

第Ⅲ部門

ゼオライト添加型粘土ライナーの遮水およびセシウム吸着性能に及ぼすカルシウムの影響

京都大学大学院 学生員 ○荒川裕紀
 元京都大学大学院 佐藤一貴
 京都大学大学院 正会員 乾 徹
 京都大学大学院 正会員 勝見 武
 京都大学大学院 正会員 高井敦史

1. はじめに

放射性セシウムにより汚染された廃棄物を焼却すると、焼却灰、特に飛灰に放射性セシウムが高濃度に濃縮される。これら焼却灰の一部は、雨水浸透を許容している既存の管理型処分場で処分されるが、一般廃棄物焼却飛灰、および飛灰処理物中の放射性セシウムは含まれる量の約 65～90%は間隙水に溶出することが報告されている¹⁾。しかし、浸出水中の放射性物質を既存の管理型処分場付属の水処理施設では除去できない。そのため、放射性セシウムを含む焼却灰の埋立においては、放射性セシウムの周辺環境への移動を抑制するため、遮水性およびセシウム吸着能力が高いゼオライトを添加したジオシンセティッククレイライナー（以下 GCL）の適用が検討されているが、処分場浸出水中に高い濃度で含まれるカチオンによるベントナイトの膨潤量低下や、ゼオライトから溶脱されるカリウムによるセシウム吸着能低下が懸念される²⁾。本研究では柔壁型透水試験装置を用いた通水試験を行い、ゼオライト添加型 GCL の中間層となるベントナイトとゼオライトが Ca^{2+} 溶液に曝露された場合の遮水性能とセシウム吸着性能を評価した。

2. 試料と実験方法

2.1 試料 試料として、NAUE 社製の GCL Bentofix 5000 に内包される Na 型の粉状ベントナイト、およびクリノプチロライト系の粉状のゼオライトを使用した。表 1 にそれぞれの基本物性を示す。通水液には、塩化カルシウムと塩化セシウムを用いて Ca^{2+} と Cs^+ がそれぞれ 0.1 mol/L、1 mg/L となるよう調製した溶液を用いた。各試験ケースの供試体に含まれるベントナイトとゼオライトの単位面積あたりの敷設量、ゼオライトの添加方法、供試体の平均間隙比（透水試験後に計測）は表 2 の通りである。表中の「単体」とはベントナイトのみを使用したもの、「混合」はベントナイトとゼオライトを事前に均質

表 1 使用したベントナイトの基本物性

	ベントナイト	ゼオライト
自然含水比(%)	12.0	8.2
土粒子密度(g/cm^3)	2.88	2.25

表 2 試験ケース毎の供試体

試験ケース	ベントナイト (g/m^2)	ゼオライト (g/m^2)	添加方法	透水後間隙比(-)
B3Z0	3000	-	単体	3.04
B5Z0	5000	-	単体	2.45
B5Z1_Mix	5000	1000	混合	2.42
B5Z1_Sep	5000	1000	複層	2.22
B3Z3_Mix	3000	3000	混合	2.30
B3Z3_Sep	3000	3000	複層	2.42

になるまで十分に混合した後供試体として成形したもの、「複層」はゼオライト層を成形したのち、その上部にベントナイト層を成形したものをそれぞれ意味しており、複層型の概念図を図 1 に示す。ゼオライトが下部になるように供試体を模擬したのは、透水試験を上向流で実施することから、実現場同様にゼオライト層が初めに溶液に接するよう配置したためである。

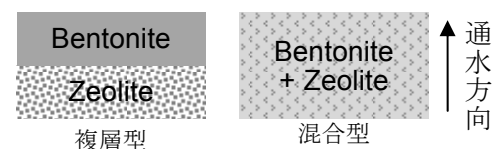


図 1 各供試体の概念図

2.2 実験方法 試験装置底部の通水孔を有した円筒形アクリル台にろ紙とジオテキスタイルを設置したのち、メンブレンを被せた状態で吸引し内壁面に密着させた半割れ鋼製モールドを設置した。ここに所定量の試料

Hiroki ARAKAWA, Kazuki SATO, Toru INUI, Takeshi KATSUMI and Atsushi TAKAI

arakawa.hiroki.64s@st.kyoto-u.ac.jp

を敷設し水平にならした後、ジオテキスタイルとろ紙、通水孔を有するペデスタルをこれらの上に設置し、メンブレンはペデスタルと O-リングで固定した。使用した柔壁型透水試験器は図 1 のように通水液を供試体の下部から通水するものであり、試験中に供試体中への空気の流入を防ぐため、使用したろ紙およびジオテキスタイルはあらかじめ流入液を満たした容器に入れた状態で脱気した。なお、事前にメンブレン内側にはシリコンを薄く塗布し、メンブレンと供試体の境界面からの通水を防いだ。拘束圧は 30 kPa とし、経路飽和後に所定の供与液を注ぎ 90~100 cm 程度の水位差を与え、透水試験を開始した。

3. 結果と考察

3.1 透水係数への影響

図 2 に各供試体の間隙体積で正規化した累積流量 (Pore volumes of flow, PVF) と透水係数の関係を示す。単位面積あたり 5000 g/m² のベントナイトをニードルパンチで結束した、汎用的な GCL である Bentofix の蒸留水に対する平均的な透水係数は 8.0×10^{-11} m/s 程度である²⁾ことから、すべてのケースにおいて Ca^{2+} をはじめとする陽イオンの影響により平均的な透水係数が上昇していることが分かる。ベントナイトのみを用いた B3Z0 と B5Z0 を比較すると平均的な透水係数が前者が 2 オーダー程度高いが、これは表 2 に示すように間隙比が大きいことが影響したと考えられる。ゼオライトを添加した場合、混合型の B5Z1_Mix、B3Z3_Mix および複層型の B5Z1_Sep、B3Z3_Sep を比較すると、透水試験後の間隙比に大きな差は見られないにも関わらずそれぞれ後の方が 1 オーダー程度低い。これは B5Z1_Sep や B3Z3_Sep のような複層型において、添加したゼオライト層の Ca^{2+} に対する緩衝効果により、ベントナイト層に流入する溶液中の Ca^{2+} 濃度が低下したと考えられる。そのため、複層型と混合型でベントナイトの水和膨潤への阻害に対して差が生じ、透水係数に差があると考えられる。

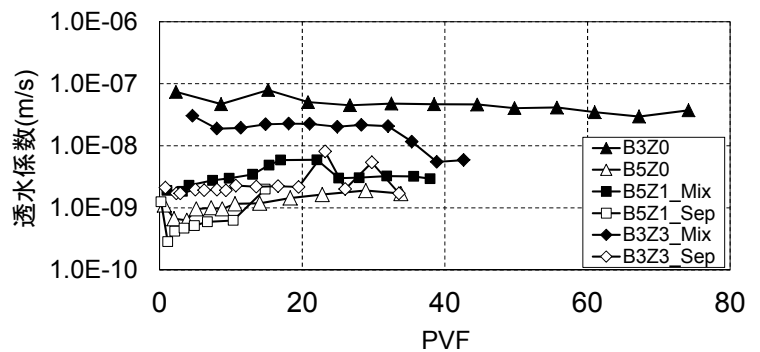


図 2 透水係数の変化

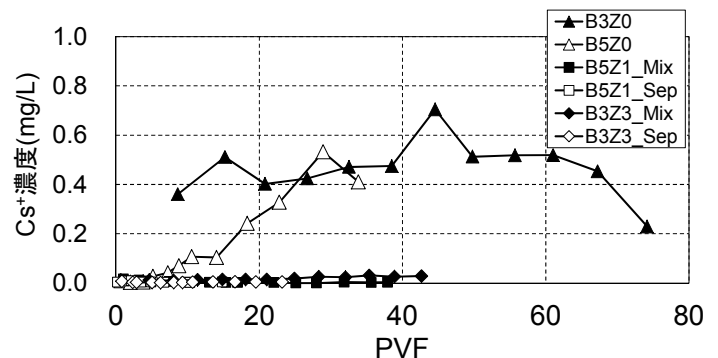


図 3 排水液中の Cs^+ 濃度の変化

3.2 セシウム吸着能への影響 図 3 に累積流量と浸出水のセシウムイオン濃度の経時変化を示す。セシウムイオン濃度はゼオライトの有無によって大きく異なる結果を示した。ゼオライトを添加した供試体は複層型や混合型といった添加方法の違いに関わらず、試験期間を通して 0.01 mg/L 程度の値を示した。混合型のようにゼオライトの充填密度が相対的に低い場合であっても、1000 g/cm² のゼオライトの添加で高いセシウム吸着性能をもつことが明らかとなった。

4. おわりに

今回実験を行った中で最も平均的な透水係数が小さくなったのは、複層型でベントナイトの量が一番多い B5Z1SEP であった。複層型であるために、ゼオライト層で陽イオン交換が発生し、通水液中の Ca^{2+} を緩衝したことや、透水後間隙比が最小であったことが理由としてあげられる。また、セシウム吸着性能について、ゼオライトを添加したものは混合型、複層型を問わず高いセシウムイオンの吸着性能を発揮した。

参考文献

- 1) 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（技術資料第四版），2014.
- 2) 乾ら：ゼオライト添加したジオシンセティッククレイライナーの遮水性とセシウム吸着性能の評価，ジオシンセティックス論文集，Vol.31，pp.85-90，2016.