

交流インピーダンス法によるコンクリート中の鉄筋腐食評価
—鉄筋の配置間隔が測定値に及ぼす影響など—

株式会社奥村組 正会員 ○福田 勝也
徳島大学大学院 正会員 横田 優
徳島大学工学部 正会員 島 弘
徳島大学工学部 正会員 河野 清

1. はじめに

近年、鉄筋コンクリート構造物の塩害など鉄筋腐食による早期劣化が社会問題となっており、構造物の維持管理上から、できる限り早期に内部の鉄筋腐食を非破壊的にモニタリングする技術の開発が強く望まれている。交流インピーダンス法に関する既往の研究ではコンクリート中に鉄筋を1本埋め込んだような単純なもので行われている。¹⁾そこで、本研究では、実構造物への適用を想定し、コンクリート中の鉄筋の中心間隔が異なるRCスラブ供試体を対象に交流インピーダンス測定した結果について報告する。

2. 実験概要

本実験には鉄筋中心間隔(Cs)がそれぞれ 8、12、16cm の 3種類のRCスラブ供試体(仕様: 60×30×60×厚10cm)を用いた。代表例として、No. 2 供試体(Cs=12cm)の形状と寸法を図-1に示す。鉄筋は SD295、D10の黒皮つき異形棒鋼を使用した。No. 2 供試体の鉄筋量を1とすると、No. 1 (Cs=8cm)の鉄筋量は 1.4、No. 3 (Cs=16cm)の鉄筋量は0.8である。なお、かぶり厚さは 2cmである。コンクリート配合は表-1に示すとおりであるが、鉄筋の腐食を助長するために、水セメント比を70%、目標スランプ値を15±2cmとするとともに、コンクリート1 m³当たり9kgの塩化ナトリウム(特級試薬)を添加した。

供試体は、コンクリート打設翌日に脱型し、1か月間室内にて濡れた麻袋をかけた状態で湿潤養生した。その後、9月の初旬から翌年の1月の中旬までの約 5か月間屋外に暴露した。なお、夜間は濡れた麻袋をかけて湿潤状態にし、昼間は外して乾燥させるという乾湿繰返しを行ってコンクリート中の鉄筋を腐食させた。

約5か月間の屋外暴露試験中、6回(測定頻度: 1回/3週間)、供試体中央部の21点(図-1の○印箇所、No. 3供試体は 8点)の交流インピーダンス測定を実施した。測定は、±5 mV(実効値)の正弦波電圧で、10Hzから10mHzまでの7周波数について行い、結果はCole-Coleプロット(複素平面表示)により整理し、図-2に示す方法で「見かけの分極抵抗」 R_p' (Ω)を求めた。また、10Hz時のインピーダンスの絶対値を「見かけのコンクリート抵抗」 R_c' (Ω)とした。所定の暴露期間を終えた供試体は解体して鉄筋の腐食状況の観察および腐食度(腐食面積率)の算出を行った。

3. 実験結果および考察

鉄筋の腐食状況については、No. 1、No. 2 および No. 3 いずれの供試体も鉄筋交差部やかぶりの小さい縦鉄筋の表面側を中心に腐食しているのが確認された。それぞれの腐食面積率は23.4%、14.0%、13.5%であった。

図-3に、No. 2 供試体の各測定時の R_p' と自然電位との関係を、また、図-4に、No. 1、No. 2 および No. 3 供試体の各測

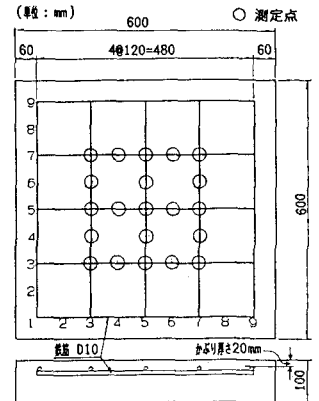
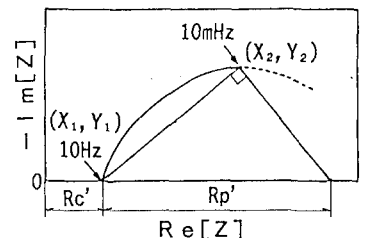


図-1 供試体の形状・寸法

表-1 コンクリートの配合

配合材料	スラ ンプ	空気量	水セメ ント比	単位セメ ント量	塩分添加量
最大寸法 (mm)	(cm)	(%)	(%)	(kg/m ³)	NaCl (kg/m ³)
10	15±2	5±1	70	278	9

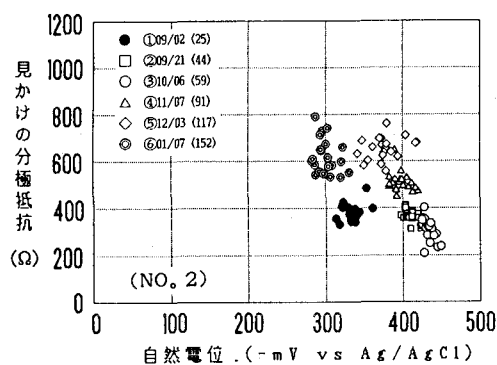
・セメント: 普通ポルトランドセメント
・細骨材: 川砂(比重=2.61, 吸水率=1.39%, FM=3.04)
・粗骨材: 砕石(比重=2.54, 吸水率=2.58%, FM=6.72)



$$R_p' = \{(X_2 - X_1)^2 + Y_2^2\} / (X_2 - X_1)$$

$$R_c' = X_1$$

図-2 Cole-Coleプロットからの R_p' 外挿法

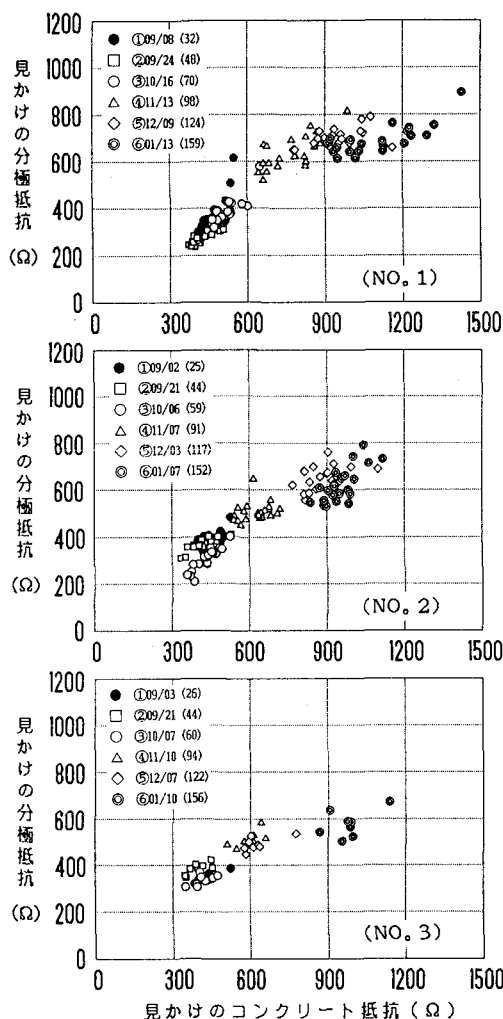
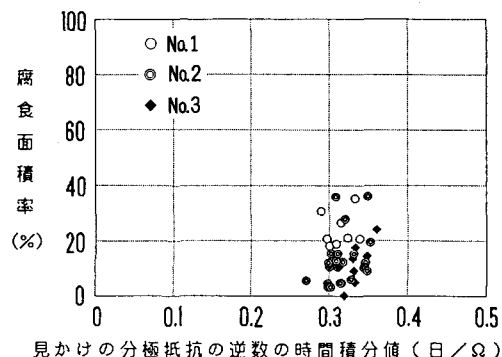
図-3 自然電位と R_p' との関係(No. 2)

定時の R_c' と R_p' との関係をそれぞれ示す。自然電位は、材令59日(10/06)を最小に、試験期間中を通じてASTMの基準で「90%以上の確率で腐食を生じている」と判定される電位 -230mV (vs Ag/AgCl)以下を示していた。一方、 R_p' は、材令59日まではほぼ横ばいか、わずかに減少気味であったが、それ以降、材令117日(12/03)まで増加し、その後再び横ばいになる傾向にあった。分極抵抗の逆数が腐食速度に対応すると考えられることより、コンクリート中の鉄筋の腐食速度は周囲の環境、例えば、温度などの影響を受けて変化することがわかった。また、 R_c' は(最終測定時を除いて) R_p' に同調して変化しており、試験期間中を通じて増加する傾向が認められた。

図-5に、No. 1、No. 2およびNo. 3供試体の各測定点での R_p' の逆数の時間積分値と測定点直下12cm区間の鉄筋の腐食面積率との関係を示す。かなりのバラツキはあるが、各供試体とも R_p' の逆数の時間積分値の増加とともに腐食面積率が増加する傾向が認められ、本手法によるコンクリート中の鉄筋腐食量の定量的な評価の可能性が示唆された。

なお、図-4によると腐食量の多いNo. 1供試体ほど R_p' の値が大きく、その結果として、図-5においては他の供試体に比べて左側に分布するなど R_p' にずれが認められた。この原因は、腐食状況の差や内部鉄筋量(C_s)の差によるコンクリート内での電流分散状況の相違によるものと推定される。交流インピーダンス法により得られた R_p' (Ω)から腐食速度を評価するためには、単位面積当りの分極抵抗 R_p ($\Omega \cdot \text{cm}^2$)にする必要があり、コンクリート表面に当てたセサ-電極から内部鉄筋への電流分散状況の把握が不可欠ことが再確認された。

参考文献 1) 横田敏, 澤田和明, 幸英昭: 交流インピーダンス法によるコンクリート中の鉄筋腐食評価, 土木工学における非破壊評価シンポジウム講演論文集, pp. 241~246, 1991. 10. 26

図-4 R_c' と R_p' との関係図-5 R_p' の逆数の時間積分値と腐食面積率との関係