

下水汚泥スラグ粗骨材を用いたコンクリートの力学的特性と耐凍害性

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

表1に使用材料、表2にコンクリートの示方配合を示す。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、目標スランプ $7.5 \pm 1\text{cm}$ 、目標空気量 $4.5 \pm 1\%$ とした。コンクリートは打設翌日脱型し、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、凍結融解試験はJIS A 1148に従って行った。

3. 結果および考察

3.1 粗骨材の性質

下水汚泥スラグ粗骨材の試験結果を表3に、下水汚泥スラグ粗骨材の物性値と規格値の比較を表4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、高槻産砕石と比べ少し小さく 2.65g/cm^3 であった。吸水率は2.16%であり、規格値3.00%以下を満たしているが、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、角ばった形状を有するものが多く、一般の粗骨材に比較して強度がかなり小さい。

3.2 コンクリートの性質

3.2.1 フレッシュコンクリートの性状

図1に化学混和剤使用量を一定としたコンクリートのスランプおよび空気量とスラグ置換率の関係を示す。スラグ置換率が増加するに伴って、スランプおよび空気量は増加する傾向が観察された。

キーワード 下水汚泥スラグ粗骨材、コンクリート、強度、乾燥収縮、凍結融解

連絡先 〒525-8577 滋賀県草津市野路東 1-1-1 立命館大学理工学部土木工学科 TEL077-561-2805

表1 使用材料

セメント(C)	普通ポルトランドセメント 密度 3.16g/cm^3 比表面積 $3260\text{cm}^2/\text{g}$
細骨材(S)	野洲川産川砂 密度 2.80g/cm^3 吸水率= 1.56% 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 最大寸法 20mm 20～13mm:13～5mm= 1:1 (質量比)
	(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)	スランプ (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

表3 下水汚泥スラグ粗骨材の試験結果

	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	2.64	2.58	2.23	1.51	58.5	43.4	42.4
B	2.65	2.60	2.12	1.52	58.7	43.5	40.2
C	2.65	2.60	2.18	1.51	58.0	43.7	40.4
D	2.65	2.60	2.10	1.53	58.9	43.6	41.3
平均	2.65	2.60	2.16	1.52	58.5	43.6	41.1
最大差	0.01	0.02	0.13	0.02	0.90	0.30	2.20
変動係数(%)	0.16	0.33	2.37	0.55	0.57	0.26	2.12

表4 下水汚泥スラグ粗骨材の物性値と規格値の比較

	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 (%)
下水汚泥スラグ	2.65	2.60	2.16	1.52	58.5	43.5	41.1
高槻産砕石	2.70	2.68	0.70	1.61	60.1	11.4	15.1
規格1	—	2.50以上	3.00以下	—	55.0以上*	40.0以下	—
規格2	—	2.50以上	3.00以下	—	—	—	—

規格1: JIS A 5005(コンクリート用砕石及び砕砂) * : 粒形判定実績率

規格2: JIS A 5308 付属書1(レディミクストコンクリート用骨材)

3.2.2 硬化コンクリートの基礎的性質

(1) 強度

強度試験結果を図2に示す。圧縮強度はスラグ置換率の増加に伴い低下し、材齢28日での低下は最大15%であった。これは、スラグ粗骨材の表面がガラス質で、モルタルとの付着が悪いことおよび粗骨材強度が小さいためである。圧縮強度は材齢の進行に伴い増加したが、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。圧縮強度に対する引張強度の比は約1/12～1/15であった。曲げ強度は、スラグ置換により8～26%低下した。材齢28日の圧縮強度に対する曲げ強度の比は、約1/5～1/8であった。

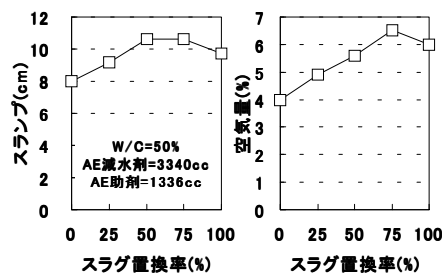


図1 スランプおよび空気量とスラグ置換率の関係

(3) 音速・弾性係数

音速試験結果を図3に、弾性係数試験結果を図4に示す。スラグ置換率の増加に伴い、音速と弾性係数は、強度同様低下した。

(4) 乾燥収縮

乾燥収縮ひずみおよび水分逸散率の経時変化を図5に示す。スラグの吸水率は砕石より大きいにも関わらず、スラグ置換率が乾燥収縮に及ぼす影響は少なく、スラグ置換していないコンクリートより、幾分小さいかほぼ同程度の値を示した。

(5) 凍結融解に対する抵抗性

相対動弾性係数および質量減少率の経時変化を図6に示す。コンクリート表面の剥離による質量減少は、スラグ置換率によって著しい差は観察されなかった。しかし、相対動弾性係数は、スラグ置換率の増加に伴い低下する傾向が観察された。下水汚泥スラグの使用は、コンクリートの耐凍害性を低下させた。

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 2.65g/cm^3 、吸水率は大きく2.16%、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) 化学混和剤使用量が同一の場合、下水汚泥スラグ置換率の増加に伴い、スランプおよび空気量が増加する傾向にあった。

(3) 下水汚泥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少なく、砕石コンクリートと同程度か幾分小さかった。

(5) 下水汚泥スラグ粗骨材の使用により、コンクリートの耐凍害性は低下する傾向にあった。

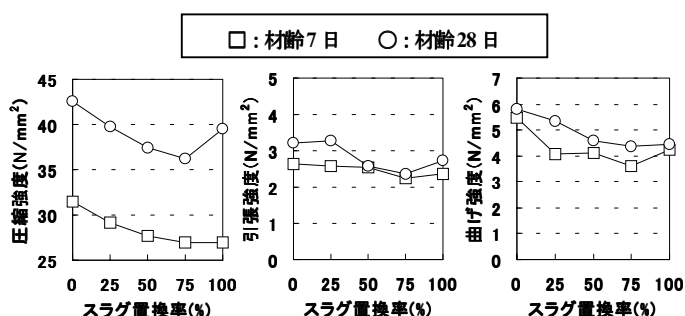


図2 強度試験結果

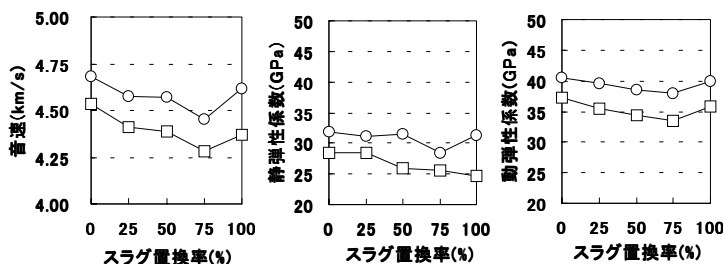


図3 音速試験結果

図4 弾性係数試験結果

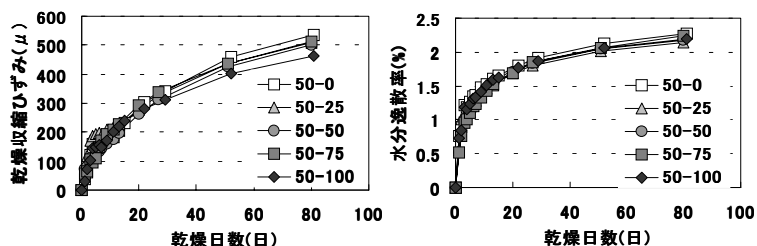


図5 乾燥収縮および水分逸散率の経時変化

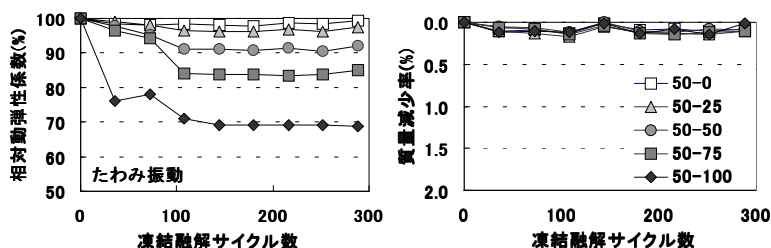


図6 相対動弾性係数および質量減少量の経時変化