

現地計測に基づく降雨時のまさ土斜面のせん断変形挙動と評価

中電技術コンサルタント(株) ○岩田直樹, 荒木義則, 清田亮二
 高知大学教育研究部 笹原克夫
 (株)荒谷建設コンサルタント 片山弘憲
 復建調査設計(株) 西村俊明
 (株)エイト日本技術開発 丹下英雄
 (株)建設技術研究所 山部哲
 国土交通省中国地方整備局太田川河川事務所 松下一樹

1. はじめに

降雨時の斜面変形挙動において、不飽和状態でせん断変形を生じることが大型模型実験により確認されているが、自然斜面で計測結果に基づき検討された事例はほとんどない。そこで本研究では、自然斜面の不飽和状態のせん断変形メカニズムを解明するために、広島県廿日市市のまさ土斜面で計測されたデータをもとに、複数の降雨イベントについてせん断変形とサクシジョンの関係を整理した。

2. 現地計測

広島県廿日市市にある広島花崗岩起源のまさ土が表層約 1.0m に分布している 2 箇所の自然斜面 (MIY-1, 2) で観測しているデータを用いた。各計測機器の設置深度は図-1 に示すとおりであり、雨量、テンシオメータによるサクシジョン、TDR による体積含水率、伸縮計による地表面変位、傾斜計による地盤内の角度変化が計測されている。

3. 計測データの整理

2008 年 4 月から 2010 年 11 月の計測データのうち、降雨イベント中の総雨量が 50mm 以上あり、地表面変位とせん断ひずみの発生に伴ってサクシジョンが変動している 19 降雨イベントを抽出した。

図-2 は MIY-2 の 2009 年 7 月 20 日～21 日の降雨、地表面変位、せん断ひずみ、サクシジョンの経時変化を示す。期間中には 2 つの降雨イベントがあり、7 月 20 日 2 時～14 時の降雨イベント 1 の総雨量は 158mm, 21 日 4 時～17 時の降雨イベント 2 の総雨量は 67mm である。降雨イベント 1 では、サクシジョンの低下に伴って地表面変位、せん断ひずみともにマイナス側に大きく挙動している。地表面変位のマイナス側の挙動は伸縮計を設置した 10.6m 区間の縮みを示し、せん断ひずみのマイナス側の挙動は背後への倒れ込みを示している。このことから降雨イベント 1 における挙動は、無限長斜面における上部が孕みだすような変形でなく、円弧すべりの前面側のような背後に倒れ込む変形が生じたものと推測される。一方、降雨イベント 2 ではサクシジョン低下が生じるものの地表面変位は生じず、表層に僅かなせん断ひずみが生じる程度である。また図示はしていないが、7 月 24 日 14 時～25 日 10 時にも総雨量 98mm の降雨イベントがあるが、僅かな変形しか生じていない。

降雨イベント 1 は降雨強度が大きくサクシジョンが急激に低下している点や、降雨前の初期サクシジョンが大きい点などが他の降雨イベントと異なることから、降雨強度、降雨イベント中のサクシジョン低下量 $\Delta \phi$ 、および降雨前の初期サクシジョン ϕ_0 に着目し、降雨に伴う地表面変位量 δ およびせん断ひずみ γ の関係を整理した。せん断ひずみ γ については、例えば図-2 に示す降雨イベント 1 の 15cm では、地表面変位が生じたときに発生した 0.0005 から -0.0005 への変動量 -0.0010 を抽出するが、斜面のすべり形態によって符号が異なることが考えられるため、ここでは変動量

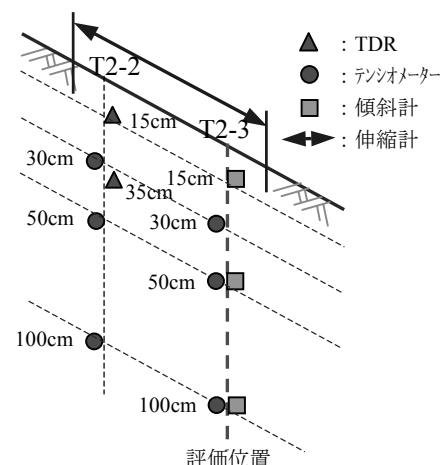


図-1 計測機器配置概要図 (MIY-2)

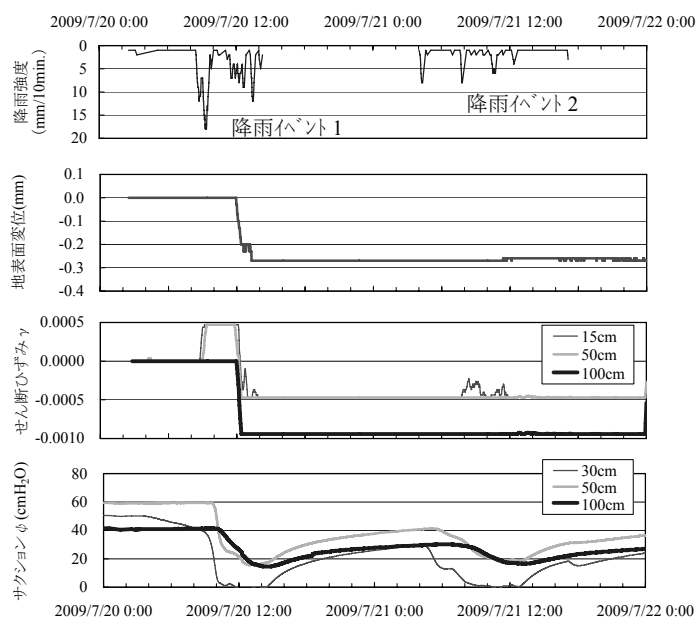


図-2 降雨、地表面変位、せん断ひずみ、サクシジョンの経時変化 (MIY-2, 2009 年 7 月 20 日～21 日)

の絶対値をせん断ひずみ γ として採用した。同様に、地表面変位 δ についても絶対値を採用する。なお、せん断ひずみ γ については、傾斜計の計測精度 0.01° をもとに 0.0002 以上をひずみが生じたものと判断し、地表面変位 δ については、伸縮計の計測精度より 0.1mm 以上の地表面変位が生じた場合を变形と判断した。

4. 降雨強度およびサクシオンとせん断変形の関係

図-3は最大10分降雨強度と地表面変位の関係を全降雨イベントについてプロットし、 0.1mm 以上の地表面変位を濃く示している。降雨強度と地表面変位の間には明瞭な関係は見られない。

図-4は同一深度(30, 50, 100cm)のせん断ひずみ γ とサクシオン低下量 $\Delta\phi$ を全降雨イベントについてプロットし、 0.0002 以上のせん断ひずみが生じたものを濃く示している。ただし、30cmせん断ひずみは計測データがないことから、15cmと50cmのせん断ひずみをもとに按分により算定した。サクシオンが大きく低下してもせん断ひずみが生じない降雨イベントはあるものの、せん断ひずみが生じている降雨イベントについてみると、サクシオン低下量の増加に伴ってせん断ひずみが増加する右上がりの傾向が見られる。

図-5は初期サクシオン ϕ_0 とせん断ひずみ γ の関係を示す。サクシオン低下量との関係と同様に、初期サクシオンの増大に伴ってせん断ひずみが増加する傾向が見られる。また、初期サクシオンが $30\text{cmH}_2\text{O}$ 程度以下ではせん断ひずみは生じていない。この結果から、図-2に示す降雨イベント2でせん断変形が生じなかった原因としては、初期サクシオンが小さかったためとも考えられる。

図-6は地表面変位 δ とサクシオン低下量 $\Delta\phi$ の関係を示す。ここで、伸縮計の杭は地中約50cm程度まで埋設されていることから30, 50cmのサクシオン低下量との関係を整理し、 0.1mm 以上の地表面変位を濃く示している。地表面変位についてもサクシオン低下量の増加に伴って増加する傾向が見られる。

これらサクシオンとせん断ひずみおよび地表面変位の関係は、サクシオンに起因するボンド応力の低下に伴って強度低下が生じ、せん断変形が生じたものと考ええることで説明できる。このことは、実斜面においても、サクシオンの低下すなわち土壤水分の変動がせん断変形に影響を及ぼすことを示唆しているものと考えられる。

5. おわりに

本検討の結果、実斜面のせん断変形は、降雨強度との明瞭な関係が見られなかったものの、サクシオンとは相関が見られた。しかしながら、計測されたせん断ひずみ、地表面変位の値が小さく、有効なデータ数が少ないことから、今後も計測を重ねてデータ数を増やし、精度の向上を図りたい。一方、斜面崩壊を予測するためには、大きなせん断ひずみが生じたときの挙動を把握することが不可欠であり、このためには現地降雨実験等を実施する必要があると考えている。また、降雨パターンやサクシオンの低下速度等との関係についても整理を行い、不飽和地盤のせん断変形メカニズムの解明に繋げたいと考えている。

謝辞: 本研究の実施にあたり、貴重な資料およびご助言をいただいた国土交通省中国地方整備局太田川河川事務所担当者の各位に深く御礼申し上げます。

参考文献: 1) 笹原克夫, 田村圭司, 酒井直樹: 広島まさ土斜面における中規模降雨時の地表面変位の再現計算, 第43回地盤工学研究発表会, pp.1951-1952, 2008年7月 2) 笹原克夫, 土橋修司, 瀧口茂隆: まさ土斜面における降雨時の地盤内せん断変形挙動, 第44回地盤工学研究発表会, pp.1693-1694, 2009年8月

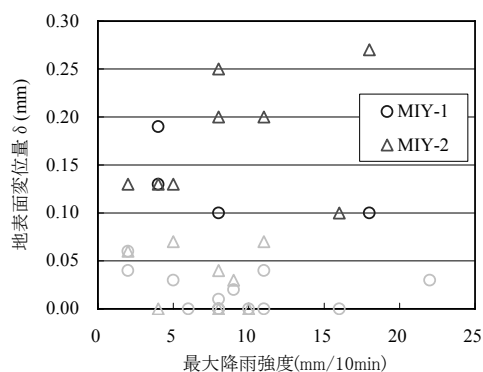


図-3 最大降雨強度と地表面変位の関係

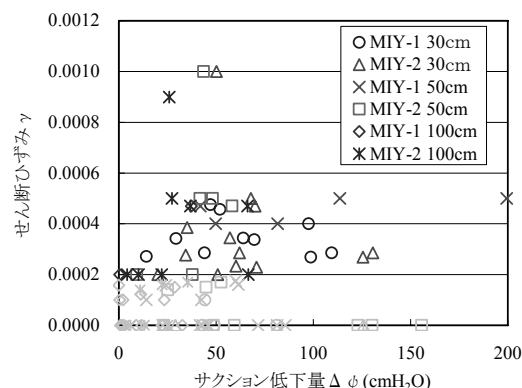


図-4 深さ 30, 50, 100cm におけるサクシオン低下量とせん断ひずみの関係

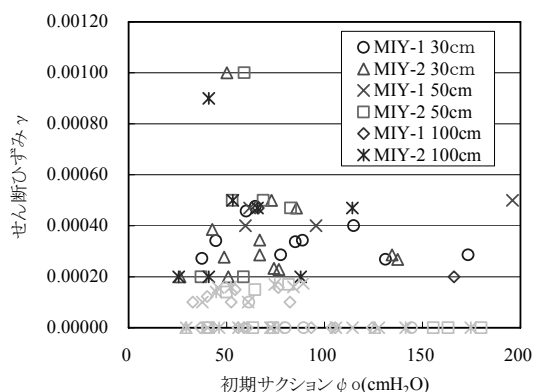


図-5 深さ 30, 50, 100cm における初期サクシオンとせん断ひずみの関係

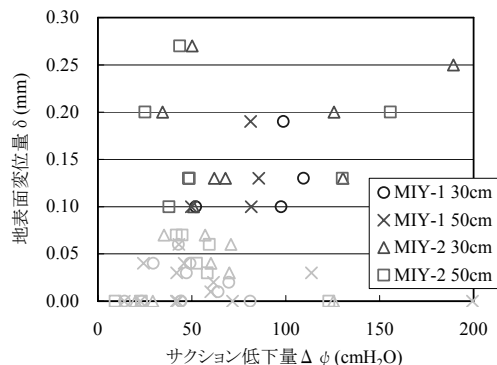


図-6 深さ 30, 50cm におけるサクシオン低下量と地表面変位の関係