

浸透力を考慮した斜面安定解析

鹿児島大学工学部 学生会員 ○田畑勝幸

鹿児島大学大学院 学生会員 E. T. Calo

鹿児島大学大学院 正会員 北村良介

1. はじめに

日本においては地球温暖化の影響の1つとして局地的な豪雨（いわゆるゲリラ豪雨）が多発している。豪雨のもたらす代表的な土砂災害として斜面崩壊が挙げられる。斜面崩壊は浅層斜面崩壊、深層斜面崩壊、中間型斜面崩壊に分類される。本稿では浅層斜面崩壊を対象としている。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示しており、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。本稿では、斜面の晴天時の低含水状態から降雨時の高含水状態への移行過程での浸透力の増加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の定量的評価

不飽和土中の動水勾配 i は次のように求められる³⁾。

$$i = -\frac{h_{piez}(z_1) - h_{piez}(z_2)}{z_1 - z_2} = -\frac{\Delta h_{piez}}{\Delta z} \quad (1)$$

飽和土での単位体積当たりの浸透力は次のように求められる⁴⁾。

$$j_{sat} = \rho_w g \cdot i \quad (2) \quad j_{sat} : \text{飽和土}$$

の単位体積当たりの浸透力。

飽和度を導入して式(2)を不飽和土に拡張すると、不飽和土に生じる単位体積当たりの浸透力は次のように表現できる⁴⁾。

$$j_{unsat} = \rho_w g \cdot S_r \cdot i \quad (3) \quad j_{unsat} : \text{不飽和土の単位体積当たりの浸透力、} S_r : \text{飽和度}$$

3. スライスでの浸透力の評価

図-1は、極限平衡法で用いられる分割法のスライスと座標軸を示している。スライス内の位置 (x, z) でのピエゾ水頭を $h_{piez}(x, z)$ と、x-軸、z-軸方向の動水勾配は式(1)より次のように求められる。

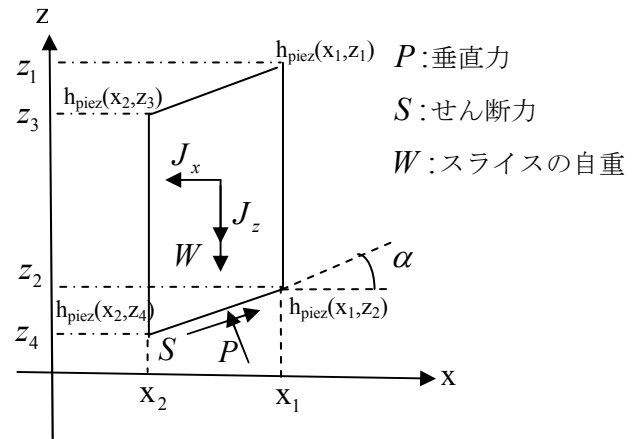


図1 スライスに作用する力

$$x \text{ 軸方向} : i_x(x, z) = \frac{\partial h_{piez}(x, z)}{\partial x} \quad (4)$$

$$z \text{ 軸方向} : i_z(x, z) = \frac{\partial h_{piez}(x, z)}{\partial z} \quad (5)$$

x-軸、z-軸方向の単位体積当たりの浸透力は式(3)より次のように求められる。

$$x \text{ 軸方向} : j_x = \rho_w g \cdot S_r \cdot i_x(x, z) \quad (6)$$

$$z \text{ 軸方向} : j_z = \rho_w g \cdot S_r \cdot i_z(x, z) \quad (7)$$

図-1に示されるスライスに式(6)、式(7)を適用すると次式が得られる。

$$x \text{ 軸方向} : J_x = \rho_w g \cdot S_r \cdot i_x(x, z) \cdot V \quad (8)$$

$$z \text{ 軸方向} : J_z = \rho_w g \cdot S_r \cdot i_z(x, z) \cdot V \quad (9)$$

J_x, J_z : スライスに作用する x-軸、z-軸方向の浸透力、 V : スライスの体積

斜面安定解析に(式8)、式(9)を導入することにより浸透力を考慮した斜面のリアルタイムでの安定性を評価することができる。

4. 浸透力を考慮した Janbu の斜面安定解析

本稿では、非円弧すべりに対応できる Janbu の斜面安定解析(簡易法)を用いている。鉛直、水平のつり合い式に浸透力を加えることで浸透力を考慮した Janbu の安全率の式を導く。

鉛直方向のつり合い式

$$P \cos \alpha + S \sin \alpha = W + J_z \quad (10)$$

水平方向のつり合い式

$$P \sin \alpha + J_x = S \cos \alpha \quad (11)$$

破壊条件式

$$S = (P \tan \alpha + cl) / F \quad (12)$$

式 (10) ~ (12) より浸透力を考慮した安全率 F_j は次のようになる。

$$F_j = \frac{\sum [(W + J_z) \tan \phi + cb] / \overline{m_a}}{\sum [(W + J_z) \tan \alpha + J_x]} \quad (13-1)$$

$$\overline{m_a} = \cos^2 \alpha (1 + \tan \alpha \tan \phi) / F_j \quad (13-2)$$

5. 数値計算結果

式 (13) を用いて計算された安全率 F_j と従来の Janbu 法で得られる安全率 F_s の比較検討を行った。

表-1、図-2 に示す土質パラメータ、斜面形状、スライス分割数を用い、式 (13) より安全率を算出した。それらの結果を表-2 に示す。

表-1 土質パラメータ

土粒子	しらす
土粒子密度 (g/cm ³)	2.37
間隙比	1.30
内部摩擦角 (°)	38.0
見かけの粘着成分 (kPa)	5, 2

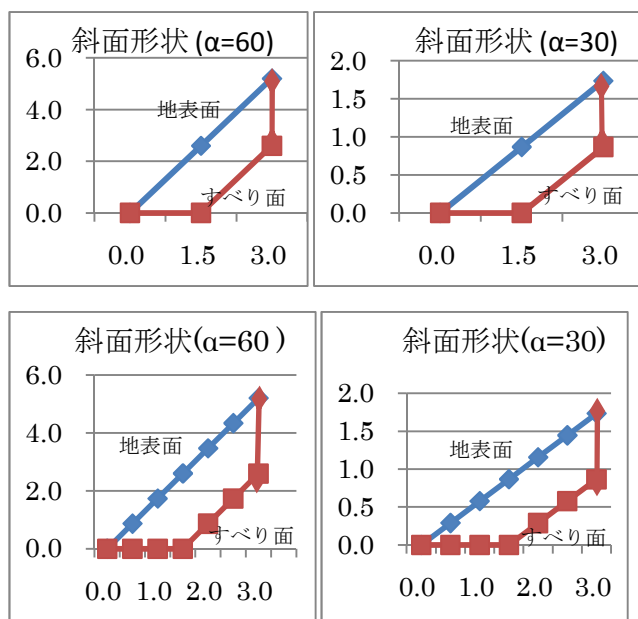


図-2 斜面形状とスライス分割数

表-2 計算結果

	$\alpha=60^\circ$	C=5 (kPa)	C=2 (kPa)
2-slice	Fs	1.328563662	1.121295379
	Fj	0.958828425	0.831121734
6-slice	Fs	1.328563662	1.121295379
	Fj	0.560843290	0.496017933

	$\alpha=30^\circ$	C=5 (kPa)	C=2 (kPa)
2-slice	Fs	3.660090672	2.768920376
	Fj	2.343400339	1.952597367
6-slice	Fs	3.660090672	2.768920376
	Fj	1.357897885	1.180714528

得られた結果をまとめると次のようになる。

- ・浸透力を考慮すると安全率は低下する。
- ・見かけの粘着成分を低下させると安全率は低下する。
- ・浸透力の影響は傾斜が 60 度の斜面よりも、30 度の斜面が大きい。
- ・2 スライスと 6 スライスとでは、浸透力を考慮しない場合では安全率は変化しない。
- ・浸透力を考慮した場合の安全率は 2 スライスに比べ 6 スライスが大きく低下した。

6. まとめ

- ・浸透力を考慮することで斜面の安定性をリアルタイムで評価することができる。
- ・浸透力の影響、見かけの粘着成分の変化、スライスの個数による安全率の変化をみることができた。
- ・厳密解と簡易解での安全率の比較を行う。
- ・様々な条件下(見かけの粘着成分、スライスの個数等)での安全率の変化を調べる。

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,
- 3) 北村良介、田畑勝幸、福原徳一郎：浸透力を考慮した斜面安定解析手法の提案、日本災害学会第 29 回年次学術講演会、pp. 195-196 4) 山口柏樹：土質力学、技報堂、pp. 81-84、1984。