

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 4 月 24 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(B) (海外学術調査)

研究期間：2014～2016

課題番号：26303009

研究課題名(和文) 東南アジア地域における降雨流出・浸透特性を反映した斜面災害リスク低減に関する研究

研究課題名(英文) A Study on Landslide Risk Mitigation Considering Characteristic on Runoff and Infiltration in Southeast Asian Countries

研究代表者

大津 宏康 (Ohtsu, Hiroyasu)

京都大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：40293881

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,300,000円

研究成果の概要(和文)：風化花崗岩残積土盛土での室内試験結果、原位置計測結果、および高密度電気探査結果により、浅層部では細粒分の溶出により高空隙領域が形成されていることが確認された。この要因は、盛土斜面は乱された土質材料を用いて構築されるため、土質材料の粒子間結合力が自然斜面および切土斜面に比較して弱いことに起因するものと推察される。この細粒分の溶出は粘着力の低下を生じさせるため、浅層部での地すべりに対する抵抗力の低下を引き起こす。したがって、当該斜面のような比較的透水性の高い材料を用いた盛土斜面の安定性を評価するためには、細粒分の溶出による斜面安定性の経年劣化を考慮することが必要となることを明らかにした。

研究成果の概要(英文)：The results of laboratory tests and filed monitoring at a fill slope comprising weathered granite residual soil showed high porosity area is generated. It is considered that the most plausible reason for it may be attributed to leaching of fine particle fraction due to lateral flow. It reveals the fact that since fill slopes are constructed by using disturbed soil material, bonding strength of subsoil in fill slope is much weaker than that in natural slope and cut slope. And the leaching of fine particle fraction causes reduction in cohesion of subsoil and consequently increases landslide risk. Therefore, it is pointed out that the investigation for fill slopes comprising relatively high permeable soil requires considering degrading procedure in shear strength caused by leaching of fine particle fraction with time.

研究分野：工学

キーワード：地盤工学 自然災害

1. 研究開始当初の背景

近年、インドシナ地域では、気候変動の一現象とみなされる豪雨の発生頻度の増加に伴い盛土斜面での土砂災害が多発している。盛土斜面の崩壊は、近隣する住宅域に甚大な物的/人的被害を引き起こすことに加え、盛土・切盛り構造であることが多い道路斜面の崩壊は、人的移動・物流ネットワークの崩壊につながるため、甚大な社会経済的損失をもたらす（写真-1 参照）。



写真-1 道路斜面崩壊事例（タイ国道 4233 号）

一般的に、豪雨に起因する斜面崩壊の形態は浸食破壊あるいは浅層すべりであるため、降雨時の斜面表層部での表面流出・浸透特性を解明することは、学術的に極めて重要な検討課題である。

このような背景から、起案者らは、タイの研究協力者の協力を得て、実際の盛土斜面において豪雨時の水収支に関する原位置計測を実施するとともに、雨水流出・浸透特性を反映した災害リスク低減（対策工・早期警戒体制）の立案に資する基礎研究を提案した。

2. 研究の目的

本研究の目的は、インドシナ地域において急増しつつある豪雨による土砂災害の内、その大部分を占める盛土斜面崩壊を対象とし、災害リスク低減の観点から対策工、および土砂災害早期警戒体制（住民避難・道路通行止め）を立案するための調査研究を行うことである。起案者らは、タイにおける風化花崗岩切土斜面の原位置計測結果から、豪雨時には表層部に貯留される水分量（以下、表面貯留量と称す）が、浸食破壊・浅層すべりの誘因となること、および盛土材料は固結力が小さいため、表面貯留量が斜面安定に及ぼす影響が、切土・自然斜面に比較して大きくなる可能性があることを指摘した。これらの知見を踏まえ、本研究では、タイにおける盛土斜面で実施する原位置計測結果を、データ通信システムを用いて日本・現地研究機関に送信しデータを共有し、豪雨に伴う流出・浸透特性を反映した災害リスク低減策の立案に資する共同研究を実施した。

3. 研究の方法

本研究においては、カセサート大学試験農場（タイ・チェンマイ）内の風化花崗岩残積

土を用いた盛土斜面（以下、C盛土斜面と称す）において、降雨時の流出・浸透特性の把握を目的とした原位置計測を実施した。具体的には、雨量、体積含水率、サクシオンおよび表面流出量を計測するとともに、高密度電気探査（電極間隔：0.2m）により浅層部の地盤構造を調査した。

この計測結果に対して、起案者らの先行研究であるタイ・プーケットの風化花崗岩残積土からなる切土斜面（以下、P切土斜面と称す）での原位置計測結果と比較することで、斜面形式による地すべりの発生機構の相違について検討を加えた。

4. 研究成果

本研究により得られた知見は、以下のよう

に要約される。まず、斜面浅層部（GL-0.6m-GL-1.0m）の鉛直動水勾配の計測結果から、起案者らの先行研究であるP切土斜面では、鉛直動水勾配が0.9程度に収束し鉛直浸透が卓越するのに対して、C盛土斜面では収束値が0.7程度であり鉛直流れとともに側方流れが生じていることが確認された（図-1 参照）。

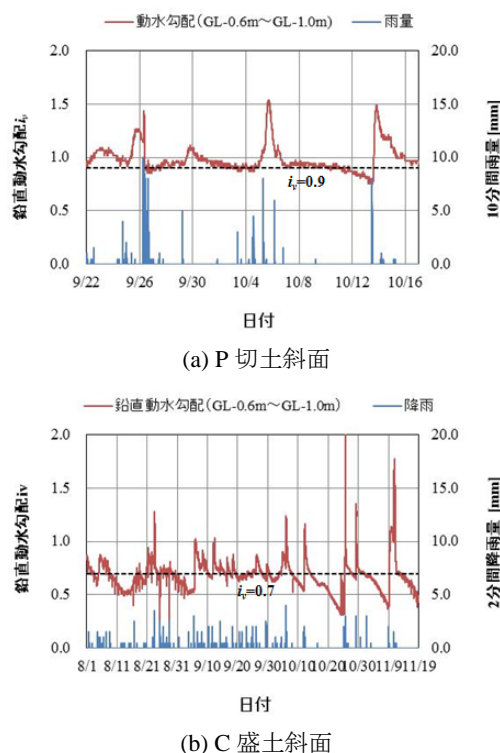
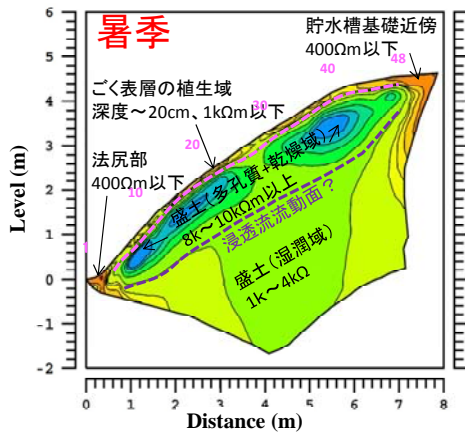
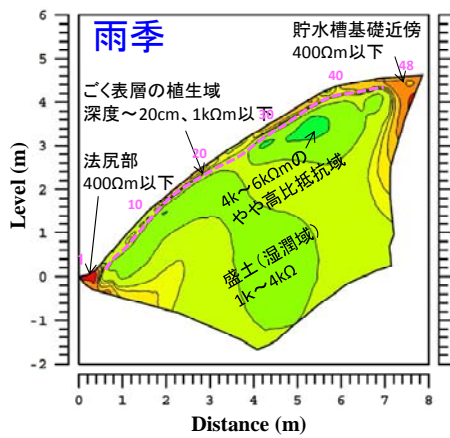


図-1 鉛直動水勾配の経時変化

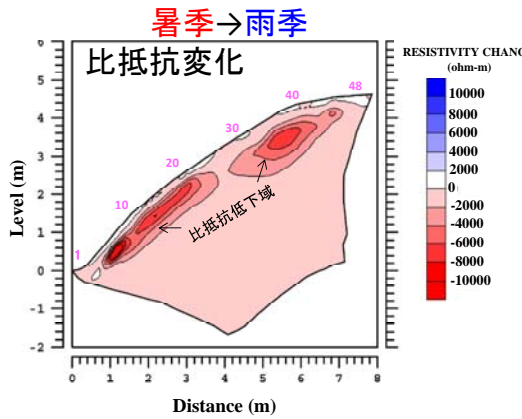
また、この側方流れにより細粒分の溶出が生じて高空隙領域が形成されていることが、高密度電気探査結果（電極間隔：0.2m）から確認された。具体的には、乾季の探査結果では、浅層部に高比抵抗領域が検出されるのに対して、雨期の探査結果ではその傾向が認められないことから、同領域が湿潤されている



(a) 夏季



(b) 雨季



(c) 夏季と雨季の差分

図-2 高密度電気探査結果

ものと解釈された (図-2 参照)。なお、前述の高比抵抗領域は、電極間隔を 1.0m とした場合には検出されない。したがって、浅層領域の詳細な地盤構造を把握するためには、電極間隔を短く設定することが有効であると推察される。

さらに、C 盛土斜面において細粒分の溶出

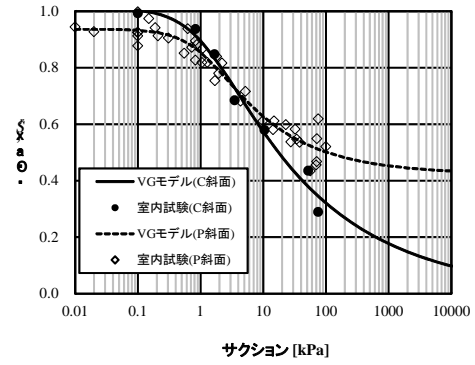
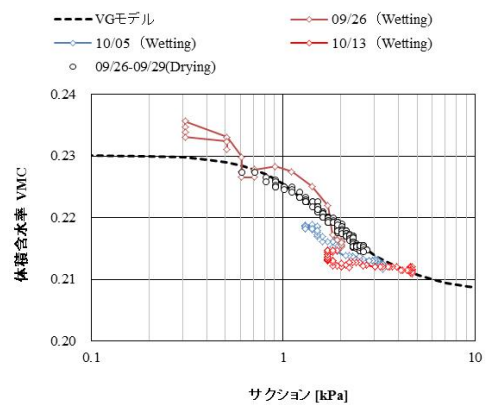
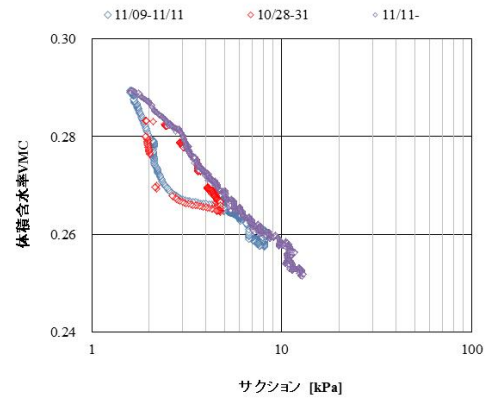


図-3 土壌水分特性曲線 SWRC (室内試験結果) の比較



(a) P 切土斜面



(b) C 盛土斜面

図-4 土壌水分特性曲線 SWRC (原位置計測結果) の比較

により高空隙領域が発生している状況については、C 盛土斜面および P 切土斜面から採取した不かく乱試料を用いて算定した排水過程での土壌水分特性曲線 SWRC (Soil Water Retention Curve) および両斜面での計測結果に基づく原位置 SWRC の比較からも確認された (図-3 および図-4 参照)。すなわち、C 盛土斜面試料の方が P 切土斜面試料に比較し

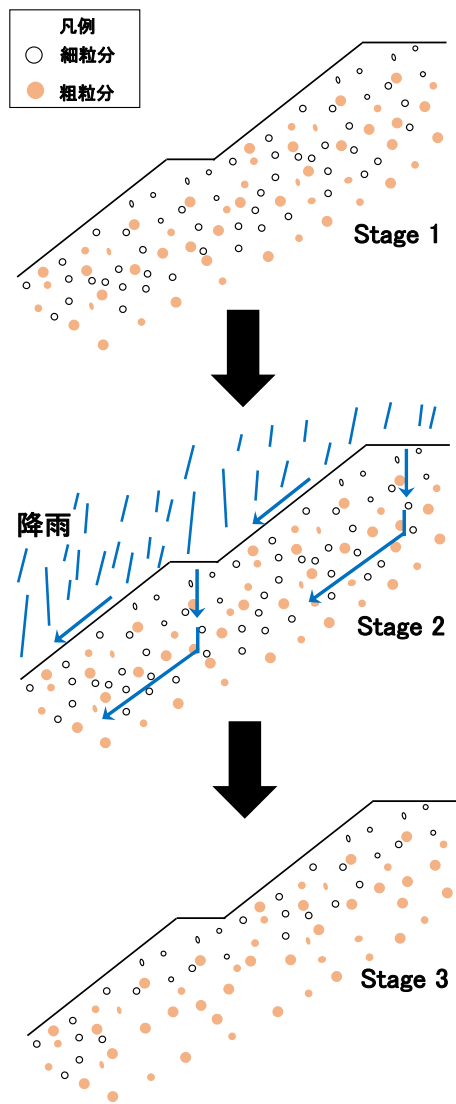


図-5 降雨に伴う高空隙領域の発生機構(模式図)

て、排水過程の SWRC において空気侵入値 AEV (Air Entry Value) を上回るサクションに対する遷移領域 (Transition zone) が大きいことに加えて、原位置 SWRC の比較で、C 盛土斜面の方がヒステレシスが小さい。この結果は、既往の研究に示されている、細粒分が少ないほど材料ほど遷移領域が大きくなるという知見と整合する。

上記の C 盛土斜面における細粒分の溶出状況から、以下の事項が考察される。まず、高空隙領域の発生は、盛土は人工的に乱した材料を用いて構築されるため、自然斜面および切土斜面と比較して、土質材料の粒子間結合力が弱いことに起因するものと推察される。したがって、降雨に伴う高空隙領域の発生機構は、模式的に図-5 に示すように推定される。

ここで、細粒分の溶出は粘着力の低下を生じさせるため、浅層部での地すべりに対する抵抗力の低下を引き起こす。したがって、盛土斜面の斜面災害リスクを検討するためには、自然斜面および切土斜面とは異なる破壊

メカニズムを考慮することが必要となるとともに、細粒分の溶出による斜面安定性の経年劣化についても考慮することが必要となる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 8 件)

1) H. Ohtsu, H. Masuda, T. Kitaoka, K. Takahashi, M. Yabe, S. Soralump and Y. Maeda (2015): A Simulation of Surface Runoff and Infiltration due to Torrential Rainfall Based on Field Monitoring Results at a Slope Comprising Weathered Granite, Geotechnical Engineering Journal of the SEAGS & AGSSEA, Vol. 46, No.1, 12-21.

2) D. Manee, Y. Tachikawa and K. Yorozu (2015): Analysis of hydrologic variable changes related to large scale reservoir operation in Thailand, Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. B1 (Hydraulic Engineering), Vol. 71, No. 4, , I_61-I_66.

3) S. Wichakul, Y. Tachikawa, M. Shiiba and K. Yorozu (2015): River discharge assessment under a changing climate in the Chao Phraya River, Thailand by using MRI-AGCM3.2S, Hydrological Research Letters 9(4), 84-89.

4) A. Kobayashi, B. Liu, Y. Tsukada and M. Chijimatsu (2015): MODELING OF EVAPORATION PROCESSES UNDER THE GROUND, International Journal of GEOMATE, Vol. 11, Issue 25, 2403-2409.

5) 大津宏康, 北岡貴文, 野並賢 (2016) : 花崗岩の風化特性に着目した降雨に対する切土のり面の安定性に関する検討, 地盤工学ジャーナル, Vol.11, No.1, 103-114, DOI:10.3208/jgs.11.103.

6) D. Manee, Y. Tachikawa, Y. Ichikawa and K. Yorozu (2016): Evaluation of bias correction methods for future river discharge projection, Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. G (Environmental Research), 72(5), pp. I_7-I_12, 2016.

7) P. Hanittinan, Y. Tachikawa, Y. Ichikawa and K. Yorozu (2016): Evaluation of future river discharge uncertainties in the Indochina Peninsula simulated by multi-physics ensemble experiments using two-way ANOVA, Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. B1 (Hydraulic Engineering), Vol. 72, No. 4, , I_13-I_18, 2016.

8) 小林晃 (2017) : ダムの地震時挙動の傾向分析から見た耐震性評価の考え方, 水土の知, 85(3), 229-232.

[学会発表] (計 7件)

1) N. Isobe, H. Ohtsu and T. Kitaoka (2015): A Study on the Characteristic of Infiltration Near Slope Surface during Torrential Rainfall, Proceedings of EIT-JSCE Joint International Symposium on International Human Resource Development for Disaster-Resilient Countries 2015.

2) Y. Tachikawa: Impact assessment of climate change on water-related disasters for building up an adaptation strategy, THA2015, International Conference on Climate Change and Water & Environment Management in Monsoon Asia, 28-30 January 2015, Bangkok, Thailand, Invited paper D03.

3) 磯部直哉, 大津宏康, 北岡 貴文 (2016) : 原位置試験結果に基づく降雨に伴う浸透能の低下に関する研究, 第44回岩盤力学に関するシンポジウム講演集, 34-39.

4) S. Ito, T. Kitaoka, T. Aizawa and H. Ohtsu (2016): A Study on an Electrode Layout of Electrical Prospecting at a Fill Slope in Chiang Mai, THAILAND, Proceedings of EIT-JSCE Joint International Symposium on 2016.

5) Y. Tsukada, H. Ohtsu and K. Takahashi (2016): A Study on Rainfall Runoff-Infiltration Characteristic at the Fill Slope Based on Field Monitoring in Nakhon Nayok, Thailand, Proceedings of EIT-JSCE Joint International Symposium on 2016.

6) Y. Tachikawa: Prediction of extreme floods and risk curve development under a changing climate, THA2017 International Conference on Water Management and Climate Change Towards Asia's Water-Energy-Food Nexus, 25-27 January 2017, Bangkok, Thailand, Invited paper D02.

7) 伊東俊一郎, 北岡貴文, 相澤隆生, 大津宏康 (2017) : タイ・チェンマイにおける盛土斜面を対象とした電気探査の電極配置に関する検討, 第14回岩の力学国内シンポジウム講演集.

6. 研究組織

(1)研究代表者

大津 宏康 (OHTSU, Hiroyasu)
京都大学・大学院工学研究科・教授
研究者番号 : 40293881

(2)研究分担者

立川 康人 (TACHIKAWA, Yasuto)
京都大学・大学院工学研究科・教授
研究者番号 : 40227088

小林 晃 (kobayashi, Akira)
関西大学・工学科・教授
研究者番号 : 80261460

(3)研究協力者

Noppadol Phienwej
アジア工科大学院・タイ

Suttisak Soralump
カセサート大学・タイ

矢部 満 (Yabe, Mitsuru)
応用地質株式会社

高橋健二 (Takahashi, Kenji)
水文技術コンサルタント