

溶融炉スラグ骨材の化学成分とアルカリシリカ反応性

金沢大学工学部 正会員 山戸博晃 金沢大学大学院 学生員 野口陽輔
金沢大学大学院 学生員 本田貴子 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することにより得られたスラグ骨材をリサイクル利用する取組みが始まっている^{1) 2)}。溶融炉スラグ骨材の化学成分及び鉱物組成は、ごみ焼却灰、下水汚泥の化学成分やスラグの製造過程により大きく相違しており、一般に使用される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りアルカリシリカ反応性を有することが懸念されている³⁾。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ガラス相の特徴を調べるとともに、溶融炉スラグのアルカリシリカ反応性を化学法(JIS A 1145)及び3種類のモルタルバー法(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. 溶融炉スラグの種類と化学成分

溶融炉スラグは、原材料(都市ゴミ、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13種類(略号A~M、水冷9種、空冷3種、徐冷1種)のものである。溶融炉スラグの化学成分を表-1に示す。溶融炉スラグの化学成分は、原料が都市ゴミか下水汚泥であるかなどの条件により大きく相違した。一方、スラグのX線回折分析及びSEM-EDXより、水冷スラグのものは非晶質なガラス相により構成されていた。それに対して、徐冷および空冷スラグは、温度履歴との関係で結晶相とガラス相とが混在していた。

表-1 溶融炉スラグの化学成分(%)

スラグ	SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	P ₂ O ₅	Na ₂ O	K ₂ O
A	42.82	20.44	16.83	10.73	0.46	1.80	0.32
B	27.16	12.06	18.43	20.41	15.86	0.61	1.31
C	42.07	20.68	16.85	10.99	0.88	1.86	0.41
D	34.01	39.16	17.89	3.11	0.75	0.47	0.80
E	44.10	28.75	12.58	0.86	2.54	3.37	2.27
F	40.48	35.64	5.32	11.47	0.01	0.8	0.29
G	36.52	40.13	13.90	5.26	0.00	0.00	0.09
H	49.37	20.61	13.30	3.72	0.63	3.41	1.46
I	40.11	21.37	16.98	7.15	2.39	3.15	1.53
J	51.10	17.62	16.89	0.89	0.61	5.72	1.85
K	30.54	35.30	20.51	1.56	6.27	-	0.52
L	47.37	10.09	17.02	10.09	7.25	1.47	1.43
高炉スラグ	34.61	42.76	14.60	0.42	0.02	0.29	0.23
Gガラス	71.90	10.30	2.00	0.20	-	13.30	1.00
Pガラス	82.60	0.10	2.30	0.10	-	4.00	0.00

3. 溶融炉スラグのアルカリシリカ反応性

3.1 化学法の結果

溶融炉スラグの化学法の結果を図-1に示す。化学法(JIS A 1145)では、スラグK以外のものは、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。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、溶融炉スラグととも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、アルカリシリカ反応性を示すグリーンガラス、パイレックスガラスと比較して、シリカ分が45~80%、カルシウム分が10~45%、アルカリ分が5~15%であり、シリカ分に対してカルシウム分を多く含んでおり、水冷スラグのガラス相はアルカリシリカ反応が発生しにくいものと考察

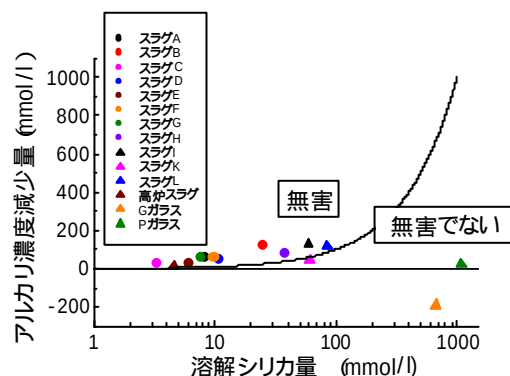


図-1 溶融炉スラグの化学法の結果

キーワード：溶融処理、リサイクル、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

された。一方、スラグのガラス相には比較的多量のアルカリが固溶されており、ガラス相の反応過程でアルカリが溶出されることもあるため、スラグを混合使用する際には混合使用する骨材のアルカリシリカ反応性にも注意する必要があった⁴⁾。熔融炉スラグのガラス相のシリカ量と化学法の溶解シリカ量の関係を図-3に示す。化学法の溶解シリカ量はガラス相のシリカ量に比例して増加しており、ガラス相のシリカ量が70%を超えるとアルカリシリカ反応が発生すると考えられた。

3.2 モルタルバー法の結果

熔融炉スラグのモルタルバー法の結果を表-2に示す。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。同様な傾向は、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）でも認められ、今回試験した熔融炉スラグ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。一方、JIS法を実施したスラグKのものは材齢70日に試験体にポップアウトが発生した。ポップアウトの骨材には板状結晶が生成しており、SEM-EDXよりモノサルフェート水和物であると同定された。

4. あとがき

熔融炉スラグ骨材のアルカリシリカ反応性を検討した結果、水冷スラグは多量のガラス相を含有するが、ガラス相の化学組成がパイレックスガラスやグリーンガラスと異なり、シリカ分に対してカルシウム分、アルミナ分を多く含む、安定な化学組成であり、アルカリシリカ反応が発生しにくいことが判明した。一方、徐冷または空冷スラグでは、不安定な成分として遊離石灰や硫化鉄を含有するものもあり、長期材齢でのコンクリートのポップアウトや膨張劣化に対する注意が必要であった。

本研究は、石川県地域産学官連携豊かさ創造研究開発プロジェクトにより実施したものである。

<参考文献>

- 1) 北辻政文他：都市ごみガス化熔融スラグのコンクリート用細骨材としての利用、コンクリート工學論文集、Vol.13, No.2, pp.89-97, 2002.5
- 2) 佐々木肇他：廃棄物焼却灰熔融物のコンクリート骨材への有効利用技術、コンクリート工學、Vol.40, No.2, pp.14-20, 2002.6
- 3) 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、コンクリート工學年次講演論文集、第8回, pp157-160, 1986.
- 4) 鳥居和之他：熔融炉スラグの物理・化学的性質とアルカリシリカ反応性、コンクリート工學大会年次論文集、Vol.25, 印刷中.

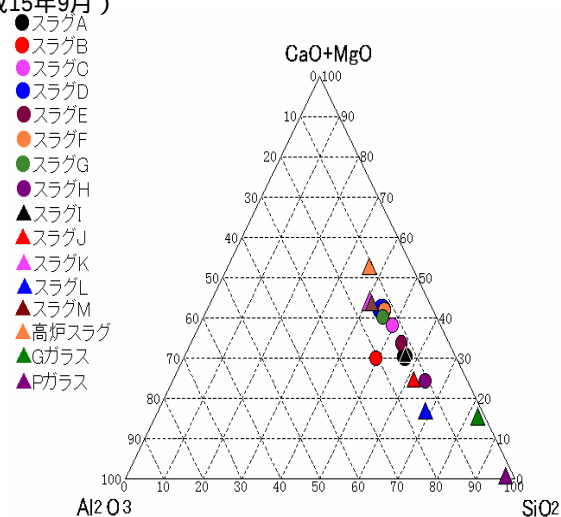


図-2 熔融炉スラグのガラス相の化学組成（モル百分率）

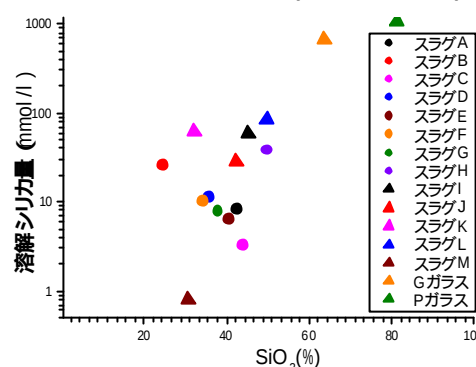


図-3 熔融炉スラグのガラス相のシリカ量と化学法の溶解シリカ量の関係

表-2 熔融炉スラグのモルタルバー法の結果

スラグ	ASTM C1260 ^{*1}		JIS A1146 ^{*2}		デンマーク法 ^{*3}	
	膨張量(%)	判定	膨張量(%)	判定	膨張量(%)	判定
A	0.007	無害	0.049	無害	0.022	無害
B	0.015	無害	0.025	無害	0.029	無害
C	0.004	無害	0.030	無害	0.026	無害
D	0.012	無害	0.025	無害	0.024	無害
E	0.006	無害	0.039	無害	0.030	無害
F	0.014	無害	0.040	無害	0.035	無害
G	0.004	無害	0.028	無害	0.034	無害
H	0.010	無害	0.028	無害	0.042	無害
I	0.018	無害	0.036	無害	0.044	無害
J	0.005	無害	0.027	無害	0.036	無害
K	-0.003	無害	0.026	無害	0.030	無害
L	0.000	無害	0.028	無害	0.028	無害
M	-0.004	無害	-	-	0.043	無害

*1 浸漬14日材齢, 0.2%以上「有害」, 0.2~0.1%「不明確」, 0.1%未満「無害」

*2 6ヶ月材齢, 0.1%以上「無害でない」, 0.1%未満「無害」

*3 浸漬3ヶ月材齢, 0.4%以上「有害」, 0.4~0.1%「不明確」, 0.1%未満「無害」