

上向流カラム通水試験における通水速度が溶出挙動に及ぼす影響

福岡大学工学部 学生会員 池田 哲朗
福岡大学工学部 正会員 佐藤 研一 藤川 拓朗 古賀 千佳嗣

1.はじめに 我が国において、土壌・地下水汚染の調査をはじめ、廃棄物の有効利用等の検討を行う際において、周辺環境に及ぼす影響を適切に把握することが重要である。そのような中、化学的根拠に基づいた特性化試験である上向流カラム通水試験(以降、カラム試験)は、土壌の溶出挙動を詳細に評価できるツールとして標準化が期待されている^{1),2)}。しかしながら、一連の実験結果を得るまでに約一ヶ月を要するため、迅速な判断が求められる汚染評価や絞り込みのツールとしては不向きであり、試験時間の短縮化が求められている。そのためには、溶媒の通水速度が試験結果に及ぼす影響や、結果の再現性に及ぼす影響を把握しておかねばならない。このような背景の中、著者らはこれまでにカラム試験の時間短縮に向けた検討を行っており、一連の成果を得ている^{3),4)}。本報告では、カラムに充填する対象試料の細粒分含有率に着目し、通水速度が溶出挙動に及ぼす影響について検討した結果について報告する。

2. 実験概要

2-1 実験に用いた試料 実験には太宰府まき土及び、石炭火力発電所から副次的に発生する石炭灰(原粉)を使用した。表-1 に試料の物理特性を示す。太宰府まき土は 2mm ふるいを通過したもの、石炭灰は細粒分調整と溶出特性の把握するために用いた。配合条件を表-2 に示す。検討は、太宰府まき土の乾燥質量に対して 0, 30, 60%の石炭灰(原粉)を外割配合で混合した計 3 Case で実施した。各 Case における粒径加積曲線を図-1 に示す。

2-2 上向流カラム通水試験方法 試料充填方法は、ISO TS 21268-3⁵⁾及び CEN TS 14405⁶⁾に準拠し、表-3 に示す試験方法で行った。カラム試験の回路図を図-2 に示す。供試体の作製方法は、試料を 5 層に分け、高さが 30±5cm になるようにランマーを用いて充填した。その際、突き固めは直径 5cm、重さ 125g のランマーを 20cm から各層 3 回落下させ、供試体作製後、カラムの下端から流速 12±1.6mL/h で通水させ、2 日間静置させて飽和を行っている。なお、ISO/CEN 規格での通水速度は 12±1.6mL/h(浸透距離 0.15m/d)に規定されているが、本検討では試験時間の短縮を行うため、通水速度を 3 倍の 36±1.6mL/h(浸透距離 0.45m/d)にて実施した。流速飽和過程終了後、通水を開始し、所定の分画にて採水を行った。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、窒素で封入している。採水した浸出液は、0.45μm のメンブランフィルターを用いて吸引濾過を行い検液とし、pH、フッ素(F)、ホウ素(B)、六価クロム(Cr(VI))の測定を行った。フッ素(F)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、ホウ素(B)は、ICP プラズマ発光分析装置(ICP7000-Ver.2:島津製作所製)、六価クロム

(Cr(VI))の分析には分光光度系(SHIMAZU 社製 UVmini-1240)を用いた。また、通水時における浸透圧力を計測するため水圧計(GC31:NAGANO KEIKE 社製)をポンプとカラム下端の間に設置した。また、各条件における試料の透水性を把握するため、カラム充填試料と同様の密度で供試体を作製し、土の透水試験(JIS A 1218)を実施し、透水係数 k (m/s)を算出した。

表-1 試料の物理特性

試料名	太宰府まき土	石炭灰
土粒子密度 ρs(g/cm³)	2.634	2.176
含水比 w(%)	8.3	0
強熱減量 Ig-loss(%)	2.8	10.9
細粒分含有率 Fc(%)	8.1	94.9

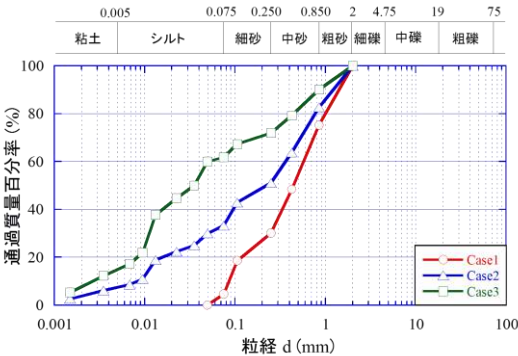


図-1 各試料の粒径加積曲線

表-2 配合条件

	Case1		Case2		Case3	
	Case1-1	Case1-2	Case2-1	Case2-2	Case3-1	Case3-2
通水速度 (mL/h)	12±1.6	36±1.6	12±1.6	36±1.6	12±1.6	36±1.6
細粒分含有率 F _c (%)	0		30		60	
溶媒	CaCl ₂ (0.001mol)					
飽和方法	2日間静置					
充填試料(g)	881.97	878.37	974.56	971.91	955.69	958.67
供試体高さ(cm)	29.50	29.70	29.10	29.60	29.60	29.70
含水比(%)	13.30	13.70	16.00	15.80	16.30	16.60
透水係数 k(m/s)	4.43×10 ⁻⁴		1.40×10 ⁻⁵		7.78×10 ⁻⁶	

表-3 カラム試験方法⁵⁾⁶⁾

最大粒径	2.00mm
試料の状態	乾燥状態
充填の方法	高さ6cmを5層 125gランマーで各層3回
試料高さ	30±5cm、充填量統一
ろ紙の孔径	1.5~8μm
分画	通水速度 12mL/h (24時間、48時間、 72時間、96時間、7日、14日、 21日、28日、35日)
	通水速度 36mL/h(9区画)

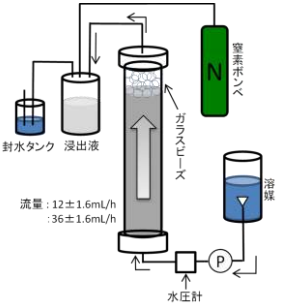


図-2 カラム試験の回路図

3. 実験結果及び考察

3-1 対象試料の細粒分含有率が浸透圧力に及ぼす影響 図-3 に細粒分含有率と浸透圧力の関係を示す。対象試料の細粒分含有率が増加するほど浸透圧力が増加することが分かる。これは表-2 に示すように、細粒分含有率の増加に伴い透水係数が低下しているため、透水係数の低下が浸透圧力の増加に起因していることが考えられる。また、細粒分含有率が増加するほど、浸透圧力が定常化するまでに時間を要していることが分かる。しかしながら、今回用いた試料の各条件における透水係数は $10^{-4} \sim 10^{-6}$ (m/s) であり、ダルシー則に基づき浸透距離(0.45m/d)から、導水勾配を算出すると、0.01~1.0 程度に相当⁷⁾する。したがって、浸透圧力は概ね妥当な値であり、通水速度を3倍にすることは現実的な範囲であると考えられる。また、通水速度を過度に増加させるとカラム内圧が上昇し目詰まりを早める可能性があるだけでなく、有効応力の変化にも注意が必要となる。そのため、通水速度の設定には現場の地下水流速や透水性を念頭に置いておくことが重要である。

3-2 通水速度の変化が溶出挙動に与える影響 図-4 に pH の測定結果を示す。流速 12mL/h と 36mL/h を比較すると全ての条件において類似した時間変化曲線(ブレイクスルーカーブ、BTC)を示した。よって、通水速度の変化は pH に影響を及ぼさないと考えられる。図-5 にフッ素の累積溶出量の結果を示す。通水速度 12mL/h と 36mL/h を比較すると、通常のスピードの3倍である 36mL/h で通水させたものが、12mL/h よりも高い溶出量で推移していることが分かる。これは、フッ素は水溶性の性質

を示すため通水速度の影響を受けたことが考えられる。図-6 にホウ素の累積溶出量の結果を示す。ホウ素に関しても、流速 36mL/h で通水させた場合において、12mL/h の場合よりも高い溶出量で推移していることが分かる。このことから、フッ素、ホウ素に関しては通水速度の影響を受けるため、フッ素やホウ素などを含む土壌に対して試験時間短縮のため、通水速度を速めると溶出量を過大評価してしまう可能性がある。一方、移動性が大きい六価クロムに関しては、図-7 に示すように、通水速度 36mL/h において溶出量は低下傾向を示す結果となり、通水速度を速めると、溶出量が低下する可能性があるため過小評価に繋がる可能性があることが考えられる。

4. まとめ 今回実験に用いた試料において、通水速度は浸透圧力や溶出試験結果に及ぼす重要な因子であることが明らかとなった。また、対象とする元素によって溶出挙動が異なるため、試験結果を過大・過小評価をする可能性がある。そのため、試験時間の短縮化のため通水速度を速める場合は、それら特性を十分踏まえた上で設定する必要がある。

謝辞：本研究は、文科省科研費 BA290017 の助成を受けたものです。関係各位に心より感謝申し上げます。

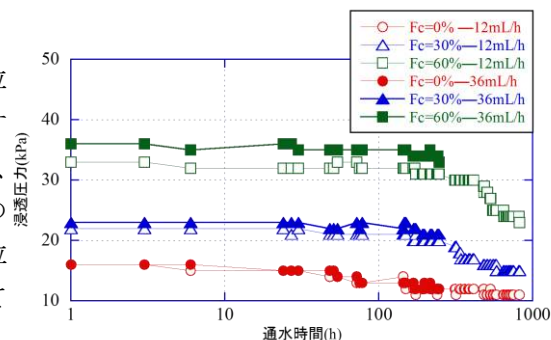


図-3 細粒分含有率と浸透圧力の関係

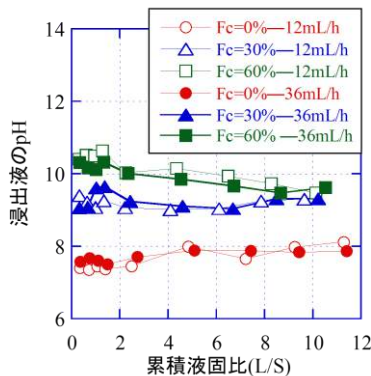


図-4 浸出液の pH

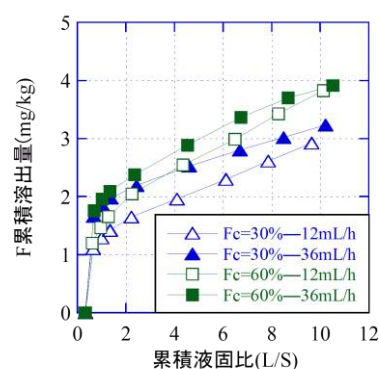


図-5 フッ素 (F) の累積溶出量

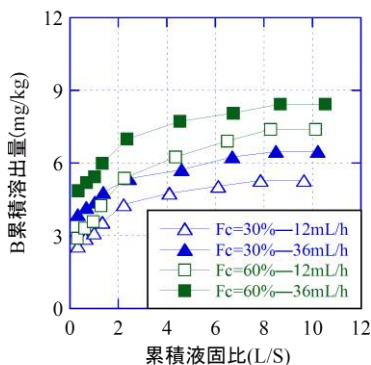


図-6 ホウ素 (B) の累積溶出量

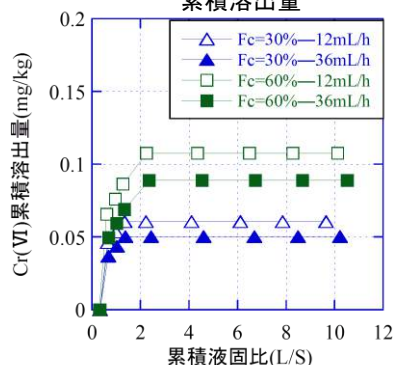


図-7 六価クロム (Cr(VI)) の累積溶出量

【参考文献】1) 倉倉ら：(0043) ISO/TC 190 (地盤環境)で規格化されている溶出試験について、第19回地下水土壌汚染とその防止策に関する研究集会講演集, S1-24.2013. 2) 保高ら：(0120) ISO/TC190におけるカラム試験の国際標準化への日本の取り組み, 第21回地下水土壌汚染とその防止策に関する研究集会講演集, S5-08.2015. 3) 倉倉ら：環境影響評価のためのカラム通水試験の基準化に向けて、地盤工学会誌, Vol.63, No.1, Ser.No.684, pp.18-21, 2015. 4) 藤川ら：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、土木学会第70回年次学術講演会講演会概要集, pp.135-136, 2015. 5) ISO/TS 21268-3 Soil quality-Leaching procedures for subsequent chemical and ecotoxicological testing of soil and soil materials, Part3:Up-flow percolation test. 6) CEN/TS 14405 Characterization of waste-Leaching behavior tests-Up-flow percolation test(under specified conditions. 7) 倉倉ら：環境影響評価のためのカラム通水試験の基準化に向けて、地盤工学会誌, Vol.63, No.1, Ser.No.684, pp.18-21, 2015.