

非定常浸透を受ける土塊の安定限界

立命館大学理工学部 正 員 大同淳之
立命館大学大学院 学生員 〇市川滋己

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、あるいは盛り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強さを上回る部分を求めることによって、不安定領域を求めたものである。

2 土塊内の非定常浸透の挙動

土塊内の浸透水の挙動は、浸透流の方向が河床勾配と平行とし、初期水位がないとき

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} - \frac{1}{gH} \frac{\partial^2 h}{\partial t^2} - \frac{n}{kH} \frac{\partial h}{\partial t} = 0 \quad (1)$$

で表される。ここに k は透水係数、 n は有効間げき率である。土塊内の浸透現象の伝播速度をオーダーを見積るため、外水位を $H_0 \sin \omega t$ で変動させたとき、土塊内の浸透の伝播速度 $\bar{v}$ は $\bar{v} = \bar{c} = \sqrt{\frac{1}{2gH_0} + \frac{1}{2} \sqrt{\frac{1}{gH_0} + \left(\frac{n}{\omega^2 H_0}\right)^2}}$ となり、 10^{-4} cm/sec 程度の大きさで、その速度は緩慢である。また急に上流側を水位 H だけ上昇させたときの浸潤面の進行速度もほぼ同じオーダーである。したがって、非定常の浸透についての安定の検査は、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いても、大きな違いはないと思われる。

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釣合い式をたてると以下の2式を得る。

$$\frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} = R \cdot \cos(\psi + \theta), \quad \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} = R \cdot \sin(\psi + \theta) \quad (2)$$

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 $\sigma_x = ax + by, \sigma_y = cx + dy, \tau_{xy} = ex + fy$ (3) 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。

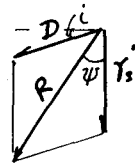


図1 浸透力と重力の合力

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、下流側がない場合、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。

Atsuyuki DAIDO, Shigeki ICHIKAWA

$$\begin{aligned}
 a &= -m^2 c + 2md - \phi_2 & b &= -2m^3 c + 3m^2 d + \phi_1 - 2m\phi_2 \\
 c &= (n+3m) d / 2m^2 - \{ \phi_3 - \phi_1 + 2(m+n)\phi_2 \} / 2m^2 (m+n) \\
 d &= - \{ (m-n)(\phi_3 - \phi_1) - 2(m^2\phi_4 + n^2\phi_2) \} / (m+n)^3 \\
 e &= R \cos(\psi + \theta) - d & f &= R \sin(\psi + \theta) - a \\
 \phi_1 &= M_1 + mM_2, \quad \phi_2 = mM_1 + M_2, \quad \phi_3 = \alpha N_1 + nN_2, \quad \phi_4 = \alpha nN_1 + N_2 \\
 M_1 &= \cos\theta - m\sin\theta, \quad M_2 = R \{ m\cos(\psi + \theta) - \sin(\psi + \theta) \} \\
 N_1 &= n\sin\theta + \cos\theta, \quad N_2 = R \{ n\cos(\psi + \theta) + \sin(\psi + \theta) \}
 \end{aligned} \tag{4}$$

この応力 σ_x , σ_y , τ_{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 の等応力分布線の位置関係を用いる。応力は深い位置にのほうが大きくなるので同じ大きさの応力線があると浅い位置にある応力線のほうが同じ深さでは大きな応力を持つこととなる。また、応力線の交点は安全率が1.0となる点であるから、この交点を結んだものをすべり面とみなすことができる。

3-3 解析の結果と考察

図-2は実験による観察結果(図-3)と同じ様な条件を用いて行ったケースAの一つの例の解析結果である。すべり面の方向は、主応力の作用する方向より、主動のとき $+(\pi/4 - \phi/2)$ 、受動のときは $-(\pi/2 - \phi/2)$ 偏った方向とした。実験による観察例による値、 $m=0.5$, $n=1.0$, $\psi=13.9^\circ$ 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、 $\tau_{max} = \sigma_1 \tan\phi$ を上回る領域がすべりを起こすとみられ、この両者の曲線の交叉するところがすべり面の位置を示すものと考えられる。一方、上述の方法で求めたすべり面の方向、図3は、ほぼこのすべり面の方向と一致することを示している。図4は実験水路において測定した浸透によるすべりの領域は、これらの計算ともほぼ一致する。

4 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えてよい。

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。この結果はほぼ実験と一致することが見いだされた。

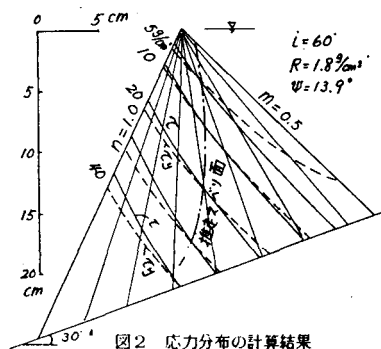


図2 応力分布の計算結果

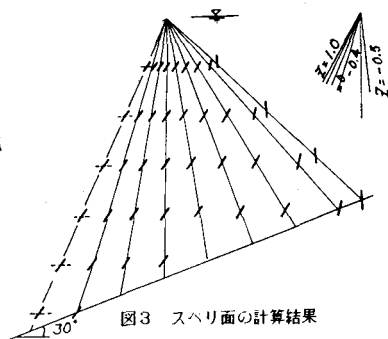


図3 すべり面の計算結果

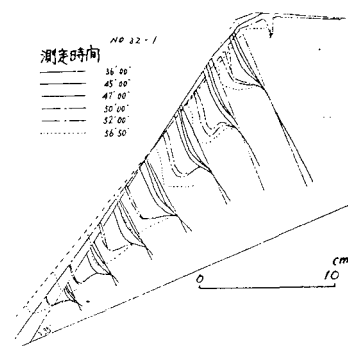


図4 浸透によるクリープ破壊の実験における観察例