

都市ごみ溶融スラグの重金属溶出量と含有量の変動に関する研究

宮崎大学工学部 (学) ○原田佳典, (正) 関戸知雄, (正) 土手裕, (正) 尾上幸造, (正) 中澤隆雄
宮崎県環境衛生研究所 中村公生, 富山幸子

1. はじめに

都市ごみ溶融処理から発生する溶融スラグは、建設資材として有効利用が期待されている。一方、都市ごみ溶融スラグはごみを原料とするため有害重金属含有量の変動が予想され、利用促進の阻害要因の一つとなる可能性がある。高橋ら¹⁾は、1週間の溶融スラグ中有害物質含有量の変動を調べ、変動が大きいことを示した。また、中田ら²⁾は、一年間にわたる溶融スラグの物理的性状変動について明らかにした。しかし、金属溶出量の長期的変動に関する知見は少ない。そこで本研究では、都市ごみ溶融施設から発生する溶融スラグを約1年間にわたって採取し、攪拌溶出試験および1M HClを用いた含有量試験を行うことで金属溶出量の変動や溶出した金属間の濃度関係を明らかにし、重金属溶出抑制手法の提案や溶出メカニズムの解明の基礎情報とすることを目的とした。

2. 研究方法

2.1 試料概要

試料の溶融スラグは2007年4月～2008年3月の期間、A施設からおおよそ週1回の間隔で合計44の試料を採取した。A施設では都市ごみ（可燃ごみ、破碎選別施設から発生する可燃性残渣等）をストーカ炉（579t/日）で焼却し、発生した焼却灰及び飛灰をプラズマ式灰溶融炉（70t/日）で溶融している。発生した溶融スラグは水砕されている。

2.2 実験方法

採取した溶融スラグに対し、コンクリート骨材および道路用材料利用に関するJIS（JIS A 5031, JIS A 5032）に準拠した、有害物質溶出量（SLA）および含有量試験（SCH）を行った。SLAは攪拌溶出試験（JIS K0058-1の5）を用いた。測定項目はPb, Cd, T-Cr, As, Se, B, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, Mo, Ag, Sn, Sb, Baとし、ICP-MS（Thermo Scientific X-series2）により測定した。同一試料から3つの試料を分取した（繰り返し3回）。

3. 結果と考察

3.1 重金属の週間変動

図1にPbの溶出試験結果の1週間ごとの変動を示す。図中のデータは、繰り返し3回の試料の平均値を示す。定量下限値は $0.1 \mu\text{g/L}$ である。最小値 $0.15 \mu\text{g/L}$ 、最大値 $5.00 \mu\text{g/L}$ （平均 $0.73 \mu\text{g/L}$ 、標準偏差 $0.85 \mu\text{g/L}$ ）であった。多くの試料の結果は $1 \mu\text{g/L}$ 以下と、非常に低濃度ではあるが、最大値と最小値には約30倍の大きな変動があった。SLAの結果はすべての試料でJIS基準値（ $10 \mu\text{g/L}$ ）以下であり、道路用のアスファルト骨材およびコンクリート骨材としての利用には問題がないことが明らかになった。図2にCdの溶出試験の結果を示す。最小値 $0.05 \mu\text{g/L}$ 、最大値 $5.9 \mu\text{g/L}$ （平均 $0.93 \mu\text{g/L}$ 、標準偏差 $0.40 \mu\text{g/L}$ ）であった。最大値と最小値では100倍以上の違いがあり、Pb以上に変動が大きい。JIS基準値である $10 \mu\text{g/L}$ を超える試料はなかった。その他の元素も変動が大きく、一週間という間隔でもスラグか

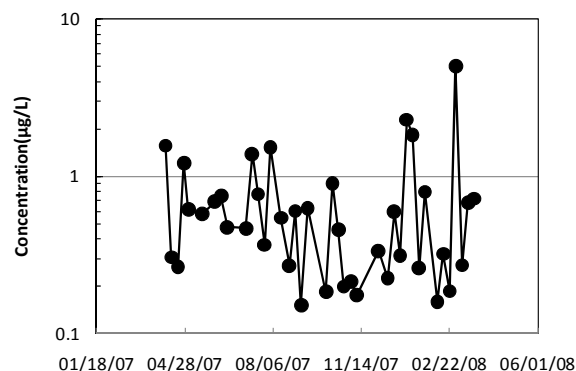


図1 Pb 溶出濃度週間変動

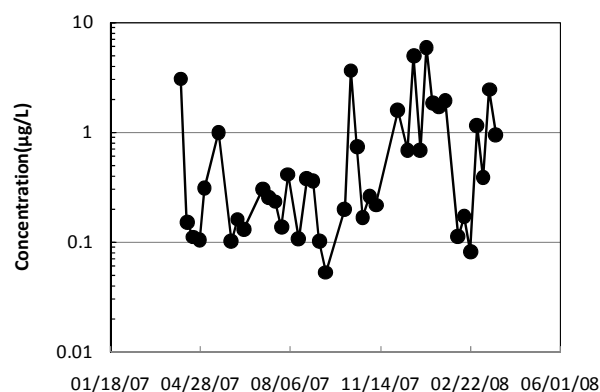


図2 Cd 溶出濃度週間変動

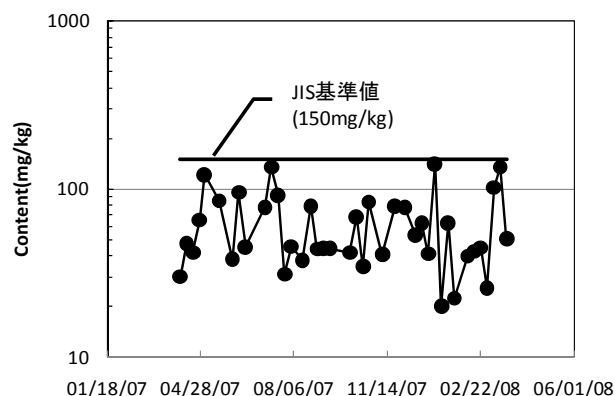


図3 Pb 含有量週間変動

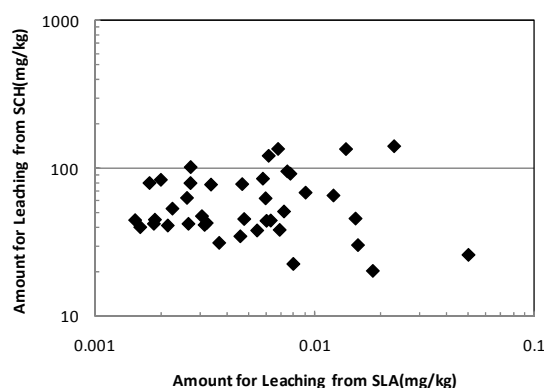


図4 Pbに関する溶出試験および含有量試験の比較

表 1 攪拌溶出試験による金属溶出量測定結果の相関行列

	Pb	Cd	Cr	As	Se	B	Mn	Co	Ni	Cu	Zn	Mo	Ag	Sb	Ba
Pb	1.00														
Cd	0.34	1.00													
Cr	0.01	-0.18	1.00												
As	0.11	-0.21	0.18	1.00											
Se	0.30	0.37	0.31	0.06	1.00										
B	0.25	0.61	0.05	-0.05	0.73	1.00									
Mn	0.05	0.77	-0.21	-0.33	0.12	0.31	1.00								
Co	0.08	0.58	-0.11	-0.25	0.02	0.14	0.68	1.00							
Ni	0.16	0.65	0.15	-0.28	0.14	0.25	0.62	0.65	1.00						
Cu	0.32	0.45	-0.13	-0.22	-0.04	0.02	0.33	0.64	0.52	1.00					
Zn	0.53	0.67	-0.19	-0.19	0.02	0.08	0.49	0.41	0.44	0.57	1.00				
Mo	-0.09	-0.04	0.64	0.11	0.36	0.42	-0.12	-0.08	0.18	-0.18	-0.39	1.00			
Ag	-0.16	-0.06	-0.13	0.01	-0.07	0.04	0.03	-0.10	-0.16	-0.12	-0.17	-0.08	1.00		
Sb	-0.27	-0.48	0.51	0.28	0.16	-0.05	-0.28	-0.23	-0.18	-0.26	-0.56	0.56	-0.03	1.00	
Ba	0.03	0.59	0.14	-0.48	0.41	0.56	0.68	0.47	0.52	0.35	0.18	0.34	0.04	0.00	1.00

表 2 含有量試験による金属溶出量測定結果の相関行列

	Pb	Cd	Cr	As	Se	B	Mn	Co	Ni	Cu	Zn	Mo	Ag	Sn	Sb	Ba
Pb	1.00															
Cd	0.82	1.00														
Cr	0.24	0.30	1.00													
As	0.22	0.41	0.45	1.00												
Se	0.21	0.53	0.55	0.72	1.00											
B	0.26	0.41	0.69	0.58	0.70	1.00										
Mn	0.28	0.48	0.78	0.69	0.78	0.83	1.00									
Co	0.45	0.37	0.77	0.46	0.49	0.54	0.69	1.00								
Ni	0.73	0.46	0.41	0.21	0.13	0.22	0.31	0.68	1.00							
Cu	0.27	0.09	0.15	0.38	0.00	0.06	0.10	0.13	0.41	1.00						
Zn	0.72	0.59	0.60	0.22	0.37	0.51	0.59	0.75	0.64	0.04	1.00					
Mo	0.54	0.31	0.65	0.35	0.26	0.37	0.50	0.84	0.81	0.50	0.70	1.00				
Ag	0.28	0.26	0.43	0.70	0.40	0.37	0.48	0.38	0.46	0.82	0.16	0.55	1.00			
Sn	0.40	0.07	-0.17	-0.01	-0.38	-0.28	-0.33	-0.08	0.52	0.70	-0.04	0.28	0.44	1.00		
Sb	0.57	0.40	0.21	0.39	0.16	0.16	0.20	0.27	0.67	0.84	0.29	0.54	0.77	0.74	1.00	
Ba	0.21	0.46	0.66	0.68	0.79	0.92	0.81	0.51	0.17	0.03	0.44	0.31	0.41	-0.29	0.17	1.00

らの元素溶出濃度は大きく変動することが分かった。

図 3 に JIS A 5032 による含有量試験の結果を、Pb について示す。最小値 20.1mg/kg, 最大値 141mg/kg (平均 62mg/kg, 標準偏差 31.8mg/kg) であった。溶出試験結果と同様に変動は大きく、最大値と最小値で約 7 倍の違いがあった。JIS の基準値は 150mg/kg であり、いずれの測定値もこれを超えていないが、100mg/kg を超える試料もあった。濃度が高くなるピークを抑えるために、一カ月程度の期間スラグをストックして品質を平滑化することで、重金属含有量を低く保つことが可能であると思われる。

3.2 溶出試験と含有量試験結果の関係

図 4 に、同一日に採取した試料の Pb の SLA と SCH の結果の関係を示す。横軸は SLA の結果をスラグあたりの Pb 溶出量 (mg/kg) に換算して示した。この結果より、SLA と SCH による Pb の溶出量には相関がみられず (相関係数-0.01)、Pb 含有量が高い試料でも蒸留水による溶出試験で多くの Pb が溶出するわけではないことが分かった。Cd の溶出量と含有量は相関係数が 0.67 と高く、含有量が高いと溶出試験結果も高くなる傾向がみられた。しかし他の元素は Pb 同様に SLA と SCH の結果に相関が非常に低かった。

3.3 元素間の溶出濃度および含有量の相関関係

表 1 に SLA の結果の各元素濃度の相関行列を示す。

各元素間の相関関係はあまり高くなく、各元素の溶出濃度はそれぞれが独立していることが分かった。表 2 に SCH の結果の各元素濃度の相関行列を示す。SLA に比べて相関係数の高い元素の組み合わせが多いことが分かる。Pb 濃度が高いスラグには Ni や Zn, Cd が多く含まれていた。これより、スラグには比較的重金属を高濃度に含有する物とそうでないスラグが存在する可能性が示唆された。

4. まとめ

本研究により、A 施設から排出される溶融スラグは JIS の溶出基準と比較しても有害物質濃度は低く、溶出量に関してはコンクリート骨材やアスファルト骨材としての利用に問題がないことがわかった。今後は他の試験の結果と合わせて、安全な環境中での利用のための知見の蓄積が課題となる。

参考文献：1) 高橋ら：一般廃棄物溶融スラグの有害物質評価とその対策，第 18 回廃棄物学会研究発表会講演論文集，pp. 643-645，2007，2) 中田ら：生コンに用いるごみ溶融スラグ細骨材の物理的性質に関する検討，第 18 回廃棄物学会研究発表会講演論文集，pp. 638-640，2006