II-107　浸透水圧による斜面の安定限界

立命館大学　理工学部　正員　大同　淳之

１．はしがき　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および抵抗力の減少があげられる、土砂の厚さが一様な斜面では、局所で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、浸透水は層内を一様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で排水され、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、および基岩の勾配が徐々に変化し、斜面の法先付近で、排水能力が低下して、斜面内に浸透勾配の増加を起こし易いと予測できる。観測によると、こうした場合、斜面にひびわれが生じ、そこに水が貯水して、土塊に水圧を与え、崩壊にいたるとされている。

そこで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考察する。斜面の形、土質が不均質のとき、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様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、いずれも未知関数をを境界条件をみ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、厳密性を失わずに計算機を必要とせずに安定を検討しうる 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。

２．浸透水の不均一が極限平衡時に果たす役割

図１に示す土塊の崩壊の限界を考える、すべり面からうえの土塊は、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分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)　各クラスでの水平方向の力の平衡

b)　各クラスでの鉛直方向の力の平衡

c)　各ク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

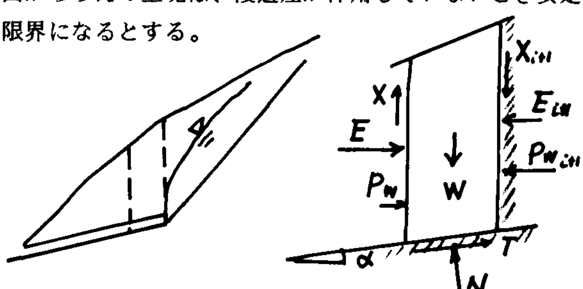

図１

である。仮想すべり面から上の部分のスライスに作用する力を、浸透が進んできて、スライスの側面に作用する水圧が片面にのみあるような場合については、図１に示すように、鉛直および水平方向の釣合は

$$N_i\cos\alpha_i + T_i\sin\alpha_i = W_i - \Delta X_i \tag{1}$$

$$T_i\cos\alpha_i + N_i\sin\alpha_i = \Delta E_i + \Delta P_w \tag{2}$$

また、すべり面に作用するせん断力 T_i は、まさつ角を ϕ、U を間げき水圧、C を粘着力として、

$$T_i = (N_i - U_i)\tan\phi_i + cb\sec\alpha_i \tag{3}$$

より、式(5) で規定される N_i, T_i は

$$N_i = \{-c_i b_i \tan\alpha_i + W_i(1 + R_u\tan\alpha_i\tan\phi_i)\}\frac{\cos\phi_i}{\cos(\phi_i-\alpha_i)} - \Delta X\frac{\cos\phi_i}{\cos(\phi_i-\alpha_i)} \tag{4}$$

$$T_i = \{c_i b_i + W_i(1-R_u)\tan\phi_i\}\frac{\cos\phi_i}{\cos(\phi_i-\alpha_i)} - \Delta X\frac{\sin\phi_i}{\cos(\phi_i-\alpha_i)} \tag{5}$$

となり、スライスに作用する水平方向の力は

$$\Delta P_w = -\Delta X_i \tan(\phi_i-\alpha_i) - \Delta E_i + D_i \tag{6}$$

ただし、

$$D_i = W_i \tan(\phi_i-\alpha_i)+(cb\cos\phi_i - R_u W_i \sin\phi_i)(\sec\alpha_i / \cos(\phi_i-\alpha_i)) \tag{7}$$

と表される。したがって、極限状態では、

$$\Delta P_{wk} = \Sigma D_i - \Sigma \Delta X_i \tan(\phi_i-\alpha_i) - \Delta E_k \tag{8}$$

ここにk は限界を求める領域の表面と表される。ちなみに、スライスが等質に湿潤状態のときは、ΔP_wは土圧Eによせて、E' = E + P_w とすることで表され、式(6),式(7) はそれぞれ、

$$D_i = \Sigma \Delta X_i \tan(\phi_i-\alpha_i) + \Delta E' \tag{9}$$

$$D_i = W_i' \tan(\phi_i-\alpha_i) + (cb\cos\phi_i - R_u W_i' \sin\phi_i) \frac{\sec\alpha}{\cos(\phi_i-\alpha_i)} \tag{10}$$

また土塊の重量が、空気中重量 W と湿潤重量 W' の部分からなるときは、

$$\Delta P_w = D_i - \Delta X_i \tan(\phi_i-\alpha_i) - D_i \tag{11}$$

ただし、 $$D_i = (W_i+W_i')\tan(\phi_i-\alpha_i) + (c_i b_i \cos\phi_i - (W_i+W_i') \varepsilon R_u \sin\phi_i) \frac{\sec\alpha}{\cos(\phi_i-\alpha_i)} \tag{12}$$

ε; 間隙水圧の補正係数、となる。

全体の土塊のモーメントの平衡は、滑動土塊の重心にとると、

$$\Sigma(T_i(\cos\alpha_i - N_i \sin\alpha_i)(y_i-y_g) + (\Delta E_i - \Delta P_w)_k (y_k-y_g) + \Sigma(N_i \cos\alpha_i + T_i \sin\alpha_i)(X_i-X_g) = 0 \tag{13}$$

式(4),(5),(6) を用いると、

$$\Sigma \Delta X_i [(y_i-y_g)\tan(\phi_i-\alpha_i)+(X_i-X_g)] + (\Delta E_i - \Delta P_w)_k (y_k-y_g) = \Sigma W_i (X_i-X_g) + \Sigma D_i (y_i-y_g) \tag{14}$$

となる。いま

$$\Delta X_i = \lambda F_i \tag{15}$$

とおくと、式(6),(15)はつぎのように書き直せる。

$$\Delta P_w = \Sigma D_i - \lambda \Sigma F_i \tan(\phi_i-\alpha_i) \tag{16}$$

$$\lambda = \{\Sigma W_i (X_i-X_g) + \Sigma D_i (y_i-y_g)\} / \Sigma \Delta X_i [(y_i-y_g)\tan(\phi_i-\alpha_i)+(X_i-X_g)] + (\Delta E_i - \Delta P_w)_k (y_k-y_g) \tag{17}$$

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(17),(18)よりλとΔP_wを求めることが出来る、式(6) において、法先では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をきめることができる。Eの作用点は、各スライスについての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って、限界状態におけるΔP_wを求めることができる。

さきにふれた谷頭の堆積の浸透水圧による滑動は、法尻においてE,X が0 である。従って、水平方向のみ安定条件で、流動により必要なΔP_wは、土塊の先端か0 で、はしでH の大きさをもつものと仮定すると、

$\Delta X_i (\Delta E_k - \Delta P_{wk}) \tan\phi_i + C_i H$,　　$E_k = (\gamma_s/2) kH^2$,　　k,土圧係数

$W = (\gamma_s bH)/2$

とおくことによって、式(6) より求めることができる。

1) Morgenstern & Geotechnique ; 15,No.1 (1965), (2) Supencer ; Geotechnique,17,No.1 (1967)
3) Sarma ;　　Geotechnique,23,No.3 (1973)