様な傾向を示しており、塩化物の浸透によって腐食するような場合においては、コンクリート抵抗はかなり低くなっており、腐食電流が流れ易い状態になっているものと推定される。図-3からは、 $1/R_p$ が増大するにつれて $1/R_s$ も増大はするものの、 $1/R_s$ が4(1/k $\Omega$ )を越え、極めて特異な測定点を除けば、 $1/R_p$ は15~30(1/k $\Omega$ )の間でばらつく傾向があり、腐食速度そのものがコンクリート抵抗によって直接支配されているとはいえないようである。

図-1 分極抵抗の逆数 ( $1/R_p$ ) と自然電位 ( $E_0$ ) との関係図-2 コンクリート抵抗の逆数 ( $1/R_s$ ) と自然電位 ( $E_0$ ) との関係

腐食減量と、 $E_0$ 、 $1/R_p$ およびその時間積算値との関係をそれぞれ図-4, 5, 6に示す。 $E_0$ が-0.

40Vより卑の場合には腐食減量が大きくばらつき、 $E_0$ の値を腐食減量の指標としては用い難いようである。これに対して、極めてばらつきは大きいものの $1/R_0$ およびその時間積算値は腐食減量との間に相関関係がみられ、特に後者ではより相関性が強い。したがって、腐食減量については分極抵抗、特にその時間積算値が優れた指標となるものと考えられる。腐食減量としては、最大でも $50\text{mg}/\text{cm}^2$ 程度であって、軸方向ひびわれが既に生じているものが多いことを考え合わせると、極めて僅かの腐食量によって軸方向ひびわれは生じるものと考えられる。

#### 4. まとめ

(1) 自然電位は腐食開始の指標として用いることができる。今回の実験範囲では腐食開始の自然電位は $-0.25\text{V vs Ag/AgCl}$ 程度であり、激しい腐食の開始については $-0.40\text{V vs Ag/AgCl}$ 程度であった。

(2) 腐食開始については自然電位で判断が可能であるが、腐食減量については分極抵抗による必要がある。なお、腐食による劣化の限界状態を軸方向ひびわれの発生とした場合、ひびわれ発生までに要する腐食量は少なく、腐食発生を目安として用いても大きな誤差はないと考えられる。

(3) 軸方向ひびわれはわずかな腐食生成物によって発生し、自然電位あるいは分極抵抗等による非破壊推定が可能である。

#### 5. 数値計算

矩形波電流を流したときに、鋼材表面上のどの範囲が分極の影響を受けるかということを調べるために、簡単な数値計算を行った。鋼材直上に置いた対極からの電流を定常であるとする、かぶりコンクリート中の電位分布はラプラス方程式に従うので、それを差分法を利用することにより数値計算した。その結果、対極から電流の到達する範囲はかぶり $2\text{cm}$ でも鋼材軸方向で $16\text{cm}$ にも及び、また鋼材の裏側にも約 $30\%$ が到達すると推定された。

#### 6. 今後の検討課題

今回の手法を含めて種々の非破壊測定手法には、現場に適用するに当たって、現実の構造物における資料集積など今後必要とされる検討項目は多い。今後の一層のデータの集積および整理が望まれる。

また、数値計算についても、今後、鋼材のかぶりあるいは配筋等にも考慮を払った、分極の影響圏に対する検討が必要と考えられる。

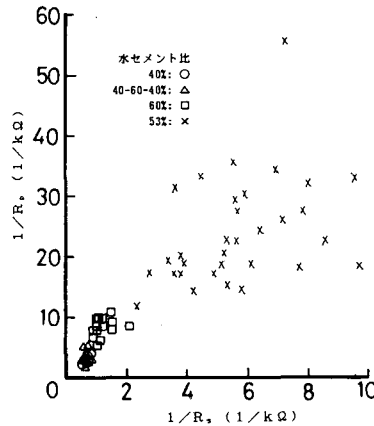


図-3 分極抵抗の逆数 ( $1/R_p$ ) とコンクリート抵抗の逆数 ( $1/R_c$ ) との関係

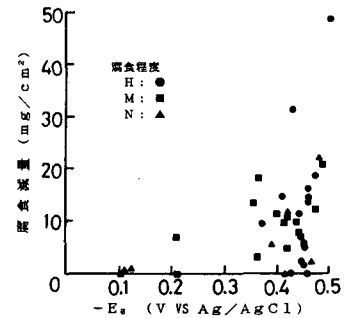


図-4 腐食減量と自然電位 ( $E_0$ ) との関係

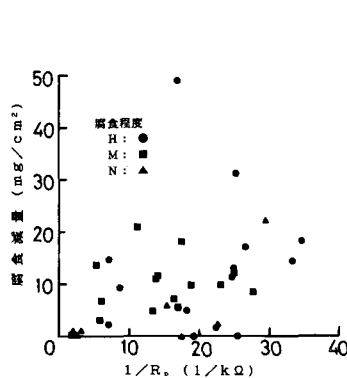


図-5 腐食減量と分極抵抗の逆数 ( $1/R_p$ ) との関係

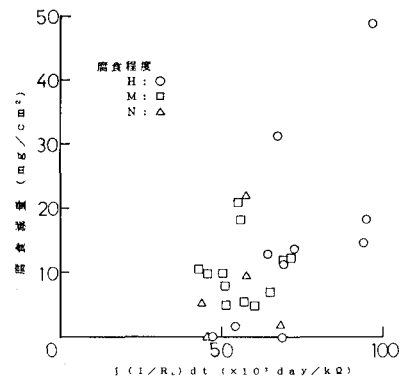


図-6 腐食減量と分極抵抗の逆数の時間積分値 ( $\int (1/R_p) dt$ ) との関係