

令和 3 年 6 月 18 日現在

機関番号：18001

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2020

課題番号：18K14546

研究課題名(和文) 降雨浸透水による応力条件と堆積構造に着目した斜面崩壊発生機構の解明に関する研究

研究課題名(英文) Mechanism of Examination of slope failure mechanism due to rainfall seepage based on stress condition and sediment structure

研究代表者

木村 匠 (Kimura, Sho)

琉球大学・農学部・准教授

研究者番号：10794498

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,800,000円

研究成果の概要(和文)：2017年7月の九州北部豪雨災害では、3時間で約300-400mmの降雨により、変成岩、花崗閃緑岩等からなる地質の谷壁で多くの崩壊が発生した。本研究では本災害地を事例として、現地調査と室内実験に基づき、崩壊の発生機構を検討した。変成岩と花崗岩の分布地域の斜面から採取した試料は、砂を多く含有し、花崗岩強風化土では礫含有率も高かった。いずれの試料についても高い完全軟化強度と残留強度を示した。花崗岩強風化土における透水性は高く、降雨浸透が大きいことが推察された。一方で、せん断に伴う透水性の低下が見られるような条件があり、すべり面での過剰間隙水圧発生の可能性が考えられた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究によって、農村地域における調査研究対象地の斜面崩壊発生機構の一部が捉えられ、豪雨による斜面内での過剰間隙水圧発生の条件を推察することができた。本成果は、対象の地質・土質を有する場合に斜面崩壊の発生予測と災害発生予測を考慮したハザードマップ開発に貢献できると考えられる。

研究成果の概要(英文)：Many cases of slope failures were caused by heavy rainfall (approximately 300-400mm/3h) in the Northern Kyushu area, July 2017. This study investigated the mechanisms of slope failures around the area of metamorphic and granitic rocks based on field investigation and laboratory experiment. The high sand fractions were obtained in the strongly weathered soils in both origins. High coble content was shown in granitic soil. The higher fully softened and residual shear strengths in the tested soils in both origins were obtained by the ring shear test. Although the high permeability in the granitic soil was investigated in laboratory experiment, the permeability reduction was induced by shear. This is that the excess pore water pressure was caused by development of low permeability zone in the slip surface.

研究分野：地域環境工学

キーワード：すべり面の強度 降雨浸透 リングせん断 斜面崩壊発生機構

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

近年の気候変動により、激しい降雨を要因として広域での斜面崩壊が多発し、山間～中山間地域の農村に大きな被害が及んでいる。2017年の九州北部豪雨災害では、多様な地質で多くの斜面崩壊が発生した。斜面崩壊が発生する際の浸透水のふるまいとすべり面の強度との関係は複雑で、発生機構について未解明な点が多い。

### 2. 研究の目的

降雨による斜面崩壊の発生機構を解明するため、地質・土質特性の異なる背景で斜面崩壊が多発した2017年九州北部豪雨の災害地を事例とした。現地調査と室内実験を行い、斜面崩壊の特徴、斜面の降雨浸透特性、強度特性を明らかにし、崩壊の予測手法や迅速な減災対策手法に寄与することを目指した。

### 3. 研究の方法

災害地での現地調査と室内実験用の試料採取について、斜面崩壊の発生が多かった変成岩と花崗岩の分布地域で実施した。試料の採取は滑落崖または崩壊の移動体内から行った。

室内実験では、滑落崖でサンプリング角度を変えて採取した100ccサンプルについて、自然含水比を測定し、定水位または変水位透水試験を行った。滑落崖から30cmサンプラで試料採取を行い、X線CTにより内部構造を確認した。試料の物性特性について、土粒子の密度(JIS法)と粒度分布(JIS法およびレーザー回折法)の分析を行った。強度特性について、リングせん断実験によって、100kN/m<sup>2</sup>の下で正規圧密を行った後、0.01mm/minでせん断を行い、完全軟化強度と残留強度を測定した。せん断による透水性の変化を明らかにするため、透水リングせん断実験を実施し、せん断変位増加と透水性低下の関係を分析した。

### 4. 研究成果

斜面崩壊と室内実験用試料採取について

2017年7月の九州北部豪雨災害では、3時間で約300から400mmの激しい降雨により、変成岩、花崗閃緑岩等からなる地質の谷壁で多くの崩壊が発生した。現地では、緊急対策工事が進み、調査毎にアクセス可能な斜面が増えたため試料採取斜面の抽出・選定を重視して調査を行い、変成岩が分布する奈良ヶ谷川、花崗岩が分布する乙石川の斜面を主要な調査対象地と設定した(写真-1)。奈良ヶ谷川の斜面では、滑落崖において片理構造が風化土層内にも認められた(写真-2)。また、変成岩地帯の不攪乱ブロックについて、X線CT分析によって片理構造が捉えられた。なお、崩壊により移動・堆積した土塊内では構造の連続性は見られなかった。片理構造を考慮して、自然含水比・実用積・乾燥密度・透水試験用の試料が得られた。同様に、リングせん断試験用の攪乱と不攪乱ブロックサンプリングを行った。滑落崖で観察されたすべり面層について、粒度分析用試料を採取することができた。乙石川の斜面では、滑落崖および堆積土層内に明瞭な構造が見られなかったため、地表面を基準に各種試験用試料を採取した。



写真-1 調査地の斜面崩壊例(左:奈良ヶ谷川,右:乙石川)



写真-2 風化土層における片理構造

### 採取試料の物理的特性

両地質地帯から 100cc サンプラで採取し、定水位または変水位透水試験で得た透水係数は、透水性が「中位」から「低い」に位置付けられた。奈良ヶ谷川斜面では、地表面付近で自然含水比 50-60% となり、透水性が高く、地表面から 2m 以内で自然含水比が 20-30% に低下し、2 桁の透水性低下が認められた。片理構造に対するサンプル角度を考慮して採取した場合の透水係数を比較したが、大きな差異は認められなかった。これは、採取時の乱れや粒度特性の影響があったものと推定され、今後のより詳細な調査研究が必要と考えられる。乙石川斜面では、地表面付近の自然含水比が 10-20% で、地表面から 3m 以内で自然含水比が 5-10% と低くなり、透水性は 1 桁程度高くなった。

図-1 に粒度試験 (JIS 法) 結果を示す。奈良ヶ谷川斜面の滑落崖 (変成岩) と乙石川斜面の滑落崖 (花崗岩) からの採取土について、砂分多く、砂含有量 (20-2000 $\mu\text{m}$ ) がそれぞれ約 25% と約 60% であった。また、乙石川斜面の試料は、礫 (>2000 $\mu\text{m}$ ) が約 30% であった。奈良ヶ谷川斜面で採取したすべり面層と滑落崖の試料について、粒度分析 (レーザ回折法) を行った結果、すべり面層試料の中央粒径が数十  $\mu\text{m}$  小さい値となった (図-2)。また、孔隙径分布測定 (水銀圧入法) を行った結果、両試料の孔隙径分布には違いがあった。

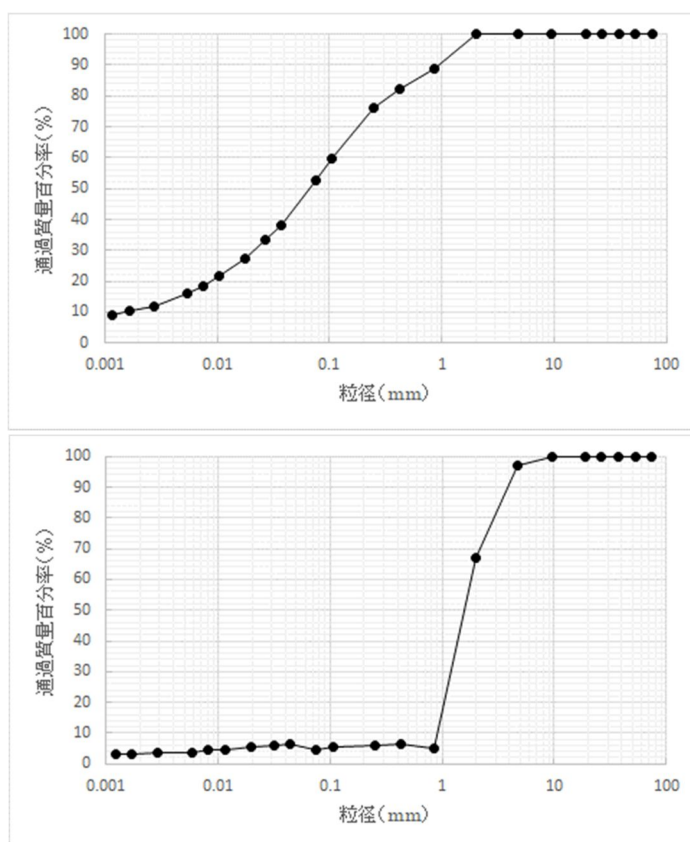


図-1 採取試料の粒径加積曲線 (上: 奈良ヶ谷川, 下: 乙石川)

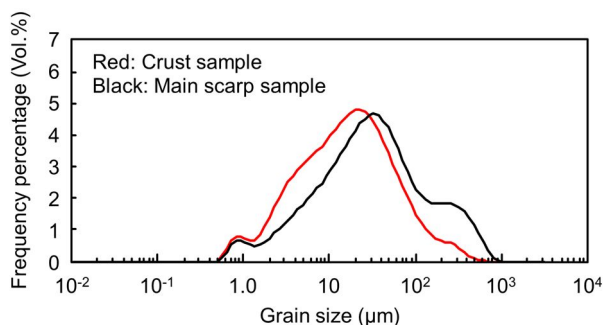


図-2 すべり面層 (赤) と滑落崖 (黒) から採取した試料の粒度分析結果

### 強度特性

図-3 にリングせん断挙動を示す。奈良ヶ谷川斜面の滑落崖から採取した原粒度試料と 425 $\mu\text{m}$  ふるい通過試料を準備した。有効垂直応力 100kN/m<sup>2</sup> の下で正規圧密の後、リングせん断実験を行い得られたせん断挙動では、<425 $\mu\text{m}$  試料でより明瞭なピークを示し、定常状態に至るまでにより大きなせん断変位を要したものの、定常状態に至った際にはほとんど同程度の摩擦係数を示した。これは、風化によって細粒化が進んでいた場合においても、断層等のせん断面で発揮される強度は粒子サイズによらない可能性を示している。原粒度試料では完全軟化強度約 40°、<425 $\mu\text{m}$  試料では完全軟化強度約 45°を得た。急な斜面勾配と整合し、斜面崩壊発生メカニズムの解明の鍵となる実験結果が得られた。不攪乱ブロックサンプリングした試料のリングせん断実験については、今後の課題となった。

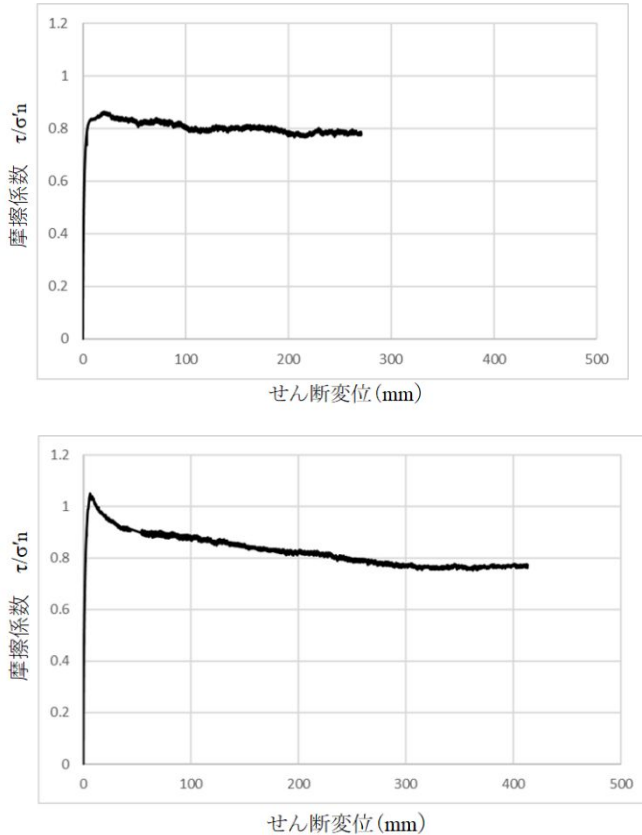


図-3 原粒度試料（上）と 425 $\mu\text{m}$  ふるい通過試料（下）のリングせん断挙動

### 透水特性

乙石川斜面の滑落崖から採取した原粒度試料について、せん断による透水性変化に関するリングせん断実験を行った。有効垂直応力 100kN/m<sup>2</sup> 下で正規圧密した後、せん断を進めると、数百 mm せん断後から透水係数が低下して、数千 mm せん断後には約 1/100 となることが明らかになった（図-4）。

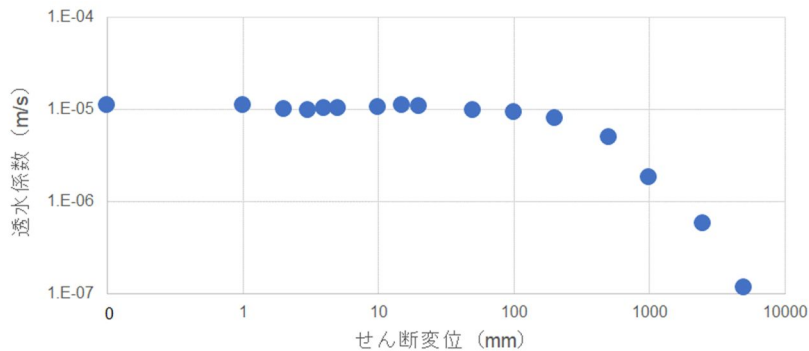


図-4 透水性とせん断変位の関係 0.2mm/min の図

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 2件）

1. 著者名 Kimura S., Noda S., Ito T., Katagiri J., Kaneko H., Minagawa H.	4. 巻 789(228521)
2. 論文標題 Experimental study of impact of shearing velocity and effective normal stress on post-shearing permeability evolution of silica fault gouges	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Tectonophysics	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） 10.1016/j.tecto.2020.228521	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 Katagiri, J., Kimura, S., Noda, S.	4. 巻 15(8)
2. 論文標題 Significance of shape factor on permeability anisotropy of sand: representative elementary volume study for pore-scale analysis	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Acta Geotechnica	6. 最初と最後の頁 2195-2203
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s11440-020-00912-0	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 Kimura Sho, Ito Takuma, Noda Shohei, Kaneko Hiroaki, Suzuki Kiyofumi, Yasuda Hisato, Minagawa Hideki	4. 巻 124
2. 論文標題 Water Permeability Evolution With Faulting for Unconsolidated Turbidite Sand in a Gas Hydrate Reservoir in the Eastern Nankai Trough Area of Japan	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Geophysical Research: Solid Earth	6. 最初と最後の頁 13415 ~ 13426
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1029/2019JB018102	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 齋藤 さやか, 中村 真也, 木村 匠, 関谷 直也	4. 巻 35
2. 論文標題 沖縄県における台風に関する災害文化 鹿児島県・東京都との比較から	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 地域安全学会論文集	6. 最初と最後の頁 295-304
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 Kumari M.K.N., Sakai Kazuhito, Kimura Sho, Yuge Kozue, Gunarathna M.H.J.P.	4. 巻 9
2. 論文標題 Classification of Groundwater Suitability for Irrigation in the Ulagalla Tank Cascade Landscape by GIS and the Analytic Hierarchy Process	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Agronomy	6. 最初と最後の頁 351 ~ 351
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/agronomy9070351	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 Kimura S., Ito T., Minagawa, H.	4. 巻 20(3)
2. 論文標題 Grain-size analysis of fine and coarse non-plastic grains: comparison of different analysis methods	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Granular Matter	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/s10035-018-0820-3	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 M.K.N. Kumari, K. Sakai, S. Kimura, S. Nakamura, K. Yuge, M.H.J.P. Gunarathna, M. Ranagalage, D.M.S. Duminda	4. 巻 16(5)
2. 論文標題 Interpolation methods for groundwater quality assessment in tank cascade landscape (A study of Ulagalla cascade, Sri Lanka)	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Applied Ecology and Environmental Research	6. 最初と最後の頁 5359-5380
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.15666/aeer/1605_53595380	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 Kimura S., Kaneko H., Noda S., Ito T., Minagawa H.	4. 巻 238
2. 論文標題 Shear-induced permeability reduction and shear-zone development of sand under high vertical stress	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Engineering Geology	6. 最初と最後の頁 86-98
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.enggeo.2018.02.018	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7件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 Kimura, S. and Nakamura, S.
2. 発表標題 Grain size and pore size distributions of the slip surface soil at North Kyushu landslide disaster site in July, 2017
3. 学会等名 GSA Abstract with Programs, 51(5), Phoenix, Arizona, USA (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Minagawa, H., Kimura, S., Noda, S., Tenma, N.
2. 発表標題 Experiment of NMR and model analysis for the relation between pore-size distribution and permeability of methane-hydrate bearing sediment
3. 学会等名 American Geophysical Union 2019 Fall Meeting, San Francisco, USA (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 野田 翔兵, 木村 匠, 塚本 良道, 菊池 喜昭
2. 発表標題 豊浦砂の高圧条件下非排水繰返しせん断による微小な粒子破碎の評価に向けて
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 笹倉大督, 早内愛子, 木村 匠
2. 発表標題 粘土鉱物微粒子の全自動粒子画像解析とナノトラッキング解析を用いた精密粒子評価に関する可能性検討
3. 学会等名 (公社) 日本地球惑星科学連合2019大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 早内愛子, 笹倉大督, 安田 尚登, 中村真也, 木村 匠, 野田 翔兵
2. 発表標題 海底ブロック模擬サンプル作製の基礎的評価
3. 学会等名 ( 公社 ) 日本地球惑星科学連合2019大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 早内愛子, 安田 尚登, 木村 匠, 野田 翔兵
2. 発表標題 海底ブロック模擬サンプル作製に向けた統計的粒子画像解析法をはじめとする粒子の基礎的評価
3. 学会等名 公社) 日本地球惑星科学連合2018大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 中村真也, 木村匠, 宮本英揮, 牧野弘樹, 平嶋雄太
2. 発表標題 褐色火山灰土斜面の雨量と土壤水分の関係
3. 学会等名 ( 公社 ) 日本地すべり学会九州支部 平成30年度学術講演会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

木村匠 (2019), 農村地域の環境保全のための斜面崩壊機構の解明, 琉球大学環境報告書2019, 35.  
 木村匠 (2019), 農村環境保全・防災学分野の研究活動および成果報告, 琉球大学農学部学術報告, 66, 85.



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 真也  (Nakamura Shinya)  (30336359)	琉球大学・農学部・教授    (18001)	
研究協力者	伊藤 拓馬  (Ito Takuma)  (10769996)	沖縄国際大学・経済学部・准教授    (38001)	
研究協力者	皆川 秀紀  (Minagawa Hideki)  (70202348)	国立研究開発法人産業技術総合研究所・エネルギー・環境領域    (82626)	

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