

令和 5 年 5 月 29 日現在

機関番号：37111

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2022

課題番号：19K04606

研究課題名（和文）ISOカラム試験の適用法に関する研究 - 実環境における汚染物質挙動モデルへの展開 -

研究課題名（英文）Application of ISO Column Percolation Tests -Development of Contaminant Behavior Models in Actual Environments-

研究代表者

藤川 拓朗 (Fujikawa, Takuro)

福岡大学・工学部・助教

研究者番号：20609606

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）：上向流カラム通水試験を汚染土壌等の環境影響評価手法として実務で活用していくため、カラム試験の現状と課題点を整理し、課題点の解決に向けた実験的検討を行った。具体的には、溶媒の通水速度の影響範囲、塊状試料の取り扱いと解砕粒径が試験結果に与える影響、カラム容器への試料充填密度の違いが試験結果に与える影響とその適用範囲について検討を行った。また、実環境条件における汚染物質の溶出挙動を再現できるモデルの構築として、液固比バッチ試験から取得するパラメータを用いた新たな移流分散解析手法と、内部拡散を考慮した溶出挙動モデルを提案し、カラム試験の試験時間の短縮化や溶出挙動を予測できることを明らかとした。

研究成果の学術的意義や社会的意義
土壌汚染の判定や対策費用の負担など種々の問題が顕在化しているため、環境安全性の評価を適切に行うことが求められる社会的背景の中、上向流カラム通水試験は、これらの打開策の1つのツールとなり得ることを実験的に明らかとした。さらに、実現象を考慮した新たな解析モデルの提案は、試験時間の短縮化や溶出挙動を簡易的に予測できる点において学術的意義は大きいと考えられる。また、上向流カラム通水試験は、土壌汚染の判定のみならず、種々のリサイクル材料を地盤材料として有効利用した際の環境影響評価手法にも適用できることから、循環型社会形成の構築を目指した新しい研究分野への波及効果にも十分な期待が持てる。

研究成果の概要（英文）：In order to utilize up-flow column percolation test as a method for evaluating the environmental impact of contaminated soil, the current status and issues of column tests were summarized, and experimental studies were conducted to resolve the issues. Specifically, this study was examined the range of influence of flow rate, the influence of handling of lumpy samples and crushed particle size on the test results, and the influence of different sample filling densities in the column on the test results and its range of application. In addition, a new advection-dispersion analysis method using parameters obtained from liquid-solid ratio batch tests and an elution behavior model that takes internal diffusion into account were proposed to construct a model that can reproduce elution behavior of contaminants under actual environmental conditions. As a result, it was revealed that the proposed method can shorten the test time of column tests and predict the elution behavior of contaminants.

研究分野：地盤環境工学

キーワード：土壌汚染 環境安全性評価 重金属 上向流カラム通水試験 地下水 移流分散 液固比バッチ試験
溶出挙動

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

土壌汚染対策法の改正に伴い、自然由来重金属含有土壌を建設事業で取り扱う事例が増加しており、汚染の判定や対策費用の負担など種々の問題が顕在化している。その打開策の1つとして、環境安全性の詳細評価が可能な溶出試験(特性化試験¹⁾、もしくは、詳細評価試験とも言う)を用いた評価手法に高い注目が寄せられている。

2. 研究の目的

特性化試験の1つである上向流カラム通水試験(以後、カラム試験)が、日本主導のもと2019年9月にISO化(ISO21268-3²⁾)され、これを機に将来的にカラム試験をJIS化させる動きや汚染土壌や地下水等の新しい安全性評価手法として高い注目と期待が寄せられている。そこで今後はカラム通水試験の実務での具体的な活用方法の提示が重要となることから、本研究では、(1)上向流カラム通水試験による汚染土壌等の環境影響評価手法を提示すること、(2)実環境条件に設定した場合の汚染物質挙動を再現できるモデルの構築を行うことが研究の目的である。

3. 研究の方法

(1)上向流カラム通水試験による汚染土壌等の環境影響評価手法を検討するにあたり、①~③に示す影響因子に着目し、その影響範囲を明らかにする。また、(2)汚染物質挙動の再現モデルの構築については、④に示す新たな解析手法の提案を行い、実環境における汚染物質挙動モデルへと展開していく。

①土壌の細粒分に着目した溶媒の通水速度の影響範囲の定量的評価

粘土やシルトを含む汚染土壌をカラム試験の試料として用いる場合、試料の透水性が低いことから通水速度の増加に伴い過剰間隙水圧を発生させる要因となり、要素性が失われ、結果の再現性を担保することができなくなる可能性がある。さらには、ポンプから送られる溶媒の水圧が極度に高まることでチューブの破損やカラム容器の損傷にまで繋がる危険性ははらんでいる。そのため、透水係数の低い粘土やシルトを含む材料で試料を作製し、通水速度の影響が溶出挙動に現れてくる細粒分含有率や透水係数の範囲を明らかにする。

②塊状試料の解砕粒径が試験結果に与える影響の把握

カラム試験は、試料の最大粒径によって使用するカラム径を定めているものの、塊状試料の解砕粒径までは規定されていないのが現状である。そのため、軟岩や泥岩のような塊状試料を細かく砕く必要性の有無とその影響範囲を明らかにする(カラム試験において、解砕粒径の影響に着目した研究事例は非常に乏しいのが現状)。

具体的には、軟岩や泥岩等の塊状試料の最大粒径を4.75mm(細礫)、2mm(粗砂)に分け、最大粒径の違いが溶出挙動に及ぼす影響について明らかにし、試料粒径の取扱い方について検討する。

③締固めエネルギーの違い(試料充填密度の違い)が試験結果に与える影響の把握

ISO標準カラム通水試験による試料充填は、125gランマーを落下高さ25cmから3層5回(計15回)で突き固める方法である。これは、締固めエネルギーに換算すると0.011E_c程度(1E_c≒550kJ/m³)であり、かなり、“ゆる詰め”な状態である。定流量で通水することを第一義と考えれば合理的な方法ではあるが、実際の現場の密度と乖離がある点には注意が必要である。そのため、科学的根拠に基づき現場に近い密度で試験を実施し、カラム充填密度の影響が試験結果に及ぼす影響を明らかにするとともに、その適用範囲について検討を行う。

④実現象を考慮した新たな移流分散解析手法の提案

移流分散方程式を用いて汚染物質の移動を解析する際、必要な吸脱着反応に関するパラメーターを、汚染源地盤を構成し汚染物質を保有する材料に対して液固比を所定の範囲で段階的に割り振って行う「液固比バッチ試験³⁾」の結果から取得する、“新たな移流分散解析手法”を提案し、解析結果の妥当性を実験的に証明する。

カラム試験方法及び重金属等の分析方法
カラム試験は、ISO21268-3に準拠し、表-1に示す試験法を本実験の標準方法として用

表-1 カラム試験方法(ISO21268-3)

最大粒径	4.75mm(※ISOは4.0mm)
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	5層に分けて充填 125gランマーで各層3回締固め
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 (ISOはL/S=0.1, 0.2, 0.5, 1, 2, 5, 10)

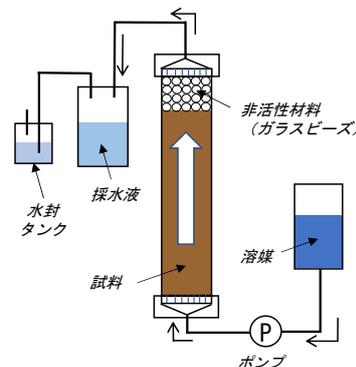


図-1 カラム試験方法 (ISO21268-3)

いた。図-1 は、本研究で使用したカラム試験機の回路図である。対象試料を 5 層に分け、直径 3.5cm、重さ 125g のランマーを高さ約 20cm から各層 3 回落下させ、最終高さが 30±5cm になるようにカラムに突固めて作製した。試料充填後、カラムの下端から溶媒を定流量ポンプにより通水させ、飽和状態になった後に平衡状態にするため 2 日間以上静置させている。飽和過程終了後、通水速度 10~15mL/h となるようにポンプ調整を行い、所定の分画にて採取を行った。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、あらかじめ窒素を封入している。採取した浸出液は、吸引濾過を行い、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)、鉛(Pb)、砒素(As)及びホウ素(B)は ICP プラズマ発光分析装置(ICP7000-Ver.2.1 島津製作所製)、六価クロム(Cr(VI))は分光光度計(SHIMAZU 社製 UVmini-1240)を用いて定量した。

4. 研究成果

(1) 上向流カラム通水試験による汚染土壌等の環境影響評価手法

①カラム通水試験における溶媒速度の影響

ISO21268-3 では、有姿試料を未乾燥のまま目開き 4.0mm ふるいを通過したものを使用するが、含水比が高く細粒分が多いためふるい分けが難しい試料については風乾を認めている。また、測定対象物質の濃度変化が流量速度に依存しないことが分かっている場合は、流量速度を 30±2cm/d (2 倍速) まで速めることを許容している。この場合、粘土やシルト分を多く含む試料において流量速度を速める場合、浸透水圧の増加に伴う間隙水圧の上昇により要素性が失われ結果の再現性を担保できなくなる可能性があることに注意が必要である。そこで本研究では、細粒分を多く含む汚染土($F_c=69.7\%$)を用いて通水速度を、15, 30, 45cm/d の 3 条件に設定して試験を行い、通水速度が浸透水圧、pH、溶出結果に与える影響について検討を行った。汚染土はカラム充填時にふるい分けや締固めが困難であることから、風乾して 4.75mm ふるい (JIS では 4mm 規定がないため) を通過したものを使用した。なお、浸透水圧の測定については、カラム上下端に水圧計を設置して行った。

図-2 に通水時間と浸透水圧の関係、図-3 に pH と累積液固比の関係、図-4 および図-5 にホウ素およびフッ素の累積液固比と累積溶出量の関係を示す。浸透水圧については、時間経過に伴う過剰な水圧の上昇は見られず、静水圧程度の値で推移していることから、通水速度の影響を受けないことが分かる。粘性試料を用いたにも関わらずこのように過剰な水圧が発生しなかった理由として、試料の風乾作用と ISO 法による試料充填に伴う締固めエネルギーが小さいことが挙げられる。また、ホウ素とフッ素の溶出結果についても非常に類似した溶出挙動を示していることから、風乾した試料については透水係数に関係なく通水速度が試験

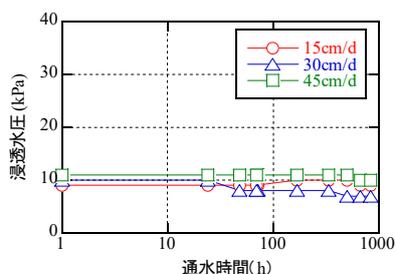


図-2 通水時間と浸透水圧の関係

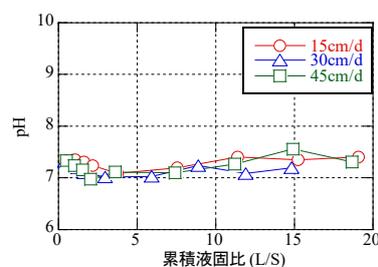


図-3 pH と累積液固比の関係

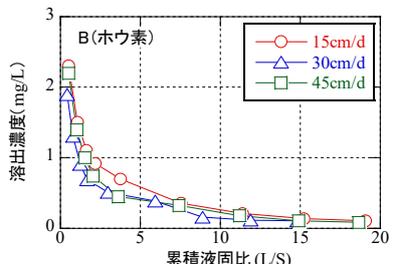


図-4 累積液固比と溶出濃度の関係 (ホウ素)

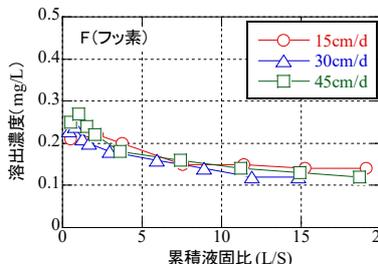


図-5 累積液固比と溶出濃度の関係 (フッ素)

結果に与える影響は小さいと考えられる。しかしながら、試料によっては、風乾に伴い大気中の CO₂ を吸収して pH が変化し、溶出特性が異なる可能性も十分に考えられる。そのため、風乾を避けるため粘性土試料を風乾せずにカラムに充填した場合、透水性が低い場合、溶媒通水時に過剰な浸透水圧が発生することは十分予想される。その時の対策方法として不活性材料 (ガラスビーズなど) を試料に置換し、風乾させることなく試料の透水性を向上させることも効果的である。本研究において、風化させていない湿潤状態の汚染土にガラスビーズを質量比で 0, 25, 50, 75% 置換させた条件でカラム試験を実施 (通水速度は 15cm/d) した結果、ガラスビーズを 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を明らかにした⁴⁾。

②塊状試料の解砕粒径が試験結果に与える影響の把握

実験試料には土丹 (軟岩) を使用し、プラスチックハンマーを用いて 2mm 以下、4.75mm 以下になるようにそれぞれ破碎したものを試料とした。図-6 に pH と累積液固比、図-7 にホウ素と累積液固比の関係を示す。破碎粒径の違いは、pH には影響を及ぼさないものの、溶出濃度は破碎粒径が小さい方が高い傾向を示すことが分かる。この傾向は、ホウ素のみならず他の測定元素 (フッ素、ナトリウム、カルシウム) でも同様の傾向が見られた。これは、破碎粒径が細かいほ

ど試料と溶媒の接触面積が増加(比表面積が増加)することから、溶出濃度も増加するためと考えられる。そのため、塊状試料をカラム試験に用いる場合は、解砕粒径によって溶出濃度が異なることに留意し、最大粒径を設定することが重要である。③締固めエネルギーの違い(試料充填密度の違い)が試験結果に与える影響の把握

ISO 標準規格における試料充填時の締固めエネルギーは、締固め仕事量にして、極めて“ゆる詰め”な条件設定である。そこで、実地盤の密度を考慮して締固めエネルギーを1, 10, 100 倍に変化させてカラム試験を実施し、試料充填密度の違いが溶出試験結果に与える影響について検討を行った。

実験には粒度分布の異なる4種類の汚染土A~D(汚染土A及びBは礫質土、汚染土Cは砂質土、汚染土Dは粘性土である)を使用し、締固めエネルギーが0.01 E_c , 0.10 E_c , 1.0 E_c となるようにランマーの突き

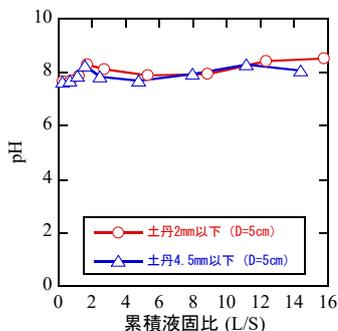


図-6 pHと累積液固比の関係

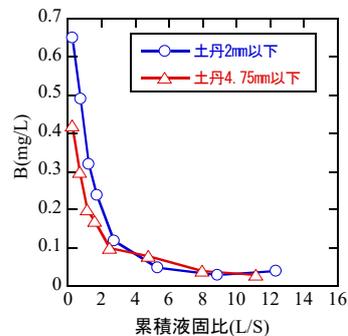


図-7 溶出濃度と累積液固比の関係
(ホウ素)

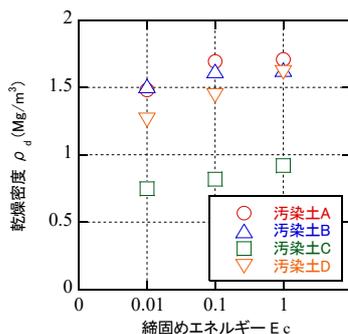


図-8 締固めエネルギーと充填密度の関係

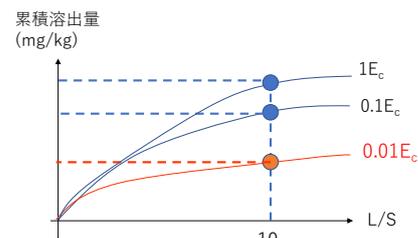
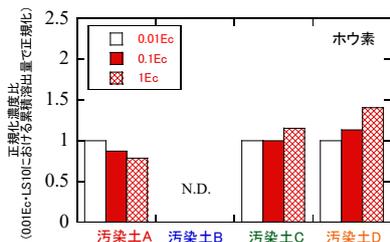
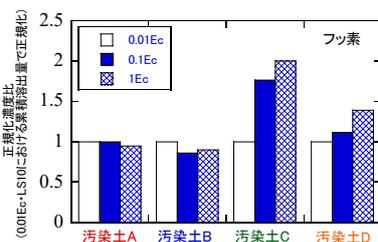


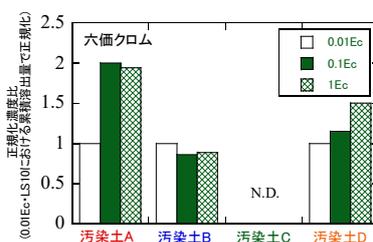
図-9 正規化溶出量の考え方



(a) ホウ素



(b) フッ素



(c) 六価クロム

図-10 正規化溶出量と締固め仕事量の関係

固め回数と層数を調整して行った。図-8は乾燥密度と締固めエネルギー(E_c)の関係を示したものであり、締固めエネルギーの増加に伴い乾燥密度が増加していることが分かる。また、ISO規格の試料充填は実環境よりも小さな密度で試験が行われていることが分かる。これらの条件でカラム試験を行い、得られた結果から各汚染土における正規化溶出量と締固めエネルギーの関係に着目して考察を行う。ここで正規化溶出量とは、図-9に示すように各締固めエネルギーで実施したカラム試験の累積液固比10における累積溶出量を0.01 E_c の累積液固比10における累積溶出量で除したものである。図-10は、正規化溶出量と締固め仕事量の関係を元素ごとにまとめた結果である。図より、正規化溶出量と締固めエネルギーの関係は、①(一部例外はあるが)汚染土A, B(礫質土)のように締固めエネルギーの増加に関係なく正規化溶出量は概ね一定値(あるいは僅かに減少)を示す傾向と、②汚染土C(砂質土), D(粘性土)のように締固めエネルギーの増加に伴い正規化溶出量は増加する傾向の2つに大別することができ、これら2つの傾向は、試料充填時(締固め時)の粒子の破砕性の有無が影響を及ぼしていることを示唆している。よって、カラム試験で指摘される実地盤との密度の乖離による問題の有無は、カラム試験に供する試料の特性や対象とする測定元素にも依存する可能性が高いと考えられる。今回の結果から、砂質土でかつ破砕が生じにくい試料では、締固め時の密度が試験結果に及ぼす影響は小さいものの、粘性土を含み破砕が生じやすい、または、細粒化を起こしやすい試料は締固め時の密度によって透水性が異なるだけでなく、溶媒との接触面積が増えることから試験結果に影響を与えるものもある。そのため、試料の粒子破砕や細粒化等の特性を前もって把握しておくことが重要である。

(2) 実環境における汚染物質溶出挙動モデルへの展開

④ 実現象を考慮した新たな移流分散解析手法 (K_d モデルおよび D_F - K_d モデル) の提案

式(1)に示す一次元移流分散方程式において、遅延係数 R を求める際に必要な分配係数 K_d (ヘンリー型) は、複数の単一バッチ試験を並行して行う液固比バッチ試験を実施し、液相存在量 M_L と液相濃度 c の関係を用いて求めることが可能である³⁾。式(1)では汚染物質と土との反応は吸脱着平衡のみが支配しており、ここではこのモデルを K_d モデルと呼ぶ。

$$R \frac{\partial c}{\partial t} = D \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} - v \frac{\partial c}{\partial x} \quad (1)$$

ここで、 R : 遅延係数 ($R=1+\rho K_d/n$, ρ : 乾燥密度 (kg/L), K_d : 分配係数 (L/kg), n : 間隙率, c : 液相濃度 (mg/L), D : 分散係数 (m²/s), v : 間隙内流速 (m/s)である。

K_d モデルを用いて一次元移流分散解析を行った結果を図-11に示す。図に示すようにカラム試験によって得られる汚染土のホウ素やフッ素の溶出挙動は、 K_d モデルによって再現できることが分かる。しかしながら、 K_d モデルによる移流分散解析では、吸脱着平衡以外のメカニズムが考慮されていない。そのため、図-12に示すようにピーク挙動を持つようなカラム試験結果は、 K_d モデルだけでは再現することができない。そこで、式(2)で示す固相内拡散と吸脱着平衡を接続した物質移動モデル (D_F - K_d モデルと呼ぶ⁵⁾)を作成し、固相内拡散係数 D_F や K_d が有害物質の移動速度や液相濃度に与える影響を評価した。

$$\frac{\partial \rho_s F}{\partial t} = -\nabla \cdot (-D_F \nabla \rho_s F) \quad (2)$$

ここで、 ρ_s : 土粒子密度 (kg/m³), F : 固相濃度 (mg/kg), D_F : 固相内拡散係数 (m²/s)である。

D_F - K_d モデルを用いた解析結果を図-13および図-14に示す。これらの結果は、カラム試験でピークを示すような溶出挙動も、 D_F - K_d モデルを用いることでピーク挙動の再現が可能となり、カラム試験結果と近い挙動を示せることを示唆している。カラム試験は、試験時間と装置のコスト、ボトル交換の労力を要することから、試験時間の短縮化や簡易的に溶出挙動を予測することのできる解析モデルの構築が求められており、このような解析モデルを展開していくことが引き続き重要である。现阶段においてはピークが生じる累積液固比の位置までは正確に再現することができていないため、境膜拡散等も考慮することでピーク位置を再現できないか、現在、検討中である。また、拡散係数についても今回はフィッティングによって求めているため、拡散溶出試験や他の方法から拡散係数を求める検討も今後の課題である。

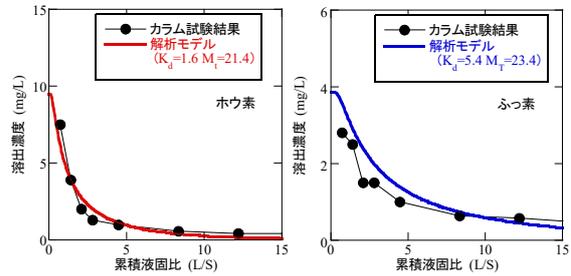


図-11 K_d モデルによる移流分散解析の例(汚染土)

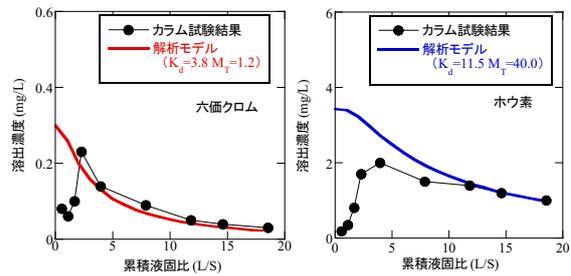


図-12 K_d モデルによる移流分散解析の例(試料:石炭灰)

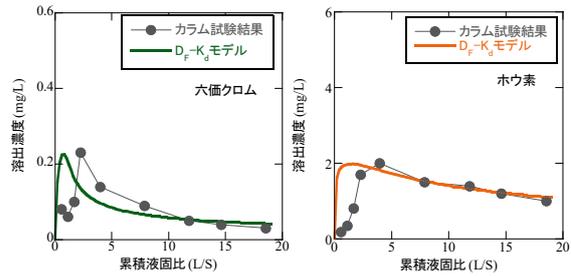


図-13 D_F - K_d モデルによる解析の例(試料:石炭灰)

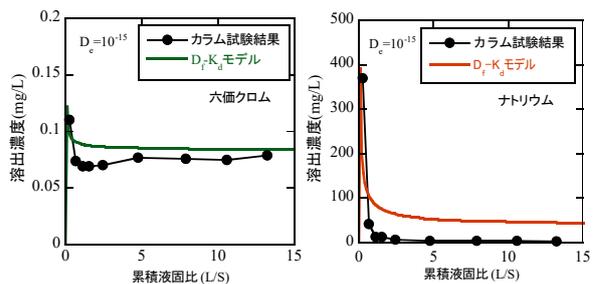


図-14 D_F - K_d モデルによる解析の例(試料:コンガラ)

<引用文献> 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向けて，地盤工学会誌，Vol. 63, No.1, Ser. No. 684, pp.18-21, 2015. 2) ISO 21268-3 Soil quality-Leaching procedures for subsequent chemical and ecotoxicological testing of soil and soil materials, Part3:Up-flow percolation test, 2019. 3) 肴倉宏史・伊藤健一：「液固比バッチ試験」による汚染物質を保有する材料の吸脱着パラメータ取得法，第53回地盤工学研究発表会，pp.2167-2168, 2018. 4) 秋吉優希・池田茄生・佐藤研一・藤川拓朗・古賀千佳嗣・肴倉宏史：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，令和4年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集，pp.473-474, 2023. 5) 肴倉宏史・細野賢一・河原裕徳・横山裕之：固相内拡散を接続した移流分散モデルによる見かけの分配係数の評価，第14回環境地盤工学シンポジウム発表論文集，pp.21-26, 2021.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 崎山大星・佐藤研一・藤川拓朗・古賀千佳嗣・肴倉宏史	4. 巻 14
2. 論文標題 石炭灰からの微量汚染物質溶出挙動～液固比バッチ試験に基づく移流分散解析と上向流カラム試験との比較～	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 第14回環境地盤改良シンポジウム発表論文集	6. 最初と最後の頁 17-20
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 藤川拓朗・肴倉宏史・保高徹生	4. 巻 70(9)
2. 論文標題 上向流カラム通水試験を用いた汚染土壌・地下水等の環境安全性評価	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 地盤工学会誌	6. 最初と最後の頁 32-36
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計9件（うち招待講演 0件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 藤川拓朗・佐藤研一・古賀千佳嗣・崎山大星・肴倉宏史
2. 発表標題 締固めエネルギーの違いが上向流カラム通水試験の溶出挙動に与える影響
3. 学会等名 第56回地盤工学研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 崎山大星・佐藤研一・藤川拓朗・古賀千佳嗣・肴倉宏史
2. 発表標題 カラム試験での石炭灰中汚染物質溶出挙動と液固比バッチ試験に基づく移流分散解析との比較
3. 学会等名 第56回地盤工学研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 崎山大星・佐藤研一・藤川拓朗・古賀千佳嗣・肴倉宏史
2. 発表標題 液固比バッチ試験を用いた移流分散解析によるカラム試験結果の再現性～石炭灰中のホウ素・フッ素の溶出挙動について～
3. 学会等名 令和3年度土木学会全国大会研究発表会講演概要集
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 崎山大星・佐藤研一・藤川拓朗・古賀千佳嗣・肴倉宏史
2. 発表標題 液固比バッチ試験を用いた移流分散解析によるカラム試験の再現性～石炭灰中の六価クロムの溶出挙動について～
3. 学会等名 令和2年度土木学会西部支部研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 白川眞平・崎山大星・佐藤研一・藤川拓朗・古賀千佳嗣・肴倉宏史
2. 発表標題 上向流カラム通水試験の充填密度が汚染土壌の溶出挙動に及ぼす影響
3. 学会等名 令和2年度土木学会西部支部研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 崎山大星・佐藤研一・藤川拓朗・古賀千佳嗣・肴倉宏史
2. 発表標題 液固比バッチ試験を用いた移流分散解析によるカラム試験の再現性とその適用範囲の検討
3. 学会等名 土木学会第75回年次学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 崎山大星・佐藤研一・藤川拓朗・古賀千佳嗣・肴倉宏史
2. 発表標題 液固比バッチ試験を用いた移流分散解析によるカラム試験の再現性とその適用範囲の検討
3. 学会等名 土木学会 第75回年次学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 秋吉優希・佐藤研一・藤川拓朗・古賀千佳嗣・肴倉宏史・池田茄生
2. 発表標題 低透水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
3. 学会等名 令和4年度土木学会全国大会研究発表会講演概要集
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 藤川拓朗・佐藤研一・古賀千佳嗣・肴倉宏史
2. 発表標題 上向流カラム通水試験での試料充てん密度がふっ素び溶出挙動に与える影響
3. 学会等名 第57回地盤工学研究発表会
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分 担 者	肴倉 宏史 (Sakanakura Hirofumi) (70331973)	国立研究開発法人国立環境研究所・資源循環・廃棄物研究センター・室長 (82101)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------