

# 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

中国地方整備局 中国技術事務所 調査試験課 原田 奈々

## 1. はじめに

近年、一般廃棄物の熔融化技術は、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視され、多くの自治体で熔融固化施設が整備されている。しかし、熔融処理により、ごみの減容化はできるものの、多量のごみ焼却灰熔融スラグ(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。現在、ごみスラグは、コンクリート用細骨材等として再資源化が図られているが、ごみスラグ全体の有効利用は、5割程度となっている。



写真-1 ごみスラグ(空冷)

本研究は、天然骨材採取による環境問題等の現状を受け、ごみスラグのより一層の用途拡大を目的とし、ごみスラグのコンクリート用代替粗骨材としての適用性を検討したものである。

## 2. 研究概要

空冷ごみスラグの化学分析・物理試験を行い、ごみスラグの特性を把握するとともに、水セメント比と、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)の違いによるコンクリート特性調査を行った。また、中国技術事務所構内でのフィールド実験により施工性を確認した。実験フローを図-1に示す。

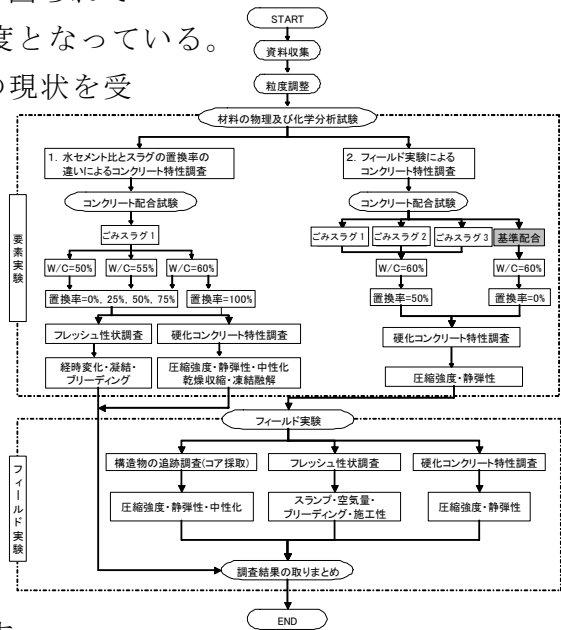


図-1 実験フロー

## 3. 対象としたごみスラグと化学的・物理的性状

広島市・岡山市・高知市の各ごみ処理場の空冷ごみスラグをコンクリート用粗骨材として使用可能な5mmオーバーに分級処理したものを対象とした。中国地方のごみ処理場の内、熔融処理を行っている施設を表-1に示す。また、対象のごみスラグの化学成分を図-2に示す。

表-1 中国地方のごみ熔融施設一覧(高知市含む)

県名	自治体等名	ごみスラグ年発生量* <sup>1)</sup>	竣工	冷却方法	実験に使用したごみスラグ
広島	広島市	9,500t	H15.12	空冷* <sup>2)</sup>	ごみスラグ3
	呉市	6,400t	H15.3	水冷* <sup>3)</sup>	
	海田町他3町	600t	H14.11	水冷	
岡山	岡山市	6,200t	H13.7	空冷	ごみスラグ2
		3,900t	H15.3	水冷	
山口	下関市	6,200t	H14.12	空冷・水冷	
	宇部市	2,100t	H15.2	水冷	
島根	出雲市他6市町	1,300t	H15.3	水冷	
鳥取	米子市	3,700t	H14.4	水冷	
高知	高知市	7,600t	H14.3	空冷	ごみスラグ1

\*<sup>1)</sup> 広島市は2004年度推定量、他自治体は2003年度発生量  
 \*<sup>2)</sup> 空冷：大気中に放置して自然冷却固化したごみスラグ  
 \*<sup>3)</sup> 水冷：水中に直接投じて急冷固化したごみスラグ

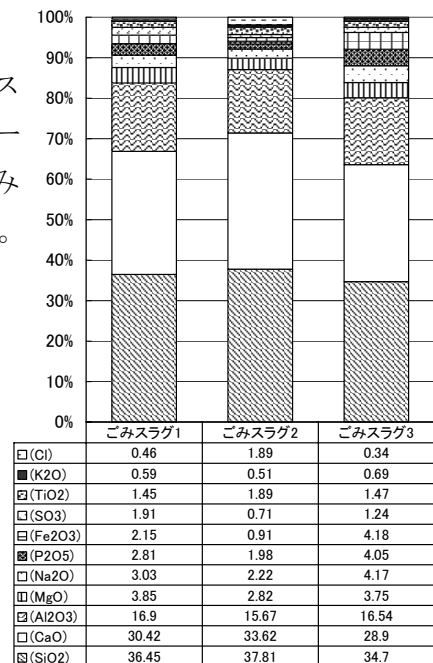


図-2 化学成分

\*下から順にグラフと対応

主な構成成分は二酸化ケイ素 (SiO<sub>2</sub>)、酸化カルシウム(CaO)、酸化アルミニウム(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)の3成分で80%以上を占めている。これは通常の岩石の主な構成成分と同程度である。

ごみスラグの溶出試験結果を表-2に示す。いずれのごみスラグも土壌の汚染に係る環境基準(平成3年環境庁告示第46号)の基準値を満足していた。

ごみスラグ粗骨材の物性値を表-3に示す。いずれのごみスラグも JIS A 5005 の砕石の規格値を満足していた。

しかし、すりへり減量が35~38%となり、ごみスラグの脆さが認められた。このため、すりへり作用を受けるコンクリートに用いる場合は、留意する必要がある。

表-2 溶出試験結果

分析項目	溶出試験結果 (mg/l)			基準値 (mg/l)
	ごみスラグ1	ごみスラグ2	ごみスラグ3	
総水銀	検出せず	検出せず	検出せず	0.0005 以下
カドミウム	検出せず	検出せず	検出せず	0.01 以下
鉛	検出せず	検出せず	0.005	0.01 以下
六価クロム	検出せず	検出せず	検出せず	0.05 以下
砒素	検出せず	検出せず	0.004	0.01 以下
セレン	検出せず	検出せず	0.001	0.01 以下

表-3 ごみスラグ粗骨材の物性値

試験項目	ごみスラグ1	ごみスラグ2	ごみスラグ3	砕石 JIS A 5005
表乾密度 (g/cm <sup>3</sup> )	2.84	2.81	2.88	—
絶乾密度 (g/cm <sup>3</sup> )	2.84	2.81	2.88	2.5 以上
吸水率 (%)	0.19	0.04	0.1	30 以下
微粒分量 (%)	0.80	0.20	0.14	1.0 以下
安定性 (%)	1.1	0.5	0.5	12 以下
単位容積質量試験実積率 (%)	59.7	59.4	59.8	—
粒形判定実積率 (%)	59.4	58.9	58.7	55 以上
すりへり減量 (%)	34.5	35.7	38.2	*40 以下

\* 舗装に用いる場合は35%以下

#### 4. ごみスラグを粗骨材に用いたコンクリート特性

##### 4. 1. 配合

水セメント比とスラグ置換率の違いによるコンクリート特性については、ごみスラグ1を代表として、スラグ置換率0%の通常コンクリート(以下、基準配合と呼ぶ)と比較した。配合条件を表-4に示す。

単位水量は、スラグ置換率が大きくなるほど増加した(図-3)。これは、ミキサでの練り混ぜ時に砕け、ごみスラグの5mmアンダーが増加し、実際の細骨材率が大きくなったこと、また、砕けた粒子の形状が悪いことが主要因と考えられる。

配合設計における細骨材率は、各水セメント比ともスラグ置換率の違いによる変化はなかった。これは、スラグ置換率が大きくなるにつれて単位水量が増加するとともに単位セメント量が増加していること、また、ごみスラグの実積率\*が砕石の実積率と差がないことが主要因と考えられる。

実積率\*: 骨材の単位容積中における骨材の実質部分の容積百分率

表-4 配合条件

項目	内容
セメントの種類	高炉セメントB種
呼び強度	18 N/mm <sup>2</sup>
水セメント比(W/C)	50・55・60 %
スラグ置換率	0・25・50・75・100 % (置換率100%については水セメント比60%のみ実施)
スランブ	8 ±1.0 cm (室内試験)
空気量	4.5±0.5 % (室内試験)
粗骨材最大寸法	20 mm
単位水量上限値	175 kg/m <sup>3</sup>

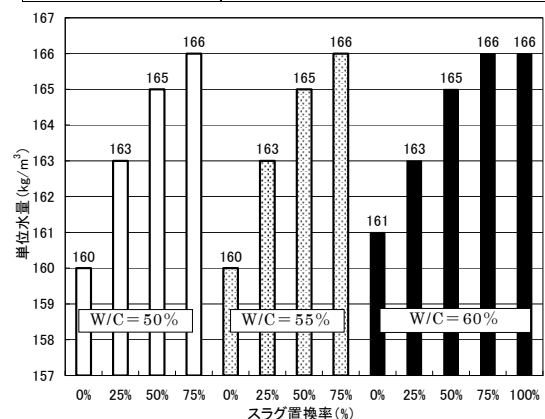


図-3 各種配合と単位水量の関係

##### 4. 2. フレッシュコンクリート性状

ごみスラグを粗骨材に用いた場合のフレッシュコンクリート性状のうち、スランブ

及び空気量の練混ぜ直後からの経時変化は、基準配合と同程度であった。ブリーディング量は、コンクリートに悪影響を及ぼす程度ではないが、スラグ置換率が大きくなるにつれて増加する結果となった。これは、ごみスラグの保水性が砕石に比べて小さいためと考えられる。凝結時間は、若干短くなる傾向がみられたが、有意な差は認められなかった。以上の結果より、ごみスラグを粗骨材に用いた場合のフレッシュコンクリート性状は、通常のコンクリートと比較して遜色のない結果が得られることがわかった。

#### 4. 3. 硬化コンクリート特性

##### 4. 3. 1. 力学特性

各種配合での圧縮強度を図-4に示す。各水セメント比とも材齢7日では、スラグ置換率による圧縮強度の差は認められない。しかし、材齢28日・91日においてはスラグ置換率が大きくなるほど圧縮強度の低下が認められた。この傾向は、材齢28日に比べ材齢91日の方に顕著に現れ、材齢91日における水セメント比60%・スラグ置換率100%の配合では基準配合の80%以下の圧縮強度であった。これは、ごみスラグ自体の強度が小さいこと、ごみスラグの界面部が滑らかなためモルタルとの付着強度が劣ること等が考えられる。また静弾性係数については、スラグ置換率による差は認められない。これは、ごみスラグ自体の密度が大きいいため、コンクリートの単位容積質量が大きくなったことによるものと考えられる。

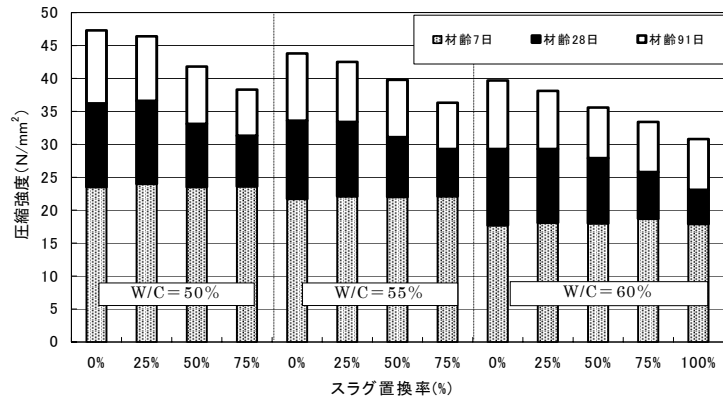


図-4 各種配合と圧縮強度の関係

この傾向は、材齢28日に比べ材齢91日の方に顕著に現れ、材齢91日における水セメント比60%・スラグ置換率100%の配合では基準配合の80%以下の圧縮強度であった。これは、ごみスラグ自体の強度が小さいこと、ごみスラグの界面部が滑らかなためモルタルとの付着強度が劣ること等が考えられる。また静弾性係数については、スラグ置換率による差は認められない。これは、ごみスラグ自体の密度が大きいいため、コンクリートの単位容積質量が大きくなったことによるものと考えられる。

##### 4. 3. 2. 耐久性

各種配合での凍結融解試験の相対動弾性係数を図-5に示す。各水セメント比ともスラグ置換率が大きくなるにつれて相対動弾性係数は明確に低下している。相対動弾性係数は、60%以下が劣化の許容限界の目安とされている。スラグ置換率50%以上になると、水セメント比50%・スラグ置換率50%以外の配合で、相対動弾性係数は60%以下であった。これは、スラグ置換率が大きくなるとブリーディング量が増加することも要因の一つとして考えられるが、最も大きな要因としては、ごみス

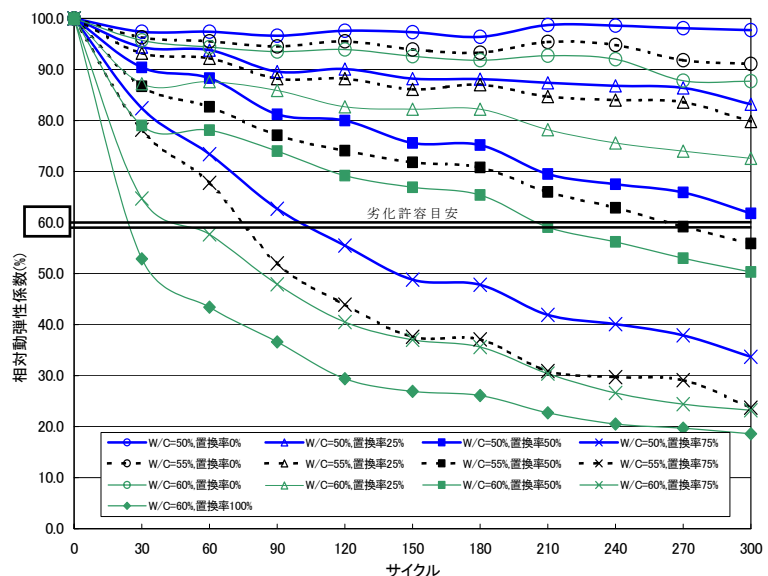


図-5 各種配合と凍結融解試験の相対動弾性係数の関係

ごみスラグ置換率が大きくなるとブリーディング量が増加することも要因の一つとして考えられるが、最も大きな要因としては、ごみス

ラグ自体の物理的性質が影響しているものと考えられる。また、300 サイクル終了後、目視調査及び質量変化率において、スラグ置換率による差は認められなかった。したがって、ごみスラグ使用が原因となるコンクリートの表面剥離は発生しないと考えられる。

長さ変化率とスラグ置換率の関係を図-6 に示す。長さ変化率は、スラグ置換率が大きくなるほど小さくなった。これは、ごみスラグ自体の密度が大きく吸水率が小さいことが影響していると考えられる。

また、促進中性化試験では、スラグ置換率による中性化浸透深さの差は認められなかった。

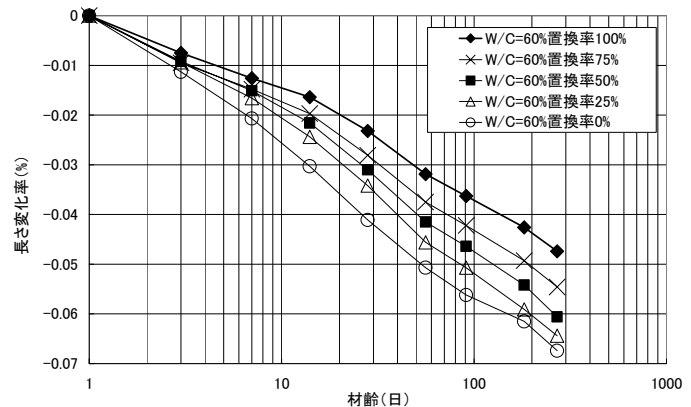


図-6 長さ変化率とスラグ置換率の関係

## 5. フィールド実験

平成 15 年 11 月中国技術事務所構内で施工性を確認するため、重力式擁壁を施工した(図-7・写真-2)。

配合は、水セメント比 60%・スラグ置換率 50%で、ごみスラグ 1, 2, 3 をそれぞれ用いた 3 ケースと基準配合の計 4 ケースを生コンクリート工場で製造し、アジテータ車で運搬した。

製造・運搬・施工の各工程において、いずれのケースも優劣の差は認められなかった。

現在、追跡調査としてコア抜き取りによる強度特性の確認及び表面観察を継続して実施している。

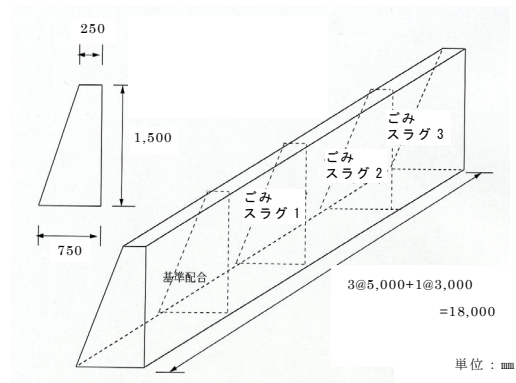


図-7 施工区分 (フィールド実験)



写真-2 打設状況 (フィールド実験)

## 6. まとめ

本研究の結果、ごみスラグは置換率を考慮することにより、道路付属物等の無筋コンクリートやプレキャスト製品等のコンクリート粗骨材としての適応性は十分にあると考えられ、コンクリート材料の中で粗骨材の占める割合が大きいことから、ごみスラグの受け入れ先として大きな期待ができる。

今後は、関係機関・学識経験者からなる「ごみスラグ活用研究会」において、ごみスラグ製造過程の品質変動の調査・凍結融解試験における相対動弾性係数低下の原因究明などの技術的検討及び直轄工事でのフィールド試験を実施し、ごみスラグ活用の促進を図っていく予定である。