

九州大学 工学部

正員 ○平野 宗夫

鹿児島工業高等専門学校

正員 足田 誠

九州大学 工学部

正員 森山 聡之

1. 土石流の発生限界降雨

土石流の発生限界降雨については、従来から、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手法が提案され、各所に適用されている。しかし、この方法には、理論的根拠に乏しいという事の他に、累加降雨の開始点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に示すような単純なモデル斜面で考える。従来の実験によると、表面流の発生とはほぼ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⁾

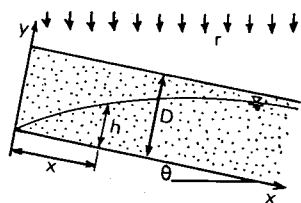


図-1. 斜面の模式図

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

または、

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

ここに、 l は斜面長、 k は堆積層の透水係数、 λ は堆積層の空隙の割合、 T は到達時間である。(2)・(3)式において右辺は斜面に固有の値であるから、これらの式は到達時間内の降雨量(強度)がある値を超えると土石流が発生することを示している。また(3)式左辺は、合理式における降雨強度と同じ定義であり、ピーク流出高とみなすこともできる。そこで到達時間を検討するために、昭和54～57年の春田山降雨記録から、桜島の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 T 時間の累加雨量 $\int_0^T r(t-\tau) d\tau$ を求めた。なお土石流の発生時刻が判明している資料については、発生時刻以前の降雨波形を対象とした。種々の T について求められた累加雨量の最大値をプロットすると図-2(不発生)、図-3(発生)のようである。これらの図より、土石流不発生の上限と発生の下限を示すと図-4のようになる。もし発生

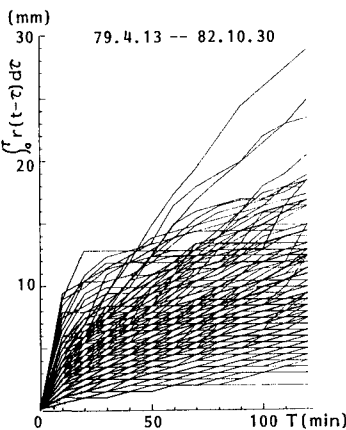


図-2. 不発生時の累加雨量

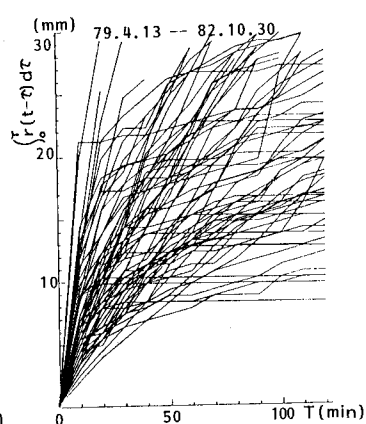


図-3. 発生時の累加雨量

すとい図-4のようになる。もし発生

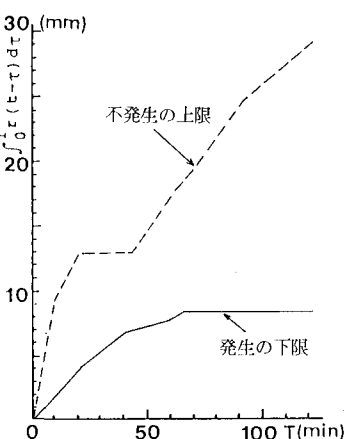


図-4. 不発生の上限と発生の下限 (実測)

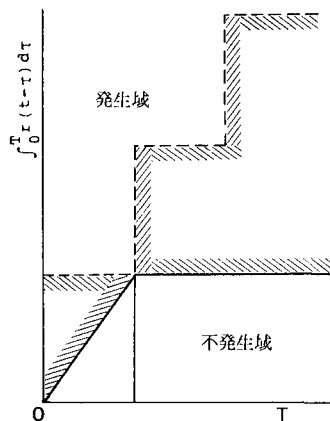


図-5. 不発生の上限と発生の下限の模式図

場が定常であれば、(2)式による不発生の上限と発生下限の漸近線は、図-5に示すように折線で表わされ、到達時間 T のところで両者は一致するはずである。実際には、降灰と流出により場は非定常であるが、図-4によると $T=40$ 分附近で両者の差が極小になっており、到達時間として40分を考えればよいようである。したがって40分間の降雨量が7mm以下では、土石流は発生せず、7mmを超えると発生の可能性が生じ、13mmを超えると必ず発生するといえることができる。

2. 土石流の流出解析

山腹で発生した土石流が河道に流入し、集って大きな流出量になると考える。まず河道における連続の式(4)を特性曲線法により解くと(5)式がえられる。

$$\frac{\partial A_0}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = g_s \quad \text{--- (4)} \quad \frac{dx}{dt} = \frac{dQ}{dA} \text{ 上で } Q(t) = \int_0^t g_s(t - \tau_e) dt \quad \text{--- (5)}$$

ここに、 A_0 は流積、 Q は流量、 g_s は斜面からの流入量と河床・側岸の侵食量、 L は河道長、 τ_e は河道における遅れ時間である。河道における侵食量を無視し、実験結果より¹⁾ $g_s = \alpha r l \cos \theta$ --- (6) とおき、 τ_e を一定とすると、

$$Q(t + \tau_e) = \int_0^L \alpha r l \cos \theta dx \approx A \alpha r(t) \int_0^L \frac{l \cos \theta dx}{A} \quad \text{--- (7)}$$

ここに $\alpha = \text{const}$ 、 A は流域面積である。上式において $\int_0^L l \cos \theta dx / A$ は土石流の発生している場の割合を表わしており、以下のように求められる。時刻 t (降雨開始時を $t=0$ とする)において、土石流が発生するのは、① $l \geq k t \sin \theta$ で、かつ、 $\lambda D = \int_0^t r \cos \theta dt (\equiv \eta_0)$ の斜面および、② $k t \sin \theta > l \geq k(t - \tau_e) \sin \theta$ でかつ $\lambda D = \int_{\tau_e}^t r \cos \theta dt (\equiv \eta)$ の斜面である。 λD と l の確率密度関数を $f(\lambda D)$ 、 $g(l)$ とすると、①・②の場合の発生の割合 F_1 、 F_2 はそれぞれ

$$F_1(t) = f(\eta_0) \Delta \eta_0 \int_{k t \sin \theta}^{\infty} g(l) dl \quad \text{--- (8)} \quad F_2(t) = \sum_{\eta_0} f(\eta) \Delta \eta \cdot g(l) \Delta l \quad \text{--- (9)}$$

となる。また斜面における土石流の継続時間を Δt とし、その間に全堆積土砂が流出するすると、

$$\int_t^{t+\Delta t} g_s dt = \alpha \int_t^{t+\Delta t} r l \cos \theta dt = D l \quad \therefore \Delta t \approx \frac{D}{r \cos \theta} \quad \text{--- (10)}$$

ここで、 $0 \leq t_0 \leq t$ 、 $\Delta \eta_0 = \Delta \eta = r \cos \theta \Delta t$ 、 $\Delta l = -k \Delta t_0 \sin \theta$ であることを考慮すると、(7)~(10)より

$$Q(t + \tau_e) = A r(t) \left\{ f(\eta_0) \frac{\eta_0}{\lambda} \int_{k t \sin \theta}^{\infty} g(l) dl + \frac{k \sin \theta}{\lambda} \int_0^t \eta f(\eta) g(l) d\eta \right\} \quad \text{--- (11)}$$

$f(\eta)$ と $g(l)$ の関数形を与えると、上式のパラメーターは η と l の平均値と標準偏差、 $k \sin \theta$ 、 λ 、および、 τ_e の7個であるが、 l については地形図上で測定することができる。 $f(\eta)$ を対数正規分布とし、 $\bar{\eta}$ 、 σ_η 、 $k \sin \theta$ 、および、 τ_e をパラメーターとし、最小自乗基準をもつ目的関数を最小とする最適パラメーターをSimplex法で求めた結果の例を、図-6に示す。えられたパラメーターは、ほぼ妥当な範囲にあり、このモデルの適用性が示されている。

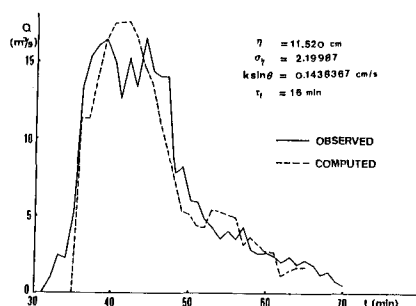


図-6. 実測値と計算値の比較

<参考文献>

1) 平野宗夫, 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回年講 昭和51年10月