

溶融炉スラグ骨材の物理・化学的性質と強度発現性

金沢大学大学院 学生員 ○本田貴子 金沢大学大学院 学生員 野口陽輔
金沢大学工学部 正会員 山戸博晃 金沢大学工学部 正会員 鳥居和之

1. はじめに

近年、溶融炉スラグをコンクリート用骨材としてリサイクル利用することが検討されている¹⁾。従来、溶融炉スラグのコンクリート用骨材としての適用性は施工性、強度特性などから検討されており、スラグ骨材の物理・化学的性質の特徴とコンクリートの強度発現性との関係を詳細に調べたものはほとんどない。

本研究は、全国各地の溶融炉から採取した 9 種類の溶融炉スラグの物理・化学的性質の特徴を調べるとともに、水冷スラグを使用したモルタルの強度発現性について実験的に検討したものである。

2. 溶融炉スラグの物理的性質及び内部組織

溶融炉スラグは、原材料(都市ゴミ、下水汚泥)および溶融炉の形式(コークスベッド方式、ガス溶融方式など)が異なる 9 種類の水冷スラグである。水冷スラグはほとんどのものが粒径 5mm 以下の砂状で製造された。溶融炉スラグ粒子の内部組織(SEM 像)を写真 - 1 に示す。粒子形状は全体的に角張っており、粒子内部には急激な温度変化により発生したひび割れやガスの発泡跡である空隙が存在した。また、製造時のスラグの粘性との関係でウィスカ状(針状)の粒子が観察されるものもあった。溶融炉スラグの物理的性質を表 - 1 に示す。溶融炉スラグは密度が大きく、吸水率が小さいのが特徴であり、骨材としての品質規格値はおおむね満足されていた。

表 - 1 溶融炉スラグの物理的性質

スラグ	溶融方式	原材料	密度 (g/cm ³)	吸水率 (%)	単位容積質量 (kg/l)	実積率 (%)
A	熱分解ガス化	都市ゴミ	2.89	0.49	1.67	57.7
B	表面溶融	下水汚泥	2.56	0.31	1.31	51.2
C	プラズマ	都市ゴミ	2.82	0.16	1.58	56.0
E	キルン式ガス化	都市ゴミ	2.77	0.35	1.83	63.4
F	コークスベッド	下水汚泥	2.97	0.38	1.59	62.0
H	アーク	都市ゴミ	2.68	0.16	1.69	62.8
I	表面溶融	都市ゴミ	2.71	0.82	1.49	54.9
L	旋回	下水汚泥	2.43	1.55	1.27	52.0
M	コークスベッド	下水汚泥	2.92	0.04	1.55	53.1

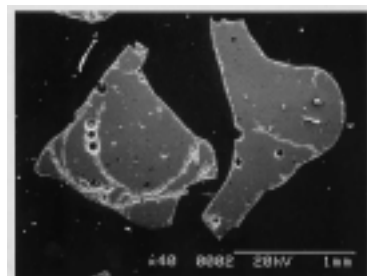
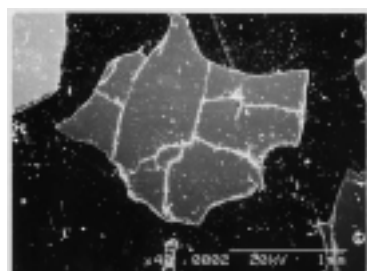
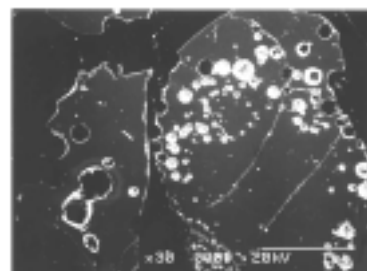


写真 - 1 スラグ粒子の内部組織
上：スラグ B 中：スラグ F
下：スラグ M

3. 水冷スラグを用いたモルタルの強度発現性

セメントの強さ試験(JIS R 5201)に準拠して、スラグ置換率 100%のモルタル供試体を作製し、圧縮および曲げ強度試験を実施した。モルタルの圧縮および曲げ強度試験の結果を図 - 1 および図 - 2 に示す。水冷スラグを用いたモルタルはスラグ自身のもつ欠損(ひび割れや空隙)の程度により圧縮強度および曲げ強度が標準砂のものよりも大きく低下する傾向にあった。しかし、水冷スラグの一部のもの(B、E、M)は材齢にともなう強度増加が認められた。これは、高炉水砕スラグ砂と同様な潜在水硬性の発揮によるものであり、スラグ粒子のガラス相の反応によりスラグ骨材の界面が緻密になり、セメントペーストとスラグ粒子との付着強さが増大したことによるものと考えられた。

キーワード：溶融炉スラグ、物理的性質、内部組織、強度発現、化学組成、潜在水硬性

連絡先(工学部土木建設工学科 〒920-8667 金沢市小立野 2-40-20 TEL076-234-4622 FAX076-234-4632)

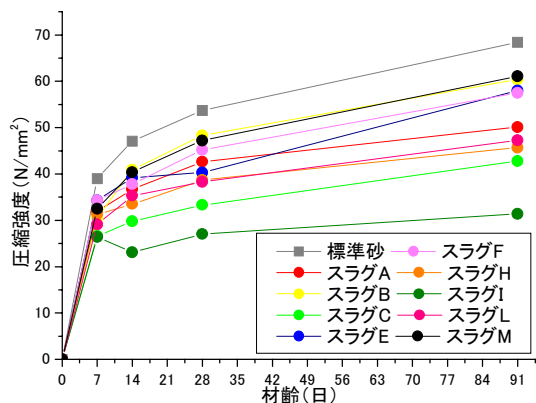


図 - 1 圧縮強度試験の結果

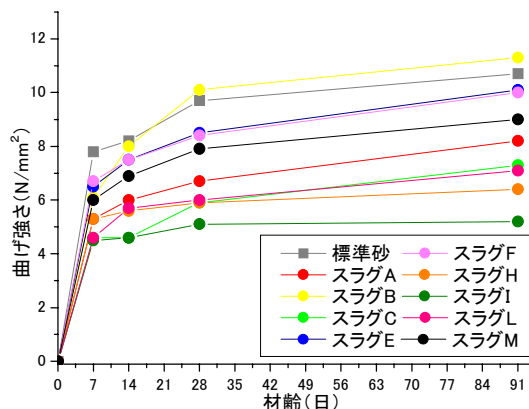


図 - 2 曲げ強度試験の結果

4. ガラス相の化学組成と潜在水硬性の有無

熔融炉スラグの塩基度（湿式化学成分分析より計算）とモルタルの圧縮強度、曲げ強度との関係を図 - 3 および図 - 4 に示す。初期材齢では両者の間に相関が認められないが、材齢 91 日ではスラグ I と M のものを除いて塩基度の大きなものほどモルタルの圧縮および曲げ強度が増大した。スラグ I は目視観察によりアルミニウム金属の混入が確認され、水素ガス発生の影響によりモルタルの強度が低下したものと考えられた。また、コークスベッド方式のスラグ M には遊離石灰や硫化鉄などの不安定な鉱物が残留している可能性があった。

熔融炉スラグのガラス相の化学組成を調べるために、鏡面研磨試料（粒径：1～2 mm）により SEM - EDX を実施した。熔融炉スラグのガラス相の化学組成（モル百分率）を図 - 5 に示す。スラグの潜在水硬性はガラス相の量とその化学組成に関係することが知られているが、水冷スラグ（B、C、F、M）はシリカ分に対してカルシウム分が多いガラス相であり、高炉水砕スラグ砂に類似した化学組成をもつことが判明した。これらの分析結果は、モルタルの強度試験の結果とも対応しており、熔融炉スラグのガラス相の化学組成から潜在水硬性の発揮の有無を推定できるものと考えられた。

5. まとめ

水冷スラグ粒子の内部にはひび割れや空隙などの欠陥が存在しており、水冷スラグのみを細骨材として使用したモルタルは標準砂モルタルと比較して圧縮および曲げ強度が低下した。一方、水冷スラグの中にはカルシウムやアルミナ分を多く含み、高炉水砕スラグ砂と類似したガラス相の化学組成をもつものもあり、これらのスラグには潜在水硬性の発揮が認められた。

参考文献

- 1) 佐々木肇他：廃棄物焼却灰溶融物のコンクリート骨材への有効利用技術，コンクリート工学，Vol.40，No.6，pp.14 - 20，2002.6

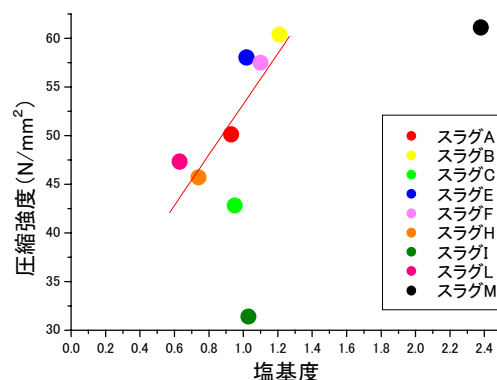


図 - 3 スラグの塩基度と圧縮強度

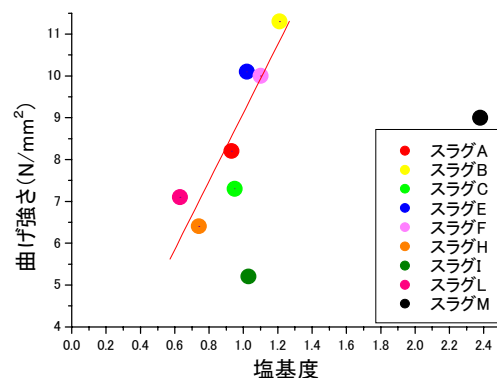


図 - 4 スラグの塩基度と曲げ強度

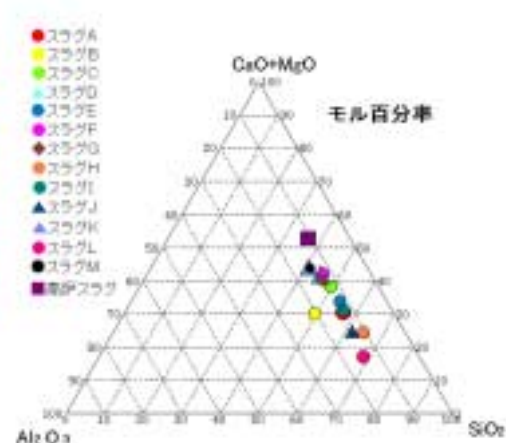


図 - 5 ガラス相の化学組成