

1. はしご

谷頭の斜面が、豪雨時に崩壊して、土石流の原因になることが多い。この場合の崩壊の要因に斜面内での浸透勾配の増加、浸透に伴う質量力の増加及び抵抗力の減少があげられる。土砂の厚さが一律な斜面では、局所的浸透勾配が増加することは必ずしも期待できないが、谷頭で崩壊例が多いのは、谷頭に発達する堆積斜面では、浸透水は層内を一律に浸透するのではなく、層内に形成されるいくつかのパイプ状の水みちを排水され、かつこの水みちが基岩と堆積物の境界付近に存在すること、及び基岩の勾配が徐々に変化し、斜面の法線付近で、排水能力が低下して、斜面内に浸透勾配の増加を起し易いと予測できる。

著者の実験の結果から、浸透圧によって斜面が崩壊し、それが土石流になるのは、

- 1) 斜面の一部が浸透圧によって、集団して、滑り面を生じて滑動する、または一部が浸透圧によって内部流動を起して流路に入る

- 2) 流路に入った土塊が水圧によって内部流動を起して流動化する

かである。結局、滑り面を起して、集団して流動する型と、内部流動を生じる2つに集約される。

2. 浸透水の不均一が極限平衡時に果たす役割

浸透圧がないとき安定な斜面に、どの程度の浸透圧が作用すると不安定になるかを考察する。斜面の形、土質の不均質のとき、堆積層内の応力は一定でなく、すべり面の形も一定でない。堆積層内の応力が一律でない斜面のすべり面を厳密に解く方法には、Morgenstern-Price法、Spencer法があるが、いずれも未知関数が境界条件を満たすように数値解析する必要があり、求める値を簡単に得る形に表すことが難しい。本文は、滑り土塊の中心とモーメントの中心において未知関数を一つ減らして、地震力による斜面の安定を論じたSermaの手法を用いて、細分土塊の側壁に作用する水圧が、土塊の安定限界に及ぼす影響を評価した。

図1に示す土塊の崩壊の限界を考える。すべり面から上の土塊は、浸透圧が作用していないとき安定で、浸透圧がすべり土塊の一部に作用したとき限界になるとする。

この場合、満たされなければならない条件は

- a) 各フラスでの水平方向の力の平衡
- b) 各フラスでの鉛直方向の力の平衡
- c) 各フラスでのモーメントの力の平衡
- d) すべり土塊全体での水平方向の力の平衡
- e) すべり土塊全体での鉛直方向の力の平衡
- f) すべり土塊全体でのモーメントの平衡

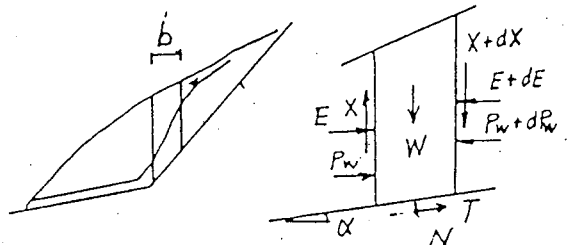


図1

である。すべり面に作用するせん断力 T とは、まさつ角を ϕ 、 U を開きき水圧、 C を粘着力として、

$$T = (N_u - U_i) \tan \phi_i + c b \cdot \sec \alpha_i \quad (1)$$

で、スライスに作用する水平方向の力は

$$\Delta P_w = -\Delta X_i \cdot \tan(\phi_i - \alpha_i) - \Delta E_i + D_i \quad (2)$$

ただし、 $D_i = W_i \tan(\phi_i - \alpha_i) + (C_i \cos \phi_i - R_i W_i \sin \phi_i) (\sec \alpha_i / \cos(\phi_i - \alpha_i))$ (3)
と表される。したがって、極限状態では、

$$\Delta P_{wc} = \sum D_i - \sum \Delta X_i \tan(\phi_i - \alpha_i) - \Delta E_c \quad (4)$$

全体 α 土塊 α モーメントの平衡は、滑動土塊の重心 x_g, y_g にとると、

$$\sum (T_i \cos \alpha_i + N_i \sin \alpha_i) (y_i - y_g) + (\Delta E_i - \Delta P_w)_c (y_i - y_g) + \sum (N_i \cos \alpha_i + T_i \sin \alpha_i) (x_i - x_g) = 0 \quad (5)$$

式(1)(2)(5)を用いると、

$$\begin{aligned} \sum \Delta X [(y_i - y_g) \tan(\phi_i - \alpha_i) + (x_i - x_g)] + (\Delta E_i - \Delta P_w)_c (y_i - y_g) \\ = \sum W_i (x_i - x_g) + \sum D_i (y_i - y_g) \end{aligned} \quad (6)$$

となる。いま、 $\Delta X_i = \lambda F_i$

とおくと、式(6)(7)は次のように書き直せる。

$$\Delta P_w = \sum D_i - \lambda \sum F_i \cdot \tan(\phi_i - \alpha_i) \quad (8)$$

$$\lambda = \{ \sum W_i (x_i - x_g) + \sum D_i (y_i - y_g) \} / \{ \sum \Delta X_i [(y_i - y_g) \tan(\phi_i - \alpha_i) + (x_i - x_g)] + (\Delta E_i - \Delta P_w)_c (y_i - y_g) \} \quad (9)$$

この ΔP_w が滑動を引き起こす限界の水圧となる。

F_i を与えると式(8)(9)より λ と ΔP_w を求めることが出来る。式(3)において、法線では $E = X = 0$ の条件から、各スライスの X と E が求められる。この結果の ΔX_i を用いて、 λF_i を求めることができる。 E の作用点は、各スライスについて α モーメントの平衡より求める。この計算を繰り返すことにより、限界状態における ΔP_w を求めることができる。この方法を求めたすべり面の例は図2のとおりで、最初のすべり角 α のきめ方でいくつかのすべりが生じる。この解析によると、これらの滑りは全て極限状態にある。これはあらかじめ α の与え方によつて変わる。図3は、それぞれ α のり面勾配 θ と摩擦角 ϕ が与えられたとき、縦軸上で θ の横切る範囲内で滑りが生じる。細線と粗線、太線は浸透圧が作用している場合で、乾燥時に対して、 α が小さい部分で滑りが生じることを示している。ただし図3のうち、どの滑りが生じるかについての検討が残されている。

3. 流路中に入、土塊の内部破壊による流動化

河道中に入、土塊の背後に水が貯まり、これが流動化するケースは、1)堆積上を水が流れる場合と水圧によって内部ひずみを生じて流動化する場合である。1)は、従来の堆積物上を水が流れるときに土石流が生じる式を流用すれば良い。2)については次のように考える。水平面から β の斜面内の土の釣合ひ式は、 $(\partial T_x / \partial x) + (\partial T_{xy} / \partial y) = \gamma_s \sin \beta$, $(\partial T_{xy} / \partial x) + (\partial \sigma_y / \partial y) = \gamma_s \cos \beta$ (10)
条件として、 $\tau = (\sigma + H) \tan \phi$, $H = C \cdot \cos \phi$: C : 粘着力

$$\frac{1}{4} (\sigma_x - \sigma_y)^2 + \tau_{xy}^2 = (\sin^2 \phi / 4) (\sigma_x + \sigma_y + 2H)^2 \quad (11)$$

となる。 σ_x, σ_y は、 $\sigma_x = ax + bz$, $\sigma_y = cx + dz$ と仮定し、ダム設計と同じように両端の条件を満たすように定数を定めると、堆積物応力状態を求めることができる。それとこの土圧条件とを比較することによって、すべり面を得る。なおこの研究は文部省料研「森林の土砂災害防止機能に関する研究」代表者山に教授の補助を受けたことについて謝意を表する。

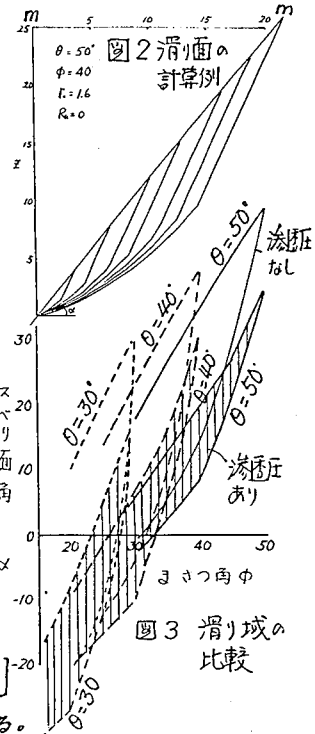


図3 滑り域の比較