

一般廃棄物溶融スラグの化学性状に関する研究

長野 伸泰, 高橋 徹, 富田 恵一, 若杉 郷臣, 工藤 和彦, 表 良一*

Study on Chemical Properties of Molten Slag Derived from Municipal Solid Waste

Nobuhiro NAGANO, Touru TAKAHASHI, Keiichi TOMITA,
Motoomi WAKASUGI, Kazuhiko KUDO, Ryouichi OMOTE*

抄 録

一般廃棄物溶融スラグの化学的安全性について、JIS A 5031, A 5032に準拠し評価した。試験に供した6種類のスラグのうち2種類のスラグ試料が鉛含有基準を超える値を示したが、基準の3倍以内の含有量であり、他の骨材と混合することによってコンクリート用・道路用骨材として利用することができる。

4時間間隔でスラグを採取して、鉛など重金属元素含有量の日内・日間変動を調査した。同一の溶融固化施設においては、鉛含有量はサンプリング毎に平均値に対して倍～半分程度の範囲で変動するが、週単位・月単位ではほぼ一定の値を示す。

また、スラグ試料の鉛、亜鉛、スズ含有量の間にはそれぞれ正の相関が認められ、スラグの鉛含有量を高くしている原因は鉛 - 亜鉛 - スズを共存している物質である可能性が示唆された。

キーワード：一般廃棄物, 溶融スラグ, 溶出試験, 鉛, 重金属元素, 組成変動

Abstract

The Chemical safety of molten slag derived from municipal solid waste was evaluated by JIS A 5031 and A 5032 methods. 2 types of the slag (within 6 types inspected) exceeded by less than 300% of the safety Pb content standard value. As is allowed by temporary measure, these 2 types of slag are still capable of reutilizing for construction materials by mixing with and attenuating by other aggregates.

The variations of heavy metal contents of slag from melting-solidifying facilities were investigated by sampling every 4 hours. In the identical facilities, Pb content of each sample data vary from 50 to 200% of average, although weekly and monthly averages are almost constant.

There are positive correlations between Pb, Zn and Sn contents of the slag, which indicate that Pb-Zn-Sn coexistent material promotes high Pb content of the slag.

KEY-WORDS : municipal solid waste, molten slag, leaching test, lead, heavy metal elements, variation of composition

* 西いぶり広域連合

* Nishiiburi Kouiki Rengou

事業名：重点領域特別研究

課題名：一般廃棄物溶融スラグの建設資材化技術

1. はじめに

近年、廃棄物処分場の延命化やダイオキシン類排出規制の観点から一般廃棄物溶融固化処理施設の建設が盛んである。北海道においても、平成19年3月現在、9地区で一般廃棄物溶融固化施設が稼働しており、年間約27,300トンの溶融スラグが製造されている（平成17年度実績）。更に2地区で溶融固化施設建設が計画されていることからスラグ発生量は今後益々増加する傾向にあり、コンクリート用細骨材や道路用骨材として利用しリサイクル率を高めていく必要がある。

溶融スラグを建設資材として活用する上で重要な性状であるスラグの安全性を評価するため、稼働中の一般廃棄物溶融固化施設からスラグを採取し、化学性状および安全性に関する各種分析・試験を行った。得られた結果を以下に報告する。

2. 溶融スラグ化学性状の基準・規格等の変遷

一般廃棄物の溶融固化については、厚生省通知衛環21号（ごみ処理に係るダイオキシン類の削減対策、H9.1）により、ごみ処理施設の新設に当たり原則として溶融固化施設等を設置するよう指導が行われ、以後、一般廃棄物溶融固化施設数が急激に増加し、発生する溶融スラグ量も増大した。

溶融スラグはその品質が確保されれば、路盤材やコンクリート用骨材等に利用することが可能である。しかし、焼却灰等は鉛などを含有することがあり、生活環境への不安が溶融固化物の適正な利用を阻害する一因となっている。厚生省では溶融スラグの再生利用を促進するため、通達生衛発第508号（一般廃棄物の溶融固化物の再生利用の実施の促進について、H10.3）により、溶融スラグの利用によって土壤や地下水の汚染等を生じることのないよう溶融スラグに係る目標基準としてCd：0.01mg/L以下、Pb：0.01mg/L以下、Cr(VI)：0.05mg/L以下、As：0.01mg/L以下、T-Hg：0.0005mg/L以下、Se：0.01mg/L以下とする溶出基準（溶出試験方法：「土壤の汚染に係る環境基準について」平成3年環境庁告示第46号に定める方法）を定めた。

一方、各方面から溶融スラグを利用するためのJIS規格の制定が強く要望されたことから、H14年7月、コンクリート用細骨材や道路用骨材に関する標準情報（TECHNICAL REPORT）TR A 0016「一般廃棄物、下水汚泥等の溶融固化物を用いたコンクリート用細骨材」およびTR A 0017「一般廃棄物、下水汚泥等の溶融固化物を用いた道路用骨材」が公表された。TR A 0016では有害物質（Cd, Pb, Cr(VI), As, T-Hg, Se）溶出量は厚生省通達生衛発第508号で示された目標基準に適合すること、また、コンクリートに有害な影響を与える化学成分として酸化カルシウム、全硫黄、三酸化硫黄、金属鉄、塩化物量を挙げ、規定値に適合することとしている。一方、TR A 0017では有害物質溶出量について

はTR A 0016と同様の基準を規定し、化学成分に関しては金属鉄のみを規定している。

また、エコマーク認定基準「エコマーク商品類型No.109：タイル・ブロックVersion2.2」では、タイル・ブロックなど製品形態でのCd, Pb, Cr(VI), As, T-Hg, Se, B, Fについての溶出量および含有量が土壤汚染対策法施行規則に定める要件を満たすこととしている。

更に、スラグ類およびそれを用いた路盤材・アスファルト製品・コンクリート製品等の土壤・地下水など環境に対する安全性や人への直接摂取の可能性がある場合の安全性評価を行うための溶出量や含有量の試験方法に関する規格JIS K 0058(2005)「スラグ類の化学物質試験方法」が制定された(H17.3)。

平成18年7月、かねて検討を進めてきた日本工業規格 JIS A 5031「一般廃棄物、下水汚泥又はそれらの焼却灰を溶融固化したコンクリート用溶融スラグ骨材」および JIS A 5032「一般廃棄物、下水汚泥又はそれらの焼却灰を溶融固化した道路用溶融スラグ」が制定された。規定項目の主なものとしては、(1)有害物質溶出量試験はJIS K 0058-1の5に従い利用形態の有姿で行うこととし、Pb, Cd, Cr(VI), As, T-Hg, Se, F, Bの8項目について土壤環境基準値で規定する、(2)有害物質含有量試験はJIS K 0058-2に従う。最終製品の状態で土壤汚染対策法の指定基準を満足すれば安全上問題ないと考えられるが、当該JISでは溶融スラグ骨材単体の安全品質レベルを規定することになるので溶融スラグ骨材単体で同含有量基準を満足することを原則とした。但し、暫定的な措置として、溶融スラグ骨材単体で当該基準を満足しない場合でも、当該基準の3倍以内であれば、溶融スラグ骨材製造業者の責任の下で溶融スラグ骨材を他の骨材と混合したものによって当該含有量基準のみならずこの規格の全ての項目を満足する品質を保証できる場合

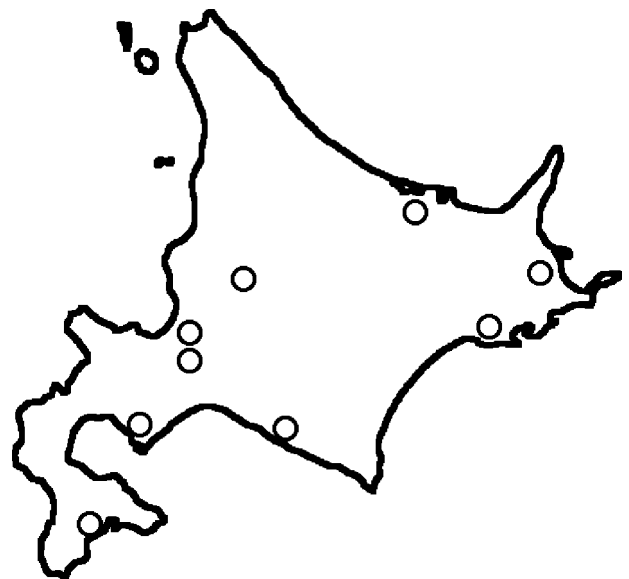


図1 一般廃棄物溶融固化処理施設の位置図

は適用を妨げるものではない。(3) 溶融スラグ骨材の化学成分のうち、コンクリートに有害な影響を与えるものとして酸化カルシウム(CaO)、全イオウ(T-S)、三酸化イオウ(SO₃)、金属鉄(Metal-Fe)、塩化物量(NaCl換算量)について、それぞれ基準値が設定されている。

3. 北海道における一般廃棄物溶融固化処理の概況

現在道内で稼働している9箇所の一般廃棄物溶融固化処理施設位置図を図1、施設概況を表1、また、溶融スラグ発生量の推移(H18年度以降は見込み量)を図2にそれぞれ示す。

表1 一般廃棄物溶融固化処理施設の概況¹⁾

分類	形式		スラグ冷却方式	稼働時期
	焼却炉	溶融炉		
焼却残渣溶融方式	プラズマ式溶融炉	ストーカー焼却炉 (300×3)ton/d	電気式溶融炉 (70×2)ton/d	H14. 12
		流動床焼却炉 (55×3)ton/d	電気式溶融炉 13ton/d	H13. 3
直接溶融方式	キルン式溶融炉	ガス化溶融炉 (105×2)ton/d		H15. 4
		ガス化溶融炉 (63×2)ton/d		H15. 4
		ガス化溶融炉 (70×2)ton/d		H14. 12
	シャフト炉式溶融炉	ガス化溶融炉 (19×2)ton/d		H15. 3
		ガス化溶融炉 (128×2)ton/d		H14. 7
	流動床式溶融炉	ガス化溶融炉 (120×2)ton/d		H18. 4
		ガス化溶融炉 (31×2)ton/d		H18. 9

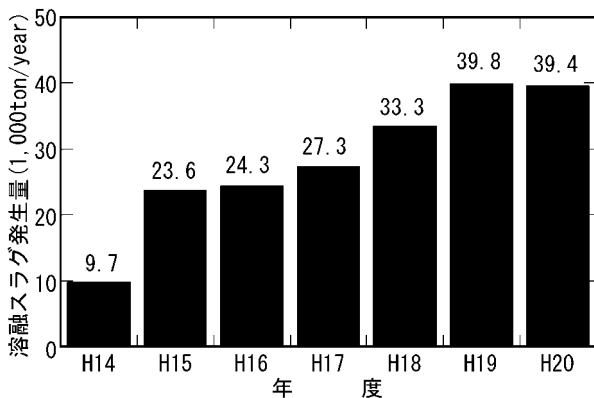


図2 道内の一般廃棄物溶融スラグ発生量の推移¹⁾

4. 実験方法

4.1 一般廃棄物溶融スラグ試料

化学性状分析試験に供した一般廃棄物溶融スラグ試料は平成17年6～8月時期に製造されたものをそれぞれ約1トン入手した。溶融スラグの種類は、当時稼働していた7施設のうち6事業所から採取したもので、キルン式ガス化溶融炉スラグ3種類(K-1, K-2, K-3)、プラズマ式電気溶融炉スラグ2種類(P-1, P-2)、シャフト炉式ガス化溶融炉スラグ1種類

(S-1)の合計6試料である。

これら溶融スラグは、黒色～褐色のガラス光沢を有する0.3～5mm程度のガラス片から構成されており、針状ガラスも散見される(図3)。スラグ試料S-1は白色の多発泡ガラス粒子や溶融した金属鉄粒子が混在しており、他の5種類のスラグとは外観が異なる(図3)。

また、一般廃棄物溶融スラグの化学組成や有害物質含有量の日内変動・日間変動を調べるためK-1, P-2試料について、H17.11.28～12.4の一週間、および、H18.7.11～7.14とH18.8.1～8.5の合わせて7日間それぞれ3～4時間間隔でスラグ採取を行った。

4.2 溶融スラグの化学性状及び安全性試験

溶融スラグの概略組成および化学組成や有害物質含有量の日内・日間変動に関しては蛍光X線分析法により、骨材として利用する際コンクリートに有害な影響を与える化学成分(酸化カルシウム、全イオウ、三酸化イオウ、金属鉄、塩化物量: NaClとして)に関してはJIS A 5011(コンクリート用スラグ骨材)に準拠し分析を行った。有害物質の含有量試験はJIS K 0058-2(スラグ類の化学物質試験法 - 第2部: 含有量試験方法)、有害物質溶出量試験はJIS K 0058-1(スラグ類の化学物質試験法 - 第1部: 溶出量試験方法)に準拠し分析を行った。

5. 実験結果

5.1 溶融スラグの化学組成

蛍光X線分析法による各溶融スラグの概略組成を表2に示す。各スラグともSiO₂, CaO, Al₂O₃を主成分としており、それらの合計量はいずれのスラグにおいても80%を越えている。また、鉛については0.01%程度含有されていると蛍光X線分析法においても検出できる。

コンクリートに有害な影響を与えることから含有量基準が設けられている酸化カルシウム(CaO)、全イオウ(T-S)、三酸化イオウ(SO₃)、塩化物量(NaClとして)に関しては、表3に示すように全てのスラグで基準値以内の値を示した。しかし、金属鉄についてはS-1スラグ試料が6.6%と基準値の1%を大きく越える含有量を示した。S-1スラグの溶融固化施設では、スラグ出滓孔を開孔するための鉄製器具が溶解しスラグに混入しており、このことが金属鉄高含有の原因となっている。従って、金属鉄含有の問題については、溶融炉のスラグ出滓操作の改善あるいは磁選機の増設などにより対処できると考えられる。

5.2 溶融スラグの有害物質含有量

溶融スラグの有害物質含有量測定結果を表4に示す。表から明らかなようにCd, Cr(VI), As, T-Hg, Se, F, B含

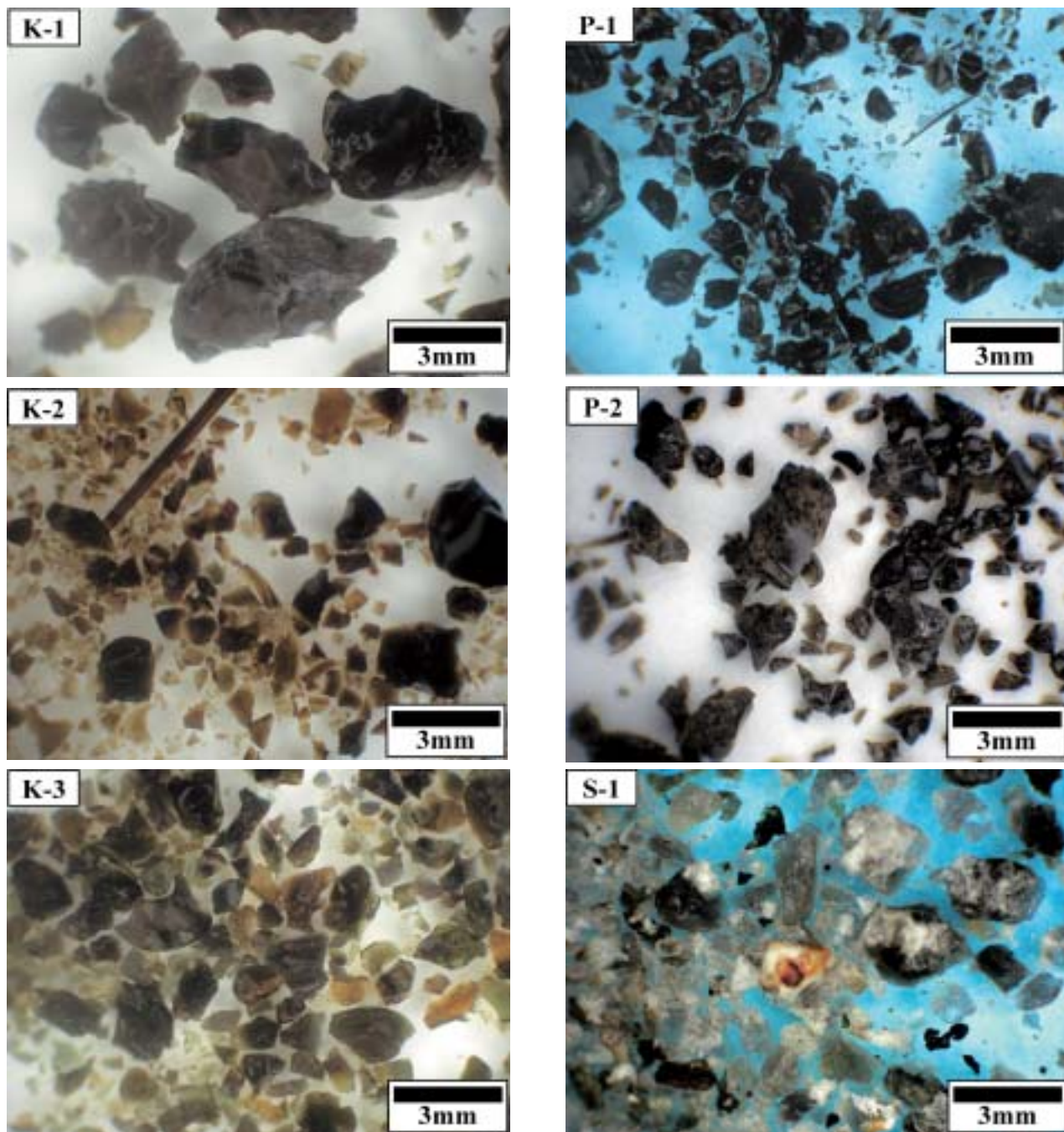


図3 各種熔融スラグの外観

表2 蛍光X線分析法による熔融スラグの概略組成(wt.%)

Element	K-1	K-2	K-3	P-1	P-2	S-1	Element	K-1	K-2	K-3	P-1	P-2	S-1
SiO ₂	53.9	39.6	50.3	48.3	32.4	40.8	S	0.11	0.02	0.12	0.80	0.53	0.68
CaO	19.0	29.0	19.0	20.0	31.0	32.0	Cl	0.03	0.01	0.03	0.10	0.80	0.01
Al ₂ O ₃	10.6	14.1	12.1	18.6	20.0	15.6	Cr ₂ O ₃	0.09	0.20	0.20	0.05	0.07	0.08
Fe ₂ O ₃	2.9	4.5	3.5	1.4	3.3	4.6	MnO ₂	0.30	0.30	0.30	0.20	0.20	0.20
Na ₂ O	5.5	2.8	5.6	3.9	1.5	1.7	NiO	0.02	0.03	0.03	—	0.01	0.01
MgO	2.8	3.4	2.9	3.3	4.0	2.6	CuO	0.20	0.30	0.20	0.03	0.20	0.10
P ₂ O ₅	1.4	2.9	2.0	0.7	3.4	0.2	ZnO	0.40	0.40	0.50	0.02	0.20	—
K ₂ O	1.3	0.3	1.5	1.1	0.1	0.3	PbO	0.05	0.01	0.05	—	0.01	—
TiO ₂	1.2	1.8	1.4	1.3	2.2	1.0							

表3 コンクリート用骨材として基準が設けられている化学成分の分析値(wt.%)

Element	CaO	全イオウ	SO ₃	金属鉄	NaCl
K-1	19	0.11	0.04	0.19	0.0007
K-2	29	0.02	<0.01	0.18	0.005
K-3	19	0.12	0.09	0.20	0.0002
P-1	20	0.80	0.08	0.18	0.004
P-2	31	0.53	0.02	0.10	0.04
S-1	32	0.68	0.09	6.6	0.0005
基準値	<45	<2	<0.5	<1.0	<0.04

表4 溶融スラグの有害物質含有量(mg/kg)

Element	Cd	Pb	Cr(VI)	As	Hg	Se	F	B
K-1	<20	380	<2	5	<0.001	<4	<80	<150
K-2	<20	110	<2	0.7	<0.001	<4	<80	<150
K-3	<20	490	<2	6.4	<0.001	<4	<80	<150
P-1	<20	<15	<2	<0.5	<0.001	<4	120	<150
P-2	<20	50	<2	1.2	<0.001	<4	530	<150
S-1	<20	<15	<2	<0.5	<0.001	<4	130	<150
基準値	150	150	250	150	15	150	4000	4000

有量はいずれのスラグにおいても有害物質含有量基準値を下回っている。一方、Pbに関してはP-1、S-1スラグは鉛含量下限値15mg/kgの分析条件下では検出されなかった。また、P-2スラグは50mg/kg、K-2スラグは110mg/kgと鉛含有量基準（150mg/kg）以下の値であったが、K-1スラグは含有量基準を超える380mg/kg、K-3スラグは含有量基準の3倍量（450mg/kg）を超える490mg/kgの鉛含有量を示した。なお、K-3スラグに関しては鉛含有量が基準の3倍量を超えたことから、平成18年12月および平成19年1月、再度鉛含有量を調べたところ、それぞれ260mg/kg、290mg/kgと450mg/kg以下の値を示した。

前述したように、溶融スラグをコンクリート用骨材、アスファルト混合物用骨材および路盤材として利用する場合、溶融スラグ単体での有害物質含有量が土壌汚染対策法の指定基準を満足していなければならない、鉛含有量に関しては150mg/kg以下であることを原則としている。なお、暫定的な措置として、溶融スラグ単体で当該基準を満足しない場合でも、当該基準値の3倍以内であれば、溶融スラグ骨材製造業者の責任の下で溶融スラグを他の骨材と混合することによって当該基準を満足すれば骨材等への適用を妨げるものではないとしている。このような観点から、有害物質含有量基準に関して各溶融スラグを判断すれば、K-2、P-1、P-2、S-1の各スラグは溶融スラグ単体で、また、K-1、K-3スラグは他の骨材と混合することによってコンクリート用骨材、アスファルト混合物用骨材および路盤材として利用することができる。

5.3 溶融スラグの有害物質溶出量

溶融スラグからの有害物質溶出量の測定結果および溶出基準値を表5に示す。表からCd、Pb、Cr(VI)、T-Hg、Se、F、B溶出量は、いずれのスラグにおいても溶出基準値を下回っていることが分かる。ヒ素に関しては、K-3スラグで11mg/Lと溶出基準付近の値を示した。再分析を行ったところ、8mg/Lの溶出量であった。そこで、平成18年12月および平成19年1月、再度K-3スラグのヒ素溶出量を調べたところ、いずれも4mg/Lであった。

以上述べたとおり、溶融スラグの有害物質溶出量に関しては、6種類全ての溶融スラグ試料が8項目の有害物質溶出量基準を満足した。

表5 溶融スラグの有害物質溶出量(μg/L)

Element	Cd	Pb	Cr(VI)	As	Hg	Se	F	B
K-1	<5	6	<40	<3	<0.02	<5	<200	<60
K-2	<5	<5	<40	<3	<0.02	<5	<200	<60
K-3	<5	<5	<40	8-11	<0.02	<5	<200	<60
P-1	<5	<5	<40	<3	<0.02	<5	<200	<60
P-2	<5	<5	<40	<3	<0.02	<5	<200	<60
S-1	<5	<5	<40	<3	<0.02	<5	<200	<60
基準値	<10	<10	<50	<10	<0.5	<10	<800	<1000

5.4 溶融スラグ有害物質含有量の日内および日間変動

これまでの試験結果から、溶融スラグには有害物質として特に鉛含有量が高いことが分かった。そこで、鉛など重金属元素含有量の日内・日間変動を調べるため、一週間にわたり3～4時間間隔でのスラグ試料サンプリングを行った。K-1試料およびP-2試料の蛍光X線分析による鉛含有量の測定結果を亜鉛、スズの分析結果とあわせて図4、5に示す。

鉛含有量は、K-1試料で210～820mg/kg、P-2試料でN.D.～180mg/kgの範囲で日内・日間変動する。7日間に亘りサンプリングしたスラグの鉛含有量平均値はK-1試料450mg/kg、P-2試料64mg/kgであるが、3～4時間毎に平均値に対し倍～半分程度の範囲内で大きく変動している。しか

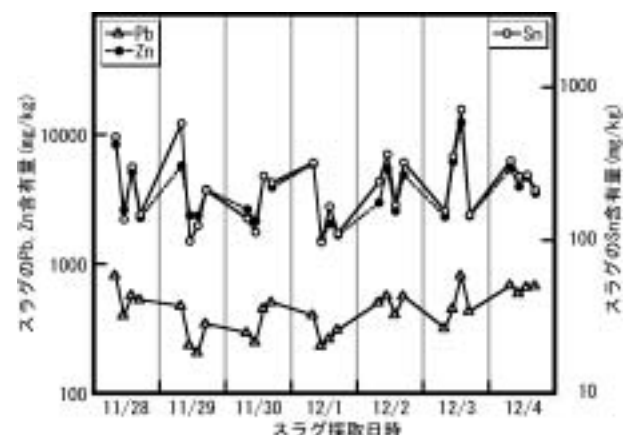


図4 K-1スラグの重金属含有量の経時変動

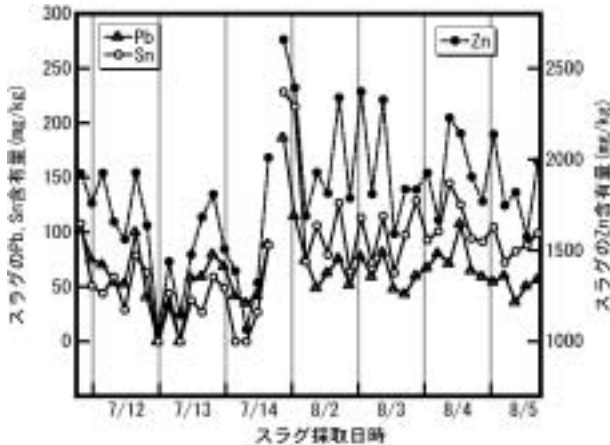


図5 P-2スラグの重金属含有量の経時変動

しながら、両スラグ試料の鉛含有量平均値は、表4に示すH17年6～8月採取試料の鉛含有量(K-1:380mg/kg, P-2:50mg/kg)とほぼ同等の値を示した。このことから、各溶融固化施設における溶融温度等運転状況の変更や溶融対象物(一般廃棄物)の性状変化が無ければ、その溶融固化処理施設で製造される溶融スラグの鉛含有量は、週単位・月単位ではほぼ一定の値を示すと考えられる。

また、両スラグ試料の鉛、亜鉛、スズ含有量を比較すると、図6、7に示すように、3元素の間にはそれぞれ正の相関が認められ、特に亜鉛とスズの相関は極めて高い。このことから、スラグの鉛含有量を高くしている原因は鉛-亜鉛-スズを共存している物質である可能性が示唆された。

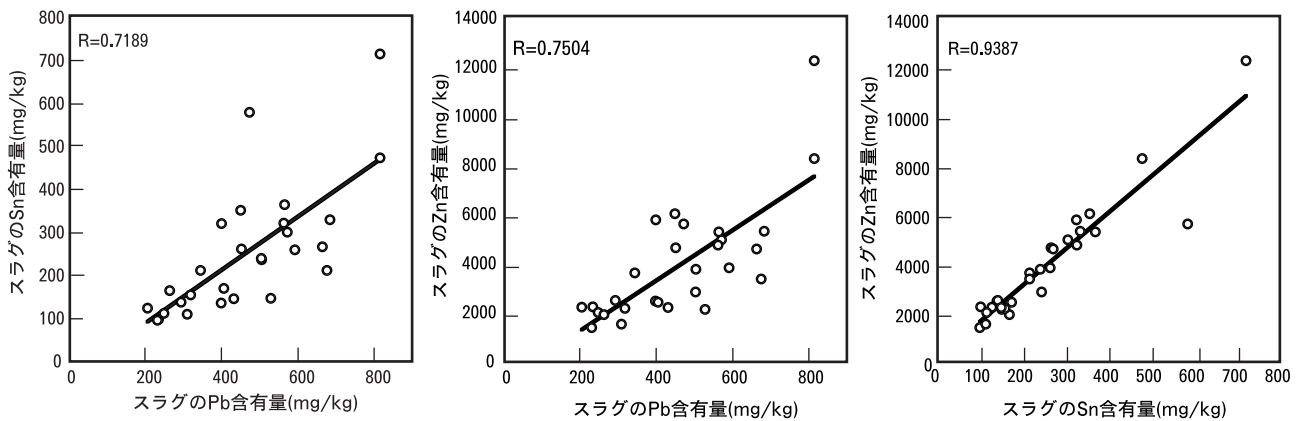


図6 K-1スラグの鉛-亜鉛-スズ含有量の相関

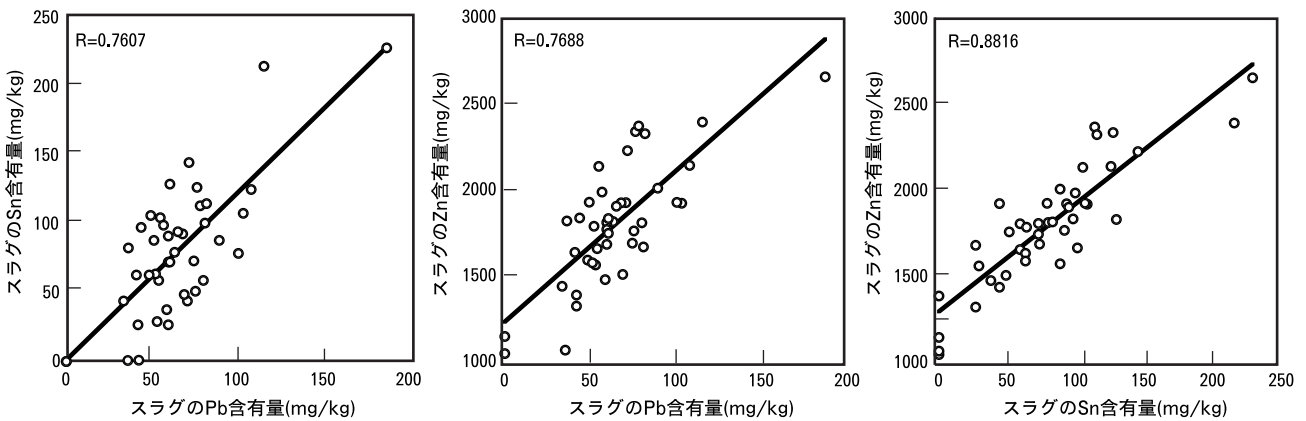


図7 P-2スラグの鉛-亜鉛-スズ含有量の相関

表6 K-1スラグの鉛含有量と溶出量

鉛含有量		鉛溶出量	
蛍光X線法 分析値	公定法 分析値	溶出量	溶出 基準値
(mg/kg)		(μg/L)	
820	800	<5	10
450	440	<5	10
320	260	<5	10

なお、図4に示すK-1試料の鉛含有量値は蛍光X線分析法による結果であり、本来はJIS K 0058-2(スラグ類の化学物質試験法-第2部:含有量試験方法)に準拠してスラグの鉛含有量を測定しなければならない。そこで、経時変動測定に用いたK-1スラグ試料の中から、鉛含有レベルの異なる3試料を対象に、JIS K 0058-2およびJIS K 0058-1に準拠し鉛含有量および溶出量試験を行った。その結果、表6に示すように公定法で測定した鉛含有量は蛍光X線分析結果とほぼ同等であるが、わずかに低値を示した。これは、蛍光X線分析値が全含有量を表しているのに対し、公定法での含有量は

1 mol/L塩酸による溶出量から求めた値であるためである。なお、鉛含有量800mg/kg程度のスラグ試料であっても鉛溶出量は基準値以下であり、溶融固化処理により鉛の溶出が十分に抑制されていることが分かった。

6. まとめ

道内で稼働している6箇所の一般廃棄物溶融固化施設から入手した溶融スラグの化学性状を調べた。得られた結果を以下にまとめる。

(1) 溶融スラグはSiO₂, CaO, Al₂O₃を主成分としている。コンクリートに有害な影響を与えることから含有量基準が設けられているCaO含有量は19~32%で、45%以下としているCaO含有量基準に適合した。また、全イオウ、三酸化イオウ、塩化物についても全てのスラグが基準を満足した。しかし、発錆の原因となる金属鉄については、S-1スラグが基準値の1%を大きく越える含有量を示した。スラグ出滓操作に起因するもので、溶融炉の運転操作の改善あるいは磁選機の増設などにより対処できると考えられる。

(2) 溶融スラグ有害物質含有量を測定した。Cd, Cr(VI), As, T-Hg, Se, F, B含有量はいずれのスラグにおいても基準値を下回った。Pbに関しては、4種類のスラグは含有基準値に適合し(2種類は定量下限値15mg/kg以下, 2種類は50~100mg/kg), スラグ単体で利用できること, 2種類のスラグは260~380mg/kgと基準値の3倍以内の値を示したことから他の骨材と混合することによって利用できることが分かった。

(3) 溶融スラグの有害物質溶出試験を行った。スラグ6試料のCd, Cr(VI), T-Hg, Se, F, B溶出量は全て溶出基準以下であった。Pb溶出量に関しても、鉛含有量基準を超えた2試料を含めスラグ6試料全て基準値以下であった。また、有害物質含有量の経時変動測定用にサンプリングしたK-1スラグのうち、鉛含有量が800mg/kgと高いスラグ試料においても鉛溶出量は基準値以下であり、溶融固化処理により安全性が許容できるレベルまで鉛の溶出が抑制されていることが分かった。なお、ヒ素溶出量が溶出基準10μg/L前後の値を示したK-3スラグ試料については、その後、2回溶出試験を行い、ヒ素溶出量4μg/Lと基準に適合する値を示した。

これら有害物質溶出試験結果から、いずれのスラグも有害物質溶出量基準に適合することが分かった。

(4) 約7日間にわたり3~4時間間隔でスラグをサンプリングして、鉛含有量の日内・日間変動について調べた。鉛含有量は、3~4時間間隔でのサンプリング毎に、平均値に対して倍~半分程度の範囲内で大きく変動するが、7日間の全試料の鉛含有量平均値は別時期に採取したスラグ試料と同程度の値を示した。このことから、各溶融固化施設における溶融

温度等運転状況の変更や溶融対象物(一般廃棄物)の性状変化が無ければ、その溶融固化処理施設で製造される溶融スラグの鉛含有量は、週単位・月単位ではほぼ一定の値を示すと考えられる。

また、スラグ試料の鉛、亜鉛、スズ含有量の間にはそれぞれ正の相関が認められ、スラグの鉛含有量を高くしている原因は鉛-亜鉛-スズを共存している物質である可能性が示唆された。このことについては、現在、一般ゴミを種々分別し、灰化後、有害物質の分析などを行っており、今後報告を行う。

謝辞

本研究を進めるに当たり札幌市環境局環境事業部、江別市生活環境部環境室、北見市市民環境部、渡島廃棄物処理広域連合、日高中部衛生施設組合、(株)エコバレー歌志内の皆様には、一般廃棄物溶融固化施設の概況・運転状況に関する有益な情報や溶融スラグのご提供、また、一日数回にわたるスラグ試料サンプリング等にご協力いただきましたことを深く感謝いたします。

なお、有害物質含有量並びに溶出量測定に用いた高周波プラズマ発光分析装置は競輪補助事業により整備された装置です。ここに記して、深謝いたします。

引用文献

- 1) 北海道環境生活部環境室循環型社会推進課：道内における溶融スラグの有効利用について、(2006)
- 2) 日本規格協会：標準情報 TR A 0016：2002「一般廃棄物、下水汚泥等の溶融固化物を用いたコンクリート用細骨材」、(2002)
- 3) 日本規格協会：標準情報 TR A 0017：2002「一般廃棄物、下水汚泥等の溶融固化物を用いた道路用骨材」、(2002)
- 4) (財)日本環境協会 エコマーク事務局：エコマーク認定基準「エコマーク商品類型 No.109 タイル・ブロック Version2.2」、(2006)
- 5) 日本工業規格 K 0058：2005「スラグ類の化学物質試験方法 - 第1部,第2部」、(2005)
- 6) 日本工業規格 A 5031：2006「一般廃棄物,下水汚泥又はそれらの焼却灰を溶融固化したコンクリート用溶融スラグ骨材」、(2006)
- 7) 日本工業規格 A 5032：2006「一般廃棄物,下水汚泥又はそれらの焼却灰を溶融固化した道路用溶融スラグ」、(2006)