

## 斜面表層の大間隙を考慮した場合の地下水面及び流速分布に関する数値実験

パシフィックコンサルタンツ株式会社 ○稲毛孝章, 古川正修, 斉藤泰久  
国土交通省 国土技術政策総合研究所 中谷洋明, 金澤瑛, 小嶋孝徳

## 1. はじめに

斜面崩壊の発生危険度が高い領域を特定する調査方法の確立を目指し、被圧地下水の流動を対象とした大規模な斜面崩壊の発生メカニズムの検討を行っている。仮説として地層中での局所的な地下水流速の増大により地下水に溶存する酸素が析出し地層間隙を閉塞することで、地層の透水性低下と地下水位の上昇、斜面崩壊を誘発する現象を想定している。本検討は、飽和不飽和浸透流解析を用い、風化等で地層中に発生した大間隙が地下水面や地下水流速に及ぼす影響を検討したものである。

## 2. 想定する斜面と水理地質のモデル化

本検討では、過去に降雨ピークから遅れて発生した斜面崩壊のうち、2010年の船石川（鹿児島県南大隅町）の事例を参考にした。船石川崩壊地斜面からその背後に広がる火砕流台地は、ボーリングデータおよび空中電磁探査の結果から

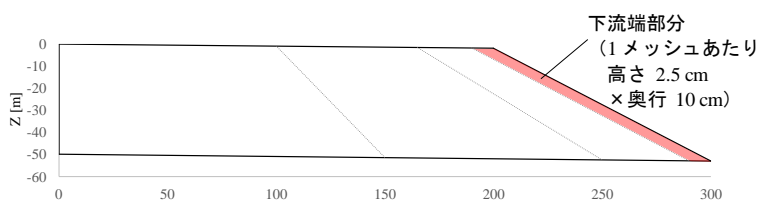


図1 作成したシラスの水理地質モデル

ら地表面よりローム層・溶結凝灰岩層・シラス層の3層の成層構造からなる。シラス層の自由地下水位は豪雨による累積雨量の増加により溶結凝灰岩層の自由水面と同程度まで上昇して被圧化する状況が地下水位観測結果で把握されている。そこで、シラス層に着目した2次元断面モデルを作成した。モデル下面は水平方向300m、斜面下端から1%勾配で傾斜をつけ、地下水流れの上流端となる図の左側端部でのシラス層厚は50m、モデル上面は斜面上端までの水平距離を200mとした。モデルの節点数は472,236、要素数は470,000である。モデル作成にあたっては、斜面下流端部分を非常に細かいメッシュ（高さ2.5cm×奥行10cm）で作成し、微視的な視点から透水性の不均質性を考慮した浸透流解析モデルとした。

## 3. 解析条件

本検討では、降雨時に斜面奥からの地下水流動により地下水位上昇が生じる条件とし、モデル上流端を既知水頭境界、上下面を不透水境界、下流端を浸出面境界とした。既知水頭境界には、船石川の地下水位観測記録を参考とし、4か月間で30mの地下水位上昇・低下が生じる正弦波を設定した。

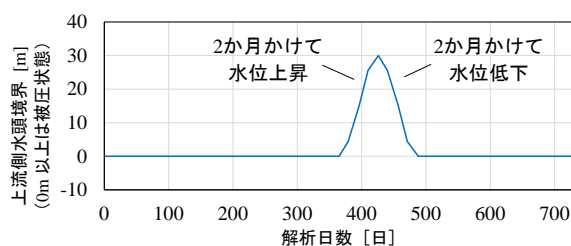


図2 上流側水頭設定条件

表1 水理定数等一覧

水理定数	単位	基質部	大間隙	備考
$D_{20}$	mm	$7.0 \times 10^{-2}$	-	北村ら <sup>1)</sup>
飽和透水係数	m/sec	$6.50 \times 10^{-6}$	$6.50 \times 10^{-3}$	基質部：クレーガー <sup>2)</sup> 大間隙：安田ら <sup>3)</sup>
不飽和特性	-	粘性土相当	砂礫相当	河川堤防の手引き <sup>4)</sup>
有効空隙率	-	0.6	0.6	北村ら <sup>1)</sup>
比貯留係数	1/m	$1.9 \times 10^{-5}$	$1.9 \times 10^{-6}$	ドミニコ <sup>2)</sup>

水理定数は、北村ら<sup>1)</sup>のシラスの粒度試験結果などに基づき、表1のように設定した。大間隙の飽和透水係数については、浸透破壊等により形成された間隙では土質本来の透水性より1~3オーダー程度高いという安田ら<sup>3)</sup>の報告を参考とし、本検討では基質部より3オーダー大きい値を設定した。

解析ケースとして、全領域で透水性が一般的なCase 1、モデル下流端部分（図1の着色部分）に大間隙を配置した2ケース（不連続配置：Case 2、連続配置：Case 3）を図2のイメージで設定した。Case 2、Case 3では下流端部分の巨視的な透水性は同じになるよう大間隙のメッシュ数を調整した。

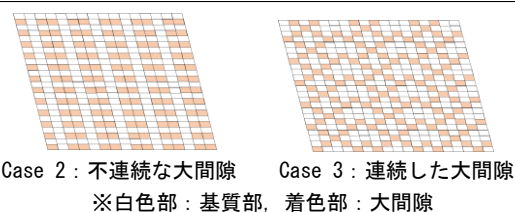


図3 下流端部分における大間隙の配置

#### 4. 解析結果

解析結果として水頭がピークを過ぎた20日後（445日）の飽和度とダルシー流速の断面分布を示す。

Case 1（図4）では、地下水面は下流側に向けてなだらかに低下し斜面にすり付く分布で、ダルシー流速は斜面末端に向かい大きくなり約 0.3 m/day 程度を示した。均質な地質での典型的な結果となった。

Case 2（図5）では大間隙の影響で地下水面が下流端部分で低下し凹むような分布となり不飽和領域が広がっている。ダルシー流速は斜面末端（下面付近）の大間隙で、Case 1と比較して2オーダー高い約 17.0 m/day を示した。

Case 3（図6）では大間隙が連続している影響で、地下水面がCase 2よりも低く、下流端部分の底面に沿うように分布し、地層中の地下水面の勾配が直線的となった。ダルシー流速は下流端部分の底辺の大間隙で、Case 2より更に1オーダー高い約 157.9 m/day を示した。

大間隙が不連続な場合と大間隙が連続する場合では、形成される地下水面が大きく異なることが明らかとなった。このことは、巨視的な視点から斜面端部の水理地質構造を捉えた場合には同じ透水性と評価できたとしても、地層内の大間隙の配置が異なれば形成される地下水面は異なることを意味する。また、Case 3のように大間隙が連続する場合には、斜面の地下水流出が斜面末端部に集中するためダルシー流速が局所的に大きくなることから、地下水中の溶存酸素が析出するようなダルシー流速が生じる可能性が示唆された。

#### 5. まとめ

本検討より得られた知見を下記に整理する。

- ・斜面下流端部分のメッシュを細かくモデル化し、微視的な視点で透水性の不均質性を考慮できる飽和不飽和浸透流解析を実行すると、様々な地下水面形状が現れること
- ・特に斜面下流端部分での地質の風化、斜面上方からの土砂の堆積、植物根系の侵入や土壤動物による攪乱などにより形成された大間隙が、局所的な地下水流速の増大に寄与している可能性があること
- ・大間隙が連続して存在する場合と不連続に存在する場合とでは、解析上はオーダー単位で流速が異なること

#### 6. 謝辞

静岡大学名誉教授 土屋智氏には、斜面崩壊メカニズムや斜面での浸透流解析の知見について助言を頂いた。ここに感謝の意を表す。

#### 7. 参考文献

- 1) 北村良介ほか(2007)：降雨時のしらす斜面の浸透・崩壊に関する室内土槽試験
- 2) 社団法人 地盤工学会(1991)：根切工事と地下水-調査設計から施工まで-
- 3) 安田匡, 竹内篤雄(2009)：水ミチの実在性に関する研究（会議録）
- 4) 財団法人 国土技術研究センター(2012)：河川堤防の構造検討の手引き（改訂版）

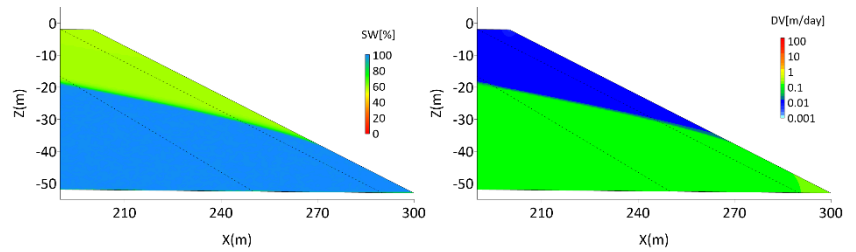


図4 飽和度分布（左）および流速分布（右）：Case 1

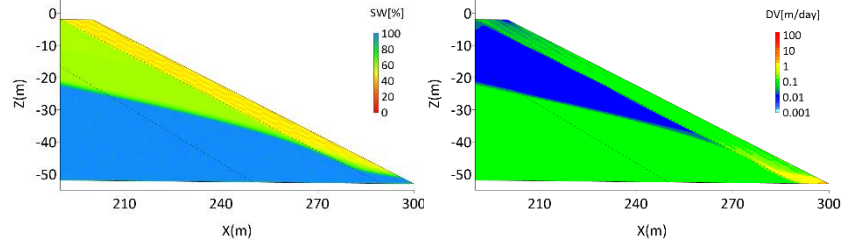


図5 飽和度分布（左）および流速分布（右）：Case 2

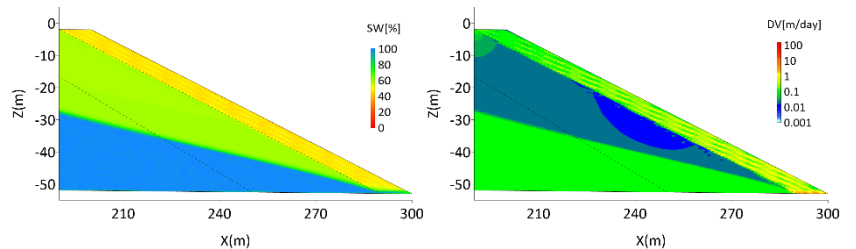


図6 飽和度分布（左）および流速分布（右）：Case 3