

第 III 部門 浸透流解析と円弧すべり解析を用いた土砂災害発生危険基準線の更新に関する一考察

|                 |     |        |
|-----------------|-----|--------|
| 京都大学工学部         | 学生員 | ○ 福岡知弥 |
| 京都大学大学院工学研究科    | 正会員 | 宮崎祐輔   |
| 関西大学社会安全学部      | 正会員 | 小山倫史   |
| 一般財団法人地域地盤環境研究所 | 正会員 | 藤原照幸   |
| 京都大学大学院工学研究科    | 正会員 | 岸田潔    |

1. はじめに

我が国の国道では、土砂災害による被害軽減のため連続雨量にもとづく事前通行規制が行われている<sup>1)</sup>。斜面崩壊には土中水分量が大きく影響する。そのため、事前通行規制高度化のために、先行雨量の影響を考慮可能な、土砂災害警戒情報発令に使用されるスネークカーブを用いることが検討されている<sup>2)</sup>。ただし、通行規制を発令する土砂災害の規模や、道路斜面の対策工の効果など、地滑りなどの自然斜面の大規模崩壊を対象とするスネークカーブにおいて、道路斜面特有の課題をどう考慮するかが問題の一つとなっている。

現在、数値解析において、対策工を施された斜面モデルに対し、降雨条件を導入して安全率を計算することで、土砂災害発生危険基準線 (CL) の更新を行うことが検討されている。そこで本研究では、事前通行規制区間内の斜面に対し、浸透流解析と円弧すべり解析を用いて、過去の豪雨事例に対する斜面安定解析を行い、斜面の水分量の影響を検討する。本解析による安定計算結果と土砂災害警戒情報を発令するときと同様の方法を用いた通行規制基準をそれぞれ比較することで、CL更新の必要性を数値解析により検証した。

2. 飽和・不飽和浸透流解析

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である<sup>3)</sup>。

$$\frac{\partial}{\partial x_i} \left\{ K_r(\theta) \left( K_{ij}^s \frac{\partial \psi}{\partial x_i} + K_{i2}^s \right) \right\} - q = \{ \alpha S_s + \beta c(\psi) \} \frac{\partial \psi}{\partial t} \quad (1)$$

ここで、 $i, j = 1, 2$  (1: x, 2: y),  $K_{ij}^s$ : 飽和透水係数テンソル,  $K_r$ : 比透水係数,  $\psi$ : 圧力水頭,  $q$ : 単位体積あたりのシンク/ソース流量 (排水時,  $q > 0$ ),  $S_s$ : 比貯留係数,  $\alpha$ : 飽和領域=1, 不飽和領域=0,  $c(\psi)$ : 比水分容量,  $\beta$ : 飽和領域=0, 不飽和領域=1 である。

3. 斜面の地質区分と解析モデル

本研究で対象とした斜面は、京都府国道 9 号線南丹市園部町上小崎~船井郡京丹波町新水戸の異常気象時通行規制区間内に位置し、幅 38 m, 高さ 25 m の領域をモデル化した。対象斜面で実施された調査結果から、図-1 のように解析モデルの地層区分、土質・岩質および地下水位を決定し、解析モデルのメッシュおよび境界条件を設定した。斜面内の地層は崖錐性堆積物層 (表層土) と頁岩層の 2 層から構成されている。

表-1 に表層土の物性値を示す。本研究では不飽和特性に関する試験を行っていないため、図-2 のように不飽和特性を設定した<sup>4)</sup>。

土砂災害による道路被害は一定量の土塊が斜面から崩れ、道路上に崩れ落ちることにより発生すると考えられる。また、表層土の崩壊には間隙水圧上昇と有効応力低下に伴うせん断強さの低下によって土層のすべりが生じる。これらの理由から、本解析では斜面安定性の評価方法として円弧すべりを想定した修正フェレニウス法を用いた。対象斜面では表層崩壊が危惧され

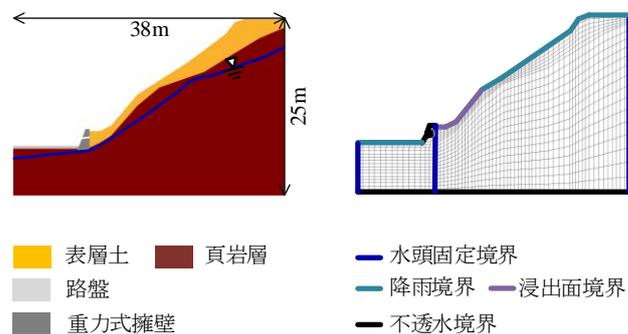
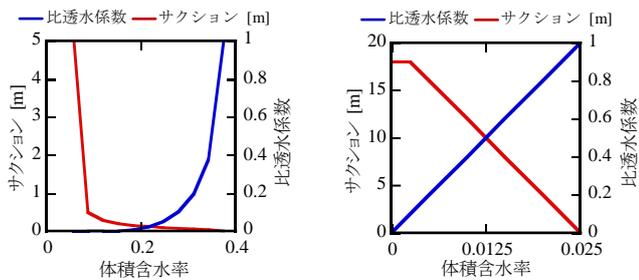


図-1 地質区分・構造物と解析メッシュ

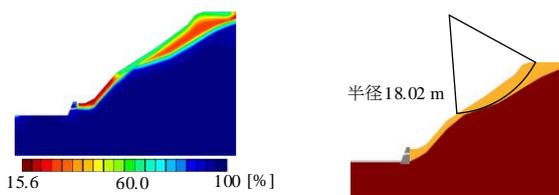
表-1 表層土の物性値

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



(a) 表層土 (b) 頁岩層

図-2 不飽和特性



(A) 飽和度分布 (B) すべり面

図-3 斜面内の飽和度分布と想定したすべり面

ており、斜面下部にのみ面工が施工されているため対策工効果を仮定してすべり面は斜面上部にあるとし、浸透流解析による飽和度分布から図-3のようにすべり面を決定した。今回検討した降雨は平成30年7月豪雨である。本稿では、須知観測所の降雨観測データによる検討結果を述べる。

#### 4. 解析結果と考察

図-4に須知観測所降雨データの安全率の経時変化を、図-5にスネークカーブを示す。図-4より、連続雨量は時間雨量2mm以下3時間継続することで0mmにリセットされているため、不連続な挙動を示す。しかし、斜面内に降雨は浸透するため、解析上この間も安全率は低下を続けている。一方、図-5よりスネークカーブは時間の経過とともにCLに接近している。これより、安全率とそれぞれの指標の推移を比較すると、連続雨量よりも、スネークカーブを用いる方がより斜面の安定状態を考慮できることがわかる。

今回、対象斜面の安全率は1以上であったが、これは、対象斜面の急峻な形状と、表層土の透水係数が大きさから斜面内の水分が長時間留まりにくかったためと考えられる。斜面内に水分が留まりやすいと、今回のような断続的な降雨であっても、斜面内水分の影響により飽和度が高い状態が維持され、降雨停止時の安全率の回復が小さくなる。安全率が十分回復しきらないうちに次の降雨が発生すると安全率が大幅に低下し

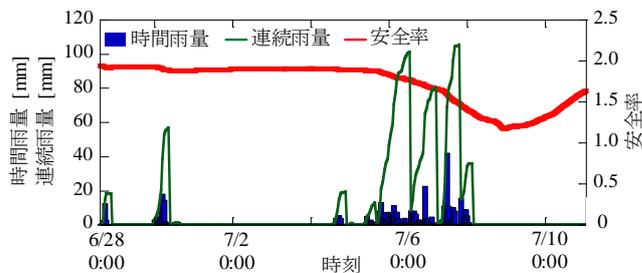


図-4 安全率の経時変化

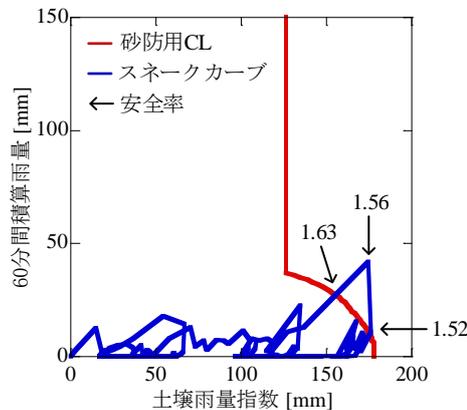


図-5 スネークカーブ上における安全率の推移

斜面が危険な状態となる可能性がある。対象斜面では、浸透した降雨の滞留時間が短く安全率が比較的早く回復し、大幅な安全率低下が発生しなかった。

また、図-5から須知観測所の降雨データは一時的に砂防用CLを超過していたが、その段階の斜面の安全率は常に1以上となっており、砂防用CLを超過した状態であっても斜面は安全であった。このデータをもとに、対策工効果を仮定した数値解析によるCL更新が可能であると考えられる。

#### 5. おわりに

本研究では、路斜面に対する対策工効果を仮定し、数値解析を行うことによるCL更新の妥当性を検討した。「きめ細やかかつ必要最小限の異常気象時通行規制」のためには、斜面の対策工の効果を考慮した道路用CLが必要である。

#### 参考文献

- 1) 国土交通省 道路局 国道・防災課 道路防災対策室：ゲリラ豪雨に対応した新しい事前通行規制の試行～災害捕捉率の向上と通行止め時間の適正化～，道路行政セミナー，2015.
- 2) 小山倫史：降雨特性に応じた道路通行規制のあり方に関する研究 研究成果報告書，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，2016.
- 3) 鶴澤祐人，小山倫史，李圭太，山田雅義，福山直紀：数値解析による国道沿いの斜面を対象とした雨量通行規制発令・解除の検討，土木学会第68回年次学術講演会，pp.249-250，2013.
- 4) 李 圭太，小山倫史，大西有三，古川秀明，小林猛嗣：越流を考慮した河川堤防の浸透破壊に対する応力-浸透連成解析，地盤工学ジャーナル Vol.4, No.1, 1-9.