

令和 3 年 6 月 16 日現在

機関番号：12101

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2018～2020

課題番号：18H02296

研究課題名（和文）豪雨・地震複合災害に対する斜面安定性の評価方法と地盤の強靱化対策の開発

研究課題名（英文）An evaluation method of slope stability and its measures due to both rainfalls and earthquakes

研究代表者

向後 雄二（Kohgo, Yuji）

茨城大学・農学部・特任教授

研究者番号：30414452

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,800,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、降雨と地震が複合した斜面崩壊解析システムとその崩壊に対する強靱化対策の構築を目指した。解析では、間隙水圧の変動による変形と崩壊を予測できること、不飽和土の特性を評価できる構成関係、地震動による動的な変形と崩壊を予測できること、を考慮し解析方法を構築した。また、強靱化対策では、ソイルセメントによる斜面侵食防止と、蛇籠による斜面安定化工法について検討した。その結果、解析法では、上記の点を考慮した解析法が構築でき、降雨による崩壊と地震挙動をある程度予測可能であることがわかった。また、ソイルセメントの高い侵食防止機能と、パイプ付き蛇籠の斜面安定化機能を確認できた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

豪雨や地震による斜面崩壊に代表される土砂災害は、地球温暖化や地殻活動の活発化と相まって年々その度合いを増している。これまでは、豪雨と地震それぞれに対して安全性が検討されてきたが、近年の事象から、このような豪雨・地震複合型崩壊は今後多発する可能性が高いと考えられる。本研究では、複合災害を予測できる手法（解析法）を開発した。この手法では、土と土中水の相互作用、それぞれの挙動の予測が可能である。本手法は、他の多くの地盤工学上の問題に適用可能であり、土構造物の設計に新しい知見を与える可能性がある。また、ソイルセメントと蛇籠を用いた経済的な斜面の安定化対策について、上記手法を基にその有効性も検討した。

研究成果の概要（英文）：The object is to develop not only an analysis procedure for stability of soil slopes due to heavy rainfall and earthquakes, but also stabilization methods of them. In analysis system, three points are considered; to estimate deformations and failures due to pore water pressures, to introduce constitutive equations for unsaturated soils, and to investigate behavior of soil slopes due to earthquakes. In the stabilization, two methods were investigated; to clarify the function of soil cement to prevent soil erosion, and to develop stabilization due to heavy rainfalls using filter gabions with pipes. The following points were found that in the analysis system, the system was made, and the analysis system could fairly estimate failures due to rainfalls, and dynamic behavior of the slopes due to earthquake. In the stabilization of soil slopes, we could verify to have high functions against soil erosion of soil cement, and of slope stabilization of the filter gabions with pipes.

研究分野：農業工学，地盤工学，ダム工学，土木工学

キーワード：複合災害 地震 豪雨 斜面崩壊 不飽和土 侵食 圧密解析 斜面安定対策

1. 研究開始当初の背景

豪雨や地震による斜面崩壊に代表される自然災害は、地球温暖化や地殻活動の活発化と相まって年々その度合いを増している。地盤や土構造物(フィルダム、ため池などに代表される盛土)の斜面では、今まで豪雨と地震がほぼ同時に生じることは希とされ、それぞれに対して安全性が検討されてきた。しかし、新潟県中越地震や熊本地震では、多くのまたは大きな斜面崩壊が発生し、その崩壊の原因として地震直前の豪雨との関連性が指摘されている。このような豪雨・地震複合型崩壊は今後多発する可能性が高いと考えられる。

2. 研究の目的

本研究では、このような複合型崩壊に対応できる解析システムの構築とその崩壊に対する強靱化対策の開発を目指す。具体的には、解析システムでは、①豪雨による斜面内部での地下水位の変動とそれによる変形と崩壊を予測できること、②飽和土と不飽和土で異なる物性を評価できる構成関係(応力-ひずみ、透水特性と水分特性曲線)を有すること、③地震動による繰り返し荷重の作用による動的な変形と崩壊を予測できること、を目標とする。また、強靱化対策では、降雨時に生じる問題に対して、工学的に安価で、簡易な工法によってその後の耐震強度を上げることが目標とする。そのため、④ソイルセメントによる斜面侵食防止工法と⑤フィルター機能を有するパイプ付きの蛇籠による斜面安定化工法について検討した。

3. 研究の方法

目的で記述したように、本研究では、複合型崩壊に対応できる解析システムの構築とその崩壊に対する強靱化対策の開発を行った。具体的には、①複合型崩壊システムとして、土全体に対する力のつり合いと土中水(間隙水)に対する質量保存式を場の方程式として、不飽和土を対象とした弾塑性モデル、水分特性曲線、透水係数のモデルを組み込んだ。②そのモデルの適用を検討するために、降雨斜面崩壊模型実験と地震時の崩壊をモデル化した遠心載荷振動模型実験を実施した。③それらの実験の①で開発したシステムによるシミュレーションを実施した。さらに、④ソイルセメントによる斜面侵食防止の模型実験の実施とその効果の把握、⑤フィルター機能を有するパイプ付きの蛇籠による斜面安定化工法の模型実験を行った。

(1) 複合型崩壊システム：システム構築では、次のような二つの仮定を設ける。すなわち、(a) 加振中土は非排水状態とする、(b) 間隙空気圧は常に大気圧に等しいとする、である。このような仮定によれば、場の方程式は

$$\sigma_{ij} + \rho g F_i - \rho \ddot{u}_i = 0 \quad (1)$$

$$q_{ii} - \dot{a}_{ii} + S_i \dot{\varepsilon}_{ii} + \left(k_{ij} \frac{\ddot{u}_j}{g} \right)_i = 0 \quad (2)$$

ここに、 σ_{ij} は全応力テンソル、 ρ は土と水の混合体の密度、 g は重力加速度、 F_i は物体力ベクトル、 u_i は土粒子骨格の変位ベクトル、 q_i は流速、 a_{ii} は間隙水の圧縮または水分量の変化量、 S_i は飽和度、 ε_{ii} は土粒子骨格の体積ひずみ、 k_{ij} は透水係数マトリックスである。式(1)は土全体に対する力のつり合い式であり、式(2)は間隙水の質量保存式である。

式(1)と(2)に、不飽和土を対象とした弾塑性モデル、水分特性曲線、透水係数のモデルを組み込めば、これらの式は、土骨格の変位 u_i と間隙水圧 u_w を未知数とした連立偏微分方程式となる。ここでは、有限要素法を用い、時間については、Newmark 法を用いた逐次積分法によって解くこととした。この解析プログラムをコード名 DyGeocup と命名した。

(2) 降雨斜面崩壊模型実験：一般に自然斜面は基盤を構成する岩とその風化した表層からなる。ここでは、このような自然斜面を模したモデルを用いた。図1は模型の概要である。模型は斜面と斜面法先に設置したパイプ付きの蛇籠(Gabion)から構成されている。斜面は人工シルト(DLクレイ)で作製した基盤の上に、霞ヶ浦砂の薄い層が載った模型であり、この模型を用いて重力場で実験を行った。模型の大きさは、斜面高さ92cm、斜面の頂部幅42cm、奥行き70cm、傾斜角45度である。模型は次の手順で所定の大きさの鉄製の土槽内に作製した。土槽は前面がガラス張りになっている。まず、DLクレイの基盤層は含水比約17%で最大乾燥密度($\rho_d = 1.52 \text{ Mg/m}^3$)になるように締固めた。完成した基礎地盤の上に含水比10%に調整された霞ヶ浦砂を水平にまきだし、締固め後の相対密度 $Dr = 0\%, 25\%, 50\%$ で締固めた。そ

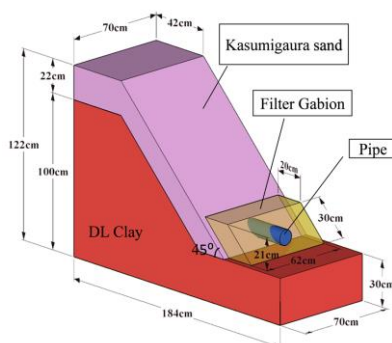


図1 降雨斜面崩壊模型実験に用いた模型の概要図

の後、降雨強度 60 mm/h で、模型の頭上約 4m の高さから降雨を作用させた。

(3) 地震時の崩壊をモデル化した遠心载荷振動模型実験：この実験は、模型の水分量(含水比)の違いによる振動性状の変化と解析法の妥当性を見るために行われた。振動実験は 30 g の遠心場で行った。模型試料は 6 号珪砂と 6 号珪砂と DL クレイを乾燥重量比 2:1 で混ぜ合わせた混合土を用いた。含水比(6 号珪砂模型では、5, 8, 14%, 混合土模型では、上流側(左側)で 12%, 下流側(右側)で 5%)を種々変化させて模型を作製した。図 2 に実験模型の概要を示す。模型の寸法は幅 1050 mm, 高さ 200 mm, 天端幅 50 mm, 奥行 400 mm, 法面勾配は 1:2.5 とした。30 g 载荷後の模型の高さは 6 m に相当する。模型の密度は相対密度 $D_r = 50\%$ に締固め作製した。混合土模型は締固め度 $D = 80\%$ ($\rho_d = 1.53 \text{ Mg/m}^3$) とした。水平方向(上下流方向)のみ加振を実施し、入力波は、周波数 4 Hz の正弦波 3 波に前後各 5 波のテーパ波を付したものとし、各振幅 100 から 900 cm/s^2 (gal) まで、それぞれ模型スケールで 0.1083 秒間加振した。加振中、表面変位、加速度、間隙水圧、間隙空気圧を測定するとともに、画像解析用の写真を撮影した。

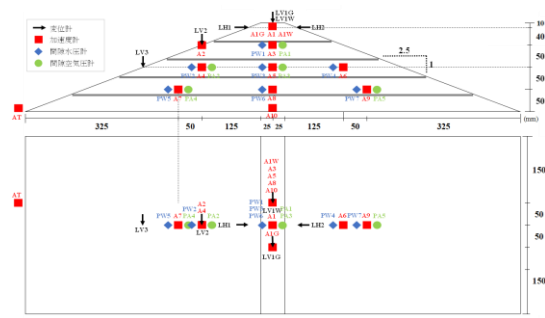


図 2 遠心模型の断面と平面図

(4) ソイルセメントによる斜面侵食模型実験：図 3 に、実験装置と模型の概要を示す。装置は、傾斜の角度が調整可能な土層と、その上部に位置する降雨装置から成る。斜面は、この土層の上側に作製し、その寸法は斜面長 2.0 m, 幅 0.5 m, 高さ 0.3 m であり、盛土層(下層)と表層(ソイルセメント層)の二層構造をとる。下層は高さ 0.2 m で、表層は高さ 0.1 m である。斜面の傾斜は 20 度である。下層は DL クレイを、表層は DL クレイにセメントを添加したソイルセメント層とし、共に含水比 17%, 乾燥密度 $\rho_d = 1.30 \text{ Mg/m}^3$ で締固めた。降雨強度は 50 mm/h と 100 mm/h とした。ソイルセメントのセメント混合率は乾燥重量比で $C_c = 0, 3, 5\%$ とした。実験中、排水量、間隙水圧を測定した。また、試験終了後、含水比、表面変位、表面状況を写真撮影した。

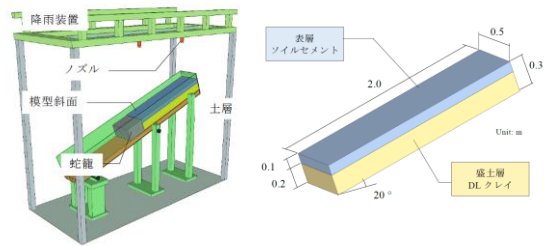


図 3 実験装置と模型の概要

降雨強度は 50 mm/h と 100 mm/h とした。ソイルセメントのセメント混合率は乾燥重量比で $C_c = 0, 3, 5\%$ とした。実験中、排水量、間隙水圧を測定した。また、試験終了後、含水比、表面変位、表面状況を写真撮影した。

4. 研究成果

(1) 降雨斜面崩壊模型実験の結果とシミュレーション：法先に蛇籠がある場合とない場合の間隙水圧の経時変化の典型的な実験結果とその解析結果の比較を図 4 に示す。シミュレーションはここで提案する複合型崩壊システムを用いて行った。蛇籠のない場合には、40 分経過後に正の間隙水圧(薄い水色の部分)が法先に現れ、時間の経過とともに斜面上部に拡大している。シミュレーション結果も数値上の若干の相違はあるが、おおむね実験と同様の結果を得ている。蛇籠がある場合には、法先で正の間隙水圧が現れるのはかなり遅く 100 分を過ぎてからである。その他実験結果との比較で本解析法は降雨による斜面崩壊の同定に有効な方法であることがわかった。

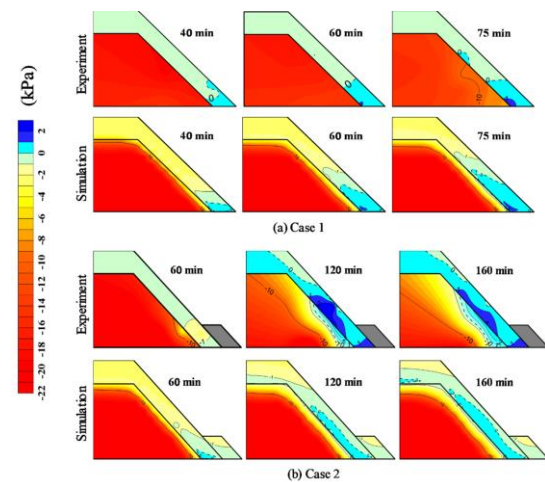


図 4 間隙水圧の経時変化

図 5 は解析から求められた破壊域を示す。図中の赤い箇所が最大せん断ひずみ 50%以上の箇所破壊域と考えられる。(a)は無対策で、降雨開始後 80 分で表層の砂層はほとんどが破壊している。法先に蛇籠を設置した(b)では、100 分を超えると破壊域が拡大したが、その領域は蛇籠より上の部分に限定された。このような傾向は実際の蛇籠施工斜面でも見受けられた。パイプ付き蛇籠を設置した(c)~(e)のケースでは 120 分を過ぎるとその拡大が生じる。太いパイプを深く挿入した(e)では、その拡大が最も遅かった。

このように、法先へのパイプ付き蛇籠の設置は、斜面の安定化に一定の効果をもたらした。その際重要なのは、表土の侵食を防止することで、特に蛇籠背面での防止は重要である。この実験では、蛇籠の充填碎石に表層土とのフィルター則を満足するものを用いた。そのためこの蛇籠を

フィルター蛇籠(Filter Gabion)と命名した。

(2) 遠心载荷振動実験結果と複合型崩壊システムによる解析結果：ここでは、珪砂6号模型の振動実験結果(Case 1~3)について述べる。どのケースも低い飽和度にも関わらず、加振中は比較的大きな間隙水圧の変動を示した。その振幅は入力地震動が大きくなると大きくなる傾向にあるが、計測場所による違いの方が大きかった。間隙空気圧も加振中変動したが、その変動幅は間隙水圧と比較してはるかに小さかった。図6に900 gal加振時の画像解析より得られた変位ベクトル等を示す。含水比5%のCase 1および含水比8%のCase 2では、両斜面にすべりが生じた。変位はすべりに沿うように生じ、体積は膨張を示し、また大きなせん断ひずみが生じていることがわかる。含水比14%のCase 3でも、表層で変位が卓越し、すべりが生じるような傾向が見られたが、遠心力加振中に、土中水が模型から流出し、4cmほどの滞水が両斜面法先に発生した。この滞水が斜面の変形を抑制するように作用した。そのため、膨張とせん断ひずみの発生は天端付近に限られた。

複合型崩壊システムによる解析結果の一部(Case 3)を図7に示す。図7は300 gal加振時の代表点で計測された応答加速度(黒線)と計算されたそれらを(赤線)で示す。両者は比較的良好な一致を示した。しかし、間隙水圧の一致は良くなかった。これには、加振(非排水)時の水分特性曲線についてさらに検討する必要がある。

(3) ソイルセメントによる斜面侵食防止工の効果：実験結果の一部を図8に示す。図8は試験後の斜面の侵食状況を示す。降雨強度は100 mm/hでCase 4($C_c = 0\%$)が降雨開始から210分、Case 5($C_c = 3\%$)が240分後の侵食状況である。Case 5では、侵食はほとんど生じず、わずかに剥離のような現象が見られた。試験終了後の鉛直変位の計測結果からもCase 4では大きな鉛直変位が生じていて、その大きさは最大で300 mmに達した。Case 5および6($C_c = 5\%$)では最大でも1 mm程度であった。このように、わずかなセメント添加で侵食に対して大きな防止効果があった。

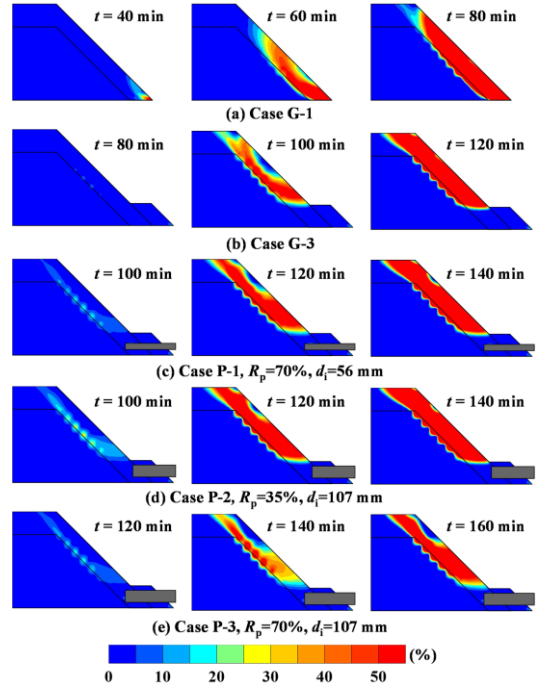


図5 計算された破壊域(図中の赤い領域)

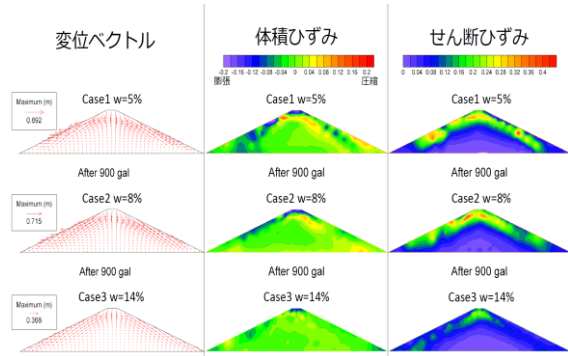


図6 珪砂6号模型の画像解析結果

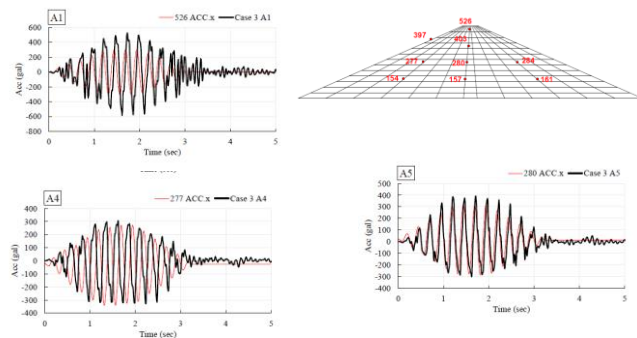


図7 振動実験のシミュレーション結果(加速度応答, Case3, 黒実線: 実験, 赤実線: 解析)

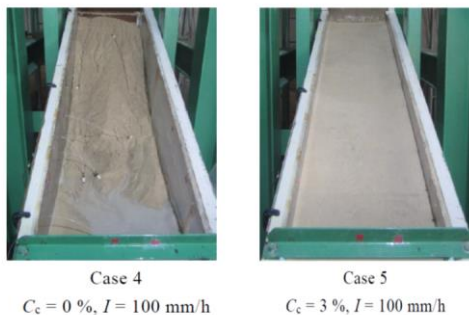


図8 試験後の斜面の状況(降雨強度100 mm/h)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計9件（うち査読付論文 9件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 Pheng, S., Hori, T., Kohgo, Y.	4. 巻 17
2. 論文標題 Erosion of irrigation facilities in Cambodia paddy farming region and the measures for protection	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Paddy and Environment	6. 最初と最後の頁 689-702
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s10333-019-00695-5	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 Tun Tun Win, Sato, T., Saito, H., Kohgo, Y.	4. 巻 -
2. 論文標題 Plastic potential function and stress-dilatancy relationships of an unsaturated soil under various cyclic loading conditions	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Acta 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） 10.1007/s11440-019-00908-5	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 Pheng, S., Hibi, K., Hori, T., Kohgo, Y.	4. 巻 7
2. 論文標題 Erosion Resistance Tests of soil cement application for surface erosion protection	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Japanese Geotechnical Society Special Publication	6. 最初と最後の頁 488-492
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3208/jgssp.v07.077	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 Cho, M. T. T., Chuasamat, A., Saito, H., Kohgo, Y.	4. 巻 7
2. 論文標題 Performance of filter gabion with pipe as a simple countermeasure against slop failure due to torrential rainfall	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Japanese Geotechnical Society Special Publication	6. 最初と最後の頁 223-233
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3208/jgssp.v07.035	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 Tun Tun Win, Sato, T., Kohgo, Y.	4. 巻 7
2. 論文標題 Drained shear behavior of an unsaturated soil during triaxial compression loadings	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Japanese Geotechnical Society Special Publication	6. 最初と最後の頁 516-524
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3208/jgssp.v07.081	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 Chueasamat, A., Hori, T., Saito, H., Sato, T., Kohgo, Y.	4. 巻 58(2)
2. 論文標題 Experimental tests of slope failure due to rainfalls using 1g physical slope models	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Soils and Foundations	6. 最初と最後の頁 290-305
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.sandf.2018.02.003	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 Thiam, M., Thuyet, D. Q., Saito, H., Kohgo, Y.	4. 巻 337
2. 論文標題 Performance of the tangential model of soil water retention curves for various soil texture classes	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Geoderma	6. 最初と最後の頁 514-523
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.geoderma.2018.10.008	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 Cho, M. T. T., Chueasamat, A., Hori, T., Saito, H., Kohgo, Y.	4. 巻 61
2. 論文標題 Effectiveness of filter gabion against slope failure due to heavy rainfall	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Soils and Foundations	6. 最初と最後の頁 480-495
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5917/jagh.62.383	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 向後雄二	4. 巻 62
2. 論文標題 飽和・不飽和圧密解析法を用いた降雨による斜面崩壊実験のシミュレーション	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 地下水学会誌	6. 最初と最後の頁 381-396
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5917/jagh.62.383	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19件(うち招待講演 0件/うち国際学会 1件)

1. 発表者名 榎谷麻衣, 佐藤友孝, 田頭秀和, 林田洋一, 向後雄二
2. 発表標題 材料の異なるフィルダム模型の変形特性の定量的評価
3. 学会等名 地盤工学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 榎谷麻衣, 佐藤友孝, 田頭秀和, 林田洋一, 斎藤広隆, 向後雄二
2. 発表標題 遠心載荷振動実験によるフィルダム模型の動的挙動に対する含水比の影響
3. 学会等名 農業農村工学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 林田洋一, 向後雄二, 増川晋, 田頭秀和
2. 発表標題 加振時の堤体天端沈下挙動に及ぼす入力および応答加速度の影響
3. 学会等名 土木学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 榎谷麻衣, 佐藤友孝, 田頭秀和, 林田洋一, 向後雄二
2. 発表標題 材料の異なるフィルダム模型の変形特性の定量的評価
3. 学会等名 地盤工学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 榎谷麻衣, 佐藤友孝, 田頭秀和, 林田洋一, 斎藤広隆, 向後雄二
2. 発表標題 遠心載荷振動実験によるフィルダム模型の動的挙動に対する含水比の影響
3. 学会等名 農業農村工学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 林田洋一, 向後雄二, 増川晋, 田頭秀和
2. 発表標題 加振時の堤体天端沈下挙動に及ぼす入力および応答加速度の影響
3. 学会等名 土木学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Kohgo, Y., Tun Tun Win, Sato, T., Eguchi, K., Tagashira, H.
2. 発表標題 Effect of water content and dry density to seismic behavior of homogeneous dam models in centrifuge shaking model tests
3. 学会等名 国際地盤工学会 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 日比絹子, Pheng, S., 堀俊和, 向後雄二
2. 発表標題 ソイルセメントを用いた斜面表層の侵食防止対策に関する侵食抵抗試験
3. 学会等名 地盤工学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 May Than Thar Cho, Chueasamat, A., Ouchi, K, Hori, T., Kohgo, Y.
2. 発表標題 Experimental study on drainage pipe against slope failures due to rainfall
3. 学会等名 地盤工学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 榎谷麻衣, 佐藤友孝, Tun Tun Win, 江口慧, 田頭秀和, 林田洋一, 向後雄二
2. 発表標題 遠心載荷振動実験によるフィルダム砂模型の変形・破壊挙動に対する含水比の影響
3. 学会等名 地盤工学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 日比 絹子, PHENG Sokline, 堀 俊和, 向後 雄二
2. 発表標題 降雨による土壌侵食と浸透へのソイルセメントの効果
3. 学会等名 農業農村工学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 May Than Thar Cho, Chueasamat, A., Ouchi, K, Hori, T., Kohgo, Y.
2. 発表標題 Effects of drainage pipes against slope failures due to rainfall by using 1g physical model tests
3. 学会等名 農業農村工学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tun Tun Win, Sato, T., Kohgo, Y.
2. 発表標題 Stress-dilatancy relationships of an unsaturated soil under various cyclic loading conditions
3. 学会等名 農業農村工学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 江口慧, 佐藤友孝, ツンツンウィン, 榎谷麻衣, 田頭秀和, 林田洋一, 向後雄二
2. 発表標題 遠心載荷振動実験によるフィルダム砂模型の動的挙動への入力地震波周波数の影響
3. 学会等名 農業農村工学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kohgo, Y.
2. 発表標題 Seismic behavior of homogeneous dam models in centrifuge shaking model tests
3. 学会等名 不飽和土研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 日比絹子, Pheng, S., 堀俊和, 向後雄二
2. 発表標題 ソイルセメントを用いた斜面表面の侵食防止に関する降雨侵食抵抗試験
3. 学会等名 地盤工学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 May Than Thar Cho, Chueasamat, A., Saito, H., Kohgo, Y.
2. 発表標題 Analyses of effects of drainage pipe against slope failures due to rainfalls
3. 学会等名 地盤工学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 江口慧, Tun Tun Win, 石松悠輝, 田頭秀和, 向後雄二
2. 発表標題 遠心載荷振動実験を用いたフィルダム砂模型の変形・破壊挙動に対する含水比・間隙水圧の影響
3. 学会等名 地盤工学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 ツンツンウィン, 佐藤友孝, 向後雄二
2. 発表標題 不飽和土の繰り返し載荷時のストレス-ダイレタンシー関係について
3. 学会等名 農業農村工学会
4. 発表年 2018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	堀 俊和 (Hori Toshikazu) (20414451)	国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構・農村工学研究部門・ユニット長 (82111)	
研究分担者	林田 洋一 (Hayashida Yoichi) (50414454)	国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構・農村工学研究部門・主任研究員 (82111)	
研究分担者	斎藤 広隆 (Saito Hirotaka) (70447514)	東京農工大学・(連合)農学研究科(研究院)・教授 (12605)	

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