

交流インピーダンス法によるマクロセルを形成した鉄筋コンクリート試験体の腐食速度評価

(株)四国総合研究所土木技術部 正会員 横田 優

1. まえがき

筆者は腐食速度の評価が可能との期待から、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診断に関する研究を行っている。これは (1)式に示すように、インピーダンス測定により求めた分極抵抗 (R_p) から比例定数 B 値を用いて腐食速度(腐食電流 ; I_{corr})に換算するものである¹⁾⁶⁾。 $I_{corr} = B (1/R_p)$ … (1) よって、(1)式が成立するならば、腐食が起こっていない領域での鉄筋の分極抵抗は非常に大きくなると考えられるが、実際に塩化物腐食を起こしている比較的大きい試験体²⁾や実構造物³⁾を対象に測定してみると、腐食を起こしているところと起こしていないところで得られる分極抵抗の大きさは1 オーダー程度しか変わらないのがほとんどである。筆者は、この原因の一つとして、腐食の有無によるセンサーと内部鉄筋との間の電流分散状況の違いをあげ、床版タイプ試験体を用いた実験により、腐食を起こしていない場合は電流が広く分散し、その結果として分極抵抗を過小に、しいては腐食速度を過大に評価する傾向があることを指摘した⁴⁾⁵⁾。本文では、塩化物腐食を起こしている実構造物で見られるマクロセル腐食を模擬した、NaCl を含むコンクリートと NaCl を含まないコンクリート中にそれぞれ埋め込んだ鉄筋を外部で電氣的に接続した鉄筋コンクリート試験体を対象に交流インピーダンス測定を行い、その理由について検討した結果を報告する。

2. 実験概要

(1) 試験体

試験には、表 1 および図 1 に示すように、コンクリート中に埋め込まれた鉄筋を外部で電氣的に接続しマクロセルを形成した 2 組の鉄筋コンクリート試験体を用いた。寸法は 7.5 × 15 × 15cm で単位セメント量 350kg/m³、水セメント比 0.41 のコンクリート 2 体が 1 組で、その一方には 3kg/m³ の NaCl を添加した。鉄筋は(a)、(b)の 2 種類を使用した。試験体はコンクリート打設後 28 日間水中養生した後、無抵抗電流計を介して電氣的に接続した状態で室内(12~18℃)に暴露した。

(2) 交流インピーダンス測定

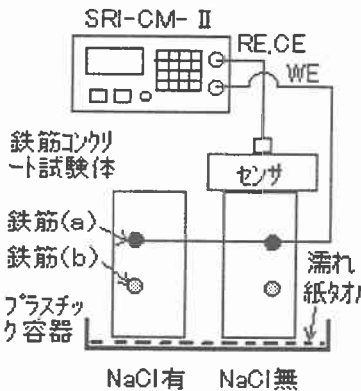
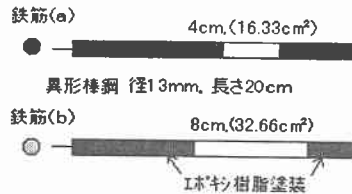
暴露期間中は無抵抗電流計により 2 体の試験体間を流れるマクロセル電流を連続計測した。電流値が安定しているときを見計らって、表 2 に示す 5 ケースの交流インピーダンス測定を、当社で開発した携帯型鉄筋腐食診断器 SRI-CM-II を用いて、①から⑤の順番で繰り返し行った。図 1 に示すように、銀塩化銀照合電極と径 11cm のステンレス製円板の対極からなるセンサーをコンクリート表面に当て測定された自然電位を基準に、10Hz から 1mHz までの各周波数について、±10mVp-p の交流電圧を印加し、その時の応答電流と位相差をそれぞれ計測した。結果は電圧と電流の比であるインピーダンス(絶対値)と両者の位相差(角度)をもとにした複素平面表示により整理した。

表 1 マクロセル試験体

試験体 区 分	[X]	
	7ノード側	カソード側
コンクリート	NaCl有	NaCl無
使用鉄筋	(a)1本	(a)1本
面積(cm ²)	16.33	16.33
カソード7ノード 面積比	1	

表 2 測定ケース一覧表

測定 ケース	センサーを 置く試験体	両試験体の 位置関係	電氣的接 続の有無
①	両方	くっつける	有
②	NaCl有側	離す	有
③	NaCl無側	離す	有
④	NaCl有側	離す	無
⑤	NaCl無側	離す	無



3. 実験結果および考察

測定順とは逆であるが、まず、電氣的接続を絶った後の測定ケース④および⑤の各鉄筋単独での交流インピーダンス軌跡を図 2 に示す。これまで筆者が報告したように、軌跡は半円状を呈しており、この半円の径

図 1 実験の概要

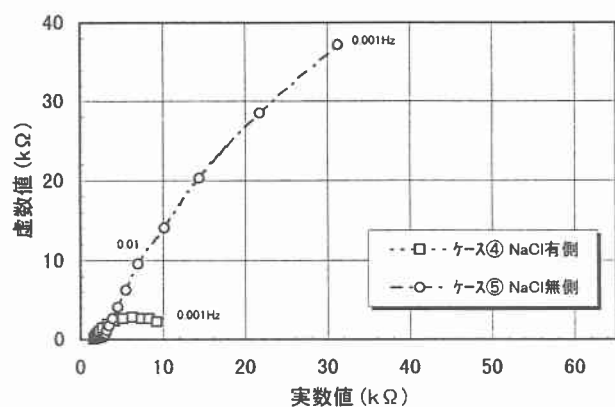


図2 交流インピーダンス軌跡 (ケース④、⑤)

が腐食速度に直接関与する分極抵抗に対応している¹⁾²⁾。よって、NaCl 無添加側の鉄筋については、非常に大きな半円の一部を呈していることから腐食を起こしていないことがわかる。一方、NaCl 添加側の鉄筋については、虚数軸方向にやや偏平な小さい半円状を呈していることから腐食を起こしていることがわかる。

次に、測定ケース①から③までの交流インピーダンス軌跡を図3に示す。本図で特筆すべきは、NaCl 無添加側の鉄筋は腐食を起こしていないのに、その軌跡は、図2のケース⑤とはまったく異なり、腐食を起こしている NaCl 添加側の鉄筋のインピーダンス軌跡とほぼ同じ形状を示していることである。これは NaCl 添加側の鉄筋と電氣的に接続したことによりマクロセルが形成され、NaCl 無添加側の鉄筋はカソードとして作用しているためであり、次のように考えられる。腐食電流は腐食反応に伴い発生する電子の数であり、腐食反応は電子を発生するアノード反応と電子を消費するカソード反応がバランスして進行する。分極抵抗は、電荷移動抵抗とも呼ばれるように、本来、これら電子の移動し易さを表現するものであり、交流インピーダンス法により求められる分極抵抗は金属がイオン化するアノード反応のみの情報を反映するものではない。よって、腐食を起こしていない鉄筋でもマクロセル腐食のカソードとして作用している場合にはそこに電子の移動を伴うために、腐食を起こしている鉄筋と同様なインピーダンス特性を示すものと考えられる。

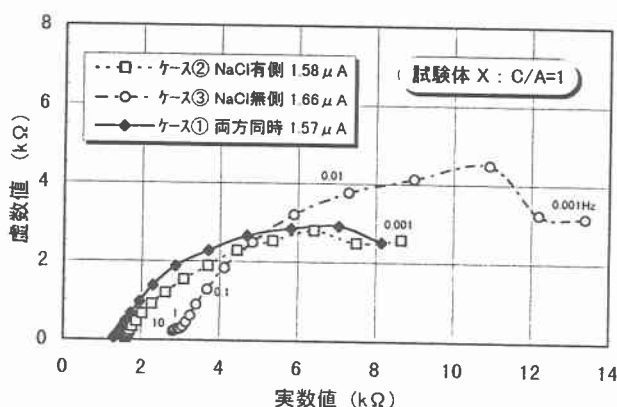


図3 交流インピーダンス軌跡 (ケース①、②、③)

4. あとがき

塩化物腐食特有のマクロセル腐食を起こしている構造物に交流インピーダンス法を適用する場合、腐食を起こしていない領域の鉄筋でもカソードとして作用している場合には、その電流密度に応じた分極抵抗をとる可能性のあることを示した。しかしながら、このことは交流インピーダンス法をはじめとする分極抵抗法が鉄筋腐食診断に全く役に立たないということを意味しているものではない。解釈に注意を要するが、分極抵抗は測定時の腐食速度を適切に反映するものであり、これまでどおり自然電位の測定結果と組み合わせることにより、より効率的な、より精度の高い診断が可能と考えている。

【参考文献】

- (1)横田優：電気化学的手法によるコンクリート中の鉄筋腐食評価，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.12，No.1，pp.545-550，1990.6
- (2)横田優，浮田和明，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，No.38，pp.241-246，1991.10
- (3)横田優：鉄筋腐食診断器の開発，電力土木，No.257，pp.64-71，1995.5
- (4)M. Yokota and K. Khono：Experimental study on the technical possibilities of the double-counter electrode method in ac impedance measurements of concrete reinforcement, Corrosion and Corrosion Protection of Steel in Concrete, eds. R. Narayan Swamy, Sheffield University, Sheffield Academic press, Vol.1, pp.210-223, 1994.7
- (5)横田優，河野清：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診断について，土木学会第49回年次学術講演会講演概要集第5部，V-88，pp.176-177，1994.9
- (6)横田優：コンクリート中の鉄筋腐食速度評価における Stern-Geary 式中の比例定数 B 値について，第51回セメント技術大会講演要旨(投稿手続き中)，1997.5