

II-105 浸透を受ける土塊の安定限界

立命館大学大学院 学生員 市川 滋己
立命館大学理工学部 正 員 大同 淳之

1 はしがき 崩壊土砂が河道を埋め、背後の水の浸透圧で崩壊する場合、あるいは盛土が浸透圧で崩壊する場合の安定限界を求める方法は種々の方法があるが不静定の問題のため、何かを仮定して解を求める必要がある。本研究の一つは、外水位の時間的変動によって、土塊内の浸透圧が変化する場合について、浸透圧を受ける土塊の不安定領域を求めるため、種々の境界条件について土塊内の応力は境界条件を満足する直線分布と仮定して、せん断応力がせん断抵抗を上回る部分を不安定領域とするもので、もう一つは分割法で、分割した部分の表面に作用するせん断力が直応力の関数であると仮定して静定化した式の解を求め、両者を比較してそれらの妥当性を検討した。

2 外水位の変化による浸透圧の時間的変化 外水位の変動に伴う土塊内の水位の時間的変化によって生じる外力の時間的変化は小さいと解析された。非定常浸透に対する安定を種々の境界条件の下での定常解を境界条件の変化に合わせてスライドしても、大きな違いがないと思われる。

3 定常浸透下における土塊の安定

3-1 三角形崩土内の応力分布の表示

x 軸を河床と平行にとった座標系を考える。微少要素に作用する力のつり合い式をたてると以下の2式を得る。

$$\frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} = R \cdot \sin(\psi + \theta) \quad \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} = R \cdot \cos(\psi + \theta) \quad (1)$$

ここに R は土塊に作用する外力の合力、 ψ はその合力方向の鉛直からの角度、 θ は河床の傾きを示す。

微少要素に作用する応力を x, y の一次式で表すことができるとすると

$$\sigma_x = a x + b y, \quad \sigma_y = c x + d y, \quad \tau_{xy} = e x + f y \quad (2) \text{ となる。}$$

そしてさらに三角形崩土の上流端、下流端での境界条件から 4 式を得て、前出の 2 式とあわせ、3 式中の 6 つの係数を求め、応力式を決定した。

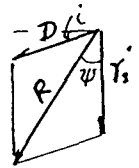


図1 浸透力と重力の合力

境界条件は、土塊表面の湛水の有無により、A；上流側にあつて、下流側でない場合、B；上下流側共にある場合（上下流で水位差はある）、C；上下流側共にない（ただし、解析上ゼロに近い程度の水圧を与えている）、さらにD；上流側に湛水があつて、浸透の前面が土塊内部にある場合（浸透前面の形状は2の解析から直線状と近似した）の4つのケースについて準備した。a～f についての値の1例をAのケースについて示す。

$$\begin{aligned} a &= -m^2 c + 2md - \phi_2 & b &= -2m^3 c + 3m^2 d + \phi_1 - 2m\phi_2 \\ c &= (n+3m) d / 2m^2 - \{ \phi_3 - \phi_1 + 2(m+n)\phi_2 \} / 2m^2 (m+n) \\ d &= - \{ (m-n) (\phi_3 - \phi_1) - 2(m^2 \phi_4 + n^2 \phi_2) \} / (m+n)^3 \\ e &= R \cos(\psi + \theta) - d & f &= R \sin(\psi + \theta) - a \end{aligned} \quad (3)$$

$$\phi_1 = M_1 + m M_2, \quad \phi_2 = m M_1 + M_2, \quad \phi_3 = \alpha N_1 + n N_2, \quad \phi_4 = \alpha n N_1 + N_2$$

この応力 $\sigma_x, \sigma_y, \tau_{xy}$ より主応力度 σ_1, σ_2, τ を求めて、この主応力度 σ_1, σ_2, τ も同様に x, y で表せるので応力度を y つまりは深さで表現するものとした。

3-2 安定、不安定領域とすべり面の決定

安定、不安定領域の決定には外力によるせん断力 τ と主応力 σ_1 によるせん断抵抗力 τ_v の等応力分布の位置関係を用いる。 $\tau_{max} > \sigma_1 \tan \phi$ の領域がスベリを起こすとみられ、この両者の曲線の交叉するところがスベリ面の位置を示すものと考えられる。

3-3 解析の結果と考察

実験による観察例による値、 $m=1.0, n=1.5, \psi=13.9^\circ$ について計算したせん断力 $\sigma_1 \tan \phi$ と τ_{max} の比較を図2に示す。交点を結んだ線をスベリ面と記入した。

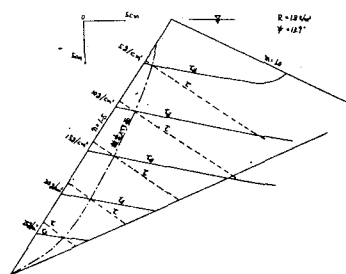


図2 応力分布の計算結果

4 分割法による解析

図3の分割された細片に図示の力が作用するとしたとき、この問題は未知数に対して式の数が $2n-1$ コ不足な不静定の問題である。ここでは X と N との間に、 $X = (E - PW) \tan \phi + cd$ と $(n-1)$ コの式、 N の作用点が細片の中心にあるとして静定化した。その結果、浸透がない、及び浸透があるときの安全率 F はそれぞれ次式のようになる。

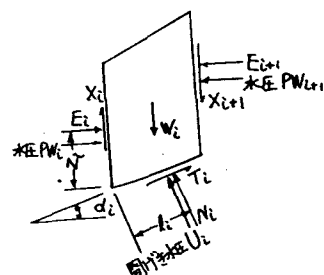


図3 分割された細片に作用する力

$$F = - \frac{k_1 + k_2 + \dots + k_i + \dots + k_n}{g_1 + g_2 + \dots + g_i + \dots + g_n}$$

ここに

浸透がないとき

$$k_i = \frac{-C \cdot b_i \cdot \sec \alpha_i \{ (\cos \alpha_i + \tan \phi_i \sin \alpha_i) \sin \alpha_i + (\sin \alpha_i - \cos \alpha_i \tan \phi_i) \cos \alpha_i \}}{\tan \phi_i (\cos \alpha_i + \tan \phi_i \sin \alpha_i) + (\sin \alpha_i - \cos \alpha_i \tan \phi_i)}$$

$$g_i = \frac{(\cos \alpha_i + \tan \phi_i \sin \alpha_i) \{ W_i + C (d_{i+1} - d_i) \}}{\tan \phi_i (\cos \alpha_i + \tan \phi_i \sin \alpha_i) + (\sin \alpha_i - \cos \alpha_i \tan \phi_i)}$$

浸透があるとき

$$k_i = \frac{(U_i \tan \phi_i - C \cdot b_i \cdot \sec \alpha_i) \{ (\cos \alpha_i + \tan \phi_i \sin \alpha_i) \sin \alpha_i + (\sin \alpha_i - \cos \alpha_i \tan \phi_i) \}}{\tan \phi_i (\cos \alpha_i + \tan \phi_i \sin \alpha_i) + (\sin \alpha_i - \cos \alpha_i \tan \phi_i)}$$

$$g_i = \frac{(\cos \alpha_i + \tan \phi_i \sin \alpha_i) \{ W_i - PW_{i+1} \tan \phi_{i+1} + PW_i \tan \phi_i + C (d_{i+1} - d_i) \}}{\tan \phi_i (\cos \alpha_i + \tan \phi_i \sin \alpha_i) + (\sin \alpha_i - \cos \alpha_i \tan \phi_i)}$$

そこで、この式を用いて図4の実験例について安全率を求めると浸透がないときは $F=1.174$ 、浸透があるときは $F=0.417$ となり、浸透圧によって、安全率が急に低下することが示された。

5 むすび

非定常浸透を受ける土塊の安定性を求めるとき、浸透速度はあまり大きくないため、疑似定常であるとして考察した。

浸透を受ける土塊の不安定領域を求めるため、土塊内の応力分布を、境界条件を満たす直線分布であるとして求め、これよりせん断抵抗を上回るせん断力の生ずる領域を求めることで不安定領域を決めた。

一方、分割法で、 E と X との間の関係と N の作用点を仮定することによって静定化し、安全率を求める式を導いた。後者の式で3で求めた領域を検査すると、両者がほぼ一致することが示された。

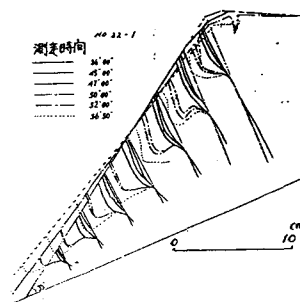


図4 浸透によるクリープ崩壊の
実験における観察例