

第V部門

電気探査法を応用した鉄筋腐食度判定手法の理論と検定

(株)関西興産 耐震設計室 正会員 ○露口 雄次
埼玉大学 名誉教授 フェロー 町田 篤彦

1. はじめに

既存RC構造物の鉄筋腐食度判定手法には、自然電位法¹⁾、分極抵抗法¹⁾、交流インピーダンス法¹⁾がある。
i) 自然電位法は、鉄筋腐食程度の差異で生じる電位差から腐食度を判定する検査方法。ii) 分極抵抗法は、鉄筋に直流電流を比較的長時間(30～300秒程度)負荷することで、鉄筋のコンデンサー効果を消失させた後の抵抗値(分極抵抗)から腐食度を判定する検査方法。iii) 交流インピーダンス法は、0.001Hz～100Hz程度の交流電流を鉄筋に負荷し、周波数毎の「抵抗値」と「電流と電位の位相差」から腐食度を判定する検査方法(低周波数時の抵抗値は分極抵抗法の結果と近似)。

上記3方法ともRC構造物から鉄筋端部をはつり出す局部破壊作業が必要であり、特に分極抵抗法と交流インピーダンス法は測定時間の長さや測定結果解釈の難解さ等が実用上問題となっている。

図-1 携帯型電気測定装置の回路

これに反し、物理探査法的一种である電気探査法^{2)~7)}では、はつり作業を行わずRC構造物表面から見掛け比抵抗²⁾と見掛け充電率²⁾を測定でき、これらから分極抵抗とコンデンサー効果が推定できる。それで、鉄筋腐食度を簡便かつ精度良く判定できる携帯型電気測定装置(図-1参照)を開発⁵⁾して運用^{5)~7)}を始めている。

2. 検定回路の作製と電気解析理論の概要

図-2は、RC構造物表面から測定できる電流と電位の時間変化を示すもので、これらから見掛け比抵抗 $\rho[\Omega m]$ と見掛け充電率 $M[mV/V]$ が式(1)と式(2)により算出される。

$$\rho = 2\pi a \frac{V_R}{I_1} \quad (1)$$

$$M = \frac{1}{V_R(t_4 - t_3)} \int_{t_3}^{t_4} V_s(t) dt \quad (2)$$

ここに、 $a[m]$: 電極間隔²⁾, $V_R[V]$: 安定した一次電位,
 $I_1[A]$: 安定した電流, $V_s(t)[mV]$: 電流 I_1 切断後の二次残留電位。

図-2 電流 I_1 、一次電位 V_R と二次電位 $V_s(t)$

図-3は、既存RC構造物を模擬した見掛け比抵抗と見掛け充電率の検定回路⁷⁾を示すのもので、これを用いて前述の携帯型電気測定装置の実用性を確認した。さらに、この検定回路の電気挙動を連立微分方程式で表すことも試みた。図-3において、C1とC2: 電流入力点、P1とP2: 電位差の測定点、 $V[V]$: 検定回路全体の電位、 $I_1[A]$: 矩形の入力電流、 $(I_1 - I_2)[A]$: 抵抗 R_1 を流れる電流、 $I_2[A]$: コンデンサー Cs_1 と抵抗 Rs_4 を流れる電流を、各々表している。

$$R_2 I_1 + R_1 (I_1 - I_2) + R_3 I_1 = V \quad (3)$$

$$R_1 (I_1 - I_2) = R_{s4} I_2 + \frac{1}{C_{s1}} \int I_2 dt \quad (4)$$

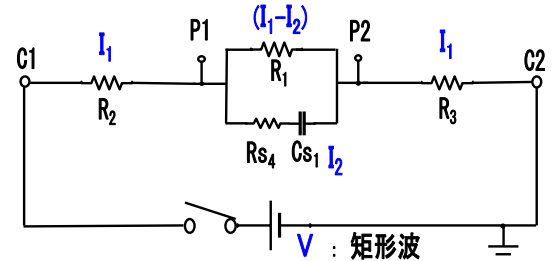


図-3 検定回路の構成

式(3)はC1,C2点間の電圧の合計 V 、式(4)はP1,P2点間の電圧の均衡を各々示している。ここで、式(4)の最後

尾に示す積分記号を消去するため、式(5)に示す変数 Q_2 を導入し式(3)と式(4)に代入すると、式(6)と式(7)が得られる。

$$Q_2 = \int I_2 dt \quad \text{または} \quad \frac{dQ_2}{dt} = I_2 \quad (5)$$

$$(R_1 + R_2 + R_3)I_1 - R_1 \frac{dQ_2}{dt} = V \quad (6)$$

$$R_1 I_1 - (R_1 + R_{S4}) \frac{dQ_2}{dt} - \frac{Q_2}{C_{S1}} = 0 \quad (7)$$

ここで、式(6)と式(7)を変形すると、式(8)と式(9)が得られる。

$$\frac{dQ_2}{dt} = \frac{(R_1 + R_2 + R_3)}{R_1} I_1 - \frac{V}{R_1} \quad (8)$$

$$\frac{dI_1}{dt} = \frac{R_1}{C_{S1}(R_1 + R_{S4})RR} \frac{dQ_2}{dt} - \frac{1}{RR} \frac{dV}{dt} \quad (9)$$

$$\text{ただし、} RR = \frac{R_1^2}{(R_1 + R_{S4})} - (R_1 + R_2 + R_3)$$

式(8)と式(9)は、2変数 Q_2 と I_1 の連立微分方程式であり、微分方程式の数値解法として一般的なルンゲ・クッタ・ギル法を用いて図-4の3)に示す検定回路の解析解を算出した。

3. 検定回路と解析によるRC供試体のシミュレーション

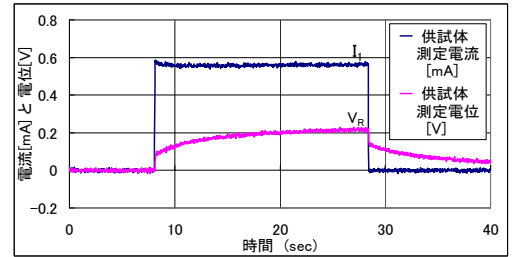
既報告のRC供試体の1測点⁷⁾の電流と電位を模擬して、式(10)から式(13)に示すように、抵抗とコンデンサー容量を定めた。

$$R_1 = 380 [\Omega] : \text{鉄筋部とコンクリート部の抵抗} \quad (10)$$

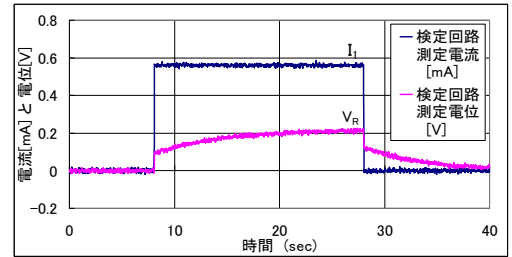
$$R_2 = R_3 = 42600 [\Omega] : \text{周辺コンクリート部の抵抗} \quad (11)$$

$$R_{S4} = 250 [\Omega] : \text{電気二重層¹⁾に関する抵抗} \quad (12)$$

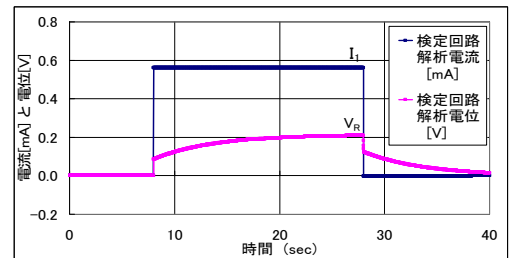
$$C_{S1} = 9000 [\mu F] : \text{電気二重層に関するコンデンサー容量} \quad (13)$$



1) RC供試体の測定電流と測定電位



2) 検定回路の測定電流と測定電位



3) ルンゲ・クッタ・ギル法による解析電流と解析電位

図-4 電流と電位の検定

図-3に示すC1,C2点間に48Vの直流を流すと、安定状態での電流 I_2 [A]と電流 I_1 [A]、P1,P2点間の電位 V_R [V]、電極間隔が6cmの場合の見掛け比抵抗 ρ [Ωm]は、各々式(14)から式(17)の値となる。

$$I_2 = 0.0 [\text{mA}] \quad (14), \quad I_1 = 48 / (R_1 + R_2 + R_3) = 0.5608 \times 10^{-3} [\text{A}] = 0.5608 [\text{mA}] \quad (15)$$

$$V_R = R_1 I_1 = 0.2131 [\text{V}] \quad (16), \quad \rho = 2 \times \pi \times 0.06 \times V_R / I_1 = 143.3 [\Omega m] \quad (17)$$

4. まとめ

上記の検討から、「RC供試体」、「検定回路」、「ルンゲ・クッタ・ギル法による解析」の三者の電流と電位(図-4参照)は各々近似しており、「RC供試体の電気特性モデル(検定回路)の妥当性」および「開発した携帯型電気測定装置の実用性」が確認できた。現在は、複数の既存RC構造物⁶⁾の測定と局部破壊を行って推定精度の確認と精度向上を進めており、今後は、それらの研究成果を積極的に発表していく予定である。

参考文献

- 小林一輔, 小林豊治, 米澤敏男, 出頭圭三: コンクリート構造物の耐久性診断シリーズ3・鉄筋腐食の診断, 森北出版, 1993.
- 島裕雅, 梶間和彦, 神谷英樹: 建設・防災・環境のための新しい電気探査法 比抵抗映像法, 古今書院, 1995. ↓ pp.1179 - 1180, 2005.
- 露口雄次, 町田篤彦: 直流比抵抗法を用いたコンクリート構造物の内部推定に関する基礎的研究, 土木学会第60回年次学術講演会, 5-590, ↑
- 露口雄次, 町田篤彦: 直流比抵抗法を用いたRC構造物の内部推定に関する基礎的研究, 土木学会論文集E, Vol. 62, No. 4, pp.641 - 656, (2006).
- 露口雄次, 町田篤彦: 携帯型鉄筋腐食度判定装置の開発と試用, 土木学会第61回年次学術講演会, 5-547, pp.1089 - 1090, 2006.
- 露口雄次, 町田篤彦: 直流比抵抗法を用いた鉄筋腐食度推定手法の実用化, 土木学会第62回年次学術講演会, 5-016, pp.31 - 32, 2007.
- 露口雄次, 町田篤彦: 電気探査法を応用したRC構造物の鉄筋位置と腐食状態の推定, 土木学会論文集E, Vol. 64, No. 1, pp.42-61, (2008).