

令和 6 年 6 月 24 日現在

機関番号：55503

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2021～2023

課題番号：21K04263

研究課題名(和文)パイピング現象を考慮した微視的アプローチに基づく新たな斜面崩壊予知手法

研究課題名(英文)A New Method for Slope Failure Prediction Based on Microscopic Approach Considering Piping Phenomena

研究代表者

荒木 功平 (Araki, Kohei)

徳山工業高等専門学校・土木建築工学科・准教授

研究者番号：00600339

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：地域発信型土砂災害予知システムの開発に向け、パイピング現象に焦点を当て、力学的アプローチと確率的手法に基づく解析手法の構築を試みた。前提として、間隙比が小さい密な砂の方が土塊自重が増加するため斜面安全率は小さくなる。しかし、模型実験では、すべり面上部が緩詰め土の方が滑り崩壊を起こしやすい。これを評価するため、パイピングに伴う間隙比変化を評価するために、不飽和土の粘着力と関連付けた。その結果、間隙比・飽和度が大きくなると、斜面崩壊確率が増加することを示した。降水に伴い地下浸透流が増加することで、細粒分の流出、平均間隙径の増大、浸透流量の増加というサイクル的發展でパイピングすることを明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、経験的な方式を用いて、パイピング現象を考慮した斜面崩壊予知手法を検討しているが、間隙比や土中水分だけでなく、均等係数や平均粒径といった土質パラメータを関連付け、種々の現象を説明・解析するための新たな土の力学モデルを作成し、経験則に頼らない手法を開発していく必要がある。これによりはじめて、経験したことのない災害等を予知できるようになり、気候変動等への対応を可能にしていくことができる。並行して、地理情報システムを用いた地理的評価を行い、経時的な斜面崩壊危険度の把握を行っていくことで有用性が示されていくと期待できる。

研究成果の概要(英文)：To develop a community-based sediment hazard prediction system, we focused on the phenomenon of piping and attempted to construct an analytical method based on a mechanical approach and a probabilistic method. The assumption is that the slope safety factor is smaller for dense sand with a small pore ratio because of the increase in the self-weight of the soil mass. However, in model experiments, loose packed soil above the slip surface is more likely to cause slip and collapse. To evaluate this, the pore ratio change associated with piping was related to the cohesion of unsaturated soil. The results indicate that the slope failure probability increases with increasing pore ratio and saturation. The increase in subsurface infiltration flow with precipitation revealed that piping occurs through a cyclic development of fine-grained runoff, an increase in mean pore size, and an increase in infiltration flow rate.

研究分野：地盤工学

キーワード：パイピング 土砂災害 斜面崩壊 不飽和土 粘着力 間隙比 飽和度 崩壊確率

### 1. 研究開始当初の背景

地球温暖化等の気候変動に伴う大雨の頻度増加が指摘されてきている。昨今、降水に伴う表層すべり型の斜面崩壊が多発している。特に降水量が多いと崩壊土砂が土石流となって、大規模な土砂災害が引き起こされる。平成30年は土砂災害の発生件数が3,459件となり、集計開始(昭和57年)以降1位を記録した。年平均(1,081件)の約3倍である。一方、全国における土砂災害警戒区域等の指定は672,923箇所(2020年6月30日時点)に上る。土砂災害の予知は極めて難しいが、微視的、巨視的、多面的な視点からアプローチしていく必要がある。斜面崩壊後、滑落崖地表近傍ではパイピング(土中水の動水勾配に起因する浸透力が土粒子を動かし、地盤内にパイプ状の水みちが出来ること)の痕跡が観察される。パイピングと斜面崩壊とを関連付け、崩壊メカニズムを明らかにしていくことが急務となっている。

### 2. 研究の目的

本研究では、パイピング現象に焦点を当て、力学的アプローチと確率的手法に基づく表層すべり型斜面崩壊予知システムの確立を目指す。降水に伴いパイピングが発達していく過程を解析する手法を開発し、パイピングが引き起こす斜面崩壊現象を評価する。降水～地盤挙動(斜面内挙動)の実現象を観測し、開発モデルの妥当性を検討することを目的とする。

### 3. 研究の方法

斜面崩壊が発生する時間、地点予知のために、観測機器と解析手法を組み合わせた「地域発信型土砂災害予知システム」の開発に向けた研究に取り組んでいる。松尾(1984)の研究を基に、土中水分に伴う粘着力の変化を考慮した斜面崩壊危険指標(安全率、斜面崩壊確率)の開発を行っている。並行して、土砂災害警戒区域に指定されている徳山工業高等専門学校(以下、徳山高専と称する)の北側斜面で現地観測を実施している。現地観測により、斜面崩壊等の実現象の把握、降水量と土中水分関係を入手・分析し、実測値を基に解析結果との比較・検討を行うことで、解析手法の妥当性を評価している。また、広域的な解析、地理的評価を目指し、徳山高専周辺の経時的な斜面崩壊危険指標の分布図をGISにより描画している。

#### 3.1 地域発信型土砂災害予知システムの流れ

近年多発する土砂災害の被害を軽減させるためには、地域から発信される地域の特色に着目した地域独自の土砂災害を予知する手法の開発が必要不可欠である。図-1に地域発信型土砂災害予知システムの開発の流れを示す。

##### (1) 予知フェーズ

天気予報の一つである降水予測から地中水分の変動予知を行い、それをを用いて危険な斜面を割り出すシステムの開発(斜面崩壊の予知)を目指している。坪郷・荒木らは、降雨流入係数を導入した地中への降雨浸透流のモデル化を行い、土中水分の変動を数値解析により予測した。本研究では、土中水分と土質特性を入力情報として、粘着力の変化を考慮することで斜面崩壊予知に向けて研究を行う。

##### (2) 検証フェーズ

予知フェーズに対応して、それぞれの検証フェーズを設けることで解析の妥当性を評価していく。土砂災害警戒区域等に指定されている徳山高専の北側斜面で現地観測を実施する。

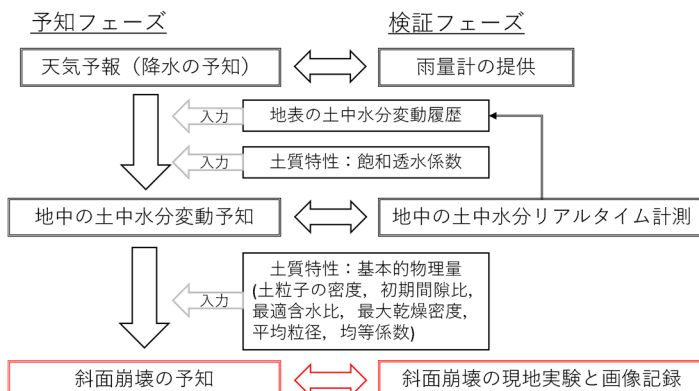


図-1 地域発信型土砂災害予知システムの開発の流れ

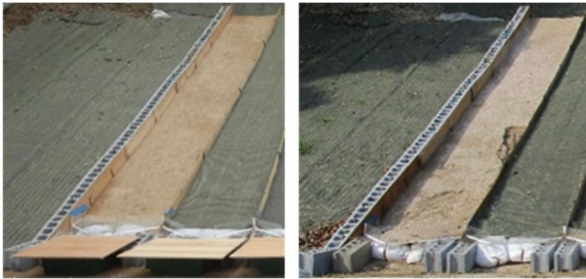
#### 4. 研究成果

本研究では、地域発信型土砂災害予知システムの開発に向け、パイピング現象に焦点を当て、力学的アプローチと確率的手法に基づく表層すべり型斜面崩壊予知システムの確立を試みた。

第一に、松尾の方式を用いた解析手法について検討した。松尾の方式を用いず安全率を計算した場合、間隙比が小さい密な砂の方が安全率は小さくなる。一方、模型実験より、基盤が密詰め、上部が緩詰めの状態の方が、境界面での崩壊を起こしやすいことが分かった。松尾の方式による粘着力を考慮した斜面安定解析では、間隙比・飽和度が大きくなると、安全率が減少、斜面崩壊確率が増加することが分かった。すなわち、粘着力を考慮することにより、緩い砂でも安全率が小さくなることを解析できることが分かった。

第二に、パイピング現象は、降水に伴い地下浸透流が増加することを考えた場合、浸透流量の増加による細粒分の流出、細粒分の流出に伴う平均間隙径の増大、平均間隙径の増加に伴う浸透流量の増加、浸透流量の増加に伴う細粒分の流出といったサイクル的・時間的发展に伴い発達していくことを実験的、解析的に明らかにした。

第三に、パイピング発達における、間隙比変化を解析手法に考慮し、平均間隙径が増加した後、減少しないようプログラミングすることで、安全率の低下が続くことが分かった。一方、本研究では、斜面崩壊確率は危険性の高い場合でのみ顕著に変動することが分かった。斜面崩壊の発生は、一度増加した間隙比がもとに戻らず、幾度の降雨により危険度が上昇し続けることに起因すると考えた。



(a) 斜面崩壊前(2020.7.4) (b) 斜面崩壊後(2020.8.5)

写真-1 斜面崩壊前後の撮像結果

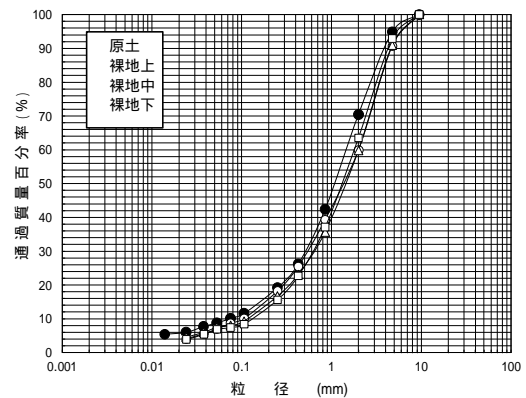


図-2 粒径加積曲線

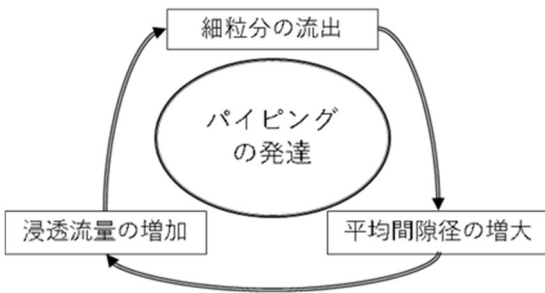


図-3 パイピングの発達

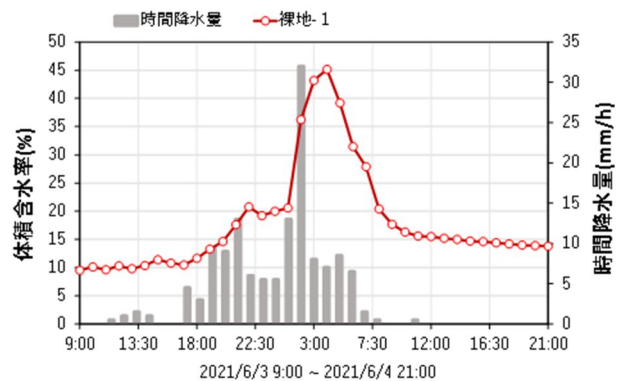


図-4 降水量・体積含水率関係の経時変化

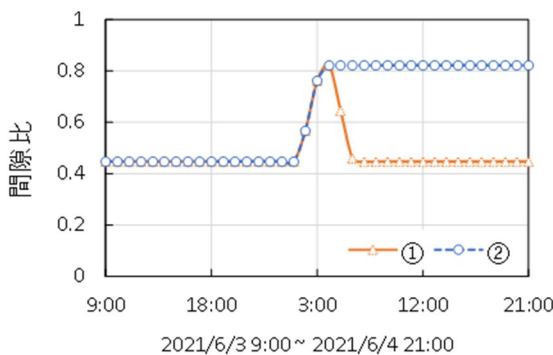


図-5 間隙比の経時変化

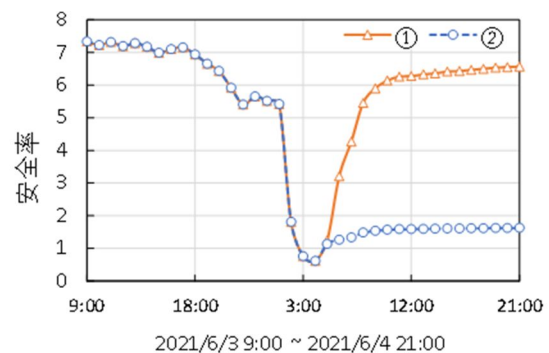


図-6 安全率の経時変化

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計8件（うち査読付論文 8件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 岩田夏樹, 荒木功平	4. 巻 15
2. 論文標題 人工衛星の観測による土壌水分データを用いた広域的斜面危険度評価	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 第15回環境地盤工学シンポジウム論文集	6. 最初と最後の頁 509-512
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 坪郷浩一, 荒木功平, 福田靖, 桑嶋啓治, 片山光亮, 上俊二	4. 巻 15
2. 論文標題 降雨における斜面浸透特性に関する研究	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 第15回環境地盤工学シンポジウム論文集	6. 最初と最後の頁 513-517
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 荒木功平, 浅田穂乃果	4. 巻 15
2. 論文標題 斜面崩壊の確率的評価とパイピングが与える影響に関する一考察	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 第15回環境地盤工学シンポジウム論文集	6. 最初と最後の頁 526-529
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 Tsubogo Koichi, Araki Kohei, Fukuda Yasushi, Kuajima Keiji, Katayama Kosuke, Ue Shunji	4. 巻 -
2. 論文標題 Observations and Analysis of Vertical One-Dimensional Rainfall Seepage Flow Phenomenon	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Climate Change Adaptation from Geotechnical Perspectives	6. 最初と最後の頁 401 ~ 413
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-981-99-9215-7_36	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 Honoka Asada, Kohei Araki	4. 巻 -
2. 論文標題 Development and Geographical Evaluation of Slope Failure Risk Index Due to Changes of Soil Moisture	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Geo-Sustainnovation for Resilient Society	6. 最初と最後の頁 269-279
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-981-99-9219-5	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 坪郷浩一, 荒木功平, 福田靖, 桑嶋啓治, 片山光亮, 上俊二	4. 巻 1
2. 論文標題 斜面における降雨浸透特性に関する研究	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 斜面崩壊と雨の降り方の関係に関するシンポジウム北九州2022論文集	6. 最初と最後の頁 47-56
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 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 坪郷浩一, 荒木功平, 福田靖, 桑嶋啓治, 片山光亮, 上俊二	4. 巻 11
2. 論文標題 鉛直一次元浸透流現象の観測および解析	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 第 11回土砂災害に関するシンポジウム論文集	6. 最初と最後の頁 125-130
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 浅田穂乃果, 荒木功平	4. 巻 11
2. 論文標題 土中水分連動型斜面崩壊危険指標の開発と地理的評価に関する一考察	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 第 11回土砂災害に関するシンポジウム論文集	6. 最初と最後の頁 65-70
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 -

〔学会発表〕 計6件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 浅田 穂乃果, 荒木 功平
2. 発表標題 斜面崩壊危険指標の開発と地理的評価
3. 学会等名 土木学会第77回年次学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 浅田 穂乃果, 荒木 功平
2. 発表標題 土中水分連動型斜面崩壊危険指標の検討と地理的評価
3. 学会等名 地盤工学会第57回地盤工学研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 浅田 穂乃果, 荒木 功平
2. 発表標題 土中水分連動型斜面崩壊危険指標の開発とマッピング
3. 学会等名 令和4年度土木学会中国支部研究発表会概要集
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 岩田夏樹, 荒木功平
2. 発表標題 SAR衛星土壌水分データを用いた広域的斜面危険度評価に関する研究
3. 学会等名 土木学会第78回年次学術講演会 III-341 2023年9月
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 岩田夏樹, 荒木功平
2. 発表標題 SAR衛星土壌水分データを用いることによる斜#12207;の広域的危険度評価の試み
3. 学会等名 第58回地盤工学研究発表会 13-7-1-06-13-7-1-06 2023年7月
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 岩田夏樹, 荒木功平
2. 発表標題 SAR衛星土壌水分データを用いた広域的な斜面危険度のマッピング
3. 学会等名 第75回2023(令和5)年度土木学会中国支部研究発表会 221-224 2023年6月
4. 発表年 2023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
研究協力者	坪郷 浩一  (Tsubogo Koichi)		
研究協力者	淺田 穂乃果  (Asada Honoka)		
研究協力者	岩田 夏樹  (Iwata Natsuki)		

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