

令和 3 年 6 月 18 日現在

機関番号：13903

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2019～2020

課題番号：19K21990

研究課題名（和文）マルチスケールと量子力学的視点で捉える粒状体流れのダイナミクスの構築

研究課題名（英文）Dynamics of granular flow with multi-scale and quantum mechanics

研究代表者

前田 健一（MAEDA, Kenichi）

名古屋工業大学・工学（系）研究科（研究院）・教授

研究者番号：50271648

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 4,900,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、粒子濃度が高く大きな運動エネルギーを持つ石礫型土石流の挙動に代表される粒状体の流れを対象とした。その粒状体の流れについて、マルチスケールと二重性の視点から、未解明とされる大きな粒子の浮き上がり現象などの特徴的な挙動の統一的解釈の可能性を示した。また、その過程において、合理的な力学指標の発見をし、粒状体流れのスティックスリップ現象に基づくモデル化を考案することで、粒状体の流れのダイナミクスの構築の基礎を築いた。

本研究成果は防災・減災だけでなく、堆積後の地形形成、それに起因する環境保全や生物多様性等の観点からも重要な成果である。

研究成果の学術的意義や社会的意義

粒状体流れのゆらぎ（スティック・スリップ）と二重性に着目したチャレンジによって、粒状体流れを捉える新しい原理や土砂災害軽減のための提案、土木、機械、粉体、化学、物理、農学等への学際分野へのインパクトが期待される。

また、防災・減災だけでなく、堆積後の地形形成、それに起因する環境保全や生物多様性等の観点からも重要で意義の高い研究課題である。

研究成果の概要（英文）：In this study, we focused on the flow of granular materials, which is represented by the behavior of stone and gravel type mudflows with high particle concentration and large kinetic energy. From the viewpoints of multiscale and duality, the possibility of a unified interpretation of the characteristic behaviors of granular flows, such as the uplift of large particles, which have not yet been clarified, was demonstrated. In the process, we also discovered a reasonable dynamic index and devised a modeling based on the stick-slip phenomenon of granular flows, which laid the foundation for the construction of granular flow dynamics.

The results of this research are important not only for disaster prevention and mitigation, but also from the perspective of post-depositional landform formation, resulting environmental conservation and biodiversity.

研究分野：地盤工学

キーワード：土石流 素法 スティック・スリップ 粒状体流れ 二重性 マイクロメカニクス 分級 浮き上り 個別要

1. 研究開始当初の背景

(1) 応力鎖のダイナミクスからマイクロとマクロの架け橋にチャレンジ

物理学の分野では粒子濃度の薄い粒状体の流れを対象に、個々の粒子レベルというマイクロな視点で捉え過ぎていたため、塑性的せん断現象が卓越する高濃度の流れの挙動の十分な理解には至っていない。一方、土砂を扱う研究分野では土石流を対象にマクロ(連続体流体)で捉える手法が主であり、多くの経験則が蓄積されてきた。しかし、未経験な条件下での現象の予測が難しく、また、従来とは違った新しい災害対策工法の導入への挑戦を難しくしており、巨大化する外力下での土石流への対応が遅れる一要因となっている。

そこで、マイクロとマクロの中間スケールの構造体で、粒子間の接触力が集中した骨格構造体「応力鎖」に着目する。この発生・消滅条件というダイナミクスと流れ内部の応力の伝播波動の関係に着目するという斬新なアイデア・着想で、マイクロとマクロを繋ぐことにチャレンジし学際的貢献を目指す。さらに、流れ表面の速度が周期的もしくは非周期にゆらぐ現象とスティック・スリップ現象(摩擦をもつ質点とバネを連結させた物理モデルで表現される)とを関連付けている視点は今までにない独創的で挑戦的な内容である。

(2) 応力波動伝播に着目したフルード則と塑性、限界状態：流れの二重性という物理の解明

水理学では長波の波速と流速とからフルード数が定義され、河床勾配も含め流れの特徴が合理的に捉え、分類されている(連続体の波動)。一方、粒状体流れ中の応力鎖の発生・消滅(粒子性)の繰り返しによる内部に応力の波動伝播が生じると考えられる。

粒子性に起因する内部の応力波動(粒子濃度の疎密)の伝播速度を用いて粒状体流れのフルード数を定義し、流れの特徴を表現し分類するといった、粒子性と連続性の両面(二重性)を取り入れた斬新なアイデアを投入する。この粒子性と波動性を両立させる二重性の概念は量子力学的視点であり、粒状体力学との融合を目指す。学術的挑戦である。また、流れの速度分布だけでなく、流れ中の応力・変形(速度)・ダイレイタンス・間隙比といった量を詳細に観察する。これらの物理量を系統的に理解するために、「限界状態に基づく土質力学」の成果を用いるところにも新しい発想を有する。つまり、密度が緩いのか、密なのか、応力レベルが低いのか高いのかは各物理量の数字の大きさそのものではなく、限界状態線との相対的關係で決まるといった塑性力学の概念を取り入れる。限界状態の考えを応用し、流れの構造を見極める新しい方法への提案に繋げる。本研究で不可欠な内部密度や応力鎖の分布の可視化を、音響の伝達速度と減衰率の両方に着目した音響トモグラフィで挑戦する。これらの成果は地盤力学、砂防学だけでなく物理学などの力学分野の共有財産となる。

(3) 流れの中の二重性から古くて新しい問題を解決：大きな粒子の浮き上がり、分級

巨石が流れ表面に浮き上がったり、流れの先端に集中したりする現象は多くの研究者を魅了するとともに、土砂災害の被害を増加させる大きな問題である。このメカニズムも未解決である。

粒状体流れのゆらぎ(スティック・スリップ)と二重性に着目したチャレンジによって、粒状体流れを捉える新しい原理や土砂災害軽減のための提案、土木、機械、粉体、化学、物理、農学等への学際分野へのインパクトが期待される。

2. 研究の目的

粒子濃度が高く、大きな運動エネルギーを持つ石礫型土石流の挙動に代表される粒状体の流れに関して、マルチスケールと二重性の視点から、未解明とされる大きな粒子の浮き上がり現象などの特徴的な挙動の統一的解釈、合理的な力学指標の発見、モデル化など、ダイナミクスの構築が本研究の目的である。防災・減災だけでなく、堆積後の地形形成、それに起因する環境保全や生物多様性等の観点からも重要で意義の高い研究課題である。

粒状体の流れ挙動のメカニズム解明を難しくしている理由として、粒子濃度の高い粒状体が主体であり、力を受け変形する粒状体の内部では粒子間の接触・剥離、滑り、回転といったマイクロ現象が生じ、これが流れの特性を大きく左右することが挙げられる。フルード数等に有益な指標などを用いた流体力学的な「マクロ的手法」では理解は難しい。一方で、粒子個々に着目した「ミクロ的手法」では粒子濃度の希薄な場合の成果がほとんどで、それを高濃度の場合に単なる拡張したものが多く成功しているとは言い難い。このような背景のもと、申請者らの模型実験や計測結果によって、流れ表面の速度が周期的もしくは非周期に変動する現象が発見された。この現象は摩擦をもつ質点とバネを連結させた単純なモデルで表現されるスティック・スリップ現象に極めて類似しているとともに、多質点系では疎密波が伝播する、と考えた。そこで、流れに潜むスティック・スリップに着目し、粒子性と波動性を同時に持ち合わせるという「量子力学の概念である二重性」が複雑現象解明の突破口となる鍵と考えた。さらに、マクロとマイクロを繋ぐ中間スケール「粒子が鎖状に繋がり力を伝える応力鎖」のマルチスケールな視点で捉えることとした。

本課題における主な目標とすべき内容を以下に示す。

- (1) 流れ表面の速度の周期的・非周期ゆらぎをスティック・スリップ現象として捉え、流れに潜む粒子性と波動性の二重性（量子力学的捉え方）を見出し、流れの支配因子を浮き彫りにする。流れ挙動に及ぼす粒度や粒形、間隙水の有無、河床粗度、傾斜角の影響について、内部の可視化模型実験と数値解析を用いて調べる。限界状態土質力学の成果も活かし、粒子レベルの挙動と流れの中の応力・変形・間隙比との関係を統一的に捉える。
- (2) スティック・スリップ現象を流れ中の応力鎖の発生・消滅と関連付けて説明し、流れ中の疎密による応力の波動伝播特性を明らかにするとともに、伝播速度を用いて河床特性や粒子特性、流れの特性を統一的に関連付けする。マルチスケールの視点から限界状態の概念とフルード数を解釈することで、粒状体流れの特徴・分類を表現する物理指標を見出す（新しいフルード数の提案）。流れの構成関係について、粒状体流れのマイクロメカニクスを解明する。
- (3) 大きな粒子が浮き上がり先端と表層に集中する現象、分級現象のメカニズムをマルチスケールと二重性の視点からメカニズムを解明し、統一的説明可能な解釈を与える。

3. 研究の方法

以下のような方法で研究を進めた。

本研究では、応力鎖の発生・消滅というダイナミクス、土質力学の特徴的概念である限界状態の概念、流れ挙動や内部で発生する応力波の伝播とその波速に基づく新たなフルード数に着目して、粒状体流れに関する模型実験と数値解析を行い、両結果の比較や相互補完によって検討を進める。試料の粒度や粒形、間隙水の有無、河床粗度、傾斜角などの影響について体系的に調べる。模型実験では、画像解析による速度分布計測、高速で多点発振・受信可能で音響の減衰率も計測可能な三次元音響トモグラフィを用いて内部の密度や応力鎖の可視化を試みる。解析では、二次元、三次元の DEM および流体計算 CFD と連成した計算を行う。流れ中の応力・変形・ダイレイタンシー・間隙比等のマクロ量と粒子レベルのミクロ現象との関連調べ、構造体としての応力鎖の発生・消滅条件を検討する。これらの視点で巨石の浮き上がり現象も解明する。

粒状体の流れ挙動のメカニズム解明を難しくしている理由として、粒子濃度の高い粒状体が主体であり、力を受け変形する粒状体の内部では粒子間の接触・剥離、滑り、回転といったミクロ現象が生じ、これが流れの特性を大きく左右することが挙げられる。フルード数等に有益な指標などを用いた流体力学的な「マクロ的手法」では理解は難しい。一方で、粒子個々に着目した「ミクロ的手法」では粒子濃度の希薄な場合の成果がほとんどで、それを高濃度の場合に単なる拡張したものが多く成功しているとは言い難い。このような背景のもと、申請者らの模型実験や計測結果によって、流れ表面の速度が周期的もしくは非周期に変動する現象が発見された。この現象は摩擦をもつ質点とバネを連結させた単純なモデルで表現されるスティック・スリップ現象（図-1 参照）に極めて類似しているとともに、多質点系では疎密波が伝播する、と考えた。

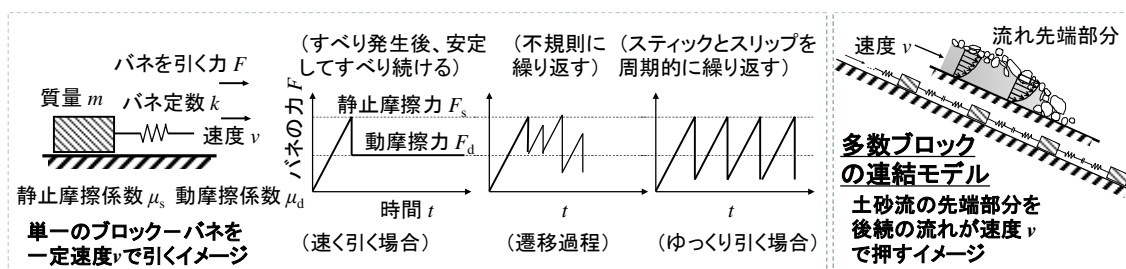
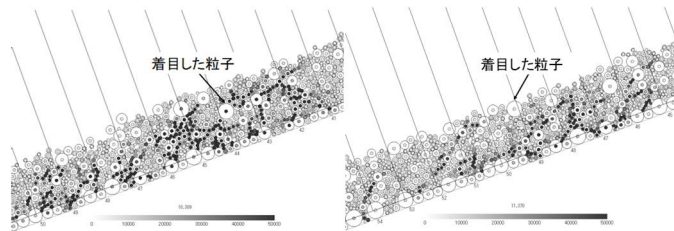
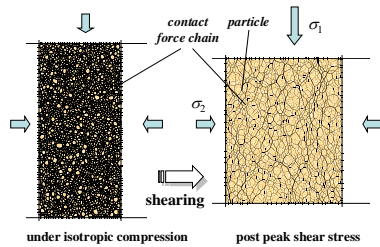


図-1 スティック・スリップ：弾性バネ、摩擦をもつ質点の相互作用によってバネに発生する力が規則一不規則的に変化し、速度に依存してスリップと停止するスティックが繰り返される、付着すべり

そこで、流れに潜むスティック・スリップに着目し、粒子性と波動性を同時に持ち合わせるという「量子力学の概念である二重性」が複雑現象解明の突破口となる鍵と考えた。さらに、マクロとミクロを繋ぐ中間スケール「粒子が鎖状に繋がり力を伝える応力鎖」（図-2、3）のマルチスケールな視点で捉えることとした。



(a)等方圧縮； (b)破壊後 (a)着目粒子に応力鎖が発生； (b)応力鎖の消滅
 図-2 要素挙動の解析で見られる応力鎖 図-3 斜面流動解析得られる応力鎖のダイナミクス

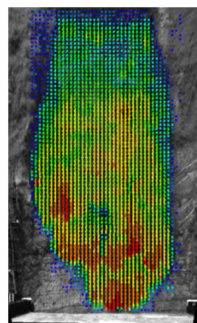
4. 研究成果

(1) 密度分布・応力鎖の可視化装置の開発：スティック・スリップと二重性の抽出：

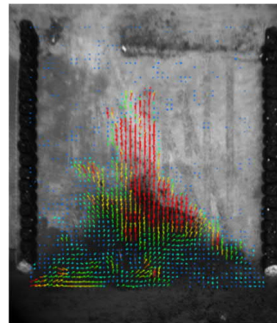
非破壊試験トモグラフィの技術を拡張し、多点高密度の発振面・受信面を横切る粒状体を伝達する音を高速計測することで、粒状体の密度と応力鎖の三次元像をほぼリアルタイムで捉えようとする斬新な挑戦である。広範囲な周波数の擬似ランダム波を用いることでノイズの影響を受けにくく、空間分解能も高いため、伝播速度だけでなく減衰率も測定できると考えた。試作の結果、ある程度のゆるみの検出ができた。今後、高精度化および大きな実験装置による検討が必要である。密度分布や粒子骨格構造体として応力鎖の形状、配向などの幾何学的統計量を計測できることが期待される。

また、流動後の粒子の配向を調べインブリケーションが発生していることを確かめた。粒度や流れの特性の影響について詳細に調べることで、流動後の堆積層の断面写真から過去の流動挙動の代表的な特徴を推測可能であることが分かった。今後の詳細な検討を続けることで、過去の流動特性を可視化できることが期待される。これは調査の大きなブレイクスルーとなる可能性がある。今後、研究を継続する必要がある。

速度のゆらぎは画像解析 (PIV) でも求めることができた (図-4)。スティック・スリップを原理の異なる方法で観察し、粒子と波動の二重性の抽出を試みた。



正面



上空から (下が流動開始箇所)

図-4 大規模斜面流動挙動実験に要素挙動の解析で見られる応力鎖

(2) 固・液相の相互作用を考慮した数値解析コードの開発

既に開発済の3次元DEMに流体との連成効果を導入し、用い計算の効率化を行った。研究の実現可能性が高い。解析も活用し、粒子～応力鎖～流れの層構造という異なるスケールの現象の繋がりを検討した。計算結果からの応力鎖の自動抽出には課題が残る。

(3) 粒状体の流れ・堆積挙動、内部の応力波伝播挙動に及ぼす粒度や粒形などの粒子特性、間隙水の有無、河床粗度、傾斜角の影響を検討と新たなフルード則の創出

土砂移動の流下・堆積挙動、流れ中に発生する波動に及ぼす底面粗度・傾斜角の影響、粒子形状による回転抵抗の増加と応力鎖の安定性との関係などを模型実験と数値解析を実施して調べた。応力鎖の発生条件、構造的安定性、消滅などの力学的条件、応力鎖の不均質な分布などによって生じる応力の疎密の波動、その波速と流れの速度との相対関係 (フルード則) を明らかにした。新たなフルード数を導出は、応力鎖発生・消滅のパターンとゆらぎの発現条件、深度方向の速度構造の形成、河床特性の関係を統一的表現できる発展性の高い新しいアイデアである。

図-5 左は波速比と配位数の経時変化を示す。波速比は平均速度の応力波速との比で、配位数とは一粒子当たりの接点数のことである。配位数は大きいほど構造が安定していることを表す指標である。試料崩壊後、配位数は減少しながら波速比は大きくなっていく。次第に波速比が小さくなり1より小さくなると配位数が増加に転じ一気に配位数が増加する。つまり不安定化しながら加速し、減速に転じたのち波速比が1より小さくなると構造が安定化していく。また、図

の右には以上の結果から応力波の速度を用いたフルード数と配位数による流れの力学的分類を試みた結果を示す。つまり、粒子群の流れは応力鎖によって支配されており、応力鎖が発生と消滅を繰り返すことが縦波を伴った流れを作り出している。このように、粒状体にフルード数を当てはめると長波速度は応力波速と一致し、流速と長波速度との大小関係で堆積や緩い状態での流下に分けることができることが明らかになった。既往の研究に加え、本研究成果では多くのケースで上記のような解釈が有益であることが分かった。この点が本研究での大きな進捗である。

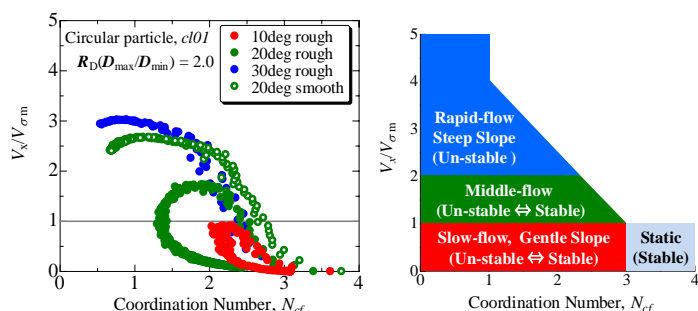


図-5 流動体中の粗密応力波の速度と流速との速度比と配位数の経時変化と流れ中の速度と構造状態の新たな概念図

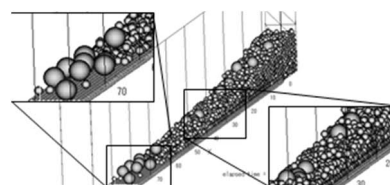


図6 3次元個別要素法による逆グレーディング再現例

(4) 大きな粒子の浮き上がり、分級のメカニズムの解明とスティック・スリップ：流れ中の二重性の可視化

著者らの既往の研究による、乾燥流れでも大きな粒子が浮き上がったり、先端に集まったりする現象が確かめられた(図-6)。本研究では、既往の成果に加えて、応力鎖のダイナミクスから浮き上がり条件を示すことができた。

(5) 力鎖のダイナミクスと限界状態の概念を取り入れた流れのモデリング(限界状態の正体と量子論的モデリング)

過去の著者らの研究成果を基にして、応力鎖という代表的な構造単位の力学特性を記述し、連続体近似を用いることで、粒状体の動的な変形・破壊挙動を記述するモデルの構築を試みた。その際に、パーコレーション理論や繰り込み理論の考え方を援用することで応力鎖の成長過程記述に試みた。発生した応力鎖がどのように安定して遠方まで成長できるのかを検討するためであるが、今後、さらに検討を続ける。流動の理論に大きな飛躍がある可能性があると考えられる。また、粒状体の特徴的な概念で状態を記述するのに有益な限界状態は地盤力学の抛り所の一つである「限界状態」の持つ意味を量子力学的応力鎖のダイナミクスという視点から考察し、モデルの構築をより簡明化を試みた。今後、3次元挙動の可視化によって、モデルの構築が可能であることが分かった。

以上の結果から本研究を継続することで以下の成果がさらに期待される。本研究の挑戦は、粒状体流れの力学の方向性や体系化を大きく転換、変革するブレイクスルーになり、これらの成果は地盤力学、砂防学だけでなく物理学などの学際分野の共有財産となると確信している。

- ① スティック・スリップと二重性(量子力学的視点)からの本質解明へ(応力の波動伝播速度とフルード数)：流れ表面のゆらぎをスティック・スリップとして捉え、その単純明快な物理モデルと粒子性と波動性の二重性で捉える量子力学的考えの導入によって粒状体力学の画期的な進展が図られる。流れの合理的な特徴の表現や統一かつ力学的な分類を可能にする新たなフルード数などの物理指標が提案される。
- ② 応力鎖のダイナミクスからマイクロからマクロへの架け橋へ：マイクロとマクロの中間スケールの粒子構造体である応力鎖の発生・消滅に着目し、マルチスケールで捉えることで、様々な現象の統一的理解が促進する。
- ③ 限界状態土質力学の成果を活用(流れ中の塑性挙動)：流れ中の密度や応力の値の有意な大小は数字の大きさそのものではなく、限界状態線との相対的關係で決まるという限界状態土質力学の概念を活用する。流れの構造を見極める新しい方法への提案に繋がる。
- ④ 模型実験において内部の密度や強い応力鎖の分布を可視化方法の開発：音響の伝達速度と減衰率の両方に着目した音響トモグラフィの応用にも挑戦する。
- ⑤ 古くて新しい問題の解決：流れ中の巨石が表面に浮き上がる現象や分級のメカニズムも未解決である。粒状体流れの二重性に着目することで、新たな統一解釈の提案が期待される。さらに粒状体流れを捉える新しい原理や土砂災害軽減のための提案が期待される。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 6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 Naoto Naito, Kenichi Maeda, Hisashi Konno, Yuji Ushiwatari, Kentaro Suzuki and Ryoji Kawasee	4. 巻 70
2. 論文標題 Rockfall impacts on sand cushions with different soil mechanical characteristics using discrete element method	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Soils and Foundations	6. 最初と最後の頁 1, 12
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.sandf.2020.02.008	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 鈴木健太郎, 牛渡裕二, 松尾和茂, 前田健一, 今野久志	4. 巻 66
2. 論文標題 砂質土で構築した小型落石防護土堤の重錘衝突実験	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 構造工学論文集	6. 最初と最後の頁 951, 962
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 峯祐貴, 前田健一, 松尾和茂, 杉山直優, 川瀬良司	4. 巻 66
2. 論文標題 落石衝突時の敷砂緩衝材内部の変形挙動に及ぼす地盤特性の影響	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 構造工学論文集	6. 最初と最後の頁 975, 987
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 松尾和茂, 前田健一, 堀耕輔, 鈴木健太郎, 今野久志	4. 巻 75
2. 論文標題 落石防護土堤の落石捕捉性能把握を目的とした模型実験及び数値解析	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 389, 400
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 内藤 直人, 布川 修, 前田健一	4. 巻 75
2. 論文標題 不飽和土の斜面流下・衝突挙動に関する粘着力を考慮した個別要素法解析	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 433, 444
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 杉山直優, 前田健一, 鈴木健太郎, 今野久志, 峯祐貴, 磯合凌弥	4. 巻 67A
2. 論文標題 落石捕捉性能把握に向けた実規模落石防護土堤の落体衝突実験	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 構造工学論文集	6. 最初と最後の頁 1-10
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 -

〔学会発表〕 計17件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件)

1. 発表者名 松尾 和茂, 前田 健一, 堀 耕輔, 峯 祐貴, 今野 久志, 高橋 浩司
2. 発表標題 落石防護土堤の落石捕捉性能把握に向けた模型実験及び二次元DEM解析
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 松尾和茂, 前田健一, 堀耕輔, 鈴木健太郎, 今野久志
2. 発表標題 落石防護土堤の落石捕捉性能把握を目的とした模型実験及び数値解析
3. 学会等名 第22回土木学会応用力学シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 松尾和茂, 前田健一, 堀耕輔, 峯祐貴, 今野久志
2. 発表標題 異なる重錘形状を用いた落石防護土堤の衝撃載荷実験
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 峯祐貴, 前田健一, 松尾和茂, 杉山直優, 高橋浩司, 牛渡裕二
2. 発表標題 異なる地盤条件における敷砂緩衝材の内部変形挙動に着目した衝撃力緩衝メカニズム
3. 学会等名 第12 回構造物の衝撃問題に関するシンポジウム論文集
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 松尾和茂, 前田健一, 杉山直優, 杉山裕, 牛渡裕二, 今野久志
2. 発表標題 実規模落石防護土堤を対象とした重錘衝突実験
3. 学会等名 土木学会北海道支部年次技術研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 杉山直優, 前田健一, 松尾和茂, 峯祐貴, 阿部和樹
2. 発表標題 実規模土堤実験による異なる落体・衝突面の反発挙動
3. 学会等名 土木学会中部支部研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 杉山直優, 前田健一, 松尾和茂, 峯祐貴, 鈴木健太郎, 今野久志
2. 発表標題 二次元DEM解析による落石防護土堤のミクロ - マクロ変形・破壊挙動
3. 学会等名 計算工学講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 高橋浩司, 川瀬良司, 鈴木健太郎, 阿部和樹, 杉山直優, 前田健一, 中釜裕太
2. 発表標題 実規模斜面における落体の反発挙動に関する実験的検討
3. 学会等名 地盤工学研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 杉山直優, 前田健一, 松尾和茂, 峯祐貴, 阿部和樹, 牛渡裕二, 中瀬仁
2. 発表標題 衝突体 - 被衝突体の反発と接触部の摩擦・摩耗・損傷(トライボロジー)との関係性
3. 学会等名 地盤工学研究時発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 海部友和, 菊池優希, 鈴木健太郎, 牛渡裕二, 前田健一, 杉山直優, 今野久志, 葛西聡
2. 発表標題 落石防護土堤の耐衝撃挙動に与える土質材料の影響
3. 学会等名 地盤工学研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 鈴木健太郎, 牛渡裕二, 高橋浩司, 山内翼, 前田健一, 峯祐貴, 今野久志, 葛西聡
2. 発表標題 落石防護土堤の荷重分散範囲に関する実験的検討
3. 学会等名 地盤工学研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 保木和弘, 鈴木健太郎, 高橋浩司, 牛渡裕二, 峯祐貴, 前田健一, 寺澤貴裕, 今野久志
2. 発表標題 落石防護土堤の捕捉性能に土質材料が与える影響
3. 学会等名 土木学会年次学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 鈴木健太郎, 山内翼, 高橋浩司, 牛渡裕二, 杉山直優, 前田健一, 中村拓郎, 今野久志
2. 発表標題 重錘質量を変化させた落石防護土堤の耐衝撃挙動
3. 学会等名 土木学会年次学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 山内翼, 鈴木健太郎, 高橋浩司, 牛渡裕二, 杉山直優, 前田健一, 山澤文雄, 今野久志
2. 発表標題 落石防護土堤の重錘衝突実験に関する衝撃力計測
3. 学会等名 土木学会年次学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 高橋浩司, 鈴木健太郎, 川瀬良司, 杉山直優, 前田健一, 中瀬仁
2. 発表標題 落下方法の違いによる落体の反発挙動の関係性
3. 学会等名 土木学会年次学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 杉山直優, 前田健一, 松尾和茂, 峯祐貴, 牛渡裕二, 中瀬仁
2. 発表標題 実規模斜入射実験による衝突体-被衝突体の特性と反発挙動
3. 学会等名 土木学会年次学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 阿部和樹, 高橋浩司, 鈴木健太郎, 杉山直優, 前田健一, 中瀬仁
2. 発表標題 実規模落下実験における重錘のエネルギー減衰に関する検討
3. 学会等名 土木学会年次学術講演会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 地盤工学会	4. 発行年 2020年
2. 出版社 丸善出版	5. 総ページ数 200
3. 書名 河川堤防の調査・検討から維持管理まで	

〔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
--	---------------------------	-----------------------	----

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