

溶融炉スラグ骨材のアルカリシリカ反応性

金沢大学工学部 正会員 ○山戸博晃
金沢大学工学部 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 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、下水汚泥の化学組成やスラグの製造過程により化学成分及び鉱物組成が大きく相違しており、一般に使用されることが多い水冷スラグでは含有するガラス相の量とその化学組成によってはアルカリシリカ反応性を有することが懸念されている^{1)、2)}。

本研究は、全国各地の溶融炉から産出される溶融炉スラグの化学成分及び鉱物組成の特徴を調べるとともに、溶融炉スラグ骨材のアルカリシリカ反応性を化学法(JIS A 1145)及びモルタルバー法(ASTM C 1260、JIS A 1146、デンマーク法)により検討したものである。

2. 溶融炉スラグの物理的性質及び化学成分

溶融炉スラグは、原材料(都市ゴミ焼却灰、下水汚泥)及び溶融炉の形式(コークスベッド方式、ガス溶融方式など)が異なる12種類(略号A～L、水冷8種、空冷1種、徐冷3種)のものである。溶融炉スラグの物理的性質及び化学成分を表-1に示す。溶融炉スラグは、骨材の内部に気泡や亀裂が存在するものもあるが、密度や吸水率は一部のものを除いてスラグの規格値を満足した¹⁾。また、溶融炉スラグの化学成分は、原料が都市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、塩基度及びアルカリ含有量が大きく相違した。また、水冷スラグのものは徐冷や空冷と異なり多量のガラス相を含有しており、その中に重金属(亜鉛、銅、クロムなど)が塩化物や硫化物の形態で固溶されていた。

3. 溶融炉スラグのアルカリシリカ反応性

溶融炉スラグのアルカリシリカ反応性の評価を図-1及び表-2に示す。いずれの溶融炉スラグも、アルカリ濃度の減少量及び溶解シリカ量ともに小さく、化学法(JIS A 1145)では、スラグKを除いて「無害」と判定された。また、促進モルタルバー法(ASTM C 1260)における厳しい条件下(温度80℃の1N・NaOH溶液への浸漬)でも、材齢1ヶ月にて大きな膨張を示すものはなかった。さらに、試験終了後に酢酸ウラニル蛍光法により破断面を観察した結果でもASRゲルの呈色反応が確認されなかったことから、今回試験した溶融炉スラグに関しては骨材のアルカリシリカ反応性はほとんどないものと評価された。同様な結果は、モルタルバー法(JIS A 1146)及びデンマーク法(温度50℃の飽和NaCl溶液に浸漬)でも確認された。

表-1 溶融炉スラグの物理的性質及び化学成分

スラグ	原料	種類	密度 (g/cm ³)	吸水率 (%)	化学成分(%)						
					SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	P ₂ O ₅	Na ₂ O	K ₂ O
A	焼却灰	水冷	2.89	0.5	42.82	20.44	16.83	10.73	0.46	1.80	0.32
B	下水汚泥	水冷	2.56	0.3	27.16	12.06	18.43	20.41	15.86	0.61	1.31
C	焼却灰	水冷	2.82	0.2	42.07	20.68	16.85	10.99	0.88	1.86	0.41
D	下水汚泥	空冷	2.63	0.9	34.01	39.16	17.89	3.11	0.75	0.47	0.80
E	焼却灰	水冷	2.77	0.4	44.10	28.75	12.58	0.86	2.54	3.37	2.27
F	下水汚泥	水冷	2.97	0.4	40.48	35.64	5.32	11.47	0.01	0.8	0.29
G	焼却灰	徐冷	2.85	0.7	36.52	40.13	13.90	5.26	0.00	0.00	0.09
H	焼却灰	水冷	2.68	0.2	49.37	20.61	13.30	3.72	0.63	3.41	1.46
I	焼却灰	水冷	2.71	0.8	40.11	21.37	16.98	7.15	2.39	3.15	1.53
J	焼却灰	徐冷	2.68	0.0	51.10	17.62	16.89	0.89	0.61	5.72	1.85
K	下水汚泥	徐冷	2.46	0.2	30.54	35.30	20.51	1.56	6.27	—	0.52
L	下水汚泥	水冷	2.43	1.6	47.37	10.09	17.02	10.09	7.25	1.47	1.43
高炉スラグ	鉄鉱石	水冷	2.73	0.8	34.61	42.76	14.60	0.42	0.02	0.29	0.23
G ガラス	ガラス瓶	—	2.47	—	71.90	10.30	2.00	0.20	—	13.30	1.00
P ガラス	廃ガラス	—	2.20	—	82.60	0.10	2.30	0.10	—	4.00	0.00

溶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（粒子径:1〜2mm）に対してSEM-EDX分析を実施した。溶融炉スラグのガラス相の化学組成（モル百分率）を図-2に示す。ここでは、溶融炉スラグ以外に、潜在水硬性を有する高炉水砕スラグ及びアルカリシリカ反応性を有するグリーンガラス、パイレックスガラスの結果と比較している。溶融炉スラグのガラス相は、グリーンガラス、パイレックスガラスと比較して、アルミナ量はほぼ同程度であるが、シリカ量が少なく、

表-2 溶融炉スラグのアルカリシリカ反応性の評価

スラグ	化学法 (JIS A 1145)			促進モルタルバー法 (ASTM C 1260)	
	Sc (m mol/l)	Rc (m mol/l)	判定	膨張量 (%)	判定
A	8.4	60.9	無害	0.0074	無害
B	25.1	120.8	無害	0.0154	無害
C	3.3	23.9	無害	0.0042	無害
D	11.1	46.7	無害	0.0119	無害
E	6.3	26.2	無害	0.0063	無害
F	9.9	61.7	無害	0.0139	無害
G	7.7	53.3	無害	0.0035	無害
H	37.8	78.3	無害	0.0096	無害
I	59.4	130.4	無害	0.0175	無害
J	—	—	—	0.0053	無害
K	60.4	41.2	無害でない	—	—
L	84.5	120.3	無害	—	—
高炉スラグ	4.6	12	無害	—	—
G ガラス	668	-191	無害でない	—	—
P ガラス	1075	27	無害でない	—	—

カルシウム量が多いことが判明した。このような化学組成をもつガラスはたとえ多量に含有されていてもアルカリシリカ反応が生じにくいものと推察される。また、溶融炉スラグの中で高炉水砕スラグと化学組成の類似するものは潜在水硬性を有することが予想される。これらの分析結果は化学法やモルタルバー法の結果とも一致しており、溶融炉スラグのガラス相の化学組成より骨材のアルカリシリカ反応性や潜在水硬性の有無を推定できることを示している。

4. あとがき

今回試験した範囲では、溶融炉スラグはアルカリシリカ反応を生じる可能性が小さいことが判明した。しかし、溶融炉スラグは製造時の温度履歴によりガラス相の量や化学組成が大きく相違することが予想されるため、溶融炉スラグのアルカリシリカ反応性は化学法及びモルタルバー法により確認するのが肝要である。とくに、溶融炉スラグのシリカ量が70%以上の場合にはアルカリシリカ反応性を有する可能性があると考えられる。

本研究の一部は、地域産学官連携豊かさ創造研究開発プロジェクト“ほっとメルト”により行ったものである。

<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.

2) 山本親志他、高炉スラグ骨材コンクリートのアルカリシリカ反応に対する安定性、コンクリート工学年次講演論文集、第8回, pp157-160, 1986.

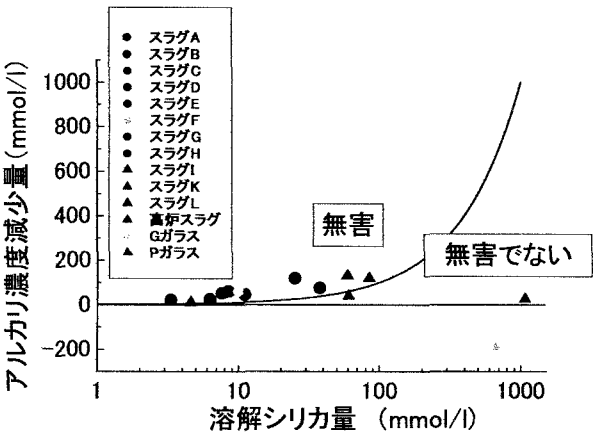


図-1 化学法の判定結果

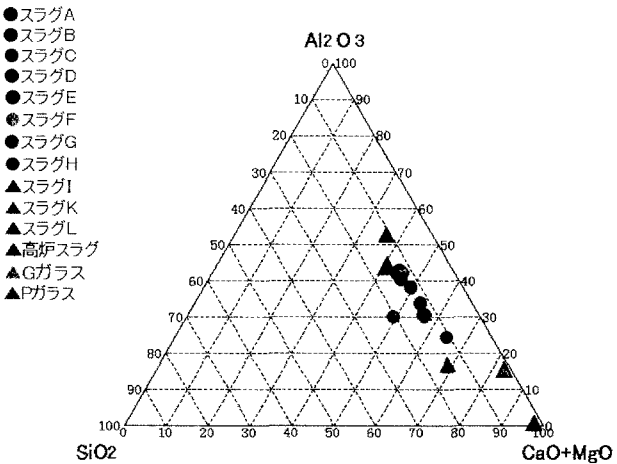


図-2 溶融炉スラグのガラス相の化学組成(%)