

# 国道27号線舞鶴市真倉で発生した斜面崩壊に対する浸透流および円弧すべり解析

京都大学大学院 学生会員 ○福岡 知弥  
 京都大学大学院 正会員 宮崎 祐輔  
 関西大学社会安全学部 正会員 小山 倫史  
 (一財) 地域地盤環境研究所 正会員 藤原 照幸  
 京都大学大学院 正会員 岸田 潔

## 1. はじめに

筆者らの研究グループは、一般国道の雨量通行規制の基準として、土砂災害警戒情報発令時に用いられているスネークライン<sup>1)</sup>の利用可能性とその際の設定基準の妥当性を検討してきた<sup>2)</sup>。本報告では、実際に崩壊が発生した国道27号線真倉における斜面を対象として、浸透流解析および円弧すべり解析を実施した。解析から得られた安全率の推移をスネークライン上に示し、降雨情報から得られるスネークラインと解析的に得られる安全率の関係を調べた。

## 2. 解析条件

飽和・不飽和浸透流解析の支配方程式は、連続式とダルシー則から導出される式を不飽和領域まで拡張した式(1)である。

$$\frac{\partial}{\partial x} \left[ K(\theta) \frac{\partial \psi}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[ K(\theta) \frac{\partial \psi}{\partial z} + K(\theta) \right] = \{ \alpha S_s + \beta c(\psi) \} \frac{\partial \psi}{\partial t} \quad (1)$$

ここで、 $\theta$ : 体積含水率、 $K(\theta)$ : 透水係数、 $\psi$ : 圧力水頭、 $S_s$ : 比貯留係数、 $c(\psi)$ : 比水分容量、 $\alpha$ : 飽和領域=1, 不飽和領域=0,  $\beta$ : 飽和領域=0, 不飽和領域=1である。

写真-1に解析対象の斜面を示す。本研究で対象と



写真-1 解析対象とした斜面  
(福知山河川国道事務所, 2018年7月9日撮影)

した斜面は京都府舞鶴市に位置し、平成30年7月豪雨により被災した斜面である。図-1にモデル化した領域の地質区分と解析メッシュおよび境界条件を示す。また、表-1に表層土の物性値を、図-2に表層土と岩盤層の不飽和特性を示す。

本研究では、表層土の物性値および各層の不飽和特性に関する試験を実施できていない。そのため、表

表-1 表層土の物性値

透水係数 [cm/s]	単位体積重量 [kN/m <sup>3</sup> ]	粘着力 [kN/m <sup>2</sup> ]	摩擦角 [deg]
5.0×10 <sup>-3</sup>	14.0	30.0	36.6

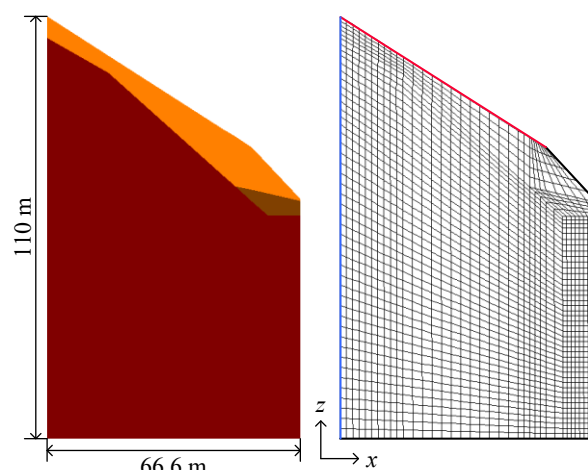
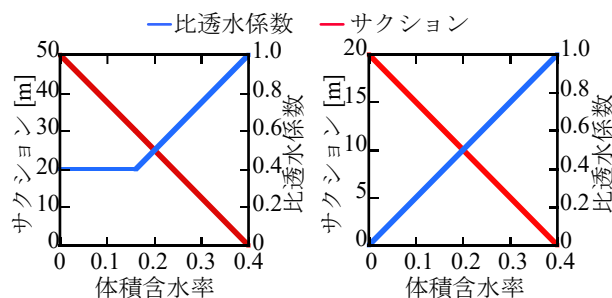


図-1 地質区分と解析メッシュ



(a)表層土 (b)頁岩層・粘土層  
図-2 各層の不飽和特性

キーワード スネークライン, 浸透流解析, 円弧すべり解析  
 連絡先 〒615-8540 京都市西京区京都大学桂 C1-2-338

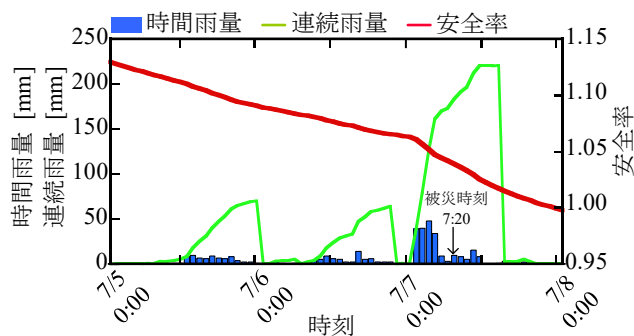


図-3 降雨履歴と安全率の経時変化

層土の物性値は同一地質を有する斜面の試験結果を利用し、不飽和特性は直線形で設定した。今後、物性値および不飽和特性に関する試験を行う予定である。

斜面安定性の評価手法としては、円弧滑りを想定した修正フェレニウス法を用いた。

### 3. 結果と考察

図-3 に降雨履歴と解析的に得られた斜面の安全率の経時変化を示す。対象斜面は平成 30 年 7 月豪雨において断続的に 3 度の降雨を受けており、3 度目の降雨で斜面崩壊が発生した。このとき、連続雨量は時間雨量 2 mm 以下 3 時間継続することで 0 mm にリセットされている。本事例では、リセットに伴い被災時刻に比べて連続雨量のピークが遅れている。

図-3 より、1 度目と 2 度目の降雨は比較的に小規模であり、安全率の低下度合も小さい。その直後、3 度目の降雨が発生し、時間雨量の大きさに反比例して、安全率は低下し、最終的に 1 を下回った。

このように、先行降雨によって安全率が低下し、より降雨強度の大きな降雨に見舞われ、最終的に 1 を下回る挙動は、現場における斜面崩壊の様相を捉えたといえる。一方で、解析上で安全率が 1 を下回った時刻は 7 月 8 日 0 時であり、実際の被災時刻よりは 16 時間 40 分遅れた。これは、解析の安定性を考慮して、地質構造を実際よりも簡易的に表現したこと、不飽和特性を直線形で設定したこと等が要因と考えられる。

図-4 に解析的に得られた安全率( $F_s$ )の変化の推移をスネークライン上に記載した図を示す。スネークラインは降雨情報から得られる土壌雨量指数と 60 分間積算雨量によってプロットされる。スネークラインと土砂災害発生危険基準線(Critical Line; CL)との

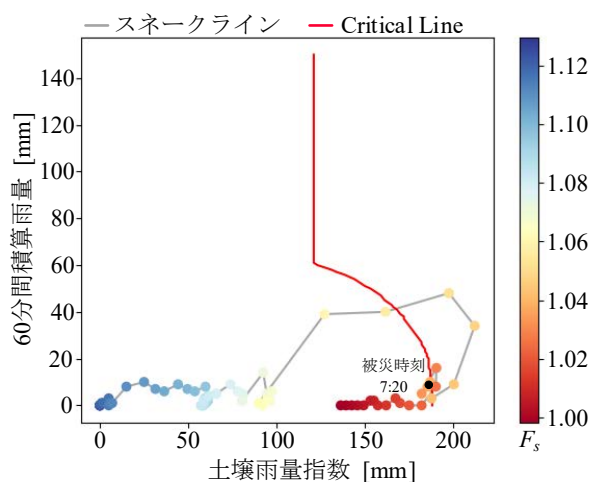


図-4 安全率と合わせたスネークライン CL は3)より引用

位置関係により、土砂災害警戒情報の発令が行われる。図より、CL を下回る領域で、安全率が大きく低下し、また、現場では斜面崩壊が発生したことがわかる。本事例のように、豪雨に見舞われた際には、CL を下回る領域においても、斜面の安定性が十分保証されていないといえる。

### 4. おわりに

本研究では、平成 30 年 7 月豪雨において発生した国道 27 号線舞鶴市真倉における斜面崩壊に対して、浸透流および円弧すべり解析を行った。その結果、先行降雨の影響によって、安全率が低下し、豪雨に伴って安全率が 1 を下回るという挙動を確認した。また、スネークライン上で安全率の推移を評価した結果、CL を下回る領域においても、斜面が危険な状態であったことがわかった。今後は解析の妥当性の確保のため、現地試料の基礎的試験を行い、物性値や不飽和特性の決定を行う。

### 謝辞

本研究は、国土交通省 近畿地方整備局 新都市社会技術融合創造研究会による研究委託事業(代表:岸田 潔)を受けて実施した。また、福知山河川国道事務所より国道 27 号線真倉における崩壊斜面の情報提供を受けた。記して謝意を表す。

### 参考文献

- 1) Osanai et al.: Japanese early-warning for debris flows and slope failures using rainfall indices with Radial Basis Function Network, *Landslides*, 7, pp.325-338, 2010.
- 2) 福岡ら: 浸透流解析と円弧滑り解析による斜面対策工の評価と土砂災害危険基準線の一考察, *Kansai Geo-Symposium 2021*, 9, pp.70-75, 2021.
- 3) 京都府ホームページ: 京都府土砂災害警戒情報, <https://d-keikai.pref.kyoto.jp/MapForm.aspx?m=1> <2022/3/29 アクセス>