

スラグ細骨材を用いたコンクリート中の塩害による鉄筋腐食に関する検討

徳島大学大学院 学生会員 ○竹内彩菜 徳島大学大学院 正会員 上田隆雄
 徳島大学大学院 正会員 塚越雅幸 デンカ 正会員 七澤章

1. はじめに

銅スラグ細骨材や高炉スラグ細骨材を用いたコンクリートは乾燥収縮を低減できる一方、材料分離が起きやすく、ブリーディングが大きくなる傾向があると報告されているが、コンクリートの硬化後の耐久性に関するデータは不足している。そこで本研究では、スラグ細骨材の使用がコンクリートの鉄筋腐食に与える影響について検討した。また、ブリーディング量の抑制や緻密化による塩分浸透抑制を期待してセメント代替でフライアッシュを混和した配合も併せて検討を行った。

2. 実験概要

本研究で用いたコンクリートの配合を表1に示す。W/Cは55%とし、銅スラグ細骨材および高炉スラグ細骨材はそれぞれ、東予産 CUS2.5（密度：3.60 g/cm³，吸水率：0.11%）および倉敷

表1 コンクリートの配合

配合名	W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)								混和剤量 C×%	
			C	W	NS	CUS	BFS	FA	G	NaCl	WRA*	AEA**
N	55	48	324	178	816	-	-	-	895	9.9	0.30	0.010
CU			324		408	574	-	-	895		0.20	0.008
CUF			227		401	564	-	97	879		0.20	0.015
B			324		408	-	434	-	895		0.20	0.006
BF			227		401	-	426	97	879		0.20	0.014

*WRA：AE減水剤，**AEA：AE剤

産 BFS1.2（密度：2.73 g/cm³，吸水率：0.70%）を使用した。CU，B はそれぞれ銅スラグ細骨材，高炉スラグ細骨材を細骨材の体積置換率 50%で混和した配合を表している。CUF，BF は CU，B 配合に対して，さらにフライアッシュをセメント質量代替で 30%混和した。初期混入塩分は Cl⁻濃度が 6.0kg/m³とし，NaCl を細骨材代替で混和した。モルタル配合はコンクリート配合から粗骨材を除いたものとした。

本研究で作製した RC 供試体は 100×100×300 mm の角柱コンクリートとし，正方形断面中央に異形鉄筋 D13 を配置した。また，φ50×100 mm のモルタル円柱供試体も作製した。これら供試体は打設日翌日に脱型し，20℃の恒温室中で封緘養生を行った。RC 供試体は 28 日間の封緘養生終了後，40℃，95%R.H.が 4 日間，20℃，60% R.H.が 3 日間を 1 サイクルとする乾湿繰り返しの鉄筋腐食促進環境に保管し，各サイクル終了時に電気化学的鉄筋腐食指標として供試体中の鉄筋の電気化学的モニタリングを行った。モルタル円柱供試体は，91 日間の養生終了後に水銀圧入法による細孔径分布の測定を行った。

3. ブリーディング

RC 供試体打設時に実施したブリーディング試験の結果を図1に示す。スラグ細骨材の混入に伴うブリーディング量の増大傾向が見られる。また，フライアッシュをセメント代替で混和することによる効果については高炉スラグ細骨材を用いた場合にはブリーディングの発生状況は変わらず，銅スラグ細骨材を用いた場合には，ブリーディング量が増大する結果となった。銅スラグ細骨材は砕砂や高炉スラグ細骨材と比較して密度が大きいため，フライアッシュをセメント代替で混和することで，銅スラグ細骨材とセメントペーストの密度差が大きくなり，材料分離が促進されブリーディング量が増加したものと考えられる。

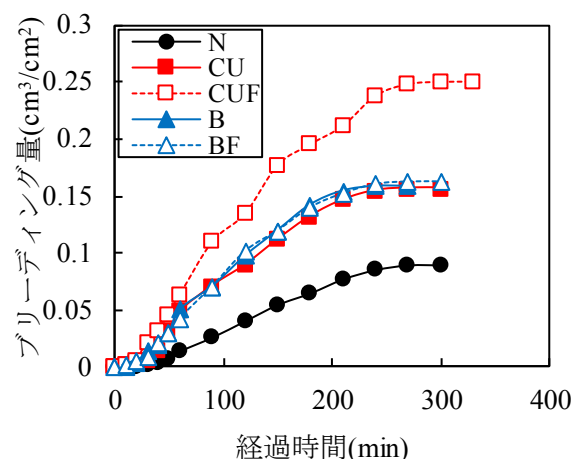


図1 ブリーディング量の経時変化

4. モルタル細孔径分布

材齢 91 日におけるモルタルの細孔径分布を図 2 に示す。スラグ細骨材を混入することでモルタルの総細孔量は減少する傾向を示している。減少している細孔径は主として 50 nm 以下の微細な空隙であり、100 nm 以上の大きな径の細孔量はスラグ細骨材を混入することで増加している。これに対して、フライアッシュを混和した場合には、無混和の場合に比べて細孔径 50 nm 以下の微細な空隙が増加しており、100 nm 以上の大きな径の細孔量は減少している。スラグ細骨材を用いることでブリーディング量が増加したが、特にモルタルの場合にはブリーディングによって余剰水が排出され、硬化体としての実質的な単位水量が減少したことで総細孔量が減少したものの、骨材界面などで局部的にブリーディングの影響が残る、粗大な細孔量は増加したものと考えられる。特にコンクリートの場合には、このような骨材界面部分の空隙の影響を受けやすいものと推定される。一方で、フライアッシュを混和した場合にはフライアッシュ微粒子のフィラー効果とポゾラン反応の効果で大きな径の空隙は充填されるものの、単位セメント量が減少していることもあり、微細な細孔量は増加したものと考えられる。

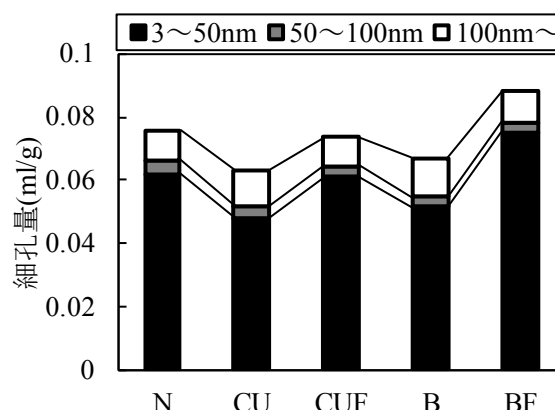


図 2 各細孔径範囲における細孔量

5. 電気化学的鉄筋腐食モニタリング

乾湿繰り返し腐食促進期間中の鉄筋分極抵抗およびコンクリート抵抗を図 3 および図 4 にそれぞれ示す。

図 3 より、スラグ細骨材を用いた CU および B 配合の供試体の鉄筋分極抵抗は、スラグ細骨材無混入の N 配合より小さい値を示している。分極抵抗は腐食速度の逆数に比例する指標であり、腐食速度に関しては、コンクリート中の酸素と水分の供給状況が支配要因となる。スラグ細骨材の混入で増加したブリーディングによって鉄筋界面に空隙が生じ、酸素と水分の供給量が増加することで鉄筋腐食速度が大きくなったものと考えられる。これらに対して、フライアッシュを混和した場合には分極抵抗が大きくなっている。図 2 に示したように、フライアッシュを混和することで大きな空隙が減少し、緻密な細孔構造が得られ、鉄筋腐食速度が減少したものと考えられる。なお、高炉スラグ細骨材を用いた場合に銅スラグ細骨材を用いた場合よりも分極抵抗が小さくなっているが、高炉スラグ細骨材は含有する硫黄成分の影響で電気化学的測定値が変動する可能性があることが報告されており、今後、実際の腐食状況と併せて検証を行う必要がある。

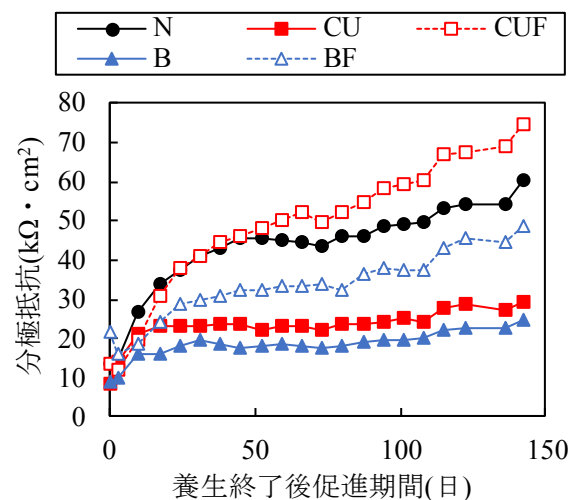


図 3 分極抵抗の経時変化

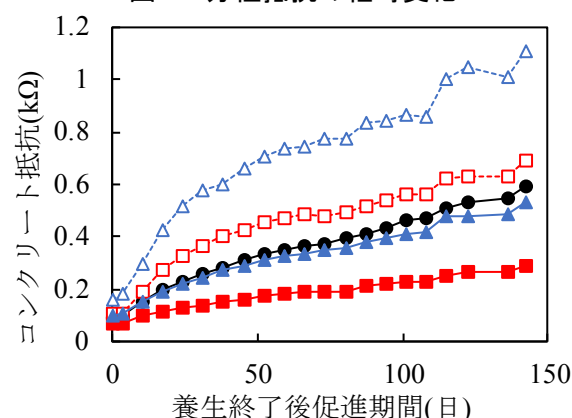


図 4 コンクリート抵抗

図 4 より、CUF および BF 配合の供試体のコンクリート抵抗値が大きくなっている。これは、フライアッシュのポゾラン反応が長期的に進行することで、緻密な細孔構造が形成されたものと考えられる。最も大きなコンクリート抵抗値を示している BF 配合については、フライアッシュの反応だけではなく、高炉スラグ細骨材の反応が進行することでより大きな抵抗値を示した可能性がある。また、銅スラグ細骨材を用いた配合は砕砂や高炉スラグ細骨材を用いた配合に比べ、コンクリート抵抗が小さい値を示しており、これは 70% 程度と高い割合で酸化鉄 (FeO) を含有している銅スラグ細骨材の電気抵抗が大きいことによる影響と考えられる。