

低透水性材料のカラム通水試験におけるガラスビーズ置換の影響の検討

福岡大学 学生会員 秋吉 優希 池田 茄生
 福岡大学工学部 正会員 佐藤 研一 藤川 拓朗 古賀 千佳嗣
 (国研)国立環境研究所 正会員 肴倉 宏史

1. はじめに 溶出試験の前処理操作の1つとして、試料の篩い分けを容易にするための風乾作業がある。2019年にISO化された上向流カラム通水試験 (ISO 21268-3) (以後、カラム試験) においても、供試試料については、基本的に有姿試料を未乾燥のまま用いるが、含水比が高いために篩い分けが困難な場合は風乾を認めている¹⁾。しかしながら、試料によっては (例えば、黄鉄鉱やCO₂を吸収しやすい焼却灰等)、風乾によってpHが変化し、試験結果に影響を及ぼす可能性も考えられる。また、粘性土を多く含む試料は、透水性が低いため湿潤状態において溶媒をカラム内に通水させることが困難な場合もある。そこで筆者らは、このような低透水性材料の一部をガラスビーズに置換するカラム試験方法の検討を行っている。本報告では、ガラスビーズの置換率が試験結果に与える影響について報告する。

2. 実験概要

2-1 実験に用いた試料 実験試料には自然由来重金属等含有土 (以後、汚染土) を用いた。表-1に汚染土の物理特性及び環告46号法試験結果を示す。

2-2 上向流カラム通水試験方法 ISO規格(ISO 21268-3)に準拠²⁾してカラム試験を実施した。表-2にカラム試験の詳細を示す。カラムに試料を充填後、カラムの下端から溶媒を通水し、2日間以上静置して水飽和を行った。

飽和過程終了後、通水速度 12±1.6 mL/h となるようにポンプの調整を行い、所定の分画にて採水を行った。なお、採水タンク内は空気に接触して浸出液のpHに影響を与えることのないように、あらかじめ窒素で封入している。採水した浸出液は、0.45 μmのメンブランフィルターを用いて吸引ろ過を行い、検液を作製した。

2-3 実験条件 表-3に本研究の実験条件を示す。ISO 21268-3の試料充填方法は、締固めエネルギーが極めて低い (0.01 E_c程度) ことから実地盤の密度と乖離が生じる可能性がある。また、湿潤状態にある粘性土を風乾せずに使用すると、締固め回数が少ないためカラムにうまく充填できないなどの問題がある。そこで本研究では、実地盤の湿潤密度に近い条件となるように 1 E_c ≒ 550 kJ/m³ の締固め仕事量で試料を突き固めてカラムに充填した。また、粘性土のような低透水材料を実地盤に近い密度でカラムに充填した場合、浸透水圧の増加に伴いカラム上下端で過剰な圧力差が生じてしまう。そのため、このような過剰な水圧を抑制する手法として、直径 5.0 mm のガラスビーズ (以下、ビーズ) による置換を検討した。今回、置換率 (カラムに充填する湿潤試料に対する質量比) を、0, 25, 50, 75 % の4条件とし、カラム内で試料とガラスビーズの偏りが無いようにあらかじめ十分に混合し、置換に伴う水圧抑制効果と溶出濃度の変化について検討を行った。なお、時間経過に伴う水圧の変化を把握できるようにカラム下端 (上流側) に水圧計 (GC31:NAGANO KEIKE 社製) を設置している。各分画ごとに採水した溶出液をろ過した後、pH、電気伝導度(EC)、所定の元素の分析を行った。分析には、ICP 発光分析装置(ICP7000 -Ver.2:1 島津製作所製)、イオンクロマトグラフィー(ICS-1000:ダイオネクス社製)、分光光度計(SHIMAZU 社製 UVmini-1240)を用いた。

表-1 汚染土の物理特性及び環告46号法試験結果

試料	汚染土	環告46号法試験			
		pH	Pb mg/L	Cu mg/L	F mg/L
土粒子密度 ρ _s (Mg/m ³)	2.616	6.8	0.05	0.28	0.32
自然含水比 w _n (%)	47.8	B	Zn mg/L	Mn mg/L	Ni mg/L
細粒分含有率 F _c (%)	69.7	0.32	10	0.34	0.35

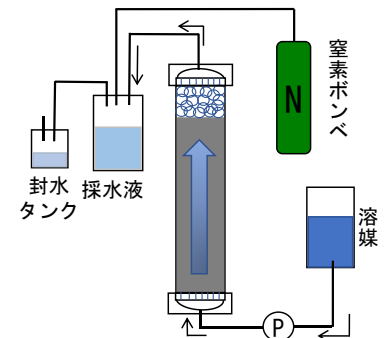


図-1 カラム試験概略図

表-2 カラム試験の詳細

最大粒径	4.75mm
試料の状態	自然含水比 ※ふるいの通過が困難な場合、 風乾可能
カラム径	50~100mm
充填方法	1.0E _c の締固め仕事量で 突き固め
試料高さ	300±5mm
溶媒	0.001mol/LのCaCl ₂
飽和方法	16~72時間静置
通水速度	150±20mm/d ※300±20mm/dまで可能
分画	1, 2, 3, 4, 7, 14, 21, 28, 35日

表-3 実験条件

試料	ランマー (g)	締固め エネルギー E _c (kJ/m ³)	ガラス ビーズ径 (mm)	ガラスビーズ 置換率(%)	充填密度 ρ _d (Mg/m ³)
汚染土	125	1.0	5.0	0	1.55
				25	1.65
				50	1.92
				70	1.80

3. 実験結果及び考察

3-1 ビーズの置換が浸透水圧及び pH・EC に与える影響

図-2 に通水時間の経過に伴う浸透水圧の関係を示す。置換率 0%においては通水開始直後から浸透水圧が増加し、最大で 250 kPa の水圧が発生した。しかしながら、置換率 25%以上の条件においては、浸透水圧の発生がほとんど見られないことから、ビーズによる置換は浸透水圧の発生抑制に効果的な手法であると考えられる。また、図-3 及び図-4 に示すように、pH については浸透水圧の発生による影響はあまり見られないが、EC については置換率 0%において顕著な差が生じる結果となった。

3-2 ビーズの置換が溶出特性に与える影響

図-5 ~図-7 に累積液固比に対する鉛(Pb)、フッ素(F)、ホウ素(B)の溶出濃度の関係を示す。いずれの結果も初期濃度が最も高く、液固比の増加に伴い溶出濃度が低下する挙動を示すことが分かる。鉛については、置換率 0%において定量下限値以下であったのに対し、置換率の増加に伴い初期の溶出濃度が増加する傾向が見られ、置換率 75%において突出して高い値を示した。これは、置換率 75%の浸出液が最も濁っていたことから、コロイドに吸着していた可能性が考えられる。フッ素については、置換率に関係なく初期濃度(分画 1)は同程度の値を示しており、ホウ素については、置換率 0%において初期濃度は突出して高く、ビーズを置換させることで溶出濃度は低くなる事が分かる。これらの結果と測定が可能であった元素(亜鉛(Zn)、マンガン(Mn)、ニッケル(Ni))の結果を踏まえ、ビーズ 0%における分画 1 の溶出濃度で各条件の初期濃度を正規化した結果を図-8 に示す。その結果、①置換率の増加に伴い濃度が高くなるパターン(過大評価型)、②置換率に関係なく同程度の値を示すパターン、③置換率の増加に伴い溶出濃度が低下するパターン(過小評価型)の 3 つに大別できることが分かる。今回の結果から、対象とする元素によってビーズによる置換の効果が異なることが明らかとなった。また、ホウ素等の過小評価型への適用には課題が残るものの、鉛やフッ素については、ビーズを 25%以上置換させることで過剰な浸透水圧の発生を抑え、溶出濃度を評価できることが示唆された。

4. まとめ 本研究では、低透水性材料の溶出挙動をカラム試験を用いて評価する手法として、ガラスビーズの置換による検討を試みた。その結果、ビーズ置換率 25%以上において溶出濃度を評価できることが示唆された。

謝辞：本研究は、令和四年度科学研究費助成事業(課題番号：19K04606)の助成を受けたものです。関係者各位に心より感謝申し上げます。

【参考文献】ISO 21268-3: Soil quality-Leaching procedures for subsequent chemical and ecotoxicological testing of soil and soil materials, Part3:Up-flow percolation test.

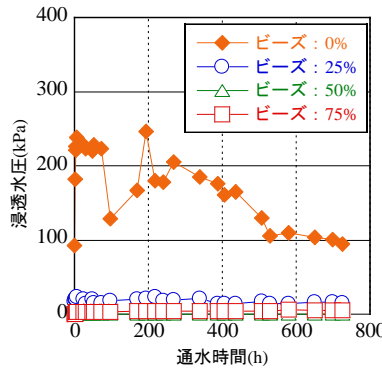


図-2 時間経過に伴う浸透水圧

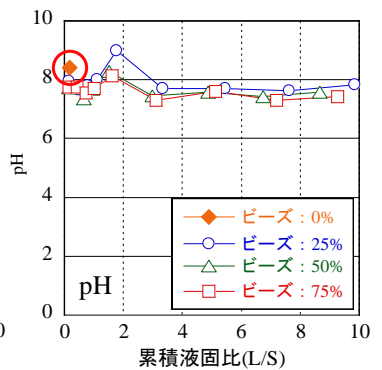


図-3 累積液固比と pH の関係

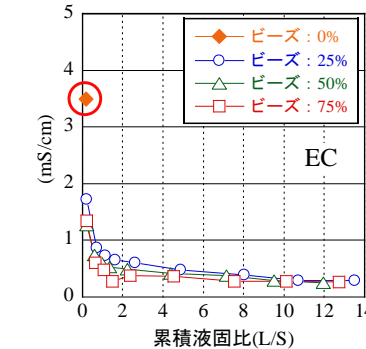


図-4 累積液固比と EC の関係

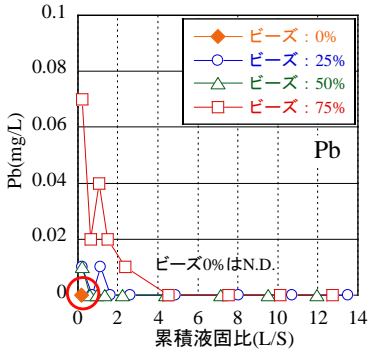


図-5 鉛(Pb)と累積 L/S

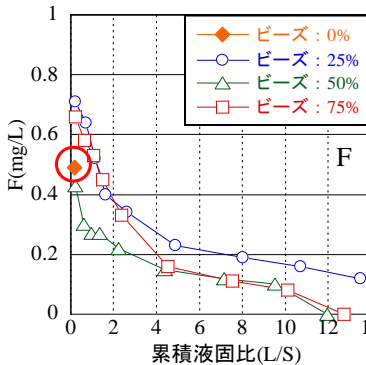


図-6 フッ素(F)と累積 L/S

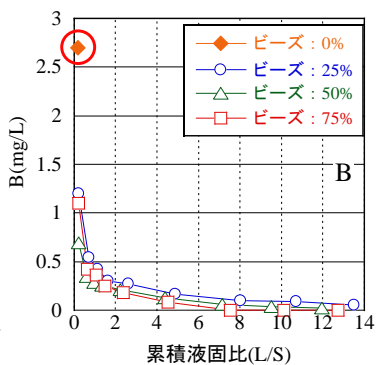


図-7 ホウ素(B)と累積 L/S

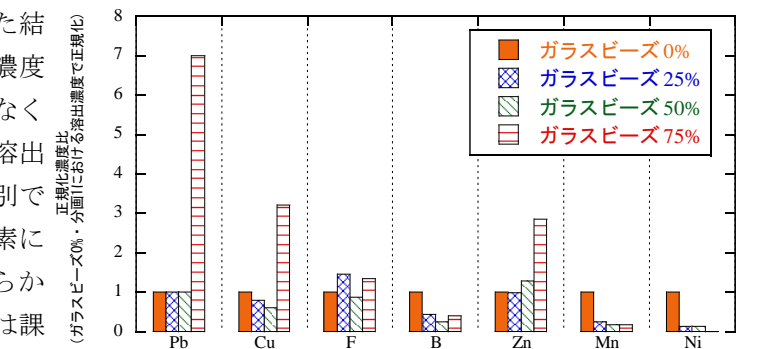


図-8 正規化濃度比

(各ビーズ置換率における初期濃度をビーズ 0%の初期濃度で除したものの)