

1. はじめに

山腹斜面崩壊の機構を明らかにするため、従来さまざまなモデルが用いられてきた。どんなモデルを用いるにせよ、斜面崩壊という現象を把握するためには、要因である降雨、傾斜、斜面長、土層深、孔隙率、透水係数、含水量、土質の強度定数(C, φ)から斜面の安定性を見出しうるものでなければならぬ。物理モデルとして地表流と浸透流の両方を考慮したSmithモデルと基岩面に沿った横流れを示すBevenモデルを用いたが、モデルに検討を加えて、最終的に最適な物理モデルを見出したい。本報告では昭和57年7月の長崎豪雨災害を主な対象として山腹崩壊現象を考察する。

2. 物理モデルの説明

Smithモデル：地表流と地中浸透流をfig-1に示される条件で結びつけたモデルである。計算に用いた水分-PF曲線をfig-2に示す。

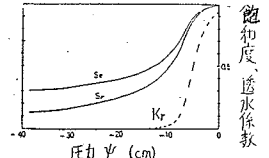
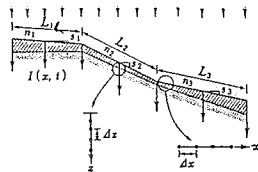


fig-1 模式断面図 (SMITHモデル)

fig-2 水分-PF曲線

Bevenモデル：基岩面に沿った地中の横流れを示し、(i)基岩面付近で不飽和状態から飽和状態への移行、(ii)水位の上昇と下降およびそれに伴う距離方向の平衡状態を示すモデルである。Bevenモデルに用いられる透水パラメータ \$K\$、\$n\$ と孔隙のパラメータ \$\theta\$、\$m\$ はともに経験的定数である。

地表流の式  $\frac{\partial h}{\partial t} + \alpha(m+1)h^m \frac{\partial h}{\partial x} = g(x,t)$   
 ここに \$h\$; 水深 \$\alpha\$; Darcy-Weisbachの摩擦係数  
 \$m\$; 乱流の層流への移行  
 $g(x,t) = r(t) - f(x,t)$   
 $r(t)$ ; 降雨強度 \$f(x,t)\$; 浸透率

浸透流の式  $\frac{\partial(\phi S_w)}{\partial t} = K_s \left( \frac{\partial}{\partial z} (h_s \frac{\partial \psi}{\partial z}) - \frac{\partial \psi}{\partial z} \right)$   
 ここに \$\phi\$; 孔隙率 \$S\_w\$; 飽和度  
 $K_s$ ; 透水係数 \$h\_s\$; 比透水係数  
 $\psi$ ; 圧力水頭

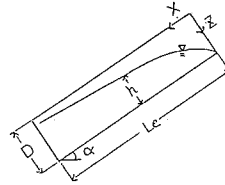


fig-3 模式断面図 (BEVENモデル)

$\epsilon \left( \frac{\partial h}{\partial t} \right) = -K_s \sin \alpha \left( \frac{\partial h}{\partial x} \right) + r$   
 ここに \$h\$; 地下水の水深 \$\epsilon\$; 有効孔隙率  
 $K_s$ ; 飽和透水係数 \$\alpha\$; 傾斜角  
 $r$ ; 降雨強度  
 $K_s(z) = K_s h^m$ ,  $\epsilon_s(z) = \theta_s h^n$   
 ここに \$\epsilon\_s\$; 孔隙率  
 $K_s, m$ ; 透水パラメータ  
 $\theta_s, n$ ; 孔隙パラメータ

SmithモデルとBevenモデルから、不飽和から飽和への浸透と基岩面に沿う地下水面の形成について検討し、山腹斜面の安定性の物理的意義を明らかにしたい。

3. 現場例および考察

Smithモデル：長崎市災害時(59年7月23日)の3日前の日降雨量 \$R\_{24}\$ が 243 mm (case I)、災害時の \$R\_{24}\$ が 448 mm (case II)、災害時の降雨(降雨継続時間 \$t\_r\$ が7時間)(case III)についてSmithモデルを用いて浸透解析をした結果をfig-5に示す。case IIIは3日前の降雨によって飽和度が大きくなっていると考えられるため、case I, case IIより初期の飽和度を大きくとった。降雨強度の大きいcase IIIの場合は、初期の飽和度が大きいこともあり、かなり早い時間(計算では3時間)に全層が湿潤飽和状態に達している。災害時に斜面が崩壊した理由として、3日前の降雨によって土壌が湿潤状態にあったのではないかと指摘されたが、計算結果からもそのことが

いえる。降雨および土壌の状態が浸透に及ぼす影響を考察すると

- (i) 降雨強度が大きい降雨ほど、表面に近い層から湿润飽和状態に達する傾向にある。
- (ii) 不飽和透水係数が大きい、また孔隙率の小さい土壌では基岩面のすぐ上層から地下水面を形成する傾向にある。
- (iii) 深くなるほど飽和度が大きく、基岩面のすぐ上層に地下水面が形成している土壌は全層が飽和に達する時間が短い。

Bevenモデル：caseⅢの長崎市災害時の降雨を用いた場合、地下水面が地表面に達しており、caseⅠ, caseⅡにくらべて地下水面が高く、斜面が不安定状態にあることが示された、fig-7からいえることは。

- (i) 基岩面付近の土壌が不飽和状態から飽和状態に至るまで時間がかかる。
- (ii) その後地下水面の上昇に伴って安全率が急激に低下し、地下水面が地表に達した時、山腹斜面が崩壊する。

#### 4. 今後の課題

Smithモデルは地表流と地中の浸透の両方を考慮しているが、基岩面に沿う横流れについては不十分である。また、Bevenモデルは基岩面に沿う横流れを扱っているが、パラメーターの物理的意味が曖昧で、浸透過程が不十分である。今後、Smithモデル、Bevenモデルの両方の長所を生かして、山腹斜面の安定性について検討したい。なお、目下現場の土壌を調査中であり、発表時には調査結果を踏まえて発表したい。

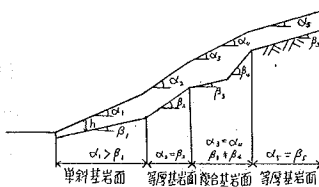


fig-4 土研式穿孔試験による災害基岩面の判定

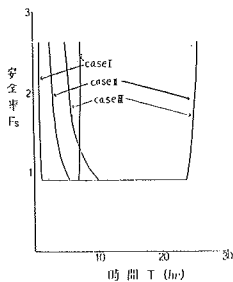


fig-7 斜面の安定 (BEVENモデル)  
( $C = 0.25 t/m^2$ ,  $\phi = 35^\circ$ )

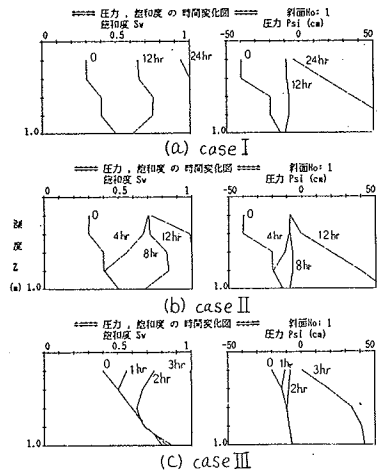


fig-5 浸透解析結果 (SMITHモデル)

- (a) case I;  $R_{24} = 243mm$   
初期飽和度小
- (b) case II;  $R_{24} = 448mm$   
初期飽和度小
- (c) case III; 長崎市災害時の降雨  
初期飽和度大

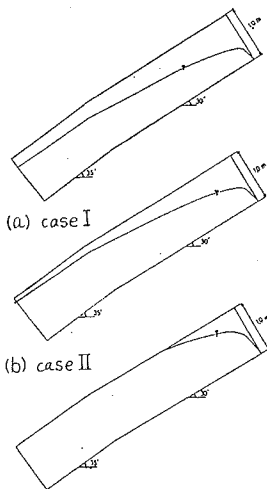


fig-6 地下水面曲線図  
(a) case I;  $R_{24} = 243mm$   
(b) case II;  $R_{24} = 448mm$   
(c) case III; 長崎市災害時の降雨  
 $K_s = 0.278 cm/sec$   $\theta_s = 0.4$   
 $n = 2.73$ ,  $m = 1.135$