

ごみ溶融スラグをコンクリート材料として利用するための基礎研究

宮城県農業短期大学 正会員 ○北辻政文
建設省 東北技術事務所 浜岡 正
同上 吉田良勝

1. はじめに

ごみ焼却灰溶融スラグは、焼却灰に含まれるダイオキシンの無害化、有害重金属の固定および最終埋立処分の低減を目的として製造され、環境保全の観点から今後急速に増加すると考えられる。このスラグを建設資材として有効利用することは、ゼロエミッションの見地からも望ましいことである。

本研究は、東北で唯一製造されているコークスベッド方式による直接ごみ溶融スラグ(MSWスラグという)のコンクリート用細骨材およびスラグ微粉末の混和材としての利用の可能性について検討したものである。

2. MSWスラグ細骨材および微粉末の特性

2.1 MSWスラグ細骨材の品質 スラグの粒径は大部分が5mm以下である。色調は、灰白色、あるいは黒色を呈し、表面は滑らかで光沢があり、その形状は角張っている。スラグ中には、亀裂と気泡が見られた。骨材試験結果をTable 1に示す。ここで、スラグの脆弱部分（亀裂）の影響を低減させるために、ふるい分け試験を除く試料は、川砂と同程度の粗粒率になるよう破碎し粒度調整した。試験結果は、良好で、問題となる項目は見当たらなかった。

2.2 MSWスラグ微粉末の品質 スラグは、混和材として利用するには大き過ぎるため、ボールミルを用いて比表面積がセメントと同程度の約4,000cm²/gになるよう微粉碎し、試料とした。

品質試験結果をTable 2に示す。比較のために高炉スラグ微粉末の規定値(JIS A 6206-1995)を並記した。

スラグが潜在水硬性を発揮するためには、①非結晶質ガラス質であること、②粉末度が高いこと、③塩基度が高いこと、④ガラス化率が高いことが必要条件となる。①については既に確認している¹⁾。

塩基度は1.54であり、規定値1.60よりは小さいものの旧規定値(JIS R 5211-1992)や諸外国の規定値(CSA A368-83, BS 6699-92, SABS 1491)よりは高い値である。

ガラス化率は、60~90μmのスラグ微粉末約500個について顕微鏡法により求めた結果であり、98.8%と非常に高い値であった。

これらのことから、MSWスラグ微粉末は、潜在水硬性を発揮する条件を満たしているといえる。

活性度指数は、材齢7日および91日において規定値以下であるが、他の項目においては全て規定値を満た

Table 1 MSWスラグ骨材の物性

試験項目	試験値	基準値	判定
粒度試験 (F.M.) (破碎処理後)	3.29 (2.55)	—	—
比重 表乾	2.79	—	—
絶乾	2.78	2.5以上	良
吸水率 (%)	0.30	3.0以下	良
単位容積質量 (kg/m ³)	1,600	—	—
実積率 (%)	57.6	—	—
比重1.95の 液体に浮く粒子 (%)	0.2	0.5以下	良
有機不純物	淡い	淡い	良
洗い試験 (%)	2.14	3.0以下	良
塩化物物 (%)	0.01	0.04以下	良
A S R Rc(mmol/ℓ)	25	—	—
Sc(mmol/ℓ)	3	Re>Sc	良
(モルタルバー6か月)(%)	0.03	0.1以下	—

Table 2 MSWスラグ微粉末の品質

試験項目	MSW スラグ	高炉スラグ
密度 (g/cm ³)	2.89	2.80以上
比表面積 (cm ² /g)	3,930	3,000~5,000
材齢 7日	49	55以上
活性度指数* (%)	80	75以上
材齢91日	91	95以上
フロー値比 (%)	103	95以上
MgO (%)	1.8	10.0以下
SO ₃ (%)	1.1	4.0以下
強熱減量 (%)	1.0	3.0以下
塩化物イオン (%)	0.02	0.02以下
塩基度 (%)	1.54	1.60以上
ガラス化率 (%)	98.8	—
全アルカリ量 (%)	3.95	—
水溶アルカリ量 (%)	0.014	—

* 石膏無添加の値

している。活性度指数の低下は、塩基度や石膏の不足によるものであり、これは、容易に調整できると考えられる。また、規定はされていないものの全アルカリ量が多いことがわかる。しかしながら20℃の精製水で6時間振とうして求めた水溶アルカリ量は、0.014%と少なく、アルカリ骨材反応等において悪影響を及ぼさないと推察される。

2.3 安全性の評価 スラグが建設資材として利用されるためには、その品質とともに安全性が確保されなければならない。有害物の溶出試験を行った結果をTable 3に示す。表より、スラグ骨材および微粉末の双方からの有害物の溶出量は、基準値を大きく下回り、このスラグは安全であると評価できる。

Table 3 重金属の溶出試験結果

計量物質	単位	スラグ骨材	スラグ微粉末	土壌基準
水銀	mg/l	<0.0005	<0.0005	≤0.0005
カドミウム	mg/l	<0.003	<0.003	≤0.01
鉛	mg/l	<0.005	<0.005	≤0.01
ひ素	mg/l	<0.001	0.001	≤0.01
クロム	mg/l	<0.01	0.011	≤0.05
セレン	mg/l	<0.002	<0.002	≤0.01

3. 圧縮強度試験

3.1 材料および試験方法

3.1.1 細骨材を対象としたコンクリートの圧縮強度試験 セメントは市販の普通ポルトランドセメント（密度3.16，比表面積3,280cm²/g）を使用した。粗骨材は，最大寸法20mmの砕石（比重2.77，吸水率1.50，粗粒率6.83）を，基準細骨材は川砂（比重2.59，吸水率2.48，粗粒率2.52）を使用した。配合設計では，水セメント比55%，スランプ8±1.5cm，空気量6±0.5%に統一した。ただし，空気量については，MSWスラグ細骨材の内部に気泡があるため，骨材修正係数1.6%を考慮している。MSWスラグ細骨材の置換率は，質量比内割で0，25，50および75および100%の5水準，強度試験の材齢は3，7，28および91日とし，養生は標準水中養生とした。

3.1.2 混和材を対象としたモルタルの圧縮強度試験 試験は，セメント強さ試験（JIS A 5201-1997）に準拠して行い，ベースセメントは同上の普通ポルトランドセメントを使用した。MSWスラグ微粉末は，前項の試料を用いた。ただし，初期強度に及ばず石膏の影響が大きいことから，SO₃量換算で，普通ポルトランドセメントと同程度の2%になるよう無水石膏を添加した。MSWスラグ微粉末の置換率は，質量比内割で0，30，50および70%の4水準，強度試験の材齢は3，7，28および91日とし，養生は標準水中養生とした。比較のために高炉スラグ微粉末（密度2.91，比表面積4,110cm²/g）についても試験を行った。

3.2 コンクリートの圧縮強度試験 Fig.1にコンクリートの圧縮強度試験結果を示す。初期材齢では，MSWスラグ細骨材の置換率の違いにかかわらず，コンクリートの圧縮強度は，ほぼ同等の強度を示している。中・長期では，これとは異なり，類似の傾向を示している。すなわち，置換率が50%をピークにその後の圧縮強度は低下している。このため，MSWスラグを細骨材として利用する場合，単味で使用するよりも天然砂と混合して使用することが良いと考えられる。また，MSWスラグ細骨材を使用したコンクリートは，材齢28日から91日までの強度の伸びが大きく，材齢91日では，川砂単味を使用したものより全て高い値であった。これはボゾラン反応性物質の特徴であり，長期強度の発現に与える効果が大きいことを示している。

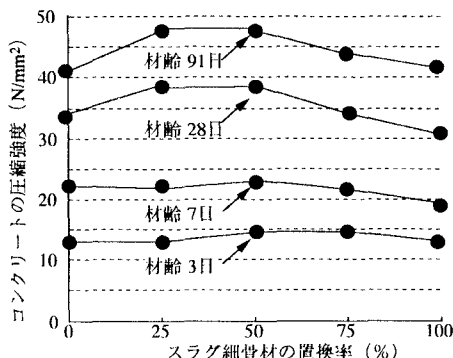


Fig.1 スラグ細骨材の置換率と圧縮強度の関係

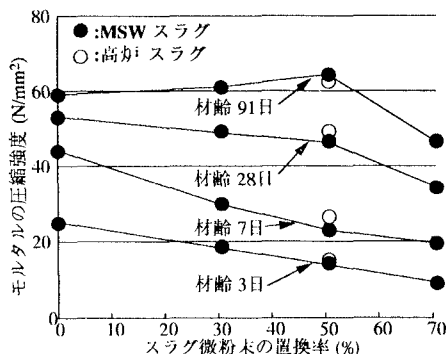


Fig.2 スラグ微粉末の置換率と圧縮強度の関係

3.3 モルタルの圧縮強度試験 Fig.2にモルタルの圧縮強度試験結果を示す。初期材齢では，MSWスラグ微粉末の置換率が増えるのに伴い，圧縮強度は直線的に減少している。しかし，中・長期の強度の伸びは，MSWスラグ微粉末を使用したものが大きく，材齢91日の置換率30および50%としたモルタルの強度は，普通ポルトランドセメント単味のものより高い値であった。これはFig.1と同様にボゾラン反応性物質の影響である。また，置換率50%のMSWスラグモルタルは，全ての材齢において高炉スラグ微粉末モルタルとほぼ同等の強度発現を示し，遜色ないことがわかる。

4. おわりに

コンクリート用細骨材および混和材として，MSWスラグの利用の可能性について検討した。その結果，双方において，利用の可能性が高いことが確認された。

今後，MSWスラグコンクリートの耐久性や長期的安全性について検討する予定である。

<謝辞> 本研究を行うにあたり，三菱マテリアルセメント(株)コンクリートセンター長高原義範氏，釜石市役所係長北野和敏氏に多大な協力を得た。記して，深謝の意を表します。

引用文献

- 1) 北辻政文，藤居宏一：コークスベッド方式ごみ溶融スラグのコンクリート用細骨材への適用について，農業土木学会東北支部第42回研究発表会講演要旨集，pp. 148-151 (1997)