

九州大学 工学部 学生員〇戸田 和孝
建設省大隅工事事務所 正 員 歳田 正夫
九州大学 工学部 正 員 靖 東一郎
九州大学 生産研 正 員 山崎 達雄

まえがき 桜島は最近火山活動が激化し、大量の降下火山灰による山腹の崩壊、土石流発生頻度と規模が増大する傾向にあるが、桜島の土石流の特性には堆積火山灰が大きな役割をもつものと考え、以下土石流のピーク流量の算定式を導き、縦勾配における高速の流動性を説明することを目的として、若干の考察を行なう。

1. 土石流の流出モデル 桜島の河川のうち土石流が最も頻発し、その規模の大きいのは野尻川である。野尻川の上流ガリ部は裸地および草地からなり、表層火山灰がセメント化して雨水の浸透は少なく、遂に中・下流部の植生域は、表層の存在と火山噴出物特有の透水性のよきために降雨は地下および溪谷堆積層に浸透するであろう。従って、無植生地帯の流出係数を $f=1$ 、浸透域の流出係数を $f=0$ とする。図-1にモデル的に示すように、上流域からの表面流出量 Q_R のため、恐らく上流域末端附近において土石流が発生し、 Q_R は溪谷に堆積した、レキ・岩塊、火山灰・砂、および火山灰・砂中の浸透水とともに流下する。以下これらの流量をそれぞれ Q_R 、 Q_S 、 Q_m とする。また、 Q_S における火山灰・砂の粒度分布特性は中央粒径 $d_{50}=0.2\sim0.5\text{mm}$ 、偏度 $\sqrt{\frac{d_{84}}{d_{16}}}=6.0\sim12.0$ 程度で、多量の火山灰を含むため、ここでは $(Q_S+Q_m+Q_R)$ からなる高濃度の濁水がレキ・岩塊とリこむものとする。従って、濁水中におけるレキ・岩塊の濃度を次式

$$Q_S/(Q_S+Q_m+Q_R)=C_S \quad (1)$$

$$Q_R/(Q_S+Q_m+Q_R)=C_R \quad (2)$$

で定義すると、濁水の密度 ρ は、 ρ_s をそれぞれ火山灰・砂、水の密度として

$$\rho/\rho_s = 1 + C_S \cdot (\sigma - \rho_s)/\rho_s \quad (3)$$

また、粒子衝突応力の河床における条件から、勾配 $I=\tan\theta$ 、中流堆積層の内部摩擦角として、 C_q は次式

$$C_q = \frac{1}{(\sigma - \rho_s)\rho_s} \cdot \frac{\tan\theta}{\tan\phi - \tan\theta} \quad (4)$$

で与えられる。次に、溪谷堆積層においては、土石流不発生時の降雨は中流部に浸透、保存されるため火山灰中の空隙は水でほぼ飽和しているものとして

$$Q_S/(Q_S+Q_m)=C_x \quad (5)$$

となり、以上の関係から次の各式が得られる。

$$\frac{Q_R}{Q_S} = \frac{1}{1-C_q} \cdot \frac{C_q}{C_S} \quad (6)$$

$$\frac{Q_S}{Q_R} = \frac{C_S C_x}{C_x - C_S} \quad (7)$$

$$\frac{Q_m}{Q_R} = \frac{(1-C_q)C_S}{C_x - C_S} \quad (8)$$

$$\frac{Q_T}{Q_R} = \frac{C_x}{C_x - C_S} \cdot \frac{1}{1-C_q} \quad (9)$$

これらをピーク流量 Q_{TP} に適用する。降雨のピーク中心から全流量 Q_T のピーク発生までのおくれ時間を t_0 (min)、長さ時間(長さ20)の雨量 $R_0(\text{mm})$ から、有効雨量強度 $R_0(\text{mm/hr})=R_0(60/t_0)$ を用いて、表面流出量のピーク流量は、 $Q_{TP} = \frac{1}{3.6} \cdot f \cdot R_0(60/t_0) \cdot A_1 - Q_L$ (A_1 は流域面積 km^2 , $f=1.0$)

ここで、 Q_L は溪谷堆積層における浸透量であるが、以下では無視すると土石流のピーク流量は次式となる。

$$Q_{TP} = \left[\frac{C_x}{C_x - C_q} \cdot \frac{1}{1-C_q} \right] \cdot \frac{1}{3.6} \cdot R_0 \cdot \frac{60}{t_0} \cdot A_1 \quad (10) \quad (t_0 \approx 2.0)$$

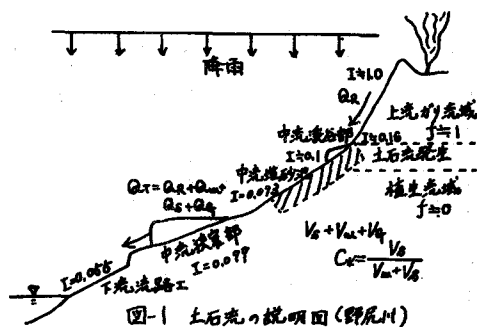


図-1 土石流の説明図(野尻川)

2. 野尻川への適用 野尻川では、昭和50年4月から51年6月の間に、雨量記録、土石流のハイドログラフが得られている土石流が16例ある。ここでは降雨と流出との対応が明瞭な $Q_{TP} > 10 \text{ m}^3/\text{s}$ の10例について上述のモデルを適用する。まず、濁水の密度 ρ/ρ_0 は図-2に示すように、土石流の規模には無関係であって、 ρ/ρ_0 の平均値は1.885、従って C_s の平均値は0.54である。おくれ時間 t_0 については、流速係数 ϕ (後述)、流路幅 B 、流下距離 L を一定とみなすと、流下速度 $u = \phi \sqrt{3gRI}$ 、 $Q_{TP} = \phi B \sqrt{3gRI}$ より $u \propto (Q_{TP} I)^{1/2}$ 、 $t_0 \propto L/u \propto (Q_{TP} I)^{-1/2}$ となる。この関係を示したのが図-3で、散らばりは大きいが一応次式で表わせる。

$$t_0 = 82 Q_{TP}^{-1/2} \quad (t_0: \text{min}, Q_{TP}: \text{m}^3/\text{s}) \quad (11)$$

ここで計算のための定数として、 $\rho/\rho_0 = 2.65$ 、式(4)における $\tan \theta$ には、土石流の発達がほぼ定常に達すると考えられる中流部での勾配 $\tan \theta = 0.1$ 、および $\tan \phi = 0.8$ 、 C_s には上述の平均値0.54、 $C_g = 0.60$ 、 A_1 には上流ガリ部の流域面積 $A_1 = 1.49 \text{ (km}^2\text{)}$ を用いると、前述の諸式における係数は次のようになる。

C_s	ρ/ρ_0	C_g	Q_g/Q_s	Q_g/Q_R	Q_g/Q_R	Q_g/Q_R
0.54	1.891	0.356	1.024	5.40	3.60	15.5

式(11)の t_0 と雨量記録を用い、式(10)から Q_{TP} を計算し、観測値と比較したものが図-4である。 $Q_{TP} = 20.7 \text{ m}^3/\text{s}$ の1例を除いては両者の一致はかなり良い。

3. 流路工における土石流の流速 $C_s = 0.54$ に対応する $C_g = 0.356$ はかなり高濃度であるから、流路工の流れは濁水中のレキ・岩塊の衝突による砂粒間応力が支配的であると考える。ここでは、Bagnoldの提案した剪断応力の式を用いると流速係数 $\phi/\sqrt{3gRI \sin \theta}$ は、

$$\frac{\phi}{\sqrt{3gRI \sin \theta}} = \frac{2}{5} \left[\frac{1}{Q_i \sin \theta} \left\{ C_g + (1 - C_g) \frac{\rho}{\sigma} \right\} \right]^{1/2} \left\{ \left(\frac{C_{gr}}{C_g} \right)^{1/2} - 1 \right\} \frac{h}{d} \quad (12)$$

$Q_i = 0.042$, $\tan \phi = 0.62$ C_{gr} : レキ・岩塊の河床濃度

で与えられる(高橋 防災研年報, 1977)。ここに、 C_g は式(4)、 ρ は式(3)

で与えられ、 d はレキ・岩塊の平均粒径である。上式の d/h の詳細は明らかでないが、 Q_g は中流域においてとりこまれることを考慮して、中流部の掃流力 $u_*^2 = g h' I'$ を用いて、 $d/h = \beta (u_*^2 / g d)^{1/2} = \beta (h' I' / g d)^{1/2}$ (ここで $S = (1 - \rho/\sigma)/\rho$) と考え、 $h' = \alpha h$ とおくと、式は $d/h = [\alpha \beta (Q_{TP} I')^{1/2}]^{1/2}$ となり、 $C_g = \text{const}$ の野尻川では、 $d/h = \text{const}$ 、流速係数 $\phi/\sqrt{3gRI \sin \theta} = \text{const}$ となる。図-5は h' の代わりに径深 R を用い、 $\phi/\sqrt{3gRI \sin \theta} = \phi/Q_{TP}$ との関係を示したもので、かなりの散らばりはあるが、土石流の規模には無関係に $\phi = 12.3$ である。さらに $C_s = 0.54$ 、およびレキ・岩塊の粒径範囲が広いことから $C_{gr} = 0.90$ を用い、式(12)から d/h を逆算すると $d/h = 1/15.2$ となる。

あとがき 以上は野尻川における Q_{TP} の推定、および土石流の室内実験では理解できない流路工の流速を説明するための1つの粗い試みである。用いた仮定、式中の定数についてはもっともらしい値を用いたつもりであるが、今後の検討が必要である。

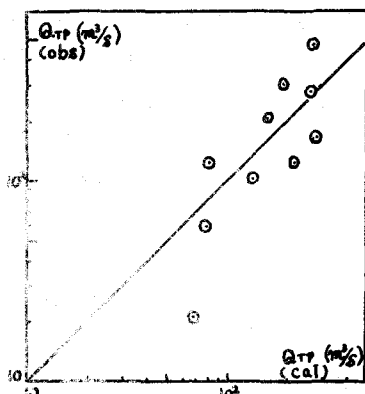
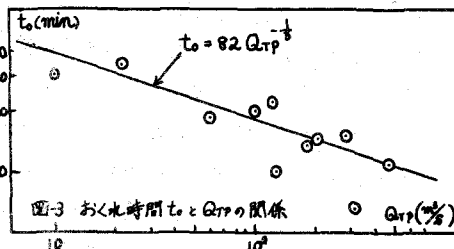
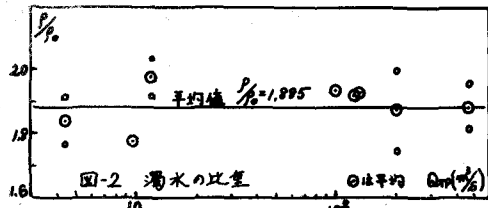


図-4. Q_{TP} の計算値と観測値との比較

