

B-38

重金属溶出特性からみた都市ごみ焼却灰再生製品の安全性評価

長岡技術科学大学大学院 ○三上純 姫野修司 小松俊哉 藤田昌一

1. 研究背景および目的

現在、廃棄物の減量化ならびに資源の有効利用の観点から、焼却灰を資源として有効利用する技術が開発されている。焼却灰の有効利用方法としては、熔融・焼成処理により熔融スラグや焼成固化物を製造し、路盤・路床材として使用する一次資材分野、熔融スラグや焼成固化物をブロックなどの原料の一つとして使用する二次資材分野などがあるが、再生製品中に含有する有害物質の溶出に伴う環境汚染が懸念され、再利用が十分に行われているとはいえない。また、再生製品中の有害物質の溶出挙動についても明らかにされておらず、熔融スラグ・焼成固化物が適した利用用途に用いられていないことも問題となっている。

そこで本研究では、実施設から収集した熔融スラグ・焼成固化物 20 試料について、熔融スラグの利用判定に用いられる環境庁告示 46 号法試験と、物質から溶出する最大量を把握できると考えられているアベイルティ試験を実施し、両試験における鉛の溶出挙動を把握した。また、酸中和容量 (Acid Neutralizing Capacity) に着目し、酸中和容量と鉛溶出との関係について検討を行った。

2. 実験

2.1 実験試料

実験試料は、現在稼動している熔融・焼成施設から熔融固化物 18 種類 (水冷スラグ 10 種類、空冷スラグ 2 種類、徐冷スラグ 6 種類)、焼成固化物 2 種類を収集した。各試料の再生処理条件を表 1 に示す。

表 1 熔融スラグ・焼成固化物の再生処理条件

試料名	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
再生方法	熔融	熔融	熔融	熔融	熔融	熔融	熔融	熔融	熔融	熔融
熱処理温度 (°C)	1300	1350	1250	1300	1400	1300	1700	1300	1350	1100
熱処理雰囲気	還元	還元	還元	還元	不明	酸化	不明	還元	還元	還元
冷却方法	水冷	水冷	水冷	水冷	水冷	水冷	水冷	水冷	水冷	水冷
試料名	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
再生方法	熔融	熔融	熔融	熔融	熔融	熔融	熔融	熔融	焼成	焼成
熱処理温度 (°C)	1500	1400	1400	1500	1700	1000	1500	1500	1150	1000
熱処理雰囲気	還元	還元	酸化	還元	還元	還元	還元	還元	酸化	不明
冷却方法	空冷	空冷	徐冷	徐冷	徐冷	徐冷	徐冷	徐冷	徐冷	徐冷

2.2 実験方法

環境庁告示 46 号法試験: 粒径 1.7~2mm に調整した熔融スラグ、焼成固化物を試料として、環告 46 号法に定める方法に準拠して試験した。

アベイルティ試験: 粒径 75~125 μ m に調整した熔融スラグ、焼成固化物を試料として、NEN7341 に定める方法に準拠して試験し、pH7.4 に維持するのに要した硝酸の量から各試料の酸中和容量を算出した。

含有量試験: 底質調査方法に定める王水分解法を用いて試験した。

3. 結果と考察

3.1 環告 46 号法およびアベイルティ試験

表 2 に鉛の含有量、環告 46 号法、アベイルティ試験結果を示す。なお、環告 46 号法試験の溶出量 (mg/kg) を 0.1 倍すれば、溶出濃度 (mg/L) が得られる。

環告 46 号法では、表 2 に示してはいないがカドミウム・6 価クロムについては、全ての試料において溶出基準値 (カドミウム: 0.1mg/kg、6 価クロム: 0.5mg/kg に相当) を下回った。鉛では熔融スラグにお

いて目標基準値¹⁾ (0.1mg/kg に相当) を超過する試料が多数確認されたが、焼成固化物においては2試料ともに基準値を満足していた。基準値を超過している溶融スラグについて、熱処理温度や雰囲気、冷却方法など再生処理条件との関係を調査したが、溶融条件が多様であるうえ、原料としている灰組成が異なり、明確な関係を確認することはできなかった。

ア・イ・レ・リ・エ試験では、今回実験に用いた20 試料のうち、10mg/kg 以上の溶出量を示すものと、7mg/kg 未満の溶出量を示すものに大きく分かれ、前者の多くが水冷スラグであった。また、各スラグにおける溶出量は、水冷スラグ>空冷スラグ>徐冷スラグの傾向となることが確認できた。これは、冷却方法によるスラグの結晶化に起因しているものと考えられたため、徐冷スラグで且つ高い鉛含有量を持つ M スラグについて X 線回折分析を行ったが、結晶成分は同定されなかった。したがって、結晶化によるスラグ骨格の安定化以外にも重金属溶出に影響を及ぼす因子が存在するものと考えられた。

また、両溶出試験において鉛溶出量と含有量の関係では相関関係は得られず、試料により大きく異なる挙動を示した。

3.2 酸中和容量と鉛溶出の関係

図 1 に酸中和容量とア・イ・レ・リ・エ試験における鉛の溶出率（溶出量/含有量）の関係を示す。酸中和容量とは、試料が酸を中和する力の大きさのことで、pH7 までの酸中和容量を ANC7、pH4 までの酸中和容量を ANC4 として、その合計を ANC とした。

環告法の初期 pH と酸中和量の関係では、大略的には高 pH になる試料の酸中和容量が大きい傾向があるが、なかには逆転しているものも確認できた。また、ほぼ全ての試料において ANC7 までの酸中和容量は小さく、試料による差は確認できなかった。しかし、ANC4 までの酸中和容量については試料に

より大きな差が生じており、同じ空冷スラグである K・L においては、前者が 0.143meq/g、後者が 1.989meq/g と 10 倍以上の差が生じていた。酸中和容量の大きさは、シリカやカルシウムなど試料中に存在する主要イオンの溶出量に依存し、酸中和容量の大きな試料では試料の崩壊が進むことから構成元素の溶出率が高くなることが報告されている²⁾。しかし、本実験においては酸中和容量の大きさと鉛溶出率の間に明確な関係を確認することはできず、酸中和容量の大きさ以外にも試料骨格の安定性に影響を及ぼす因子が存在する可能性が示唆された。

表 2 鉛の含有量と溶出試験の結果

試料名	含有量	環告46号法		ア・イ・レ・リ・エ試験	
		溶出量	pH	溶出量	ANC
A	68	0.20	7.48	3.8	0.135
B	153	N.D.	8.95	5.5	1.281
C	127	0.10	6.82	13.7	0.422
D	427	N.D.	9.26	11.7	1.155
E	343	0.30	9.19	4.9	0.468
F	195	0.12	6.52	16.1	0.218
G	66	0.23	8.73	2.3	0.331
H	154	0.26	10.09	2.5	0.573
I	145	0.23	9.15	3.8	0.143
J	265	0.17	9.25	2.5	0.143
K	97	0.10	8.71	2.1	0.174
L	181	0.22	9.57	4.2	1.989
M	557	0.11	8.90	3.3	0.281
N	71	0.20	9.52	1.5	0.155
O	72	0.12	9.60	2.1	0.436
P	50	0.15	9.17	2.5	0.387
Q	342	0.21	9.08	11.4	0.298
R	79	0.18	9.66	2.7	0.59
S	657	N.D.	9.90	7.4	0.422
T	259	N.D.	9.68	5.7	0.219

※含有量・環告46号法・ア・イ・レ・リ・エ試験：mg/kg、ANC：meq/g

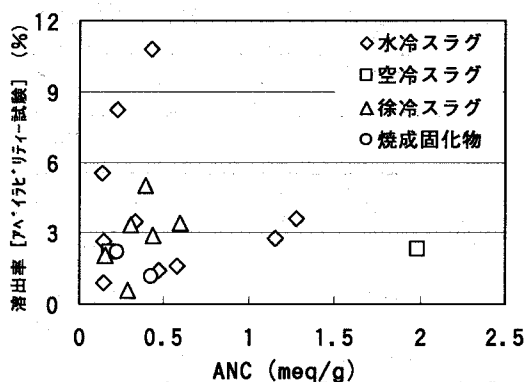


図1 酸中和容量と鉛溶出率 [ア・イ・レ・リ・エ試験]

3.3 溶出特性に適した利用方法に対する検討

図2に環告46号法における鉛の溶出特性図を、図3にアパイルリティー試験における鉛の溶出特性図を示す。ここで、同じ溶出量を示す試料においても、含有量が高く溶出率が低い場合、またその逆の場合が存在し溶出特性は大きく異なる。そのため、試料の持つ溶出特性をより正確に把握するために含有量と溶出率から溶出量を面積として表した。

図2より、環告法では全体の30%にあたる6種類の溶融スラグや焼成固化物が鉛の溶出基準(0.1mg/kgに相当)を満足し、有効利用が可能となる。しかし、これら再生製品が酸性雨など過酷な条件下で長期間使用された場合、図3のアパイルリティー試験における溶出特性図のように、環告法における溶出量の10～100倍程度の溶出が生じる可能性がある。溶融スラグや焼成固化物が一次資材として利用される場合、路盤材など大部分が原姿のままでの使用となり、溶出抑制効果を伴わないため、より厳しい溶出試験により安全性を確認する必要があると考えられる。

また、現在では溶出基準を満足できないものについては、再度熱処理を施すか管理型処分場へ埋立処分される場合が多い。しかし、資源の有効利用の観点からは、単独では重金属の含有量や溶出率など潜在的な有害性が高い場合でも、高い溶出抑制効果を持つ二次資材など安全性が確保できる用途に積極的に使用していくことが望ましいと考えられ、今後二次資材として再利用製品の重金属溶出特性を把握していく必要がある。そして、溶融スラグや焼成固化物の環境安全性に応じて利用用途を選択することで、有効利用を促進することが可能と考える。

4. 結論

- (1) 鉛の含有量と環告46号法とアパイルリティー試験の溶出量の間には相関関係は確認できず、試料により大きく異なった。また、環告46号法の溶出量と再生処理条件にも関係性を把握することはできなかったが、アパイルリティー試験では冷却方法により溶出量が異なる傾向があることが確認できた。
- (2) 酸中和容量の大きさとアパイルリティー試験における溶出率では明確な関係が得られず、酸中和容量のみでは溶融スラグや焼成固化物の骨格の安定性を把握できない可能性が示唆された。
- (3) 環告46号法とアパイルリティー試験では、鉛の溶出量に10～100倍程度の差が生じ、長期的な環境安全性を確保するうえでは酸性条件での溶出試験も必要と考えられた。また、再生製品の重金属類の溶出特性を把握し適した用途へ利用していくため、今後二次資材として再利用した際の環境安全性に対する評価も必要と考えられた。

【参考文献】

- 1) 厚生省生活衛生局水道環境部長：一般廃棄物の溶融固化物の再生利用に関する指針、1998
- 2) 八田直樹、高橋洋一、板谷真積、水谷聡、酒井伸一：溶融スラグからの重金属の溶出特性、第8回廃棄物学会研究発表会講演論文集Ⅱ、pp695-698、1997

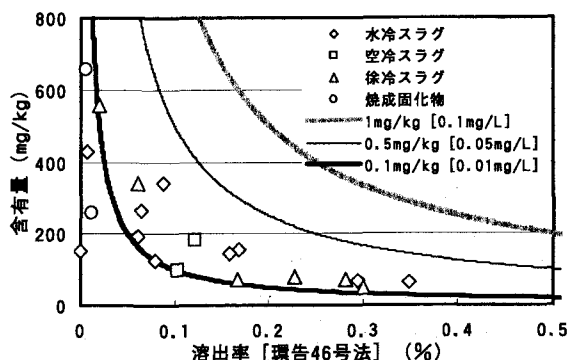


図2 環告46号法における鉛の溶出特性図

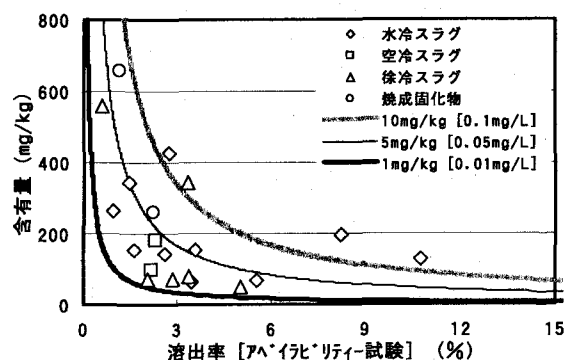


図3 アパイルリティー試験における鉛の溶出特性図