

II - 285

V字型斜面における崩壊の発生

岐阜大学工学部 正員○田中祐一朗
若 築 建 設 正員 岩崎元希
一 宮 市 役 所 正員 海田真宏

1、はしがき

昨年の鹿児島災害の事例のように、我国では降雨による斜面崩壊が跡を絶たない。こうした災害の被害を軽減するためには、その予知技術の向上が重要である。本研究は写真-1に示す事例のような、斜面崩壊の最も発生しやすい、V字型地形における崩壊発生の機構について若干の検討を行ったものである。

2、V字型斜面モデル

図-1に示すように、不透水性の基面上に厚さDの土層が主勾配 θ_x 、副勾配 θ_{y1} 、 θ_{y2} なる角度におかれている。雨水は地表面から鉛直に浸透し、基面に達すると方向を変え、斜面の最急勾配（対角線方向） α_1 、 α_2 の方向に流れる。この水平面に対する勾配 α_1 、 α_2 は斜面の幾何学的条件を考慮すると θ_x 、 θ_{y1} 、 θ_{y2} を用いて、次のようになる。¹⁾

$$\begin{aligned} \tan \alpha_1 &= \frac{\sin \theta_x (1 + \cos \theta_{y1})}{\left\{ (\cos \theta_x - \frac{\sin^2 \theta_x \cos \theta_{y1}}{\cos \theta_x})^2 + (\frac{\sin \theta_x \cos^2 \theta_{y1}}{\cos \theta_x \sin \theta_{y1}})^2 \right\}^{1/2}} \\ \tan \alpha_2 &= \frac{\sin \theta_x (1 + \cos \theta_{y2})}{\left\{ (\cos \theta_x - \frac{\sin^2 \theta_x \cos \theta_{y2}}{\cos \theta_x})^2 + (\frac{\sin \theta_x \cos^2 \theta_{y2}}{\cos \theta_x \sin \theta_{y2}})^2 \right\}^{1/2}} \end{aligned} \quad (1)$$

$$\tan \alpha_2 = \frac{\sin \theta_x (1 + \cos \theta_{y2})}{\left\{ (\cos \theta_x - \frac{\sin^2 \theta_x \cos \theta_{y2}}{\cos \theta_x})^2 + (\frac{\sin \theta_x \cos^2 \theta_{y2}}{\cos \theta_x \sin \theta_{y2}})^2 \right\}^{1/2}} \quad (2)$$

3、V字型斜面での地下水

斜面上端に原点をとり、斜面中央での地下水の流下方向にx軸をとり、ダルシーの法則を仮定すると、

$$Q_{s1} = k \tan \alpha_1 H_s x \quad (3)$$

$$Q_{s2} = k \tan \alpha_2 H_s x \quad (4)$$

中央部での地下水の流量は

$$Q_c = Q_{s1} + Q_{s2} = k \tan \theta_x A_c \quad (5)$$

であり、図-2のように考えると、流水断面積は

$$A_c = (\cos \theta_{y1} + \cos \theta_{y2}) (H_s h + 1/2 h^2) \quad (6)$$

となる。ここでkは土の透水係数である。以下では簡単のために、 $\theta_{y1} = \theta_{y2} = \theta_y$ 、 $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha$ とする。

上の諸式よりhに関する2次方程式を得る。地下水が増加する場合には $h \geq 0$ であることを考え、中央部での地下水深は

$$H_c = h + H_s = \left(H_s^2 + \frac{2 H_s \tan \alpha \tan \theta_y \cdot x}{\tan \theta_x} \right)^{1/2} \quad (7)$$



写真-1 岐阜県岩村町での崩壊事例

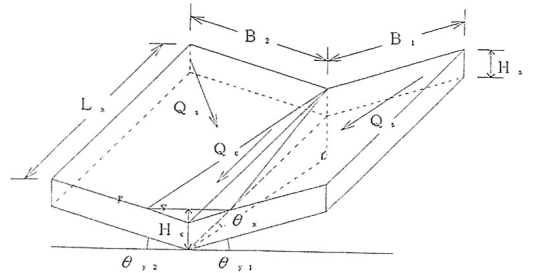


図-1 V字型斜面の地下水面形モデル

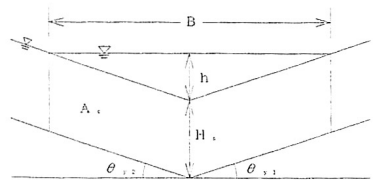


図-2 V字型斜面中央部の断面

と求められる。また H_s は前報²⁾により降雨が全て地下に浸透する場合には次のようである。

$$H_s = r t \quad (8)$$

(7)式のかっこ内の第2項は、斜面の側方からの流入によるもので、 $\theta_y = 0$ の時は $H_c = H_s$ となり、平坦斜面の地下水面形と一致する。 $H_c = D$ となると、地下水は地表面に現れ、地表面流が存在するようになる。その場所xは

$$x = \frac{(n^{2/3} D^2 - r^2 t^2) \tan \theta_x}{2 n^{1/3} r t \cdot \tan \alpha \tan \theta_y} \quad (9)$$

となる。ここに n は土の間隙率である。図-3は以上の理論により計算したV字形斜面中央部での地下水面形の計算値であり、地下水水面は2次放物面形をなしている。

4、階段状崩壊の発生条件

幅 B なる斜面での降雨量 Q は

$$Q = r t H_c B / \tan \theta_x \quad (10)$$

であり、地下への浸透量は土の和度 S_r 、しよきのそれを S_{r0} とすると、

$$Q_s = (S_r - S_{r0}) H_c^2 B / 2 \tan \theta \quad (11)$$

である。図-4に示すように、斜面先端からの浸出水量は

$$Q' = Q - Q_s \quad (12)$$

であり、地表面流にマンニング式を成立を仮定すると、

$$Q' = \frac{1}{2M} R_s^{2/3} I^{1/2} H B t \quad (13)$$

となる。ここに M はマンニングの粗度係数、 $R_s =$

$A/s = H \cos \theta_y / 2$ である、

以上の諸式より、表面流水深 H は次のようになる、

$$H = \left\{ \frac{2 M r t H_c - M n H_c^2 (S_r - S_{r0})}{(\cos \theta_y / 2)^{2/3} \tan^{2/3} \theta_x \cdot t} \right\}^{3/4} \quad (14)$$

この表面流による摩擦速度 U_* と、土の平均的な限界摩擦速度 U_{*c} の大小関係により、

$$U_* > U_{*c} \quad (15)$$

の場合、表面流により土砂が先端から流出し、階段状崩壊が発生することになる。

5、斜面崩壊実験

実験は図-5に示すように片幅 $B_1 = B_2 = 90 \text{ cm}$ 、斜面長 $L = 372.4 \text{ cm}$ 、主勾配 $\theta_x = 30^\circ$ 、副勾配 $\theta_{y1} = \theta_{y2} = 20^\circ$ の木製斜面を使用した。基面から 5 cm の厚さに不透水層としてのベントナイトを敷き、その上に厚さ約 40 cm に、平均粒径 $d = 0.09 \text{ cm}$ の均一な珪砂を敷いた。降雨はスプリンクラーと散水ノズルによって与え、地下水の状態はテンシオメータにより計測した。実験のプロセスは 8 mm ビデオにより記録し、随時カメラ撮影も行った。実験結果の詳細は紙数の関係上、講演時にゆずるが、上の理論的検討結果の妥当性は認められた。

6、むすび

以上の結果を要約すると次のようである。

- ① V字形斜面では平坦斜面に比べて、側方からの流入水により、地下水の増加が早い。
- ② 下流程地下水深が増大し、地下水水面は2次放物面となる。

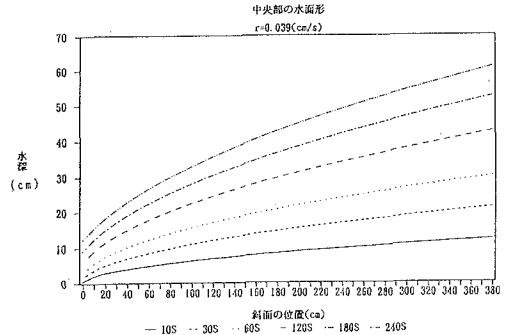


図-3 V字型斜面中央部の地下水面形計算値

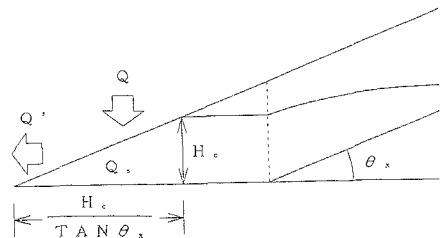


図-4 斜面先端部分モデル

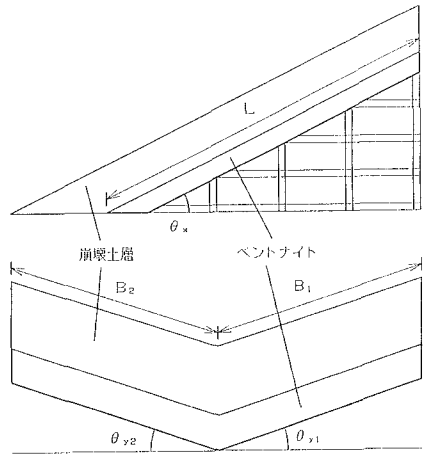


図-5 実験斜面モデル

- ③ この結果、平坦斜面より崩壊が早期に発生する。

参考文献

- 1) 岩崎元希、岐阜大学工学部卒業論文、pp. 1-37、1994。
- 2) 田中祐一郎、土木学会、水工学論文集、第34巻、pp. 379-384、1990。