

II-54

嵯島における土石流の発生機構に関する研究

九州大学工学部 正 員 平野宗夫 鹿児島工専 正 員 正田 誠

九州大学工学部 正 員 森山聡之 九州大学工学部 学生員 〇松延 均

1 はじめに 土石流の発生と流出量の予測は、防災上重要な事柄である。本研究は、嵯島長谷川の観測データに基づき、土石流の発生限界と流出量について考察したものである。

2 土石流の発生限界降雨 従来から土石流の発生限界降雨については、発生までの累加雨量と発生直前の降雨強度によって区分する方法が、各所の土石流について行われている。しかし、この方法は、理論的根拠に乏しいという事他に、降雨が断絶する場合、累加雨量のとり方が不明確であるという難点がある。ここでは、図-1の単純な斜面のモデルにおける土石流の発生限界降雨について考える。従来の実験によると、表面流の発生とは同時に土石流が発生し、その限界は次式で与えられている。¹⁾

$$l \geq \frac{k \sin \theta}{\lambda} T \quad (2-1) \quad \text{および} \quad \int_0^T r(t-\tau) d\tau \geq \frac{\lambda D}{\cos \theta} \quad (2-2)$$

ここに、 l は斜面長、 k は堆積層の透水係数、 θ は斜面の角度、 λ は堆積層の空隙の割合、 T は到達時間、 r は降雨強度である。すなわち、斜面長が $k \sin \theta \cdot T / \lambda$ より長い斜面において、 T 時間内の累加雨量が、式(2-2)を満足する場合に表面流（したがって土石流）が発生する。また、式(2-1)

(2-2)より次式

$$r_T = \frac{1}{T} \int_0^T r(t-\tau) d\tau \geq \frac{D}{l} k \tan \theta \quad (2-3)$$

が導かれるが、上式の右辺は斜面に固有の値であるから、到達時間内の降雨強度が、ある限界値をこえると表面流が発生することになる。したがって、発生限界降雨を考える場合には、到達時間とその時間内の降雨量が問題となる。次に、昭和54~57年の春田山の降雨記録から、嵯島長谷川において、土石流の発生が確認されている72個の降雨と、不発生が確認されている164個の降雨について、到達時間と累加雨量について検討する。土石流の発生時刻が記録されている場合は、発生時刻から T 時間前の $(t-T)$ から発生時刻までの累加雨量 $\int_0^T r(t-\tau) d\tau$ を求め、発生時刻が不明の場合および不発生の場合は、累加雨量が最大となる様にもとって $\int_0^T r(t-\tau) d\tau$ を計算して、種々の T に対してプロットしたものが図-2,3である。図-2は不発生の場合、図-3は発生の場合であり、それぞれに対して不発生の上限と発生の下限が求められる。図-2は $T=40$ 分のヒストグラムで上限の線が折れており、40分間の累加雨量が13mm以上になると必ず発生することを示している。また、40分以上降雨が続き、それが13mmをこえても40分間の降雨が13mm以下であれば、不発生の場合が存在する。したがって、40分以内に13mm以上の降雨があれば、必ず土石流が発生すると考えられる。一方、図-3より発生の下限は、40分間で6.5mmと70分間で8.5mmが一つの目安となるが、不発生の上限を参照すると前者の基準が妥当であろう。したがって、到達時間として $T=40$ 分を考えればよく、その間の雨量が6.5mmをこえると土石流発生の可能性が生じ、13mmをこえると必ず発生するということがわかる。

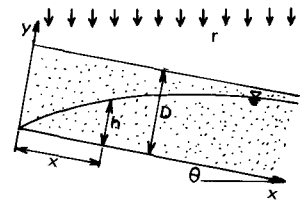


図-1. 斜面の模式図

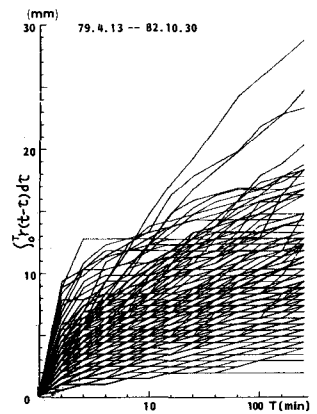


図-2. 不発生時の累加雨量

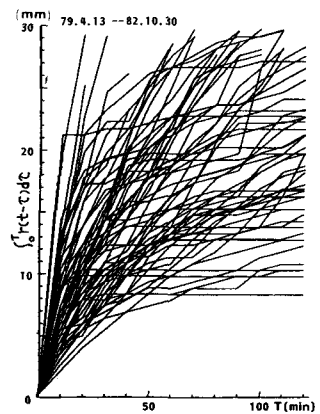


図-3. 発生時の累加雨量

3 流出解析 概算の河川では、山地斜面(斜面を l とする)で発生した土石流が河道(河道長を L とする)に流入し、集まって大きな流出量になると考えられる。まず、河道における連続の式は

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q_s + q_p = q_x \quad \text{ここに、} q_s \text{は斜面からの流入量、} q_p \text{は河床・側岸の侵食} \quad (3-1)$$

$A = f(Q)$ として上式を特性曲線式により解くと

$$\text{特性曲線 } \frac{dx}{dt} = w = \frac{dQ}{dA} \text{ 上で } Q(t + \tau_d) = \int_0^L q_x(t) dt \quad \text{ここに、} \tau_d \text{は河道による遅れ時間} \quad (3-2)$$

降雨量 r と q_s との関係は、実験結果より次のように与えられる。¹⁾

$$q_s = \alpha \{ r l \cos \theta - k(h + D) \sin \theta \} \equiv \alpha r l \cos \theta \quad (3-3)$$

式(3-2)に式(3-3)を代入して、 q_p を q_s に代して無視すると

$$Q(t + \tau_d) = \int_0^L \alpha r l \cos \theta dx = A \alpha r \int_0^L \frac{l \cos \theta dx}{A} \quad \text{ここに、} A \text{は流域面積} \quad (3-4)$$

$\int_0^L l \cos \theta dx / A \equiv F(t)$ は、土石流の発生域の割合を表わしているの、以下 $F(t)$ について考える。

① $l \geq k t \sin \theta$ の斜面; $\lambda D \equiv \eta_0 = \int_0^t r \cos \theta dt$ の斜面で土石流が発生する。その割合は、 $f(\eta)$ 、 $g(l)$ と η と l の確率密度関数として

$$F_1 = f(\eta_0) \cdot \Delta \eta \cdot \int_{k t \sin \theta}^{\infty} g(l) dl = r \cos \theta \cdot \Delta t f(\eta_0) \int_{k t \sin \theta}^{\infty} g(l) dl \quad (\because \Delta \eta = \int_{t-\Delta t}^t r \cos \theta dt = r \cos \theta \cdot \Delta t) \quad (3-5)$$

② $l < k t \sin \theta$ の斜面; $l \geq k(t - t_0) \sin \theta$ で $\eta = \int_{t_0}^t r \cos \theta dt$ の場合発生する。 t_0 の範囲は $0 \leq t_0 \leq t$ である。その割合 F_2 は

$$F_2 = \sum_{t_0} f(\eta) \Delta \eta \int_{k(t-t_0) \sin \theta}^{k(t-t_0+\Delta t) \sin \theta} g(l) \sin \theta dl = \sum_{t_0} r \cos \theta \cdot \Delta t f(\eta) k \Delta t_0 \sin \theta g(l) = \int_0^t r \cos \theta \cdot \Delta t f(\eta) k \sin \theta g(l) dt_0 \quad (3-6)$$

一方、土石流の発生と終了時刻をそれぞれ t_1 、 t_2 とし、その間に全堆積土砂が流出するものとする。

$$\int_{t_1}^{t_2} g(t) dt = \alpha \int_{t_1}^{t_2} r l \cos \theta dt = D l \quad \therefore \Delta t = t_2 - t_1 = \frac{D}{\alpha r \cos \theta} \quad (3-7)$$

式(3-5)、(3-6)、(3-7)を式(3-4)に代入し

$$\frac{Q(t + \tau_d)}{A} = r(t) \left\{ f(\eta_0) \frac{\eta_0}{\lambda} \int_{k t \sin \theta}^{\infty} g(l) dl + \frac{k \sin \theta}{\lambda} \int_0^{t_0} \eta f(\eta) g(l) dt_0 \right\} \quad (3-8)$$

$f(\eta)$ と $g(l)$ の関数形を与えると、上式のパラメータは、 η と l の平均値と標準偏差、 $k \sin \theta$ および τ_d の6個であるが、 l については地図上で測定して与えることができるので、4個のパラメータをもつパラメトリックモデルとして解くことができる。

$f(\eta)$ と $g(l)$ を対数正規分布とし、最小二乗基準をもつ目的関数 Φ を最小とするパラメータをSimplex法で探索した結果の例を図-4、5に示す。求められたパラメータは、オーダー的にそろっており、このモデルの妥当性を示していると思われる。

参考文献

1) 平野京夫, 岩元賢, 原田民司郎; 人工降雨による土石流発生に関する実験(1); 第31回年議 昭和51年10月

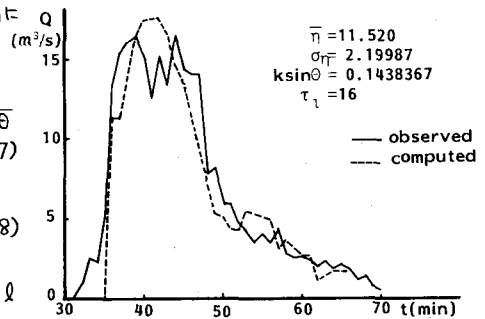


図-4. 実測値と計算値の比較

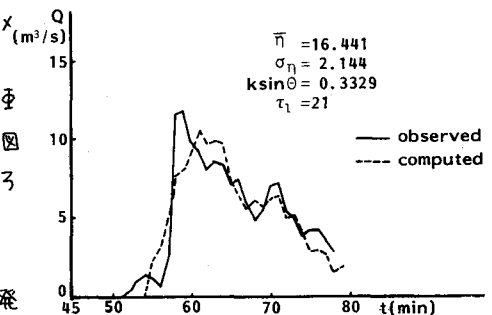


図-5. 実測値と計算値の比較