

京都大学大学院	学生員	○木村文昭
京都大学大学院	学生員	ナカ・アンヘリカ
京都大学大学院	正会員	乾 徹
京都大学大学院	正会員	高井敦史
京都大学大学院	正会員	勝見 武

1. はじめに

2011 年 3 月の福島第一原子力発電所事故により影響を受けた地域から発生する下水汚泥や焼却灰中には放射性物質が含有されるが、濃度が 8000 Bq/kg 以下のものは既存の廃棄物処分場で処分・管理されることになっている。焼却灰の中でも焼却飛灰中の放射性セシウムは水への溶出率が非常に高いとされているが、既存の廃棄物処分場は構造上、雨水浸透を許容しているため、浸出水中に放射性セシウムが溶解する可能性が高い¹⁾。しかし、既存の浸出水処理設備では放射性物質が除去できず、既存埋立区画と放射性物質を含む廃棄物との隔離が必要となるため、低透水性材料を用いた上部隔離層及びフェイルセーフとしての吸着土壌層の設置が現時点では提案されている¹⁾。本研究では、隔離層・吸着層としてのジオシンセティッククレイライナー(以下、GCL)の適用性を検討する。GCL とは、主に 2 枚のジオテキスタイル(織布あるいは不織布)の間にベントナイトを挟み込んだ厚さ 1 cm 以下のシートである。GCL 中のベントナイトは高い遮水性能と吸着性能を有しているが、浸出水中の様々な化学物質によってこれらの性能が阻害される可能性があることから、本研究では吸着試験と透水試験を実施し、その影響を検討した。

2. 実験方法

2.1 使用材料 GCL は NAUE 社製の Bentofix BFG 5000 を使用した。基本物性を表-1 に示す。浸出水は、ある都市の一般廃棄物焼却施設で採取された焼却飛灰と蒸留水を 1:9 の質量比で混合した後ろ過した溶出液(模擬浸出水)を使用した。その化学特性を表-2 に示す。表-2 に記載されている以外の陽イオンも観測されたが、記載のイオンと比べると 3 オーダー以上小さかったため、省略した。

2.2 吸着試験 蒸留水、および所定濃度で希釈した模擬浸出水を用いて、GCL 中のベントナイトによるセシウム(以下、Cs)吸着特性を検討した。さらに、浸出水中に高濃度で共存する Ca、K、Na イオンが Cs 吸着量に及ぼす影響についても評価を行った。手順は以下の通りである。

Cs 標準液を用いて、Cs 初期濃度 0、1、10、20、30 mg/L の供与液をそれぞれ作製した。標準液を希釈する際、浸出水や各種陽イオンを所定濃度添加した溶液を使用した。GCL から取り出した乾燥ベントナイト 0.1 g を 250 mL のポリスチレン容器に入れ、供与液 100 mL を加えた。その後 150 回/分で 24 時間水平振とうした後、遠心分離機による固液分離、ならびに孔径 0.45 μm メンブランフィルタを用いたろ過処理を実施し、試験溶液とした。試験溶液の Cs 濃度を原子吸光分光光度計(島津製作所製 AA-6800)で測定し、Cs 吸着量を算出して吸着等温線を描き、その線形勾配から分配係数 K_d (mL/g) を求めた。

2.3 透水試験 GCL の遮水性能を評価するため、ASTM D 5084 に準じ、柔壁型透水試験装置を用いて変水位透水試験を行った。拘束圧は 30kPa、動水勾配は 80~90 に設定した。用いた透水溶液は、蒸留水と焼却飛灰の浸出水である。

表-1 GCL の基本物性

項目	単位	値
初期 GCL 厚さ	cm	0.56
土粒子密度(ベントナイト)	g/cm ³	2.88
間隙比(ベントナイト)	-	2.37
含水比(ベントナイト)	%	10

表-2 浸出水の化学特性

項目	単位	値
pH	-	12.8
電気伝導度	mS/m	4380
Ca	mg/L	5700
K	mg/L	4500
Na	mg/L	3400

3. 実験結果とその考察

3.1 吸着試験の結果 希釈溶液として蒸留水、浸出水原水、100倍、および10倍希釈した浸出水の4種類を使用した時の分配係数を表-3に示す。各希釈倍率の浸出水を用いたケースにおいてはいずれも分配係数が低下しており、浸出水中の共存物質による吸着阻害が起きていることが示された。しかし、浸出水原水を用いた時の分配係数は10倍希釈浸出水を用いた時の約3倍になっており、希釈倍率との相関は確認できない。しかし、これらの分配係数は純粋な吸着量を評価したのではなく、難溶態形成によるCs濃度低下も含めた結果であることから、そのCs濃度低下量(用いた溶媒中での濃度低下から推定)を評価した。その結果、100倍希釈の浸出水においては2～3割、10倍希釈の浸出水においては3～4割、希釈なしの浸出水においては6～7割程度のCs濃度低下が見られた。このことから、浸出水を用いた吸着試験においては、難溶態形成によるCs濃度低下を差し引いて、分配係数を求めることが妥当であると判断し、試験を行った。その結果を図-1に示す。この結果から求められる浸出水原水における分配係数はほぼ0 mL/gであり、Csの吸着はほとんど起こらないことが示された。各濃度(mmol/L)の陽イオン溶液(NaCl溶液、CaCl₂溶液、KCl溶液を用いた)を希釈溶液として用いた時の分配係数を図-2に示す。この結果から、吸着阻害にはCaイオンやKイオンが影響し、特に2価の陽イオンであるCaイオンの影響が大きいこと、陽イオンによる吸着阻害には限界があること、が示された。しかし、陽イオン単体の影響では吸着阻害を説明することができないため今後更なる検討が必要である。

3.2 透水試験の結果 透水試験の結果を表-4に示す。浸出水中の陽イオンの影響で、蒸留水を透水溶液に用いた場合よりも30倍程度に透水係数が増加しているが、遮水性能という観点では十分に低い値である。

3.3 GCLの適用性の考察 GCLの吸着層としての機能は浸出水中のCaやK濃度に依存するが、著しく濃度が高い場合には高い吸着能を期待することは難しいと推測される。一方、遮水材としては十分に期待できるということが示された。本研究では、原子吸光装置で分析が可能な高い濃度範囲で安定Csを対象に実験を実施していることから、実際の浸出水に含まれる低濃度の放射性Csの吸着特性との整合性が現時点で確認できていない。さらには、浸出水の化学組成の変化に伴うCs初期濃度の変化など実験条件を適切に制御できない部分もあったことから、更なる検討を行う予定である。

4. おわりに

本研究で示したGCLの利用だけではなく、現地発生土を廃棄物下部の土層として利用する場合に少量のベントナイト添加によって吸着性能を改善するような事例も考えられることから、ベントナイトによるCs吸着特性に及ぼす浸出水質の影響を明らかにすることは、喫緊の課題であるといえる。本研究では吸着以外の機構による大幅なCs濃度低下が確認されたことから、浸出水の化学組成に着目して、本研究で検討した以外の要因についても個別の影響を整理し、統一的な指標で影響の度合いを推定する必要がある。

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(2012): 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3版), http://www.env.go.jp/jishin/attach/haikihyouka_kentokai/10-mat_3.pdf

表-3 吸着試験結果(浸出水)

希釈溶液	分配係数 K_d (mL/g)
蒸留水	3.1×10^3
100倍希釈の浸出水	7.9×10^2
10倍希釈の浸出水	5.7×10^2
浸出水原水	1.7×10^3

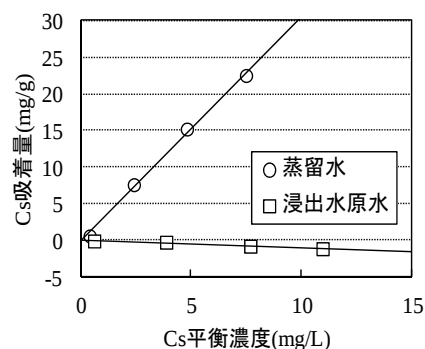


図-1 吸着等温線

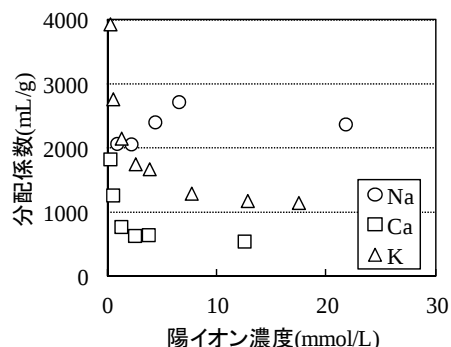


図-2 陽イオン濃度と分配係数の関係

表-4 透水試験結果

透水溶液	蒸留水	浸出水
透水係数(m/s)	1.3×10^{-11}	3.4×10^{-10}