

焼却残渣層における通水に伴うセシウム(Cs)の溶出特性に関する研究

九州大学大学院工学府 学生会員 ○岸田 匡隆 九州大学大学院工学研究院 正会員 小宮 哲平
九州大学東アジア環境研究機構 渡辺 優香 九州大学大学院工学研究院 フェロー会員 島岡 隆行

1. はじめに

福島原発事故による放射能汚染された廃棄物に関して、放射性セシウム(Cs)濃度が 8,000 Bq/kg 以下の焼却灰については、一般廃棄物最終処分場(管理型最終処分場)での埋立が可能となっている。しかし、埋立層内での Cs の挙動に関して科学的な知見が不十分であることから、放射性 Cs 濃度が 8,000 Bq/kg 以下の焼却灰についても埋立処分が進んでおらず一時的に保管されているのが現状である。国立環境研究所が実施した焼却灰の逐次抽出試験結果¹⁾によると、焼却灰は Cs の水への溶出率が低いことが示されており、逆に飛灰は Cs の水への溶出率が高いことが確かめられている。しかし、長期的な埋立層内の環境変化における Cs の溶出特性変化は確かめられていない。

本研究では、日本の年平均降雨量に相当する水を通水するカラム通水実験を行い、日本の年平均降雨量に相当する水を通水した時の埋立地の焼却残渣層に含まれる Cs の溶出特性を確かめた。また Cs と同族元素であり、焼却灰に含まれているナトリウム(Na)、カリウム(K)についても測定し Cs の溶出特性との比較を行った。

2. 実験概要

2-1. 試料 試料は放射性 Cs を含まない A 市の一般廃棄物焼却灰を用いた。試料の初期性状として、表 1 に蛍光 X 線分析(XRF)から得られた分析結果を、表 2 に JIS K0058-1 有姿攪拌試験により得られた溶出液に対して行った測定結果を示す。

2-2. 実験方法 試料は最大粒径が 5 mm となるようにし水分を調整した後にカラムに充填した。実験に用いたカラム図を図 1 に示す。カラムは内径 10 cm、高さ 50 cm ものを使用し試料充填高さを 20 cm とした。また充填層の底から 10 cm の場所に Φ8mm、長さ 3 cm のポーラスカップを埋設し試料層の中間地点から溶液を採取できるようにした。試料充填後、定量ポンプを用いて 1 日当たり 1113 ml の純水を試料表層に滴下した。この実験を 12 日間継続し合計の滴下量が日本の年平均降雨量である 1,700 mm となるようにした。

実験開始から 1 日ごとに中間地点及びカラム下部から浸出水を採取し分析を行った。また、実験開始から 12 日後にカラムから焼却灰を 10 cm ごとに上層、下層に分けて取り出した。取り出した焼却灰は凍結乾燥後に分析を行った。

2-2. 分析方法 中間地点及びカラム下部から採取した浸出水の Cs の濃度を、原子吸光分析器を用いて測定した。また Na, K 及び Cl の濃度を、イオンクロマトグラフィーを用いて測定した。実験後にカラムから取り出した焼却灰に JIS K0058-1 有姿攪拌試験を行い、実験後の焼却灰に易水溶性 Cs がどれだけ残存しているかを測定した。また同様に易水溶性 Na 及び K の含有量も測定した。

3. 結果及び考察

図 2 に浸出水の Cs の濃度を、図 3 に Cl, Na, 及び K の濃度を示す。図 2 より実験開始直後に中間地点から採取した浸出水の Cs 濃度は 239 µg/L、下部の濃度は 473 µg/L であったが 4 日後までに初期の洗い出しにより中間で 2.39 µg/L、下部で 3.47 µg/L と大きく減少した。4 日後以降の Cs 濃度は横ばい状態となった。また、中間と

表 1 焼却灰元素組成

元素名	組成割合 (%)
CaO	36.5
SiO ₂	26.1
Al ₂ O ₃	11.9
Fe ₂ O ₃	6.05
P ₂ O ₅	2.67
MgO	2.53
Cl	1.54
TiO ₂	1.39
Na ₂ O	0.971
K ₂ O	0.465
S	0.272
MnO	0.140
LOI	8.89
その他	0.60
合計	100

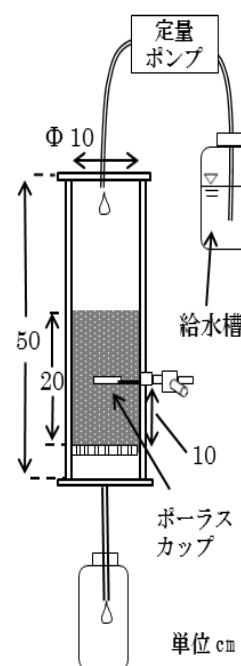


図 1 カラム図

表 2 JIS K0058-1 有姿攪拌試験

項目	測定値	単位	分析方法
pH	13.0	-	ガラス電極
ORP	287	mV	標準水素電極
EC	5.34	mS/cm	ガラス電極
項目	含有量	単位	分析方法
Na	5700	mg/kg-ash	イオンクロマト
K	2360	mg/kg-ash	イオンクロマト
Ca	7130	mg/kg-ash	イオンクロマト
Cl	9050	mg/kg-ash	イオンクロマト
Cs	392	µg/kg-ash	原子吸光

下部における Cs 濃度変化を比較すると実験開始直後と 12 時間後では下部での Cs 濃度は中間での Cs 濃度の約 2 倍となっているが、12 時間後以降では中間と下部における Cs 濃度の傾向は確認できなかった。

図 3 より Cs と同様に Na 及び K 濃度は実験開始直後から 4 日後まで大きく減少した。4 日後以降、Na 及び K 濃度は横ばい状態となった。中間地点と下部の濃度を比較すると、Na、K とともに下部の濃度が中間地点の約 2 倍となった。

中間地点の Cs 濃度と Cl、Na 及び K 濃度の相関関係を図 4 に下部における相関関係を図 5 に示す。図 4 及び図 5 より中間及び下部の Cs 濃度と Cl 濃度の相関係数 R がそれぞれ 0.98 と高い値を示していることから Cs の溶出特性は Cl の溶出特性と高い相関関係にあるといえる。このことは浸出水中の Cs の形態が塩化セシウムである¹⁾ことを支持するものであった。同族元素である Na 及び K の濃度の間には予想通り高い相関がみられた。

表 3 に実験後に取り出した焼却灰に対して行った JIS K0058-1 有姿攪拌試験の測定結果及び実験後の焼却灰に含まれる易水溶性の Cs、Na 及び K の実験前の易水溶性の含有量に対する割合を示す。表 3 より上層には 15.1 µg/kg-ash の、下層には 43.1 µg/kg-ash の易水溶性 Cs が実験後の焼却灰に残存し、実験前の易水溶性の含有量に対する割合は 7.4%であった。この値は Na 及び K の割合と比較すると、Cs の割合は Na の 7.4 倍、K の 4.9 倍となり易水溶性 Cs の残存率が高い結果となった。

4. まとめ

浸出水の Cs 濃度は実験開始から 4 日後までに大きく減少し、4 日後以降は横ばい状態となった。また Cs 濃度は Cl、Na 及び K 濃度と高い相関関係を示し、浸出水として溶け出した Cs は塩化物であることが支持された。実験前に対する実験後の易水溶性 Cs の割合は Na、及び K の割合よりも高い値となった。

長期的な埋立層内の環境変化における Cs の溶出特性変化を把握するにはより長期間に渡って実験を行う必要があり、易水溶性セシウムの溶出特性だけでなく他の形態のセシウムの挙動も確かめなければならない。また使用した試料には放射性セシウムが含まれていないため実際に放射性セシウムを含んだ焼却残渣の溶出特性と比較することを検討している。

[謝辞] 本研究は環境研究総合推進費 K122102 「放射性セシウムを含有する焼却残渣の性状把握と効率的かつ安全な処分技術」(研究代表者：島岡隆行)の支援により行われた。ここに記して謝意を表す。

[参考文献] 1) (独) 国立環境研究所 資源循環・廃棄物研究センター 放射性物質の挙動からみた適正な廃棄物処理処分 (技術資料 第三版) 平成 24 年 12 月 20 日

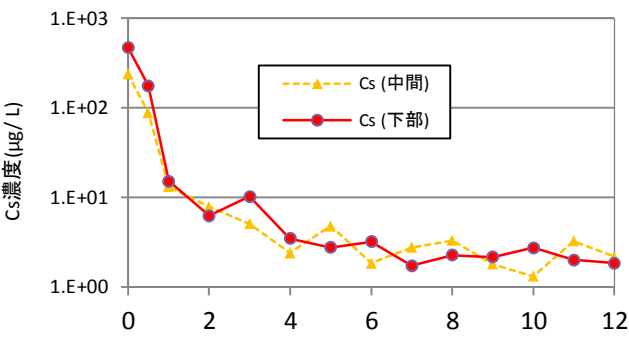


図 2 浸出水中の Cs 濃度

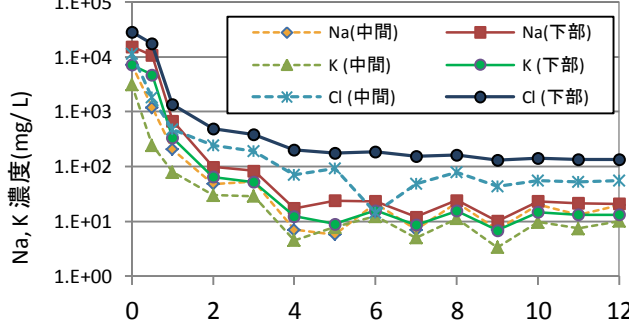


図 3 浸出水中の Cl、Na 及び K 濃度

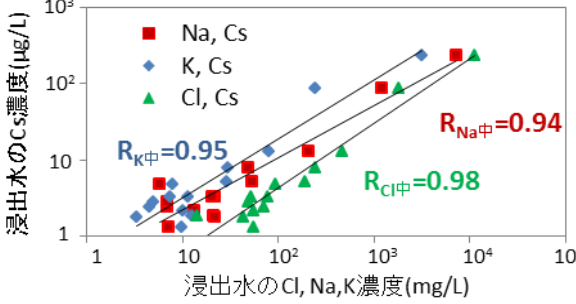


図 4 中間地点の Cs と Cl、Na 及び K 濃度の相関関係

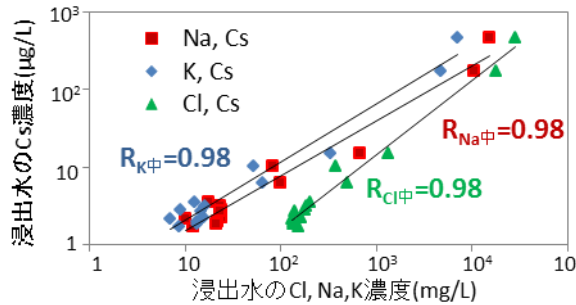


図 5 下部の Cs と Cl、Na 及び K 濃度の相関関係

表 3 易水溶性 Cs、Na 及び K 含有量

項目	実験前	実験後			単位
		上層	下層	平均	
Na	5700 (100%)	44.6	69.7	57.1(1.1%)	mg/kg-ash
K	2360 (100%)	24.0	44.5	34.3 (1.4%)	mg/kg-ash
Cs	392 (100%)	15.1	43.1	29.1(7.4%)	µ g/kg-ash