

令和 3 年 6 月 6 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2017～2020

課題番号：17H03889

研究課題名(和文)土-水境界面における土質力学と水理学の接続による内部侵食現象の解明と予測

研究課題名(英文) Prediction of internal erosion at soil-water interface by bridging soil mechanics and hydraulics

研究代表者

藤澤 和謙 (Fujisawa, Kazunori)

京都大学・農学研究科・准教授

研究者番号：30510218

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,100,000円

研究成果の概要(和文)：土の侵食現象は、現在においても正確な予測が困難な現象であり、その予測には水理学と土質力学の両学問からの適切なアプローチが必要となる。本研究課題では、土の水の界面で生じる土粒子の初期移動と土表面のレオロジーに関する実験的研究を遂行するとともに、土中の浸透流(飽和領域及び不飽和領域)と土表面の水の流れを同時にシミュレートする方法を開発した。これにより、土表面及び土内部の水の流れを接続し、その影響を考慮しながら土表面の変形と侵食を予測できる基盤を形成した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

堤防やため池のように、水の作用にさらされる土で出来た構造物にとって、侵食はその機能を失う大きな脅威となる。本研究成果は、現在でも予測が困難である(水流による)土の侵食について、その力学の発展と予測精度の向上を目指したものである。得られた研究成果は、上記構造物などの防災・減災につながる基礎的知見を提供するとともに、実際の災害対策の提案やその対策効果をシミュレートする方法として社会への還元が期待できる。

研究成果の概要(英文)：Soil erosion is a natural phenomenon usually induced by water flows, including overland flow and seepage flow in soils, and is still difficult to be predicted accurately. In order to deal with the natural phenomenon, proper approaches from soil mechanics and hydraulics are required. This research project has attempted an experimental investigation of incipient motion of cohesionless soils under seepage effects and rheology of the soils under very low confining stress assuming the soil surface. In addition to the experimental investigation, a numerical method which can simultaneously simulate (regular) water flow in a fluid domain and seepage flow in a porous medium has been developed. The above achievement has established the basics for the prediction of the soil erosion considering the interaction of water flows inside and outside of soils.

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 掃流力 レオロジー 流体解析

1. 研究開始当初の背景

土の侵食・流亡現象は土構造物（ため池、堤防、フィルダムなど）、自然斜面、地盤に関する崩壊や被害のキーファクターである。土の侵食は、その表層が地表流によって削られる表面侵食と、土中の浸透流やパイプ流によって土が流亡する内部侵食に分けられるが、本研究では主に内部侵食を対象とした。農業水利施設である農業用ダムやため池の堤体は、常に水の浸透にさらされており、漏水は頻繁に発生する問題となる。漏水原因の多くは、堤体内部を流れる間隙水が堤体土を流出させることで生じるパイピングである。ため池と同様の機能と形状を有する河川堤防においても、豪雨時のパイピングによる決壊は、平成24年7月に決壊した矢部川の例に見られるように継続的に発生し、河川計画上の重点課題でもある。

土の内部侵食では、土粒子が流体にトラップされて消失する現象（例えば、パイプ流によって水みちの周囲の土が削られる現象）と、土塊が安定性を失うことで流動的に移動・流出する現象（例えば、浸透破壊のように土が流出する現象）の両方が起きる。この場合、水理学の観点から出発すると、土粒子が流体にトラップされる侵食現象を扱うことはできても、土が流動的に変形し、流亡する現象は扱うことはできない。一方、土質力学の観点から出発すると、浸透流が土塊の安定性に及ぼす影響を評価ができるが、浸透流がパイプ流や侵食に与える影響を把握することはできない。このように、水理学または土質力学のどちらか一方からのアプローチでは扱える現象に限界があるだけでなく、その限界は両力学が関係し合う現象であるため、研究が十分に進んでいない領域であることが土の侵食研究の特徴であった。

2. 研究の目的

本研究の全体目的は、空洞化や水みち形成の原因となる土の侵食や流亡を精度よく予測することにより、ため池等の農業水利施設、また、堤防など社会基盤施設の防災・減災やストックマネジメントの高度化に貢献することにある。侵食による土の流亡現象が、現在でも予測が困難である理由は、上述のように、この現象が土質力学と水理学の境界に位置し、どちらか一方からのアプローチではこの現象を的確に扱うことができないことに起因する。そこで、本研究では、土質力学と水理学の適用限界を明確にし、その限界において両学問の橋渡し（接続）を行うことで、土の侵食・流亡現象を的確に扱う体系を構築することを見据えた。具体的には、水理学の観点から浸透流が土の侵食に及ぼす影響を把握し、土質力学の観点から流亡過程における土のレオロジーを明らかにすることで、土の侵食・流亡現象の精度ある予測を目指した。

3. 研究の方法

内部侵食を、2つの形態に分けて考えることで、取り組むべき課題を明確にした。一つは土と水の境界において、単独（もしくは少数）の土粒子が離脱する現象であり、もう一つは、まとまった数の土粒子が浸透流によって流動的に移動する現象である。内部侵食では、これらの現象が同時に起きる。前者には、pick-up rateのような一つ一つの土粒子に着目した考え方が適用可能であるが、水理学や流砂力学の分野で発展してきたこの概念には、浸透流の効果が考慮されていない。一方、後者は、土粒子の集合体が流動的に変形・移動する現象であり、連続体の運動として捉えることができる。しかし、内部侵食が生じるような小さな拘束圧化において、土が流動的に変形し、大きく移動するような現象については、取扱いが難しい。そこで本研究では、このような限界を打ち破るべく、以下の3つの研究課題を設定した。

(1) 浸透流が砂粒子の限界掃流力などに及ぼす影響

上向き（もしくは下向き）の浸透流が生じている状態の砂地盤に水流を作用させ、限界掃流力などを実験的に把握し、浸透流の作用が侵食に与える影響を調べる。

(2) 低拘束圧下における砂質材料のレオロジー

拘束圧が小さく砂が流動的に動くことができる場合の土質材料のレオロジーは明らかではない。ここでは、流動化前後における砂の構成関係（応力と変位の関係）を粉体工学分野で発展してきた試験法によって調査する。

(3) 土の内部侵食シミュレータ開発

内部侵食に関わる水の流れ及び土の変形と流亡を同時に計算することのできるシミュレータの開発を行う。

4. 研究成果

4.1 浸透流が砂粒子の限界掃流力などに及ぼす影響（藤澤，2017）

実験試料には粒径の整ったガラスビーズ（平均粒径 1.2 mm）を用い、透明アクリル製の実験水路（図1）を作成して、鉛直浸透流を受ける非粘着性材料の限界掃流力を測定した。図1は実験水路（長さ 3.5 m、高さ 5 cm、奥行き 10 cm）の主要部分を示し、水路底面には上向きの浸透流を作用できる移動床部がある。浸透水は、貯水タンクから移動床部に供給され、その中の動水勾配（以下では i の記号を用いる）はマンメータによって測定できる。実験の手順と特徴は、次のようである。

- ・ ガラスビーズを設置（間隙率は 0.36）し、それが移動しない流速で水路に水を流す。
- ・ 貯水タンクを上下に動かすことで、移動床部の動水勾配を所定の値 ($i=0, 0.25, 0.5, 0.75, 0.85$ の 5 段階) に調整する。
- ・ ガラスビーズが移動を始めた（または始める）流速付近に水路の流量を調節し、レーザーPIV計測により水路内の流速分布を非接触に測定する。測定した流速分布を対数則とフィッティングすることにより、水路底面に作用する底面せん断応力（実際には摩擦速度）を求める（図 2 には、動水勾配が 0.25 及び 0.50 の時に測定された、流速分布と対数則とのフィッティングの結果を例として示す）。
- ・ 移動床の下流部に設置した、堆積試料回収ボックスから、30～60 分間に流下したガラスビーズの質量を測定する。これらの計測結果から、図 3 に示すように、設定した動水勾配毎に摩擦速度とガラスビーズの流出量との関係をプロットし、後者がゼロとなる摩擦速度からガラスビーズが動き始める限界掃流力を求める。これにより、粒子が動き始めたかどうかを見極める際に、主観的な判断を介入させることなく限界掃流力を求めることができる。
- ・ 各動水勾配において得られた限界掃流力を、図 4 に示すように動水勾配と限界掃流力の関係としてまとめる。

この実験から得られた結論として、既往の理論的考察では非粘着性材料の限界掃流力（Critical tractive force, 図 4 では縦軸に対応）は、動水勾配 i の増加とともに直線的に減少すること（図 4 の点線）が示される。しかし、図 4 に示した上記実験の結果からは、非粘着性材料の限界掃流力は、動水勾配の増加によって若干小さく傾向があるものの、理論的に示されるような減少を示さないことが明らかとなった。砂試料にレーザーの反射を防ぐ黒色のカラーサンドを利用するなど、より精度あるデータを目指して実験を繰り返した。限界掃流力は、（上向きの）動水勾配の増加が生じて、既往の理論的考察よりも小さくならないことは繰り返し行った実験でも示された。この成果は、掲載済み論文である Jewel et al. (2019) (IF=4.500) 及び Jewel et al. (2021) (IF=2.544) にまとめられている。

4. 2 低拘束圧下における砂質材料のレオロジー

低拘束圧下の砂を対象として図 5 に示す表層の構成モデルを想定する。砂地盤の表層は、せん断強度を有しながらも、砂は流動的に移動・変形するため、摩擦角を持つ粘性流体としてモデル化を行う。図 5(a) の物理的な意味は、せん断応力が摩擦角の傾きを持つ破壊線を超える時、その超過応力が粘性応力となり、砂の運動が粘性流体として記述される。このモデルは、摩擦角がゼ

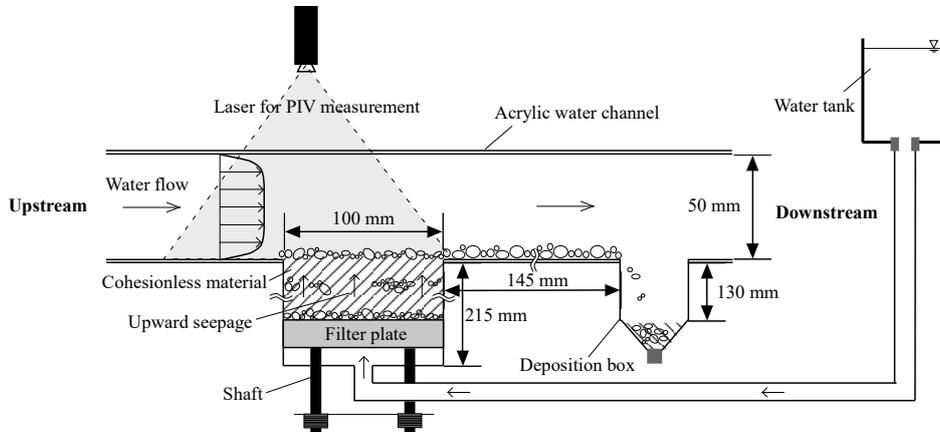


図 1 浸透を受ける移動床部を有する実験水路

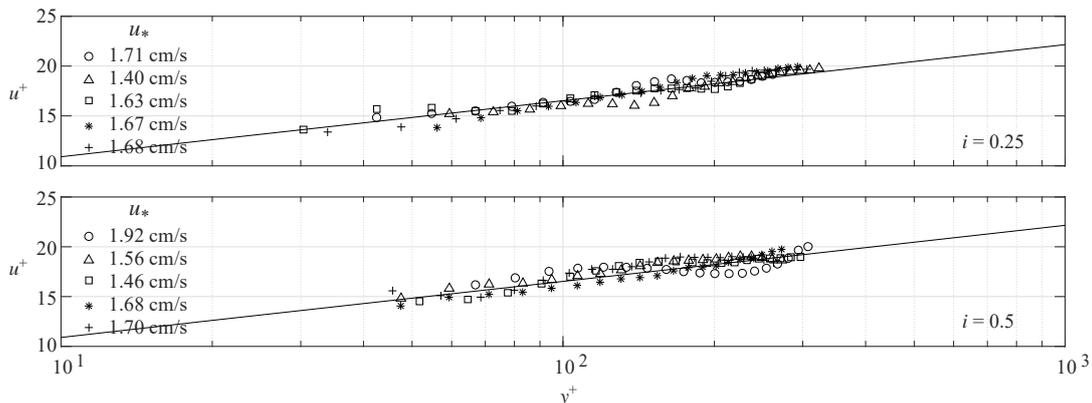


図 2 測定された流速分布と対数則とのフィッティング ($i=0.25, 0.50$)

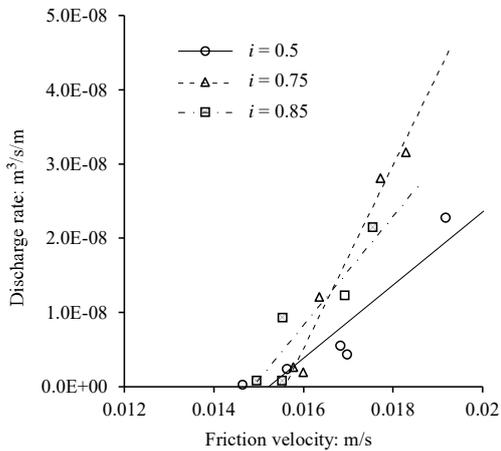


図3 摩擦速度とガラスビーズの流出量の関係

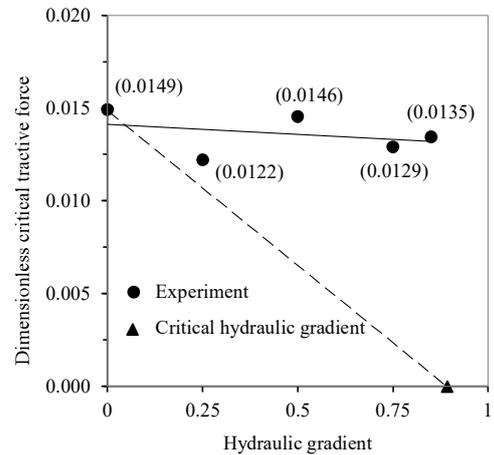


図4 限界掃流力と動水勾配の関係

口の場合は粘性流体そのものを記述し、粘性応力の存在を許さなければ、(破壊線の下側で弾性挙動を仮定すれば) 弾完全塑性モデルに一致する。同様のモデル化は、既に土石流の分野に見ることができる。

粉体工学分野でのせん断試験を設備備品として購入し、垂直応力が 1kPa 程度でのせん断強度を調べる実験を実施した。粉体におけるせん断試験は、粒径が 500 μ m 以下の材料を対象として、垂直応力が 5kPa 以下といった小さな応力下でも実施可能であり、JIS Z8835 に規格化される。実施した試験は回転セル型のせん断試験であり、試験装置にはパウダーレオメーター FT4 (Freeman Technology 社製) を利用した。この試験では、内径 50 mm の円筒容器に粉体試料を敷き詰め、その上面 (水平面) に直径 48 mm のせん断ブレード (回転セル) を予め既定した垂直応力で接触させ、それを水平面で回転させる。せん断ブレード回転時のトルク計測から、試料上面に作用したせん断応力が計算され、せん断強度が求められる。実験には、乾燥状態の珪砂 7 号を用いた。図 5(b)には、回転せん断速度を 6.0 deg/min として行った試験結果 (応力経路と破壊線) を示す。せん断試料の初期乾燥密度は 1.38 g/cm³ であった。垂直応力を 0.01~20 kPa の範囲で変化させて行い、同図には垂直応力を 0.1, 1.0, 3.1, 5.2, 9.4, 14.6 kPa としたせん断試験の応力経路を示した。また、別途実施した一面せん断試験 (JGS 560, 561) の結果からは、低応力レベルでの回転セル型せん断試験から得られる摩擦角は、垂直応力が 50~250kPa の通常的一面せん断試験と極めて良い一致を示すことが明らかとなった。

砂の流動性を評価するため、その粘性係数の測定を試みた。FT4 において、上記のせん断試験とは異なる回転ブレードを用い、粘性流体内においてブレードを回転させることで、その際のトルク T と粘性係数との関係を得る。このキャリブレーションにより、トルクを測定することで、材料の粘性係数を計測できる。砂のような摩擦材料はせん断抵抗を有し、ブレードに作用するトルクには、材料の粘性だけでなく、そのせん断抵抗 (静止状態であっても発生する摩擦力) の影響が現れる。つまり、有意な砂の粘性係数を得るには、せん断抵抗をゼロにした状態において、粘性流体と同様の試験を行うことで粘性係数を求める必要がある。これを実現するため、円筒容器に詰められた砂試料 (内径 50 mm, 高さ 610 mm) に下から空気を送り込み、ボイリングを発生させることで、砂のせん断抵抗をなくした状態を実現し、砂の粘性係数を測定した。

図 6(a)には、試料底面部から送り込んだ空気の流入速度と試料の底板部において測定された

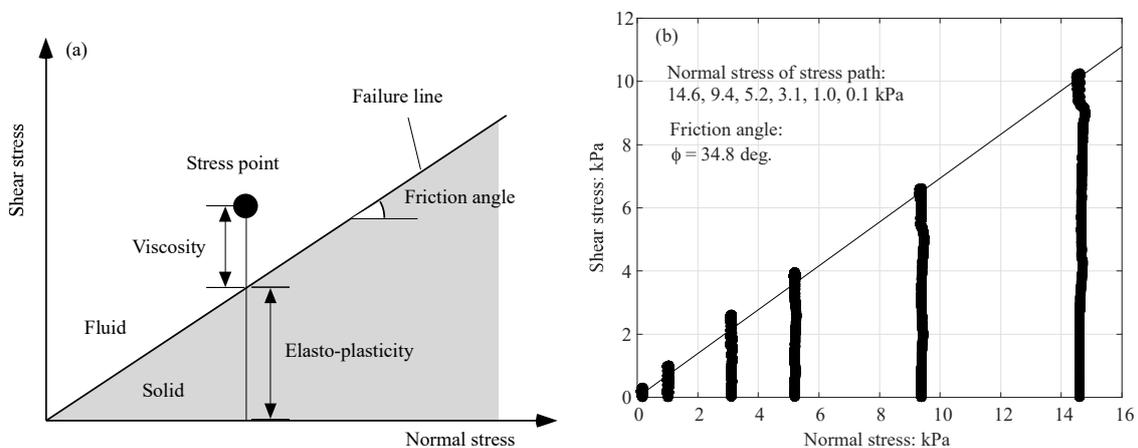


図5 粘性と摩擦角 ((a) 粘性を有する摩擦材料の垂直応力とせん断応力の関係, (b) FT4 による低拘束圧下におけるせん断試験結果)

空気圧との関係を示す。流入速度 24 mm/s の時に空気圧がピーク値 (=9.55 kPa) をとり、この時にボイリングが発生したことが分かる。砂の粘性係数は、ボイリングが発生した状態を対象として、空気の流入速度が 24~30 mm/s において計測された。図 6(b)には、回転ブレード先端の移動速度 (Tip speed と呼ばれ、ブレードの回転速度に対応) を 10 mm/s として、空気の流入速度が 24~30 mm/s の範囲で、その速度を変化させながら計測を行った結果も示す。計測される空気圧が、ピークを越えて一定の値に落ち着く過程の中で、粘性係数も同様に、ほとんど一定の値に収束する様子が見てとれる。空気の流入速度が 27~30 mm/s の範囲 (砂の流動化後) を対象として、Tip speed の変化に伴う粘性係数の変化を図 6(c)に示す。同図からは、Tip speed が大きくなるにつれて、粘性係数の値は減少することが分かる。これは、砂の粘性係数は、その移動速度の影響を受ける (砂の移動速度の関数となる) ことを示唆した (砂の粘性係数は、水や油のように一定ではなく、砂の変形速度に依存する点が通常の粘性流体とは異なる)。

以上のように、砂地盤表層が流動的に挙動する現象をモデル化するため、砂が固体材料として持つ摩擦角を 0.01~20 kPa といった小さな応力レベルで測定するとともに、砂の粘性係数の測定を行った。その中では、粉体工学分野で発展した試験装置を利用し、砂の粘性係数については、空気によって砂試料をボイリングさせ、クイックサンド状態において計測を行うことで、砂のせん断抵抗の影響を受けない粘性係数の測定を可能にした。これらの実験結果は、低応力レベルにおいて測定された摩擦角は、応力レベルが 50~250 kPa の通常的一面せん断試験結果と一致し、砂の粘性係数については、変形速度が大きい場合には 10 Pa·s 程度、変形速度が小さい場合には数百 Pa·s のオーダーとなることを示した。

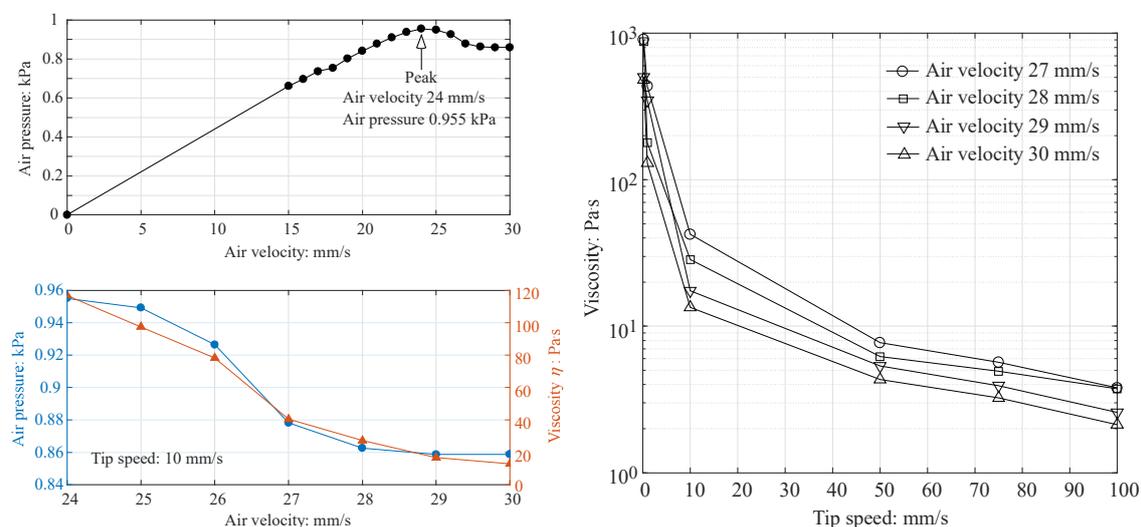


図 6 砂の粘性係数の測定データ ((a) エアレーション時の空気の流入速度と空気圧の関係, (b) 空気の流入速度と粘性係数の関係, (c) 回転速度と粘性係数の関係)

4. 3 土の内部侵食シミュレータ開発

本研究では、Darcy-Brinkman 式を利用し、Navier-Stokes 流 (流体のみで占められた領域の流れ) と Darcy 流 (飽和した多孔質体中の流れ) の同時解析に成功した (Fujisawa & Murakami, 2018)。これは、土の侵食を考える際には、土の水の境界部において、Navier-Stokes 流と Darcy 流の両者を把握する必要があるためである。また、Darcy-Brinkman 式を不飽和領域へと拡張することにより (藤澤・村上, 2019)、流体領域の流れと多孔質体中の飽和・不飽和領域の浸透流をシームレスに解析することにも成功した。侵食解析を実現するには、上述の流れの計算と共に、土の変形及び表面形状の変化を追跡する必要があるが、そこまでの計算は完成に至っておらず、今後の課題として継続的に取り組む予定である。

<引用文献>

- ① 藤澤和謙, 杉野公亮, 村上 章: 鉛直上向き浸透流を受ける非粘着性材料の限界掃流力測定, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol.73, No.2, I_535-I_540, 2017.
- ② A. Jewel, K. Fujisawa and A. Murakami: Effect of seepage flow on incipient motion of sand particles in a bed subjected to surface flow, Journal of Hydrology, Vol. 579, 124178, 2019.
- ③ A. Jewel, K. Fujisawa and A. Murakami: Evaluation of incipient motion of sand particles by different indirect methods in erosion function apparatus, Water, 13(8), 1118, 2021. DOI: 10.3390/w13081118
- ④ K. Fujisawa and A. Murakami: Numerical analysis of coupled flows in porous and fluid domains by the Darcy-Brinkman equations, Soils and Foundations, Vol.58, No.5, pp.1240-1259, 2018.
- ⑤ 藤澤和謙, 村上 章: Darcy-Brinkman 式の不飽和領域への拡張, 農業農村工学会論文集, No. 308 (87-1), pp.I_27-I_36, 2019.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計18件（うち査読付論文 11件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 4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) 10.1007/s11440-021-01210-z	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, Y. Fukumoto, A. Murakami	4. 巻 -
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	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 V. Sharma, K. Fujisawa, A. Murakami	4. 巻 120
2. 論文標題 Space-time finite element procedure with block-iterative algorithm for dam-reservoir-soil interaction during earthquake loading	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 International Journal for Numerical Methods in Engineering	6. 最初と最後の頁 263-282
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/nme.6134	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 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.jhydrol.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 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 TC103-005
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 V. Sharma, K. Fujisawa and A. Murakami	4. 巻 58(2)
2. 論文標題 Velocity based time-discontinuous Galerkin space-time finite element method for elastodynamics	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Soils and Foundations	6. 最初と最後の頁 491-510
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 K. Fujisawa and A. Murakami	4. 巻 58(5)
2. 論文標題 Numerical analysis of coupled flows in porous and fluid domains by the Darcy-Brinkman equations	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Soils and Foundations	6. 最初と最後の頁 1240-1259
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 中畑和之, 辻田篤史, 藤澤和謙, 村上 章	4. 巻 74(2)
2. 論文標題 粒子フィルタによる欠陥の位置と大きさの推定のための弾性散乱振幅の導入	5. 発行年 2018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 I_75-I_84
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 藤澤和謙, 村上 章	4. 巻 308
2. 論文標題 Darcy-Brinkman式の不飽和領域への拡張	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 農業農村工学会論文集	6. 最初と最後の頁 I_27-I_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 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 K. Fujisawa, K. Sugino and A. Murakami	4. 巻 -
2. 論文標題 Experimental investigation of the critical tractive force of glass beads under upward seepage flow	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 The 9th International Conference on Sour and Erosion	6. 最初と最後の頁 493-497
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 藤澤和謙, 杉野公亮, 村上 章	4. 巻 Vol.73, No.2
2. 論文標題 鉛直上向き浸透流を受ける非粘着性材料の限界掃流力測定	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 土木学会論文集B2 (海岸工学)	6. 最初と最後の頁 I_535-I_540
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 S. Arimoto, K. Fujisawa and A. Murakami	4. 巻 Vol.48, No.4
2. 論文標題 Coupled analysis of Navier-Stokes and Darcy flows by the Brinkman equations	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Geotechnical Engineering Journal of the SEAGS & AGSSEA	6. 最初と最後の頁 pp.40-49
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 岡田紘明, 福元 豊, 藤澤和謙, 村上 章	4. 巻 Vol.73, No.2
2. 論文標題 3次元粒子 - 流体連成計算モデルによる土中の水みち拡大過程のシミュレーション	5. 発行年 2017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 pp. I_429- I_438
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 and A. Murakami	4. 巻 -
2. 論文標題 Numerical analysis of fluidization of sandy materials by CWENO method	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 The 19th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering	6. 最初と最後の頁 pp.1283-1286
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 V. Sharma, K. Fujisawa and A. Murakami	4. 巻 -
2. 論文標題 A new velocity based time discontinuous Space-Time finite element method for vibration analysis of elastic and hypoelastic material	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 The 15th International Conference of the International Association for Computer Methods and Advances in Geomechanics	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 H. Okada, Y. Fukumoto, K. Fujisawa and A. Murakami	4. 巻 -
2. 論文標題 Numerical simulation of soil erosion by particle-fluid coupled scheme	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 The 15th International Conference of the International Association for Computer Methods and Advances in Geomechanics	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 K. Fujisawa, K. Suino and A. Murakami	4. 巻 -
2. 論文標題 Measurement of critical tractive force of glass beads subjected to upward seepage flow	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 New Advances in Geotechnical Engineering, Proceedings of the 7th China-Japan Geotechnical Symposium	6. 最初と最後の頁 52-56
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51件 (うち招待講演 2件 / うち国際学会 11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 友部 遼, 藤澤和謙, 村上 章
2. 発表標題 Mohr-Coulomb-Villarモデルによるサクシオン制御下抜根シミュレーション
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 笹川秀徒, 坂井孝太郎, 藤澤和謙, 村上 章
2. 発表標題 速度型Space-Time有限要素法を用いたロックフィルダムの地震応答解析
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 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 K. Fujisawa, A. Murakami
2. 発表標題 Coupled Analysis of Navier-Stokes and Darcy flows with Coherent Smagorinsky Model
3. 学会等名 VIII International Conference on Coupled Problems in Science and Engineering (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 N. Fujii, V. Sharma, K. Fujisawa, A. Murakami
2. 発表標題 Performance of velocity-based time-discontinuous Galerkin space-time finite element method in nonlinear elastodynamic analysis
3. 学会等名 7th International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering (国際学会)
4. 発表年 2019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 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 藤澤和謙・伊藤源規・村上 章
2. 発表標題 砂地盤表層の摩擦角及び流動性の測定
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 藤井夏海, Vikas Sharma, 藤澤和謙, 村上 章
2. 発表標題 Space-Time 有限要素法による農業用ダムの高精度地震応答解析
3. 学会等名 第76回農業農村工学会京都支部研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tomohiro Kitao, Yutaka Fukumoto, Kazunori Fujisawa, Akira Murakami
2. 発表標題 2D numerical simulation of turbulent flow inside the soil by LBM
3. 学会等名 MPM 2019 (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 Darcy-Brinkman式の不飽和領域への拡張とその数値解法
3. 学会等名 第23回計算工学講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Md. Arif Hossain Jewel, Kazunori Fujisawa, Akira Murakami
2. 発表標題 Effect of upward seepage flow on critical tractive force of a cohesionless soil material
3. 学会等名 第53回地盤工学研究発表会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 岡田紘明, 福元 豊, 森田健太郎, 藤澤和謙, 村上 章
2. 発表標題 3次元粒子 流体連成計算による粘性土の侵食モデル
3. 学会等名 第53回地盤工学研究発表会
4. 発表年 2018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 砂粒子と間隙水を直接解いた2次元液状化シミュレーション
3. 学会等名 平成30年度農業農村工学会大会講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 森田健太郎, 福元 豊, 藤澤和謙, 村上 章
2. 発表標題 鉛直上向き浸透流の作用する非粘着性材料の限界掃流力についての2次元LBM-DEMシミュレーション
3. 学会等名 平成30年度農業農村工学会大会講演会
4. 発表年 2018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 粒子・流体連成シミュレーションによる地震動載荷中の粒子挙動
3. 学会等名 第75回農業農村工学会京都支部研究発表会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 K. Fujisawa, K. Sugino and A. Murakami
2. 発表標題 Experimental investigation of the critical tractive force of glass beads under upward seepage flow
3. 学会等名 The 9th International Conference on Sour and Erosion (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 藤澤和謙, 村上 章, 福元 豊
2. 発表標題 コヒーレント構造モデルを導入したNavier-Stokes/Darcy流の同時解析
3. 学会等名 第22回計算工学講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 岡田紘明, 福元 豊, 藤澤和謙, 村上 章
2. 発表標題 3次元粒子 流体連成モデルによる内部侵食の解析
3. 学会等名 第52回地盤工学研究発表会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 藤澤和謙, 村上 章, 杉野 公亮
2. 発表標題 上向き浸透流作用下での限界掃流力測定
3. 学会等名 第52回地盤工学研究発表会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 藤澤和謙, 村上 章, 福元 豊
2. 発表標題 Darcy-Brinkman 式による浸透流解析とLES のカップリング計算
3. 学会等名 平成29年度農業農村工学会大会講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 森田健太郎, 岡田紘明, 福元 豊, 藤澤和謙, 村上 章
2. 発表標題 粒子-流体連成計算モデルを用いた浸透破壊後の解析
3. 学会等名 平成29年度農業農村工学会大会講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 森田健太郎, 岡田紘明, 福元 豊, 藤澤和謙, 村上 章
2. 発表標題 粒子 流体連成計算モデルによる浸透破壊後のシミュレーション
3. 学会等名 第74回農業農村工学会京都支部研究発表会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 古川智大, 高松亮佑, 村上 章, 中畑和之, 藤澤和謙
2. 発表標題 粒子フィルタと弾性波探査シミュレーションによる地中の欠陥部パラメータの推定
3. 学会等名 第74回農業農村工学会京都支部研究発表会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 K. Fujisawa and A. Murakami
2. 発表標題 Numerical analysis of fluidization of sandy materials by CWENO method
3. 学会等名 The 19th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 V. Sharma, K. Fujisawa and A. Murakami
2. 発表標題 A new velocity based time discontinuous Space-Time finite element method for vibration analysis of elastic and hypoelastic material
3. 学会等名 The 15th International Conference of the International Association for Computer Methods and Advances in Geomechanics (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 K. Fujisawa, K. Suino and A. Murakami
2. 発表標題 Measurement of critical tractive force of glass beads subjected to upward seepage flow
3. 学会等名 The 7th China-Japan Geotechnical Symposium (国際学会)
4. 発表年 2017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	友部 遼 (Tomobe Haruka) (90880005)	豊田工業高等専門学校・環境都市工学科・助教 (53901)	

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