

現地計測に基づく降雨時のせん断変形と水分特性曲線の関係

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) 中井真司
 (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 藤原寛

1. はじめに

一般的に降雨による斜面崩壊は、降雨浸透に伴う斜面内の地下水位の上昇に起因する有効応力の減少により発生すると考えられているが、地下水位上昇前の不飽和状態でもせん断変形が進行することが知られている。このため、降雨に伴う崩壊時期を予測するためには、崩壊の前兆現象となる不飽和地盤のせん断変形挙動のメカニズム解明が重要となるが、不均質な自然斜面における不飽和状態のせん断挙動について検討された事例はほとんどない。そこで本研究では、自然斜面で観測されている伸縮計による地表面変位とサクシオンおよび体積含水率のデータをもとに、複数の降雨イベントのせん断変形と土壌水分との関係について検討を行った。

2. 現地計測

観測は広島県廿日市市の隣接する2箇所の自然斜面(MIY-1, 2)で実施されている。対象斜面は凹凸の少ない斜面勾配約45°直線型の未崩壊斜面であり、広島花崗岩起源のまさ土が表層約1.0mに分布しており、図-1に示す深度に各計測機器を設置し、テンシオメータによるサクシオン、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月の約2年半の計測データを対象として総雨量50mm以上の降雨イベントを抽出し、降雨イベント中の各データの経時変化を整理した。そのなかで、せん断ひずみおよび伸縮計の経時変化が気温等による挙動と異なり、1降雨イベント内の短時間で急激な変化を示すとともに、サクシオン、体積含水率が変動しているものを抽出した。ここで、せん断ひずみ γ 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、地表面変位量 δ 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変形と判断した。

具体的に、図-2に示す2009年7月20日の降雨イベント(累積雨量158mm)における降雨強度、地表面変位、サクシオン、および体積含水率の経時変化を例に抽出方法を示す。ここで地表面変位は降雨開始直前を0として、降雨イベント中の変化量を記載している。降雨イベント中の8時~10時における降雨発生に伴って、サクシオンおよび体積含水率が急激に低下した後、やや遅れて地表変位が発生しているが、変位発生時刻が30cmのサクシオンが0となった付近と一致していることから降雨浸透に伴う変形と判断する。データの抽出にあたっては、地表面変位は絶対値をとって0.27mm、サクシオンは30cmの場合、降雨前の49cmH₂Oから0まで低下していることから低下量として49cmH₂Oを抽出し、体積含水率は15cmの場合、降雨前の0.13から降雨期間中に最大0.22まで上昇していることから増加量としては0.09を抽出した。このように2008年4月から2010年11月の約2年半に表-1に示す19の降雨イベントを抽出した。

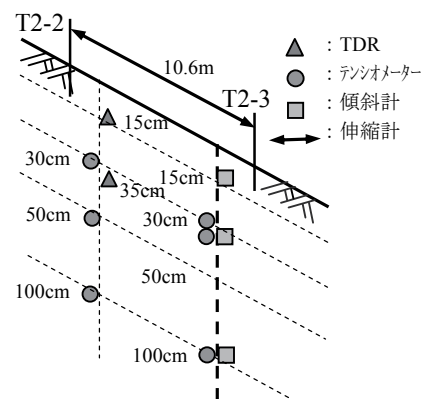


図-1 計測機器配置概要図 (MIY-2)

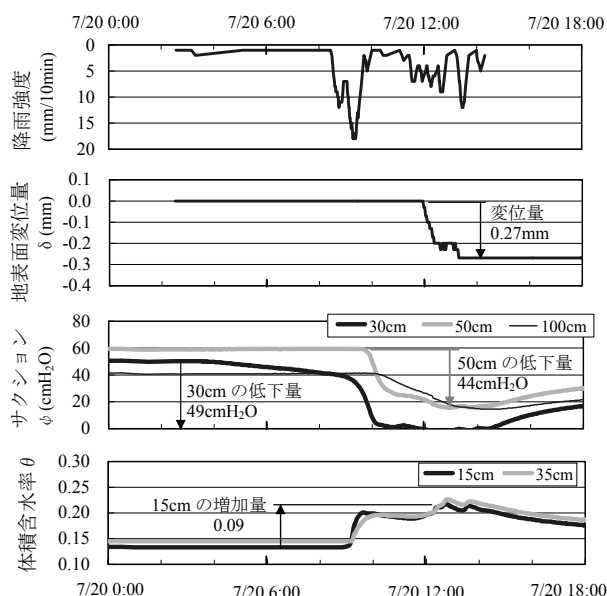


図-2 2009年7月20日の降雨イベントにおける計測データの経時変化と降雨中の変化量 (MIY-2)

4. 降雨イベント毎の水分特性曲線の比較

図-3 は降雨イベント毎の体積含水率 θ とサクシオン ϕ の関係を示す。降雨3, 8, 9を除く降雨イベントは、体積含水率の増加に伴ってサクシオンが低下する右下がりの挙動となるものの、明確な吸水過程の主曲線や走査曲線は確認できない。一方、降雨イベント3, 8, 9は、サクシオンが150cmH₂Oを超えるような非常に乾燥した状態での降雨イベントであり、体積含水率の増加に遅れてサクシオンが急激に低下する逆L字型の挙動を示す。この原因として、テンシオメータの計測遅れの可能性を否定できないが、計測結果が正しいとすると、降雨による水分が土粒子間のメニスカス水ではなく、ボンド水として吸着するために、サクシオンの低下が遅れて生じたものと考えられる。しかしながらこのような降雨イベントは、一般的な水分特性曲線の挙動と明らかに異なるためデータ整理の際に棄却した。

5. 地表面変位と水分特性曲線の関係

図-4 は地表面変位量 δ と体積含水率の増加量 $\Delta\theta$ の関係であり、地表面変位の計測精度0.1mm以上の地表面変位が生じたものを濃く示している。この結果から、体積含水率の増加に伴って地表面変位が大きくなる右上がりの傾向が見られる。

次に、降雨イベント中の体積含水率の増加量 $\Delta\theta$ とサクシオンの低下量 $\Delta\phi$ の比 $-\Delta\theta/\Delta\phi$ と地表面変位量との関係を整理したものを図-5に示す。グラフの右上に薄くプロットした2つのデータは降雨イベント11および19のデータであり、湿潤状態で累積雨量150mmを超える降雨が発生したケースである。この降雨イベントの $\theta-\phi$ 関係は、図-3に見られるように右下がりの挙動を示しており、他の降雨イベントに比べて顕著な違いは見られないが、その他の降雨イベントに比べて降雨量が多いことから整理の対象外とした。これらのデータについてみると、 $-\Delta\theta/\Delta\phi$ の増加に伴って地表面変位量が低下する右下がりの傾向が見られる。ここで、 $-\Delta\theta/\Delta\phi$ は水分特性曲線上のある点における曲線の傾きの逆数を示すことから、初期サクシオンが高く、サクシオン低下量大きい場合、すなわち水分特性曲線の傾き大きい場合に、地表面変位が大きくなる傾向を示している。

以上の結果から、初期サクシオンが50~100cmH₂O程度で累積雨量100mm以下の降雨イベントでは、地表面変位と体積含水率および水分特性曲線に比較的良好な相関が見られた。しかしながら、降雨イベント11および19のように湿潤状態で大きな降雨が発生したケースについてはデータ数が少ないため、異なるトレンドを持っているのか、または異常値なのかを判断できなかった。

6. おわりに

本検討の結果、根系が存在するような不均質な自然斜面においても、不飽和地盤の変形と水分特性に相関がありそうなことは分かってきた。しかしながら、計測された地表面変位の値が小さく、有効なデータ数が少ないなど、十分な評価ができるまでに至っていない。このため、今後とも計測を重ねてデータ数を増やし、不飽和地盤のせん断変形メカニズムの解明に繋げていきたいと考えている。

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: 岩田直樹ほか: 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, 平成23年度砂防学会研究発表概要集, pp.86-87, 2011年5月

表-1 抽出した降雨イベント一覧表

降雨イベント	降雨開始	継続時間 (hr)	累積雨量 (mm)	10分最大降雨強度 (mm/10分)	地表面変位(mm)	
					MIY-1	MIY-2
1	2008/4/16 12:10	33	53	2	0.06	0.13
2	2008/4/23 15:37	13	49	2	0.04	0.06
3	2008/5/19 12:06	11	51	4	0.13	0.13
4	2008/5/28 16:27	10	57	5	(欠測)	0.13
5	2008/6/20 11:09	17	75	11	0.00	0.07
6	2008/8/14 1:45	5	64	10	0.00	0.14
7	2008/8/22 18:01	10	53	6	0.00	0.03
8	2008/9/13 16:28	3	58	22	0.03	0.16
9	2009/6/10 3:01	17	74	8	0.00	0.25
10	2009/6/29 4:33	18	97	8	0.10	0.20
11	2009/7/20 2:33	12	158	18	0.10	0.27
12	2009/7/21 4:02	13	67	8	0.00	0.00
13	2009/7/24 14:12	19	98	16	0.00	0.10
14	2009/7/25 20:50	27	63	10	0.00	0.00
15	2010/5/18 18:00	26	66	4	0.19	0.00
16	2010/5/22 20:00	33	149	5	0.03	0.07
17	2010/6/25 12:00	57	160	9	0.02	0.03
18	2010/7/10 23:00	13	65	8	0.01	0.04
19	2010/7/12 19:00	45	231	11	0.04	0.20

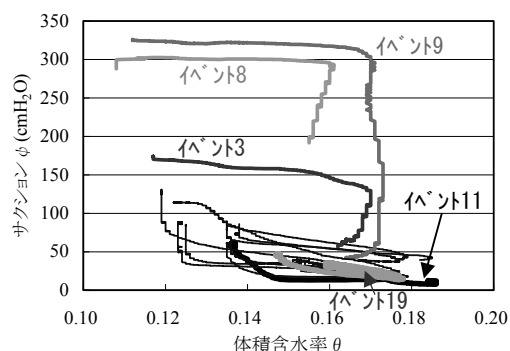


図-3 降雨イベント中の体積含水率とサクシオンの経時変化

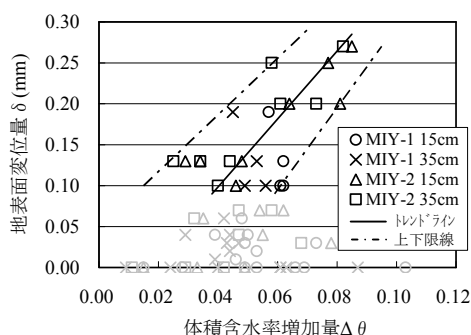


図-4 体積含水率増加量と地表面変位量の関係

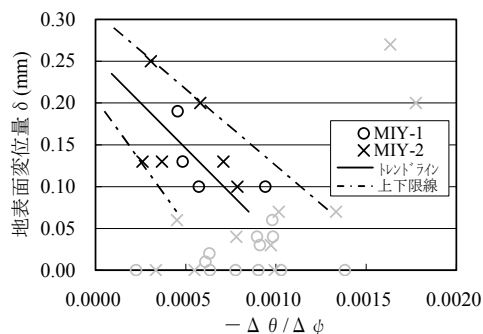


図-5 体積含水率とサクシオンの変化量の比 $-\Delta\theta/\Delta\phi$ と地表面変位量の関係