

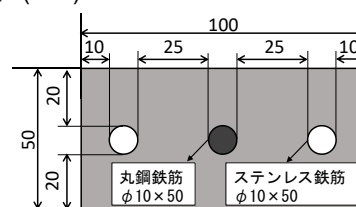
二周波矩形波法による分極抵抗値と鉄筋腐食の関係性に関する研究

福岡大学 学生会員 ○庄野克哉 福岡大学大学院 正会員 添田政司
 福岡大学 正会員 樫原弘貴 村上哲 西智美

1. はじめに コンクリート構造物の腐食評価方法の一つに分極抵抗法がある。分極抵抗値は、腐食電流密度と反比例の関係にあるとされ腐食速度を評価できると言われている。しかし、分極抵抗法は、測定時の温湿度や含水状態などの環境的影響やコンクリート品質などによる物理的影響を受けるため、必ずしも適切な分極抵抗値が得られない場合がある¹⁾²⁾。さらに、各周波数帯で得られる分極抵抗値と鉄筋腐食状態との関係性の情報は少なく、未だ汎用的な手法となっていないのが現状である。本研究は、各周波数での分極抵抗値と腐食状態との関係性を明らかにし、測定時の種々の影響を少なくするために、各周波数帯における分極抵抗比を用いた新たな腐食評価方法について検討を行った。

2. 実験概要 供試体は、普通ポルトランドセメント、細骨材に海砂を用いて、水セメント比 40%、48% で作製した。また、異なる腐食環境を形成することを目的として、初期塩化物イオン量が 0kg/m^3 、 2.5kg/m^3 、 5kg/m^3 、 10kg/m^3 となるように予め練混ぜ水に NaCl を混入した。供試体形状は、図-1 に示すように $100\times 90\times 50\text{mm}$ で作製し、試験面からかぶり 20mm の中央位置に $\phi 10\times 50\text{mm}$ の丸鋼鉄筋を埋設し、25mm の間隔を空けて両端に $\phi 10\times 50\text{mm}$ ステンレス棒を並列して埋設した。なお、鉄筋およびステンレス棒の片側端部は、測定用のビスを取り付けている。

(断面図)
 単位(mm)



(平面図)

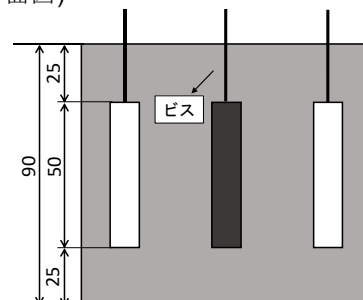


図-1 供試体概要

温度 20°C 環境下での 28 日間の湿布養生後は、 $100\times 90\text{mm}$ の試験面とその背面以外をアルミテープで被覆した。表-1 には、供試体の水準を示しており、1 水準につき 5 体もしくは 7 体ずつ作製した。その後は、3% 濃度の NaCl 水溶液への片面浸漬と乾燥環境を 14 日間ごとに繰り返すことにより、さらに各供試体において異なる腐食環境を形成した。分極抵抗は、14 日ごとおよび解体前に測定を行った。分極抵抗は、交流インピーダンス法で鉄筋両側に埋設されたステンレス棒を対極として測定値を得た。二周波数の矩形波交流を用いており、内部に埋め込んだステンレス鉄筋を対極として用いた。モルタル部の分極抵抗値は、高周波領域である 400Hz で固定し、モルタル部と鉄筋を含む分極抵抗値は、低周波領域である 0.01Hz 、 0.02Hz 、 0.05Hz 、 0.1Hz でそれぞれ測定を行った。鉄筋の分極抵抗値は、低周波領域における分極抵抗値と高周波領域における分極抵抗値の差によって算出した。供試体の解体は、養生終了日から 70 日目、140 日目、168 日目に分けて行っており、測定項目は、腐食面積率と腐食重量である。腐食重量は、JCI-SCI「コンクリート中の鋼材の腐食評価方法」に準拠して行った。

3. 結果及び考察 図-2 には、一例として 0.1Hz で測定した分極抵抗と単位面積当たりの腐食重量の関係を示す。なお、腐食重量 0mg/cm^2 は、塩水浸漬前かつ塩化物含有量 0kg/m^3 の供試体の分極抵抗値としている。以下の結果も同様である。OPC40 の分極抵抗値は、概ね腐食重量と分極抵抗値の間に関係性が確認できたが、OPC48 では、バラツキが大きく、中には腐食が進展しているにも

表-1 供試体水準

セメント種類	W/C(%)	NaCl 含有量 (kg/m^3)	養生方法	供試体数
OPC	40	0	湿布養生	5
		5		7
	48	0		5
		2.5		5
		5		5
		10		5

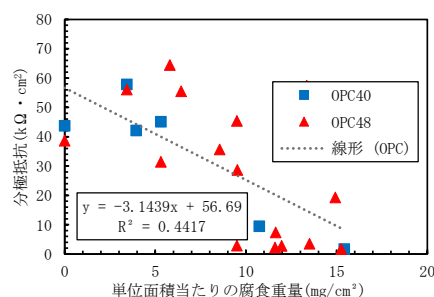


図-2 分極抵抗と腐食重量 (0.1Hz)

関らず、初期値よりも分極抵抗が大きいものもある。供試体の品質や測定時の含水率の違いなどの影響を受けているものと考えられる。さらに、分極抵抗値は、腐食重量が $12\text{mg}/\text{cm}^2$ を超えるとあまり変化がない傾向を示した。これは、腐食生成物の増加によって鉄筋に電流が流れ難くなったと思われる。図-3には、 0.01Hz での分極抵抗と腐食重量の関係を示す。分極抵抗値は、腐食重量が大きくなるに従って低下傾向を示した。また、相関は、 0.1Hz に比べると強くなっており、さらに微小の腐食で測定値が明確に低下を示す結果が得られた。ただし、分極抵抗値の変化は、腐食重量が $12\text{mg}/\text{cm}^2$ を超えると 0.1Hz と同様に小さくなっている。以上のことから、分極抵抗値による腐食重量の評価は、単位面積当たりの腐食重量は $12\text{mg}/\text{cm}^2$ までは可能であると思われる。次に、分極抵抗値は、コンクリート品質や測定時の含水率の影響を受けることが明らかとなったことから、より精度の高い測定手法を提案することを目的として、同程度の上記の影響を受けると想定される近い Hz 帯で測定された分極抵抗値の比と腐食の関係性について検討を行った。図-4には、 $0.02/0.05\text{Hz}$ での分極抵抗比と腐食重量の関係を示す。この結果、図-2の1周波帯で評価したものよりも、異なる Hz 帯で測定し分極抵抗比にすることで、相関性は明らかに高くなる結果を示した。また、1周波帯では、腐食重量が $12\text{mg}/\text{cm}^2$ までが推定可能であったのに対し、分極抵抗比を用いることで、より大きな腐食重量に対しても推定できる可能性が高いことが分かった。図-5には、 $0.01/0.02\text{Hz}$ での分極抵抗比と腐食重量の関係性を示しているが、推定できる腐食重量は $10\text{mg}/\text{cm}^2$ 程度と小さいものの、その精度は、さらに高まる傾向にあった。図-6には、1周波による分極抵抗の値および2周波測定による分極抵抗比の相関係数を示している。分極抵抗比を用いることで、相関係数は、いずれのケースにおいても高くなっており、腐食重量の推定精度が向上しているのが分かる。一般に $0.7 \leq |r| \leq 1.0$ で強い相関があるとされおり、分極抵抗比で評価したものは、強い相関であると言える。ただし、腐食重量を限定して相関係数を算出した場合には、相関係数が向上する場合もあれば、むしろ低下するものも見られた。つまり、分極抵抗比を算出する際の周波数帯の組み合わせによって、精度よく推定できる腐食重量の範囲が存在していると思われ、今後この点について明らかにすることで、従来の測定手法よりも信頼性の高い腐食診断法として汎用的に使用できるものとする。

4.まとめ 1) 一周波帯の分極抵抗では相関があると判断された。 2) 二周波帯で測定し分極抵抗比を評価指標とすると腐食重量との間に強い相関を確認できた。 3) 分極抵抗比をとる周波数帯の組合せにより、精度よく推定できる腐食重量の範囲が存在していると考えられる。

参考文献: 1)吉田秀典ら:鉄筋コンクリートにおける非均一性が電流伝導特性に及ぼす影響に関する研究, 土木学会構造工学論文集, Vol.62A, 2016 2)大塚柚人ら:分極抵抗法を用いた鉄筋の腐食評価に関する基礎的研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.41, No.1, 2019

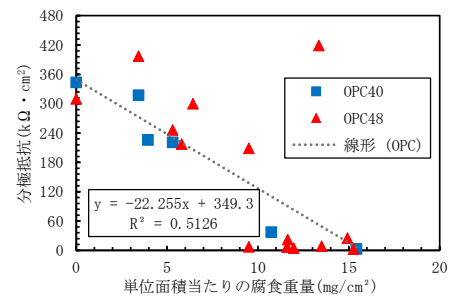


図-3 分極抵抗と腐食重量 (0.01Hz)

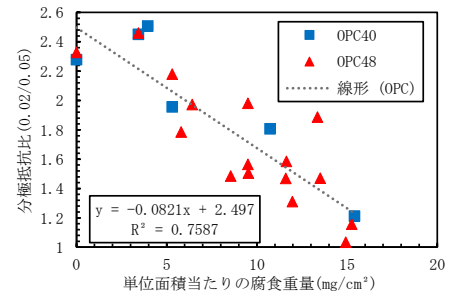


図-4 分極抵抗比と腐食重量 ($0.02/0.05\text{Hz}$)

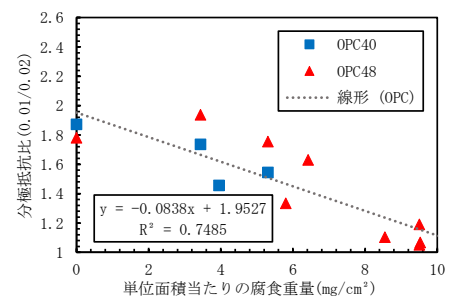


図-5 分極抵抗比と腐食重量 ($0.01/0.02\text{Hz}$)

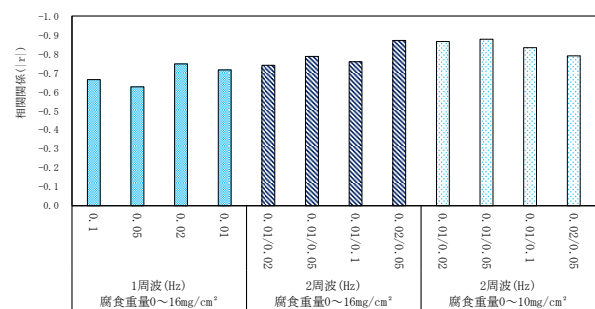


図-6 相関係数の比較