

高密度スラグ骨材を用いた水中不分離性コンクリートのポンプ圧送による水中施工実験

東洋建設株式会社 正会員 ○森田 浩史, 竹中 寛, 末岡 英二
 東洋建設株式会社 フェロー 佐野 清史
 東洋大学 フェロー 福手 勤

表1 使用材料

材料名	記号	種類	備考
練混ぜ水	W	上水道水	—
セメント	C	高炉セメントB種	密度3.04g/cm ³
細骨材	NS	陸砂	表乾密度2.60g/cm ³ , F.M.2.66
	CUS5-0.3	銅スラグ(単一粒径)	表乾密度3.53g/cm ³ , F.M.3.81
	CUS2.5	銅スラグ(粒度調整品)	表乾密度3.54g/cm ³ , F.M.2.53
	EFS	電気炉酸化スラグ	表乾密度3.91g/cm ³ , F.M.2.76
粗骨材	NG	砕石	表乾密度2.66g/cm ³ , F.M.6.71
	EFG	電気炉酸化スラグ	表乾密度3.73g/cm ³ , F.M.6.59
混和剤	Ad1	水中不分離性混和剤主剤	セルロース系
	Ad2	助剤	ポリアミドエラストマー系
	Ad3	AE減水剤	リグニンスルホン酸化合物とポリカルボン酸エーテルの複合

1. 目的 スラグをコンクリート用骨材に活用することは、天然骨材の枯渇や骨材採取による環境破壊防止の観点から極めて有効である。このうち高密度スラグの普通コンクリートへの適用では、ブリーディング量の増大やポンプ圧送の面よりから、スラグ骨材使用量の検討が必要とされている。筆者らは、高い粘性により材料分離抵抗性に優れる水中不分離性コンクリートであれば、スラグの全量置換ができ、スラグの有効利用とコンクリートの重量化が可能と考え、これまでその基本性能について検討してきた²⁾。本稿は、当該コンクリートの水中施工実験の結果を取り纏めたものである。

表2 コンクリートの配合

シリーズ	使用骨材		W/C	s/a	単位量(kg/m ³)					(C*%)			スランプ フロー （mm）	空気量 （%）	懸濁 物質質量 （mg/L）	pH
	S	G			（%）	（%）	W	C	S	G	Ad1	Ad2				
NN	NS	NG	55	41.0	220	400	647	950	2.5	0.8	0.6	517.5	2.6	10.0	10.67	
C2E	CUS2	EFG	55	39.0	233	424	808	1339	3.0	1.6	1.0	450.0	3.4	27.3	11.32	
C3E	CUS3	EFG	55	41.0	220	400	867	1339	2.5	1.4	1.0	485.0	2.8	35.3	11.25	
EE	EFS	EFG	55	41.6	216	393	1001	1339	3.0	1.6	1.0	435.0	3.0	17.0	11.06	

2. 使用材料とコンクリート配合 使用材料を表1に示す。細骨材は、粒度の異なる2種類の銅スラグ(CUS5-0.3(CUS2), CUS2.5(CUS3)), 電気炉酸化スラグ(EFS)を用い、粗骨材は、電気炉酸化スラグ(EFG)を用いた。また、比較用の配合には、陸砂(NS), 砕石(NG)を用いた。コンクリートの配合は表2に示すとおり、W/Cを55%, 粗骨材容積を一定とし、スランプフロー(SF)が500±50mm, 空気量は4.0%以下となるように調整した。



写真1 型枠および打ち込み状況

4. 実験概要 ポンプ圧送による打ち込み状況を写真1に示す。型枠の寸法はL:5.0m×H:0.9m×W:0.6mで、型枠内を満水として水中打ち込みを模擬した。打ち込みは標準的なポンプ吐出圧力で行い、圧送量は20m³/h程度とした。打ち込み方法は示方書に準拠して水中自由落下高さが50cm以下となるようにした。また打ち込み位置は移動させず、型枠端部からの片押しとした。コンクリート硬化後のコアの採取は、流下方向に1m間隔の計6点において、それぞれ打ち込み天端から下方向にH, M, Lの3箇所の位置で行い、φ100×600mmのコアを水平方向に18本採取し、圧縮強度と単位容積質量を測定した。

5. 水中での流動性 打ち込み開始から打ち込み完了および硬化後までの経過時間と流動勾配の関係を図1に示す。図より、SFが最も大きかったNNは打ち込み完了とほぼ同時に充填が完了した

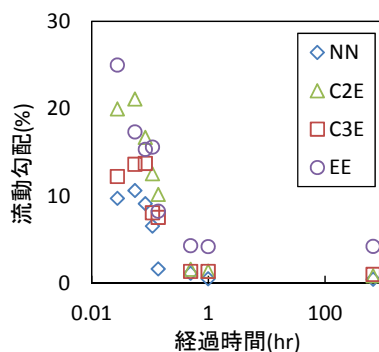


図1 経過時間と流動勾配の関係

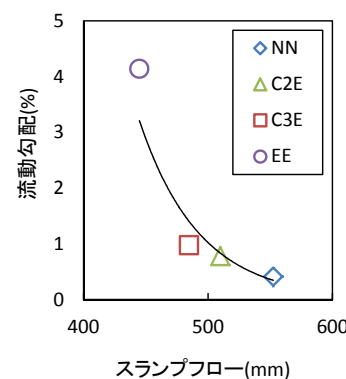


図2 圧送後のSFと硬化後の流動勾配の関係

キーワード 水中不分離性コンクリート, 重量コンクリート, 銅スラグ, 電気炉酸化スラグ, ポンプ圧送

連絡先 〒300-0424 茨城県稲敷郡美浦村受領 1033-1 東洋建設(株)美浦研究所 TEL:029-885-7511

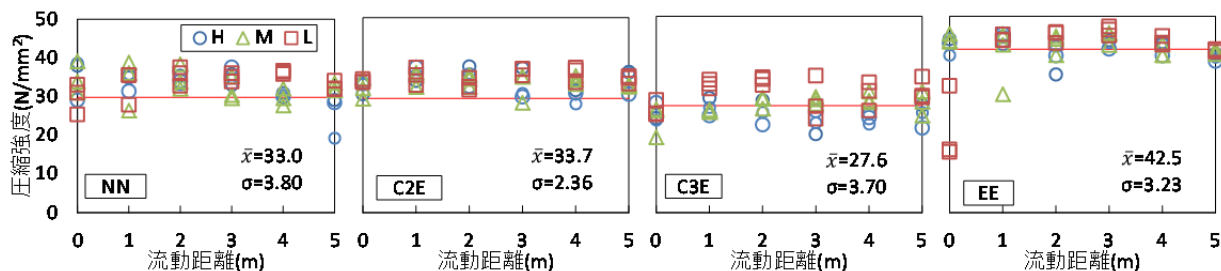


図3 コア供試体による流動距離と圧縮強度の関係

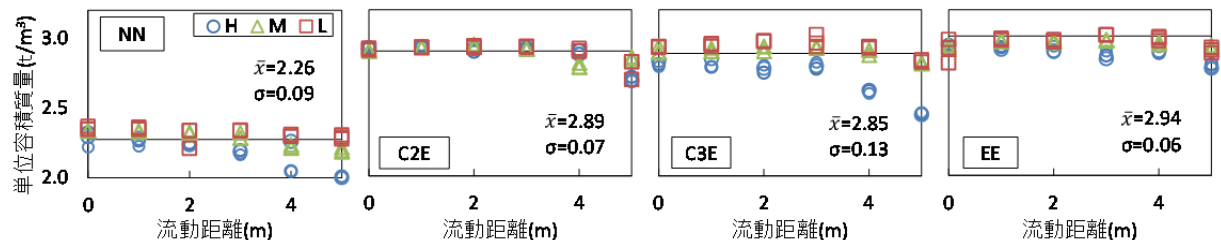


図4 コア供試体による流動距離と単位容積質量の関係

のに対し、スラグ骨材を用いた配合は、SFがNNより小さいこともあり、30分経過後にほぼ充填が完了した。スラグを用いることで、骨材同士の噛み合わせの影響等から流動速度は若干遅くなる傾向が見られた。圧送後のSFと硬化後のコンクリート天端から求めた流動勾配の関係を図2に示す。図より、骨材の種類によらず、SFが大きくなるとともに硬化後の流動勾配が小さくなる傾向となった。本検討の範囲では、種々の骨材を用いた場合でも、流動勾配はSFに依存するため、懸濁物質質量が大きくなり範囲でSFを適切に管理すれば、施工性の確保が図れるものと考えられる。

6. コア供試体の品質 コア供試体による流動距離と圧縮強度の関係を図3に示す。また、図中に水中作製供試体の材齢28日における圧縮強度を実線で示す。コア供試体全数の平均圧縮強度($\bar{x}$)、標準偏差(σ)を併記した。圧縮強度はいずれの配合においても、ばらつきあるものの、概ね水中作製供試体と同等程度の強度を有していた。なお、EEは打込み位置の下部において圧縮強度が著しく低下した。これは、打込み時に巻き込んだ水が残留した部分からコアを採取したためである。コア供試体による流動距離と単位容積質量の関係を図4に示す。なお、図中に水中作製供試体の材齢28日における単位容積質量を実線で示す。また、コア供試体全数の平均単位容積質量($\bar{x}$)、標準偏差(σ)を併記する。いずれの配合も水中作製供試体の材齢28日における単位容積質量とコア供試体全数の平均単位容積質量は同等となり、ばらつきも少なく良好な結果を得られた。NNおよびC3EはHの位置において単位容積質量が小さくなった。NNは、SFが大きかったため、水中流動に伴うコンクリート表面の見かけの単位水量が増加しやすくなり、単位容積質量が小さくなったものと推察される。C3Eは、それに加え、銅スラグの表面がガラス質でセメントペースト分との付着が小さかったため、より小さくなったものと考えられる。一方、C2EおよびEEは単位容積質量の減少量は小さかった。これより、Ad1の添加量、SFを適切に管理することで、流動距離に伴う単位容積質量の低下を抑制することが可能と考えられる。

7. まとめ 高密度スラグ骨材を用いた水中不分離性コンクリートの水中施工実験により、以下の知見が得られた。
 ①スランプフローや水中不分離性混和剤の添加量を適切に設定することで、良好な流動性とポンプ圧送性が得られる。
 ②水中への打込みで所要の強度が得られ、かつ圧縮強度や単位容積質量は通常の水作製供試体によって品質管理が行える。
 ③銅スラグおよび電気炉酸化スラグを用いた場合、5mの水中流動によっても、所要の圧縮強度や最大3.0t/m³の単位容積質量を得ることが可能である。

参考文献

- 1) 川端雄一郎ほか：銅スラグを大量混合したコンクリートの各種特性，港湾空港技術研究所資料，No.1233，2011。
- 2) 森田浩史ほか：リサイクル材料を用いた水中不分離性重量コンクリートの基本性状，土木学会第68回年次学術講演会，V-316，2013。