

土石流の発生に関する研究

京都大学防災研究所 (正) 芦田和男
京都大学大学院 (学) 南波芳樹
京都大学大学院 (学) 寺田昌史

本研究は、表面流の作用によって土石流を発生させ、
その特性を明らかにしようとするものである。

1. 実験の方法

実験水路は長さ5mで断面を図-1に示す。すべりを防ぐため内側には粒径数mmのレキをニス付けし、図のように砂を敷いた。砂は透水係数を小さくして容易に表面流が流れるように、川砂と珪砂7号を重量比9:1で混ぜたもので、粒度分布を図-2に示す。水路下端には砂止めのせきを設け、また、実験時には河床砂が飽和状態であるように留意し、上流端から一定量の水を与え、発生する流れを観察した。実験条件は流量2種、勾配5種を組合せた。

2. 実験結果および考察

表面流による土砂の移動形式は流れの条件によって分類される¹⁾が、本実験の範囲でも三種の形式が観察された(表-1)。

- I — 流れが河床の砂を巻き込みながら段波状で流下する型
- II — 砂堆が発生し、砂層内に滑動域が生じる型
- III — 単なる掃流によって流下する型

I型土石流の特徴はつぎのようである。

- 水と砂が一体化して高さ2cm程度の段波をつくる。
- 段波先端には粒径が比較的大きい粒子が集まり、それらが上から下へ回転して河床の砂を巻き込みながら進む。(図-2, 図-3)
- 鉛直方向への侵食力が側方へのそれに比べ著しく卓越している(図-1)。これは先端部が回転するためと思われる。
- 土石流先端の移動速度 v_m は、初期を除くとそれぞれの勾配に対してほぼ一定の値をとり、勾配が大きいほど移動速度も大きい。(図-4)

流速係数 φ の検討 — 値を表-2に示したが、I型ではいずれも1~1.5程度である。一方、急勾配上を流れる水深の比較的小さい流れの抵抗²⁾を用いて、固定床流れの場合の流速係数を試算すると、 $\varphi \approx 7$ 程度で前述の数倍の値となる。水深 h のとり方、勾配の範

表-1 砂の移動形式

勾配	10°	13°	15°	17°	20°
未量					
250 %	III	I	I	I	I
50 %	III	III	II	II	I



図-3 土石流 (I型) の概念図

h : 原河床からの段波高さ
 C_v : 先端の砂の体積濃度
(上流から3.1m点で測定)

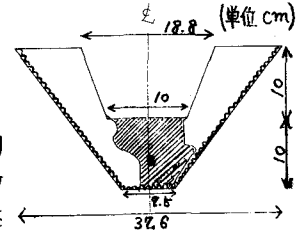


図-1 水路の断面
(斜線部分…侵食した部分)
 $\theta = 20^\circ$, 通水時間47秒

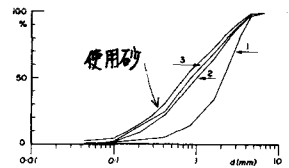


図-2 粒度分布曲線

- ・使用砂 $d_{50} = 0.74 \text{ mm}$
 $d_{65} = 1.22 \text{ mm}$
間げき率 0.314
- ・曲線1…先端部の砂
- 〃 2…先端通過8秒後に採水したものの
- 〃 3…同18秒後のもの ($\theta = 15^\circ$ の場合)

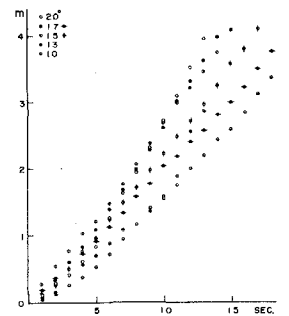


図-4 流下距離と時間の関係

図などで検討の余地はあるが、I型土石流の流下抵抗が大きいことを示していると考えられる。

一般に、流速係数 φ は、

$$\varphi = f(u_*^2 / sgd, h/d) \text{ または } \varphi = f(i, h/d)$$

と考えられ、大同³⁾は勾配 θ をパラメータとして後者の関係で整理している(図-5)。著者らの実験値も若干の相異はあるがほぼ同様の傾向を示す。

表-2 実験 または 計算した諸量

勾配 θ	(10°)	13°	15°	15°	17°	17°	20°
先端の移動速度 u_m	23.6	24.5	28.4	27.0	34.4	24.4	41.0
先端の高さ h	1.0	2.0	2.2	2.1	2.2	2.1	2.2
先端の体積濃度 C_v	0.22	0.36	0.43	0.45	0.51	0.47	0.52
$\varphi = u_m / \sqrt{gRi}$	1.83	1.18	1.20	1.17	1.37	1.00	1.52
計算値 u_m	21.2	22.2	27.5	30.3	34.7	32.5	37.0
計算値 R	1.73	2.02	2.24	2.37	2.75	2.41	2.70

3. 運動の解析

土石流先端部の高さや移動速度がほぼ一定となった領域を対象として土石流の運動を解析するために図-7のようなモデルを考える。

(Q_0 :上流端で与えた水量; Q :下流端での水量; n :砂の間げき率)

基礎となる式はつぎのように考えられる。

・流れが等流状態であると考えると運動の式は、

$$u_m / \sqrt{gR \sin \theta} = \varphi \quad (1)$$

・土石流が流下とともに砂を巻き込み、間り、水を加えていくことを考慮すれば、下流端での水量は、

$$Q = Q_0 / \left(1 - \frac{C_v}{1 - C_v} \cdot \frac{n}{1 - n}\right) \quad (2)$$

・水と砂が一体となって流れることからその全流量は、

$$Q / (1 - C_v) = u_m R b \quad b: \text{土石流の中一定とす} \quad (3)$$

・先端濃度 C_v が無次元掃流力に支配されると考えて、

$$C_v = f(u_*^2 / sgd) \quad (4)$$

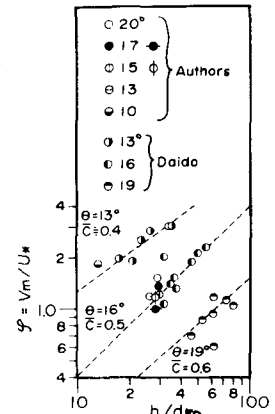


図-5 $\varphi = f(\theta, h/d \sin \theta)$

ここで式(4)としては実験値を整理した図-6を用いる。なお、 $S = \frac{\sigma}{\rho} - 1$ で、砂の比重 σ は2.65とし、流体の比重 ρ は $(\sigma - 1)C_v + 1$ とし、 φ も実験から得た値を用いた。以上の式(1)~(3)および図-6から未知量 u_m 、 R を計算し(表-2)、実験値と比較すると、 u_m についてはよく一致している。 R は原河床より下の移動厚さをも含めたもので、 h との差、つまり原河床内での移動厚さは数mm以下であると推測される。

4. あとがき

以上、土石流の流動特性を実験およびモデルの解析によって述べたが資料も少なく十分ではない。今後よくと、先端部の高さ、濃度が流下とともにどのように変化するかに着目して、土石流の発生発達機構を明らかにするために、系統的な実験を重ねていきたい。

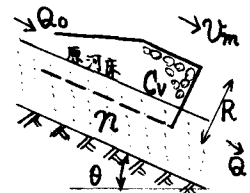


図-7 モデル化した土石流

参考文献

- 1) 大同：堆積物の集合流動の発生限界 第17回水理講演会講演集 S.48年
- 2) 芦田・奥村・田中：斜面侵食に関する実験的研究 京大防災研究所年報 第16号B S.48年
- 3) 大同：表面流による土砂を多量に含んだ流れが発生する限界 土木学会第28回年講 S.48年