

カラム通水実験による焼却残渣からの汚濁成分の溶出特性

九州大学 学生員○朴 祥徹 正 員 楠田 哲也
福岡大学 正 員 島岡 隆行 正 員 花嶋 正孝

1.はじめに 近年、廃棄物発生量の増加に伴う焼却量の増加(1992年度の焼却率74%)により、埋立てられる廃棄物は焼却残渣がおおよそ4割を占め、さらに残りは破碎ごみ等の不燃物が主体となる傾向にあると言われている。焼却残渣(焼却灰と飛灰)のうち、飛灰は無害化され、処分されることになっている。一方、焼却残渣には有害金属のような汚濁成分を高濃度に含有しているが、その処分における汚濁成分の挙動については不明なところが多い。

本研究では、焼却残渣による汚濁成分の溶出特性を把握するための基礎実験として焼却残渣の成分分析、溶出試験及びカラム通水実験を実施した。

2.実験方法 カラム通水実験は図-1に示す内径2.5cm、高さ12cmのガラス製カラムに試料を高さ10cm詰め、上部から蒸留水を一定速度で連続供給し、下部からの浸出水の性状を分析することで、充填廃棄物(試料)と水(溶媒)との接触による汚濁成分の長期的な流出特性を把握しようとするものである。水質分析は原液とメンブランフィルター(有孔径1.0 μ m)でろ過したろ液について行った。金属成分の分析に当たっては、試料を HNO_3 及び H_2O_2 で前処理し、ICPで分析した。

表-1に実験条件を示す。なお、散水は浸出水が連続的に流出しうる最低速度に設定した。実験には3種類の都市ごみ焼却残渣を用いた。都市ごみをストーカー炉で焼却したときに発生する焼却灰(焼却灰と呼ぶ)及び排ガスを乾式処理したEP灰(乾式灰と呼ぶ)、そして排ガスを湿式処理する前のEP灰(湿式灰と呼ぶ)で、4.75mmのふるいを通過したものである。溶出試験は、環境庁告示第13号の試験法(告示法)及びAvailability test(最大溶出可能量試験法)¹⁾によった。試料の化学成分の含有量試験は、試料を H_2SO_4 、 HNO_3 、 HClO_4 、 HCl で前処理し、その溶解液について分析をした。

3.実験結果及び考察 図-2にはカラム通水実験における浸出水のpHの経時変化を示す。横軸は充填試料質量当たりの累積散水量(mL/g)で、廃棄物の溶媒接触量を表す液固比(L/S)で表わしている。初期におけるpHは、各試料とも上昇し、L/Sが3付近で安定している。その後の長期的なpHの挙動を見ると、焼却灰及び乾式灰では低下しているが、湿式灰では上昇する傾向を示した。焼却灰のpHはL/Sが45付近から徐々に低下している。このpH低下の原因として、このL/SからTOC、Al、Kの溶出が小さくなる反面、 SO_4^{2-} のような酸性成分の溶出が大きくなるためと考えられる。乾式灰のpHは、L/Sが110程度から急激に低下しており、このあたりからCa及びPbの流出量が小さくなっている反面、 SO_4^{2-} 、TOCの溶出量が大きくなっている。また、湿式灰のpHは、L/S60から上昇し始めている。焼却灰や乾式灰の場合とは異なり、 SO_4^{2-} とCaの溶出が少なくなり、Si、Al、Mgは多くなっている。

図-3に流出量が比較的大きな成分の流出傾向を示す。実験初期において、試料によらずこれらの成分は急激に流出し、その後はあまり変化が見られない。しかし、焼却灰についてはCa、 SO_4^{2-} 、Al、TOC、Si成分、また乾式灰及び湿式灰についてはTOC成分がL/Sとともに流出し、長期的に流出する成分であることが分かる。焼却灰は両飛灰に比べて、AlとSi成分の流出量が多いことが特徴として挙げられる。

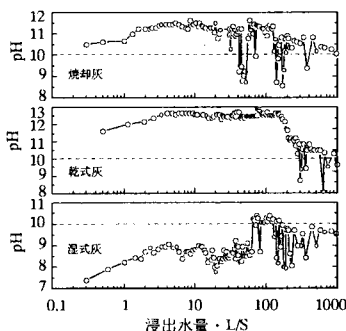


図-2 浸出水のpHの経時変化

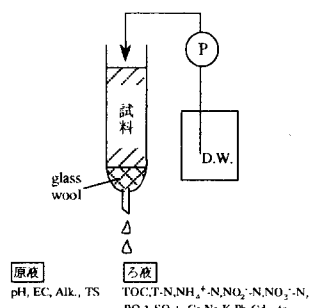


図-1 カラム通水実験

表-1 実験条件

項目	焼却灰	乾式灰	湿式灰
充填質量(g)	106.56	49.97	93.20
散水速度(mL/hr)	18.0		
累加散水量(L)	122.0	118.7	108.2
L/S(-)	1145.0	2376.2	1161.2

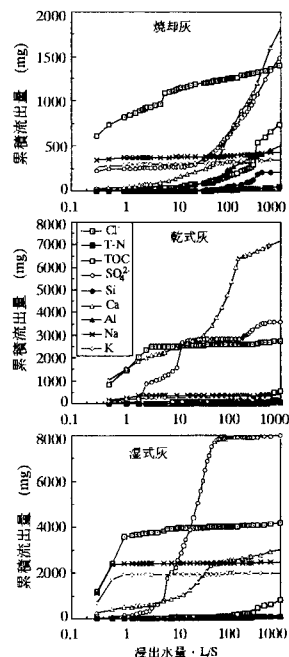


図-3 汚濁成分の流出傾向

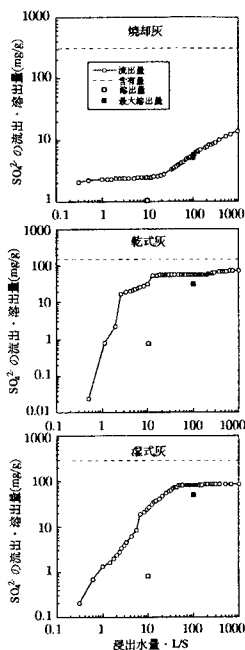


図-4 SO_4^{2-} の流出量及び溶出量

表-2 汚濁成分の含有量，流出量及び溶出量

(単位: mg/g)

成分	焼却灰				乾式灰				湿式灰			
	含有量	流出量	溶出量	最大溶出量	含有量	流出量	溶出量	最大溶出量	含有量	流出量	溶出量	最大溶出量
Zn	5.495	0.0189	N.D.	1.267	10.38	0.1383	0.0442	8.053	37.26	0.6404	0.1179	23.73
Cd	0.0603	0.0003	0.00002	0.0029	0.2090	0.0005	0.0001	0.0808	0.4879	0.1231	0.0949	0.1730
Pb	1.745	0.2163	0.0023	0.1868	3.942	8.130	4.142	4.061	6.450	1.192	0.0093	1.179
Si	1.225	1.906	0.0014	0.6221	0.3572	3.853	0.0105	2.546	0.6024	1.719	0.0287	0.8816
Fe	28.48	0.1612	N.D.	N.D.	5.690	0.2157	N.D.	N.D.	6.772	0.6187	0.0006	N.D.
Ca	49.40	17.68	4.467	55.00	157.2	149.3	62.02	274.0	52.12	32.43	15.20	46.61
Cu	6.808	0.0098	0.0005	0.2401	0.4710	0.0070	0.0010	0.2452	0.8246	0.0041	0.0002	0.5916
Al	38.17	4.787	0.6060	1.356	23.66	4.497	0.0909	3.351	37.79	1.057	0.0470	3.904
Na	4.542	4.022	3.661	1.568	11.63	7.883	10.59	4.857	23.50	26.35	27.12	19.81
Cl	431.0	13.17	11.63	23.72	367.2	56.21	84.12	1.408	449.4	44.77	65.07	0.3805
SO_4^{2-}	301.8	13.93	N.D.	5.161	139.2	73.51	72.69	29.49	297.4	85.80	52.57	53.41
T-N	-	0.4998	9.152	-	1.509	11.90	10.29	-	-	0.6223	11.99	2.130
TOC	-	6.885	-	2.267	-	20.59	-	-	-	9.106	-	-

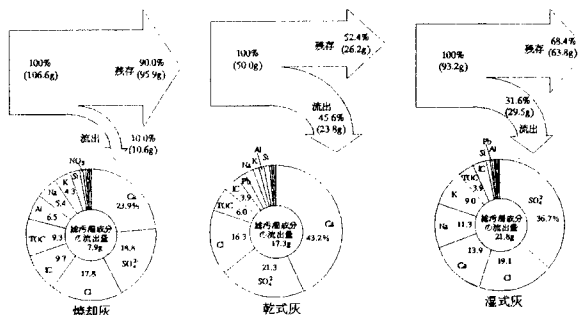


図-5 カラム実験における物質収支

図-4は各実験による SO_4^{2-} の流出量及び溶出量を比較したものである。図中の□印は告示法，■印は Availability test によって求めた溶出量を示している。焼却灰の L/S 1000 までの流出量は含有量の 1/30 程度にすぎず，告示法によるとほとんど溶出していないが，Availability test によると溶出することが分かる。乾式灰については含有量のほとんどが流出しており，湿式灰も乾式灰とほぼ同じ傾向を示している。このように SO_4^{2-} 成分の流出傾向は，灰の種類によってかなり様相が異なることが分かる。また，告示法による溶出量とカラム実験によるそれとはかなりの差が見られ，Availability test の溶出量はカラム実験による結果値と近い結果となっている。

試料中の汚濁成分の含有量及び溶出量，カラム実験による流出量を表-2に示す。Cd は焼却灰より飛灰に含有量が多く，湿式灰における流出量が他の試料より大きくなっている。Pb は各試料とも溶出が認められるが，焼却灰よりは両飛灰が溶出しやすい傾向を示している。Ca，Na は含有量のほぼ全量が流出している。 SO_4^{2-} は焼却灰よりは両飛灰において溶出しやすい傾向を示し，その中でも乾式の流出量が大きくなっている。これら成分の溶出は，溶解性，移動性，吸着性の差によって挙動が異なることが予測される。

図-5にカラム実験における物質収支を示す。両飛灰の減少量（流出量）は，焼却灰に比べてかなり大きくなっている。このことは，飛灰中には焼却灰より汚濁成分が不安定な状態で存在していることを裏付けている。カラム実験により，焼却灰充填量の約10%が浸出水とともに流出しており，汚濁成分流出量の大小関係は， $\text{Ca} > \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^-$ である。一方，乾式灰では充填量の約50%が浸出水とともに流出し，最も減少量が大きい。汚濁成分流出量の大小関係は， $\text{Ca} > \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^-$ であり，焼却灰と同じ関係を示している。湿式灰では充填量の約30%が汚濁成分として流出しており， $\text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^- > \text{Ca}$ に順に流出量は大きくなっている。

4.まとめ 焼却灰，乾式灰及び湿式灰中の汚濁成分の溶出特性を把握し，その結果をまとめると以下ようになる。

- 1) 焼却灰の場合，pH は SO_4^{2-} の流出量の増加により低下する。浸出水量 (L/S) 1145mL/g までの流出量は充填質量の10%であり，流出の主成分は Ca， SO_4^{2-} ， Cl^- であった。
- 2) 乾式処理 EP 灰の場合，pH は SO_4^{2-} ， NO_3^- ，TOC の流出量の増加により低下する。浸出水量 (L/S) 2376mL/g までの流出量は充填質量の46%であり，流出主成分は Ca， SO_4^{2-} ， Cl^- であった。
- 3) 湿式 EP 灰の場合，pH は SO_4^{2-} 流出量の減少により上昇する。浸出水量 (L/S) 1161mL/g までの流出量は充填量の32%であり， SO_4^{2-} ， Cl^- ，Ca が流出主成分であった。
- 4) 焼却灰中の SO_4^{2-} は比較的流出しにくく，飛灰中には比較的流出しやすい形態で存在していることが分かった。

【参考文献】1) 酒井伸一ほか：廃棄物の溶出試験に関する研究，廃棄物学会論文誌，Vol.6, No.6, pp. 225-234, 1995.