

溶融炉スラグのコンクリート用細骨材としての利用に関する物理的・化学的性質

金沢大学工学部 正会員 ○山戸博晃
電源開発株式会社 正会員 鍵本広之

金沢大学大学院 学生員 野口陽輔
金沢大学工学部 正会員 鳥居和之

1. まえがき

ごみ焼却灰や下水汚泥を溶融処理し、スラグを製造する技術は、それらの減容化や安定化だけでなく、資源循環の取り組みとしても期待されている。しかし、溶融炉スラグは、ごみ焼却灰や下水汚泥の化学組成やスラグの製造過程により、物理的・化学的性質が大きく相違し、コンクリート用骨材としての利用を難しくしている¹⁾。

本研究は、溶融炉スラグの鉱物組成、物理的性質及びアルカリシリカ反応性を調べることで、溶融炉スラグを細骨材として使用した場合の基礎的性状について、溶融炉スラグの物理・化学的性質の特徴と関連づけて考察したものである。

2. 溶融炉スラグの化学成分及び鉱物組成

溶融炉スラグ（記号A, B, C, D）は採取地の異なる4種類のもので、製造時の温度履歴や原料の種類は不明である。溶融炉スラグの化学成分及びX線回折図を表-1及び図-1に示す。溶融炉スラグの化学成分は原料がごみ焼却灰か下水汚泥であるか、スラグの製造過程で石灰を混入しているか、などの条件により、化学成分における塩基度やアルカリ量が大きく相違している。重金属に関しては、亜鉛、銅、チタン及びクロムの含有が確認された。一方、溶融炉スラグの鉱物組成に関しては、スラグの温度履歴によりガラス相の量が大きく相違するとともに、結晶相として α -石英やゲーレンナイトが同定された。

表-1 溶融炉スラグの化学成分(%)

記号	Ig-loss	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CuO	P ₂ O ₅	Na ₂ O	K ₂ O
A	0.1以下	20.44	42.82	16.83	10.73	2.64	0.58	0.46	1.80	0.32
B	0.1以下	12.06	27.16	18.43	20.41	2.42	0.23	15.86	0.61	1.31
C	0.1以下	20.68	42.07	16.85	10.99	2.63	0.48	0.88	1.86	0.41
D	0.1以下	39.16	34.01	17.89	3.11	2.79	0.04	0.75	0.47	0.80

3. 溶融炉スラグの物理的性質

溶融炉スラグの物理的性質を表-2に示す。コンクリート工学協会の規格(案)¹⁾と比べて、溶融炉スラグは、粒子表面に気泡や亀裂が存在する特徴があるが、密度及び吸水率はいずれも規格値を満足した。また、単位容積質量及び実績率はスラグBのみが規格値を満足しなかった。とくに、スラグBは粒子の発泡現象が顕著であり、粒子の内部組織が多孔質であったことが影響していた。一方、硫酸ナトリウム安定性試験における損失質量は、徐冷滓であるスラグD以外のものは規格値を満足しなかった。通常の細骨材と同様に、吸水率が大きな溶融炉スラグほど硫酸ナトリウム安定性試験における損失質量が増大する傾向を示した。

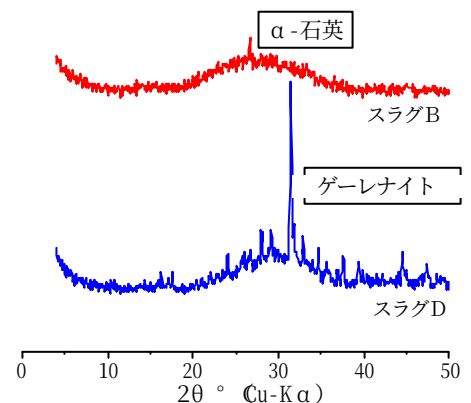


図-1 溶融炉スラグのX線回折図

表-2 溶融炉スラグの物理的性質

記号	密度	吸水率(%)	単位容積質量(kg/l)	実績率(%)	安定性(%)	有機不純物量	備考
A	2.91	0.5	1.67	57.7	21.7	淡黄色	黒色・細粒状・水砕スラグ
B	2.57	0.3	1.31	51.2	24.8	無色	黒色・細粒状・水砕スラグ
C	2.83	0.2	1.58	56.0	14.1	無色	黒色・細粒状・水砕スラグ
D	2.64	0.9	1.51	57.8	4.6	—	灰色・塊状・徐冷スラグ

キーワード：溶融処理、溶融炉スラグ、アルカリシリカ反応

連絡先：工学部土木建設工学科 〒920-8667 金沢市小立野2-40-20 Tel 076-234-4621 Fax 076-234-4632

4. 溶融炉スラグのアルカリシリカ反応性

溶融炉スラグはガラス相の量とその化学組成(シリカ含有率)によりアルカリシリカ反応性を有することが懸念される。化学法(JISA5308)の結果を図-2に示す。いずれの溶融炉スラグも、アルカリ濃度減少量及び溶解シリカ量ともに小さく、「無害」と判定された。また、ASTMC1260(温度 80℃の 1N・NaOH 溶液に浸漬養生)の結果を図-3に示す。1N・NaOH 溶液への浸漬の厳しい条件下でも、モルタルバーの膨張は全く認められず、また酢酸ウラニル蛍光法による破断面の観察でもゲルの生成が確認されなかったことから、今回使用したスラグに関しては骨材のアルカリシリカ反応性はないものと判定された。同様な結果は、モルタルバー法(JISA5308)及びデンマーク法(温度 50℃の飽和 NaCl 溶液に浸漬養生)でも確認された。

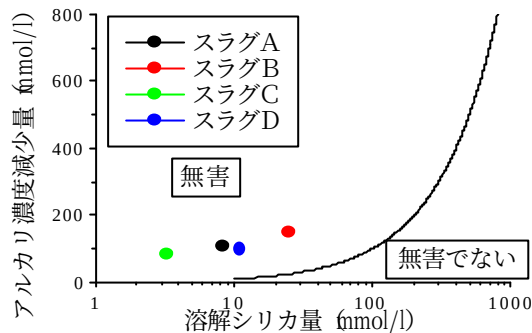


図-2 溶融炉スラグの化学法の結果

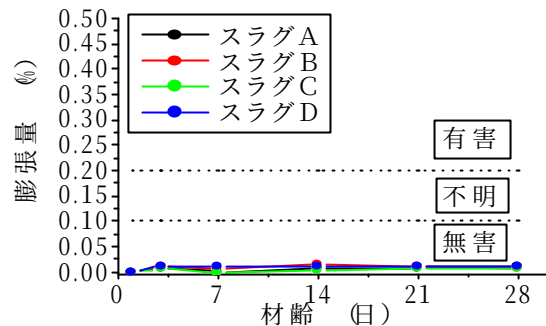


図-3 溶融炉スラグの ASTM C1260 の結果

5. モルタルの圧縮及び曲げ強度 モルタルの圧縮及び曲げ強度

度(JIS R5201)を図-4及び図-5に示す。溶融炉スラグの粒子表面は滑らかで、表面に気泡や亀裂が存在するために、標準砂と比較して圧縮強度及び曲げ強度ともに減少する。とくに、ガラスウィスカー(針状粒子)を多く含むスラグCはモルタルの練り混ぜが困難であるとともに、圧縮及び曲げ強度の低下が顕著であった。一方、スラグBは材齢にともない曲げ強度が大きく増大しており、28日材齢以後では標準砂の値を上回った。これは、高炉水砕スラグ砂と同様に、骨材の界面で反応が生じており骨材とセメントペーストとの付着性状が改善されたためと考えられる。長期材齢にてスラグ粒子界面の反応相の化学分析を実施し、強度発現のメカニズムを解明する予定である。

6. あとがき 今回の試験結果より、4種類の溶融炉スラグはアルカリシリカ反応性が無害であると判定された。しかし、製造時の温度履歴によりガラス相の反応性が大きく相違すると予想されるため、溶融炉スラグのアルカリシリカ反応性は必ず試験により確認するのが肝要である。また、溶融炉スラグは良質な細骨材と混合使用することにより、コンクリート用細骨材としてのリサイクル利用が可能であると考えられた。

<参考文献>

1)コンクリートへのリサイクル資材活用技術の標準化に関する調査研究委員会、リサイクル資材のコンクリートへの活用技術の標準化、コンクリート工学、Vol.39,No.10,pp53-59,2001.

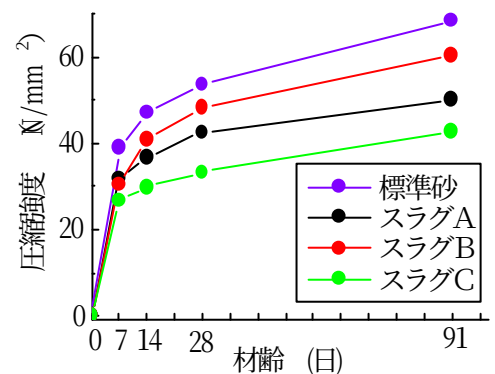


図-4 モルタルの圧縮強度試験の結果

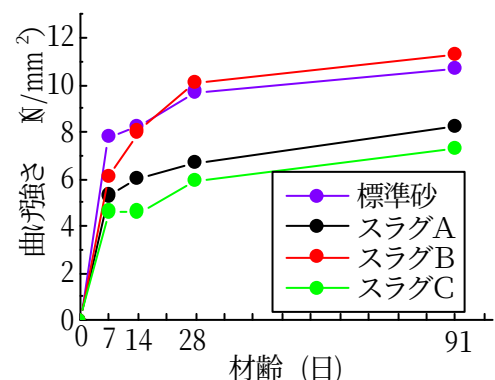


図-5 モルタルの曲げ強度試験の結果