

令和 5 年 6 月 19 日現在

機関番号：13903

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20H02241

研究課題名（和文）緩衝層の落石衝撃力伝達のダイナミクス構築：土を活かした落石対策のパラダイムシフト

研究課題名（英文）Dynamics of impact force wave in soil due to rock fall: paradigm shift of rock fall protection by using soils

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） 13,200,000円

研究成果の概要（和文）：画像解析を活用した測定を取り入れた衝撃実験や個別要素法解析によって、土内部の局所的な変形挙動や伝達応力について、いままで見逃されていた現象の可視化に挑戦した。また従来のように土を連続体レベルだけで捉えるのではなく、粒子レベル、粒子が連なった粒子骨格レベルといったマルチなスケールで観察し、それらの相互作用から緩衝メカニズムを深掘りした。さらに、衝撃力の緩衝挙動を粒子自体の特性が顕著に表れる粒状体としての性質（粒子性）と波として伝播する性質（波動性）の二重性で捉えた。マルチスケールと二重性に着目した土の緩衝効果メカニズム解明は世界に類のない、物理学、衝撃工学、地盤や構造力学を跨ぐ学際的成果である。

研究成果の学術的意義や社会的意義

土を活用した緩衝材の落石のエネルギー吸収能力や衝撃力伝播特性の評価は斜面防災や落石対策工の長寿命化において重要で科学的にも魅力的な課題である。そこで、土の粒子レベル、応力が集中する粒子骨格を意味する応力鎖のレベルや連続体レベルのマルチなスケールの視点で、従来は見落とされていた衝撃力の伝達メカニズムを解明した。模型実験方法や数値解析方法の開発を行い、応力鎖の発生・消滅、亀裂や塑性波の伝播、密度変化などを可視化した。土・構造物系の衝撃応答を深く理解し、土を積極的に活用することで落石対策工の効率化・長寿命化方法を提案し、落石対策のパラダイムシフトに大きく貢献した。

研究成果の概要（英文）：This study has attempted to visualize the previously overlooked phenomena of local deformation behavior and transferred stress in the soil through impact experiments and discrete element method analysis that incorporate measurements using image analysis. We also observed soil not only at the continuum level, as in the past, but also at multiple scales, such as the particle level and the particle skeleton level, and investigated the buffering mechanism from the interaction between them. Furthermore, the buffering behavior of the impact force was viewed in terms of the dual nature of the particle body (particle nature) and the nature of propagation as waves (wave nature), in which the particles' characteristics are clearly expressed. The elucidation of the mechanism of the buffering effect of soil focusing on the multi-scale and dual nature is an interdisciplinary achievement that straddles physics, impact engineering, geotechnics, and structural mechanics and is unique in the world.

研究分野：地盤工学

キーワード：落石 落石対策 緩衝効果 粒状体 マルチスケール 二重性 マイクロメカニクス 個別要素法

1. 研究開始当初の背景

落石の発生によって、人命と財産が奪われ、交通・物流等の社会的機能が損なわれることになる。経年の斜面風化に加え、地震の頻発や豪雨の多発などによって、落石による災害リスクが極端に増加している。一方、社会インフラの大更新時代に差し掛かった我が国では、老朽化する構造物の長寿命化が重要課題の一つであり、我が国の落石対策工も例外ではない(図-1)。インパクトの大きな落石災害に対する安全余裕度の低下が深刻な問題となっており、落石対策施設の長寿命化や対策の効率化の促進は、重要な研究課題といえる。

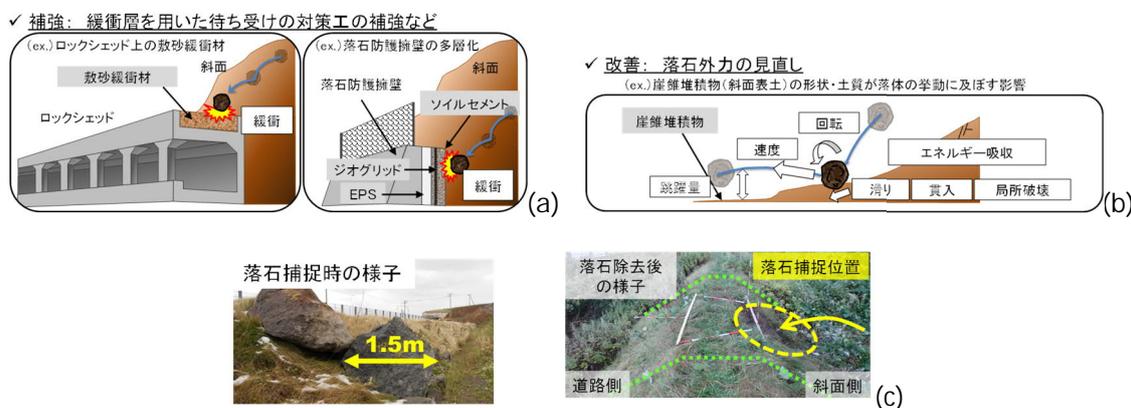


図-1 落石対策インフラの長寿命化における土の利用例: (a)待ち受け対策工, (b)斜面特性による落石外力の見直し, (c)土堤による落石の捕捉

落石対策インフラの長寿命化には、補修・補強・改善の3つが不可欠と考えられる。補修では、構造物の要求される管理基準を、より長期間保持するための耐久性の回復や向上をはかる。補強としては、防護工の直接的な損傷を防ぐため、ロックシェッド用の敷砂緩衝材や擁壁用のソイルセメントの緩衝工の設置である。改善では、斜面の表土や崖錐堆積物による落石の運動エネルギー減衰を適切に評価し直し、終端速度の再検討などが考えられる。このような課題を克服するために、自然材料である「土」の役割や非常に優れた性能である、①斜面上を転がる距離・速度を減らす効果、②防護工を守る緩衝材効果、③他の建設材料に比べ劣化し難い性質、などを認識し、その緩衝性能発揮のメカニズム解明や定量的評価が必要である。国内外研究の精力的な取り組みにもかかわらず、未だ解明されていない古くて新しい落石問題(学術的問い)は主に2つある。問い①: 1つ目は、土は落石による衝撃力を低減するものの、落石が受ける衝撃力よりも土の緩衝材を通して下部構造物のロックシェッドに伝達する衝撃力の方が2倍以上になる現象である。問い②: 2つ目は、材料自体の粘性が小さい砂のような粒状材料でも、緩衝材として働く際には荷重-変位関係に現れる強い速度依存性を有する特性である。これらの課題は、フランスの数学者であるオーギュスタン・ルイ・コーシーも体系化を断念したと言われる粒状体の荷重伝達メカニズムの解明に挑戦する内容であり、インパクトが期待できる学術的価値の高い研究課題である。そこで、本研究では土を連続体としてのマクロな視点と粒状体としてのミクロな視点との関係を結ぶ視点から、室内模型実験、実物大衝撃実験や個別要素法解析を実施し、上記メカニズムの解明に挑戦している。

2. 研究の目的

斜面表土、土堤や敷砂層の設置など土を活用した緩衝材による、落石のエネルギー吸収能力や衝撃力伝播特性の評価は斜面防災や落石対策工の長寿命化において重要で、科学的にも興味深い課題である。しかし、緩衝層全体を摩擦係数や跳ね返り係数を設定した剛な板と見なす方法が一般的であり、緩衝層の土の力学特性が密度、応力レベル、含水比に依存することに着目した衝撃応答に関する研究や衝撃実験の相似則を構築した研究はない。

そこで、土の粒子レベル、応力が集中する粒子骨格を意味する応力鎖のレベルや連続体レベルのマルチなスケールの視点で、衝撃力の伝達メカニズムを解明する。大型・実物大模型実験方法や粒子ベースの数値解析方法の開発を行い、応力鎖の発生・消滅、亀裂や塑性波の伝播、密度変化などを可視化する。土-構造物系の衝撃応答を深く理解し、土を積極的に利活用することで落石対策工の効率化・長寿命化方法を提案し、落石対策のパラダイムシフトをめざす。

主に以下のことを明らかにする。

- 1) 表土の跳ね返り特性に及ぼす落体特性と地盤力学的特性の影響(複雑な問題が絡み合う)
- 2) 緩衝層の衝撃力伝達特性に及ぼす地盤力学的特性の影響および相似則の導出(未解明問題の解決の糸口は地盤)

3) 補強効果に及ぼす落石-緩衝層-構造物の相互作用の影響 (新たな土の役割の提案へ)

3. 研究の方法

まず、画像解析を活用した測定を取り入れた新しい衝撃実験によって、土内部の局所的な変形挙動や伝達応力について、いままで見逃されていた現象の可視化に挑戦する (図-2)。

また、従来のように土を連続体レベルだけで捉えるのではなく、粒子レベル、粒子が連なった粒子骨格レベルといったマルチなスケールで観察し、それらの相互作用から緩衝メカニズムを深掘りする。そのために、個別要素法 (以下 DEM) 解析も用いる (図-2)。

さらに、衝撃力の緩衝挙動を粒子自体の特性が顕著に表れる粒状体としての性質 (粒子性) と波として伝播する性質 (波動性) の二重性で捉える。マルチスケールと二重性に着目した土の緩衝効果メカニズム解明は世界に例のない独創的な試みであり、物理学、衝撃工学、地盤力学、構造力学を跨ぐ学際的研究である。

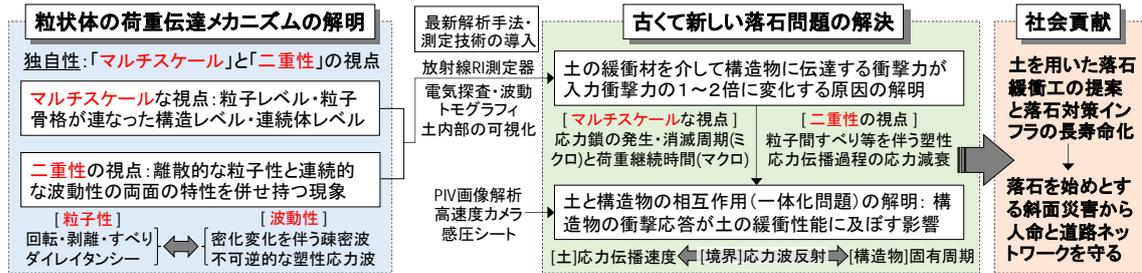


図-2 研究のシナリオのイメージ図

4. 研究成果

本研究の主な成果の概要は以下のようである。

1) 表土の跳ね返り特性に及ぼす落体特性と地盤力学的特性の影響 (複雑な問題が絡み合う)

斜面に衝突する落石の挙動評価の精度向上のために、落体の幾何学的特性 (形状・サイズ・質量) や運動特性 (並進、回転、入射角) や表土の構造特性 (層厚・傾斜) や土質特性 (土の粒径・形状・破碎性等の粒子特性) や密度、含水状態など地盤力学的特性の影響を明らかにした (図-3、4)。表層でのせん断、早い速度下での複合荷重載荷問題に似た局所破壊現象が起きていることが分かってきた。

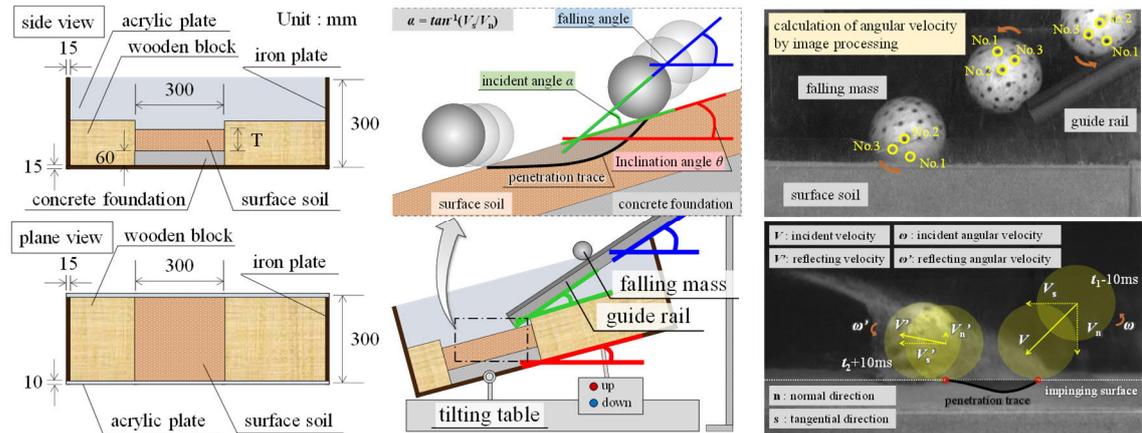
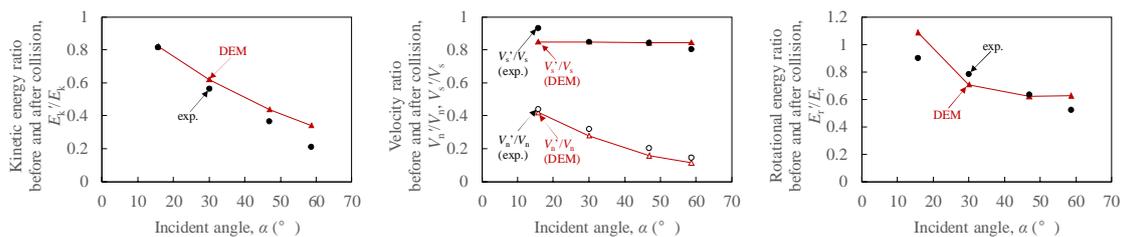


図-3 跳ね返り挙動に関する室内実験の試みの様子



(a) 運動エネルギー比

(b) 速度比

(c) 回転エネルギー比

図-4 跳ね返り挙動に関する室内実験と解析結果の比較: 堆積層への入射角による影響

2) 緩衝層の衝撃力伝達特性に及ぼす地盤力学的特性の影響およびキーとなる指標の導出（未解明問題の解決の糸口は地盤）

落体に生じる重錘衝撃力と緩衝層の土層底面に伝達し構造物に作用する伝達衝撃力の最大値が、同等のケースもあれば伝達衝撃力が重錘衝撃力の2倍以上になるケースもある（図-5）。これは従来から知られているものの、その機構は未解明のままであった。小規模、大規模、実物大規模の模型実験や土粒子レベルのからの数値解析手法である個別要素法（DEM）を用いた解析結果に基づいて支配する要因を密度-圧密応力-せん断応力を関係付ける限界状態土質力学やマイクロメカニクス、載荷速度と応力の伝播速度との関係などから解明する。締固めや載荷速度依存性もキーワードとなる。落石衝突時の敷砂による衝撃緩衝層や防護土堤の変形・破壊挙動におけるメカニズムを考察した。これによって、現象を支配するキーパラメータの抽出や性能照査の考え方を明確にした。

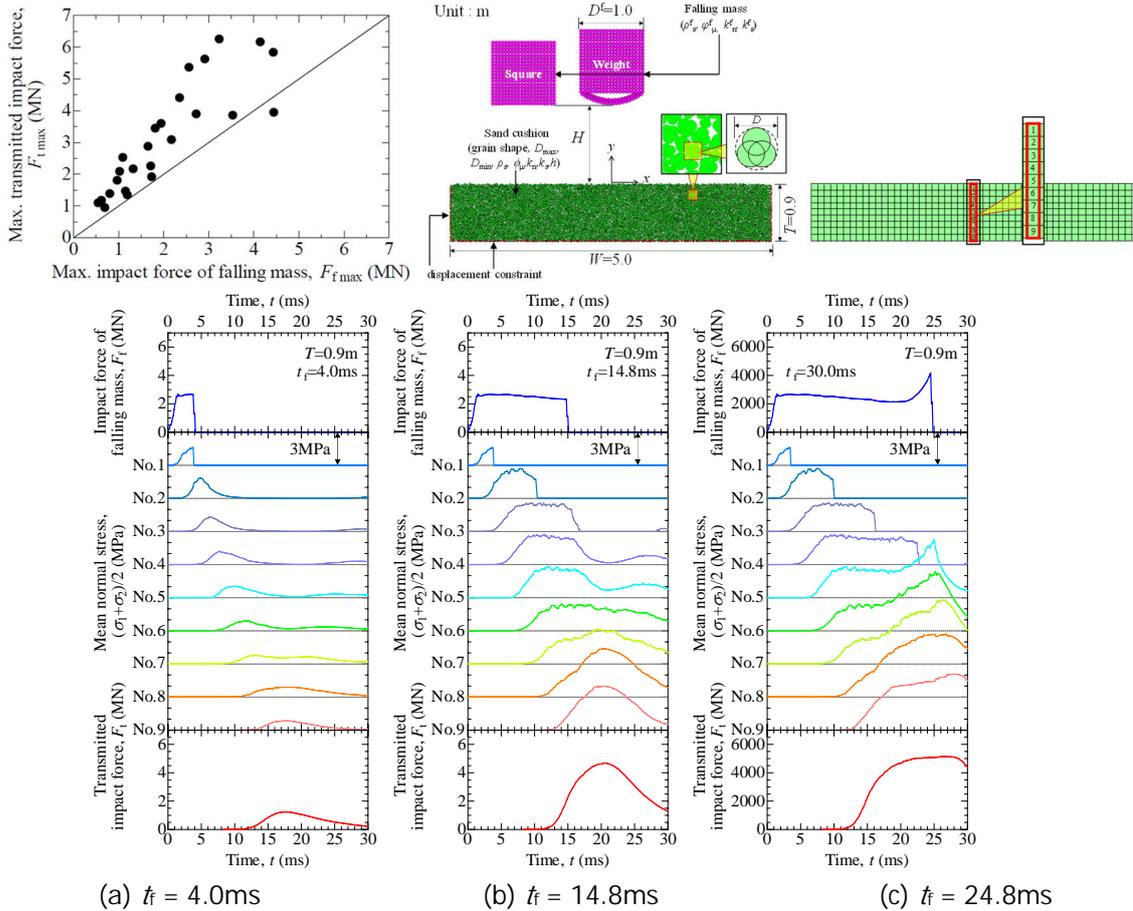
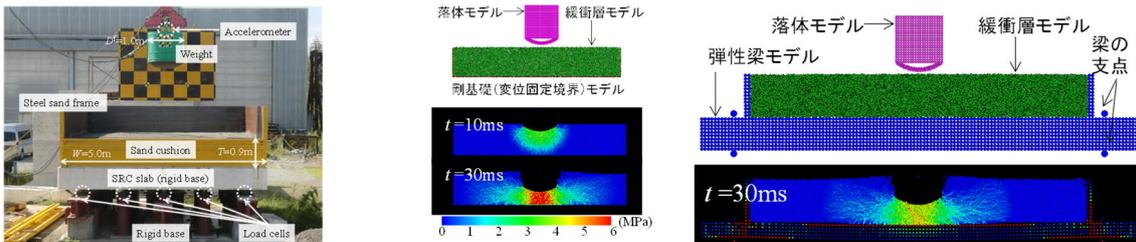


図-5 緩衝層内の応力波の衝撃力伝達挙動のスナップショット；落体の一定速度貫入時の落体衝撃力，緩衝層内部の伝達応力分布，緩衝層底部境界の伝達衝撃力

3) 補強効果に及ぼす落石-緩衝層-構造物の相互作用の影響（新たな土の役割の提案へ）

長寿命化のための合理的な補強方法を提案するには、緩衝層の多層化や傾斜化、他材料との組み合わせの際の最適な組み合わせについて検討する。さらに、構造物の固有周期や固有振動モードの影響についても調べた（図-6）。想定外力に適切な補強技術選定と設計方法を提案方針を示した。



(a) 比較検討した大型衝撃模型実験 (b) 底面が剛基礎モデル (c) 底面が弾性梁モデル
図-6 DEM解析における緩衝層内の衝撃力伝達挙動；大型模型実験の様子，解析モデル，体積平均による粒子単位応力の可視化

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計11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 11件）

1. 著者名 杉山直優, 前田健一, 牛渡裕二, 鈴木健太郎, 今野久志, 内藤直人	4. 巻 68A
2. 論文標題 土堤材料や重錘質量を変化させた小型落石防護土堤への重錘衝突実験	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 構造工学論文集	6. 最初と最後の頁 985-996
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11532/structcivil.68A.985	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 磯合 凌弥, 前田 健一, 杉山 直優, 菅原 正則, 今野 久志, 内藤 直人	4. 巻 68A
2. 論文標題 敷砂緩衝層の落石エネルギー吸収効果の評価を目的とした実規模落体衝突実験および二次元DEM解析	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 構造工学論文集	6. 最初と最後の頁 999-1012
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11532/structcivil.68A.999	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 864-877
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11532/structcivil.67A.864	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 Vol.66A
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 pp951-pp962
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11532/structcivil.66A.951	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 Vol. 66A
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 pp975-pp987
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11532/structcivil.66A.975	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 Naoto Naito, Kenichi Maeda, Hisashi Konno, Yuji Ushiwatari, Kentaro Suzuki, Ryoji Kawase	4. 巻 60, 2
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 384-397
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 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 Vol. 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 864-877
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11532/structcivil.66A.951	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 磯合 凌弥, 前田 健一, 牛渡 裕二, 中村 拓郎, 木村 絢	4. 巻 69A
2. 論文標題 ポケット部に緩衝材を有する落石防護土堤への実規模落体衝突実験	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 構造工学論文集	6. 最初と最後の頁 1082-1094
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11532/structcivil.69A.1082	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 前田健一	4. 巻 41
2. 論文標題 特集] 近年の災害から「混相流」を考える 土石流の流動挙動メカニズムと対策	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 ながれ https://www.nagare.or.jp/publication/nagare/archive/2022/3.html	6. 最初と最後の頁 206-213
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 Tatsuya Matsuda, Kenichi Maeda, Junji Miyamoto, Kazuhiro Tsurugasaki and Hiroko Sumida	4. 巻 22
2. 論文標題 Influence of Permeability of Rubble Mound on the Erosion Process in a Seabed under Breakwater due to a Tsunami,	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 International Journal of Geomechanics, ASCE	6. 最初と最後の頁 2023
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1061/(ASCE)GM.1943-5622.0002483	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 Naito, N., Maeda, K., Konno, H. et al.	4. 巻 18
2. 論文標題 Loading rate dependence of granular cushion under rockfall impact and proposal of an analytical model for impact force estimation	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Acta Geotechnica	6. 最初と最後の頁 1463-1477
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s11440-022-01641-2	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 -

[学会発表] 計32件(うち招待講演 0件/うち国際学会 3件)

1. 発表者名 Kenichi Maeda, Naoto Naito, Kentaro Suzuki and Ryoji Kawase
2. 発表標題 ROCKFALL KINETIC ENERGY DAMPING PERFORMANCE OF GRANULAR LAYER AND ITS DEM SIMULATION
3. 学会等名 RocExs2020 7th Interdisciplinary Workshop on Rockfall Protection (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Naoto Naito, Kenichi Maeda, Kentaro Suzuki and Hisashi Konno
2. 発表標題 STRESS WAVE PROPAGATION BEHAVIOR OF SAND CUSHION WITH DIFFERENT LOADING DURATION USING TWO-DIMENSIONAL DISCRETE ELEMENT METHOD
3. 学会等名 RocExs2020 7th Interdisciplinary Workshop on Rockfall Protection (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 K. Yasue, K. Maeda, T. Matsuda
2. 発表標題 Multi-scale geo-mechanics on scour
3. 学会等名 20th International Conference of Soil Mechanics and Foundation Engineering (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 杉山直優, 前田健一, 峯祐貴, 磯合凌弥, 山内翼, 今野久志
2. 発表標題 敷砂による実物大緩衝層への落体衝突実験及び二次元DEM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 杉山直優, 前田健一, 峯祐貴, 磯合凌弥, 牛渡裕二, 高橋浩司, 今野久志
2. 発表標題 二次元DEMに基づく衝突体の回転が敷砂緩衝層の緩衝効果に及ぼす影響
3. 学会等名 第56回地盤工学研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 磯合凌弥, 前田健一, 峯祐貴, 杉山直優, 菅原正則, 山内翼, 今野久志
2. 発表標題 実規模斜入射実験による土堤ポケット部における落石エネルギー吸収効果の評価
3. 学会等名 第56回地盤工学研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 磯合凌弥, 前田健一, 峯裕貴, 杉山直優, 牛渡裕二, 菅原正則, 今野久志
2. 発表標題 実規模斜入射実験による落体反発挙動及びエネルギー減衰に対する被衝突体の影響
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 磯合凌弥, 前田健一, 杉山直優, 今野久志, 中瀬仁, 牛渡裕二
2. 発表標題 落体反発挙動の評価に向けた敷砂による実物大緩衝層への鉛直落下実験
3. 学会等名 第62回地盤工学会北海道支部技術報告会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 杉山直優, 前田健一, 磯合凌弥, 今野久志, 菅原正則
2. 発表標題 落石捕捉性能把握に向けた落石防護土堤への重錘衝突実験
3. 学会等名 第62回地盤工学会北海道支部技術報告会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 木村 紘, 前田 健一, 杉山 直優, 磯合 凌弥, 今野 久志, 鈴木 健太郎
2. 発表標題 質量や落下高さを变化させた実規模落石防護土堤への重錘衝突実験
3. 学会等名 第62回地盤工学会北海道支部技術報告会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 木村 紘, 前田 健一, 杉山 直優, 磯合 凌弥, 内藤 直人, 難波 正和
2. 発表標題 実規模土砂流下実験による待ち受け対策工に作用する応力分布
3. 学会等名 令和3年度土木学会中部支部研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 杉山 直優, 前田 健一, 鈴木 健太郎, 今野 久志, 峯 祐貴, 磯合 凌弥
2. 発表標題 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
3. 学会等名 構造工学シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 杉山 直優, 前田 健一, 峯 祐貴, 磯合 凌弥, 山内 翼, 今野 久志
2. 発表標題 敷砂による実物大緩衝層への落体衝突実験及び二次元DEM解析
3. 学会等名 構造工学シンポジウム
4. 発表年 2021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 牛渡裕二, 鈴木健太郎, 高橋浩司, 山内翼, 峯祐貴, 前田健一, 今野久志, 西弘明
2. 発表標題 土質材料を変化させた落石防護土堤の重錘衝突実験
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 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

1. 発表者名 杉山直優, 前田健一, 峯祐貴, 磯合凌弥, 鈴木健太郎, 今野久志
2. 発表標題 落石防護土堤の性能設計法の確立に向けた重錘衝突実験
3. 学会等名 第32回中部地盤工学シンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 杉山直優, 前田健一, 牛渡裕二, 鈴木健太郎, 今野久志, 内藤直人
2. 発表標題 土堤材料や重錘質量を変化させた小型落石防護土堤への重錘衝突実験
3. 学会等名 日本学会会議 構造工学シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 磯合凌弥, 前田健一, 杉山直優, 牛渡裕二, 今野久志
2. 発表標題 敷砂緩衝層の落石エネルギー吸収効果の評価を目的とした実規模落体衝突実験および二次元DEM解析
3. 学会等名 日本学会会議 構造工学シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 磯合凌弥, 前田健一, 杉山直優, 牛渡裕二, 今野久志
2. 発表標題 重錘衝突実験及び個別要素法を用いた落石防護土堤の落石捕捉性能の評価
3. 学会等名 第27回計算工学講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 磯合凌弥, 前田健一, 杉山直優, 木村絢, 菅原正則, 石原寛也
2. 発表標題 実規模鉛直落下実験による土砂盛土の緩衝効果
3. 学会等名 第57回地盤工学研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 木村 絢, 前田 健一, 杉山 直優, 磯合 凌弥, 内藤 直人, 難波 正和
2. 発表標題 実規模土砂流下実験における土砂流の先端及び後続の流動挙動
3. 学会等名 第57回地盤工学研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 磯合 凌弥, 前田 健一, 杉山 直優, 木村 絢, 鈴木 健太郎, 中村 拓郎
2. 発表標題 落石防護土堤への実規模衝突実験による落体挙動及び落石捕捉性能の検討
3. 学会等名 令和4年度土木学会全国大会第77回年次学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 木村 絢, 前田 健一, 杉山 直優, 磯合 凌弥, 内藤 直人, 難波 正和
2. 発表標題 実規模土砂流下実験におけるワイヤロープ支持式防護柵による崩壊土砂の速度減衰効果
3. 学会等名 令和4年度土木学会全国大会第77回年次学術講演会
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 有川 太郎 外	4. 発行年 2021年
2. 出版社 土木学会	5. 総ページ数 177
3. 書名 水理模型実験の理論と応用 - 波動と地盤の相互作用 -	

〔産業財産権〕

〔その他〕

前田研究室
https://www.maeda-lab.org/

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
研究協力者	中村 拓郎 (Nakamura Takuro)	国立研究開発法人土木研究所寒地土木研究所	
研究協力者	牛渡 裕二 (Yuji Ushiwatari)	構研エンジニアリング	
研究協力者	内藤 直人 (Naito Naoto)	豊橋技術科学大学	

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