

# 鹿児島県出水市針原川の土石流発生にいたる降雨－流出解析

九州大学 農学部 ○小川 滋  
九州大学 工学部 平野宗夫

## 1 まえがき

1997年7月10日未明に発生した鹿児島県出水市の土石流災害は、針原川上流右岸山腹斜面の深層崩壊（長さ200m, 最大幅80m, 崩壊深最大値35m）土砂が土石流となって流下したものである。この土石流災害について、予測・防災という立場からは、降雨から崩壊を予測できるか、あるいは、予測の方法はあるか、という問題がある。ここでは、砂防ダム地点での流量推定に基づいた降雨－流出の応答関係から、崩壊にいたるまでの流出特性について考察し、崩壊危険度予測の可能性を検討する。

## 2 流出モデル

流域における地下水量を検討するために、山地小河川の流出過程に関するモデル<sup>1)</sup>を拡張し、図1のような2層モデルを考える。上層からの流出は洪水流出、下層からの流出は地下水流出に相当する。

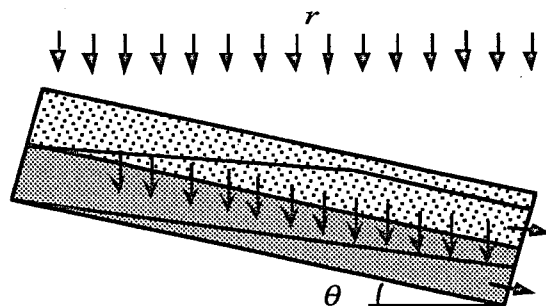


図1 山腹斜面の模式図

### 2.1 基礎式

堆積層における連続の式と運動の式は次式で表される。

$$\lambda \frac{\partial h_i}{\partial t} + \frac{\partial q_i}{\partial x} = i_i - f_i \quad \text{および} \quad q_i = k_i h_i \sin \theta \quad (1)$$

ここに、 $h$ は水深、 $q$ は単位幅流量、 $\lambda$ は空隙の割合、 $i$ および $f$ はそれぞれ上層からの流入速度および下層への浸透速度、 $k$ は透水系数、 $\theta$ は斜面の傾斜角、 $t$ は時間、 $x$ は流下方向の長さ、添字 $i$ は層を表し、 $i=1$ は上層を、 $i=2$ は下層を示す。上記2式を特性曲線法により解くと

$$\frac{dq_i}{dt} = \frac{k_i \sin \theta}{\lambda} (i_i - f_i) \quad \text{および} \quad x = \frac{k_i \sin \theta}{\lambda} (t - t_0) \quad (2)$$

河道における到達時間を斜面におけるそれに対して無視し、斜面における到達時間 $T$ の分布を考慮し、その確率密度関数 $\phi$ を導入すると、河川の流量 $Q$ は次式で与えられる<sup>1)</sup>

$$Q_i(t) = A \int_0^{\infty} \frac{\phi(T_i)}{T_i} \int_{t-T_i}^t (i_i - f_i) d\tau dT_i \quad (3)$$

ここに、 $T$ は到達時間で  $T_i = \lambda l / k_i \sin \theta$ 、 $l$ は斜面長である。

$i$ および $f$ は、上層では  $i_1 = r \cos \theta$ 、 $f_1 = f \cos \theta$ 、下層では  $i_2 = f_1$ 、 $f_2 = 0$  とする。ここに、 $r$ は降雨強度である。また、 $q_1 \geq f_c$ のとき  $f_1 = f_c$ 、 $q_1 < f_c$ のとき  $f_1 = q_1$ とする。ここに、 $f_c$ は上層から下層への最終浸透能である。到達時間については  $T_1 / k_2 = T_2 / k_1$ の関係がある。

式(3)はパラメトリックモデルとして解くことができる。

### 2.2 モデルパラメータの推定

到達時間 $T$ の確率密度関数 $\phi$ を標準偏差2の対数正規分布とし、到達時間の平均値 $T_{m1}$ 、浸透能 $f_c$ および $T_{m1} / T_{m2}$ の3個をパラメータとする。同定のためのデータとしては、災害前日に、砂防ダム地点において撮影された写真や住民の証言から推定された水位と流量<sup>2)</sup>を使用する。砂防ダムにおける流入量、流出量と水位の関係は次式で表される。

$$F \frac{dH}{dt} = q_{in} - q_{out} \quad (4)$$

ここに、 $F$ は貯水池の水表面積、 $H$ は水位、 $q_{in}$ は流入量、 $q_{out}$ は流出量である。

降雨データとして九州地方建設局南部レーダ局の5分間降雨強度を用い、(3)式により流入量を計算する。 $T_{M1}=1hr$ として計算した流入量を(4)式に適用して流出量と水位を計算した結果は図2に示す通りで、流出量と水位は3個の実績推定値とよく一致する。これより、 $T_{M1}$ は1時間程度と思われる。

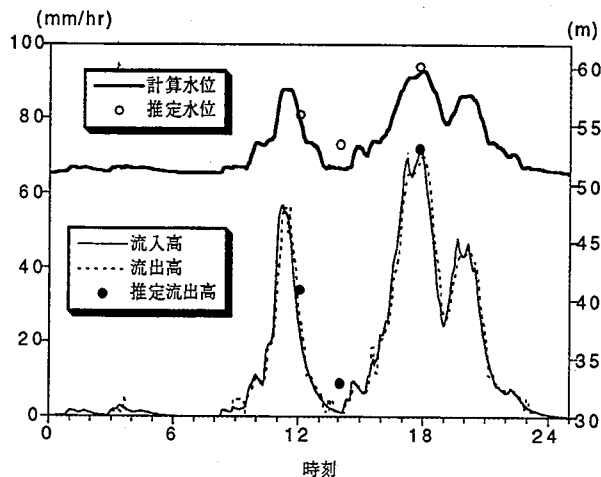


図2 流出波形

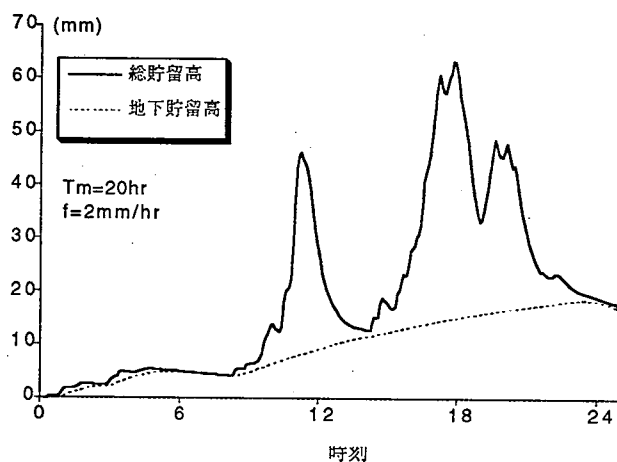


図3 流域貯留高と地下水貯留高の経時変化

### 3 貯留量の計算結果とその考察

$T_{M1}=1hr$ ,  $T_{M2}=20hr$ ,  $f_c=2mm/hr$  とし、上層および下層における貯留量を計算した。結果は図3の通りである。図によると、総貯留高のピークは、洪水流出のピークと同じく3ピークがある。表層崩壊であれば、このピーク出現時に崩壊が生じると考えられる。今回の崩壊発生は10日0時過ぎで、地下貯留高がピークとなる時刻にほぼ対応しており、地下水貯留による深層崩壊を説明できる。しかし、地下貯留高は20mm程度であり、初期貯留量を考慮しても、最大崩壊深度35mを説明できる量ではない。したがって、今回のような深層崩壊には、周囲からの地下水の流入・集中を考える必要がある。本モデルでは到達時間の分布を考慮しているが、到達時間(すなわち斜面長)の長い斜面ほど流出と貯留高のピークは遅れることになるので、到達時間と貯留高の関係も重要である。

また、崩壊の危険度を考えると、貯留高のピークでは、表層崩壊の危険度が高く、逆に表層崩壊が生じなかった場合は、深層崩壊の危険度が高まると考えることができる。定量的な厳密さにはかけるが、このような流出解析に基づく崩壊にいたるまでの貯留量の変化から、表層崩壊、深層崩壊を説明できると考えられる。

### 4 おわりに

この流出解析で、洪水の到達時間は、砂防ダム地点での、流出量の実績推定値に基づいているが、地下水流出の到達時間は、仮定した数値を用いている。しかし、今回の深層崩壊時刻をうまく説明できることから、このような流出解析により、流域における崩壊予測に利用することが可能である。

今後、砂防指定地等で、砂防ダムを利用した流出解析を行い、表層崩壊の実績とも対応させながら、崩壊・土石流の発生の流域特性を解析し、各流域毎に資料を整備し、それに基づいた危険度予測を行っていく必要がある。

### 参考文献

- 1) 平野宗夫：山地小河川における流出過程について，土木学会論文報告集第308号，1981年4月。
- 2) 平野宗夫・橋本晴行・森山聡之・小川滋・疋田誠：針原川の土石流災害の特性と問題点，文部省科学研究費基盤研究(C)成果報告書「1997年7月梅雨前線停滞に伴う西日本の豪雨災害に関する調査研究」(代表者下川悦郎)1998年3月。