

令和 5 年 6 月 1 日現在

機関番号：14501

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2019～2022

課題番号：19H03074

研究課題名（和文）異常輸送理論と群知能を融合した「地下ダム管理モデル」の構築と実装

研究課題名（英文）Developing and assessing subsurface dam management model based on anomalous solute transport and swarm intelligence

研究代表者

井上 一哉（Inoue, Kazuya）

神戸大学・農学研究科・教授

研究者番号：00362765

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 12,500,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は、地下ダム湖において肥料成分が移動、濃縮、流出する力学現象に関する科学的洞察と人工知能の一分野である群知能・機械学習により、新たな「地下ダム管理モデル」の構築と実装を目的としており、4つのテーマに対して取り組んだ。1点目は、異常輸送現象の洞察を深化するための模型実験、数値解析モデルの開発、石灰岩特性評価である。2点目は、地下ダムの塩水浸入現象を軸とした模型実験によるダム健全性評価であり、学術的・実務的知見を獲得した。3つ目は、群知能の開発と実サイトへの適用であり、4つ目の実サイトでのトレーサ実験とパラメータ同時取得を達成でき、合理的・効率的なダム管理やダム設計に資する成果を得た。

研究成果の学術的意義や社会的意義

地下ダムは農業用の水資源を確保する新しい概念である。健全な水利用を達成する上で、異常輸送現象を学術的に解明することは物質輸送論の発展のみならず、合理的な水質管理に展開できる。また、注目度の高い機械学習や群知能を地下ダム管理に発展的に応用することは、社会的要請の強い水利構造物の機能診断などへの波及効果が期待され、その意義は大きい。さらに、原位置試験による実証を経た管理モデルの展開は低コストで機動性の高い構造物調査や地質調査につながる内容であり、限られた資源を有効活用する現状の社会的要請に沿った課題と言える。このような課題に対して幅広く当該研究は多くの知見を得ることができている。

研究成果の概要（英文）：The subsurface dams have been playing a vital role of the stable water supply by storing fresh groundwater in the upstream side of the cutoff wall and by preventing the saltwater intrusion in the downstream side. A method for evaluating the soundness of the dam is required for proper management. Here we investigated the relationship between the dam soundness and the saltwater distribution in the reservoir through experimental and numerical studies. Also, anomalous solute transport phenomena were investigated through a geostatistical analysis for the upscaled models with the spatial correlation scale. Besides the experimental approach, swarm-based algorithms, which are inspired by forming flocks and swarms, were applied to identify the solute transport parameters using cuckoo search algorithm and gley wolf optimizer. We found that in the site hydraulic conductivity decreases with the elevation, and estimated parameters varied according to an individual observation hole.

研究分野：農業工学

キーワード：地下ダム 群知能 異常輸送現象 機械学習 管理技術 模型実験 原位置試験

1. 研究開始当初の背景

農地に散布された肥料であるアンモニア態窒素、亜硝酸態窒素、硝酸態窒素のような水溶性物質の地層中での輸送現象は、マクロ的・メソ的視点において移流分散方程式を用いて表すことができる。しかしながら、岩盤からの湧水や地下水中の硝酸態窒素濃度の計測過程では、短期間での濃度の急激な上昇や下降、思いもよらない箇所での濃度検出など、通常の移流分散現象とは異なる状況に遭遇することがあり、一般的な移流分散理論では説明できない濃度の急上昇・急下降や汚染領域の不規則かつ広範・針状の拡大、つまりは異常輸送現象が発生している。実際、原位位置にてその様子を観察することは難しく、異常輸送現象の定量化は実験的・解析的両面において学術的な課題の1つである。自然地盤の有する透水係数の不均質性は、地下水流れ中に存在する水溶性物質の輸送挙動に最も影響を与える因子の1つであり、溶質の輸送過程における移流成分が場所ごとに変動するため、非線形な分散現象が発現する。この分散特性の定量評価は溶質拡大範囲の特定に資するため、地下水質の管理においても重要な課題といえる。

地表ダムを設ける地形に恵まれない南西諸島や奄美群島では、水資源の確保が逼迫した課題であり、琉球石灰岩の高いポーラス性を活かして、地下水を堰き止めて貯水する「地下ダム」が建造されてきた。地下ダムの恩恵を受ける宮古島や喜界島では、さとうきび、花卉、野菜など農業生産の多様化と地域農業の活性化が進む一方で、施肥量の増加による地下ダム湖の硝酸態窒素へ濃度に対する不安がある。地下ダムは水供給を最優先する水利構造物であるため、水圧の高い地下ダム堤体に沿って集水井群を配置する傾向にあり、硝酸態窒素濃度が相対的に高くなる可能性のある領域に集水井が設けられていることになる。この点は、地下ダム管理上の最大の難点であり、長期にわたり地下ダムを供用する上で、水供給と水質のバランスの取れた集水井配置、地下水揚水を考慮した柔軟な管理モデルの構築が求められている。

モデル構築において、最適化手法は数学的手法によりコスト最小化や最適設計を実現する方法であり、数理計画法、ベイズ推定、粒子フィルタなど数多くの手法が提案され、土木工学や地盤工学において多様な応用がなされている。地下水の最適化問題としては、遺伝的アルゴリズムを地下水モニタリング計画や溶質輸送パラメータ同定に採用した研究がある。また、透水係数分布を探索した焼きなまし法、ハーモニーサーチヒューリスティックの地下水位変動予測がある一方で、魚群・鳥群行動、あるいは、個人が周りへの同調や行動追従によって、安心感を得ようとする群集心理であるハーディング現象といった認知心理学などの群行動に着想を得た群知能 (Swarm Intelligence) の開発も盛んであり、工学分野への適用事例も増えつつある。群知能は個と群の情報を相互共有しながら解を探索し、複雑な解空間に対しても効率の良く最適解を探索できる手法であり、問題に対する事前情報を必要としない優れた手法であるにもかかわらず、新しい概念であるがゆえに実サイトへの適用には至っていない。

2. 研究の目的

本研究では透水係数の空間分布として、不均質地盤に着目し、透水係数の空間分布特性へ与えるアップスケールの影響を調査するとともに、その影響に応じた溶質分散性の変化を評価することで、解像度低下と溶質分散性の関係を詳細に理解することを目的とした。透水係数モデルには、実サイトの空間分布特性を有するモデルを対象とした。分散性の評価には、数値解析を主に用いることとし、最も解像度の高い透水係数モデルである参照対象場に対しては数値解析とラボスケールの溶質輸送実験を連携することで数値解析の妥当性を確認した。また、地下ダムの水質管理上、貯留域の観測孔にて鉛直方向の電気伝導度分布が計測される点を踏まえて、本研究では、止水壁の健全性評価指標として、止水壁周辺における塩水濃度分布の活用を検討した。地下ダムサイトを模擬したラポレベルの二次元塩水浸入実験を実施するとともに、密度流解析により実験状況を再現した。止水壁の部分的な劣化を表現するため、止水壁の下部、あるいは、中央部に高透水部を設けた上で帯水層を形成し、健全な状態にある止水壁と比較することにより、止水壁弱部の存在が止水壁周辺の塩水濃度分布に与える影響について実験的・数値解析的に評価した。

さらには、地下水環境に関わる同定問題として、地下ダム貯水域の透水係数分布の推定問題への群知能の適用性について考究した。特に、カッコウ探索アルゴリズムとハイイロオオカミ最適化の適用性を検討し、探索アルゴリズムの性能を比較した。同定した透水係数分布を溶質輸送解析に連結することで、実サイトの施肥に伴う硝酸性窒素汚染リスクの可視化手法を考案し、水質管理に資するリスクマップの提示を目的とした。実サイトへの研究展開を上乗せすべく、経済性や機動性に優れた単孔式希釈試験によるパラメータ推定に着目した。単孔式希釈試験では、単一観測孔へのトレーサ物質の投入、経時的な濃度変動の観測、解析解を用いた逆推定を経て、種々のパラメータが推定される。そこで、石灰岩が帯水層を成す地下ダムサイトで希釈試験を実施し、透水係数、分散係数、実流速のパラメータ群に対する鉛直分布の推定手法を考案し、群知能と連携することにより、その効果を検証した。

3. 研究の方法

模型実験で用いる装置の1つは、本体の前面をガラス板、背面をアクリル板、底部および骨組みをステンレス材で構成した。高さ100 cm、幅100 cm、奥行き3 cmの実験空間にて、本体の前面がガラス板であるため、実験空間内を目視でき、後述する色素水溶液の挙動の可視化と定量化が可能となる。実験装置本体の上下流部にはステンレス製の定水頭タンクを設置し、本体とタンクの連結部分には土質試料の流出を防ぐメッシュフィルタを断面全体にわたって貼付した。また、装置背面のアクリル板に半径1.5 mmのピエゾメータ用の孔を6箇所穿孔し、ビニルチューブと連結してピエゾ水頭の計測に用いた。さらに、装置背面には半径6 mmの孔を穿孔することで、溶質の注入孔を設け、シリコン栓で閉じた。透水係数分布のアップスケール効果を吟味するにあたり、実験空間に実験対象となる浸透場に設定した。実験空間内に地盤を作成するにあたり、空気の混入を防ぐため、飽和試料を水中落下により充填した。試料を充填する際には、採用した土質試料のうち、中程度の透水係数を有する試料を実験装置の底から7.5 cmの高さまで積み上げた。試料を充填する過程においては、0.42の間隙率を維持できるように突き固め度合いを調整することで、密度を管理した。準備した18種類の土質試料を所定の大きさのセル状に充填配置した。

地下ダムを模擬した実験では、塩水浸入現象の可視化に適した珪砂を採用し、透水係数の異なる4種類の試料を用いて、帯水層、難透水性基盤、止水壁、止水壁弱部をそれぞれ模擬した。空洞の発達による許容外応力の発生や地震動による亀裂など、築堤後の止水壁の損傷や劣化を想定した実験を行った。下流タンクに海水と同じ濃度3.5%の塩水をそれぞれ連続供給して、両者の水位を調整して浸透場を形成した。下流に供給する塩水は青系水溶性色素Brilliant Blue FCFにて着色し、塩水挙動を可視化した。実験中、下流の水位を保ち、上流の水位を3段階に変化させることで、水位低下状態、非越流状態、越流状態を想定した浸透場を形成した。濃度分布の算定にあたっては、RGB画像の赤成分のみを抽出し、各ピクセルの色の濃淡を0から255までの256階調で表現した。このときの値を画像の明度と定義し、明度と色素濃度の校正曲線を求めることで、画像データを図色素濃度データに変換し、空間モーメント法により溶質の拡がり量を定量化した。

喜界第一地下ダム流域を対象とした地下水流動モデルを構築するにあたり、3300 m × 1700 mの範囲に帯水層の厚みを考慮した3次元領域を設定した。飽和領域と不飽和領域における浸透流方程式を有限要素法にて求解し、ポテンシャル分布を計算した。地下水流動を支配する主要なパラメータである透水係数の空間分布を推定するため、対象サイトの帯水層は主に琉球石灰岩層群が不整合に被っていることを踏まえて、また地質資料に基づいて解析領域をゾーニングした。解析では、特定の期間にて観測された地下水位を再現できる各ゾーンの透水係数を逆推定した。逆推定には比較的新しい群知能であるカッコウ探索アルゴリズムとハイイロオオカミ最適化を適用した。逆解析の過程では、観測地下水位と浸透流解析の結果の残差自乗和が最小になる透水係数の組み合わせを求めた。すなわち、目的関数を最小とする方向に解を探索した。探索過程において解の候補となる個体数は30に統一し、各アルゴリズムの内部パラメータは、事前にベンチマーク関数を用いて深く検討したパラメータ群を採用し、1000世代まで進化探索した。

実サイトにおける研究では、鹿児島県喜界島の南西部に位置する地下ダム建設の予定地にて原位置実験を実施した。本サイトには、農林水産省の国営事業による観測孔が複数設置されており、計画地下ダム湖内に位置する3つの観測孔を実験に供した。観測孔のいくつかを単孔式希釈試験の対象とし、透水係数の推定にて3地点の地下水位データが必要となることから、別の観測孔を水位計測地点に利用した。観測孔の地質構成は類似しており、上部を砂層、下部を低位の碎屑性石灰岩が占めており、地下水位は変動するものの、いずれの孔においても、標高0.45 m付近に地下水面が存在する。単孔式希釈試験には、NaClをトレーサとして採用し、気候の安定した時期に実施した。まず、孔内のNaCl初期濃度を0.743 mg/cm³に調整できるように、所定量のNaClを封入した滲出性の複合繊維パックを1 mごとにロープに取り付けて、観測孔に投入した。なお初期濃度は、孔内・地層内でのトレーサの密度流を抑制するため、当該サイトでの先行的な希釈試験の約1/4となるように設定した。次に、孔内の濃度を均一とするため、投入したロープを上下にゆっくりと180秒間降り動かして、トレーサを十分に溶出させた。溶出作業の後、EL. -8.0 ~ -1.0 mの区間に1 m間隔でECロガー、EL. -3.5 m地点に水位ロガーを設置し、トレーサ濃度と水位の経時変化を10秒間隔で観測した。ECロガーの設置にあたっては、深度方向に1 m間隔にてゴム製の円盤状のツバで区切り、トレーサの密度差による下降の影響を減じる策を講じた。また、単孔式希釈試験の開始に合わせて、EL. -3.5 m地点に設置した水位ロガーにて、実験中の地下水位を10秒間隔で計測した。

4. 研究成果

溶質輸送挙動を模型実験にて可視化した一例を図1に示す。このような低透水層と高透水層の流速差によって流れ方向に拡大する溶質輸送状況に対して、画像解析による溶質の分散性の定量化、ランダムウォーク粒子追跡法による数値シミュレーションを通じて、現象の数値化とその妥当性について良好な再現結果を得た。この点は不均質性を有する帯水層における数値シミュレーション手法の開発に対する成果を意味しており、一般的に用いられる有限要素法では透

水性が大きく変化する部位における精度に難点がある一方で、ランダムウォーク粒子追跡法のマスバランスの保持が優位性を示している。溶質輸送現象をマクロ分散性の観点から確認するために、マクロ縦分散長とマクロ横分散長の推移を検討したところ、マクロ縦分散長は実験と数値解析のどちらにおいても輸送距離とともに増加する結果を確認された。この増加傾向はスケール依存性と呼ばれ、マクロ縦分散長の特徴である。また、最も解像度の高い参照対象場をアップスケールするごとに、不均質度が低下することを確認し、空間相関性に関してはアップスケールモデルの層厚が参照対象場の相関長を超えない範囲において大きな変動はなかった。このことはアップスケールにおいて、層厚を参照対象場の相関長以内に設定することが空間相関性の情報を劣化させない目安であることを示す。さらには、アップスケールするごとにマクロ縦分散長は不均質度の低下に関連して過小推定されるものの、マクロ横分散長はアップスケールに対する感度が小さい点、溶質輸送のリア部・フロント部の輸送状況や有効不均質度による評価を導入することで確認できる点を明らかにした。

地下ダムを想定した模型実験では、図2に示すような実験結果と数値解析の対比結果を得た。止水壁の弱部の位置に応じて、止水壁下流側では塩水域の形状が変化していることを踏まえて、止水壁の健全性と止水壁下流の塩水分布の関係を検討すると、止水壁の透水性の高い部位の位置によっては、鉛直方向に2つの濃度ピークが生じる点が特徴的な結果と言える。止水壁下部より貯留域外へ流出した淡水が塩水を下流側へ押しつつ、流出することにより2つのピークが発現すると推測され、動的な塩水流出過程であるため、実現象としての塩水挙動は乱れやすい点が観察された点も実サイトでの地下ダム管理モデルを構築する上で有益な研究成果と考えられる。もう一つのユニークな結果は、止水壁の透水性の分布状態によっては、塩水分布は健全な状態よりも狭くなる点である。弱部に集中した淡水流れによって下流の塩水が押し下げられることが要因と考えられ、地下ダム止水壁の健全度評価の観点からは、止水壁上流側のみならず、止水壁下流側の塩分計測も重要な指標となり得ることを示唆している。

前述した模型実験による研究に加えて、実サイトに対する研究として、地下水環境に関わる分野において適用例のないカッコウ探索アルゴリズム (CKA) とハイロオオカミ最適化 (GWO) の群知能によるパラメータ最適化を19種類のベンチマーク関数により実施した。その結果、GWOは探索初期の収束速度について優れていることを確認できた。また、全体的にCKAは探索精度に優れており、レヴィフライトにより広く解空間を探索しつつ、局所解から脱却していることを明

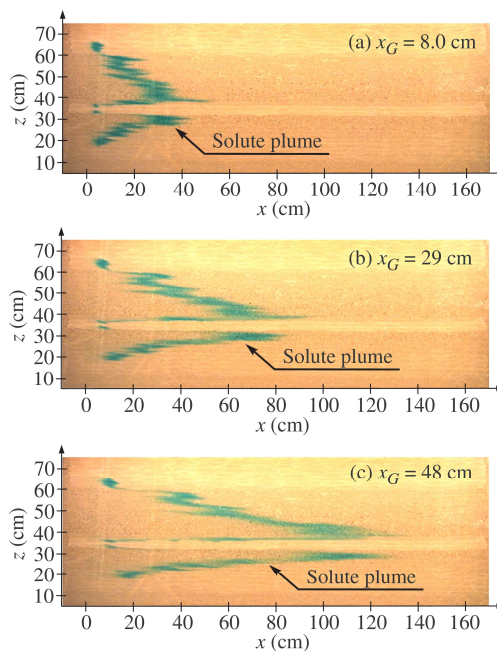


図1：溶質輸送挙動の可視化

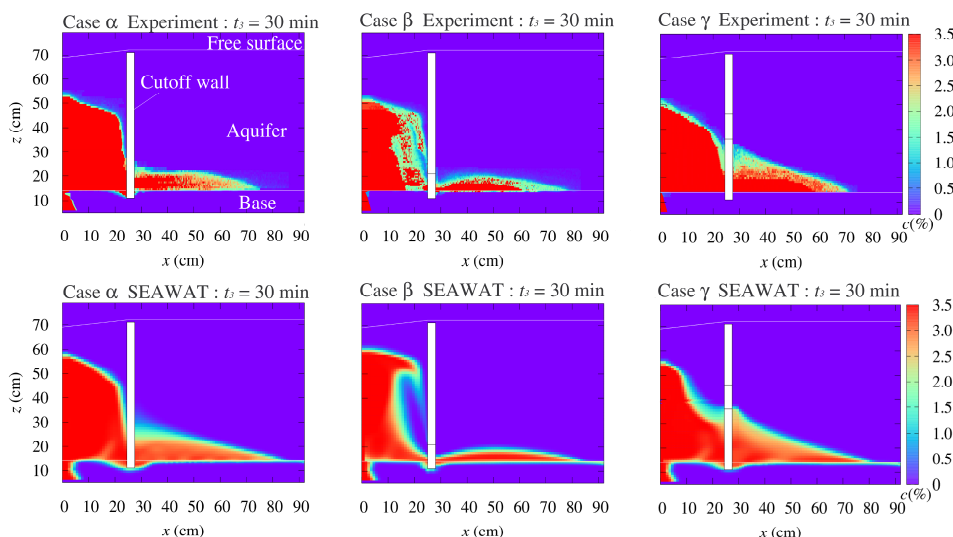


図2 実験パターンに応じた塩水くさびの濃度分布 (上：実験，下：数値解析)

らかにした。また、群知能の実サイトへの適用として、喜界地下ダム流域の地下水流動を数値的に再現する三次元浸透流モデルを構築した。透水係数の空間分布を推定するため、実サイトの地質状況を基に、解析領域を10区画にゾーニングした。10区画の透水係数分布を群知能によって観測水位から逆推定し、良好な結果を得た。図3には、CKA, GWOによる推定透水係数を用いた解析領域全体の地下水位コンター図を示す。加えて、逆解析の同定結果の応用問題として、溶質輸送解析を用いて施肥による地下ダムの硝酸汚染リスクを算定する方法を提案した。この過程では、これまでに開発してきたランダムウォーク粒子追跡法を実フィールドに向けた拡張を図っており、模型実験のみならず、原位置への応用性も備えた数値モデルを構築できた。数値解析の結果、各集水井の水質に影響する農地を可視化するとともに、冬季の施肥が硝酸態窒素の高濃度化を招くことを示唆し、水質管理の項目としての地下ダム管理モデルを構築できた。

さらには、鹿児島県喜界島の石灰岩帯水層を対象として、複数の観測孔において単孔式希釈試験を実施し、3つの観測孔の地下水位を計測して対象場の動水勾配を求めることで、推定透水係数の信頼性の向上を図った一例を図4に示す。2つの観測孔の平均透水係数は、0.202 cm/s, 0.0480 cm/s であり、深度方向へやや低下する傾向を得た。また、群知能である粒子群最適化とカコウ探索アルゴリズムにより、実流速、縦分散係数、横分散係数の鉛直分布を逆推定した結果、手法間の精度の差異は小さく、濃度変動状況を適切に再現できた。図5には、単項式希釈試験による観測データより推定した縦分散係数の鉛直分布を示す。図4の透水係数分布と同じく、細かいピッチで地下水流動や溶質輸送にかかわるパラメータを同定できる点は、従来の方法論にはない斬新な手法である。また、トレーサ試験は極めて安価で短時間の計測が可能であることから、実用性の観点からも実サイトにとって有益な研究成果と言える。さらには、単孔式希釈試験の観測孔の内径に応じて破過曲線は異なる点を示し、当該サイトにおいては、内径の小さい観測孔の濃度低下勾配は内径の大きい観測孔よりも大きくなる結果を得ており、地下ダム管理モデルとしての有効性のみならず、実フィールドにおいて実装できる点を示すことができている。

以上のように、当該研究では、模型実験から原位置実験までを網羅した幅広い研究成果を実験的・数値解析的アプローチの両面から獲得することができている。

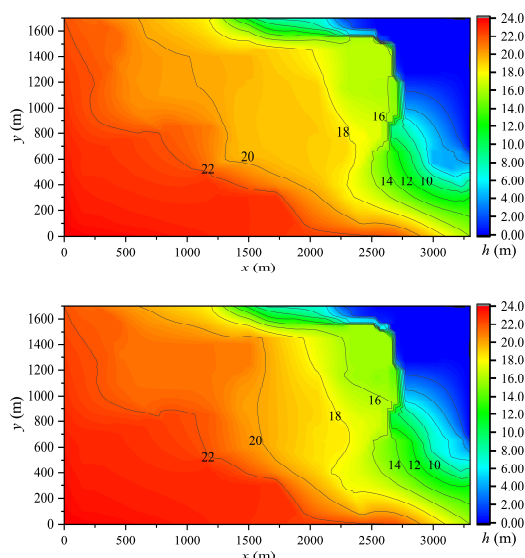


図3：群知能により同定した透水係数分布による地下水位分布の再現性。(上)カコウ探索アルゴリズム、(下)ハイロオオカミ最適化

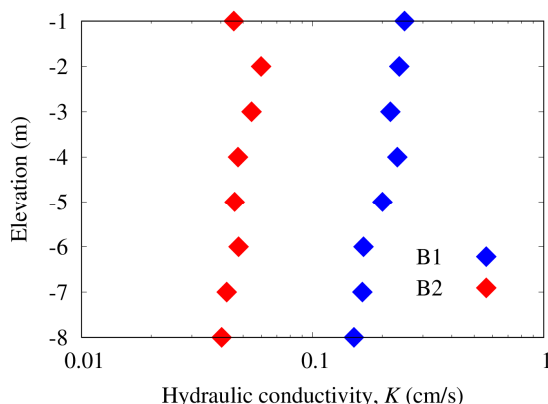


図4：単孔希釈試験の結果を群知能により同定した透水係数の鉛直分布

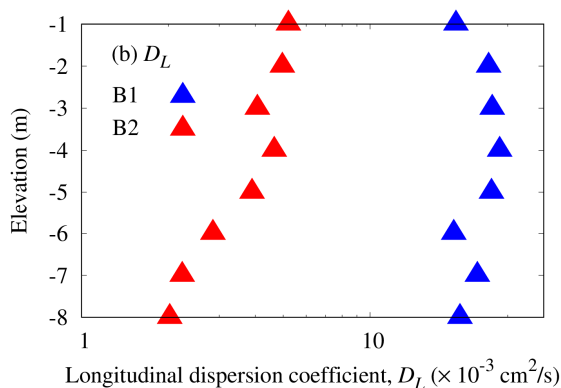


図5：単孔希釈試験の結果を群知能により同定した縦分散係数の鉛直分布

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計10件（うち査読付論文 10件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 6件）

1. 著者名 Kurasawa Tomoki、Takahashi Yoshitaro、Suzuki Mariko、Inoue Kazuya	4. 巻 234
2. 論文標題 Laboratory Flushing Tests of Dissolved Contaminants in Heterogeneous Porous Media with Low-Conductivity Zones	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Water, Air, & Soil Pollution	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s11270-023-06236-5	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Kurasawa Tomoki、Takahashi Yoshitaro、Suzuki Mariko、Inoue Kazuya	4. 巻 81
2. 論文標題 Truncation effect on estimation of transport parameters for slug-injection tracer tests	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Environmental Earth Sciences	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s12665-022-10309-9	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 INOUE Kazuya、KAWADA Ayumi、SUZUKI Mariko	4. 巻 77
2. 論文標題 SWARM INTELLIGENCE APPROACH TO ESTIMATE HYDRAULIC CONDUCTIVITY IN SUBSURFACE DAM AND ITS APPLICATION TO POLLUTION RISK BY NITRATE	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. A2 (Applied Mechanics (AM))	6. 最初と最後の頁 I_13~I_24
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.2208/jscejam.77.2_I_13	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 井上一哉・高田大輝・鈴木麻里子	4. 巻 76
2. 論文標題 塩水分布を用いた塩水阻止型地下ダムの止水壁健全性評価	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 土木学会論文集B1（水工学）	6. 最初と最後の頁 307~312
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 オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Kurasawa Tomoki、Suzuki Mariko、Inoue Kazuya	4. 巻 14
2. 論文標題 Experimental assessment of solute dispersion in stratified porous media	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Hydrological Research Letters	6. 最初と最後の頁 123 ~ 129
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3178/hrll.14.123	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 KURASAWA Tomoki、SUZUKI Mariko、INOUE Kazuya	4. 巻 76
2. 論文標題 RELATIONSHIP BETWEEN SPATIAL DISTRIBUTION CHARACTERISTIC OF HYDRAULIC CONDUCTIVITY AND SOLUTE DISPERSION FOR UPSCALED STRATIFIED POROUS FORMATIONS	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. A2 (Applied Mechanics (AM))	6. 最初と最後の頁 I_45 ~ I_56
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/jscejam.76.2_I_45	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 倉澤智樹, 井上一哉	4. 巻 75(2)
2. 論文標題 溶質のマクロ分散現象に及ぼす物理的不均質場のアップスケール効果	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 土木学会論文集A2(応用力学)	6. 最初と最後の頁 93-104
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 オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 鈴木美妃・鈴木麻里子・北嶋竜也・井上一哉	4. 巻 75(4)
2. 論文標題 ダルシー・非ダルシー遷移領域での溶質分散性に関する実験的検討	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 土木学会論文集B1 (水工学)	6. 最初と最後の頁 1213-1218
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 オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 川田歩美, 鈴木麻里子, 井上一哉	4. 巻 1
2. 論文標題 群知能によるパラメータ同定精度の比較	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 第9回構造物の安全性・信頼性に関する国内シンポジウム論文集	6. 最初と最後の頁 337-342
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 鈴木美妃, 鈴木麻里子, 北嶋竜也, 井上一哉	4. 巻 1
2. 論文標題 多孔質体の物理的・流体的特性と溶質の分散性の関係	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 第9回構造物の安全性・信頼性に関する国内シンポジウム論文集	6. 最初と最後の頁 337-342
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 -

〔学会発表〕 計27件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 4件)

1. 発表者名 Tomoki Kurasawa, Mariko Suzuki and Kazuya Inoue
2. 発表標題 Truncation Effect on Transport Parameter Estimation for Slug Tracer Test in a Porous Medium
3. 学会等名 31st International Offshore and Polar Engineering Conference (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 前野一稀・鈴木麻里子・井上一哉
2. 発表標題 サーモグラフィを用いた琉球石灰岩の間隙率推定
3. 学会等名 Kansai Geo-Symposium 2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 尾下智郁・鈴木麻里子・井上一哉
2. 発表標題 機械学習を用いたダムの浸透量推定
3. 学会等名 Kansai Geo-Symposium 2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 倉澤智樹・鈴木麻里子・井上一哉
2. 発表標題 2次元のスラグ試験を用いた溶質輸送パラメータ推定にかかるトランケーションの影響
3. 学会等名 2021年度日本地下水学会春季講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 高橋仁太郎, 倉澤智樹, 鈴木麻里子, 井上一哉
2. 発表標題 琉球石灰岩帯水層を対象とした単孔式希釈試験による溶質移行パラメータの推定
3. 学会等名 第29回日本雨水資源化システム学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 稲口知花, 倉澤智樹, 鈴木麻里子, 井上一哉
2. 発表標題 塩水阻止型地下ダム湖内における溶質輸送挙動に関する実験的検討
3. 学会等名 第29回日本雨水資源化システム学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 高橋仁太郎・倉澤智樹・鈴木麻里子・井上一哉
2. 発表標題 局所的な低透水域を有する不均質地盤の溶質保持特性
3. 学会等名 2021年度農業農村工学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 川田歩美・武氣祐璃子・鈴木麻里子・井上一哉
2. 発表標題 群知能による喜界地下ダム地下水流動モデルの構築と硝酸管理への応用
3. 学会等名 2021年度農業農村工学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 倉澤智樹・鈴木麻里子・井上一哉
2. 発表標題 パラメータ推定を目的とした溶質輸送実験にかかるデザインの重要性
3. 学会等名 2021年度農業農村工学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 鈴木美妃・増本万穂・鈴木麻里子・井上一哉
2. 発表標題 連続時間ランダムウォークによる異常輸送現象の定量化
3. 学会等名 2021年度農業農村工学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Ayumi Kawada, Mariko Suzuki and Kazuya Inoue
2. 発表標題 Swarm intelligence for identifying groundwater contamination source
3. 学会等名 3rd International Conference on Computational Engineering and Science for Safety and Environmental Problems (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Kazuya Inoue and Mariko Suzuki
2. 発表標題 Prediction of dam leakage using machine learning
3. 学会等名 Seventh Asian-Pacific Symposium on Structural Reliability and Its Applications (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Tomoki Kurasawa, Mariko Suzuki and Kazuya Inoue
2. 発表標題 Effects of truncation on transport parameters estimated from spatial and temporal moments in homogeneous porous media
3. 学会等名 Seventh Asian-Pacific Symposium on Structural Reliability and Its Applications (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 倉澤智樹・鈴木麻里子・井上一哉
2. 発表標題 時間・空間モーメント法を用いた溶質輸送パラメータの推定
3. 学会等名 Kansai Geo-Symposium 2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 倉澤智樹・鈴木麻里子・井上一哉
2. 発表標題 アップスケールされた成層地盤における溶質のマクロ分散性
3. 学会等名 第23回応用力学シンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 北嶋竜也・倉澤智樹・鈴木麻里子・井上一哉
2. 発表標題 非Fick輸送に関するラポレベル試験
3. 学会等名 第77回農業農村工学会京都支部講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 倉澤智樹・鈴木麻里子・井上一哉
2. 発表標題 ピーク時間を利用した多孔質媒体の分散長推定
3. 学会等名 第77回農業農村工学会京都支部講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 高田大輝・鈴木麻里子・井上一哉
2. 発表標題 地下ダム貯水湖の塩水挙動と止水壁の健全性評価
3. 学会等名 2020年度農業農村工学会大会講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 倉澤智樹・鈴木麻里子・井上一哉
2. 発表標題 成層多孔質媒体における溶質輸送現象の実験的検討
3. 学会等名 2020年度農業農村工学会大会講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 木下遥介・鈴木麻里子・井上一哉
2. 発表標題 喜界地下ダム湖内の溶質輸送挙動に与える石灰藻球石灰岩の影響
3. 学会等名 2020年度農業農村工学会大会講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 鈴木美妃・鈴木麻里子・井上一哉
2. 発表標題 非Fick輸送に関する実験的検討
3. 学会等名 2020年度農業農村工学会大会講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 川田歩美・鈴木麻里子・井上一哉
2. 発表標題 群知能によるパラメータ同定の解探索特性
3. 学会等名 2020年度農業農村工学会大会講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 倉澤智樹, 井上一哉
2. 発表標題 物理的な不均質地盤の溶質輸送に及ぼすアップスケールの影響評価
3. 学会等名 第76回農業農村工学会京都支部講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 川田歩美, 鈴木麻里子, 井上一哉
2. 発表標題 群知能を用いた地下水汚染源同定
3. 学会等名 第76回農業農村工学会京都支部講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 高田大輝, 鈴木麻里子, 井上一哉
2. 発表標題 水位変動に応じた地下止水壁周辺の塩水分布に関する実験的検討
3. 学会等名 第27回雨水資源化システム学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 高田大輝, 鈴木麻里子, 井上一哉
2. 発表標題 地下遮水壁周辺の塩水輸送過程に関する実験的検討
3. 学会等名 2019年度農業農村工学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 北嶋竜也, 鈴木美妃, 鈴木麻里子, 井上一哉
2. 発表標題 粗粒媒体における溶質の分散性に関する実験的検討
3. 学会等名 2019年度農業農村工学会大会
4. 発表年 2019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	鈴木 麻里子 (Suzuki Mariko) (50756658)	神戸大学・農学研究科・助教 (14501)	

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
---------	---------