

ごみスラグのコンクリート粗骨材としての有効利用に関する研究

国土交通省中国技術事務所 賛助会員 小石川武則
 賛助会員 相田 大作
 正会員 西川宗一郎
 賛助会員 ○原田 奈々

1. はじめに

近年、一般廃棄物の溶融化技術は、ごみの減容化による最終処分場の延命対策やダイオキシン類等の環境対策として有効とされており、多くの自治体では溶融固化施設を整備している。このため多量のごみ焼却灰溶融スラグ（以下、ごみスラグと呼ぶ）が発生し、その有効利用が求められている。このような背景から、道路用骨材やコンクリート用細骨材としての用途開発が先行して進められており、2002年にはTR A 0016（一般廃棄物、下水汚泥等の溶融固化物を用いたコンクリート用細骨材）が公表されている。しかし、コンクリート用粗骨材としての研究は少ないため、ごみスラグのより一層の用途拡大を目的として、コンクリート用代替粗骨材としての適用性の検討を行っている。この内、圧縮強度特性及び凍結融解抵抗性について以下に述べる。

2. 実験概要

2. 1 使用材料

セメントは高炉セメントB種、細骨材は砕砂、練混ぜ水は上水道水を使用した。実験に使用したごみスラグは、高知県内のごみ焼却施設から発生する空冷スラグを使用し、対比骨材として砕石を用いた。使用材料の種類と品質を表-1に示す。

2. 2 配合条件及び示方配合

実験は、水セメント比を60%に固定し、通常粗骨材とごみスラグの置換率（以下、スラグ置換率と呼ぶ）を5水準で実施した。配合条件を表-2に、示方配合を表-3に示す。

2. 3 試験方法

スラグ置換率の違いによるコンクリート特性について検討した。試験方法を表-4に示す。

3. 試験結果

3. 1 圧縮強度

圧縮強度試験結果を表-3及び図-1に示す。スラグ置換率が大きくなるほど強度発現が低下する傾向が

見られ、材齢28日について、スラグ置換率50%では基準配合（スラグ置換率0%：砕石100%使用）の約9割以上の強度が発現したものの、スラグ置換率100%では約8割程度の強度であった。これは、ごみスラグがガラス質であり（ガラス化率96%、結晶化率4%）、すりへり減量が約35%と脆いことが影響していると考えられる。

表-1 使用材料の種類と品質

骨材の種類 試験項目	砕石 JIS A 5005	試験結果		
		高知 スラグ	砕石 2010	砕石 1005
表乾密度 (g/cm ³)	—	2.84	2.72	2.7
絶乾密度 (g/cm ³)	2.5以上	2.84	2.71	2.68
吸水率	3.0以下	0.19	0.42	0.57
微粒分量	1.0以下	0.8	0.6	0.99
安定性 (%)	12以下	1.1	3	1.9
粒形判定実積率	55以上	59.4	59.1(砕石2005)	
すりへり減量	40以下	34.5	9.8	10.8

表-2 配合条件

項 目	内 容
水セメント比	60%
スラグ置換率	0%, 25%, 50%, 75%, 100%
スランブ	8±1.0cm
空気量	4.5±0.5%
粗骨材最大寸法	20mm
単位水量の上限値	175kg/m ³

表-3 示方配合及びフレッシュ性状・強度試験結果

スラグ 置換率(%)	W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)		フレッシュ性状			圧縮強度 (N/mm ²)	
			セメント B B	水 W	スランブ (cm)	空気量 (%)	温度 (℃)	σ 28	σ 91
0	60	45	268	161	8.1	4.9	21	29.3	39.7
25	60	45	272	163	8.0	4.9	20	29.3	38.1
50	60	45	275	165	8.5	4.5	20	27.9	35.6
75	60	45	277	166	8.8	4.6	20	25.8	33.4
100	60	45	277	166	8.5	4.9	21	23.1	30.8

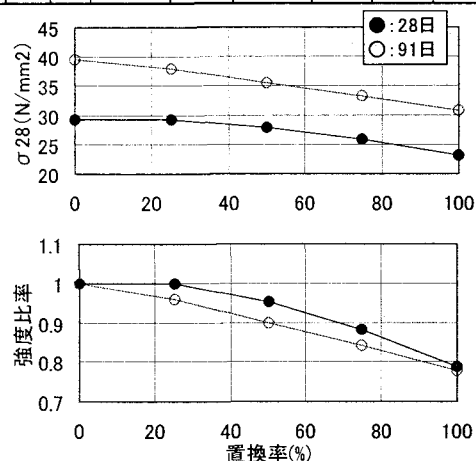


図-1 置換率と圧縮強度・比率の関係 (28, 91 日)

3. 2 凍結融解試験

凍結融解試験結果を図-2, 3に示す。相対動弾性係数は、スラグ置換率が大きくなるほど低下し、スラグ置換率 50%以上では 300 サイクル時の値が 60%を下回った。質量変化率は、スラグ置換率による差は小さく、全ケースともに 2%以下の減少率であった。

3. 3 凍結融解試験による圧縮強度の変化

スラグ置換率 0%と 100%の、凍結融解試験前後及び中間時の圧縮強度を表-5に示す。スラグ置換率 0%では、凍結融解終了時の強度低下は認められなかった。スラグ置換率 100%では、圧縮強度は約 8割であったが、相対動弾性係数は 30%以下になった。

3. 4 物理検討（細孔径分布、骨材の線膨張係数）

スラグ置換率 0%（凍結融解後界面部）とスラグ置換率 100%（凍結融解前後界面部・ペースト部）の細孔構造は、 $9.03 \sim 9.44 (\times 0.01 \text{ ml/g})$ とほぼ同等な総細孔容積を示し、分布状態も類似しており、スラグ置換率 100%において、凍結融解作用による細孔構造の緩み、細孔容積が増え大きい細孔半径の容積が増えるなどの変化は認められなかった。

スラグの線膨張係数は、測定の結果 $4.9 \times 10^{-6}/\text{K}$ であり、一般的な骨材（砂岩： $9.3 \times 10^{-6}/\text{K}$ ）や高炉スラグの線膨張係数（砂岩： $8 \times 10^{-6}/\text{K}$ ）に比べ小さい値であり、一般的なコンクリートの線膨張係数（ $7 \sim 13 \times 10^{-6}/\text{K}$ ）の 1/2 程度の値であった。

3. 5 走査型電子顕微鏡による骨材界面観察

スラグ置換率 100%の凍結融解試験後では、ごみスラグの骨材界面には、写真-1に示す空隙が認められた。これは、凍結融解試験前には見られなかった空隙であり、また、スラグ置換率 0%のコンクリートにおいても見られなかった空隙である。

4. まとめ

圧縮強度特性について、スラグ置換率が大きくなるほど、ごみスラグがぜい弱なことが起因し、圧縮強度の低下が見られた。しかし、スラグ置換率 50%までは圧縮強度の低下は小さいと言える。

凍結融解抵抗性について、スラグ置換率が大きくなるほど相対動弾性係数が低下するが、ペースト部での細孔構造の緩みが認められず、骨材単体の劣化も認められないことから、骨材界面の空隙の影響に起因していることが明らかとなった。空隙の成因は、ブリーディングの影響も考えられるが、ごみスラグ

とペースト部の付着力が低いことや線膨張係数の差に起因する繰り返し温度変化による引張応力が付着力を上回ることによるものと考えられる。

表-4 試験方法

試験項目	試験方法
凍結融解試験	JIS A 1148
凍結融解試験における圧縮強度	試験開始時、相対動弾性係数が 60%時、終了時に凍結融解試験供試体を用いて $10 \times 10 \times 10 \text{ cm}$ で実施
細孔径分布	水銀圧入式
骨材の線膨張係数	JIS A 1325
骨材界面観察	走査型電子顕微鏡

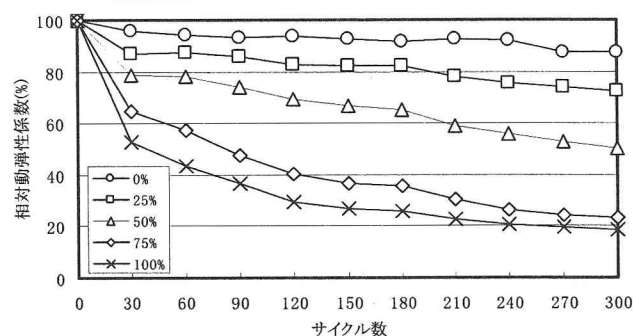


図-2 凍結融解試験結果（相対動弾性係数）

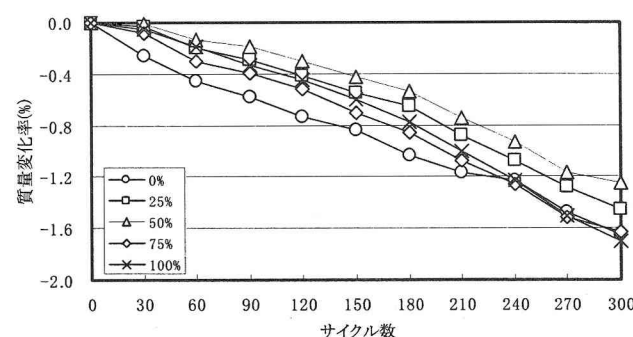


図-3 凍結融解試験結果（質量変化率）

表-5 凍結融解前後及び中間時の圧縮強度

試験項目 置換率 (%)	圧縮強度 (N/mm ²)		
	開始前	中間時	終了時
0	33.5	—	35.3 (300サイクル)
100	32.7	29.7 (30サイクル)	26.8 (150サイクル)



写真-1 骨材界面観察（スラグ置換率 100%、凍結融解試験後）

（SEM：Secondary Electron Microscope. 倍率 1,000 倍）