

立命館大学大学院理工学研究科 学生員 ○久保田 純司
立命館大学理工学部 正会員 高木 宣章 正会員 児島 孝之

1. はじめに

下水道普及率の向上に伴い発生する活性汚泥の量は年々増加の傾向にあり、汚泥の減量化あるいは資源化が急務の社会問題となっている。本研究では、下水汚泥スラグの有効利用の観点から、下水汚泥スラグ骨材をコンクリート用粗骨材として用いたコンクリートの基本物性について実験・検討を行った。

2. 実験概要

下水汚泥スラグ粗骨材の密度、吸水率、粒度、単位容積質量、すり減り減量は JIS の規格に従い、破碎値は BS812 に従って行った。コンクリートの水セメント比は 50%、下水汚泥スラグ置換率 $[G_s/(G+G_s)]$ を粗骨材容積に対して内割で 0、25、50、75 および 100% の 5 水準とし、目標スランブ $7.5 \pm 1\text{cm}$ 、目標空気量 $4.5 \pm 1\%$ とした。表 1 に使用材料、表 2 にコンクリートの示方配合を示す。コンクリートは打設後翌日脱型し、所定材齢まで標準水中養生を行い、圧縮・引張・曲げ強度、音速、静弾性係数、動弾性係数を求めた。乾燥収縮試験は JIS A 1129 に従って行った。

表 1 使用材料

セメント(G)	普通ポルトランドセメント 密度 3.16g/cm^3
細骨材(S)	野洲川産川砂 密度 2.60g/cm^3 F.M.=2.73
粗骨材	(G) 高槻産硬質砂岩砕石 密度 2.70g/cm^3 吸水率=0.70% F.M.=6.80 最大骨材寸法 20mm 質量比 20~13mm:13~5mm=1:1
	(G _s) 下水汚泥溶融スラグ(空冷スラグ) 密度 2.60g/cm^3 吸水率=2.15% F.M.=6.52 最大骨材寸法 20mm
AE減水剤	リグニンスルホン酸化合物 密度 1.10g/cm^3
AE助剤	アルキルアリルスルホン化合物 密度 1.19g/cm^3

表 2 コンクリートの示方配合

配合名	W/C (%)	G _s /(G+G _s) (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)					AE減水剤 (cc)	AE助剤 (cc)	スランブ (cm)	空気量 (%)
				W	C	S	G	G _s				
50-0	50	0	44.0	167	334	780	1031	0	3340	1336	7.8	5.5
50-25	50	25	44.0	167	334	780	774	248	3340	1336	8.4	4.6
50-50	50	50	44.0	167	334	780	516	497	3006	1202	7.1	4.3
50-75	50	75	44.0	167	334	780	258	745	2672	668	8.2	4.7
50-100	50	100	44.0	167	334	780	0	993	2338	—	6.5	3.8

G: 高槻産硬質砂岩砕石、G_s: 下水汚泥スラグ

AE 減水剤は 25% 溶液、AE 助剤は 1% 溶液

3. 結果および考察

3.1 骨材試験

粗骨材試験結果を表 3 に示す。下水汚泥スラグ粗骨材の粒度は、粒径 10~20mm の割合が土木学会の標準粒度と比べ少なかった。密度は、高槻産硬質砂岩砕石と比べ少く小さく 2.62g/cm^3 であった。これは、スラグに空隙を多く含むためと考えられる。吸水率は、2.18% であり、レディーミクストコンクリート用骨材の規格値 3.00% 以下を満たしてはいるが、非常に大きい値を示した。すり減り減量および破碎値も、一般の砕石に比べ非常に高い値を示した。下水汚泥スラグ粗骨材はガラス質で非常に脆く、とがった形状を有するものが多く、一般の粗骨材と比較して強度が小さい。

表 3 粗骨材試験結果

	表乾密度 (g/cm ³)	絶乾密度 (g/cm ³)	吸水率 (%)	単位容積質量 (kg/l)	実積率 (%)	すり減り減量 (%)	破碎値 (%)
A	2.70	2.68	0.70	1.61	60.1	11.4	15.1
B	2.52	2.46	2.26	1.48	60.3	43.0	41.9
C	2.64	2.58	2.23	1.51	58.5	43.4	42.4
D	2.65	2.60	2.12	1.52	58.7	43.5	40.2
E	2.65	2.60	2.18	1.51	58.0	43.7	40.4
F	2.65	2.60	2.10	1.53	58.9	43.6	41.3
平均値	2.62	2.57	2.18	1.51	58.9	43.4	41.3
変動係数	1.95	2.12	2.82	1.11	1.31	0.56	2.05

A: 高槻産硬質砂岩砕石、B~F: 下水汚泥スラグ

平均値、変動係数: B~F

3.2 コンクリート試験

3.2.1 フレッシュコンクリートの性状

図 1 にスランブおよび空気量とスラグ置換率の関係を示す。混和剤使用量を一定にすると、スランブおよび空気量は、置換率に伴い増加する傾向が観察された。これは、一般粗骨材に比べ下水汚泥スラグに多量の空隙を含んでいること、スラグ自体が脆いことおよび粒径が小さいことが原因と考えられる。

3.2.2 硬化コンクリートの基礎的性質

(1) 強度試験

強度試験結果を図 2 に示す。圧縮強度は、粗骨材を下水汚泥スラグ粗骨材に置換することにより 7~15%の強度低下が観察され、置換率が大きくなるほど強度が低下した。これは、スラグがガラス質であるためにモルタルとの付着性が悪いことおよび粗骨材強度が小さいためである。圧縮強度は材齢の経過に伴い増加したが、引張強度と曲げ強度は材齢に伴う強度増加が小さかった。曲げ強度は、スラグ置換により 8~26%低下した。圧縮強度に対する曲げ強度の比は、置換率に関わらず、約 1/5~1/8 であった。引張強度は、置換率の増加による強度低下は比較的少なかった。圧縮強度に対する引張強度の比は材齢 28 日で約 1/12~1/15 であった。

(3) 音速・弾性係数

音速試験結果を図 3 に示す。置換率 100%を除き、置換率が大きくなるにつれ強度と同様に伝播速度が低下した。弾性係数試験結果を図 4 に示す。静弾性係数と動弾性係数は、置換率の増加に伴い低下した。

(4) 乾燥収縮

乾燥収縮および水分逸散率の経時変化を図 5 に示す。スラグ置換率による影響は観察されず、ほぼ同程度の値を示した。長期における乾燥収縮を継続して測定する。

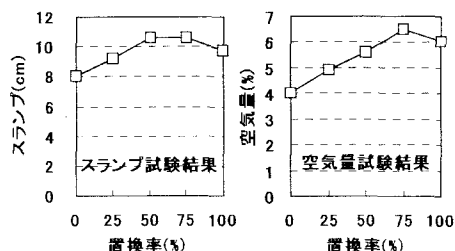


図 1 スランブおよび空気量とスラグ置換率の関係

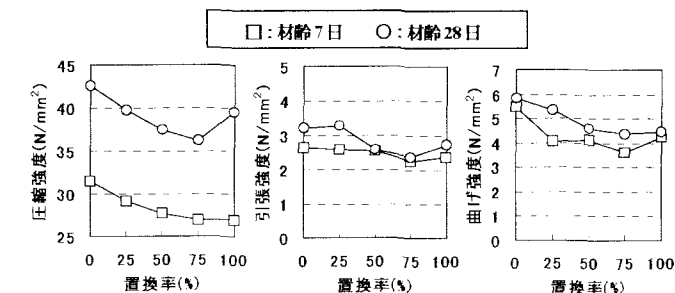


図 2 強度試験結果

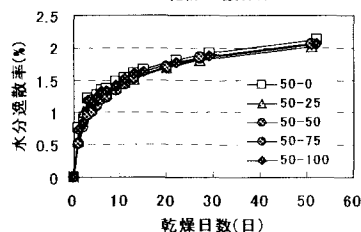
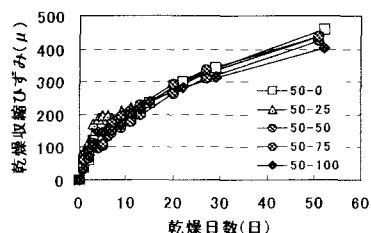


図 5 乾燥収縮および水分逸散率の経時変化

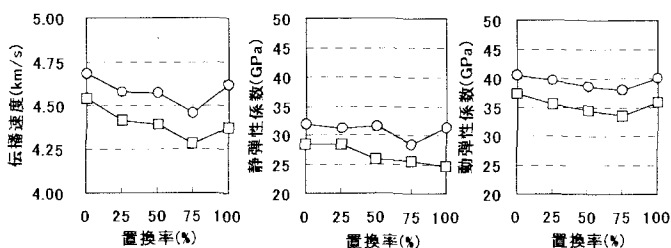


図 3 音速試験結果

図 4 弾性係数試験結果

4. まとめ

- (1) 下水汚泥スラグ粗骨材は、一般の粗骨材に比較して、密度は幾分小さく 2.62g/cm^3 、吸水率は大きく 2.18%、すり減り減量と破碎値は大きく、骨材自体の強度は小さい。
- (2) 下水汚泥スラグ置換率の増加に伴って、スランブおよび空気量が増加する傾向が観察された。
- (3) スラグ置換率の増加に伴い、各種強度は低下した。材齢 28 日における強度低下率はスラグ 100%時に圧縮強度で 10%、引張強度で 15%、曲げ強度で 15%であった。
- (4) 乾燥収縮は、下水汚泥スラグ粗骨材による影響は観察されなかった。