

スラグ骨材を使用した水中不分離性重量コンクリートの基本性能

東洋大学 学生会員 ○宮根 正和,  
 東洋建設(株) 正会員 小西 優貴, 森田 浩史, 竹中 寛, 審良 善和  
 東洋大学 フェロー 福手 勤

表1 使用材料

	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3.04(g/cm <sup>3</sup> )
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・破砕処理 産地:O
	EFS1	電気炉酸化スラグ	急冷・風砕処理 産地:A
粗骨材	EFS2	電気炉酸化スラグ	急冷・破砕処理 産地:A
	NG	砕石	-
	FNG	フェロニッケルスラグ	徐冷・粉砕処理 産地:
混和剤	EFG	電気炉酸化スラグ	急冷・破砕処理 産地:A
	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

1. はじめに

高密度なスラグ骨材のコンクリート用材料としての利用は、産業副産物の有効利用を促進できるとともに、コンクリートの重量化を図ることができる。しかし、スラグ骨材は種類によってブリーディングの発生を助長する場合があります。配合によって使用量が制限されることがある。そこで、本研究ではスラグ骨材を粘性の高い水中不分離性コンクリートへ活用し、スラグ骨材の有効利用率の向上と水中構造物の重量化を図るため、実験的検討を行った。

2. 使用材料

本試験で用いた使用材料を表1に示す。スラグ細骨材は、銅スラグ3種類(以下CuS1,2,3)、電気炉酸化スラグ2種類(以下EFS1,2)の計5種類を用いた。スラグ粗骨材は、電気炉酸化スラグ(以下EFG)およびフェロニッケルスラグ(以下FNG)を用いた。また、比較用に陸砂(以下NS)と砕石(以下NG)を用いた。CuSは水砕処理により製造されており、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、EFS2及びEFGは、急冷・破砕処理、FNGは徐冷・破砕処理によって製造されたものである。表2に骨材試験の結果を示す。スラグ骨材は、NSやNGと比べて表乾密度が大きいことがわかる。また、CuSはNSよりも実積率が10%程度小さく、EFS2は微粒分量が非常に多い骨材であることがわかる。

表2 骨材試験結果

	NS	CuS1	CuS2	CuS3	EFS1	EFS2	NG	FNG	EFG
表乾密度(g/cm <sup>3</sup> )	2.60	3.52	3.35	3.54	3.33	3.34	2.66	2.92	3.40
絶乾密度(g/cm <sup>3</sup> )	-	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
実積率(%)	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表

配合名	使用骨材		W/C (%)	s/a	W (kg/m <sup>3</sup> )	C (kg/m <sup>3</sup> )	S (kg/m <sup>3</sup> )	G (kg/m <sup>3</sup> )	Ad1 (kg/m <sup>3</sup> )	Ad2 (C×%)	Ad3 (C×%)	SF (mm)	見かけの密度 (t/m <sup>3</sup> )
	S	G											
NN1	NS	NG	55	41.0	220	400	647	950	2.5	1.2	1.0	535	2.32
NN2	NS	NG		41.0	220	400	647	950	3.0	1.2	1.0	495	2.31
NN3	NS	NG		41.0	220	400	647	950	3.0	1.4	1.0	520	2.31
NN4※	NS	NG		41.0	220	400	647	950	2.5	0.8	0.6	490	-
NE	NS	EFG		41.0	220	400	647	1339	2.5	1.2	1.0	550	2.76
NF	NS	FNG		41.0	220	400	647	1048	3.0	1.4	1.0	520	2.42
C1E	CuS1	EFG		39.0	233	424	808	1339	3.0	1.6	1.0	485	2.89
C2E	CuS2	NG		39.0	233	424	808	950	3.0	1.4	1.5	510	2.51
C2E	CuS2	EFG		39.0	233	424	808	1339	3.0	1.4	1.5	490	2.89
C2E※	CuS2	EFG		39.0	233	424	808	1339	3.0	1.4	1.0	470	-
C2F	CuS2	FNG		39.0	233	424	808	1048	3.0	1.4	1.0	450	-
C3E	CuS3	EFG		41.0	220	400	885	1217	2.5	1.2	1.0	485	-
C3E※	CuS3	EFG		41.0	220	400	885	1217	2.5	1.4	1.0	465	-
E1E	EFS1	EFG		41.0	213	387	829	1365	2.5	1.4	1.0	510	2.96
E2N	EFS2	NG		41.6	216	393	1001	950	3.0	1.4	1.0	480	2.62
E2E	EFS2	EFG		41.6	216	393	1001	1339	3.0	1.4	1.0	565	3.05

※U型充填性試験およびL型フロー試験のみに使用

3. 水中不分離性コンクリートのフレッシュ性状

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。スラグ骨材を用いたコンクリート配合は、NSおよびNGを使用したNN1配合と同等の性能になるように混和剤の添加量等を調整したものである。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。図1に各コンクリート配合の懸濁物質質量比とSFとの関係を示す。懸濁物質質量比とは、本試験で基準としたNN1配合における懸濁物質質量を1

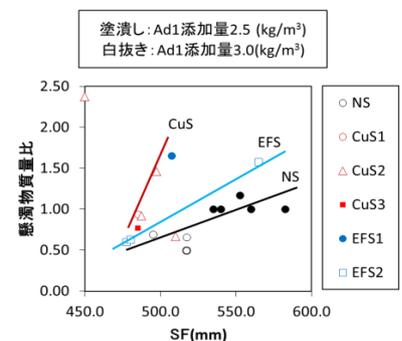


図1 懸濁物質質量比とSFとの関係

とし、各配合における懸濁物質量の比を取ったものである。この結果から、SFが大きいほど、懸濁物質量が高くなる傾向にあることが分かる。また、EFSを用いた配合ではNSとほぼ同様の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、懸濁物質量の増加に注意が必要であると考えられる<sup>2)</sup>。

4. 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（図中に示す数値）を図 2 に示す。スラグ骨材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 NN 配合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 0.9 程度となっており、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使用可能であると考えられる<sup>2)</sup>。

5. 水中不分離性コンクリートの充填性および流動性

EFG を粗骨材とした C2E', C3E', E2E 配合と、比較用の NN4 配合において、水中での充填性及び流動性に関する試験を行った。試験項目は U 型充填性試験および L 型フロー試験である。図 3 に各型枠の寸法を示す。U 型充填性試験では、A 部に水中不分離性コンクリートを充填し、B 部に注水をした。なお、充填高さの測定は、5 分経過後とした。L 型フロー試験では、型枠内を水で満たした状態で、水中不分離性コンクリートを、a 部から塩ビ管を用いて極力打設口で水との接触がないように打込み、塩ビ管を引き抜き後 5 分、10 分経過時の充填高さを図 3 の①、②、③の 3 ヶ所で測定した。なお、①、②の位置には十字型に組んだ異形鉄筋 (D16) を配置した。U 型充填性試験の試験結果を図 4 に示す。C2E' は充填高さが他のスラグに比べ低く、充填性が低いという結果となった。一方で C3E' および E2E は C2E' と比べ充填性が高いことが確認できた。これは、C2E' 配合で用いた CuS2 の粗粒率が 4.57 と非常に高いのに対し、CuS3 および EFS の粗粒率は NS と同等であるため、良好な充填性が得られたと考えられる。次に L 型フロー試験の試験結果を図 5 に示す。結果より、C2E' の充填高さは増加しにくい傾向を示した。この結果は U 型充填性試験と同様の傾向にあり、C2E' は他の配合に比べて水中流動性が劣ると考えられる。一方 C3E' と E2E は C2E' と比べ、打込み直後から水中でも高い流動性が確認された。これらは、CuS3 と EFS2 の特徴である多い微粒分量と、粗粒率が NS と同等な骨材であることが起因したと考えられる。特に、C3E の結果は、NN よりも高い水中流動性を示した。

6. まとめ

高密度のスラグ骨材を用いた水中不分離性コンクリートは、懸濁物質量が多い傾向にあるが、水中気中強度比は 0.9 と高い値を示し、水中で著しく強度が低下することはなかった。また、骨材粒度の調整を行うことで、普通骨材を用いたものと同様の水中充填性および水中流動性を発揮できることが分かった。

謝辞 本研究において佐野清史様、末岡英二様、齊藤修一郎様には多大なご協力を頂いた。厚く謝意を表す。

参考文献 1) 森田浩史 審良善和 竹中寛：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,

2)2013 土木学会コンクリートライブラリー第 67 集「水中不分離性コンクリート設計施工指針（案）」

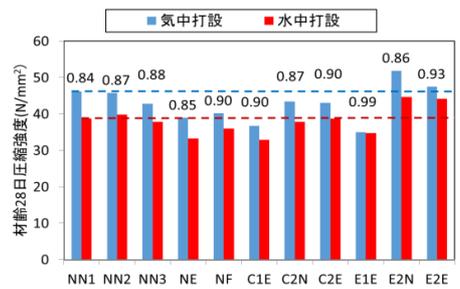


図 2 圧縮強度と水中気中強度比

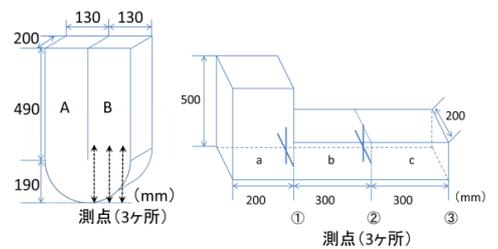


図 3 U 型充填試験器および L 型型枠

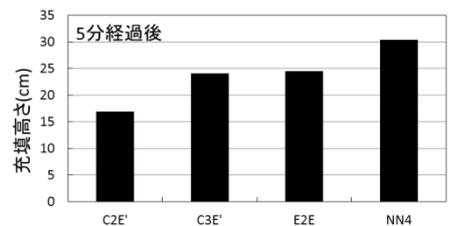


図 4 U 型充填性試験結果

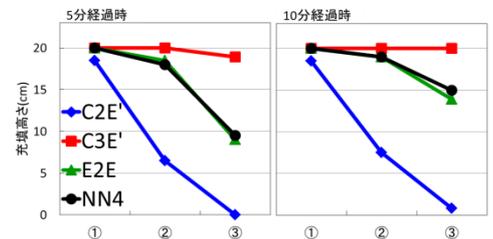


図 5 L 型フロー試験結果