

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

株式会社ダイヤコンサルタント ○高橋 良輔
 兵庫県森林林業技術センター 藤堂 千景
 株式会社ダイヤコンサルタント 鏡原 聖史・坂東 聡
 柳田 寛 ・岡崎 敬佑
 安田 涼

1. はじめに

近年、土砂災害が多発しており、中でも降雨に起因する表層崩壊の割合が最も高い。この崩壊メカニズムは、降雨により土壌内の飽和度が上昇することにより自重の増加、過剰間隙水圧の上昇、サクションが低下することによる土の見かけの粘着力の低下などの影響によって不安定化して発生すると考えられる。しかしながら崩壊時の地盤内の水分状況を観測した事例は少ないのが実態である。そこで、本稿では、表層崩壊発生後、被覆工により保護を行っている斜面で雨量、土壌水分の計測を行い、その結果を基に飽和・不飽和浸透特性を把握して豪雨時の土壌水分状態を再現した。

2. 調査概要

調査地は兵庫県神戸市北区有野町唐櫃にある崩壊地である。調査地の地質は六甲花崗岩で表層部分はマサ化している。図 1 に調査地の平面図を示す。崩壊地は幅 8m、深さ 1.0m 程度の H26 年豪雨で崩れた崩壊地で現在崩壊地内は被覆工で保護されている。調査地では、透水試験を行うため滑落崖において崩壊土層の乱れの少ない試料を採取した。また、地盤内の水分状態を把握するため崩壊地の滑落崖上部 (C-2)、崩壊地内部の被覆工設置箇所 (C-1) に土壌水分センサ (EC-5、meter 社製) を、崩壊地の下部に雨量計測のための気象観測装置 (POTEKA、明星電気社) を設置した。

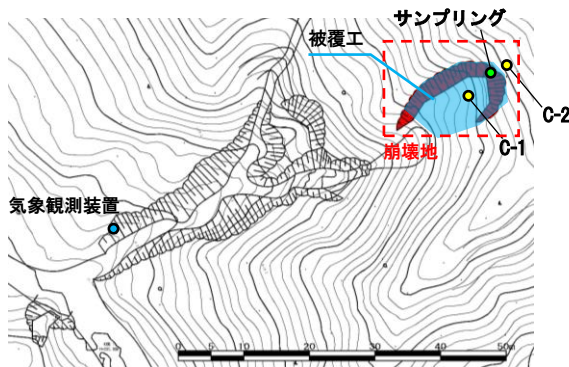


図 1 調査地平面図

3. 室内試験結果および浸透流解析結果

本調査地での浸透流解析モデルを図 2 に示す。浸透流解析モデルは、簡易動的コーン貫入試験、現地踏査結果などから判断し、図 2 に示す 5 層に分類した。

安田ら¹⁾によると、本調査地周辺の崩壊地で浸透流解析を行い、室内試験値透水係数を基に、崩壊土層の透水係数に異方性を持たせることで実測の土壌水分センサの挙動と調和的な挙動を示すとしている。表 1 にこのときの浸透パラメータを示す。この数値をもとに、観測期間中で雨量が多かった 2020 年 7 月梅雨時期で浸透

流解析を行った。

表 1 浸透パラメータ

地盤区分	地層名	透水係数(m/s)		備考
		水平K _h	鉛直K _v	
A0	植生層	5.0E-05	5.0E-05	自然状態の表層0.1m
表層	崩壊地内表層	1.0E-04	1.0E-04	崩壊範囲の表層0.1m(ゆるみを考慮)
A層	崩壊土層	1.0E-04	1.0E-06	根系進入あり
B層	崩壊土層	1.0E-04	1.0E-06	根系進入なし
基盤層	基盤層	-	-	不透水

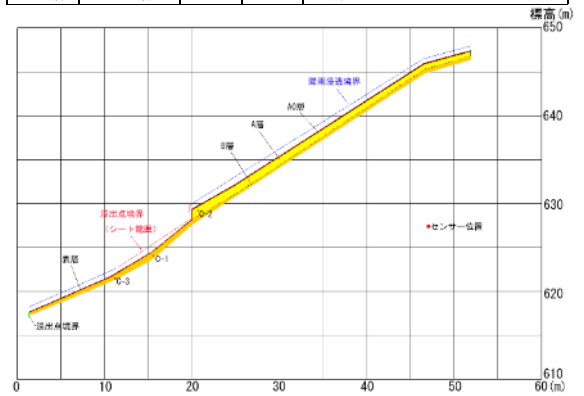


図 2 浸透流解析モデル

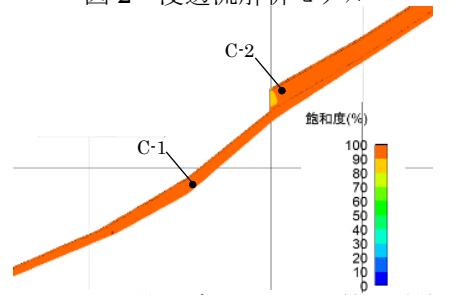


図 3-a 飽和度コンター (初期値)

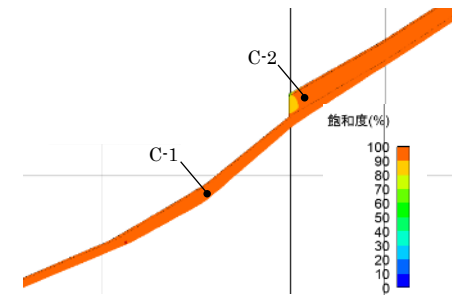


図 3-b 飽和度コンター (降雨後)

浸透流解析は飽和・不飽和浸透流解析 (解析コード: Dtransu-2D・EL)²⁾を用いて 2020 年 7 月 4 日~2020 年 7 月 15 日までの雨量を入力し地盤状態の再現解析を行った。なお、土壌水分センサの実測値は個体差が大きいことから、絶対値での議論はせず相対的な変化にのみ着目している。図 2 に浸透流解析モデルを示す。図 3-a,b に降雨前後の飽和度コンターを、図 4 に体積含水率の時系列変化 (解析と実測の比較) を示す。図 3-a,b によると、降雨前後どちらも土層全体の飽和度が高い状態が続いている。図 4 を見ると、C-1 の実測体積含

水率上昇が局所的である一方、解析値では高い含水率を維持している。

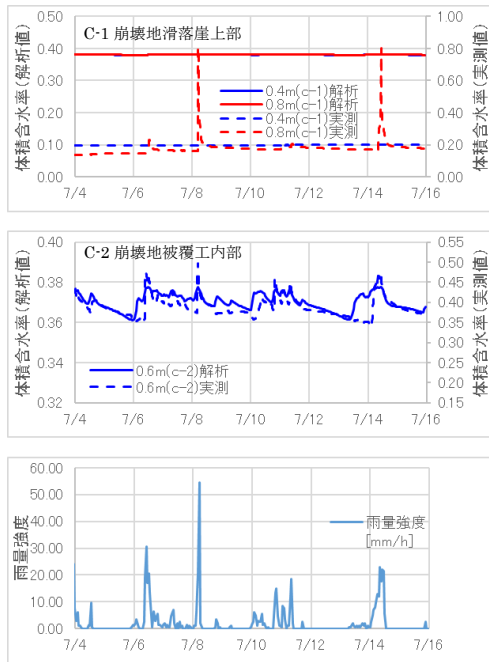


図4 体積含水率の時間変化（実測と解析）

4. 現地観測をもとにした浸透流解析結果

室内試験を基にした透水係数で浸透流解析を行うと、実際の観測結果に比べ高い飽和度が得られた。そこで、10分間雨量観測時間から土壌水分センサの反応までにかかる経過時間を浸透時間と考え、透水係数を推定した。その結果、透水係数は $1.0 \times 10^{-3} \text{m/s}$ となった。この数値を基に異方性を考慮しつつ、現地計測値の体積含水率変化に整合するよう透水係数を試行錯誤的に調整し、表2の数値を採用した。

表2 修正浸透パラメータ

地盤区分	地層名	透水係数(m/s)		備考
		水平Kh	鉛直Kv	
A0	植生層	$1.0E-02$	$1.0E-03$	自然状態の表層0.1m
表層	崩壊地内表層	$1.0E-03$	$1.0E-03$	崩壊範囲の表層0.1m(ゆるみを考慮)
A層	崩壊土層	$1.0E-02$	$1.0E-03$	根系進入あり(異方性考慮)
B層	崩壊土層	$1.0E-03$	$1.0E-03$	根系進入なし(異方性考慮)
基盤層	基盤層	-	-	不透水

図5-a,bに降雨後の飽和度コンターを、図6に体積含水率の時系列変化（解析と実測の比較）を示す。透水係数を大きくしたため、初期、降雨後ともに土層全体の飽和度が小さくなってるのが確認できる。また、図6に示す体積含水率の比較を見ると、C-2については解析値が実測の体積含水率の挙動を高い精度で再現できている。C-1は室内試験値を基にしたパラメータに比べて実測に近い挙動になっているが、排水過程の挙動に実測と差異が残る結果となった。

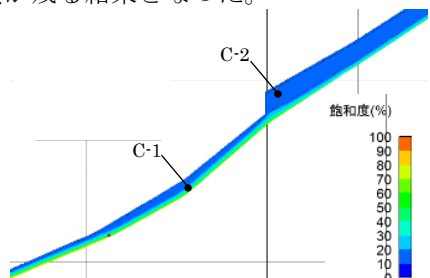


図5-a 飽和度コンター（初期値）

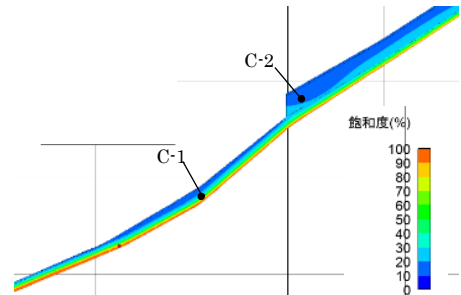


図5-b 飽和度コンター（降雨後）

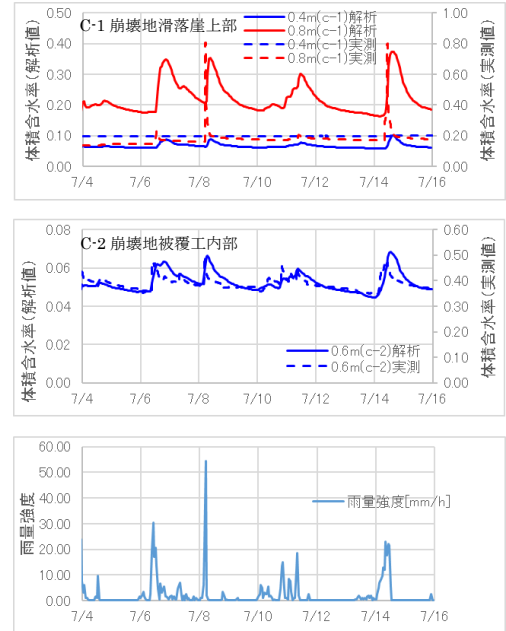


図6 体積含水率の時間変化（実測と解析）

5. おわりに

崩壊地の地盤内の水分状況を浸透流解析により再現するにあたり、室内試験結果を基にした透水係数に比べ、降雨と体積含水率の実測データから推定した透水係数（室内試験値の10倍）の方が高い精度で水分状況を再現できた。これは、解析上は各層毎に均質だと仮定し等価な透水係数を設定しているのに対し、実際の地盤は不均質で、透水係数が大きい水みちを浸透水が流れるためと考えられる。ただし、今回は体積含水率の絶対値は議論出来ていない。今後、水圧センサなどを併用して絶対値を把握できれば、浸透流解析のさらなる精度向上ができると考えられる。

謝辞: 本報告をまとめるに当たり、神戸市農協組合、兵庫県森林林業技術センター、兵庫県六甲治山事務所、公益社団法人地盤工学会関西支部「斜面災害のリスク低減に関する委員会」部会2、WG2メンバーの関係各位にご協力いただいた。ここに記して、厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1)安田ら：現地計測に基づく斜面崩壊時の飽和度分布の推定、技術フォーラム2020、【19】
- 2)西垣ら：飽和・不飽和領域における物質移動を伴う密度依存地下水流の数値解析手法に関する研究、土木学会論文集、No.511、III-30、pp.135-144、1995