

トンネル掘削ずりを用いた長期の不飽和カラム砒素溶出試験

(株)奥村組 正会員 ○清水祐也
(株)奥村組 鈴木奨士
(株)ハイドロ総合技術研究所 正会員 森田修二
岩手大学 正会員 大河原文文

1. はじめに

自然由来の重金属類を含むトンネル掘削ずりの適正な処分場の設計・施工のためには、掘削ずりからの重金属類の溶出特性を把握する必要がある。これまで現地調査や原位置試験¹⁾、トンネルの掘削ずりを用いた不飽和や飽和のカラム溶出試験を実施してきた。その結果、浸透水の体積含水率や流量によって砒素の溶出量が変化することが確認できている。また、砒素の溶出を評価した移流拡散モデルを構築して解析的な検証も行っている。現在は、長期間の浸透が溶出特性に及ぼす影響を確認するために、さらに詳細なカラム溶出試験を実施しており、今回はその途中経過を報告する。また、解析的には地盤解析ソフト FEAST を用いて、溶出量パラメータを拡張カルマンフィルターを用いた逆解析で同定する方法を検証した。

2. カラム溶出試験の概要

写真-1 にカラム溶出試験装置を示す。直径 10cm のカラムに高さ 70cm まで掘削ずりを充填した。不飽和での実験を行うために、掘削ずりの上部から散水装置で一定量の注水を均等に行い、底部からの浸出水を集水し、砒素濃度、電気伝導度および水温を測定している。

実験は 2022 年の 8 月から開始しており、現在は 8 か月経過している。浸出水の採水は、開始当初は昼間の 2 時間ごとに行っていたが、現在は 2 回/日で試料瓶に保管した後に、水質分析を行っている。また、カラム中の体積含水率を土壌水分計 (Delta-T 社 EC-5) で 2 か所測定している。表-1 には実験条件の概要を示す。掘削ずりの粒径分布は図-1 の通りであり、これまでに直径 30cm の大型カラムではほぼすべてのずりを用いたカラム実験を行ってきた。今回は詳細な実験を行うために小型カラムを使用しており、粒径は 10mm 以下の小さい範囲に限定した。粒径の分布を小、中小、中大、大の 4 つに分類 (粒径のかっこ内は重量比率) し、流量は 4 ケースで合計 12 ケースの実験を並行して実施している。

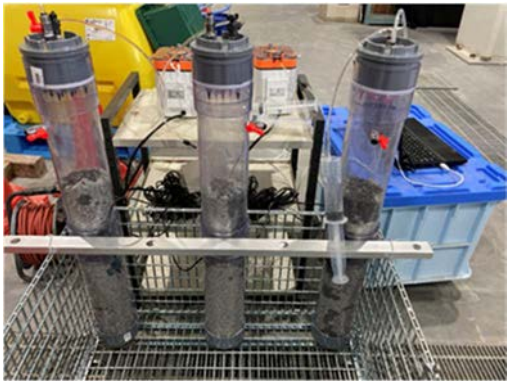


写真-1 カラム溶出試験装置

表-1 実験条件の概要

ケース名	粒径 (mm)	かっこ内は重量比率	流量 (mL/hr)
1 小 85	0~2		85
2 中小 85	0~2 (2/3), 2~10 (1/3)		
3 中大 85	0~2 (1/3), 2~10 (2/3)		
4 大 85	2~10		
5 小 171	0~2		171
6 中小 171	中小 85 と同じ		
7 小 306	0~2		306
8 中小 306	中小 85 と同じ		
9 中大 306	中大 85 と同じ		
10 大 306	2~10		605
11 中小 605	中小 85 と同じ		
12 大 605	2~10		

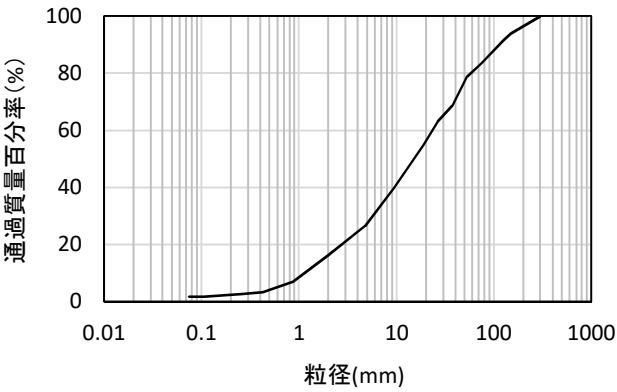


図-1 掘削ずりの粒径加積曲線

キーワード：掘削ずり、カラム溶出試験、砒素、不飽和浸透流、逆解析

連絡先：〒545-8555 大阪市阿倍野区松崎町 2-2-2 (株)奥村組・土木本部 清水祐也 TEL 06-6625-3764

3. 試験結果

図-2 には流量が 85mL/hr のケースの体積含水率の測定結果を示す。凡例の①はカラム底面から 40cm，②は底面から 20cm の高さの土壌水分計の測定値である。粒径によって異なるが、数時間から 30 時間ではほぼ定常状態になっている。

図-3 には、粒径と体積含水率の相関を示す。横軸には粒径の分類ごとに便宜的に小から大に並べているので粒径と含水率の勾配に意味はないが、粒径の大きい方の含水率が小さくなる傾向が明らかである。

図-4 には流量が 85mL/hr の浸出水の砒素濃度の変化を示す。大粒径を除いてピークの砒素濃度は 0.15mg/L の同程度の濃度となっており、粒径が大きい方の濃度低下が早い。

4. 解析的検証

式(1)に移流拡散方程式、砒素濃度の溶出の定式化を式(2)と式(3)に示す。ここで、 C は砒素濃度、 u は流速、 D は分散係数、 R は遅延係数、 q は砒素の溶出量、 θ は体積含水率、 q_a は基準溶出量 q_0 は初期の基準溶出量、 q_{max} は最大溶出量、 κ 、 η は実験定数である。詳細は参考文献²⁾を参照頂きたい。

図-5 には「小 85」と「中小 306」の逆解析によって同定した溶出曲線と実験値との比較を示す。表-2 には同定した溶出パラメータを示す。実験が途中経過なので、最大溶出量 q_{max} は想定である。 Σq は 1000 時間までの総溶出量であり、溶出が無くなる実験最終値から q_{max} を設定する。

$$R \frac{\partial C}{\partial t} + u_x \frac{\partial C}{\partial x} + u_y \frac{\partial C}{\partial y} - \frac{\partial}{\partial x} \left(D_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) - \frac{\partial}{\partial y} \left(D_y \frac{\partial C}{\partial y} \right) - q = 0 \quad (1)$$

$$q = q_a \times \theta_{sum}^\kappa \times u^\eta \quad (2)$$

$$q_a = q_{a0} \times \left(1 - \frac{\sum q \times dt}{q_{max}} \right) \quad (3)$$

$$\theta_{sum} = \sum \theta \times dt \quad (4)$$

表-2 溶出パラメータ

	κ	η	q_{a0} (mg/L/hr)	q_{max} (mg/L)	Σq	
					解析	実験
小 85	0.54	1.65	1.0	10	8.1	7.0
中小 306	1.1	2.43	1.0	8	9.2	8.2

5. あとがき

本報告で長期カラム砒素溶出試験の途中経過を報告した。浸透水の流れは既に定常状態であり、体積含水率や流量と粒径の相関関係から浸透特性の評価ができる。砒素の溶出特性は今後の実験結果から評価する。

[参考文献]

1) 岩本容昭, 太田博光, 倉品 悠, 長 千佳, 清水祐也, 森田修二, 大河原正文: 山岳トンネル掘削ずり処分場内の重金属の挙動把握に関する研究, 地盤工学ジャーナル, 2020
2) 岩本容昭, 清水祐也, 倉品悠, 森田修二, 齋藤剛, 大河原正文: トンネル掘削ずりの飽和・不飽和カラム試験による砒素溶出特性の研究, 廃棄物資源循環学会論文誌, VOL. 33, pp. 83-93, 2022

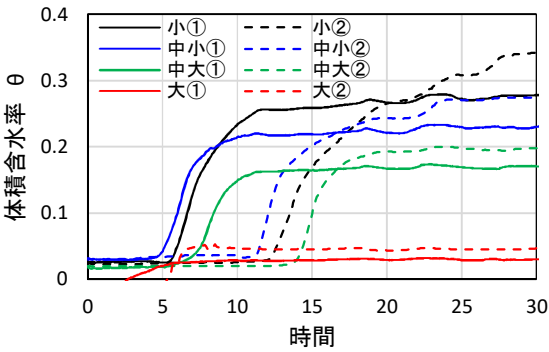


図-2 体積含水率の変化

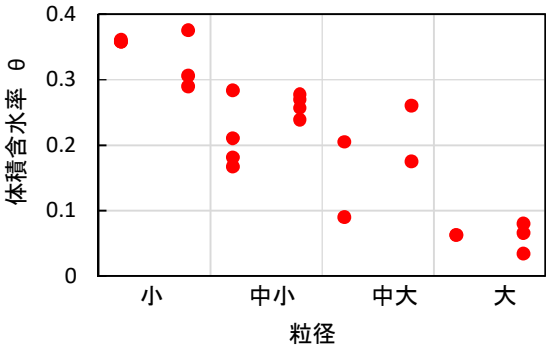


図-3 粒径と体積含水率の相関

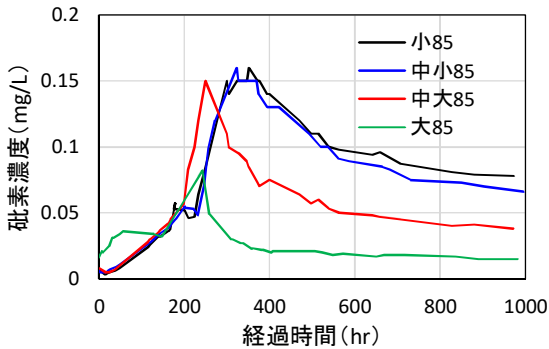


図-4 溶出濃度の経時変化

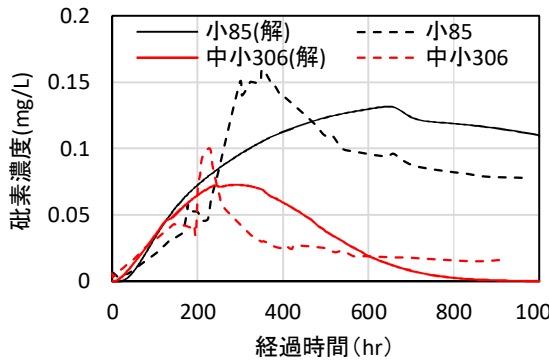


図-5 溶出濃度の比較