

焼却残渣溶融スラグの建設資材への利用について

福岡市環境局 正会員本郷輝雄 正会員山崎敏隆 田中 衛
九州芸術工科大学 大久保全陸 上吉川 誠

1. はじめに

清掃工場で焼却処理に伴って発生する焼却残渣は、現在ほとんどの所で埋め立て処分されているが、最終処分用地の確保は今後ますます困難になることが予想される。この問題に対応するために、焼却残渣の溶融処理による減容・減量化及び資源化への対応が取り組まれてきた。現在、焼却残渣を溶融処理した溶融スラグは、一部で有効利用されているが、その大半は埋立場場に処分されている。各焼却残渣溶融炉メーカーによる個別の資源化研究が行われているが、今回、溶融炉メーカーの協力を得て、数種の焼却残渣溶融スラグ（以下スラグ）の建設資材への利用について検討したので、その報告をする。

2. 調査内容

(1) 調査対象スラグ

焼却残渣溶融方式の分類を表-1に示す。

この内、溶融炉メーカーの協力を得て、表面溶融式、コークスベッド式、プラズマ式、電気抵抗式の4方法種類のスラグを入手した。なお、表面溶融式、コークスベッド式、プラズマ式のスラグは、水冷スラグで、電気抵抗式は空冷スラグを粉砕したものである。

(2) スラグの性状

各スラグの原料及び化学組成を表-2に示す。各メーカーからの提供であるので、同一の原料を使用したものではなく、しかも化学組成の値も資料提供先で測定されたもので、一概に比較することはできないが、CaとFeの含有量にそれぞれの特徴があると思われる。

表-2 溶融スラグの原料及び化学組成

記号	溶融方法	原料	SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	T-Fe	Na ₂ O	K ₂ O	MgO
A	プラズマ	焼却灰	33.6	32.4	17.1	4.00	1.80	0.26	3.28
B	電気抵抗	焼却灰	48.1	19.1	18.6	0.73	4.00	2.80	3.55
C	コークスベッド	焼却灰+不燃物	35.7	35.4	11.8	7.47	3.44	0.68	1.57
D	表面溶融	焼却灰	35.9	31.8	15.5	2.75	2.67	0.66	3.74
E	表面溶融	焼却灰+不燃物	48.7	17.2	13.6	7.59	6.10	1.39	2.28

表-1 溶融方式の分類

燃料加熱	表面溶融
	・回転炉
	・固定炉
電気加熱	・内部自己燃焼
	・反射式
電気加熱	旋回流方式
	コークスベッド方式
	アーク方式
	プラズマ方式
電気加熱	電気抵抗方式
	誘導加熱方式

(3) 粒度分布

スラグと比較用として使用した海砂のふるい試験結果を片対数グラフで図-1に、粗粒率を表-3に示す。ふるい試験方法は、JIS A1102 により行った。海砂については、貝類等を取り除き、粒径1.7mm以下のものを測定した。

表-3 溶融スラグの粗粒率

記号	A	B	C	D	E
粗粒率	2.85	3.66	4.09	4.83	5.28

図-1に示すように、スラグは海砂に比べ全体的に粒径が大きく、0.6mm以下のものが少ない結果となった。Aはふるい径1.7mm以下のものが70%を占めているが、粒径0.6mm以下のものが少なく、偏った分布であった。また、Bは粒度分布曲線が全体的に海砂に近いが、それでもふるい径1.2mm以下

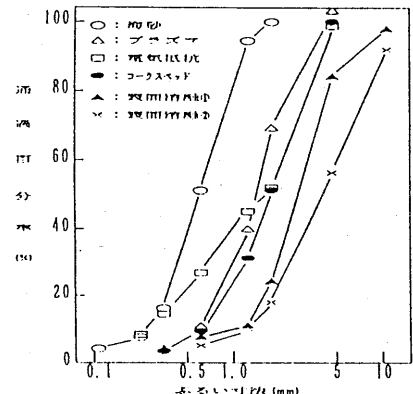


図1 溶融スラグのふるい分け試験分析結果

「連絡先」 クリーンパーク・西部 西部工場 廃棄物試験研究センター 田中 衛

〒819 福岡市西区大字拾六町1191番地 TEL 092-891-3433 FAX 092-892-1001

のものは約40%にすぎない。これは空冷スラグを粉砕したことによると思われる。

一方、D及びEは、最大粒径が15mmで、粒度分布も他のスラグに比べて大きくくなっている。これは溶融温度が1,350℃前後と低いため、一部溶融されていない磁器類を含むことによると思われる。

(4)比重、吸水率、実積率等

各スラグの比重、吸水率、実積率等の測定結果を表-4に示す。比重、吸水率に関しては、JIS A1109（普通細骨材）にて測定した。なお、スラグの最大寸法が40mm以下のため単位容積重量は砕き試験により行った。表-4の

表-4 溶融スラグの比重、吸水率等の測定結果

記号	表乾比重	絶乾比重	吸水率(%)	単位容積重量	実積率(%)
A	2.54	2.50	0.20	1.61	63.5
B	2.40	2.35	0.33	1.72	71.9
C	2.64	2.63	0.22	1.61	61.1
D	2.37	2.30	1.29	1.45	62.0
E	2.15	2.07	1.64	1.45	68.5
規定	—	2.5以上	3.5以下	1.45以上	—

規定：コンクリート用高炉スラグ細骨材の規定値
単位容積重量単位：kg/l

結果をコンクリート用高炉スラグ細骨材に準じてみると、絶乾比重は2.07~2.63で、規定値の2.5以上を満足していないものがあり、特にD、Eでその傾向が見られる。単位容積重量はいずれも、規定値の1.45以上を満足していたが、D、Eはぎりぎりの値であった。吸水率は、いずれも規定値の3.5以下を満足していた。溶融温度の高いA、B、Cでは小さい傾向となったが、D、Eは、海砂とほぼ同様の値であった。これを明らかにするために、走査型電子顕微鏡によりその表面を観察したところ、高温溶融では、表面に孔がほとんど観察されなかったのに対し、低温溶融では孔が確認されややポーラスな表面状態になっており、このために単位容積重量や吸水率に差がでたものと思われる。（写真1、2）

以上、スラグの内、D、Eが高炉スラグの基準の絶乾比重を若干満足できなかったが、骨材としては概ね利用できるものと思われる。

3. スラグのモルタル実験

(1)モルタルの配合

モルタル実験には粒度調整を行う必要があるため、最大粒径5mmとした。

今回、砂を一切使用せずに、スラグとセメントのみで構成するモルタルを実験した。スラグとセメントの比は重量で2:1とし、水セメント比については、試験体の成型のし易さの観点から、水セメント比を35%とした。試験体の大きさは、4×4×16cmのモルタル曲げ試験用鋼製型枠を使用し、4×4×8cmの圧縮試験用モルタル試験体を作成した。作製時には、型枠バイブレーターを用いて締め固め、翌日脱型し即時水中養生を行った。

(2)モルタルの成型状態

各スラグと海砂を比較した場合、スラグを用いたモルタルの作業性（ワーカービリティ）は、全体的に悪かった。これは、図-1の粒度分布に見られるように、スラグは海砂より小粒度が少ないことによると思われる。また、高温溶融スラグは、表面が均質のガラス状となっているために、セメントペーストとの付着性が悪くなり、表面仕上げがやや困難になった点も上げられる。

(3)強度特性等

①単位容積重量

スラグモルタルの単位容積重量は、2.3~2.5t/m³で、海砂モルタルの2.3t/m³に比べやや高い傾向



写真1
Aスラグ

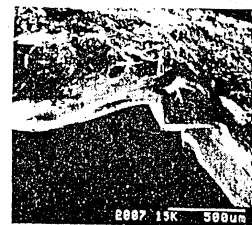


写真2
Eスラグ

となった。

②圧縮強度

圧縮強度試験は、JISA1107に従って行った。その結果を図-2に示す。材令28日での圧縮強度では、海砂モルタルと比較すると、50~80%の強度発現となっており、最も高いのが、Cで80%、次にA 70%、B 57%、E 56%、D50%の順となっている。いずれの場合もスラグモルタルでは、海砂モルタルの強度を下回っている。溶融温度の低いスラグは概して強度が低い。各スラグについての強度低下の原因については現時点では明確でない。

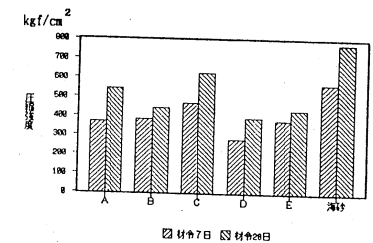


図-2 スラグモルタルの圧縮強度

4. スラグのコンクリート実験

(1)コンクリートの配合

本実験では、砂をスラグに置き換えてスラグと粗骨材とセメントで構成されるコンクリートを作製した。その配合を表-5に示す。

表-5 溶融スラグコンクリートの配合 (kg/m³)

水	セメント	溶融スラグ	粗骨材	W/C
175	350	700	900	50%

(2)成型状態

円柱供試体用型枠を用い、φ10cm×H20cmの試験体をバイブレーターを使用せず、砕きによって締め固め作成した。スラグコンクリートは、海砂コンクリートと比較すると全般的に練り混ぜが困難であり、Aがやや固練りとなった。養生は、翌日脱型し、試験日まで水中養生を行った。外観的には普通コンクリートと変わらなかった。

(3)強度特性等

①単位容積重量

図-3のようにEを除き、ほぼスラグモルタルと同じ傾向で、海砂コンクリートの2.27t/m³に対し、若干高めめの2.28~2.47t/m³となり、採石添加の影響はあまり見られない。

なお、Eの重量が、海砂コンクリートに比較して低くしたのは、表-4に示すように比重が小さいことによると思われる。

②圧縮強度

圧縮強度は、JIS A1107に従って測定を行った。その結果を図-4に示す。普通コンクリートの圧縮強度は材令28日で約350kgf/cm²であったが、スラグコンクリートでは普通コンクリートの72~79%強度と低くなったが、スラグの種類による強度の差はあまり認められなかった。

一般的にコンクリートとモルタルとは、両者の強度は異なり、モルタルよりもコンクリートの強度は低い、これは砕石とセメントの界面剥離が主に起因しているとされている。このためコンクリート実験では砕石とセメントの界面剥離の影響が強く現れ、結果的にスラグの違いによる強度への影響がさほどでなかったためと思われる。

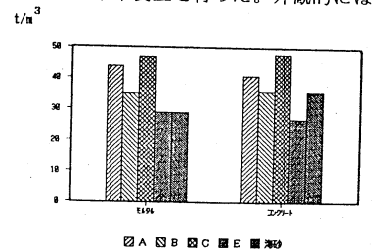


図-3 モルタルとコンクリートの単位容積重量

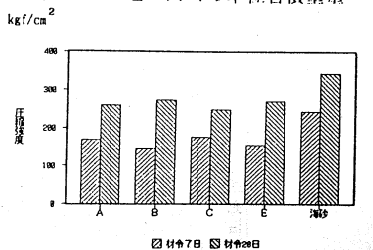


図-4 スラグコンクリートの圧縮強度

5. まとめ

- ①スラグモルタルの圧縮強度は、海砂モルタルに比べ約2~5割程度低下した。この原因についてはさらに検討が必要である。
- ②スラグコンクリートの圧縮強度も、海砂コンクリートに比べ約2~3割程度低下したが、スラグの違いによる差はあまりなかった。
- ③スラグはコンクリート用高炉スラグ細骨材の規格をほぼ満足しており、高強度を求められないコンクリート二次製品への利用であれば、骨材として十分利用できると思われる。