

## 上向流カラム通水試験のカラム径が溶出挙動に及ぼす影響

福岡大学 正会員 ○藤川 拓朗  
 福岡大学 正会員 佐藤 研一  
 福岡大学 正会員 古賀 千佳嗣  
 国立環境研究所 正会員 肴倉 宏史

**1. はじめに** 土壌からの有害物質の溶出挙動を把握する試験の一つとして、上向流カラム通水試験<sup>1)</sup>がある。この試験は、環告46号法試験とは異なり、初期段階からの溶出濃度に関する情報を得ることが可能であるだけでなく、最大溶出濃度を呈する期間等の長期間の溶出挙動を把握することができるため、実環境に近い試験とされている。最近では、地盤に対する詳細な評価が可能であることから、環告46号法試験とカラム試験を併用した評価に期待が寄せられている。しかしながら、カラム試験は1つの結果を得るのに環告46号法試験と比べて大量の試料を必要とし、多くの時間と労力を必要とするため多試料への対応が難しい。さらには、標準的な試験方法自体が未だ確立されていないことから、試験結果の再現性が低いことが課題とされている<sup>2)</sup>。このような背景を踏まえ本研究では、ISO/CEN規格の上向流カラム通水試験<sup>3)</sup>をベースとして、再現性の高いカラム試験方法を提案することを目的としている。通常、ISO/CEN規格では試料粒径の割合において小径カラム(直径5cm)と大径カラム(直径10cm)の2種類のカラムが定められている。本報告では、これらの条件設定が、試験結果に及ぼす影響を明らかにするだけでなく、試験期間の短縮化や充填試料量の削減の観点から、これらの可能性について検討した結果について報告する。

**2. 実験概要** 実験試料として自然由来の重金属等が含まれる砂質土を用いた。表-1に物理特性を示す。この試料を四分法により分取した後、4.75mm振るいを通したものを使用した。カラム容器への試料充填は、ISO TS 21268-3及びCEN TS 14405に準拠し、試料を5層に分け、最終高さが30±5cmになるように調整した。また本研究では、カラム径の異なる3つのカラム(φ=3cm, φ=5cm, φ=10cm)を用い、カラム径の違いが溶出挙動に及ぼす影響について検討した。試料の充填方法と飽和過程の通水条件は、表-2に示す通りであり、今回、突き固めエネルギーを制御して試料充填を行っているため、カラムサイズに応じてランマー重量を調整している。いずれの条件も、高さ約20cmから各層3回落下させ、試料充填後、カラムの下端から飽和速度約20mL/minで飽和させ、2日間以上静置させている。

通水流量については、それぞれの条件で線速度を一定(15cm/day)にするため、カラム径に応じて調整している。飽和過程終了後、所定の通水流量になるようにポンプの調整を行い、所定の分画にて採取を行った。採取した浸出液は吸引濾過を行い、塩化物イオン(Cl<sup>-</sup>)及びフッ化物イオン(F<sup>-</sup>)はイオンクロマトグラフィー(ICS-1000:ダイオネクス社製)を用い、鉛(Pb)及びヒ素(As)はICPプラズマ発光分析装置(ICPS7000-Ver.2:島津製作所製)を用いて各々定量した。

表-3は、カラム径の検討に用いた実験条件と得られた物性値を示したものであり、カラムサイズが大きくなるにしたがい乾燥密度が増加する傾向にあることが分かる。これは実験に使用した粒度の最大粒径(4.75mm)に対してカラム径が小さいと相対的に充填した試料中の間隙が大きくなり、その結果として乾燥密度が低下したと考えられる。

表-1 試料の物理特性及び溶出特性

土粒子密度 ρ <sub>s</sub> (g/cm <sup>3</sup> )	2.679	
自然含水比 w (%)	18.5	
細粒分含有率 F <sub>c</sub> (%)	14.5	
砂分 (2mm-75μm)	63.4	
シルト分 (75μm-5μm)	8.8	
粘土分 (5μm)	5.6	
pH	8.06	
Ec (mS/cm)	0.30	
環告46号法 試験結果	F:フッ素(mg/L)	0.83
	Cl:塩素(mg/L)	18.0
	As:ヒ素(mg/L)	0.003

表-2 試料の充填方法と飽和過程の通水条件

	カラム径 (cm)	線速度 (cm/day)	通水流量 (mL/h)	ランマー重量 (g)	突き固めエネルギー (kJ/m <sup>3</sup> )
狭径カラム	3.0	15.0	5~7	45	6.1~6.2
小径カラム	5.0		10~15	125	
大径カラム	10.0		40~60	500	

表-3 カラム径の検討に用いた実験条件および得られた物性値

カラムの種類	狭径カラム	小径カラム	大径カラム
カラム径 (cm)	3.0	5.0	10.0
試料状態	湿式	湿式	湿式
溶媒	蒸留水	蒸留水	蒸留水
飽和方法	2日間静置	2日間静置	2日間静置
試料質量 (g)	245.0	787.0	3291.5
乾燥質量 (g)	211.2	676.8	2772.8
供試体高さ (cm)	30.1	30.1	31.4
含水比 (%)	15.9	15.9	15.9
乾燥密度 ρ <sub>d</sub> (g/cm <sup>3</sup> )	0.99	1.10	1.17
飽和度 Sr (%)	90.1	91.7	93.0

\*飽和度は試験終了後の値を示す(試験期間:35日間)。

キーワード カラム試験, カラム径, 溶出挙動, 重金属類, 溶出試験

連絡先 〒814-0180 福岡市城南区七隈8丁目19-1 福岡大学工学部 TEL 092-871-6631(ext.6481)

**3. 実験結果および考察** カラム試験は壁面流によって溶媒が不均一に流れ、その結果、水みちが生じて試験の再現性が低下する可能性を含んでいる。そのため、使用するカラム径の違いが試験結果に与える影響を把握するとともに、カラム径に応じた適用粒径について把握しておくことが重要である。図-1(a)~(c)にカラム径の違いが溶出挙動に及ぼす影響について示す。いずれの結果においても、小径カラム(φ5cm)と大径カラム(φ10cm)を用いた場合、破過曲線をはじめ、最大溶出濃度とその時の累積液固比はほぼ一致する結果を得た。狭径カラム(φ3cm)についても同様な挙動が見られるものの、他の2つの条件と比べてpH、浸出液の最大溶出濃度は僅かながら低くなる傾向を示した。この理由は、表-4に示すカラム径と使用した試料の最大粒径の関係から分かるように、狭径カラムにおいてはカラム径(φ3cm)と使用した砂質土の最大粒径(0.475cm)の比が小さいため、相対的に間隙が大きくなり壁面流によって溶媒が不均一に流れ、水みちが生じた可能性が考えられる。また、狭径カラムに充填した試料の乾燥密度が3つのカラム試験条件の中で最も低いにも係らず飽和度が低いことから、水みちの影響であると考えられる。そのため、水みちをなるべく生じさせないためにも、使用する試料の最大粒径に応じたカラム径を定めておくことが重要である。今回、φ5cmとφ10cmの結果に差が見られなかったことを鑑みると、少なくともカラム径は使用する試料の最大粒径の10倍以上の大きさを有するものを用意するか、あるいは、試料そのものをカラム径に応じて調整(破碎)することが必要と考えられる。

以上の結果をもとに、図-2に上向流カラム試験の最大溶出濃度と累積溶出量(累積液固比10)の関係を示す。これは、各重金属等の最大濃度と累積液固比10の累積溶出量についてまとめたものであり、試験結果の平均値に対する比を示している。カラム径が異なっても、最大濃度、累積液固比10の積算溶出量ともに平均値の±20%の範囲内に収まることが確認された。この結果から、今回使用した砂質土においては、カラム径の違いによる影響は少なく一定の精度を確保できると考えられる。加えて、充填試料量の削減の観点からも、今回用いた粒度分布(最大粒径4.75mm)では、飽和度に関係なくカラム径の影響を受けにくいことから、狭径カラムを使用することで試料量の削減が可能と思われる。その一方で、使用する試料の粒度分布によってはカラム内に水みちを生じさせ、試験結果を過小評価する可能性があるため、今後は異なる粒径(特に粘土やシルトを多く含む試料)で試験を実施しデータを蓄積することや、カラム径に対応した流量の検討などが必要である。

**4. まとめ** 1) 試料の飽和度はカラム径に依存し、カラム径が小さくなると充填後の試料の間隙が相対的に大きくなる。そのため壁面流によって溶媒が不均一に流れ、水みちを生じさせる原因となり得る。2) 試料の最大粒径が4.75mm以下の砂質土であれば、カラム径の違いが試験結果に与える影響は少ないことから、狭径カラムを使用することが可能であり、試料量の削減を図ることができると考えられる。

**謝辞**：本研究を進めるにあたり、元福岡大学(現：西松建設(株))の篠原佳祐氏の協力を得ました。末筆ながらここに記し、謝意を表します。

**参考文献** 1) 肴倉宏史・保高徹生・井野場誠治・渡邊保貴・中村謙吾・藤川拓朗：環境影響評価のためのカラム通水試験の基準化にむけて、地盤工学会誌, Vol.63, No.1, Ser.No.684, pp.18-21, 2015. 2) 金子栄廣：溶出試験方法の現状と展望, 廃棄物学会誌, Vol.3, No.3, pp.182-191, 1992. 3) ISO/TS 21268-3 Soil quality—Leaching procedures for subsequent chemical and ecotoxicological testing of soil and soil materials, Part3:Up-flow percolation test

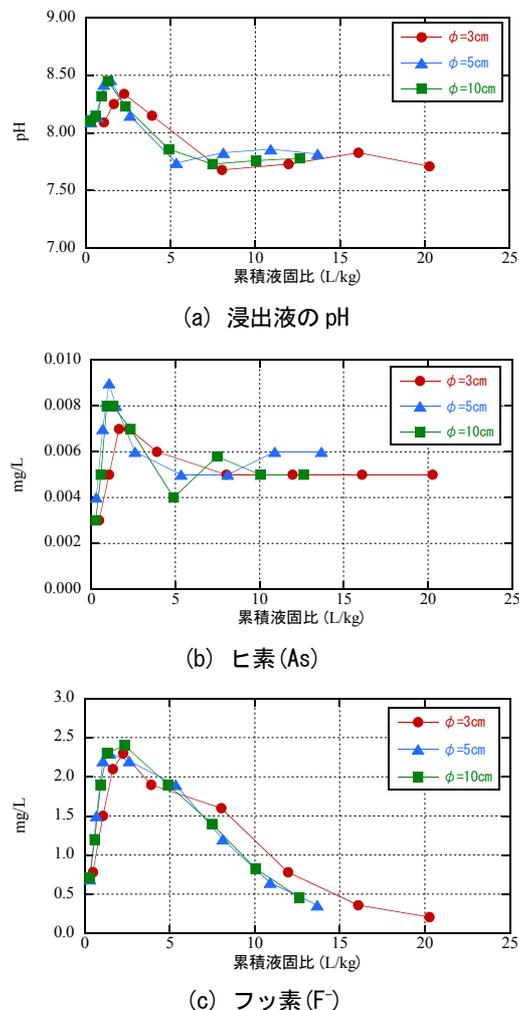


図-1 カラム径の違いが溶出挙動に及ぼす影響

表-4 カラム径と使用した試料の最大粒径の関係

	カラム径 (cm)	使用した試料の最大粒径 (cm)	カラム径/最大粒径
狭径カラム	3	0.475	6.3
小径カラム	5	0.475	10.5
大径カラム	10	0.475	21.1

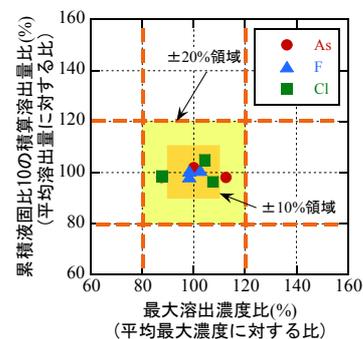


図-2 カラム試験の最大溶出濃度と累積溶出量(累積液固比10)の関係