

通水方法の違いによる上向流カラム通水試験の吸着・溶出特性の影響について

カラム通水試験 吸着・溶出特性 分散係数

愛知工業大学
国際会員 中村 吉男
㈱アイコ 正会員 ○小島 淳一
国立環境研究所 国際会員 看倉 宏史

1.はじめに

東日本大震災により発生した災害廃棄物の処理にあたって、再生利用を前提とした中間処理が行われ、復興資材として被災地における海岸堤防、海岸防災林復旧などの公共工事に利活用が進められた。今後の災害時の分別土砂の再利用を促進するためには、環境安全性の妥当性を科学的根拠に基づき評価して広く啓発することが必要であり、そのためには利用形態を考慮した分別土砂の環境安全性を評価する合理的な手法の開発が求められる。公定法に代表されるバッチ試験は、ある物体が周囲の水と接触した際に、その物体中の有害物質が周囲へ放出される挙動を把握する手法であり簡便な方法ではあるが利用形態を加味した有害物質の移動現象を捉えることが出来ない。一方、環境媒体中における有害物質の移動現象に着目した溶出特性試験方法であるカラム通水試験は、液固比、溶媒組成、pHなどの要因特性に加えて、対象用土壤の性状と重金属類の物質種との組み合わせによる溶出パターン類似化を図ることが出来る。

本研究は、細粒分を含んだ模擬試料を用いて、ISO規格¹⁾に準じた定量ポンプによる通水方法とマリオットサイフォンを用いた定動水勾配による通水方法の2種類の方法でカラム通水試験を実施した。2種類の物質を用いて、模擬試料に対する吸着・溶出特性を求め、細粒分を含んだ試料へのカラム通水試験の適用性を検討した。

2. カラム通水試験の概要と試験試料

カラム通水試験の概要を図-1に示す。ISO規格に準じたアクリル円筒容器(直径5cm、長さ30cm)に試料を所定の密度で充填し、上向流で溶液を通水した。通水方法は、ISO規格に準じた定量ポンプによる定流量条件とマリオットサイフォンを用いた定動水勾配条件の2条件とした。

試験試料は、粒度の異なる各号数の珪砂を混合した砂と市販粘土(商品名:クレーサンド)の混合土とした。試験試料の粒度分布は図-2に示すとおりであり、試験試料の粒度分布は、概ね津波堆積土砂の粒度範囲に包含される。

3. 試験条件と試験方法

カラム通水試験の試験条件を表-1に示す。供試体の充填密度は締固め試験(JIS A-c法)で得られた最大乾燥密度の85%とし、含水比は最適含水比とした。

試験に用いた溶質は、No.1,2は塩化ナトリウム(NaCl)とし、No.3,4は硫酸アルミニウムカリウム(ミョウバン、AlK(SO₄)₂·12H₂O)と

した。供試体に純水を満たして48時間以上静置した後、純水を通水し、pHと電気伝導率(EC)が安定した状態になったことを確認した後に通水液を溶液に切り替えた(吸着過程)。ECが溶液の初期値に達したことを確認した後、通水液を再び純水に切り替えた(脱離過程)。通水中は、定期的に浸出液を採取し、pHとECを測定した。

なお、本試験では、浸出液の溶質の濃度は、簡便的にECで評価することとした。

表-1 試験条件

No.	供試体の締固め条件			通水方法	通水量(平均) Q(cc/h)	透水係数 ^{a)} k(m/sec)	溶質
	乾燥密度 ρd(g/cm ³)	含水比 w(%)	飽和度 Sr(%)				
1	1.742	9.2	42.7	定動水 勾配 (i=2.5)	4.3	6.80×10^{-7}	NaCl
2	1.742	9.2	42.7		18.4		NaCl
3	1.742	9.2	42.7	定動水 勾配 (i=2.5)	8.8	6.80×10^{-7}	ミョウバン
4	1.742	9.2	42.7		15.3		ミョウバン

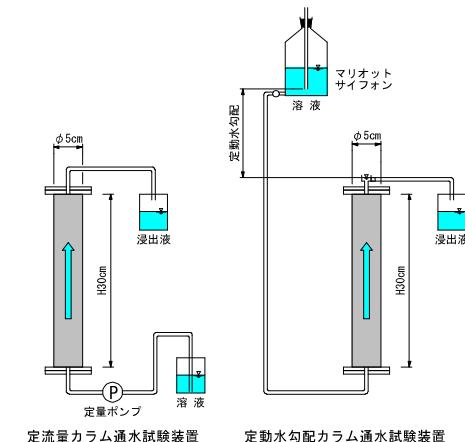


図-1 カラム通水試験装置の概要

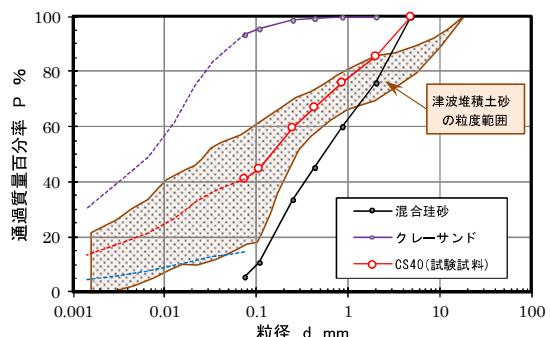


図-2 試験試料の粒度分布

Effect of adsorption and elution characteristics of Up-flow column test due to differences in water flow methods

Yoshio Nakamura A.I.T,
Jurichi Kojima AICO Co.,Ltd
Hirofumi Sakanakura NIES

4. 試験結果

カラム通水試験の結果を図-3に示す。同図は、電気伝導率(EC)の測定値を注入時の値(C_0)で除した比濃度(C/C_0)を縦軸とし、ポアボリュームを横軸にして整理した。

また、同図には、定流量下の濃度変化の理論解²⁾に基づき、分散係数(D)、遅延係数(R)を同定し、破線で示した。

【吸着過程】

$$\frac{C}{C_0} = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left[\frac{RL - vt}{2\sqrt{DRt}} \right] + \frac{1}{2} \exp \left(\frac{vL}{D} \right) \operatorname{erfc} \left[\frac{RL + vt}{2\sqrt{DRt}} \right] \quad (1)$$

【脱離過程】

$$\frac{C}{C_0} = 1 - \left\{ \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left[\frac{RL - vt}{2\sqrt{DRt}} \right] + \frac{1}{2} \exp \left(\frac{vL}{D} \right) \operatorname{erfc} \left[\frac{RL + vt}{2\sqrt{DRt}} \right] \right\} \quad (2)$$

ここに、C：流出濃度、 C_0 ：流入濃度、R：遅延係数、

L：カラムの長さ、t：注入開始後の経過時間、

v：間隙内平均流速、D：分散係数

ただし、溶質がNaClのケースは、溶質が非吸着性（非反応性）とみなしそう、遅延係数Rは1とした。また、非吸着性のトレーサーを使った場合のvとRの関係式 ($R=v \cdot t_{50}/L$: t_{50} は $C/C_0=0.5$ となる時間)から、vとミョウバンのRを算出した。各パラメータの同定結果を表-2に示す。

定流量条件では、NaClとミョウバンの吸着過程と脱離過程の全てで、分散係数はほぼ同じ値が得られた。また、定流量条件におけるミョウバンの遅延係数は、吸着過程では、 $R=1.081$ 、脱離過程では $R=3.772$ となり、吸着過程と脱離過程で差異が生じた。一般的に遅延効果は、重金属等の分配係数が大きい物質に見込まれる。ミョウバンはアルミニウム、カリウム、硫酸の化合物であり、脱離過程は吸着過程に比べて、アルミニウムの挙動が支配的になっている可能性が考えられる。

一方、定動水勾配条件では、NaClの分散係数は吸着過程と脱離過程でほぼ同じ値となつたが、ミョウバンの分散係数はNaClの分散係数に比べて、吸着過程で1/20、脱離過程で1/30程度の低い値を示した。本来、分散係数は物質の種類によらない物理的パラメータである。図-4に示すように定動水勾配条件では、試験時間の経過に伴って単位時間当たりの通水量が徐々に減少する傾向を示しており、NaClの試験とミョウバンの試験では、カラム内の流況が異なっていたものと考えられる。

本試験で用いた試料は、細粒分含有量の多い土質材料である。定動水勾配下での間隙内平均流速の変動に従って細粒分が移動し、部分的に透水性が低下していることが示唆された。

5.まとめ

細粒分含有量の多い土質材料について、定流量条件及び定動水勾配条件の2種類のカラム試験を行ったところ、定動水勾配下では、通水試験の進行に伴って流速が徐々に低下したことから、カラム内で細粒分が移動して部分的に透水性が低下した可能性が考えられた。定動水勾配条件のカラム試験で所定期間を設けて試験を完了するためには、土質の適用範囲を限定する必要があるものと思われる。

謝辞：本研究はJSPS科研費JP17K06564により実施された。記して謝意を表する。

参考文献

1) Soil quality - Leaching procedures for subsequent chemical and ecotoxicological testing of soil and soil-like materials - Part 3:

Up-flow percolation test, ISO 21268-3:2019

2) 地盤工学会：地盤工学・実務シリーズ25 続・土壤・地下水汚染の調査・予測・対策, pp.59-61, 2008.4

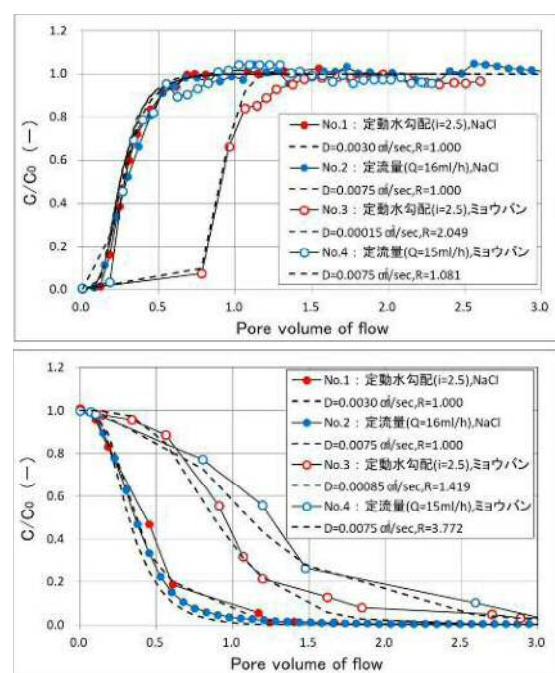


図-3 C/C_0 の解析値と実験値

表-2 各パラメータの同定結果

No.	通水方法	溶質	吸着過程			脱離過程		
			分散係数 D (cm ² /sec)	分散長 a_i (cm)	遅延係数 R	分散係数 D (cm ² /sec)	分散長 a_i (cm)	遅延係数 R
1	定動水勾配 (i=2.5)	NaCl	3.0×10^{-3}	3.85	11,000	3.0×10^{-3}	8.75	11,000
2	定流量	NaCl	7.5×10^{-3}	3.49	11,000	7.5×10^{-3}	4.32	11,000
3	定動水勾配 (i=2.5)	ミョウバン	1.5×10^{-4}	0.19	2.049	8.5×10^{-4}	2.48	1.419
4	定流量	ミョウバン	7.5×10^{-3}	3.49	1.081	7.5×10^{-3}	4.32	3.772

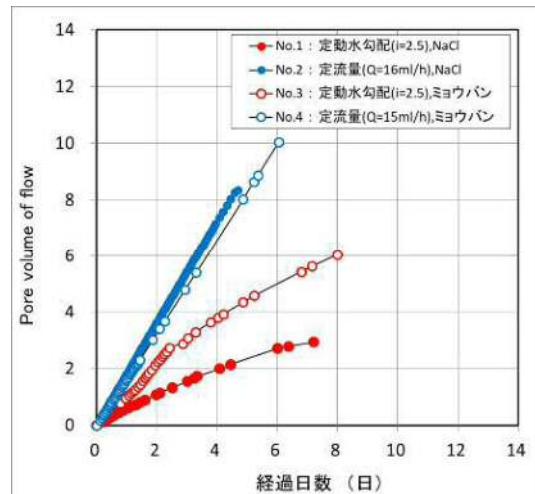


図-4 ポアボリュームと経過日数の関係