

令和 4 年 6 月 4 日現在

機関番号：14301

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2019～2021

課題番号：19K22346

研究課題名（和文）Darcy/Navier-Stokes連成流れの解明とベンチマーク実験

研究課題名（英文）Benchmark analysis and experiment for Darcy/Navier Stokes coupled flow

研究代表者

藤澤 和謙 (Fujisawa, Kazunori)

京都大学・農学研究科・教授

研究者番号：30510218

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 4,800,000円

研究成果の概要（和文）：当該研究課題の具体的な目的は、Darcy/NS連成流れについて精緻な実験研究と数値解析を進めることにあった。Darcy/NS連成流れとは、多孔質体中の浸透流（Darcy流）と流体のみによって占められた領域（流体領域）の流れ（Navier-Stokes流）が同時に生じる流況を意味する。この研究課題に対して、室内実験によりDarcy/NS連成流れのPIV計測を実施し、変分マルチスケール法による数値計算方法を発展させることに成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究課題の学術的意義は、研究対象となるDarcy/NS連成流れに関する実験研究の希少さにある。現在に至るまで、Darcy/NS連成流れの実験研究は、非常に少なく、希少な実験を基にDarcy/NS連成流れに関する理論的考察がこれまで行われてきた。そのため、現在においてもDarcy/NS連成流れの実験研究は萌芽期にある。本研究成果は、この課題に対して貴重な実験結果を提供するとともに、Darcy/NS連成流れの予測手段を飛躍的に発展させたものとなった。

研究成果の概要（英文）：The objective of this research is to conduct an experimental study and to develop numerical methods for Darcy/Navier-Stokes coupled flow, which means the flow including the well-know Darcy flow in porous media and the fluid flow in a domain purely occupied with a fluid, such as water. The achievement of the above-mentioned research is as follows: The PIV measurement of the Darcy/Navier-Stokes coupled flow was realized through laboratory experimentation, and a new numerical method for the flow, based on the variational multiscale method, was developed.

研究分野：農業農村工学，地盤工学，応用力学

キーワード：侵食 土質力学 水理学

1. 研究開始当初の背景

Darcy/Navier-Stokes 連成流れ (以下, Darcy/NS 連成流れと称する) とは, 多孔質体中の浸透流 (Darcy 流) と流体のみによって占められた領域 (流体領域) の流れ (Navier-Stokes 流) が同時に生じる流況を意味する. 例えば, 堤防を越流した河川水が堤防表面 (流体領域) を流下すると同時にその内部 (多孔質体) へと浸透する流れや, 自然斜面に存在している亀裂・空洞部 (流体領域) に雨水が流入しながら, 斜面内部 (多孔質体) へと浸透する流れなど, 水と土が接触する状況において Darcy/NS 連成流れは頻繁に発生することから, Darcy/NS 連成流れに関する研究は広範な応用性を有する. 例えば, 地中空洞が侵食によって拡大する過程では, 管水路のような空洞内の水理に加えて, その周辺の浸透流が空洞表面の侵食に及ぼす影響を考慮する必要がある. また, Darcy/NS 連成流れは, 土と水が接する現象に限らず, 多孔質体 (セラミック, 布など) と流体 (空気, オイルなど) が接する場面でも生じ, 幅広い分野においても重要な現象となる. しかし, 従来はこれらの流れは別々に研究がなされ, Darcy/NS 連成流れに着目した研究は, 二つの異なる流れをつなげることに主眼を置いた物理数学的もしくは数値計算に関するものにとどまり, 実際の現象に対する応用には遠い現状がある.

今後, Darcy/NS 連成流れに関する研究を応用段階へと発展させるには, それについての理論や数値計算とともに, 理論や計算と実際現象とをつなげる実験的研究が必要不可欠である. 現在, Darcy/NS 連成流れについての実験研究が著しく不足しており, それが同方面の研究が応用に結びつかない大きな原因と考えられた.

2. 研究の目的

広範な応用性を有する Darcy/NS 連成流れの研究を, 実際問題への応用へと進めるキーステップとして, Darcy/NS 連成流れの実験研究と数値計算の両者を発展させることを目的とした. このような研究目的のもと, 研究課題の意義は, 同課題が対象とする Darcy/NS 連成流れに関する実験研究の希少さにあると考えた. 現在に至るまで, Darcy/NS 連成流れの現象論に迫る実験研究は, Beavers & Joseph (1967) によるものしか存在せず, これまでの Darcy/NS 連成流れに関する理論的考察は彼らの実験結果に基づいて行われてきた. つまり, 60 年以上も前に, 彼らが Darcy/NS 連成流れの一つの実験事実を示して以来, その実験研究は, 依然として萌芽期にあると言える. 当該研究課題は, 現在の測定技術を駆使して, Darcy/NS 連成流れの現象論を開拓することを目論んだ.

また, 広範な応用性を有する Darcy/NS 連成流れの研究成果は, 農学を越えて工学や地球科学の分野においても利用される可能性があると考えた. 現在, Darcy/NS 連成流れについては数値解析による研究が進む段階にあるが, その精度検証は全くなされていない. Darcy/NS 連成流れに関する実験結果は, 数値計算検証のための重要なデータとなり, 先駆的に実験結果と数値計算との比較検証を行うことも目的とした.

3. 研究の方法

Darcy/NS 流れに関する実験研究は, 実験室においてレーザー-PIV 流速測定により高精度流速測定を行うことで実現した. 実験装置の概要を図 1 に示す. レーザー-PIV 流速測定は, レーザーシートを照射し, そのシートに写る微粒子の移動速度を PIV 処理することで流速が計測される. そのため, 流速は面的に瞬時計測されるが, 計測領域はレーザーシート上の 2 次元平面に限られる. 図 1 に示す実験装置は, 円筒形状の水路を用いており, 主流方向に対して軸対象とすることで, 面的な計測から全体の流況が把握できる設計とした (特に, 壁面からの影響を強く受ける流れでは, 軸対象問題が理想的となる). 実験装置は, 流体領域の流速, 多孔質領域の水頭と流量を測定し, 多孔質領域の長さや直径を変化させ, 多様な流れに対応できるものとした.

上述の実験と合わせて, Darcy/NS 連成流れの数値解析法を発展させるため, Darcy-Brinkman

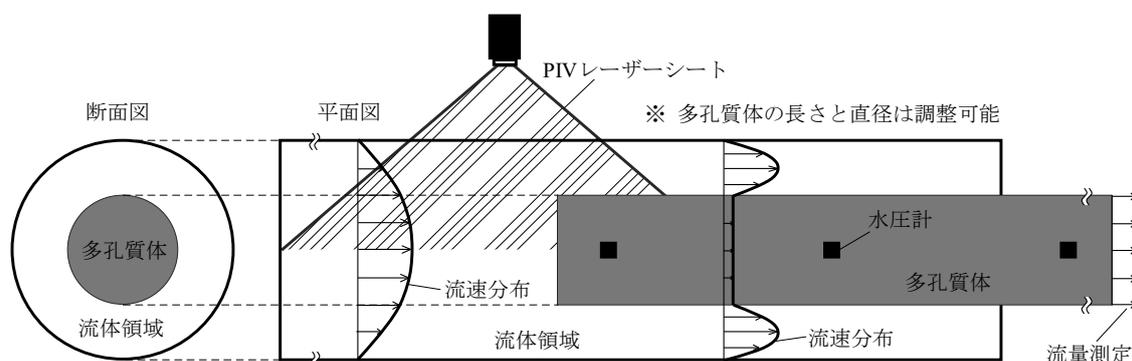


図 1 Darcy/NS 連成流れ計測のための実験装置

方程式に Variational multiscale method (以下, VMS と称する) を適用することで, 流速や圧力の変動成分を考慮して, 乱流解析に取り組んだ. VMS は, 主に有限要素法を対象とした定式方法である. さらには, Space-Time 有限要素法を適用することで, 時間とともに空間形状が変化する問題にも対応できる.

4. 研究成果

多孔質体として土 (主に砂) を対象として, 図 1 に示した実験を実施するには, 自立可能な砂柱を作成する必要がある, まずは砂柱の作成とその材料物性の測定から開始した. 図 2 に平均粒径 3 mm の砂を用いた作成した砂柱を示す. この砂柱のサイズは, 砂の表面に樹脂 (この段階では液体) を塗り, それを型枠に入れ, 樹脂を乾燥させることで作成した. 直径 50 mm, 長さ 251 mm である. この砂柱の透水性を定水位試験により測定したところ図 3 に示す動水勾配とダルシー流速の関係を得た. なお, 後に述べる数値解析においては, 供試体の間隙率が重要なパラメータとなる. しかし, 図 2 に示す砂柱は, 砂粒子と樹脂からできており, (作成時に加えた樹脂の質量や体積は計測可能であっても) 乾燥後の樹脂の体積を知ることが困難であることから, 間隙率の測定に工夫が必要であった. この問題については, 土粒子密度試験の原理から発想を得て, 固体部分の体積を水置換法によって計測可能にすることで解決し, 図 1 に示した供試体では間隙率は 0.366 と求めた. 水置換法は, アルキメデスの原理によって, 体積の計測が困難な複雑な形状を有する固体の体積を測定できるため, このような固化剤を使用した多孔質体の間隙率計測にとって, 非常に有効な測定方法と言える.

図 3 には, 図 1 の実験装置での計測結果の一例を示す. 図 3(a) は砂柱の左側において接近する管路内の流速分布を示す. 管路の中央部において, 大きくなる様子が分かるが, PIV 計測によって面的な流速測定が可能となることが特徴である. 同様に, 図 3(b) では砂柱の左端部において砂



図 2 砂柱 (実験供試体)

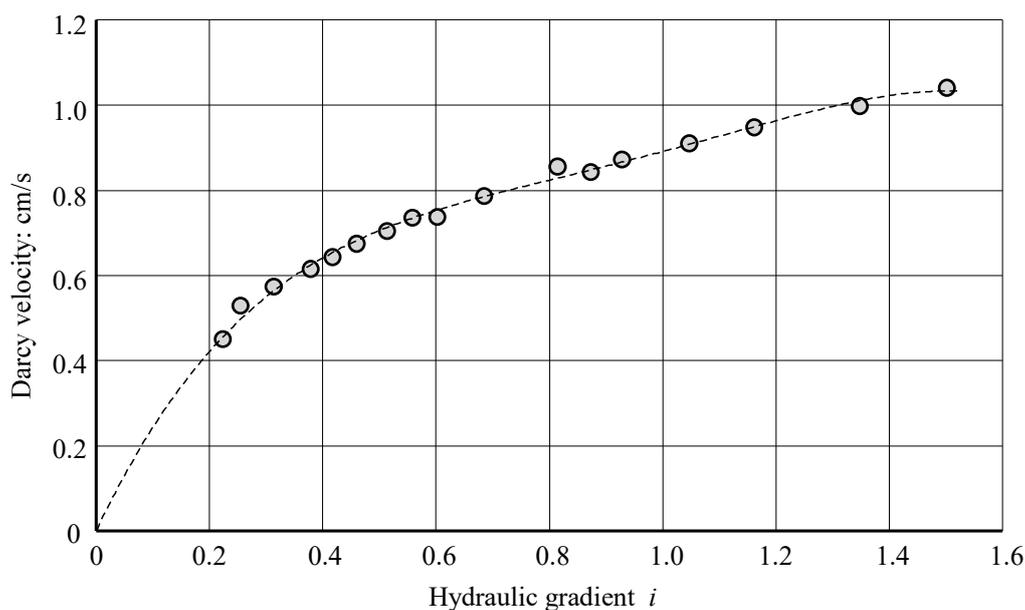
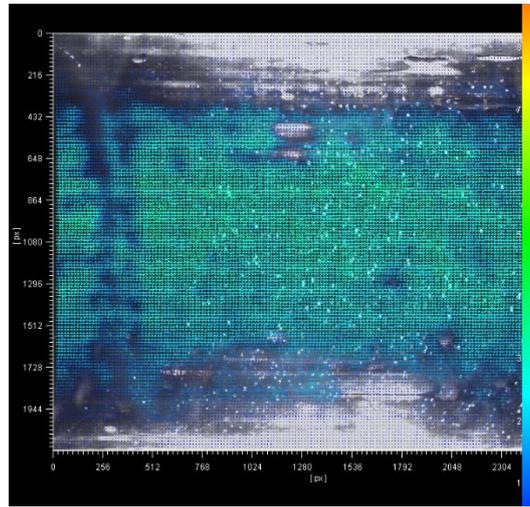
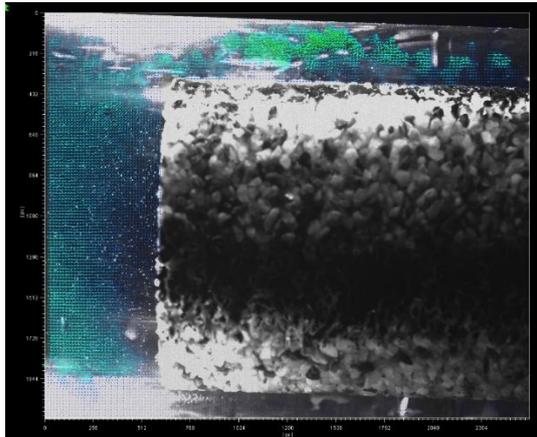


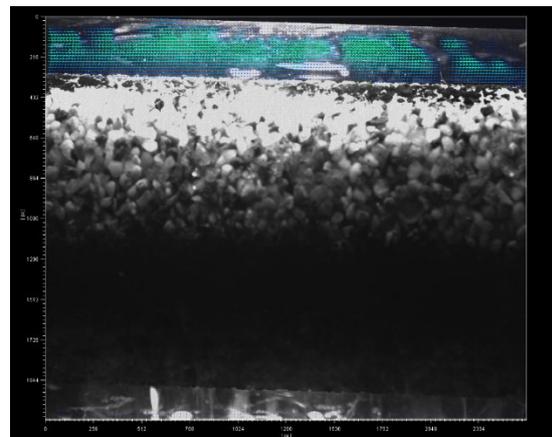
図 3 砂柱の透水試験結果



(a) 砂柱への接近流速分布



(b) 砂柱の左端部



(c) 砂柱の上部

図4 PIVによる計測結果

柱に浸透しながらもその上部と下部に回り込むような流れが計測され、図3(c)では砂柱上部の流速分布が計測される。図4(a)~(c)のように、計測地点を変える場合は、カメラの位置を変更することから、同じ時刻での計測は不可能となり、流れの定常状態を保つことが全体的に精度を有する計測を実現するために重要となる。

もう一つの研究課題である Darcy/NS 連成流れ(層流及び乱流)の数値計算については、Darcy-Brinkman 方程式に VMS を適用した有限要素解析を行うことで実現した。VMS による Darcy-Brinkman 方程式の離散化にあたり、VMS においてよく用いられる表記に従って Darcy-Brinkman 方程式を記載すると以下ようになる。

$$\frac{\partial v_i}{\partial x_i} = 0 \quad (1.1)$$

$$\rho \frac{\partial v_i}{\partial t} + \rho \frac{\partial \phi^{-1} v_i v_j}{\partial x_j} + \phi \frac{\partial p}{\partial x_i} - \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_j} + \mu \phi K_{ij}^{-1} v_j - \rho \phi f_i = 0 \quad (1.2)$$

$$\tau_{ij} = \mu \left(\frac{\partial v_i}{\partial x_j} + \frac{\partial v_j}{\partial x_i} \right) \quad (1.3)$$

ここに、 v_i , ϕ , μ , K_{ij} , f_i は流速、間隙率(正確には、流体の体積占有率)、粘性係数、固有透水係数マトリックス、物体力を表す。なお、式(1.1)と式(1.2)は飽和土を対象としている。固有透水係数(Permeability, K と表記)と飽和透水係数(Hydraulic coefficient, k_s と表記)の間には

$$K = \frac{k_s \mu}{\rho g} = \frac{k_s v}{g} \quad (1.4)$$

の関係がある。固有透水係数は多孔質体を流れる流体に依らず、多孔質体の間隙構造のみによって決まる物理量であることが特徴となる。

VMS-SST/FEM では、流速と圧力 (\mathbf{v} , p)、及びその重み関数 ($\delta \mathbf{v}$, δp) について、粗いスケールと細かいスケール(サブグリッドスケール)の二つの種類に直和分解する。

$$\begin{aligned}
\mathbf{v} &= \bar{\mathbf{v}} + \tilde{\mathbf{v}} \\
\delta\mathbf{v} &= \delta\bar{\mathbf{v}} + \delta\tilde{\mathbf{v}} \\
p &= \bar{p} + \tilde{p} \\
\delta p &= \delta\bar{p} + \delta\tilde{p}
\end{aligned} \tag{1.5}$$

ここに、上付きの「バー (—)」は粗いスケール、上付きの「チルダ (～)」は細かいスケールの成分を意味する。細かいスケール (サブグリッドスケール) の成分は、実際の計算で使用するメッシュサイズでは解像することのできない成分に対応することから、サブグリッドスケールの流速については $\tilde{\mathbf{v}}$

$$\tilde{\mathbf{v}} = -\frac{\tau_{SUPS}}{\rho}\mathbf{r}_M(\bar{\mathbf{v}}, \bar{p}) \tag{1.6}$$

また、サブグリッドスケールの圧力 \tilde{p} については

$$\tilde{p} = -\rho\nu_{LSIC}r_c(\bar{\mathbf{v}}) \tag{1.7}$$

とモデル化される。ここに、 τ_{SUPS} と ν_{LSIC} は後に述べる安定化パラメータであり、 \mathbf{r}_M と r_c は運動方程式 (運動量保存則, 式(1.2)) と連続式 (式(1.1)) の残差

$$\mathbf{r}_M(\bar{\mathbf{v}}, \bar{p}) := \rho \frac{\partial \bar{\mathbf{v}}}{\partial t} + \rho \left(\frac{\bar{\mathbf{v}} \otimes \bar{\mathbf{v}}}{\theta} \right) \cdot \nabla + \theta \nabla \bar{p} - \tau \cdot \nabla + \mu \theta \mathbf{K}^{-1} \cdot \bar{\mathbf{v}} - \rho \theta \mathbf{f} \tag{1.8}$$

$$r_c(\bar{\mathbf{v}}) := \nabla \cdot \bar{\mathbf{v}} \tag{1.9}$$

を表す。結果的には、連続式 (式(1.1)) の弱形式は

$$\int_{I_n} \int_{\Omega^t} \delta \bar{p} \cdot \nabla \cdot \bar{\mathbf{v}} d\Omega + \sum_{e=1}^{n_{el}} \int_{I_n} \int_{\Omega_e^t} \frac{\tau_{SUPS}}{\rho} \nabla \delta \bar{p} \cdot \mathbf{r}_M d\Omega = 0 \tag{1.10}$$

となり、運動方程式 (式(1.2)) は

$$\begin{aligned}
& \int_{\Omega^n} \delta \bar{\mathbf{v}}_n \cdot \rho \bar{\mathbf{v}}_n^+ d\Omega - \int_{\Omega^n} \delta \bar{\mathbf{v}}_n \cdot \rho \bar{\mathbf{v}}_n^- d\Omega + \int_{I_n} \int_{\Omega^t} \delta \bar{\mathbf{v}} \cdot \rho \frac{\partial \bar{\mathbf{v}}}{\partial t} d\Omega dt \\
& + \int_{I_n} \int_{\Gamma_h^t} (\delta \bar{\mathbf{v}} \otimes \mathbf{n}) : \rho \theta^{-1} (\bar{\mathbf{v}} \otimes \bar{\mathbf{v}}) ds dt - \int_{I_n} \int_{\Omega^t} (\delta \bar{\mathbf{v}} \otimes \nabla) : \rho \theta^{-1} (\bar{\mathbf{v}} \otimes \bar{\mathbf{v}}) d\Omega dt \\
& - \int_{I_n} \int_{\Omega^t} \nabla \cdot (\theta \delta \bar{\mathbf{v}}) \bar{p} d\Omega dt + \int_{I_n} \int_{\Omega^t} \delta \bar{\mathbf{v}} \otimes \nabla : \bar{\tau} d\Omega dt - \int_{I_n} \int_{\Gamma_h^t} (\delta \bar{\mathbf{v}} \otimes \mathbf{n}) : \theta (-\bar{p}) \mathbf{1} ds dt \\
& - \int_{I_n} \int_{\Gamma_h^t} (\delta \bar{\mathbf{v}} \otimes \mathbf{n}) : (\bar{\tau}) ds dt + \int_{I_n} \int_{\Omega^t} \delta \bar{\mathbf{v}} \otimes \bar{\mathbf{v}} : \mu \theta \mathbf{K}^{-1} d\Omega dt - \int_{I_n} \int_{\Omega^t} \delta \bar{\mathbf{v}} \cdot \rho \theta \mathbf{f} d\Omega dt \\
& + \sum_{e=1}^{n_{el}} \int_{I_n} \int_{\Omega_e^t} \tau_{SUPS} \frac{\partial \delta \bar{\mathbf{v}}}{\partial t} \cdot \mathbf{r}_M d\Omega dt + \sum_{e=1}^{n_{el}} \int_{I_n} \int_{\Omega_e^t} \tau_{SUPS} (\delta \bar{\mathbf{v}} \otimes \nabla) : \theta^{-1} (\mathbf{r}_M \otimes \bar{\mathbf{v}}) d\Omega dt \\
& + \sum_{e=1}^{n_{el}} \int_{I_n} \int_{\Omega_e^t} \rho \nu_{LSIC} \nabla \cdot (\theta \delta \bar{\mathbf{v}}) r_c d\Omega dt - \sum_{e=1}^{n_{el}} \int_{I_n} \int_{\Omega_e^t} \frac{\tau_{SUPS}}{\rho} \delta \bar{\mathbf{v}} \otimes \mathbf{r}_M : \mu \theta \mathbf{K}^{-1} d\Omega dt \\
& + \sum_{e=1}^{n_{el}} \int_{I_n} \int_{\Omega_e^t} \tau_{SUPS} (\delta \bar{\mathbf{v}} \otimes \nabla) : \theta^{-1} (\bar{\mathbf{v}} \otimes \mathbf{r}_M) d\Omega dt - \sum_{e=1}^{n_{el}} \int_{I_n} \int_{\Omega_e^t} \frac{\tau_{SUPS}^2}{\rho} (\delta \bar{\mathbf{v}} \otimes \nabla) : \theta^{-1} (\mathbf{r}_M \otimes \mathbf{r}_M) d\Omega dt = 0
\end{aligned} \tag{1.11}$$

となる。図5には上記方法により取り組んだ Darcy/NS 連成流れの計算例を示す。現在も、この数値解析方法については改良を続けている。

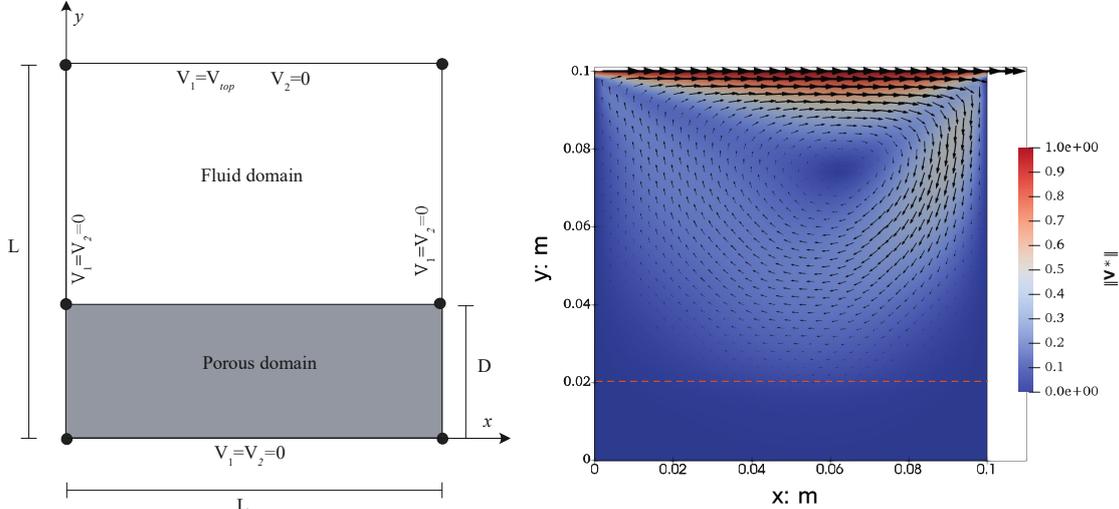


図5 Darcy/NS 連成流れの数値計算例 (キャビティ流れ)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計14件（うち査読付論文 8件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 A. Jewel, K. Fujisawa and A. Murakami	4. 巻 13(8)
2. 論文標題 Evaluation of incipient motion of sand particles by different indirect methods in erosion function apparatus	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Water	6. 最初と最後の頁 1118
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/w13081118	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 T. Kitao, Y. Fukumoto, K. Fujisawa, A. Jewel and A. Murakami	4. 巻 -
2. 論文標題 Validation of LBM simulation of saturated seepage flow through 3D-printed homogeneous porous medium for fluid-particle coupled analysis	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Acta Geotechnica	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) 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 K. Fujisawa, M. C. Koch and A. Murakami	4. 巻 -
2. 論文標題 Bayesian inference of preferential seepage path by gradient-based Markov Chain Monte Carlo	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 8th Japan-China Geotechnical Symposium	6. 最初と最後の頁 59-63
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3208/jgssp.v08.j44	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 -
1. 著者名 A. Jewel, K. Fujisawa, Y. Fukumoto, A. Murakami	4. 巻 126
2. 論文標題 Numerical investigation of seepage force acting on interfacial bed particles by DEM-LBM	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Challenges and Innovations in Geomechanics, IACMAG 2021, Lecture Notes in Civil Engineering	6. 最初と最後の頁 317-325
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-030-64518-2_38	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 -

1. 著者名 A. Jewel, K. Fujisawa, A. Murakami	4. 巻 579
2. 論文標題 Effect of seepage flow on incipient motion of sand particles in a bed subjected to surface flow	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Hydrology	6. 最初と最後の頁 124178
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jhydro.2019.124178	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 藤澤和謙・村上章・古川智大	4. 巻 -
2. 論文標題 ハミルトニアンモンテカルロ法による地盤内集中流の同定	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 第13回環境地盤工学シンポジウム論文集	6. 最初と最後の頁 131-137
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 A. Jewel, K. Fujisawa, A. Murakami	4. 巻 -
2. 論文標題 Effect of seepage flow on critical tractive force of cohesionless soil bed subjected to surface flow	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The 16th Asian Regional Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering	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) 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 -

1. 著者名 M. C. Koch, K. Fujisawa, A. Murakami	4. 巻 -
2. 論文標題 HMC Based Inverse Analysis to Determine Position and Size of Square Cavities	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The 7th International Symposium on Geotechnical Safety and Risk (ISGSR)	6. 最初と最後の頁 637-642
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14件（うち招待講演 2件 / うち国際学会 3件）

1. 発表者名 K. Fujisawa
2. 発表標題 How to deal with soil erosion under seepage effect
3. 学会等名 1st Indo-Japan Webinar Series on Geotechnics for Disaster Mitigation (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 藤澤和謙, 北尾朋広, 福元 豊, 村上 章
2. 発表標題 人工樹脂多孔質体を用いたLBM-DEM 浸透流計算のバリデーション
3. 学会等名 第55回地盤工学研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 K. Fujisawa
2. 発表標題 Erosion, dynamic response and parameter identification for soil structures
3. 学会等名 The 6th Symposium on Theoretical and Applied Mechanics (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 嶋田侑治, 藤澤和謙, 村上 章
2. 発表標題 不飽和領域におけるDarcy-Brinkman式の理論解
3. 学会等名 2020年度 (第69回) 農業農村工学会大会講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 藤澤和謙, 北尾朋広, 福元 豊, 村上 章
2. 発表標題 3Dプリンターを利用した粒子 流体計算のパリテーション
3. 学会等名 2020年度 (第69回) 農業農村工学会大会講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 A. Jewel, K. Fujisawa, A. Murakami
2. 発表標題 Effect of seepage flow on critical tractive force of cohesionless soil bed subjected to surface flow
3. 学会等名 The 16th Asian Regional Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 藤澤和謙・村上 章
2. 発表標題 ハミルトニアンモンテカルロ法による水みちの経路推定
3. 学会等名 第24回計算工学講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Michael C. Koch・藤澤和謙・村上 章
2. 発表標題 Elastic Wave Inversion Using HMC to Identify Subsurface Cavities
3. 学会等名 第54回地盤工学研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 北尾朋広・福元 豊・藤澤和謙・村上 章
2. 発表標題 乱流モデルを組み込んだ流体計算手法を用いた浸透流の直接的シミュレーション
3. 学会等名 第54回地盤工学研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 嶋田侑治, 藤澤和謙, 村上 章
2. 発表標題 有限要素法によるNavier-Stokes流と飽和 / 不飽和浸透流の同時解析
3. 学会等名 2019年度 (第68回) 農業農村工学会大会講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 藤澤和謙, 嶋田侑治, 村上 章
2. 発表標題 拡張Darcy-Brinkman 式による飽和 / 不飽和浸透流とNavier-Stokes 流の同時解析
3. 学会等名 令和3年度土木学会全国大会第76回年次学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 満行和弥, 藤澤和謙, 村上 章
2. 発表標題 Navier-Stokes式の平均化による不飽和領域でのDarcy-Brinkman式の導出
3. 学会等名 第78回農業農村工学会京都支部研究発表会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

京都大学 農学部 施設機能工学分野
<http://www.agrifacility.kais.kyoto-u.ac.jp/>

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

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