

コンクリートの電気抵抗率がマクロセル腐食性状に与える影響

愛媛大学 学生会員 ○日下部駿 極東興和 非会員 NGUYEN THI THAO QUYNH
愛媛大学大学院 正会員 河合慶有 愛媛大学大学院 正会員 氏家勲

1. はじめに

コンクリート中鉄筋の腐食の発生原因として塩害が挙げられる。塩害は主に海洋環境下の鉄筋コンクリート構造物に外部から塩化物イオンが侵入することで鉄筋が腐食する現象である。鉄筋腐食が発生すると、鉄筋表面では鉄がイオン化するアノード反応と酸素が還元するカソード反応が進行し、セルという腐食電池が形成される。また、コンクリート中の鉄筋腐食はマクロセル腐食とミクロセル腐食に大別される¹⁾。一般に、アノード反応とカソード反応が同じ位置もしくは極めて近い位置で生じる場合の腐食がミクロセル腐食と称される。一方、マクロセル腐食は、アノード反応とカソード反応が互いに離れた位置で生じ、局所的に腐食が進行する。近年、コンクリートの塩分浸透に対する抵抗性の評価指標の一つとして、コンクリートの電気抵抗率が注目されている²⁾。電気抵抗率が高いコンクリートではセメントペースト部や骨材界面の組織が緻密化し、電流の媒体となるイオンの移動により生じるマクロセル電流が小さくなると考えられる。以上のような背景を踏まえて、本研究では銅スラグ細骨材、高炉スラグ微粉末、及び好気性微生物を混練りした電気抵抗率の異なるコンクリート供試体を対象として、電気抵抗率がマクロセル腐食性状に与える影響を明らかにすることを目的とした。

2. 実験概要

2.1 使用材料及び供試体概要

本研究では、銅スラグ細骨材（容積置換 30%）や高炉スラグ微粉末（セメント質量置換 45%）、好気性微生物（練混ぜ水置換 25 及び 50%）を用いたコンクリート供試体を作製した。菌種は、納豆菌とした。セメントには、普通ポルトランドセメント（密度：3.16g/cm³）を使用し、水結合材比を 55%とした。コンクリートの配合を表 1 に、使用した骨材の物性を表 2 にそれぞれ示す。なお、各供試体には塩化物イオン濃度 10kg/m³を予め練り混ぜている。供試体寸法は、断面 100×150mm、長さ 200mm とし、埋設した鉄筋は長さ 100mm の丸鋼φ22 を使用した。図 1 のようにエポキシ樹脂で絶縁接続した分割鉄筋を型枠の上からたこ糸で吊るし、型枠底面からかぶり 20mm を確保した。打設から 24 時間後に脱型し、材齢 28 日まで水中養生を行った。養生終了後に、各供試体には設定したかぶりを確保した面以外からの腐食因子の侵入を防ぐため、曝露面以外の 5 面をエポキシ樹脂系接着剤で被覆した。

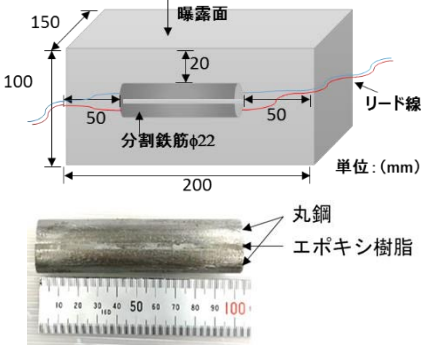


図 1 供試体概要

2.2 乾湿繰り返し実験

乾湿繰り返し実験は、20℃の恒温室において塩水（濃度 10%）を用いて乾燥期間と湿潤期間をそれぞれ 6 時間として行った。マクロセル電流は無抵抗電流計を用いて計測し、鉄筋表面積で除してマクロセル電流密



図 2 乾湿繰り返し実験

表 1 コンクリート配合

配合	W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)							単位量(g/m ³)	
			水	セメント	細骨材	好気性微生物	銅スラグ	高炉スラグ微粉末	粗骨材		高性能AE減水剤
			W	C	S				G1	G2	AE剤
OPC	55	49	165	300	895	—	—	—	468	468	2400
N25			124	300	895	41	—	—	468	468	2700
N50			83	300	895	83	—	—	468	468	2700
CUS30			165	300	536	—	359	—	468	468	1800
GGBFS45			165	165	746	—	—	135	390	390	1800

表 2 骨材の物性

骨材		表乾密度(g/cm ³)	吸水率(%)	粗粒率	最大寸法(mm)
砂岩砕砂	S 1	2.61	1.2	2.7	15
CUS2.5	S 2	3.55	0.04	2.29	
砂岩砕石	G 1	2.62	1.2	20	20
砂岩砕石	G 2	2.62	0.6		

度を算出した。電気抵抗率は別途作製した円柱供試体を対象として4プローブ法（プローブ間隔：50mm）を用いて測定した。

3. 実験結果及び考察

各供試体において4プローブ法で測定された電気抵抗率を図3に示す。図より、OPCの電気抵抗率が最も低くなり、OPCと比較するとN25、N50、CUS30、GGBFS45の全ての供試体において電気抵抗率は高い値を示している。特にGGBFS45の電気抵抗率が最も高く、潜在水硬性によりセメント硬化体の組織が緻密化したためと考えられる。

次に、各供試体において無抵抗電流計を用いて材齢28日までに計測されたマクロセル電流密度の結果を図4及び図5に示す。なお、各配合について2体の供試体を計測対象とした。図4より、OPC、N25は初期のマクロセル電流密度が大きくなっており $0.2\mu\text{A}/\text{cm}^2$ を上回る腐食電流が生じていることがわかる。一方、N50は $0.2\mu\text{A}/\text{cm}^2$ より小さい値を示しており、マクロセル腐食が抑制されていることが確認できる。また図5よりCUS30においては計測直後にマクロセル電流密度の最大値が $0.2\mu\text{A}/\text{cm}^2$ よりも上回ったが2日目以降、腐食電流はほぼ発生していないことがわかる。さらにGGBFS45ではマクロセル腐食の発生は確認されていない。

本検討ではマクロセル性状を定量的に検討するために材齢28日までに計測されたマクロセル電流密度を積分して算出した単位面積当たりの電気量と材齢28日に測定された電気抵抗率との関係について考察した。図6よりOPCは電気抵抗率が低く、マクロセル腐食の電気量が最も多くなっている。一方、OPCと比較して電気抵抗率が高いN25、N50、CUS30、GGBFS45ではマクロセル腐食の電気量が減少していることがわかる。特に、GGBFS45は電気抵抗率が他の4種類の配合と比較して非常に大きな値を示し、マクロセル腐食の電気量が最も小さくなっている。これらの結果より、電気抵抗率とマクロセル腐食の電気量には相関関係があることがわかった。これは電気抵抗率及びマクロセル腐食の電気量が共にセメント硬化体の細孔構造を通じたイオン伝導によって求められた測定値であるためと推察される。

4. まとめ

本研究により、材齢28日の電気抵抗率と材齢初期に生じたマクロセル腐食の電気量には相関関係があることがわかった。また、電気抵抗率の経時変化を把握するとともに、長期的なマクロセル腐食性状への影響分析についてはさらなる検討を要する。

参考文献

- 1) 宮里ら：分割鉄筋を用いたマクロセル電流測定方法の実験的・論理的検討，コンクリート工学年次論文集，Vol.23，No.2，pp.547-552，2001
- 2) 皆川ら：コンクリートの電気抵抗率と塩化物イオンの見掛けの拡散係数との関係に関する基礎的研究，土木学会論文集，Vol.66，No.1，pp.119-131，2010

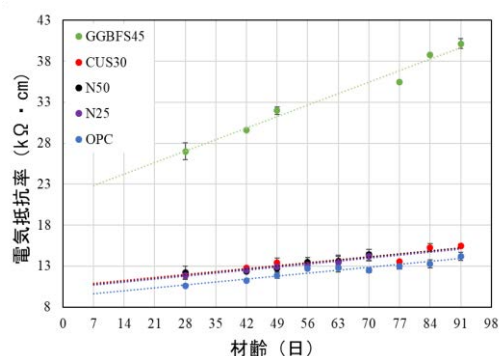


図3 電気抵抗率の経時変化

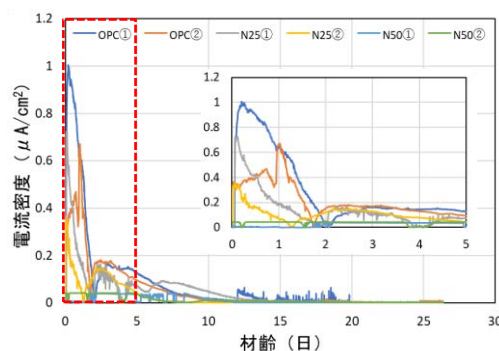


図4 マクロセル電流密度 (OPC, N25, N50)

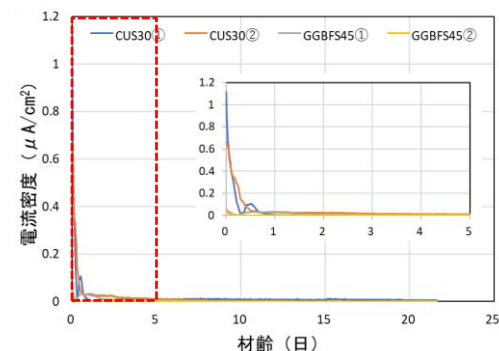


図5 マクロセル電流密度 (CUS30, GGBFS45)

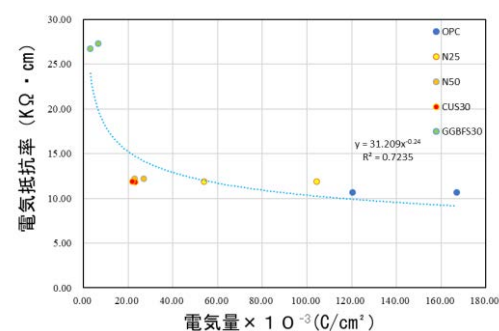


図6 電気抵抗率とマクロセル腐食の電気量