

1. はじめに

降雨（浸透）に伴う地下水流の形成・発達には斜面不安定化をもたらす大きな要因の一つである。この地下水流の影響を考慮した斜面問題については、土塊の安全率などを検討した静的問題が多く、破壊時の運動など動的問題を取り上げた研究事例は極めて少ない。鈎合破壊後の土塊の運動については構成材料の強度特性、入力条件のほかにすべり面の形状によっても大きく影響をうける。本稿では、円弧すべり面を有する土塊が降雨浸透による地下水位の上昇とともに不安定化して移動する現象を想定した数値計算を試み、その移動特性を検討してみた。

2. 地下水流と滑り土塊の運動モデル

2.1. 地下水流の発達式 前報(1986)で斜面内の地下水流の発達を解析解（近似解）と数値解の両面から検討しているが、急勾配斜面内を流れるという条件から導いた近似式(1),(2)によれば図1に示すように地下水流は斜面上部の定常域と斜面中・下部の平行流上昇域からなる形状を示す。

$$H=R \cdot x / (k \cdot \sin \theta) \quad (x < k \sin \theta \cdot t / \lambda, \quad x < x_0) \quad (1)$$

$$H=Rt / \lambda \quad (x > k \sin \theta \cdot t / \lambda, \quad t < t_0) \quad (2)$$

ここで、 θ は斜面勾配、 k は透水係数、 H は水位、 λ は有効空隙率、 x は斜面上端からの距離、 t は時間 R は降雨強度である。 x_0, t_0 はそれぞれ地下水流が斜面表面に達する位置並びに時間である（土層の厚さに依存する）。与える係数の大きさにもよるが地下水流発達初期や長大斜面の場合には(2)式に示されるように斜面に平行な流れを示すものとして考えても良さそうである。この平行流の水位上昇率は降雨強度に比例し、有効空隙率に反比例する形をとっている。以下ではこの(2)式を用いて計算する。

2.2 円弧滑り面を有する土塊の運動モデル 図2に円弧滑り面を持つ土塊の運動を考える。地下水流の発達によりこの土塊が不安定化して移動する場合、この運動は円の中心 o を軸とする剛体の回転運動と見なすことができる。この運動の基本方程式は次式のようなになる（森脇、1983）。式の符号は時計回りの方向を負とする。

$$I \frac{d^2 \alpha}{dt^2} = -M_s + M_f + M_c \quad (3)$$

ここに、 I : 慣性モーメント、 α : 土塊の中心位置と円の中心 o を結ぶ直線が o を通る鉛直線となす角度（ラジアン）、 t : 時間、 M_s : すべりを起こそうとする力のモーメントの和、 M_f : 摩擦抵抗力のモーメントの和、 M_c : 粘着抵抗力の和である。

すべりに対する抵抗力として、中立応力を考慮した破壊基準式を用いることにする（内部摩擦角、粘着力は一定。但し、地下水位が上昇して土が飽和する部分は粘着力が零になるとした）。(3)式の慣

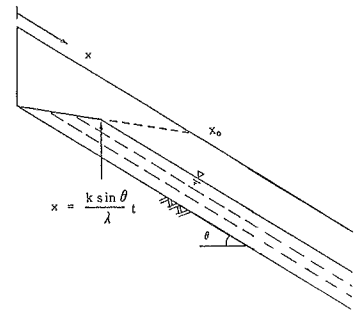


図1 近似解による地下水流

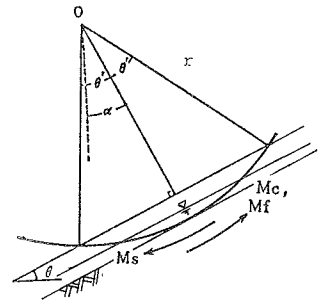


図2 滑り土塊の運動モデル

性モーメントは地下水位の上昇とともに土塊の密度が位置的・時間的に変化するため地下水位の関数として入力する必要がある。また土塊が回転するとともに地下水流の形が変化するが、移動しても地下水面形は基盤の不透水層に平行な形を保つものと仮定した(以上数式省略)。但し、移動量が大きくなると土塊が斜面から飛び出す形になるため、このモデルでは移動初期の運動に限られている。

3. 数値計算例と考察

図3に上記のモデルにしたがって求めた時間一移動量の計算結果の一例を示す。数値計算に使った斜面モデルは、斜面勾配 40° 、土厚厚 0.5m 、円弧の角度 $2\theta = 50.5^\circ$ 、円弧の半径 6m 、有効空隙率 $\lambda 0.177$ 、湿潤土層の密度 1.74g/cm^3 である。降雨強度は $50, 100\text{mm/h}$ の2条件である。土の強度については、条件aとして摩擦のみ(内部摩擦角 $\phi = 38.08^\circ$)の場合、ただし、この土塊の安全率 FS は計算開始時($t=0$)で 1.00 となっている。条件bでは摩擦力のほかに粘着力(内部摩擦角 $\phi = 38.08^\circ$ 、粘着力 $c=0.001\text{t/m}^2$)を考慮している。条件bでは計算開始時の安全率 FS は 1.002 となっており、降雨開始後(地下水上昇後)土塊の安全率が 1.0 以下になるまですぐには移動しない。どちらも時間の経過とともにほぼ同じ形態を示しながら移動量は増加し続ける。降雨強度が大きくなれば移動量の増加も大きくなる傾向を示している。

一方、移動速度のほうは多少異なっている。図4は移動開始後、同一時間経過のところで速度の変化を比較したものである。移動速度も時間経過とともに増加する傾向を示しているが、条件a,bとも速度の増減を繰り返していることがわかる。特に粘着力を有する条件bでは振動の振幅が大きく、

速度の増減は激しい結果となっている。円弧型のすべり面を持つ土塊は移動することにより土塊の抵抗力が増加し、停止しようとする力が働くことによる。降雨強度が大きくなれば振幅も大きくなり、平均移動速度も大きくなっている。次の機会には実験による検証を行いたい。

<参考文献> (1)森脇寛(1986):急勾配斜面内の地下水流発達と斜面崩壊。昭和61年砂防学会研究発表会砂防学会研究発表会概要集、320-329。(2)森脇寛(1983):極限平衡破壊後の円弧型地すべり土塊の運動について。地すべり、20-2、22-27。

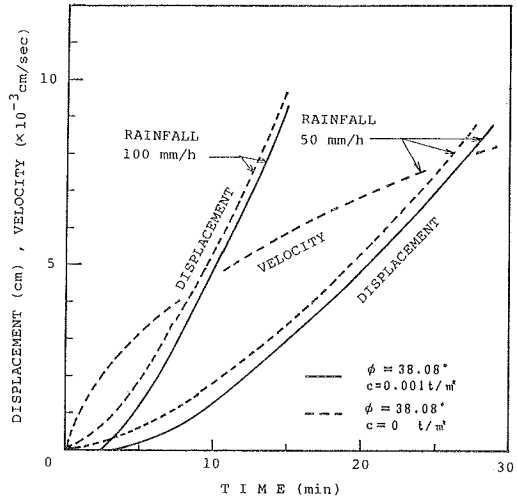


図3 数値計算による移動量-時間、移動速度-時間曲線

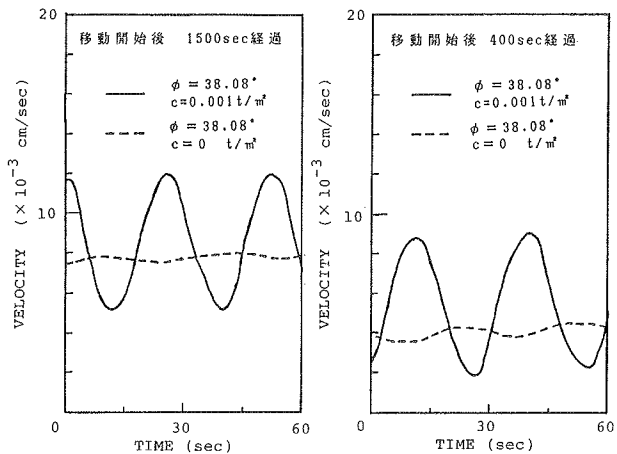


図4 移動速度の振動 (降雨強度 50mm/h)