

降雨履歴に伴う地下水位変動と斜面変位の関係について

(独) 防災科学技術研究所○石澤友浩
高知大学 笹原克夫
(独) 防災科学技術研究所 酒井直樹
(独) 防災科学技術研究所 福岡輝旗

1 はじめに

降雨時斜面の土中の水分挙動は、せん断応力の増加やせん断強度の減少など、斜面の不安定化に影響を及ぼす。そのため、降雨による土中の水分挙動と変位挙動の両者の関係を把握することが、斜面の不安定化を正確に検知できると考えられる。この水分挙動と変位挙動に関係について、鈴木ら¹⁾、笹原ら²⁾の研究では、降雨時斜面の土内におけるサクションと体積含水率の繰り返し載荷に伴うせん断ひずみの降伏と降伏値以上になった時の増加について明らかにしている。

そこで、本研究は土内の地下水位変動に伴う斜面変位を検討するために、大型模型実験をおこなった。この実験では降雨や斜面上部からの通水によるマサ土斜面の地下水位と地表面変位を計測した。本稿では、地下水位の変化に伴う斜面の地表面変位の関係について検討した。

2 実験概要

図-1 は模型斜面の概要図を示している。模型斜面の形状は、傾斜部が斜面長 10m、幅 3.9m、深さ 1.15m、斜面傾斜角 30°、天端が長さ 0.8m、幅 3.9m、深さ 1m である。土槽の底面は突起のあるモルタル製、側面は鋼製である。また、この模型斜面の下流には、下部に排水管を有する高さ 30cm の土留め壁を設置した。また、斜面末端部での斜面表面への湧水を防ぐために、斜面末端部の下層は碎石を用いた排水層となっている。さらに、土槽底面に一定量の水を通水できる装置を斜面天端に設置している。

試験試料はマサ土（茨城県笠間産）を用い、物理特性を表-1 に示している。模型斜面の作成方法は、乾燥密度が均一となるように層厚 20 cm 毎に湿潤密度 ρ_{sat} 、含水比 ω を確認しながら、人力による締め固めで作成した(平均含水比 ω_{ave} 、平均密度(ρ) $_{ave}$ を表-1 に示している)。また、計測機器の設置は、上記作業と同時にあった。

この実験の降雨条件は、同一模型斜面に 6 回の履歴(Ev01～06)を与えた実験をおこなった。図-2 は、本実験の履歴（時間降雨量と累積降雨量）を示している。履歴 1, 2 は降雨（時間降雨量 15, 30mm/h）を与え、履歴 3～5 は斜面上部からの通水をおこなった。

通水量は 50, 100ml/s であり、斜面の表面積を用いてこの通水量を時間降雨量に換算すると、それぞれ約 4.7, 9.5mm/h である。図中に示す通水量は時間降雨量に換算した結果を示している。最後の履歴 6 は、約 24 時間の通水により、斜面底面に平行な約 20 cm の地下水面が見られてから、時間降雨量 40mm/h の降雨を与え、崩壊が生じるまで続けた。

本稿では、6 回の履歴の期間における図-1 に示す斜面中腹部の地点 A, B の地下水位 H_w (水圧式水位計 WL04, 05) と地表面変位 δ_{SD} (インバー線式伸縮計 SD03, 04) の計測結果について検討する。

3 実験結果

図-3 は、地点 A, B における履歴 01～06 の斜面崩壊が生じるまでの地下水位 H_w の経時変化を示している。同図より、初期降雨(EV01)では地下水位の上昇は見られなかったが、履歴 02 以降は地下水位の変動が見られた。次に同図の各履歴の最大地下水位に着目すると、崩壊が生じた履歴 6 の最大地下水が高いことは明瞭であるが、履歴 2～5 では履歴 3 が最も高いことがわかる。また、この傾向は地点 A, B とともに同じであった。

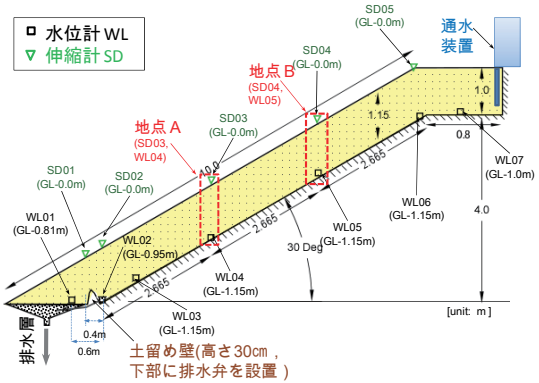


図-1 模型実験の概要図

表-1 模型斜面の初期物性値

粒度	土粒子密度	透水係数	含水比	湿潤密度	乾燥密度
D [mm]	ρ_s [g/cm ³]	k_{15} [cm/s]	ω_{ave} [%]	ρ_{sat} [g/cm ³]	ρ_d [g/cm ³]
$D_{10}=0.3$ $D_{30}=0.4$ $D_{60}=1.8$	2.643	5.0×10^{-3} ($\rho_f=1.600$ g/cm ³)	$\omega_{ave}=8.6$	(ρ_{sat}) $_{av}=1.740$	(ρ_d) $_{av}=1.602$

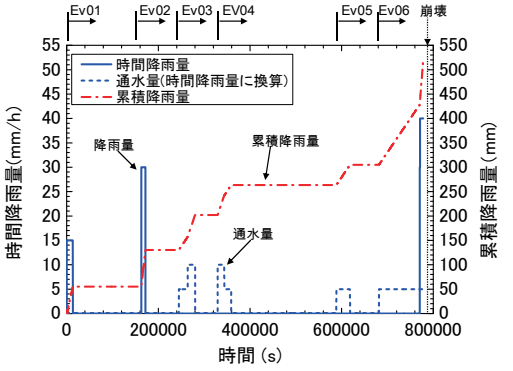


図-2 降雨履歴

図-4 は、地点 A, B における崩壊に至るまでの地表面の累積変位 δ_{SD} の経時変化を示している。同図より、2 地点の地表面変位 δ_{SD} は、履歴 2, 3 では明瞭な増加が見られるが、履歴 4, 5 での変位 δ_{SD} は僅かである。また、履歴 6 の崩壊直前では累乗的な変位 δ_{SD} の増加が見られ、崩壊に至ったことがわかる。

図-5 は、図-3, 4 の計測結果より地下水位 H_W と地表面変位 δ_{SD} の関係を示している。また、同図には各履歴の開始点も示している。同図より、履歴 01 では水位の増加が見られないが地表面変位が僅かに増加し、次の履歴 02 では地下水位が約 30 cm まで見られ、地表面変位が顕著に増加していることがわかる。また、地下水 H_W の減少が始まると、変位 δ_{SD} は僅かである。次に、履歴 3 では、地下水位 H_W が履歴 02 の最大地下水を超えると、地表面変位 δ_{SD} が生じることがわかる。しかし、次の履歴 4, 5 では、地下水位 H_W の上昇は見られるが、地表面変位が僅かであった。特に履歴 5 では、地下水位 H_W の変動はあったが変位 δ_{SD} が生じず、同図の履歴開始点が示すように履歴 5, 6 の履歴開始点は同じであった。次に崩壊が生じた履歴 6 では、斜面上部からの通水により斜面底面に平行な約 20 cm の地下水面を確認できたが、変位 δ_{SD} は生じなかった。その後、通水を続けながら、時間降雨量 40mm/h の散水を行い、履歴 3 の最大地下水位を超えてから変位 δ_{SD} が生じ始まり、崩壊に至ったことがわかる。また同図の地下水位と地表面変位の傾き H_W/δ_{SD} が緩やかになると崩壊に至ることがわかる。この本稿の地表面変位と地下水位の関係は、既往の研究^{1,2)}が指摘しているサクシオンや体積含水率の繰り返し载荷に伴うせん断ひずみの関係と同様な傾向を示している。

以上より、図-5 に示すように斜面内の地下水位 H_W の変動による繰返し载荷により、地下水位 H_W と地表面変位 δ_{SD} の関係には降伏点が見られ、この降伏点を超えない場合には変位が生じない。逆に、超えた場合には、降伏点が地下水位に伴い増加し、ひずみ硬化現象に似た関係が見られ、最終的に崩壊に至ることがわかった。つまり、履歴情報から斜面内と水分と変位の関係や降伏点を推測することができれば、斜面崩壊の事前予測に利用できることが期待できる。

また、本実験では地下水を変動させるために降雨と通水の異なる 2 種類の方法を用いたが、どちらも最大地下水位を超えた場合には変位が進行することがわかった。現地でモニタリングを行う際には、本実験の通水のように、降雨後にしばらく時間を経てから地下水が急激に上昇する場合は考えられる。降雨時中の斜面変動に着目するだけでなく、降雨後の地下水位の増加にも注意することが必要である。

4 まとめ

理想化された模型斜面の降雨実験の結果ではあるが以下の知見を得た。

- ・斜面内の地下水の変動により、地表面は変動することがわかった。
- ・斜面内の地下水位 H_W の変動による繰返し载荷により、地下水位 H_W と地表面変位 δ_{SD} の関係には降伏点が見られる。
- ・この降伏点を超えない場合には変位が生じない。逆に、超えた場合には、降伏点が地下水位に伴い増加し、ひずみ硬化現象に似た関係が見られた。
- ・地下水位と地表面変位の傾き H_W/δ_{SD} が緩やかになると、最終的に崩壊に至ることがわかった。

参考文献

- 1) 鈴木大健, 内村太郎, 可児健: 斜面の水分量と変位の計測を併用した崩壊危険性のリアルタイム判定手法, 第 46 回地盤工学研究発表会, pp.1000-1001, 2011.
- 2) K. Sasahara and N. Sakai: Shear strain development and pore pressure distribution under repeated rainfall, 2nd International Conference on Transportation Geotechnics, IS-Hokkaido, 2012. (submitted)

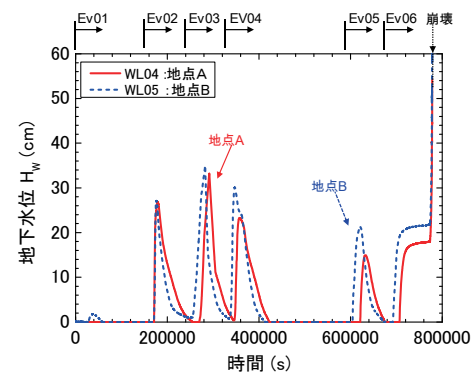


図-3 地下水位 H_W の経時変化

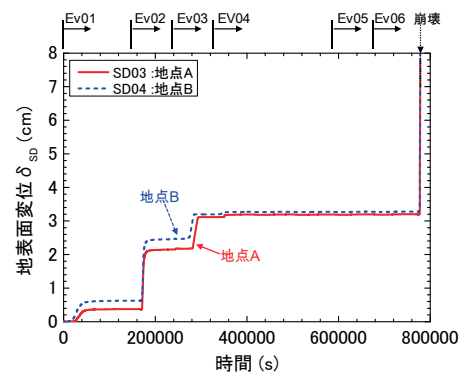


図-4 地表面変位 δ_{SD} の経時変化

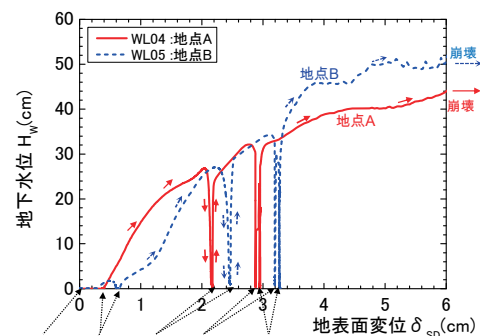


図-5 地下水位 H_W と地表面変位 δ_{SD} の関係