

鉄筋の分極抵抗測定方法に関する基礎的検討

(独) 土木研究所 正会員 ○古賀 裕久
 (独) 土木研究所 正会員 渡辺 博志
 (独) 土木研究所 正会員 中村 英佑

1. はじめに

コンクリート中の鉄筋の腐食速度を推定する手法として分極抵抗法がある。しかし、現状ではその方法が確立されているとまで言えず、測定方法や測定条件の異なるデータを比較するのが困難である。そこで、基礎的な検討として、同一の供試体に対して LPR (Linear Polarization Resistance) 法¹⁾および交流インピーダンス法を用いて腐食速度を推定した結果を整理し、測定方法が腐食速度の推定結果に与える影響について検討した。

2. 供試体

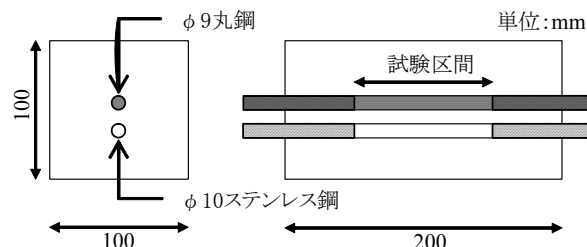
測定に用いた供試体の形状を図-1に示す。また、供試体の種類を表-1に、使用したコンクリートの配合を表-2に示す。塩化物イオンは、練混ぜ水に NaCl を混入して導入した。供試体は、材齢 28 日まで湿布養生した後、約 6 箇月間、気温 20℃、RH90%の恒温恒湿槽に保管した(途中、一時的に温度を変化させて腐食速度測定を試みた)。次に、約 6 箇月間室内に保管し、その後、屋外(茨城県つくば市)での暴露を開始した。なお、ここで検討する供試体の数は全部で 20 である。

3. 分極抵抗の測定方法

分極抵抗の測定には、ポテンショ／ガルバノスタットと FRA (周波数応答アナライザ) を備えた電気化学計測システムを使用し、照合電極には銅硫酸銅電極または銀塩化銀電極を用いた。対極には、測定する鉄筋(φ9mm)と並行に配置したステンレス鋼を用いた。

LPR 法による分極抵抗の測定では、腐食電位より 15mV 卑な電位から 15mV 貴な電位まで 180 秒間で走査した。腐食電位付近で電位と電流の関係について線形回帰直線を作成し、その傾きから分極抵抗を求めた。

交流インピーダンス法による分極抵抗の測定では、10kHz から 10mHz までの周波数を用いてインピーダンスの測定を行った。次に、図-2に示す二つの等価回路を仮定して分極抵抗(図-2中の R)を求めた。



※供試体中央 100mm の試験区間以外は、防食テープ等で被覆した。

※かぶり 70mm の供試体では、断面を 150×150mm とした。

図-1 供試体の形状(かぶり 40mm の場合)

表-1 供試体の種類

項目	種類
水セメント比 (%)	40, 50, 70
かぶり (mm)	20, 40, (70)
塩化物イオン量 (wt% vsC)	0.8, 1.6

※かぶり 70mm の供試体は、水セメント比 50% の場合のみ作成した。

※供試体の内訳は、水セメント比 50% の場合が 12 体(かぶり 3 種×塩化物イオン量 2 種×2 体)、水セメント比 40%、70% の場合が 4 体ずつ(かぶり 2 種×塩化物イオン量 2 種×1 体)

表-2 コンクリートの配合

単位量 (kg/m ³)				空気量 (%)
W	C	S	G	
172	430	773	931	4.5
	314	817	984	
	246	843	1016	

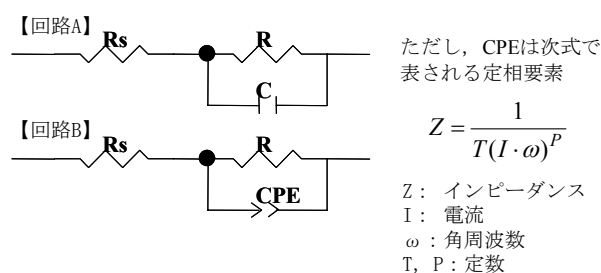


図-2 想定した等価回路

キーワード 塩害、非破壊試験法、電気化学測定、分極抵抗、腐食速度

連絡先 〒305-8516 茨城県つくば市南原1-6 (独) 土木研究所構造物マネジメント技術 TEL 029-879-6761

4. 測定結果と考察

(1) 交流インピーダンス法における等価回路について

図-3 に測定例を示す。腐食速度が大きいと見られる供試体では、低周波域で拡散過程によるものと見られる影響が認められた(図-3 左図, 10mHz 付近の数点)。このため回帰分析には、測定結果のうち 10Hz から 100mHz までのデータを用いた。

また、測定データは、ナイキストプロット上で扁平な半円の形状をしており、図-2 の回路 A を仮定した場合、測定データと一致する回帰曲線を作成することが困難であった。一方コンデンサの代わりに CPE を用いた回路 B では、測定結果と比較的よく一致する回帰曲線を作成することができた。

CPE は、式に含まれる定数 P の値が 1 の場合、コンデンサと等しい。今回の検討では、 P は概ね 0.6~0.8 の範囲にあり、かぶりが比較的小さい供試体や、分極抵抗が比較的小さい供試体などで小さくなった。このことから腐食速度が比較的大きい供試体ほど、等価回路の仮定方法の影響が大きいと考えられる。

(2) 腐食速度の推定結果

屋外暴露中の一日に行った測定結果から腐食電流密度を推定し図-4 に示す。供試体によって若干のばらつきがあるが、LPR 法による腐食電流密度と交流インピーダンス法(回路 B)による腐食電流密度には概ね比例関係があった。

次に、約 1 箇月間隔の測定結果から各供試体の 1 年間の腐食量を推定し、図-5 に示す。年間の腐食量が $6\mu\text{m}$ 以下と小さい場合、腐食量の推定結果は両方法で同程度になった。しかし、腐食量が比較的大きい(腐食電流密度では概ね $0.5\mu\text{A}/\text{cm}^2$ 以上)場合は、交流インピーダンス法(回路 B)による腐食量が LPR 法による腐食量の 1.4 倍程度と若干大きくなった。

なお、交流インピーダンス法で回路 A を仮定した場合は、回路 B を仮定した場合と比較して分極抵抗が小さく測定される傾向があり、図-4 で例を示した測定日では、腐食電流密度の推定結果が回路 B の約 1.8 倍となった。

5. まとめ

今回の検討の範囲では、(1)インピーダンスの測定結果から分極抵抗を求める際、CPE(定相要素)を含む等価回路を仮定し、10Hz から 100mHz 程度のデータを用いるのが有効であった。(2)(1)のように行った場合、交流インピーダンス法の測定結果は、LPR 法の約 1.4 倍となった。

参考文献

- 1) The Concrete Society : Electrochemical Tests for Reinforcement Corrosion, Concrete Society Technical Report No. 60, 2004

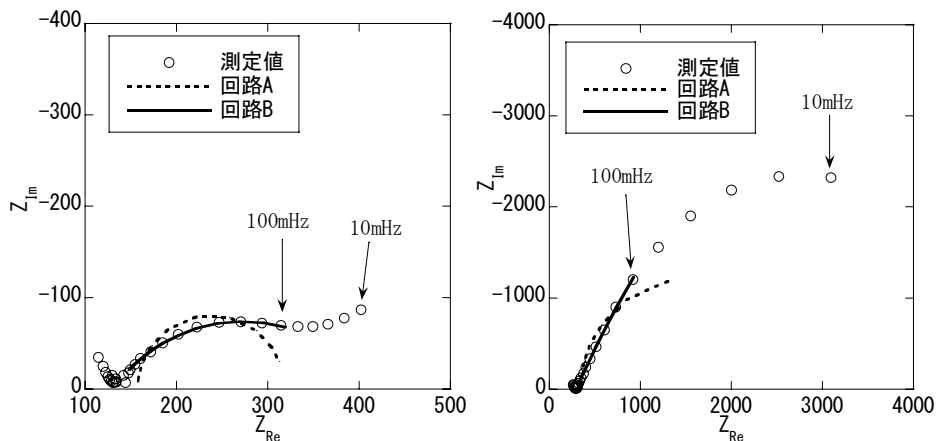
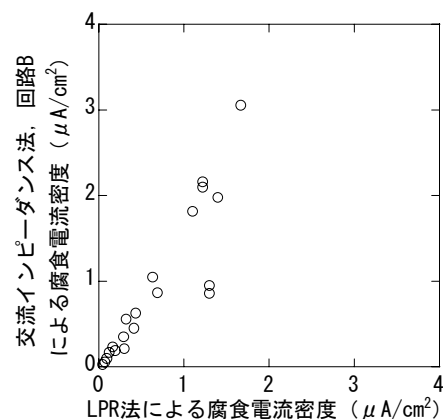
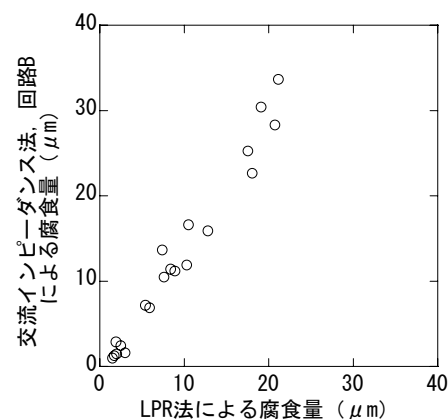


図-3 交流インピーダンス測定例



※(腐食電流密度) = $B / (\text{分極抵抗})$ として算出した。ただし、 B は定数で 26mV とした。

図-4 腐食電流密度の比較



※腐食量は、平均腐食深さとして整理した。

図-5 腐食量の比較