

豪雨による山腹斜面崩壊の発生予測

鳥 取 県	正 員	○ 石 賀 祐二
鳥取大学工学部	正 員	道上 正規
鳥取大学工学部	正 員	檜 谷 治
鳥取大学大学院	学生員	山 田 龍男

1. はじめに、豪雨による山腹表層崩壊により、毎年各地で、多くの人命、財産が失われている。したがって、これらの崩壊の発生予測を行なうことができれば、事前に危険斜面に防災施設を設置し、周辺住民へ注意を促すことが可能となり、人命損失を軽減することができる。本研究は、昭和58年7月の山陰豪雨災害時の鳥根県三隅町鹿子谷周辺の崩壊地について、その斜面勾配、地形形状、植生等の崩壊特性を検討すると共に、降雨の浸透特性を考慮した力学モデルにより崩壊発生位置の予測を試みている。

2. 崩壊特性の検討 鹿子谷周辺の山地流域の中で、0.27 km²の裸地流域と0.70 km²の植生地流域について、地形を正方形メッシュに区分し、各格子点にその標高を与えることによって数値モデル化を行ない、これを用いて崩壊特性の検討を行なった。使用地形図の縮尺は、1/5000、メッシュ間隔は、12.5 mである。崩壊特性は各メッシュの斜面勾配、地形形状(谷型、尾根型、平衡型)、植生等とそのメッシュの崩壊の有無より検討する。

図-1 (a), (b)は、その数値地形モデルを用い裸地、植生地について勾配ごとの崩壊発生率を示したものである。ここで、崩壊発生率は、各地形、各勾配に存在するメッシュのうち、実際に崩壊しているメッシュの割合を示している。両図を見ると、裸地の崩壊発生率が植生地のそれに比べて高く、また、崩壊発生率は、尾根地形、平衡地形、谷地形と順次高くなっていることがわかる。さらに、勾配が35~40度付近で崩壊発生率はピークを持つ傾向があることがわかる。

3. 表層崩壊発生位置の予測 崩壊位置の予測は、山地流域を先の数値モデル化と同様なメッシュに区分し、図-2のような三層構造の土層に降雨が与えられた場合に発生する浸透流とメッシュ間の水流の授受を考慮して、無限長斜面の安定計算法により行¹⁾なう。図-2より各境界面での作用せん断力 τ とせん断抵抗力 c

は、(1) および (2) 式で求まる。降雨の土中への鉛直浸透は、不飽和状態で wetting front を形成して降下するものと考え、wetting front 上部での飽和度を一定と仮定すると、wetting front が地表面あるいはA層とB層の境界面から降下する距離WFは (3) 式より求まる。また、各層の飽和帯水深 H は、(4) 式の連続式より求まる。ここで、メッシュ間の水流の授受は、(5) 式のダルシー式より求め、その際、H の値は、t 時間前の値を用いる。各メッシュの崩壊は (1)~(5) 式を時間的、空間的に差分化し、

(6) 式において安全率SFが1以下になったとき発生するものとする。境界条件は、境界からの流入量が零となるように設定し、時間間隔 Δt は、1

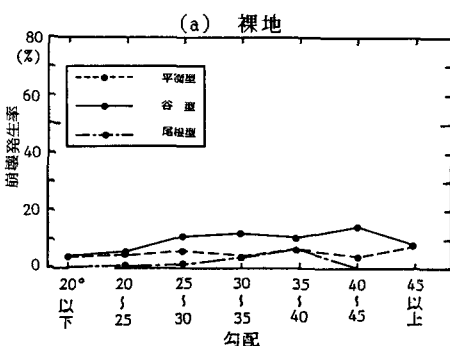
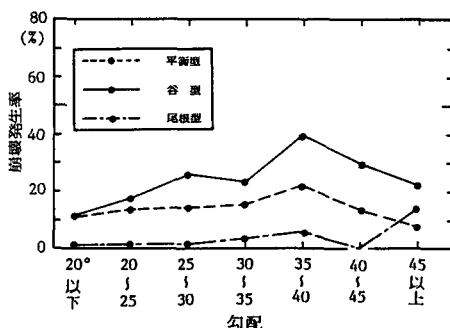


図-1 勾配による崩壊発生率

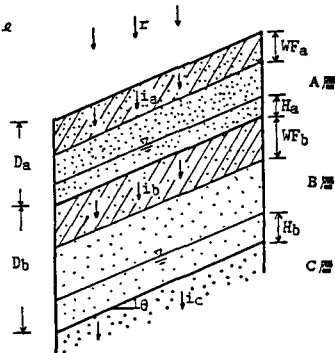


図-2 土層模式図

分とする。土質定数は流域に一樣に設定し、その値を表-1に示す。ここで、ダルシー式の計算に用いる水平方向の透水係数の値は、新藤の自然斜面での調査報告をもとに、表層中に水をよく通過させるパイプ状の大間隙が存在することを考慮して鉛直方向のそれより大きくとる。また、土層厚は六甲山系の調査資料をもとに図-3のように勾配により変化するものと仮定する。以上の値を用い、表-2の降雨条件のもとで裸地流域に対して崩壊地の予測を試みると図-4のようになる。これを見ると、予測箇所が実際の崩壊箇所と比べかなり多いものの、ある程度予測できていることがわかる。

次に、図-5は、この流域の予測結果と実際の崩壊発生率を図-1と同様に示したものである。これを見ると、これらの崩壊発生率には大きな差があるものの、尾根地形、平衡地形、谷地形と順次、崩壊発生率が高くなるという傾向はシミュレートできていることがわかる。

4. おわりに 本研究による崩壊予測結果が実際の崩壊箇所と比べかなり多くなった理由として、ここで用いた土質定数および層厚が、実際の山地流域で一樣ではなく、ある分布を持った確率変量であることに起因すると思われる。したがって、この手法により予測された崩壊箇所は、流域内における平均的な危険箇所を示すものと考えられる。

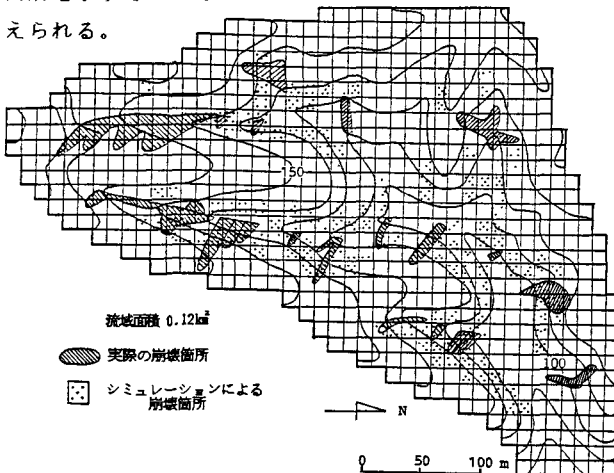


図-4 崩壊予測箇所

(参考文献)

- (1) 高橋 保：豪雨性表層崩壊の発生と生産土量の予測，第30回水理講演会論文集，1986.2, pp.199-204
- (2) 新藤 静夫：谷頭部斜面に発生する崩壊と地下水の挙動，自然災害特別研究，昭和53年 3月
- (3) 六甲山系土砂災害発生危険雨量調査報告書，近畿地方建設局，昭和55年 7月，pp.63-65

$$\left. \begin{aligned} \tau_a &= g \sin \theta \cos \theta [D_a(1-\lambda_a) \phi_a + \{(D_a-WF_a-H_a)S_a+WF_aS_a+H_a\} \lambda_a \rho] \\ \tau_{ae} &= g \cos \theta [(D_a-H_a)(1-\lambda_a) \phi_a + \{(D_a-WF_a-H_a)S_a+WF_aS_a+H_a\} \lambda_a \rho] \\ &\quad + H_a(1-\lambda_a)(\phi_a-P) \tan \phi_a + C_a \\ \tau_b &= \tau_a + g \sin \theta \cos \theta [D_b(1-\lambda_b) \phi_b + \{(D_b-WF_b-H_b)S_b+WF_bS_b+H_b\} \lambda_b \rho] \\ \tau_{be} &= \tau_a \tan \phi_b / \tan \theta + g \cos \theta [(D_b-H_b)(1-\lambda_b) \phi_b + \{(D_b-WF_b-H_b)S_b+WF_bS_b+H_b\} \lambda_b \rho] \\ &\quad + H_b(1-\lambda_b)(\phi_b-P) \tan \phi_b + C_b \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

$$\left. \begin{aligned} \tau_{be} &= (\tau_{ae}-C_a) \tan \phi_b / \tan \theta + g \cos \theta D_b(1-\lambda_b)(\phi_b-P) \tan \phi_b + C_b \\ \int_{t_0}^t (i_a \text{ or } i_b) dt &= (S-S_0) WF \lambda \\ \lambda e \frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial q_a}{\partial x} + \frac{\partial q_b}{\partial y} &= \{ \frac{i_a - i_b}{i_b - i_0} \cdot \lambda_e = (1-S) \lambda \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

ただし、 $H_0 > D_0$ のとき次式を用いる。

$$\left. \begin{aligned} q_a &= K H \cos \theta \frac{1}{\sqrt{1+1/\lambda^2}} \quad , \quad q_b = K H \cos \theta \frac{1}{\sqrt{1+1/\lambda^2}} \\ S F_a &= \tau_{ae} / \tau_a \quad , \quad S F_b = \tau_{be} / \tau_b \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

$$\left. \begin{aligned} \lambda e \frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial q_a}{\partial x} + \frac{\partial q_b}{\partial y} &= \{ \frac{i_a - i_b}{i_b - i_0} \cdot \lambda_e = (1-S) \lambda \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

$$\left. \begin{aligned} q_a &= K H \cos \theta \frac{1}{\sqrt{1+1/\lambda^2}} \quad , \quad q_b = K H \cos \theta \frac{1}{\sqrt{1+1/\lambda^2}} \\ S F_a &= \tau_{ae} / \tau_a \quad , \quad S F_b = \tau_{be} / \tau_b \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

$$\left. \begin{aligned} S F_a &= \tau_{ae} / \tau_a \quad , \quad S F_b = \tau_{be} / \tau_b \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

ここで、 λ ：空隙率、 WF ：wetting front の到達距離、 S ：飽和度、 S_0 ：初期飽和度、 ϕ ：土粒子比重、 θ ：内部摩擦角、 K ：粘着力、 i ：浸透強度、 λ_e ：透水係数である。

表-1 土質条件

	A層	B層	C層
鉛直方向の透水係数	$8.3 \times 10^{-6} \text{ m/s}$	$8.8 \times 10^{-6} \text{ m/s}$	$5.4 \times 10^{-6} \text{ m/s}$
水平方向の透水係数	$2.0 \times 10^{-6} \text{ m/s}$	$1.2 \times 10^{-6} \text{ m/s}$	—
初期飽和度	0.8	0.8	—
wetting front 上部の飽和度	0.8	0.8	—
空隙率	0.4	0.3	—
粘着力	裸地 150 kgf/m ² 植生地 1000 kgf/m ²	300 kgf/m ²	—
内部摩擦角	30°	30°	—
土粒子比重	2.75	2.75	—

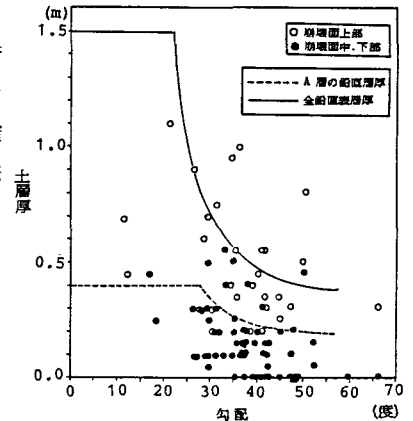


図-3 勾配と層厚の関係

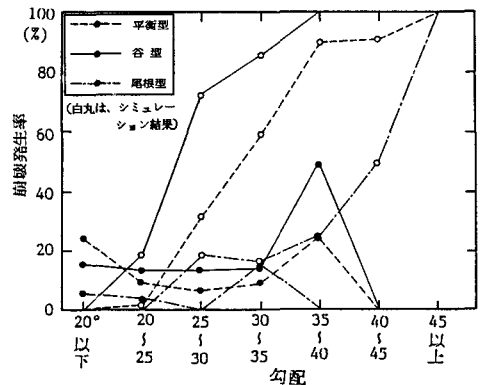


図-5 勾配による崩壊発生率