

土石流の運動機構に関する研究

京都大学防災研究所 (正) 芦田 和 男
 同 (正) 高橋 保
 京都大学大学院 (学) 南 波 芳 樹
 同 (学) 寺 田 昌 史

1 まえがき

前報¹⁾にひきつづき、表面流の作用によって土石流を発生させる実験も、流量とこう配も系統的に変化させて行ない、その結果、興味ある事実を見いだしたのでそれについて報告する。巾20cmの長方形断面の水路に図1のような粒度構成をもつ土砂を厚さ14cmに敷き、飽和状態にしたうえ、上流端から急激に水を供給して土石流を発生させ、先端の移動速度、濃度、流動層の厚さ、および河床の侵食状況を観察した。(実験条件：流量 $Q_0=0.46$ l/s, 1 l/s, 3 l/s；こう配 $7^\circ(i=0.122) \sim 25^\circ(i=0.423)$ の8種)

2. 実験結果

こう配が小さい流れ(ほぼ $i=0.22$ 以下)で見られた土砂輸送の形式は通常の掃流と変わらないが、濃度がひじょうに大きいものであった(図2)。また、こう配 i とともに濃度 C_w は増大し、 $i=0.2 \sim 0.3$ のあたりで急激に増大することは、土砂の運搬形式の遷移を示唆するものと思われる。参考のために、同一条件のもとで芦田直上式から計算される掃流砂量から得た濃度をも記しておいた。

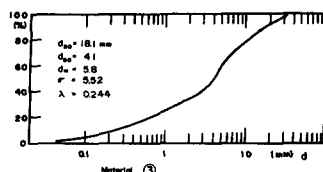
こう配が大きい場合(ほぼ $i=0.25$ 以上)には砂堆が発生し、それ自身が流動化して流下したが、その特徴はつぎのようである。

- 1) 砂堆先端には比較的大きいれきが集中し、それらの砂れきが回転しつつ流下する。
- 2) それに続く部分は細かい土砂を多量に含み、流動性の高い、泥流といえる流れである。

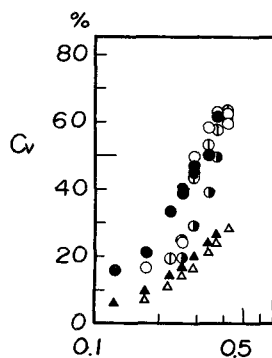
- 3) 流動層の厚さは、先端の段波通過時に最も大きいが、以後は時間的にほぼ一定の厚さを保つ。また、その後と間けつ的に段波が通過する場合もある。これらの間けつ的な段波の先頭にも巨れきの集中が見られる。(図3参照、上流端から3.5m

地点での水面と河床の変化を示し、 $z=0$ の破線はもとの河床高である。 $Q_0=0.46$ l/s, こう配 25° のケース)

- 4) 河床は泥流部の通過に伴って激しく侵食され、侵食された土砂は流れにとりこまれる。侵食は時間的にほぼ一定の速さで進行する。



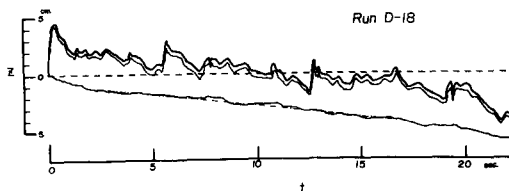
図・1



図・2

Q_0 (l/s)	3.0	1.0	0.46	0.23
measured	●	○	①	②
Ashida-Michue eq	▲	△	□	◇

図・2



図・3

全ケースについて、先端の厚さと移動速度も、抵抗係数 $f \equiv \frac{8\lambda x^2}{v^2}$ と h/d_{90} の関係で整理したものが図4である。点のばらつきもかなりあるが、相対水深の増加とともに抵抗係数が増加する傾向がみられ、しかも、与えた流量ごと一本の直線にのるようである。

3. 解析モデル

図5のようなモデルを考えると、土石流が河床砂(および間隙水)を流れに引き込むことから、

$$\text{水の連続式: } \frac{\partial(\eta-z)(1-C_v)}{\partial t} + \frac{\partial q}{\partial x} = -\frac{\partial z}{\partial t} \lambda \quad \dots (1)$$

q : (x, t) での流量, λ : 空けさ率

$$\text{砂の連続式: } (1-\lambda) \frac{\partial z}{\partial t} + \frac{\partial q_s}{\partial x} = 0 \quad \dots (2)$$

q_s : (x, t) での流砂量

水と砂が一体化して、同一の速度 v で流れるとすれば、

$$q_s = C_v \cdot v (\eta - z) \quad \dots (3)$$

$$q = (1 - C_v) \cdot v (\eta - z) \quad \dots (4)$$

抵抗則として図4にみられたような関係を用いることにすれば、

$$f \equiv \frac{8\lambda x^2}{v^2} = K_1 \cdot \frac{\eta - z}{d_{90}} \quad \dots (5)$$

(K_1 : 定数, 図4から求まり, 初期の流量 Q_0 によって決まる)

また、侵食現象を表わす関係式として、観察結果から、

$$\frac{\partial z}{\partial t} = -K_2 \quad (K_2 > 0, \text{定数}) \quad \dots (6)$$

以上の方程式(1)~(6)を解いて v , h , C_v を求めれば

$$v = \sqrt{8gd_{90}i_0/K_1} \equiv v_0 \quad \dots (7)$$

i_0 : 初期の配; (x, t) における配 i を i_0 に近似

先端において、

$$h = \eta - z = K_2 t + K_3 \quad \left(K_3 = \frac{Q_0}{B v_0}, B \text{ 幅中} \right) \quad \dots (8)$$

$$C_v = \sqrt{\frac{(1-\lambda) K_2 x}{v_0 (K_2 t + K_3)}} \quad \dots (9)$$

こゝに $x = v_0 t$

以上の結果を実測値と比較した一例が図6, 図7であり、他のケースについても比較よく現象を説明するようである。しかし、これらは土石流の発達過程を表わした関係式であり、どのような x, t に達すると平衡状態が形成されるかは、今後、検討しなければならない。

4. あとがき

上の解析においてひじょうに重要な要素である土石流の抵抗係数と侵食速度を与える関係について、実験的に得た結果を定式化して用いたが、必ずしも一般的関係ではない。これについては、今後、流動層内の土砂の挙動をより詳細に観察して、物理的な考察を加えていく必要がある。

参考文献: 1) 茅田・南沢・寺田: 土石流の発生に関する研究, 49年度土木学会関西支部年講, 49年

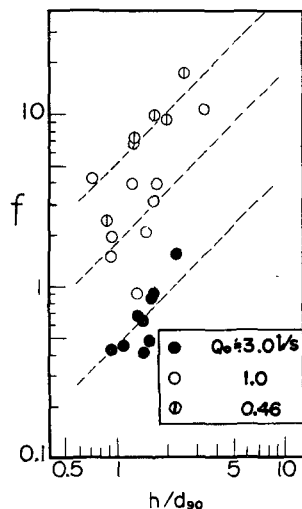


図4

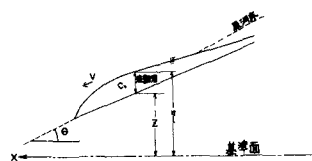


図5

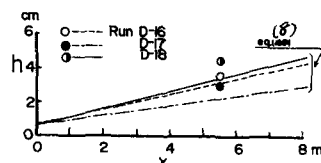


図6

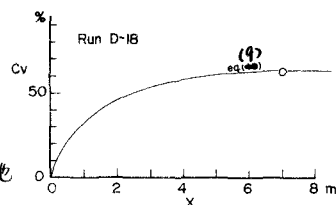


図7