

令和 4 年 5 月 30 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(A)（一般）

研究期間：2019～2021

課題番号：19H01094

研究課題名（和文）地盤の支える機能から流れる性質までの統合表現による数値シミュレーション

研究課題名（英文）Numerical simulation of ground motion by synthesized representation of transition between solid and liquid

研究代表者

寺田 賢二郎（Terada, Kenjiro）

東北大学・災害科学国際研究所・教授

研究者番号：40282678

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 35,300,000円

研究成果の概要（和文）：従来のMPMを用いた不飽和土を対象とした研究では陽解法を採用しながら間隙水の疑似圧縮性を仮定する場合が多い。この場合、水に大きな体積弾性率を用いて間隙水圧を計算する必要があるためその求解が不安定となるだけでなく、時間刻み幅を極端に小さくする必要がある。これらの問題に対して、間隙水の非圧縮性を仮定できるfractional-step法の適用する試みがあるが、不飽和土を対象とした先行研究は報告されていない。本研究では、不飽和土を対象としてfractional-step法を適用したMPMを新規に開発し、基本性能を検証するとともに、斜面破壊実験の再現解析により妥当性の確認を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ゲリラ豪雨による斜面崩壊や堤防決壊などの土砂災害における典型的な物理現象であるが、規模が大きくなると人的・物的被害とともに社会的損失も甚大になるため、流動現象の発生とそれによる定量的な被害予測は社会的にも喫緊の課題として認識されてきた。本研究で開発に取り組んだ計算技術は、豪雨に起因して発生する土砂崩れの初期段階から流動後に堆積するすべての過程を一環してシミュレートできるものであり、実際の土砂災害のメカニズムの解明やリスク評価に資するものである。また、開発した手法は、マルチフィジックス計算の未踏領域を含んでおり、学術的にもこの研究分野を一步先に進展させたと言える。

研究成果の概要（英文）：We develop a semi-implicit MPM to properly express the mechanical behavior of unsaturated soil based on Biot's mixture theory. The new contribution of this study is the incorporation of the fractional-step method into the MPM to solve the pore water pressure implicitly, which improves the numerical stability and computational efficiency. Moreover, the time increment can be determined without considering the magnitude of water permeability because the interaction between solid and liquid phases is evaluated using the intermediate velocity. Several numerical examples are presented to demonstrate the capability and performance of the proposed method for analyses of unsaturated soils. In particular, a validation analysis is carried out using a model experiment of infiltration-induced landslide.

研究分野：計算力学

キーワード：土砂流動 土質構成則 固液遷移挙動 Material Point Method 数値シミュレーション

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

固体から液体、あるいは液体から固体への相変化を伴う物理現象と工学問題は数多く存在し、数理物理学および計算科学／力学分野における研究の歴史も古い。固体から液体（およびその逆過程の双方）の相変化の例としては、普段は堅固な固体として構造物を支える役割を果たす地山が、集中豪雨や地震荷重などの外的刺激によってあたかも流体として振る舞う現象が上げられる。すなわち、堅固な砂質地盤の強度が水の供給によって失われ、重力などの駆動力に対して材料的にクリティカルな状態に達するときに、局所的な安定性が失われ、それが引き金となって地盤構造物全体の崩壊が起こる。これは近年多発しているゲリラ豪雨による斜面崩壊や堤防決壊などの土砂災害における典型的な物理現象であるが、規模が大きくなると人的・物的被害とともに社会的損失も甚大になるため、流動現象の発生とそれによる定量的な被害予測は社会的にも喫緊の課題として認識されている。

2. 研究の目的

本研究の目的は、地盤から土粒子のかみ合わせが外れて粘性流体かのごとく振る舞う地盤材料の物性変化の数理モデルを構築し、その遷移挙動を含む地盤構造物の崩壊過程の予測が可能な数値シミュレーション手法を開発することである。すなわち、地盤の固体材料として支える機能から、流動して他の構造物に外力源として被害を及ぼす性質までをシームレスかつ統合的に表現しうる材料構成則とその数値計算法を構築し、地山から都市域への土砂流動の量や影響範囲などの広域被害予測ツールにも発展しうる数値シミュレーション手法の開発を目的とする。

3. 研究の方法

上記で説明した地盤の状態の変化をシームレスに表現するためには、地盤を支える力の変化を捉える必要がある。この支える力は、土の間隙が水で満たされていき、不飽和土から飽和土へと遷移する過程で減少していく抵抗力であり、間隙水圧と密接な関係にある。そのため、間隙水圧が乱れやすい崩壊・流動時においても、安定した間隙水圧分布を与える数値シミュレーションが必要である。そこで本研究では、間隙水圧の安定化の効果が確認されている Fractional-step 法を用いた半陰解法に基づく飽和土を対象とした定式化¹⁾を、不飽和土も対象にできるように発展させる。それに加えて、間隙水圧の時間変化を適切に表現しながら、その誤差の蓄積を最小限に抑えるために PIC²⁾と FLIP³⁾において用いられる時間積分法をアダプティブに適用させることで、不飽和土と飽和土の遷移をシームレスに表現する。最後に、1次元浸透実験と斜面浸透破壊実験について、実験結果との比較を行うことで、提案手法の妥当性を検証する。

4. 研究成果

(1) Fractional-step 法を用いた半陰解法に基づく定式化

土は土粒子が成す土骨格と水を含む間隙から構成される。それらの運動方程式は以下の式で表される。

$$\rho_{\alpha} \mathbf{a}_{\alpha} = \text{div } \boldsymbol{\sigma}_{\alpha} + \rho_{\alpha} \mathbf{b} + \hat{\mathbf{p}}_{\alpha\beta}$$

ここで、下付き添え字の $\alpha = \text{s or w}$ は、土骨格(s)、または、間隙水(w)といった相を示し、 β は α が示していないもう一方の相を示す。また、 ρ_{α} 、 \mathbf{a}_{α} 、 $\boldsymbol{\sigma}_{\alpha}$ は、それぞれ、各相の部分密度、加速度、応力であり、 \mathbf{b} は物体力である。さらに、 $\hat{\mathbf{p}}_{\alpha\beta}$ は α に作用する β との相互作用力であり、次のように表される。

$$\hat{\mathbf{p}}_{\text{sw}} = -\hat{\mathbf{p}}_{\text{ws}} = -p_{\text{w}} \nabla(\theta s_{\text{w}}) + q_{\text{ws}} \mathbf{v}_{\text{ws}}$$

ここで、 θ は間隙率、 s_{w} は飽和度を表す。また、 \mathbf{v}_{ws} は土骨格に対する間隙水の相対速度であり、 q_{ws} は、相互作用力のうち相対速度に依存する力の係数である。

本研究では、間隙水圧を安定して求めるために、Fractional-step 法を適用し、上記の運動方程式を以下に示す加速度の分解に基づいて時間離散化する。

$$\mathbf{a}_{\alpha}^{n+1} = \frac{\mathbf{v}_{\alpha}^{n+1} - \mathbf{v}_{\alpha}^n}{\Delta t} = \frac{\mathbf{v}_{\alpha}^{n+1} - \mathbf{v}_{\alpha}^*}{\Delta t} + \frac{\mathbf{v}_{\alpha}^* - \mathbf{v}_{\alpha}^n}{\Delta t} = \mathbf{a}_{\alpha}^{**} + \mathbf{a}_{\alpha}^*$$

ここで、 Δt は時間刻み、上付き添え字の n 、 $n+1$ は時刻を示す。また、 \mathbf{v}_{α}^* 、 \mathbf{a}_{α}^* 、 \mathbf{a}_{α}^{**} はそれぞれ中間速度、中間加速度、修正加速度である。Fractional-step 法では、これらの速度・加速度を用いることで、運動方程式を段階的に解く。これらの中間加速度(\mathbf{a}_{α}^*)、修正加速度(\mathbf{a}_{α}^{**})を用いて時間離散化した土骨格の運動方程式は次式で表される。

$$\begin{aligned} \rho_{\text{s}}^n \mathbf{a}_{\text{s}}^* - q_{\text{ws}}^n [\Delta t (\mathbf{a}_{\text{w}}^* - \mathbf{a}_{\text{s}}^*)] &= \text{div } \boldsymbol{\sigma}' - \nabla[(1 - \theta^n) s_{\text{w}}^n p_{\text{w}}^n] - p_{\text{w}}^n \nabla(\theta^n s_{\text{w}}^n) + \rho_{\text{s}}^n \mathbf{b} + q_{\text{ws}}^n \mathbf{v}_{\text{ws}}^n \\ \rho_{\text{s}}^n \mathbf{a}_{\text{s}}^{**} &= -\nabla[(1 - \theta^n) s_{\text{w}}^n \Delta p_{\text{w}}^{n+1}] - \Delta p_{\text{w}}^{n+1} \nabla(\theta^n s_{\text{w}}^n) \end{aligned}$$

ここで、 $\boldsymbol{\sigma}'$ は土骨格の有効応力であり、 $\Delta p_{\text{w}}^{n+1}$ は間隙水圧の増分である。上記2式のうち上側の式は中間加速度 (\mathbf{a}_{α}^*) に関する運動方程式であり、右辺には時刻 n の値のみが入る。対して下側の式は修正加速度 (\mathbf{a}_{α}^{**}) に関する運動方程式であり、右辺には時刻 $n+1$ の間隙水圧に関する項

が入る。

同様に、Fractional-step 法を適用して時間離散化した間隙水の運動方程式は次式で表される。

$$\begin{aligned}\rho_w^n \mathbf{a}_w^* + q_{ws}^n [\Delta t (\mathbf{a}_w^* - \mathbf{a}_s^*)] &= -\nabla(\theta^n s_w^n p_w^n) + p_w^n \nabla(\theta^n s_w^n) + \rho_w^n \mathbf{b} + q_{ws}^n \mathbf{v}_{ws}^n \\ \rho_w^n \mathbf{a}_w^{**} &= -\nabla(\theta^n s_w^n \Delta p_w^{n+1}) + \Delta p_w^{n+1} \nabla(\theta^n s_w^n)\end{aligned}$$

このように、間隙水圧について2段階に分解することで、右辺に未知数を含まない式として表せる中間加速度 (\mathbf{a}_α^*) に関する運動方程式を陽的に解き、その値を用いて間隙水圧の増分を陰的に解くことができるため、安定した間隙水圧の分布を求めることが可能となる。間隙水圧の増分を求める式は、土骨格と間隙水の質量保存則と修正加速度に関する運動方程式から次式のように表される。

$$\begin{aligned}\frac{\theta^n c_w^n}{\Delta t} \Delta p_w^{n+1} + \Delta t \left[s_w^n \nabla \cdot \frac{s_w^n}{\rho_{sR}} \nabla \Delta p_w^{n+1} + \nabla \cdot \left\{ \theta^n s_w^n \left(\frac{1}{\rho_{wR}} - \frac{s_w^n}{\rho_{sR}} \right) \nabla \Delta p_w^{n+1} \right\} + s_w^n \nabla \cdot \left(\frac{\nabla s_w^n}{\rho_s} \Delta p_w^{n+1} \right) \right. \\ \left. - \nabla \cdot \left(\theta^n s_w^n \frac{\nabla s_w^n}{\rho_s} \Delta p_w^{n+1} \right) \right] = s_w^n \nabla \cdot \mathbf{v}_s^* + \nabla \cdot (\theta^n s_w^n \mathbf{v}_{ws}^*)\end{aligned}$$

ここで、 c_w^n は比水分容量であり、 $\rho_{\alpha R}$ ($\alpha = s$ or w) はそれぞれ土粒子、間隙水の密度である。この式を解いて得られる間隙水圧の増分から修正加速度 (\mathbf{a}_α^{**}) に関する運動方程式を解くことができ、時刻 $n+1$ での加速度 (\mathbf{a}_α^{n+1}) を求めることができる。

(2) PIC と FLIP における時間積分法のアダプティブな適用による浸透挙動の表現

本研究で使用する解析手法である MPM(Material Point Method)⁴⁾ は、粒子と格子との間で物理量のやりとりを行うことで解析を行う。粒子には物理量を記録する役目があり、格子点では運動方程式などの計算を行われ、得られた格子点 I の物理量を粒子 p に内挿することで、時間積分を行う。この時間積分の形式は主に次の二通りが考えられる。

$$\begin{aligned}p_{wp}^{n+1} &= \sum_{I=1}^{N_n} N_{Ip} p_{wi}^{n+1} \\ p_{wp}^{n+1} &= p_{wp}^n + \sum_{I=1}^{N_n} N_{Ip} \Delta p_{wi}^{n+1}\end{aligned}$$

ここで、 N_n は総格子点数であり、 N_{Ip} は格子点 I の粒子 p に対する基底関数である。

2式のうち上側の式は Particle-in-Cell(PIC)という解析手法で用いられる時間積分法で、2式のうち下側の式は Fluid-Implicit-Particles(FLIP)という解析手法で用いられる時間積分法である。PICにおける時間積分法は、過度な数値粘性によってエネルギーが散逸しやすい代わりに、計算が発散しにくい特徴がある。反対に、FLIP における時間積分法は、エネルギーの保存性が高いが、数値誤差の蓄積によって計算が発散しやすい特徴がある⁵⁾。

エネルギー保存性が低いと、地盤を支える力である負の間隙水圧を保持できないため、その力がはたらく不飽和土の領域においてはエネルギーが散逸しにくい FLIP における時間積分法を採用する必要がある。しかし、崩壊時には間隙水圧が不安定になりやすく、数値誤差の蓄積を無視できない。そこで本研究では、これらの PIC・FLIP における時間積分法を、飽和度に応じて次のように使い分けることで粒子の間隙水圧を時間積分する。

$$p_{wp}^{n+1} = \begin{cases} \sum_{I=1}^{N_n} N_{Ip} p_{wi}^{n+1} (s_{wp}^n = 1): \text{PIC} \\ p_{wp}^n + \sum_{I=1}^{N_n} N_{Ip} \Delta p_{wi}^{n+1} (s_{wp}^n < 1): \text{FLIP} \end{cases}$$

(3) 1次元浸透実験との比較による妥当性検証

不飽和土の検証例題としてよく用いられる Liakopoulos⁶⁾ の実験との比較を行う。この実験では、飽和土の土層に対して底面の流出を許すことで、天面側の土から徐々に飽和度が減少し、不飽和土へと遷移する様子が確認されている。その過程で計測された底面からの流出速度と、図-1(左)に示すような解析モデルを用いた提案手法および陽解法による解析結果を比較した(図-1(右))。この図より、陽解法以上に実験結果と整合していることが確認でき、不飽和土の挙動をより適切に表現できているといえる。

(4) 再現解析による開発したシミュレーション手法の妥当性検証

図-2 に示すように、実験では左下の流入部から水が放射状に浸透し、40分程度で斜面全体が飽和した後に崩壊・流動した。提案手法では、流入直後に完全に飽和することなく不飽和土の領域を保持しながら、放射状に水が浸透する様子が表現できており、40分程で右端を除く斜面全体に浸透していることから、水の浸透についての表現性能が確認できる。また、実験では斜面先

端から流動化した土が流れるように崩れており、解析結果からも斜面先端付近の粒子が流れるように崩れる様子が確認できる。したがって、浸透から崩壊、流動までの挙動を一貫して表現できているといえる。

(5) まとめ

不飽和土を対象として、間隙水圧を陰的に考慮可能な Fractional-step 法を導入した MPM を提案した。この Fractional-step 法の導入と PIC と FLIP における時間積分法のアダプティブな適用によって、間隙水圧の不安定性を抑制した。それらを 1 次元浸透実験と斜面破壊実験の再現解析を通して確認した。加えて、斜面破壊実験の再現解析では、不飽和土の斜面が飽和し、斜面先端付近から崩壊する様子を表現できた。以上から、安定的に間隙水圧を算定しながら、浸透から崩壊・流動までを一貫して解析できる手法を提案できたといえる。

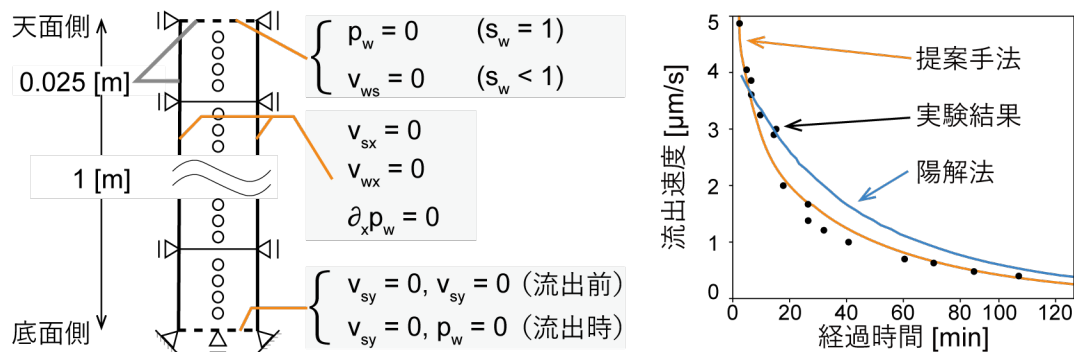


図 1. 1 次元浸透実験の解析モデル(左)と実験結果との比較(右)

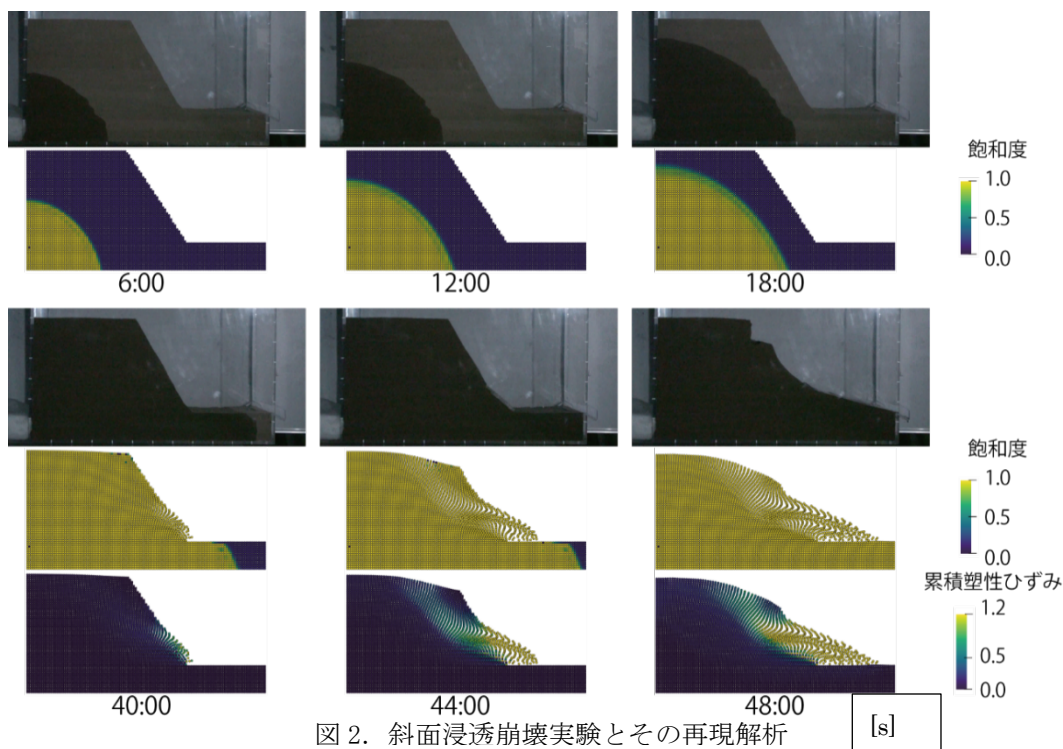


図 2. 斜面浸透崩壊実験とその再現解析 [s]

参考文献

- ① S. Kularathna, W. Liang, T. Zhao, B. Chandra, J. Zhao, K. Soga: A semi-implicit material point method based on fractional-step method for saturated soil, International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics, Vol. 45, No. 10, pp. 1405-1436, 2021.
- ② F. H. Harlow, M. Evans, R. D. Richtmyer: A machine calculation method for hydrodynamic problems, Los Alamos Scientific Laboratory of the University of California, 1955.
- ③ J. U. Brackbill, H. M. Ruppel: Flip: A method for adaptively zoned, particle-in-cell calculations of fluid flows in two dimensions, Journal of Computational physics, Vol. 65, No. 2, pp. 314-343, 1986.
- ④ D. Sulsky, Z. Chen, H. L. Schreyer: A particle method for history-dependent materials. Computer methods in applied mechanics and engineering, Vol. 118, No.1-2, pp. 179-196, 1994.
- ⑤ C.Jiang, C. Schroeder, A. Selle, J. Teran, A. Stomakhin: The affine particle-in-cell method. ACM Transactions on Graphics (TOG), Vol. 34, No. 4, pp. 1-10, 2015.
- ⑥ A. Liakopoulos: Transient flow through unsaturated porous media., PhD thesis, University of California at Berkeley, 1964.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 5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 山口清道, 山村和人, 竹内則雄, 寺田賢二郎	4. 巻 75
2. 論文標題 HPM を用いた骨組構造のマルチステージ破壊シミュレーション	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 I_225 ~ I_236
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11421/jscs.2020.20200005	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 Yamaguchi Yuya, Takase Shinsuke, Moriguchi Shuji, Terada Kenjiro	4. 巻 7
2. 論文標題 Solid-liquid coupled material point method for simulation of ground collapse with fluidization	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Computational Particle Mechanics	6. 最初と最後の頁 209 ~ 223
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s40571-019-00249-w	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 Pan Shaoyuan, Yamaguchi Yuya, Suppasri Anawat, Moriguchi Shuji, Terada Kenjiro	4. 巻 68
2. 論文標題 MPM-FEM hybrid method for granular mass?water interaction problems	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Computational Mechanics	6. 最初と最後の頁 155 ~ 173
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00466-021-02024-2	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 菅井 理一、山口 裕矢、森口 周二、寺田 賢二郎	4. 巻 2021
2. 論文標題 Extended B-spline 基底関数を用いた陰的 MPM の有限変形弾塑性問題への適用	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 日本計算工学会論文集	6. 最初と最後の頁 20210022
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11421/jscs.2021.20210022	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 Yamaguchi Yuya, Moriguchi Shuji, Terada Kenjiro	4. 巻 122
2. 論文標題 Extended B spline based implicit material point method	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 International Journal for Numerical Methods in Engineering	6. 最初と最後の頁 1746 ~ 1769
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/nme.6598	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24件 (うち招待講演 2件 / うち国際学会 12件)

1. 発表者名 Y. Yamaguchi, K. Terada, S. Moriguchi, S. Takase
2. 発表標題 Implicit material point method for rainfall-induced slope disasters
3. 学会等名 20th International Conference on Fluid Flow Problems (FEF-2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 K. Terada, Y. Yamaguchi, S. Moriguchi and S. Takase
2. 発表標題 An Improved Solid-Liquid Coupled Material Point Method for Simulation of Ground Collapse with Fluidization
3. 学会等名 VIII International Conference on Coupled Problems in Science and Engineering (COUPLED 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Y. Yamaguchi, S. Suzuki, S. Moriguchi, K. Terada
2. 発表標題 Exploration of predictive disaster simulations by FEM and MPM
3. 学会等名 XV International Conference on Computational Plasticity. Fundamentals and Applications (COMPLAS 2019) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yuya Yamaguchi, Shinsuke Takase, Shuji Moriguchi and Kenjiro Terada
2. 発表標題 Development of soil-water-air coupled implicit material point method
3. 学会等名 VII Asian Pacific Congress on Computational Mechanics (APCOM) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 吉田昂平、山口裕矢、森口周二、寺田賢二郎
2. 発表標題 MPMを用いた構造物に対する崩壊土砂の衝撃力評価、第24回計算工学講演会
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 吉田昂平、山口裕矢、森口周二、寺田賢二郎
2. 発表標題 MPMを用いた崩壊土砂の衝撃作用の分析
3. 学会等名 第74回土木学会全国大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 潘紹元、山口裕矢、森口周二、寺田賢二郎
2. 発表標題 固液混合MPMによる海底地滑りシミュレーション
3. 学会等名 令和元年度土木学会東北支部技術研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 潘紹元、山口裕矢、森口周二、寺田賢二郎
2. 発表標題 固液混合MPMによる海底地滑りに起因する津波シミュレーション
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 飛彈野壯真、山口裕矢、高瀬慎介、森口周二、金子賢治、寺田賢二郎
2. 発表標題 固液混合MPMによる地盤の浸透破壊解析
3. 学会等名 令和2年度全国大会第75回年次学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 S. Pan, Y. Yamaguchi, S. Moriguchi, K. Terada
2. 発表標題 Multi-physics hybrid modeling for tsunami induced by submarine landslide
3. 学会等名 The 3rd International Conference on Computational Engineering and Science for Safety and Environment Problems (COMPSAFE2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 K. Yoshida, Y. Yamaguchi, S. Moriguchi, K. Terada
2. 発表標題 Sediment flow simulation by MPM with a solid-fluid translational constitutive law
3. 学会等名 The 3rd International Conference on Computational Engineering and Science for Safety and Environment Problems (COMPSAFE2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yamaguchi, S. Moriguchi, K. Terada
2. 発表標題 Coupled material point method for simulation of seepage failure with fluidization
3. 学会等名 The 3rd International Conference on Computational Engineering and Science for Safety and Environment Problems (COMPSAFE2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 菅井理一、山口裕矢、森口周二、寺田賢二郎
2. 発表標題 Extended B-spline基底関数を用いた陰的MPMによる弾塑性解析
3. 学会等名 令和2年度土木学会東北支部技術研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 S. Pan, Somphong Chatuphorn, A. Suppasri, S. Moriguchi, K. Terada
2. 発表標題 MPM-FEM hybrid analysis for tsunami induced by submarine landslide
3. 学会等名 第24回応用力学シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 菅井理一、山口裕矢、森口周二、寺田賢二郎
2. 発表標題 Extended B-splineを用いた陰的MPMによる弾塑性解析
3. 学会等名 第24回応用力学シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 S. Pan, Y. Yamaguchi, A. Suppasri, S. Moriguchi, K. Terada
2. 発表標題 MPM-FEM hybrid analysis for coupling between submarine landslide and Tsunami
3. 学会等名 第26回計算工学講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 飛弾野壯真、山口裕矢、高瀬慎介、森口周二、金子賢治、寺田賢二郎
2. 発表標題 固液混合MPMによる地盤の浸透破壊解析
3. 学会等名 第26回計算工学講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 S. Pan, Y. Yamaguchi, A. Suppasri, S. Moriguchi, K. Terada
2. 発表標題 MPM-FEM hybrid analysis for tsunami induced by submarine landslide
3. 学会等名 The 30th International Tsunami symposium (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 菅井理一、山口裕矢、森口周二、寺田賢二郎
2. 発表標題 Extended B-splineを用いたMPMの弾塑性問題への適用性の検討
3. 学会等名 令和3年度全国大会第76回年次学術講演会
4. 発表年 2021年

1 . 発表者名 Kenjiro Terada, Shuji Moriguchi, Yuya Yamaguch, Shun Suzuki
2 . 発表標題 Recent advances in FEMs and MPMs for disaster simulations
3 . 学会等名 XVI International Conference on Computational Plasticity. Fundamentals and Applications (COMPLAS 2021) (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 MPM-FEM Hybrid analysis for tsunami induced by submarine landslide
2 . 発表標題 S. Pan, Y. Yamaguchi, A. Suppasri, S. Moriguchi, K. Terada
3 . 学会等名 XVI International Conference on Computational Plasticity. Fundamentals and Applications (COMPLAS 2021) (国際学会)
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 S. Pan, Somphong Chatuphorn, A. Suppasri, S. Moriguchi, K. Terada
2 . 発表標題 Simulation of the submarine landslide tsunami in 2018 in Palu Bay, Indonesia, using an MPM-FEM hybrid method
3 . 学会等名 3rd International Symposium on Risk Assessment and Sustainable Stability Design of Slopes (国際学会)
4 . 発表年 2022年

1 . 発表者名 21S. Hidano, Y. Yamaguchi, S. Takase, S. Moriguchi, K. Kaneko, K. Terada
2 . 発表標題 Failure analysis of unsaturated soil using MPM with fractional step method
3 . 学会等名 3rd International Symposium on Risk Assessment and Sustainable Stability Design of Slopes (国際学会)
4 . 発表年 2022年

1. 発表者名 木村凌一、飛弾野壮真、菅井理一、潘紹元、森口周二、寺田賢二郎
2. 発表標題 固体の変形と流動の遷移挙動を表現可能な構成則を用いたMPMによる斜面崩壊解析
3. 学会等名 令和3年度土木学会東北支部技術研究発表会
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	森口 周二 (Moriguchi Shuji) (20447527)	東北大学・災害科学国際研究所・准教授 (11301)	
研究分担者	野村 怜佳 (Nomura Reika) (50900320)	東北大学・災害科学国際研究所・助教 (11301)	
研究分担者	高瀬 慎介 (Takase Shinsuke) (00748808)	八戸工業大学・大学院工学研究科・准教授 (31103)	
研究分担者	金子 賢治 (Kaneko Kenji) (30333834)	八戸工業大学・大学院工学研究科・教授 (31103)	
研究分担者	山口 裕矢 (Yamaguchi Yuya) (20823579)	東北大学・災害科学国際研究所・助手 (11301)	

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