

泥岩礫質土の乾湿繰り返し風化による斜面崩壊に着目した事例分析と一面せん断試験

スレーキング 泥岩 一面せん断試験

東京大学生産技術研究所 学生会員 ○新井逸郎
 同上 国際会員 清田隆
 株式会社複合技術研究所 正会員 三平伸吾

1. はじめに

泥岩等の地盤材料は、乾湿繰り返し風化作用により強度が低下することが知られている。本研究では、降雨に起因する国内外 112 箇所の斜面崩壊事例を収集した。各事例について、斜面崩壊発生日から過去 3 年間の降水情報を整理し、発災箇所の地質との関連性を調べた。また、せん断応力一定条件で乾湿繰り返しを受ける泥岩礫質土の変形特性を一面せん断試験により検討した。

2. 斜面崩壊事例分析

降雨に起因する斜面崩壊事例を外因条件（降水量）と素因条件（地質）の両面から分析し、乾湿繰り返し風化作用によるとみられる斜面崩壊事例を検討した。斜面崩壊事例は文献調査によって収集した。ただし、次の条件を全て満たすものを対象とした。

- 1)現場調査が行われている
- 2)発生日、発生場所、地質が判明している
- 3)斜面崩壊の引き金が降雨である

収集した国内外 112 箇所（国内 65 例、海外 47 例）の各斜面崩壊事例について、TRMM（熱帯降雨観測衛星）から得た、斜面災害発生日から過去 3 年間の降水情報を整理し、分析した。図 1 に抽出した各斜面崩壊箇所の地質を示す。乾湿繰り返し風化しやすい泥岩、片岩、頁岩、凝灰岩地盤で発生した斜面崩壊事例は 49 例であった。

図 2 に斜面崩壊時の日降水量（mm/day）と崩壊前の 3 年間に於いて崩壊時以上の降水量を記録した回数との関係を示す。この図より、過去 3 年間で既に大きな降雨を多数経験した斜面崩壊事例が存在し、その大部分が乾湿繰り返し風化しやすい地盤で発生していたことが分かった。よって、乾湿繰り返し風化しやすい地盤での斜面崩壊は降水量との相関関係が希薄であると考えられた。この傾向は、降雨量や土壌雨量指数のみでは捉えることが困難な斜面崩壊が存在することを示唆している。

図 3 に斜面崩壊時の日降水量（mm/day）と無降水日率（過去 3 年間で降雨がなかった（1mm/day 未満）日の割合）（%）の関係を示す。無降水日率が高い領域にある事例ほど地盤が乾燥状態となりやすいと考えられ、極端な乾湿繰り返し風化が作用していた可能性も大きくなる。図 3 は、無降水日率が高く、降水量が少ないにもかかわらず発生した斜面崩壊事例が多数存在することを示している。例えば、斜面崩壊時の降水量 50mm/day 以下かつ無降水日率 60%以上の領域に分布するケースは 43 例あるが、そのうち約 8 割に相当する 31 例が乾湿繰り返し風化しやすい地盤での斜面崩壊事例であった。このことから、乾湿繰り返し風化しやすい地盤での斜面崩壊は、降水量そのものではなく乾燥度合いとの関連性が考えられる。

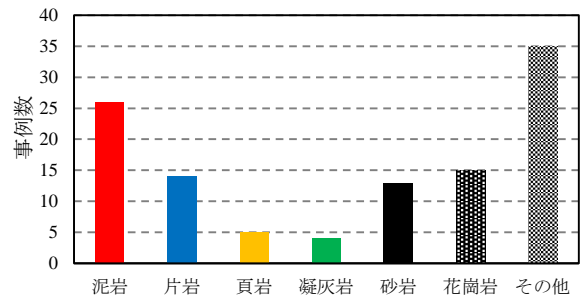


図 1 各地質における斜面崩壊事例数

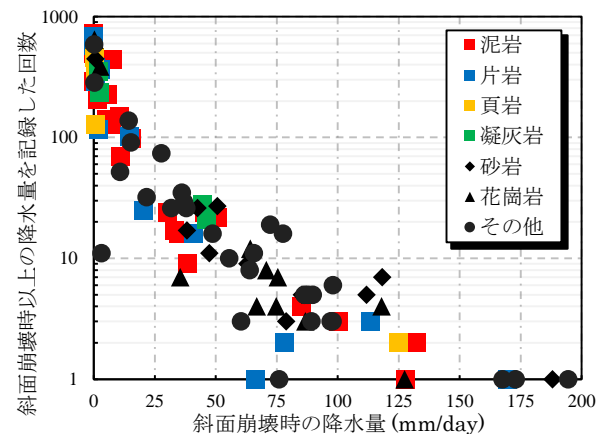


図 2 斜面崩壊時の降水量と降水履歴の関係

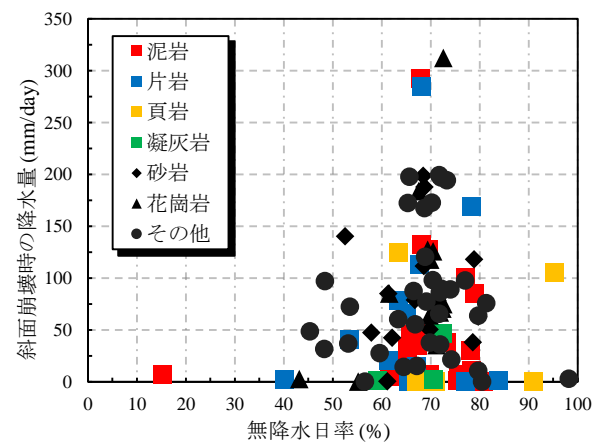


図 3 無降水日率と斜面崩壊時の降水量の関係

3. 乾湿繰り返し一面せん断試験

事例分析の結果をふまえ、泥岩礫質土で構成された斜面地盤での現象を検討するため、一定応力条件下で供試体の乾湿繰り返しをできるように改良された一面せん断試験機(図4)で実験を行った。また、せん断箱内には土壌水分計を設置し、実験中の供試体の飽和度を計測した。供試体として図5のような粒度特性の泥岩礫質土(2.0~4.75mm)を使用した。この泥岩礫質土のスレーキング指数(JGS 2125)は1であり、比較的にスレーキングし難い材料である。供試体の乾燥密度は、粒子破碎しないように締め固め、 $1.57\text{g}/\text{cm}^3$ とした。

試験では、乾燥した試料に対し鉛直応力 σ_v およびせん断応力 τ を一定の応力比 $R=0.7$ (傾斜 35° に対応)を保ったまま $\sigma_v=50\text{kPa}$ 、 $\tau=35\text{kPa}$ まで上昇させた。クリープ状態のまま湿潤過程で供試体を浸水飽和させた後、乾燥過程を経て、クリープせん断変位を測定した。乾燥過程ではせん断箱側面のヒーターで供試体を 35°C 程度まで温め、底面からの空気ポンプによる送風および周囲にシリカゲルを設置してビニールシートを被せることで乾燥を促した。

図6にクリープ時間とせん断変位の関係を示す。まず、初期飽和①により約2mmのクリープせん断変位が生じた。変位が安定した後、飽和状態のまま約140時間経過しても有意な変位は確認されなかった。続いて、排水および飽和を2度(②&③)繰り返したが、クリープせん断変位は生じなかった。排水時には供試体の飽和度が40%程度まで低下した。その後、乾燥過程において飽和度が0%に近くなるまで供試体を乾燥させた。乾燥終了後の飽和④では約0.5mmのクリープせん断変位が生じた。試験結果から、飽和直前の飽和度が低いほどクリープせん断変位が増加することが判った。なお、飽和④の前の乾燥過程において顕著なせん断変位が生じている。飽和④で生じたせん断変位はこの乾燥収縮に伴うせん断変位の影響を受けていると考えられるが、そのメカニズムは現時点では不明確である。

図7に一面せん断試験における飽和直前の飽和度とクリープせん断変位の増分の関係を示す。飽和直前の飽和度が0%に近くなると、飽和時のクリープせん断変位は顕著に増加している。飽和した泥岩試料の一軸強度に及ぼす乾燥履歴の影響は既往研究³⁾でも報告されているが、本研究により一定応力条件下におけるせん断変位にも同様の傾向が確認されたと言える。

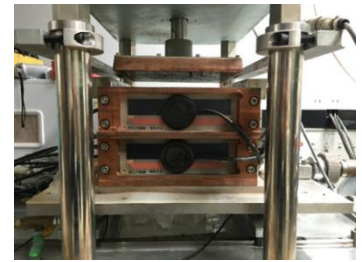


図4 改良型一面せん断試験

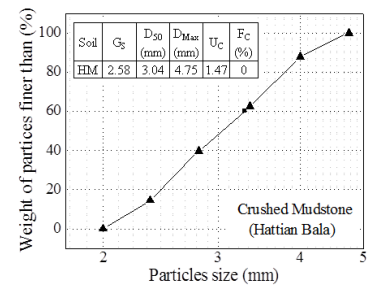


図5 泥岩礫質土の特性

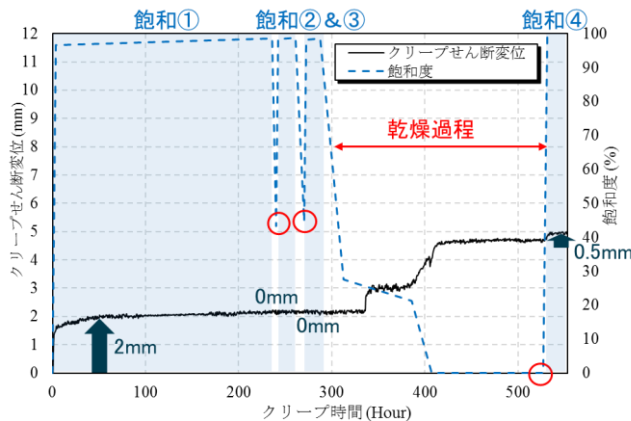


図6 クリープせん断変位

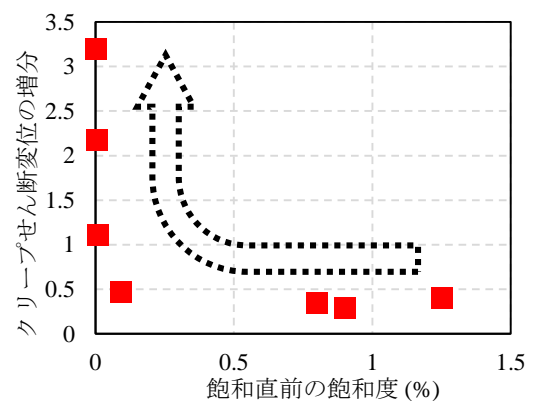


図7 飽和直前の飽和度とせん断変位の関係 (Sharma⁴⁾のデータを含む)

4. まとめ

本研究では泥岩礫質土の乾湿繰り返し風化に起因する斜面崩壊について、そのメカニズムの解釈を斜面崩壊事例分析と乾湿繰り返し一面せん断試験によって検討した。斜面崩壊事例分析より、乾湿繰り返しの程度が大きい可能性がある無降水日率が高い地域の泥岩系地盤では、過去の降雨履歴よりも少ない雨で斜面崩壊が発生したケースが多いことが判った。また、一面せん断試験より、飽和時のクリープせん断変位は飽和直前の飽和度の影響を強く受けることが判った。

参考文献: 1) 例えば Jibson, R.W.: The 2005 La Conchita, California, landslide, *Landslides*, Vol.3, pp.73-78, 2006.; 2) 岡田憲治: 降雨から見た土砂災害, 土と基礎, 55-6(593), pp.5-8, 2007.; 3) Maekawa, H., Miyakita, K.: Effect of repetition of drying and wetting on mechanical characteristics of a diatomaceous mudstone, *S&F*, Vol.31, No.2, pp.117-133, 1991.; 4) Sharma, K.: Slaking characteristics of geomaterials in direct shear test, 東京大学大学院修士論文, 2012