

密度条件及び通水方法の違いが上向流カラム通水試験の溶出特性に及ぼす影響について

愛知工業大学 正会員 中村 吉男
株式会社アイコ 正会員 ○小島 淳一
国立環境研究所 正会員 肴倉 宏史

1. はじめに

土壌の汚染を評価する試験方法として、公定法に代表されるバッチ試験は簡便な方法ではあるが利用形態を加味した有害物質の溶出パターンを捉えることができない。一方、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、対象土壌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の類型化を図ることができる。

本研究は、カラム通水試験の適用範囲を明らかにするために、透水係数が 10^{-6} (m/s)程度以下の「透水係数が比較的小さい土」を対象とした。細粒分を含んだ模擬試料を用い、密度条件を変化させて、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種類のカラム通水試験を実施した。通水方法や密度条件の違いによる通水速度の変化が、カラム試験の溶出特性に及ぼす影響について考察した。

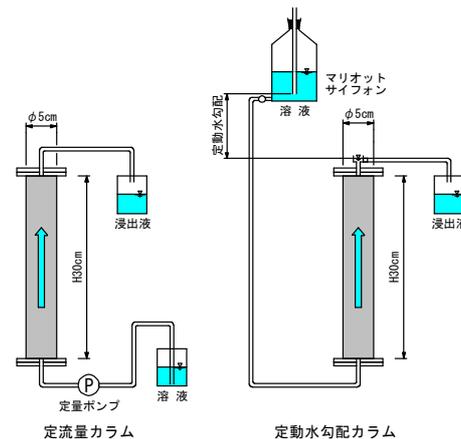


図-1 カラム通水試験装置の概要

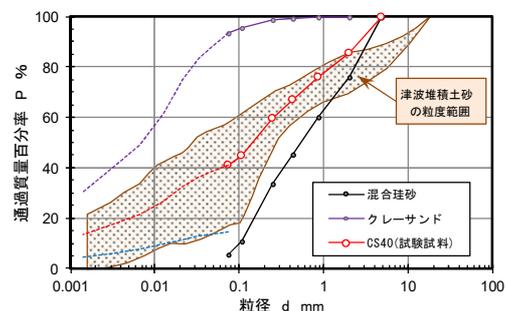


図-2 試験試料の粒度分布

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5 cm, 長さ30 cm)に試料を充填し、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。定動水勾配条件の試験は、透水性が極めて低い試験試料に対しても、動水勾配を上げる(圧力を加える)ことで通水が可能な方法である。

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、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。No. 1~No. 6の充填密度は、締固め試験結果(JIS A-c法)より設定し、No. 7の充填密度は、ISO規格に準じた締固め方法によるものである。試験に用いた溶質は、No. 1, 2は塩化ナトリウム(NaCl)とし、No. 3~7は硫酸アルミニウムカリウム(ミョウバン, $AlK(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$)とした。純水通水時に測定した透水係数は、No. 1~No. 6では、 10^{-6} ~ 10^{-7} (m/s)程度となり、充填密度の低いNo. 7では、 10^{-5} (m/s)程度となった。

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。本試験では、浸出液の溶質の濃度は、簡便的にECで評価した。

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 (mL/h)	透水係数 ^(*) k (m/s)	溶質
	乾燥密度 ρ_d (g/cm ³)	含水比 w (%)				
1	1.742 (D値 85%)	9.2 (Wopt)	定動水勾配 (i=2.5)	4.3	6.8×10^{-7}	NaCl
2	1.742 (D値 85%)	9.2 (Wopt)	定流量	18.4		NaCl
3	1.742 (D値 85%)	9.2 (Wopt)	定動水勾配 (i=2.5)	7.0	1.9×10^{-6}	ミョウバン
4	1.742 (D値 85%)	9.2 (Wopt)	定流量	15.3		ミョウバン
5	1.742 (D値 85%)	7.3 (Wdry)	定動水勾配 (i=1.0)	1.9	1.9×10^{-6}	ミョウバン
6	1.947 (D値 95%)	7.3 (Wdry)	定動水勾配 (i=2.5)	3.7	1.7×10^{-7}	ミョウバン
7	1.370 (D値 66%)	9.2 (Wopt)	定流量	22.5	3.2×10^{-5}	ミョウバン

※)純水通水時の測定結果

キーワード カラム通水試験, 分散係数, 溶出特性

連絡先 〒470-0392 愛知県豊田市八草町八千草 1247 愛知工業大学工学部土木工学科

4. 試験結果

4.1 通水速度の違いが溶出特性に及ぼす影響

各ケースの脱離過程における経過日数と累積流出量の関係を図-3に示す。また、ミョウバンを溶質としたケース(No. 3~No. 7)のカラム通水試験結果(脱離過程)を図-4に示した。同図は、電気伝導率(EC)の測定値を注入時の値で除した比濃度(C/C_0)を縦軸とし、液固比(L/S)を横軸にして整理した。

図-3に示すとおり、通水方法や密度条件によって、通水速度はそれぞれ異なり、また、定動水勾配条件では、試験期間中に通水速度が変化していることがわかる。

図-4の試験結果をみれば、通水速度が速いほど、ECの低下に時間を要する傾向がみられる。土壌と溶媒の接触時間が短いことに起因するものと考えられるが、今回の試験では、全てのケースにおいて、概ね $L/S \geq 1.0$ でECの値は収束した。ISO規格では、 $L/S=0.1, 0.2, 0.5, 1.0, 2.0, 5.0, 10.0$ の時の溶液を分析し、土壌汚染の評価に供することになっているが、通水方法や試料の密度条件により通水速度が変化しても、 $L/S=1.0$ 以上を通水すれば、溶出濃度に変化は生じない結果となった。

4.2 通水方法の違いが溶出特性に及ぼす影響

同一締固め条件(No. 1~No. 4)における定動水勾配と定流量条件のカラム通水試験結果(脱離過程)を図-5に示す。同図は、ECの比濃度(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。

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。

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

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

なお、溶質がNaClのケースは、溶質が非吸着性とみなして遅延係数 $R=1$ とし、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。

定流量条件では、NaClとミョウバンの分散係数はほぼ同じ値が得られたが、定動水勾配条件では、ミョウバンの分散係数はNaClの1/30程度の値を示した。また、ミョウバンの遅延係数は、定流量条件では $R=3.772$ 、定動水勾配条件では $R=1.419$ であった。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-3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、細粒含有量の多い土質材料であり、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。

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。

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・土壌・地下水汚染の調査・予測・対策, pp. 59-61, 2008. 4

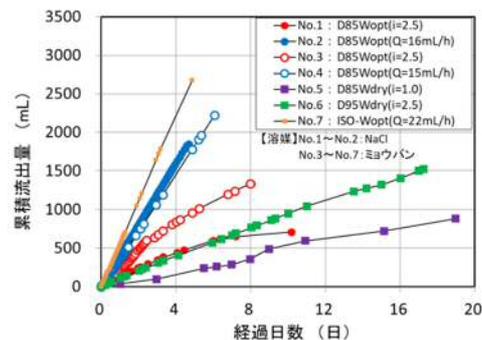


図-3 経過日数と累積流出量の関係

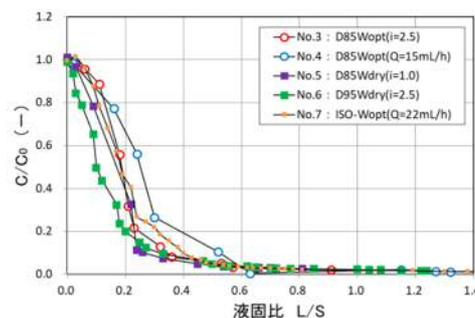


図-4 試験結果(No.3~7:脱離過程)

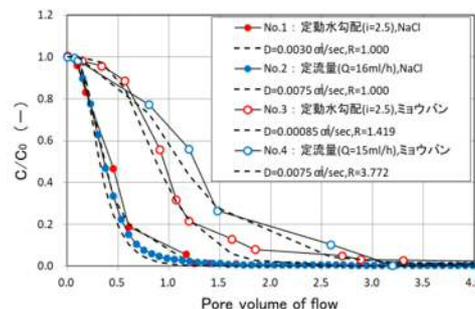


図-5 試験結果(No.1~4:脱離過程)