

## 第Ⅲ部門

## ゼオライト添加型粘土ライナーのセシウム遮蔽性能に及ぼすアルカリ溶液の影響

京都大学大学院	学生員	○城ノ口 卓
京都大学大学院	正会員	高井 敦史
大阪大学大学院	正会員	乾 徹
京都大学大学院	正会員	勝見 武

## 1. はじめに

放射性セシウムを含む廃棄物の焼却灰を埋立処分するにあたり、特に焼却飛灰から溶出する放射性セシウムへの対応が必要となる<sup>1)</sup>。そこでゼオライトを添加することでセシウム吸着性を高めた、ゼオライト添加型ジオシンセティッククレイライナー（GCL）の隔離層への適用が検討されている。焼却灰を埋立処分する場合、安定化と施工性改善の目的でセメント固化による中間処理が行われるが、浸出水の pH がセメント由来で高アルカリ性になることが考えられる。このアルカリ性浸出水の曝露により GCL 中のベントナイトに構成鉱物の溶解、二次生成物の沈殿、鉱物学的変化等の変質が生じることが懸念されることから<sup>2)</sup>、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 のセシウム遮蔽性能に及ぼすアルカリ性溶液の影響を評価した。

## 2. 柔壁型透水試験の方法

**2.1 試料** 試料には NAUE 社製の GCL Bentofix 5000 に内包される Na 型ベントナイト、及びクリノプチロライト系の粉状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。

表 1 使用した試料の基本物性

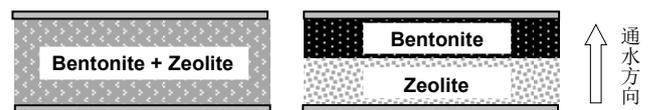
	ベントナイト	ゼオライト
自然含水比 [%]	12.0	8.2
土粒子密度 [g/cm <sup>3</sup> ]	2.88	2.25

**2.2 実験条件** 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当たりの敷設量、各材料の添加方法、試験後の平均間隙比を表 2 に示す。

表 2 各ケースにおける供試体

試験ケース	ベントナイト敷設量[g/m <sup>2</sup> ]	ゼオライト敷設量[g/m <sup>2</sup> ]	添加方法	試験後の平均間隙比
A	5,000	0	単体	2.56
B_Mix	5,000	1,000	混合	2.24
B_Sep	5,000	1,000	複層	2.26
C_Mix	3,000	3,000	混合	1.64
C_Sep	3,000	3,000	複層	1.69

表 2 中の添加方法における「混合」と「複層」はそれぞれ乾燥したベントナイトとゼオライトを事前に十分に混合してから充填したものと層状に成型したものであり、図 1 に示す概念図のように作製した。実際の GCL を想定して供試体高さは 0.6 cm 程度とし、ベントナイトの膨潤に影響を及ぼす浸出水中のカチオン濃度を低減させることを期待し、ゼオライト層を上流側(下部)に設置した。ケース B と C ではベントナイトとゼオライトの合計量が等しくなるよう設定した。



(混合型)

(複層型)

図 1 各供試体の概念図

通水液には、Cs<sup>+</sup>濃度を 1 mg/L に調整した pH = 7、10、12 の溶液を用いた。pH の調整にはセメント由来のアルカリを想定して Ca(OH)<sub>2</sub> を用いたが、CaCl<sub>2</sub> を

表 3 通水液の調整方法と電気伝導度

pH	7	10	12
Ca(OH) <sub>2</sub> [mol/L]	0	5.0×10 <sup>-5</sup>	5.0×10 <sup>-3</sup>
CaCl <sub>2</sub> [mol/L]	5.0×10 <sup>-3</sup>	4.95×10 <sup>-3</sup>	0
EC [S/m]	0.09	0.12	0.73

を用いて Ca<sup>2+</sup>濃度が全てのケースで 5.0×10<sup>-3</sup> mol/L となるよう調整した。通水液の調整方法と電気伝導度を表 3 に示す。

**2.3 実験手順** 本研究では ASTM D5084 に従い、柔壁型透水試験装置を用いて変水位法により供試体下部から通水液を与えた。供試体は乾燥試料を突き固めることで作製し、事前に供試体を飽和させることなく試験を開始した。試験装置には下部からろ紙・ジオテキスタイル・供試体・ジオテキスタイル・ろ紙をこの順で Suguru JONOKUCHI, Atsushi TAKAI, Toru INUI and Takeshi KATSUMI

jonokuchi.suguru.42w@st.kyoto-u.ac.jp

設置し、拘束圧 30 kPa、水位差 90~100 cm で連続的に通水液を浸透させた。

### 3. 結果と考察

**3.1 遮水性能** ケース B、C における透水係数の経時変化を図 2 に示す。横軸の Pore volumes of flow (PVF) は累積流出量を供試体の間隙体積で除した無次元パラメータである。図中の点線は一般的な GCL であるケース A の pH = 7 での透水係数の平均値を示している。ベントナイトのみを対象とした既往の研究<sup>3)</sup>では、pH = 7~12 の範囲では pH に対する GCL の透水係数の変化は小さいことが報告されており、本研究でもベントナイトの相対量が多いケース B では構造によらず pH による透水係数の変化は小さく、同様の結果が得られた。一方でベントナイト 3,000 g/m<sup>2</sup>、ゼオライト 3,000 g/m<sup>2</sup> とベントナイトの相対量が少ないケース C では、pH = 7 の時と比較し、混合型においては pH = 12 条件で 1 オーダー程度、複層型においては pH = 10、12 条件でそれぞれ 0.5 倍程度に透水係数が低下した。これはアルカリ性溶液の接触により溶解したベントナイトの二次生成物の沈殿等が生じ、ゼオライトの存在により増加したマクロな間隙が充填されたことに起因する可能性が考えられる。またいずれのケースにおいても混合型に比べ複層型の透水係数が低い傾向を示したが、特にベントナイトの相対量が少ないケース C でその傾向が顕著であった。これは混合型ではゼオライトと混合することでベントナイト密度が相対的に低かったためと考えられ、これらの結果から遮水性の観点からはゼオライトとベントナイトを層状に設ける複層型の方が優れているといえる。

**3.2 セシウム吸着性能** 遮水性能の高かった複層型の供試体について、浸出水の Cs<sup>+</sup>濃度と PVF の関係を図 3 に示す。通水液の Cs<sup>+</sup>濃度が 1 mg/L であることを考慮すれば、ゼオライト添加型 GCL は高いセシウム吸着性能を発揮しうることが分かる。透水初期には相対的に高いが、PVF = 2 以降の Cs<sup>+</sup>濃度は約 0.003 mg/L で試験期間には大きく上昇しなかった。

### 4. おわりに

ゼオライト添加型 GCL のセシウム遮蔽性能に及ぼすアルカリ性溶液の影響を実験的に評価した結果、ベントナイト量が相対的に少ない場合に、溶液 pH の上昇による透水係数の低下が見られた。いずれの条件でも混合型より複層型の方がベントナイト密度が高いため低い透水係数を示した。また、ゼオライトとベントナイトの比率に関わらず、ゼオライト量 1000 g/m<sup>2</sup> で高いセシウム吸着能を発揮しうることが明らかとなった。

実験に際し、清水敬三氏（丸紅テツゲン）ほか関係各位にご尽力いただいた。記して謝意を表す。

### 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 (2014) : [http://www.nies.go.jp/fukushima/pdf/techrepo\\_r4\\_140414\\_all.pdf](http://www.nies.go.jp/fukushima/pdf/techrepo_r4_140414_all.pdf) (2019/2/18 閲覧)
- 2) 横山ら (2006) : 電力中央研究所報告, N05042, 1-30.
- 3) Jo, et al. (2001): *J. Geotech. Geoenviron. Engrg.*, ASCE, 127 (7), 557-567.

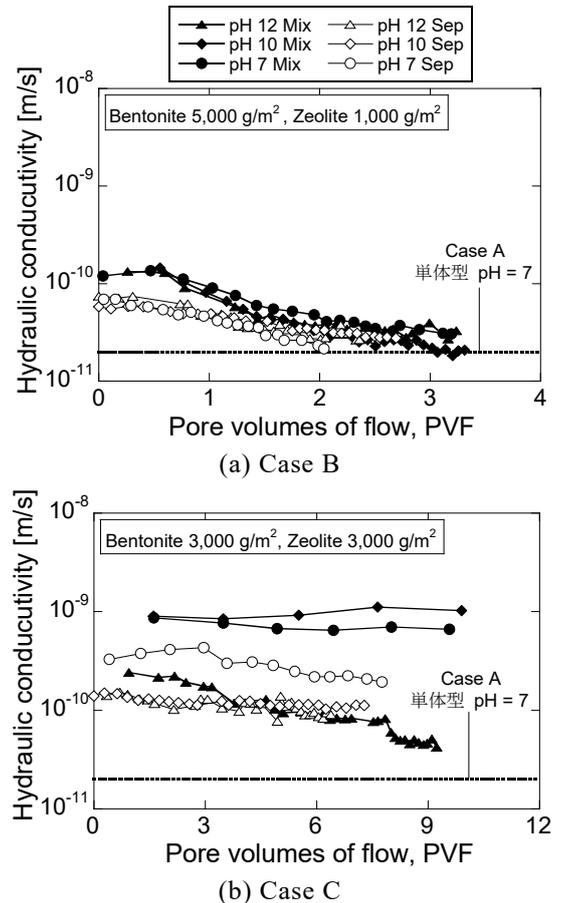


図 2 PVF と透水係数の関係

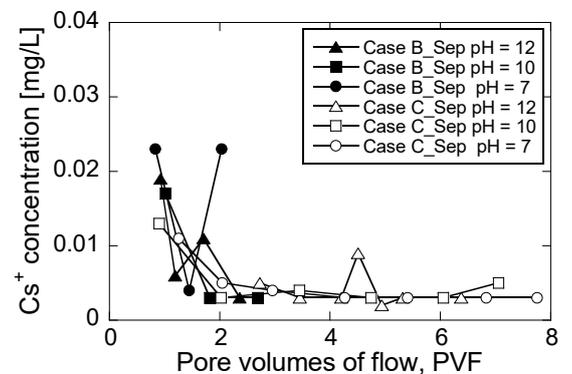


図 3 PVF と浸出水の Cs<sup>+</sup>濃度の関係