

結晶化させた汚泥溶融スラグ骨材使用コンクリートの諸性能

長野県土木部 下水道課 田中利喜夫
 京都市下水道局 長田 博文
 独立行政法人 土木研究所 正会員 鈴木 穰
 財団法人 土木研究センター 正会員 ○小林 茂敏

1. はじめに

下水汚泥を溶融冷却した汚泥スラグ骨材をコンクリート用粗骨材にする場合、現在の技術では空冷したスラグを回転釜中で再加熱し、3 / 分以下の速度で冷却、再結晶させて生産されたスラグが最も天然の砕石に近い骨材が出来ると考えられている。本報は結晶化を行って生産された下水汚泥溶融スラグ（以下スラグと記す）を使用したコンクリートについて行った性能試験の結果を述べるものである。

2. 使用した下水汚泥溶融スラグ骨材の品質

スラグ A は汚泥脱水ケーキを、スラグ B は汚泥焼却灰を溶融し、いずれも空冷固化後にロータリーキルン中で再結晶化させたもので、砕石状ではあるが再結晶化中に骨材の角部が取れて、やや丸みを帯びている。ただしスラグ B は大粒骨材は偏平なものが多く、表面には光沢も残っている。

写真—1 に外見を示す。これらのスラグはそれぞれの下水处理場に付属するスラグ生産プラントで採取し、粒度がコンクリート用粗骨材の規定の粒度範囲に入るように粒度調整をして使用した。

吸水率、安定性損失量は表—1 に示す通りで、スラグ一般に共通するように著しく小さく¹⁾ほとんどゼロであり、比重は比較に用いた天然骨材（良質な砂岩）よりやや大きい。なお、比較用の砕石は JIS 規格を満足する茨城県産の良質な砂岩砕石とした。

表 - 1 汚泥溶融スラグ骨材の物性

種類 試験項目	JIS 規格 砕石	比較用 砕石 (砂岩)	スラグ A	スラグ B
絶乾比重	2.5 以上	2.61	2.85	3.03
吸水率(%)	3 以下	0.83	0.36	0.10
安定性(%)	12 以下	0.70	0.00	0.03
粗粒率	—	6.66	6.71	6.47



写真—1 下水汚泥スラグ外見

3. 下水汚泥溶融スラグ骨材を使用したコンクリートの配合特性

粗骨材のスラグ置換率 0, 50, 100% で水セメント比 55%、スランブ 8cm、空気量約 5% のコンクリートの最適砂率を求めて配合試験をした結果は表—2 に示すようになった。

表—2 スランブ 約 8cm W/C=55% のコンクリートを得る最適砂率と配合

スラグ 種類	スラグ置 換率 (%)	水セメント 比 (%)	細骨材率 (%)	単 位 量 (kg/m ³)					A 1 ml/m ³	A 2 ml/m ³
				W	C	S	Gn	Gs		
A	0	55	41.4	158	288	762	1091	0	720	17
	50		40.8	156	284	757	554	600	710	18
	100		40.8	155	282	757	0	1203	705	17
B	0	50	43.5	162	295	794	1040	0	738	6
	50		43.5	166	302	787	515	594	755	6
	100		43.5	170	309	780	0	1177	772	6

A 1 : リグニン系 AE 減水剤 A 2 : AE 助剤 Gn : 砕石 Gs : スラグ砕石

キーワード 下水汚泥 溶融スラグ コンクリート骨材 リサイクル 耐久性

連絡先 〒110-0016 東京都台東区台東 1-6-4 (財) 土木研究センター TEL03-3835-3609 Email kobayashi@pwrc.or.jp

スラグAはスラグ置換率が高いほど単位水量が小さくなった。比較に用いた砕石よりも粒形が良いと思われる。スラグBは逆に置換率が大きくなるほど単位水量が幾分大きくなった。

4. 下水汚泥溶融スラグ骨材を使用したコンクリートの強度特性

上記配合のコンクリートについて得られた圧縮強度、静弾性係数、引張り強度、曲げ強度を表—3に記す。スラグAは100%置換により強度は約10%増加したが、Bは同じであった。

表 - 3 強度試験の結果

スラグ種類	溶融スラグ置換率 (%)	水セメント比 (%)	圧縮強度 (N/mm ²)			静弾性係数 (28日) 10 ⁴ (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)		曲げ強度(N/mm ²)	
			3日	7日	28日		7日	28日	7日	28日
A	0	55	16.6	26.8	36.4	2.99	2.48	2.97	4.31	5.65
	50		17.5	27.1	37.7	2.95	2.49	2.97	4.28	5.56
	100		23.7	35.7	46.9	3.24	2.89	3.37	4.89	6.01
B	0	55	16.2	26.2	36.8	3.08	2.62	3.60	4.79	5.68
	50		18.1	26.1	37.1	3.07	2.51	3.43	4.72	5.60
	100		18.3	26.2	36.6	3.02	2.37	3.22	4.25	5.23

5. 下水汚泥溶融スラグ骨材を使用したコンクリートの耐久性

コンクリートの耐久性に関係すると思われる乾燥収縮、耐凍害性、中性化（Bのみ）について水セメント比55%、スランブ8cmのコンクリートで試験した結果を表—4に示す。

表 - 4 耐久性試験の結果

スラグ種類	溶融スラグ置換率 (%)	水セメント比 (%)	乾燥収縮 (%)			凍結融解(300回目)		促進中性化試験(mm) CO ₂ 5%		
			1ヶ月	2ヶ月	3ヶ月	耐久性指数	質量減少率	1ヶ月	2ヶ月	3ヶ月
A	0	55	0.044	0.067	0.075	98.9	1.13			
	50		0.032	0.045	0.052	95.5	2.02			
	100		0.036	0.055	0.061	95.4	2.01			
B	0	55	0.046	0.055	0.060	84.0	2.30	8.1	10.0	12.1
	50		0.032	0.048	0.054	56.0(82.6*)	2.51(0.65*)	8.4	9.9	12.3
	100		0.037	0.045	0.051	24.0	3.88	8.8	10.3	11.5

* A1 = 723 ml/m³ A2 = 18 ml/m³ として AE 助剤の使用量を増し連行空気の質を改善した場合

6. まとめ

結晶化させた溶融汚泥スラグについて実施した試験結果のまとめると以下の通りとなる。

- (1) スラグは天然砕石に比べて吸水率が著しく小さく、したがって耐久性試験の安定損失重量も小さい。
- (2) これらのスラグを粗骨材としたコンクリートは次のような性質を有する。
 - 1) 同一スランブコンクリートの単位水量は良質砕石を用いた場合より減る場合もある。
 - 2) 水セメント比同一のコンクリートはスラグが増すと圧縮強度は同等以上となる。
 - 3) 水セメント比同一コンクリートの引張り強度、曲げ強度は増加するものもあるが幾分低下ものもある。これはスラグの表面とモルタルとの付着にスラグによる差があるためと考えられる。
 - 4) 乾燥収縮はスラグを用いると小さくなる。スラグの吸水率が小さいためと考えられる。
 - 5) 耐凍害性はスラグを100%にしても砕石と変わらないものもあるが、冷却方式によっては耐久性指数の小さい場合もある。空気の質を改善しスラグ置換率を50%程度に減らすと耐久性は改善される。
 - 6) 中性化速度はスラグを用いても変わらない。

【参考文献】

- 1) 2001年版 下水汚泥の建設資材利用マニュアル(案): 社団法人 日本下水道協会 pp214-216