高密度スラグ骨材を使用し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　○橋本 佳典，三村 誠人，宮根 正和
東洋建設（株）　正会員　　森田 浩史，審良 善和，竹中 寛
東洋大学　フェロー会員　　福手 勤

1. はじめに

産業副産物であるスラグを骨材に使用したコンクートは JIS 化されており，一般に普通骨材を使用したものと比較して高密度である．この特徴から，コンクリート構造物の安定性向上を図ることが可能と考えられる．そこで，本研究ではスラグ骨材を使用した水中不分離性コンクリートの基本性状を把握することを目的に，フレッシュおよび硬化性状の確認を行った．

2. 使用材料

本実験に用いた使用材料を**表 1** に示す．粒度の異なる銅スラグ細骨材を 2 種類(CuS2,CuS3)，電気炉酸化スラグ細骨材を(EFS)，電気炉酸化スラグ粗骨材(EFG)を用いた．また，これらの比較用として陸砂（NS）および砕石（NG）を用いた．これらの骨材試験結果を**表 2** に示す．

表 1 使用材料

	記号	種類	備考
水	W	上水道水	-
セメント	C	高炉セメントB種	密度：3.04
細骨材	NS	陸砂	-
	CuS2	銅スラグ（単一粒形）	水砕処理
	CuS3	銅スラグ（粒度調整）	水砕処理・破砕処理
	EFS	電気炉酸化スラグ	急冷・破砕処理
粗骨材	NG	砕石	-
	EFG	電気炉酸化スラグ	急冷・破砕処理
混和剤	Ad1	水中不分離性混和剤	セルロース系
	Ad2	水中不分離性混和剤（助剤）	ﾎﾟﾘｱﾐﾄﾞｴﾗｽﾄﾏｰ系
	Ad3	AE減水剤	ﾘｸﾞﾆﾝｽﾙﾎﾝ酸化合物とﾎﾟﾘｶﾙﾎﾞﾝ酸ｴｰﾃﾙの化合物

表 2 骨材試験結果

	NS	CuS2	CuS3	EFS	NG	EFG
表乾密度(g/cm^3)	2.60	3.53	3.54	3.91	2.66	3.73
吸水率(%)	1.86	0.28	0.41	1.31	0.58	1.33
微粒分量(%)	1.20	0.59	5.63	10.50	0.10	0.70
粗粒率	2.66	3.81	2.53	2.76	6.71	6.59

3. コンクリートの示方配合

コンクリートの示方配合およびフレッシュ性状を**表 3** に示す．W/C は，45,50,55%の 3 水準，W/C を 55%一定として Ad2 の添加量を変化させた 3 水準として検討を行った．また，後述するフレッシュ性状についても併記する．

表 3 コンクリートの示方配合およびフレッシュ性状

シリーズ	配合名	使用骨材 S	使用骨材 G	W/C %	s/a %	Air %	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)	Air (%)	懸濁物質量 (mg/L)
NN	NN-45	NS	NG	45	41.0	4.0	220	489	616	905	2.5	1.2	0.6	470	3.3	28.7
	NN-50			50		4.0	220	440	634	929	2.5	1.0	0.6	470	4.1	15.3
	NN-55			55		4.0	220	400	647	950	2.5	0.8	0.6	488	3.8	16.0
	NN-55-0.5%			55		4.0	220	400	647	950	2.5	0.3	0.6	455	3.8	16.7
	NN-55+0.5%			55		4.0	220	400	647	950	2.5	1.3	0.6	500	3.7	15.3
C2E	C2E-45	CuS2	EFG	45	39.0	4.0	233	518	766	1268	3.0	2.0	1.0	518	4.2	68.0
	C2E-50			50		4.0	233	466	791	1306	3.0	1.8	1.0	480	4.5	68.0
	C2E-55			55		4.0	233	424	808	1339	3.0	1.6	1.0	450	3.6	57.7
	C2E-55-0.5%			55		4.0	233	424	808	1339	3.0	1.1	1.0	390	4.3	57.3
	C2E-55+0.5%			55		4.0	233	424	808	1339	3.0	2.1	1.0	425	4.2	61.0
C3E	C3E-45	CuS3	EFG	45	41.0	4.0	220	489	825	1276	2.5	1.8	1.0	523	3.4	41.7
	C3E-50			50		4.0	220	440	849	1309	2.5	1.6	1.0	500	3.6	44.3
	CE3-55			55		4.0	220	400	867	1339	2.5	1.4	1.0	483	3.6	43.7
	C3E-55-0.5%			55		4.0	220	400	867	1339	2.5	0.9	1.0	470	4.3	32.0
	C3E-55+0.5%			55		4.0	220	400	867	1339	2.5	1.9	1.0	520	4.4	47.7
EE	EE-45	EFS	EFG	45	41.6	4.0	216	480	930	1276	2.5	2.0	1.0	513	3.3	64.3
	EE-50			50		4.0	216	432	953	1313	2.5	1.8	1.0	475	3.5	68.0
	EE-55			55		4.0	216	393	975	1339	2.5	1.6	1.0	430	3.8	61.0
	EE-55-0.5%			55		4.0	216	393	975	1339	2.5	1.1	1.0	400	3.6	69.7
	EE-55+0.5%			55		4.0	216	393	975	1339	2.5	2.1	1.0	438	3.5	60.3

4. 試験方法

フレッシュおよび硬化性状の確認はスランプフロー(SF)，空気量，懸濁物質量試験，圧縮強度試験，単位容積質量を測定した．

5. 試験結果および考察

5.1 フレッシュ性状

SF と懸濁物質量の関係を**図 1** に示す．図中赤線の下側は懸濁物質量の目標値（50mg/L[1)] 以下)を示す．本実験の範囲においては，W/C および SF が変化した場合も懸濁物質量はほとんど変わ

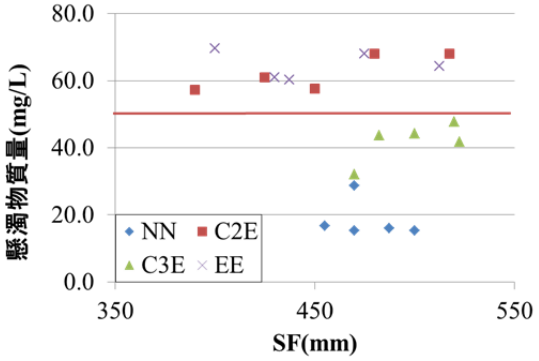

図 1 SF と懸濁物質量の関係

キーワード　水中不分離性コンクリート，銅スラグ，電気炉酸化スラグ，リサイクル，重量コンクリート
連絡先　　〒350-0815　埼玉県川越市鯨井 2100　東洋大学理工学部都市環境デザイン学科　Tel 049-239-1300

らなかった．NN シリーズおよび C3E シリーズは目標値を満足したが，C2E シリーズおよび EE シリーズは目標値を満足しなかった．C2E シリーズは Ad1 の混入量を増加し粘性を付与したものの，懸濁物質量がより増加した．これは，骨材がガラス質で粗粒率が大きく，また高密度であることから，水中でのペースト分と骨材の分離を抑制することができなかったためと考えられる．一方，EE シリーズは，微粒分量が他の骨材よりも多いために，懸濁物質量が大きくなったものと考えられる．なお，既往の研究[2]より，Ad1 の混入量を増加させることにより，懸濁物質量の目標値 (50mg/L[1]) 以下)を満足することを確認している．

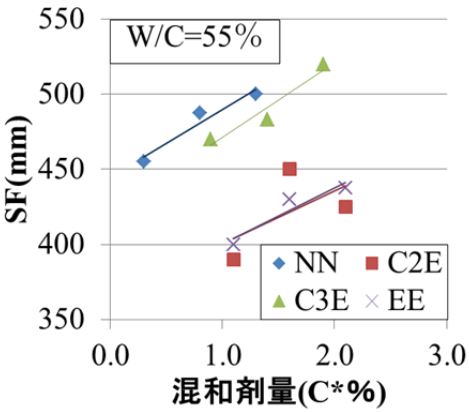

図 2 混和剤量と SF の関係

混和剤量と SF の関係を図 2 に示す．いずれの場合も，Ad2 の添加量を増加させることによって， SF は大きくなる傾向が認められた．また，近似曲線の傾きから，混和剤量の 1.0%増減に対し，SF は 40mm 程度増減することが認められた．このことから，骨材の種類が SF の及ぼす影響は小さいと考えらえる．

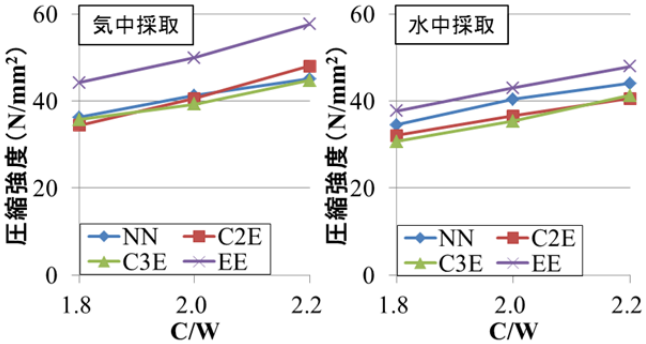

図 3 C/W と圧縮強度の関係

5. 2 硬化性状

セメント水比(C/W)と圧縮強度の関係を図 3 に示す．いずれの配合でも，C/W と強度とは比例関係を示し，スラグ骨材の使用による特異な強度発現はないことが分かる．EE シリーズは他シリーズよりも気中採取の圧縮強度が大きくなり，これは EFS の潜在水硬性に起因するものと考えられる．C2E シリーズ，C3E シリーズの気中採取の供試体の圧縮強度は，NN シリーズとほぼ同等の強度が発現したが，水中採取の供試体の圧縮強度は NN シリーズよりも小さい傾向が認められた．これらの骨材がガラス質であるためペースト分と骨材とが水中で分離しやすかったためと考えられる．

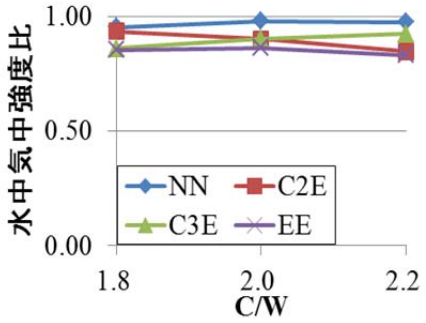

図 4 C/W と水中気中強度比の関係

C/W と水中気中強度比の関係を図 4 に示す．スラグ骨材を用いた配合では，NN シリーズよりも水中気中強度比は小さくなるものの，0.83～0.93 の範囲になり，良好な結果を得られた．

C/W と単位容積質量の関係を図 5 に示す．スラグ骨材を用いた配合では NN 配合に比べ，C/W に関わらず 1.2～1.3 倍程度に重量が増加した．

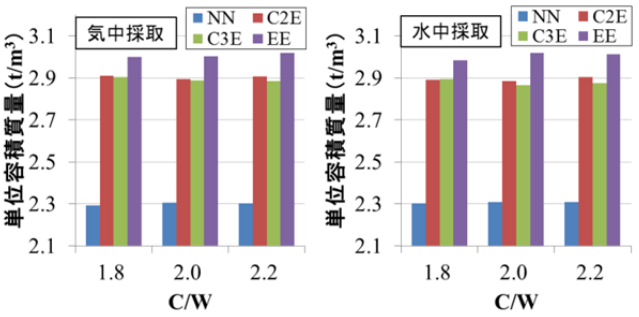

図 5 C/W と単位容積質量

6. 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配合計画に関係する以下の事項が確認できた．スラグ骨材を用いることにより，懸濁物質量は普通骨材に比べ増加する傾向がある．圧縮強度はセメント水比に比例するが，銅スラグ骨材を用いた場合，セメントペーストとの付着の違いから水中での強度低下が若干認められるため，配合強度に配慮することが必要である．単位容積質量は，普通骨材を用いた場合と比較して，1.2～1.3 倍となる．

参考文献 1) 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）」 p.65
2) 宮根正和ほか: 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，土木学会第 69 回年次 学術講演会・V-605,2014