

リサイクル材料を用いた水中不分離性コンクリートの基本性状

東洋大学 学生会員 ○ 小西優貴, 齋藤修一郎, 宮根正和
 東洋大学 フェロー会員 福手 勤
 東洋建設(株) 正会員 末岡英二, 審良善和, 森田浩史

1. 背景・目的

産業副産物であるスラグは高密度であり、コンクリート用骨材として使用することで重量化や資源の再利用と共に、天然骨材の使用量を抑制することが期待できる。また、この重量コンクリートに水中不分離性を付与することで、震災復興等における港湾構造物の復旧や、より重量が必要とされる水中コンクリート工事に貢献できると考えられる。そこで本研究では、スラグ骨材を用いた水中不分離性重量コンクリートの開発を目的に、フレッシュ性状および硬化性状についての検討を行った。

2. 使用材料

使用材料を表1に示す。使用したリサイクル材料は、銅スラグ細骨材を3種類(以下、CuS1,2,3)、電気炉酸化スラグ細骨材を2種類(以下、EFS1,2)、電気炉酸化スラグ粗骨材を1種類(EFG)、およびフェロニッケルスラグ粗骨材を1種類(FNG)とした。骨材試験結果を表2に示す。CuSは水砕処理により製造されており、黒色のガラス質で、高密度である。また、CuS1、CuS2は単一粒形で、粗粒率が高い骨材であるのに対し、CuS3は再粉砕により粒度調整が行われたものでNSと同等の粗粒率である。一方、EFS1は風砕・急冷処理により製造されたもので、球形をしたセラミック材料である。EFS2及びEFGは、急冷・破碎処理、FNGは徐冷・破碎処理によって製造されたものである。

3. 水中不分離性コンクリートの配合

水中不分離性コンクリートの配合、スランプフロー(SF)および見かけの密度を表3に示す。コンクリートの配合は、陸砂NSおよび砕石NGを使用したNN1を基準とした。スラグ骨材を用いたコンクリート配合は、事前のモルタル検討でNN1と同等の性能になるように混和剤等を調整したものである¹⁾。また、水セメント比、粗骨材容積を全ての配合において一定とした。なお、いずれの配合も目標のSFを500mm±50mm、懸濁物質量を50mg/L以下とした。

それぞれの配合の特徴としては、CuS1およびCuS2を用いた場合の配合は、NN1と比べて単位水量およびAd1、2、3を増加させる必要があった。これは、細骨材の実績率がNSに比べて非常に小さく、コンクリートの流動性の低下を抑制するためである。一方、EFSを使用したコンクリートの場合、単位水量を小さくすることができた。このことから、EFSは良好な流動性を確保できる骨材であることがわかる。ただし、CuS、EFGともに懸濁物質量が増加する傾向を示したため、水中不分離性混和剤の添加量を増加させる必要があった。粗骨材に関しては、いずれ

表1 使用材料

	記号	種類	備考
練混ぜ水	W	上下水道	-
セメント	C	高炉セメントB種	密度3.04(g/cm ³)
細骨材	NS	陸砂	-
	CuS1	銅スラグ	水砕処理 産地:O
	CuS2	銅スラグ	水砕処理 産地:S
	CuS3	銅スラグ	水砕処理・破碎処理 産地:O
	EFS1	電気炉酸化スラグ	急冷・風砕処理 産地:A
	EFS2	電気炉酸化スラグ	急冷・風砕処理 産地:A
粗骨材	NG	砕石	-
	FNG	フェロニッケルスラグ	徐冷・粉砕処理 産地:
	EFG	電気炉酸化スラグ	急冷・風砕処理 産地:A
混和剤	Ad1	水中不分離性混和剤	セルローズ系
	Ad2	高性能減水剤	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体 遅延型

表2 骨材試験結果

	NS	CuS1	CuS2	CuS3	EFS1	EFS2	NG	FNG	EFG
表乾密度(g/cm ³)	2.60	3.52	3.35	3.54	3.33	3.34	2.66	2.92	3.40
絶乾密度(g/cm ³)	-	3.51	3.34	3.52	3.31	3.30	-	2.85	3.35
吸水率(%)	1.86	0.31	0.36	0.41	0.49	1.42	0.58	2.26	1.59
微粒分量(%)	1.20	0.41	0.59	5.63	0.71	10.22	0.10	1.40	0.62
単位容積質量(Kg/L)	1.73	1.95	2.07	-	2.20	2.63	1.61	1.70	2.10
実績率(%)	64.80	55.57	58.87	-	66.50	68.30	62.80	59.80	57.00
粗粒率(%)	2.66	3.20	4.57	2.53	3.48	2.76	6.71	6.73	6.84

表3 水中不分離性コンクリート配合

配合名	使用骨材		W/C (%)	s/a	W (kg/m ³)	C (kg/m ³)	S※ (kg/m ³)	G (kg/m ³)	Ad1 (kg/m ³)	Ad2 (C×%)	Ad3 (C×%)	SF (mm)	見かけの密度 (t/m ³)
	S	G											
NN1	NS	NG	55	41.0	220	400	647	950	2.5	1.2	1.0	535.0	2.32
NN2	NS	NG		41.0	220	400	647	950	3.0	1.2	1.0	495.0	2.31
NN3	NS	NG		41.0	220	400	647	950	3.0	1.4	1.0	517.5	2.31
NE	NS	EFG		41.0	220	400	647	1339	2.5	1.2	1.0	552.5	2.76
NF	NS	FNG		41.0	220	400	647	1048	3.0	1.4	1.0	517.5	2.42
C1E	CuS1	EFG		39.0	233	424	808	1339	3.0	1.6	1.0	485.0	2.89
C2N	CuS2	NG		39.0	233	424	808	950	3.0	1.4	1.5	510.0	2.51
C2E	CuS2	EFG		39.0	233	424	808	1339	3.0	1.4	1.5	487.5	2.89
C2F	CuS2	FNG		39.0	233	424	808	1048	3.0	1.4	1.0	450.0	-
C3E	CuS3	EFG		41.0	220	400	885	1217	2.5	1.2	1.0	485.0	-
E1E	EFS1	EFG		41.0	213	387	829	1365	2.5	1.4	1.0	507.5	2.96
E2N	EFS2	NG		41.6	216	393	1001	950	3.0	1.4	1.0	477.5	2.62
E2E	EFS2	EFG		41.6	216	393	1001	1339	3.0	1.4	1.0	565.0	3.05

※細骨材は全量置換とした

の骨材を使用した場合も、流動性および水中不分離性に大きな差異はなく、大幅な配合修正の必要はなかった。いずれの配合も、SF は目標 SF をほぼ満足する結果となった。ただし、CuS を用いた場合では SF の数値が小さくなる傾向を示し、一方で、EFS を用いた一部の配合では NN1 の SF を上回る結果となった。また、見かけの密度の結果から、NN1 と比スラグ骨材を使用したいずれの配合においても見かけの密度が大きく増加しており、最大で 3.05t/m^3 程度まで重量化できた。ただし、FNG を用いた配合では粗骨材の密度の影響から大きな密度の増加には至らなかった。

4. 水中不分離性コンクリートのフレッシュ性状

図1に、各コンクリート配合の懸濁物質量とSFの関係を示す。いずれの骨材を用いた場合も、懸濁物質量は大きくばらつく結果となり、目標である 50mg/L を大きく超えるものもあった。原因は不明であるが、材料の品質や練混ぜ、試験方法等が影響を及ぼしたものと推察される。

そこで、相対的な評価として、基本となる NN1 の懸濁物質量と各配合の比を用いて整理した。結果を図2に示す。この結果から、スランプフローが大きいほど、懸濁物質量比が高くなる傾向にあることが分かった。また、スラグ細骨材を用いた水中不分離性コンクリートは、EFS を用いた配合では NS とほぼ同様な増加傾向を示したものの、CuS を用いた配合は、近似線の傾きが大きく、SF の値が大きくなるに伴い懸濁物質量が急激に増加する傾向を示した。このことから、CuS1 または CuS2 のような銅スラグを細骨材として使用する際は、水中分離度の増加に注意が必要であると考えられる。ただし、多少のばらつきはあるが Ad1 の添加量を 2.5kg/m^3 から 3.0kg/m^3 に増加させることで懸濁物質量が減少する傾向も認められた。この両者の関係から、Ad1 を増加することが水中不離度の改善に有効であることが分かる。

5. 水中不分離性コンクリートの硬化性状

材齢 28 日の圧縮強度および水中気中強度比の結果を図3に示す。スラグを用いた水中不分離性コンクリートの圧縮強度は気中、水中ともに N と概ね同程度であると考えられる。また、全ての配合において、水中気中強度比は 0.8 以上となっており、規格²⁾を満たす結果であった。強度の観点からは、今回使用したスラグ骨材は水中不分離性コンクリートの材料として十分に利用可能であると考えられる。

6. まとめ

本検討で使用したスラグ骨材は、単位水量や混和剤の添加量などに留意することで、いずれも陸砂および碎石を用いた配合と同程度の性能を発揮できることが分かった。

参考文献

- 1) 宮根正和:リサイクル材料を用いた水中不分離性コンクリートの基本性状, 第 68 回年次学術講演会公演概要集, V-315, 2013
- 2) 土木学会:コンクリート標準示方書[規準編], 水中不分離性混和剤品質規格(JSCE - D104), p.35, 2010

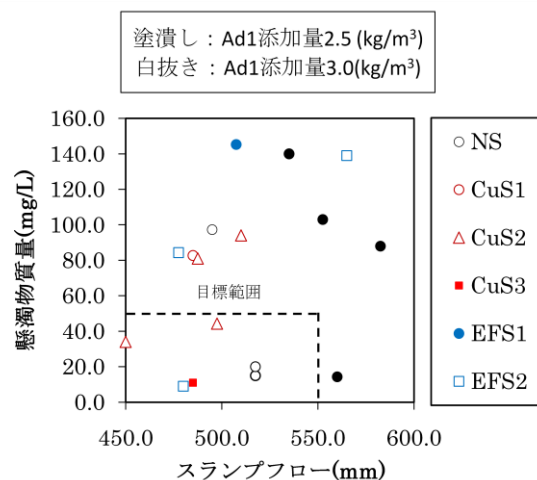


図1 懸濁物質量と水中不分離性混和剤添加量の関係

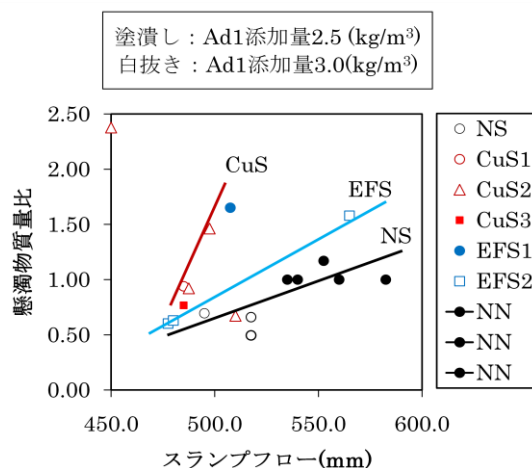


図2 懸濁物質量比とスランプフローの関係

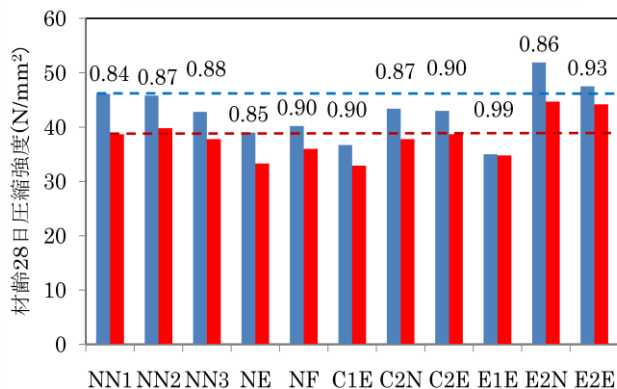


図3 圧縮強度と水中気中強度比