

1. はじめに

日本各地では局地的な豪雨が多発して土砂災害が生じている。松尾ら¹⁾は降雨に伴う浅層斜面崩壊の予知を目指した研究手法を提案している。酒匂・北村²⁾はリアルタイムで斜面の安定性を定量的に評価するためには降雨浸透によって発生する浸透力を考慮する必要があることを指摘し、斜面安定解析に取り込む試みを行っている。本論文では、不飽和土中の浸透力、浮力を考慮した斜面安定解析手法を提案している。

2. 不飽和土中の浸透力について

浸透力とは、土中への浸透水の流れが土粒子に及ぼす力である。ある体積 V の飽和土中をある動水勾配 i で水が流れる場合の浸透力は次式のように表される。

$$J_{sat} = j \cdot V = \rho_w g \cdot i \cdot V \quad (1)$$

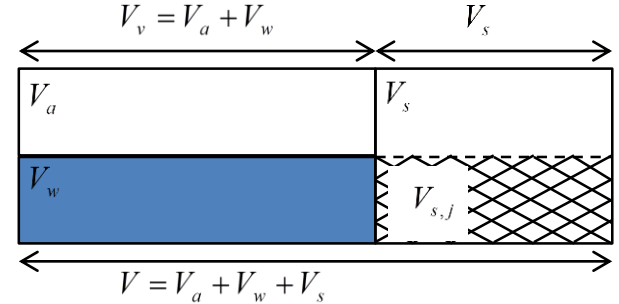
ここに、 J_{sat} :飽和土中の浸透力、 j :単位体積当たりの浸透力、 ρ_w :水の密度、 g :重力加速度、 i :動水勾配。

ここで、不飽和土中の浸透力について考えると、不飽和土中の水の流れは、飽和土と同様にピエゾ水頭差に依存おり、水が流れている部分における不飽和土中の単位体積当たりの浸透力は、飽和土中の単位体積当たりの浸透力の式と同じ式で表される。一方、不飽和土中では、間隙部分は水で占められている部分と空気で占められている部分が存在する。その為、水の流れによる影響は水が流れている周辺粒子にのみ作用していると考えられる。そこで、不飽和土の浸透力が作用する体積について考える。

図1は、不飽和土塊内の体積の割合を示している。浸透力が影響する体積 V_j が、土塊中の水の占める体積 V_w と、水と接触している土粒子の体積 $V_{s,j}$ の和であるとする、浸透力が影響する体積は、次式のように示される。

$$V_j = V_{s,j} + V_w \quad (2)$$

ここで、 V_j :浸透力影響体積。



V_s :土粒子の体積、 V_w :水の体積、 V_a :空気の体積、 $V_{s,j}$:水と接触する土粒子の体積。

図1 不飽和土塊内の体積の割合

間隙中の水の占める割合は、飽和度 S_r によって次式のように定義される。

$$S_r = V_w / V_v \quad (3)$$

水と接触する土粒子の体積 $V_{s,j}$ と、土粒子の体積 V_s の比は、飽和度と相関があると考えられる為、水と接触する土粒子の体積 $V_{s,j}$ は、次式で示される。

$$V_{s,j} = S_r \cdot V_s \quad (4)$$

(3)、(4)式を(5)式へ適用すると、次式が得られる。

$$V_j = S_r \cdot (V_s + V_v) = S_r \cdot V \quad (5)$$

(5)式より、不飽和土中の浸透力は、次式より求められる。

$$J_{unsat} = j \cdot V_j = \rho_w g \cdot i \cdot S_r \cdot V \quad (6)$$

3. 不飽和土中の浮力について

地下水位以深における浮力は、次式で示される。

$$P_v = \rho_w g V = \rho_w g (V_s + V_w) \quad (7)$$

(7)式において、土中における浮力は、土粒子の体積部分だけでなく、水の占める体積にも働く。(土の飽和重量が水の重さを含む為、浮力は水の体積に対しても働き、その差し引き分が有効重量となる。)

不飽和土中においても浮力が働くとすると、その体積は、水の占める体積と、水と接触している土粒子の体積の和に対して働くと考えられる。(3)、(4)、(5)式を(7)式へ適用すると、次式が得られる。

$$P_v = \rho_w g (V_s + V_{s,j}) = \rho_w g \cdot S_r V \quad (8)$$

4. Junbu の斜面安定解析について

本論文では、斜面安定解析手法として、非円弧のすべり面に対応できる極限平衡法の一つである Junbu 法を用いた。図 2 は、分割法におけるスライスに作用する力を示している。スライスにおける力の釣り合いから安全率の式が次式のように求められる。

$$F_j = \frac{\sum_{i=1}^n \left[\frac{cb_i + (W_i - \Delta V_i - P_i) \tan \phi + (J_{xi} \sin^2 \alpha_i + J_{zi} \cos^2 \alpha_i) \tan \phi}{(\cos^2 \alpha_i + \sin \alpha_i \cos \alpha_i \tan \phi / F_{ji})} \right]}{\sum_{i=1}^n [(W_i - \Delta V_i - P_i) \tan \alpha_i + J_{zi}]}$$
 (9)

ここで、 F_j :安全率、 l :すべり長さ、 W :スライスの自重、 V :スライス間力、 ϕ :内部摩擦角、 α :斜面の傾斜角、 b :スライス幅、 c :見かけの粘着力。

(9)式中の浸透力、浮力に対して(6),(8)式を適用することで不飽和状態の斜面の安定性を評価することができる。

5. 計算結果と考察

表 1 は、安定解析に用いた土質パラメーターと斜面形状を示している。図 3 は、不飽和状態における浸透力と浮力を考慮しない場合と、考慮する場合での安全率の変化を示している。また、以下の仮定を設けて計算を行った。

- ・見かけの粘着力は飽和度によって変化しない。
- ・斜面内の飽和度は一様になるとした。

図 3 より、従来の斜面安定解析の安全率は土塊の自重の増加によって安全率が低下しているが、新しく提案した斜面安定解析は、不飽和土中の浸透力と浮力の影響から、従来の安定解析の安全率を常に下回っている。また、飽和度が 100%時では、従来の斜面安定解析の安全率が急激に低下し、安全率が一致しているが、従来の斜面安定解析においては飽和時のみ浸透力及び浮力が考慮される為、新しく提案した安全率と同じ値を取っている。新しい斜面安定解析の手法が、降雨によって変化する斜面の安定性をより現実的に評価できているのではないかと考えられる。

6. おわりに

本論文では、浸透力と浮力を考慮した斜面安定解析法を提案した。今後は本解析手法の妥当性を検討していきたい。

謝辞: 本研究は、科学研究費(若手 A)(24686056,酒匂)の支援を受けた。ここに、謝意を示す。

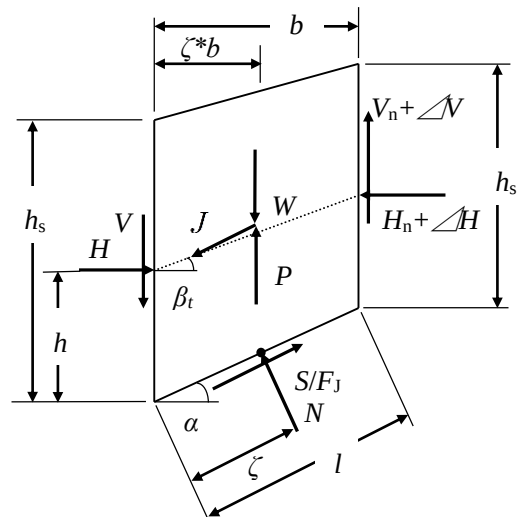


図 2 スライスに作用する力(体積力法)

表 1 土質パラメーターと斜面形状

資料	松本シラス
土粒子密度(g/cm ³)	2.4
間隙比	1.5
見かけの粘着力(kPa)	5
内部摩擦角(°)	30
斜面長(m)	10.0
斜面の傾き(°)	50.0
崩壊深さ(m)	1.0
スライス数	4

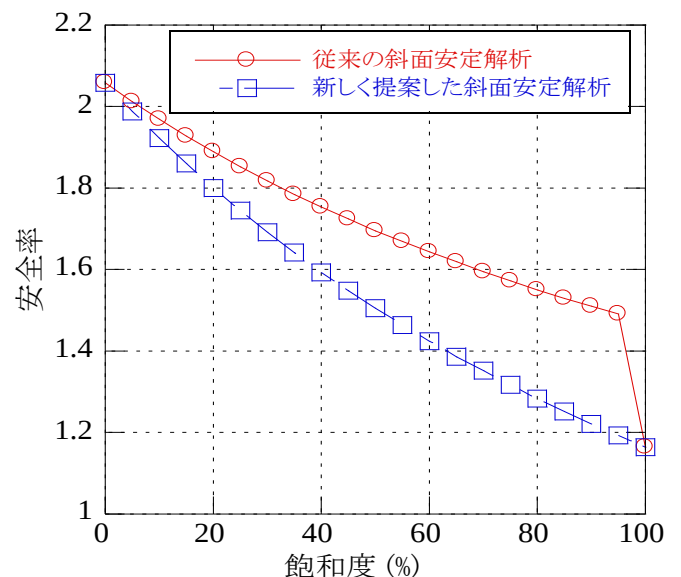


図 3 飽和度と安全率の関係

参考文献

- 1) 松尾和昌・酒匂一成・北村良介：斜面崩壊予知戦略—南九州シラス地帯を例として—、自然災害科学、21-1, pp.25-33, 2002, 2) 酒匂一成, 北村良介：浸透力を考慮した斜面安定解析手法の開発について、第 56 回土木学会年次学術講演会(第Ⅲ部), pp.698-699, 2001