

各種スラグ細骨材を用いた鉄筋コンクリートの塩害抵抗性に関する検討

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、種類や粒径の異なるスラグ細骨材を高い置換率で使用したコンクリートの塩害抵抗性について検討した。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細骨材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

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(B×%)	
			C	W	NS	CUS2.5	BFS1.2	BFS2.5	G	FA	WRA*	AEA**
N	55	48	324	178	826	-	-	-	895	-	0.50	0.010
C					248	810	-	-		-	0.30	0.006
CF					198	648	-	-		150	0.40	0.015
BS					248	-	578	-		-	0.50	0.010
BL					248	-	-	585		-	0.40	0.005
BLF					198	-	-	468		150	0.40	0.013

*WRA: AE 減水剤, **AEA: AE 減水剤

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、銅スラグ細骨材は、東予産 CUS2.5 (密度: 3.60 g/cm³, 吸水率: 0.11%), 高炉スラグ細骨材は倉敷産 BFS1.2 (密度: 2.73 g/cm³, 吸水率: 0.70%) および加古川産 BFS2.5 (密度: 2.72 g/cm³, 吸水率: 0.99%) を使用した。C, BS, BL はそれぞれ銅スラグ細骨材 CUS2.5, 高炉スラグ細骨材 BFS1.2, BFS2.5 を細骨材の体積置換率 70% で混入した配合を表している。CF, BLF はそれぞれ, C, BL 配合に細骨材代替で 30% のフライアッシュを混和した。初期混入塩分は Cl⁻ 濃度が 0 または 6.0 kg/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 供試体は初期塩分無混入の 100×100×300 mm の角柱コンクリートとし, 型枠側面からのかぶりが 25mm となるように異形鉄筋 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, かぶりが 25mm となる面以外の 5 面をエポキシ樹脂で被覆し, 20℃, 濃度 10% の塩水浸漬 4 日間, 20℃, 60% R.H. 3 日間を 1 サイクルとする乾湿繰返しを促進環境に保管し, 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

塩分を混入したコンクリートを用いて実施したブリーディング試験の結果を図1に示す。粒径の大きな BFS2.5 を置換率 70% で混入した BL 配合は, 他の配合と比較して, ブリーディング量が著しく大きく, 日本建築学会の高耐久性鉄筋コンクリート指針における規定値 0.3 cm³/cm² を超えるブリーディング量を示している。これは, 粒径の小さい BFS1.2 を用いた BS 配合と比較して, BFS2.5 は, 微粒分が少なく, 余剰水の拘束効果が小さかったためと考えられる。また, フライアッシュを混和した CF および BLF 配合は, フライアッシュを細骨材代替で混和しているため, 粉体量増加に伴う水分拘束効果により, ブリーディングが抑制されている。

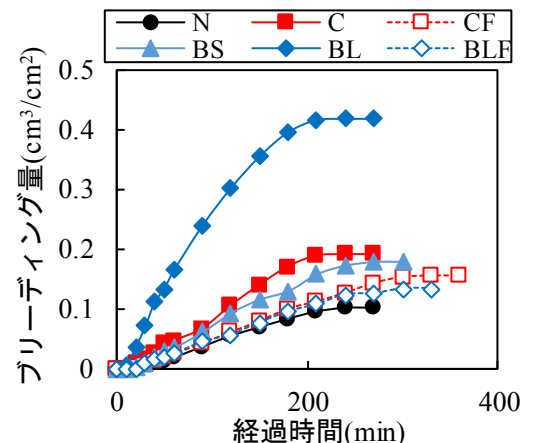


図1 ブリーディング量の経時変化

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。これによると、各種スラグ細骨材を混入した配合のモルタル総細孔量は N 配合に比べて減少している。これは、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によるものと考えられる。一方で、物質移動抵抗性への影響が大きいと考えられる細孔径 50 nm 以上の細孔量は、銅スラグ細骨材を用いた C 配合では、N 配合より減少しているが、高炉スラグ細骨材を用いた BS, BL 配合では、N 配合より若干増加している。BL 配合は他配合より大きなブリーディングが一因と考えられるが、今回使用した BFS1.2 および BFS2.5 の粒度分布は CUS2.5 と比較して 0.15~0.6 mm の細粒分が多いため、練混ぜ時に空気を連行しやすかったことも影響したものと考えられる。また、フライアッシュを混和した CF, BLF 配合はともに、無混和の場合と比較して 50 nm 以上の細孔量は減少しており、ポズラン反応とフィラー効果によって緻密な細孔構造が形成されていることがわかる。

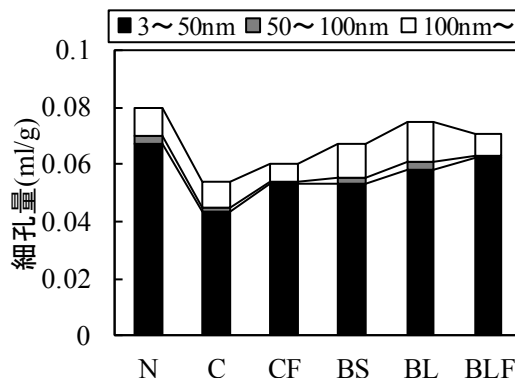


図 2 各細孔径範囲における細孔量

5. 電気化学的鉄筋腐食モニタリング

塩水浸漬と乾燥の繰返し期間中の RC 供試体中の鉄筋自然電位および分極抵抗の経時変化をそれぞれ図 3~図 4 に示す。

図 3 より、普通細骨材を用いた N 配合および銅スラグ細骨材を用いた C 配合では、促進 50 日目ごろから自然電位が低下し、ASTM C876-91 の判定基準の腐食領域 ($E < -0.24$ V vs Ag/AgCl) に達していることから、塩分の浸透により鉄筋腐食が発生している可能性が考えられる。また、図 4 より、促進 100 日頃から N および C 配合の分極抵抗の低下が見られる。高炉スラグ細骨材を用いた BS, BL 配合においては、自然電位の低下が見られず、分極抵抗においても N, C 配合と比べると高い値となっており、経時的な増加傾向も見られる。図 2 では、BS および BL 配合の、50nm 以上の細孔量は比較的大きいが、高炉スラグ細骨材の潜在水硬性により、CF の浸透経路となる骨材界面の遷移帯の部分が緻密化されたものと推察される。一方、銅スラグ細骨材は骨材界面にブリーディングによる空隙が生じやすく、CF が浸透しやすかったものと推察される。著者らの既往の検討¹⁾でも、スラグ細骨材の種類と CF の実効拡散係数の関係にも同様の傾向が認められた。

フライアッシュを細骨材代替で混和した CF および BLF 配合に関しては、比較的高い自然電位で推移しており、分極抵抗もフライアッシュ無混和のものと比較して高い傾向にある。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たことで、CF の浸透抵抗性が向上し、コンクリート中の鉄筋腐食は開始していないものと考えられる。

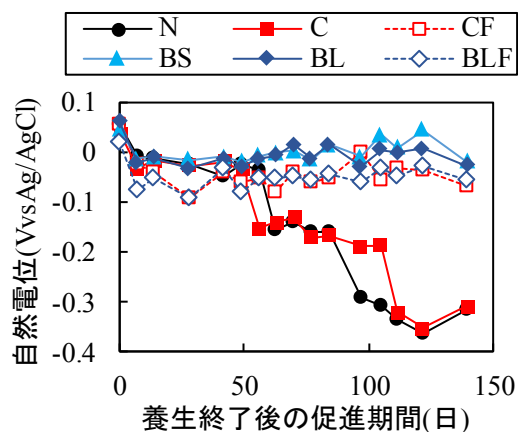


図 3 自然電位の経時変化

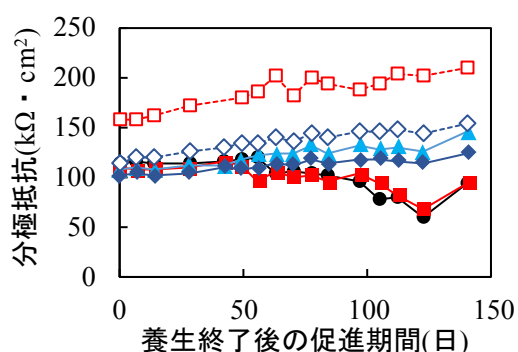


図 4 分極抵抗の経時変化

参考文献

- 1) 竹内彩菜, 上田隆雄, 塚越雅幸, 七澤 章: 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, コンクリート工学年次論文集, Vol. 40, No. 1, pp. 609-614, 2018.7