

現地計測に基づく斜面崩壊時の雨水浸潤挙動の推定

(株) ダイヤコンサルタント ○柳田寛, 坂東聡, 鏡原聖史, 岡崎敬祐
兵庫県森林林業技術センター 藤堂千景

1. はじめに

近年、集中豪雨の増加により、各地で斜面災害が多発している。降雨時の斜面崩壊では、表層すべり型崩壊が多く、雨水の浸透による土塊自重の増加や土のせん断強度低下、湧水によるパイピングなど地下水に起因した発生が考えられる。したがって、斜面災害の発生条件や場所を予測し、適切な対策工を実施するためには、雨水の浸透挙動を把握することが不可欠である。

深川ら¹⁾は、テンシオメータを用いて斜面における地下水流動を調査し、降雨条件の違いによる浸透挙動への影響を考察している。しかしながら、斜面内の地下水の流れは、降雨の鉛直浸透と斜面に沿った地下水流動の両方が存在するため、複雑な流れ場を形成しており、現象を理解するためには同時に2方向あるいは3方向の流れを考えなければならない。

本報告では、鉛直方向の降雨浸透が存在しない被覆工直下において、現地計測結果を再現できる水理条件を検討することで、2次元断面における斜面に沿った流れに着目した。さらに、検討した水理条件を別の斜面に適用することで、降雨条件や地形による斜面の水分状態の違いを考察し、豪雨時の崩壊に寄与する土中内の水分状態の推定を行った。

2. 崩壊地の概要

本報告における調査地は、神戸市北区有野町唐櫃に位置する山腹斜面で、調査地1~3は南西向き、調査地4は北西向きの自然斜面である(図-1参照)。調査地の表層は、花崗岩が風化したマサ土が分布していた。調査地1は、2014年8月豪雨により崩壊しており、2次災害防止のための応急対策として、崩壊地をビニールシートで覆う被覆工が施されている³⁾。また、調査地2、3は、調査地1と同様に2014年8月豪雨により崩壊しており、崩壊後の状況のままである。調査地4は、2018年7月豪雨により崩壊した。降雨の特徴として、2014年8月豪雨は、短時間に強い降雨(総雨量500mm、最大時間雨量80mm)⁴⁾があったのに対し、2018年7月豪雨は、弱い降雨が長時間継続(総雨量600mm、最大時間雨量30mm)⁴⁾した点が挙げられる。



図-1 調査地²⁾に加筆

3. 現地計測結果の再現解析

調査地1において、被覆工が施された崩壊後の斜面をモデル化し、飽和・不飽和2次元浸透流解析を実施することで、被覆工の直下(図-2、C-1)の現地計測値の体積含水率の変化に整合する水理定数を検討した。降雨条件は、2020年7月における現地計測値⁵⁾を用いて設定した。被覆工はC-1のGL-0.2mのセンサの反応がまったくないことから、降雨の地下浸透を完全防止していると考え、被覆工に降った雨水は被覆工の下流に浸透させた。

水理定数のうち、透水係数は室内試験結果および現地計測の体積含水率の反応から推定した値を使用した(表-1参照)。岩盤層は難透水性と考え、崩壊土層下部を不透水境界とした。有効間隙率および比貯留係数は室内試験結果および既往検討から設定した。

表-1の透水係数を調査地1の解析モデルに設定し、浸透流解析を実施した。図-3に被覆工直下における体積含水率の現地計測値および数値解析結果を示す。現地計測結果は、被覆工直下でもまとまった降雨後すぐに体積含水率が上昇しており、斜面に沿った流れ場が想定される。なお、現地計測値は土壌水分計から出力された電圧値をメーカー公表の校正式を用いて変換しており、現地斜面の体積含水率と必ずしも一致しないため、絶対値での議論はせず反応のタイミングに着目した。透水係数に室内試験値を使用したケース1では、降雨による体積含水率の反応を模擬できなかったのに対し、降雨と現地計測値の反応のタイミングから推定した透水係数を使用したケース2では、これを再現できる結果が得られた。

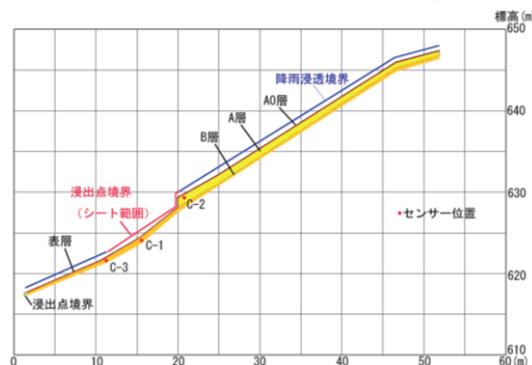


図-2 調査地1の解析モデル

表-1 解析ケース

地層名	透水係数(m/s)				
	ケース1 室内試験値		ケース2 現場計測値から推定		
	水平	鉛直	水平	鉛直	
A0層	植生層	5E-5	5E-5	1E-2	1E-3
表層	崩壊箇所の表層	1E-4	1E-4	1E-3	1E-3
A層	崩壊土層 (根系侵入あり)	1E-4	1E-4	1E-2	1E-3
B層	崩壊土層 (根系侵入なし)	1E-4	1E-4	1E-3	1E-3

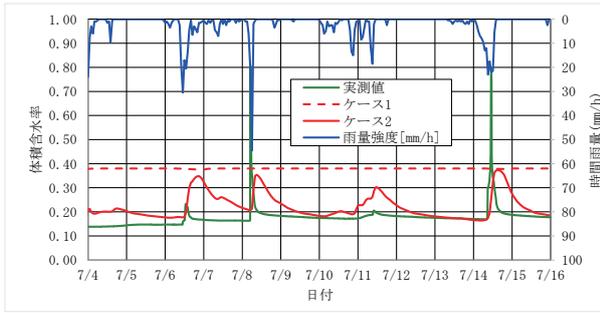


図-3 体積含水率の経時変化(C-1、GL-0.8m)

4. 崩壊時の飽和度分布の予測解析

調査地1の再現解析で得られたケース2の水理条件を調査地4に適用し、2014年8月豪雨時（非崩壊）および2018年7月豪雨時（崩壊発生）の飽和度分布の予測解析を実施した。なお、降雨条件は、水文データベースの有馬川における計測値を使用した⁴⁾。調査地4は、調査地1~3と比較し、崩壊土層が厚く、傾斜が途中から緩やかになる特徴がある（図-4参照）。そのため、雨水が降雨後も傾斜の緩やかな領域に保持される様子がみられた（図-5参照）。図-5の矢印の位置における水位の経時変化を図-6に示す。水位の最大値は2018年7月豪雨のほうが高く、また水位の高い状態が長く継続する結果となった。斜面崩壊に至る前に、斜面内は飽和状態に長時間さらされていると考えられており、壇上ら⁶⁾は計測地点で最初に飽和帯が形成されてからの継続時間と降雨強度の関係を考慮した雨量指標を用いることで崩壊の予測精度が向上されると報告している。本調査地においても、水位上昇後の継続時間の差異と崩壊発生の有無には関連性が示唆される。

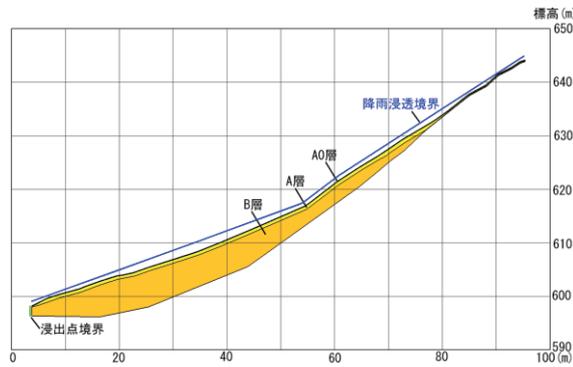


図-4 調査地4の解析モデル

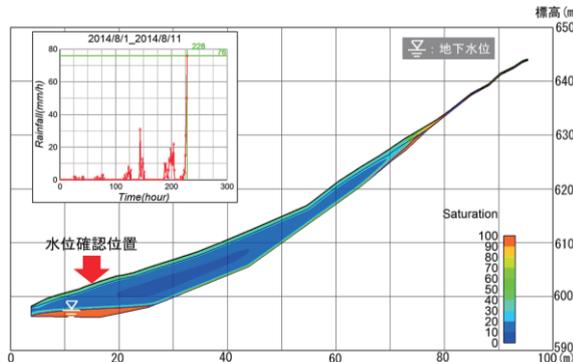
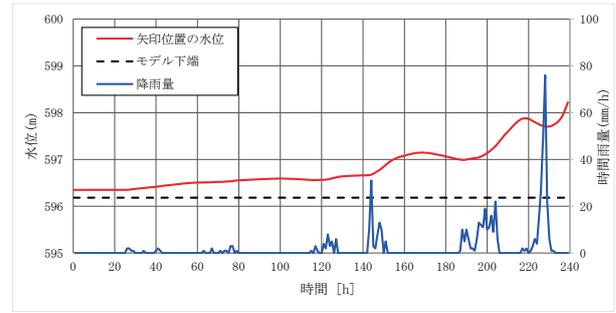
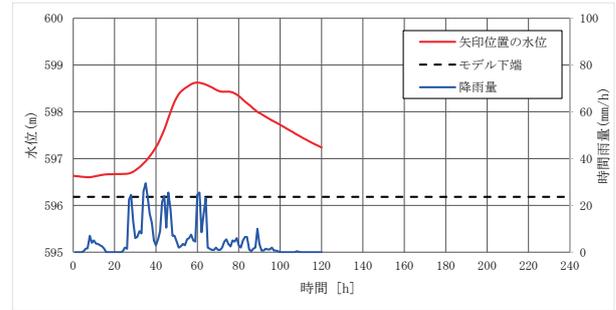


図-5 調査地4における飽和度カウンター
(2014年8月最大降雨時)



(a)2014年8月豪雨時(非崩壊)



(b)2018年7月豪雨時(崩壊発生)

図-6 調査地4における水位変化

5. おわりに

降雨に対する被覆工直下の現地計測された体積含水率の反応のタイミングに整合するように水理定数を設定し、飽和・不飽和2次元浸透流解析による飽和度分布の推定を行った。その結果、降雨条件の違いにより地下水位の高い状態が継続する時間に差異が発生し、これにより崩壊発生の有無が分かれたことが推察された。

《引用・参考文献》

- 1) 深川ら：降雨時斜面災害防止のための重要文化財周辺斜面における現地多点モニタリング、歴史都市防災論文集、Vol.2、pp.99-104、2008
- 2) 国土地理院 HP：
<https://maps.gsi.go.jp/#16/34.780100/135.235147/&base=std&ls=std&disp=1&vs=c0j0h0k0l0u0t0z0r0s0m0f0>
(2021.6.1 閲覧)
- 3) 鏡原ら：崩壊地に設置した被覆工の雨水浸透防止効果、Kansai Geo-Symposium2020、pp.221-226、2020
- 4) 国土交通省水文水質データベース(有馬川観測所)：
<http://www1.river.go.jp/cgi-bin/SiteInfo.exe?ID=106111286612250> (2020.3.9 閲覧)
- 5) 高橋ら：神戸市北区有野町を対象にした土壌水分計測と飽和・不飽和浸透流解析による評価の事例、砂防学会研究発表会概要集、pp.537-538、2021
- 6) 壇上ら：テンシオメータの計測結果を加味した雨量指標による計測斜面での斜面崩壊予測精度向上に関する検討、土木学会論文集 C(地圏工学)、Vol.77、No.1、pp.87-102、2021