

京都大学防災研究所 正員 高橋 保
三井建設 正員 長谷川 伸

1. 緒言

筆者らは従来、一様に敷きつめた砂礫床上に表面流が生じた場合に発生する土石流について、流動特性や定常濃度を論じてきた。(しかしながら、固定床上においては、移動床における結果が必ずしも適合しないという指摘¹⁾もなされてきている。本報告は、大容量給砂装置を使用して、通常の固定床水路に発生させた各種濃度の土石流について、その流動特性を論ずるものである。

2. 実験の概要

長さ10m、幅20cmの片面がラス張り可変勾配水路に給砂量が0から1.4 t/sまで可変の大容量給砂装置を設置し、予め設定した定常流量を急激に与え、その殺波先端部に合わせて設定給砂量を与えて所定濃度の土石流を発生させた。実験は大別して2種類で、オ1のものは所定の供給水量($Q_w=1.0$ t/s)と勾配(13°, 15°, 18°, 20°, 22°)に対して、水路床に堆積を生ずることなく、流し得る最大濃度を求めるものである。オ2のものは土石流流量 $Q_T (=Q_s + Q_w)$ を2.2 t/sの一定として濃度を変え、その流速分布と発生する転波列状の波の特性をガラス面を通して高速度カメラにより測定することを目的としたものである。使用材料は両方の実験とも、 $d_{50}=4$ mmのほぼ均等粒径と、 $d_{50}=1.2$ mm、 $\sqrt{d_{04}/d_{16}}=2.58$ の混合粒径の2種類である。また、勾配は18°と15°の2種類とした。

3. 実験結果とその考察

1) 土石流濃度

土石流における全せん断力 T は、粒子同士の衝突によるせん断力 T_c と、流体によって受けもたれるせん断力 T_f との和である。Bagnold²⁾の分散応力の概念によれば、粒子間圧力 P と T には次の式が成立する。

$$\begin{aligned} P &= C_d(\sigma - \rho)g(r - y)\cos\theta = \alpha_i \cos\theta \cdot \lambda^2 d^2 \left(\frac{\alpha u}{\alpha y}\right)^2 \\ T &= \alpha_i \sin\theta \cdot \lambda^2 d^2 \left(\frac{\alpha u}{\alpha y}\right)^2 \end{aligned} \quad (1)$$

ここに、 C_d ; 土石流中の砂礫の容積濃度、 σ ; 砂礫

と水の密度、 g ; 重力加速度、 r ; 水深、 y ; 底面からの距離、 θ ; 水路勾配、 α ; 粒子の衝突条件による、 τ をまわ角度、 d ; 代表粒径、 α_i ; 定数、 u ; 流速、 $\lambda^{-1} = (C_d/C_d^*)^{1/2} - 1$ 、である。

$$T = (T_c + T_f) = [C_d(\sigma - \rho) + \rho]g(r - y)\sin\theta \quad \text{---- (2)}$$

であるから、 $C_d = [P \tan\theta] / [(\sigma - \rho)(\tan\alpha - \tan\theta)] \quad \text{---- (3)}$

であれば、 $\tau = 0$ となるが、 C_d がこれより小さいとき、 τ が大きくなる。移動床では τ により、粒子が流れにとり込まれ、ほぼ(3)式が満足されるような状態に達して平衡するようになることが実験によ、 τ も確かめられている。³⁾固定床では濃度は給砂量に依存するが、流し得る最大濃度は、やはり(3)式に近いことが予想される。図-1a, bはこのことを実験によって確かめた結果である。ほぼ、ここでの推論が妥当であることがわかる。なお、図中の理論曲線は α として、空気中での傾斜板を用いた安息角の測定値(均等粒径; 37°, 混合粒径; 36°)を用いて計算している。言うまでもなく、(3)式の適用範囲は、 $C_d < C_d^*$ (C_d^* ; 実験材料が堆積した場合の濃度)であるが、実際の濃度は図で明らかのように $0.8 C_d^*$ 程度を最大値としている。これも移動床の場合と同様である。

今回の実験では、含み得る濃度は明らかに勾配とともに増加しており、平野ら¹⁾がベルトコンベアー式水路を用いて求めた、濃度は勾配によらないという結果と相異している。

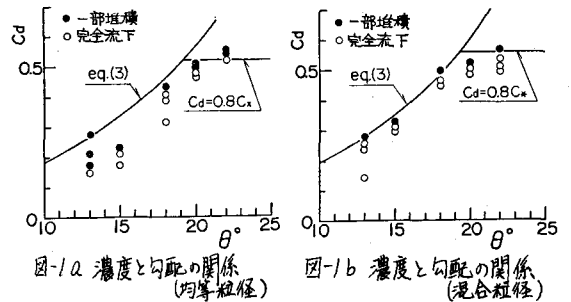


図-1a 濃度と勾配の関係 (均等粒径)

図-1b 濃度と勾配の関係 (混合粒径)

2) 流速分布および定数 α_i

(1)式および(2)式において、 τ を τ_b に
 比して無視すれば、流速分布形として

$$U = \frac{2}{3d} \left[\frac{g \sin \theta}{\alpha_i \sin d} \left\{ Cd + (1 - Cd) \frac{\rho}{\sigma} \right\} \right]^{1/2} \times \left\{ \left(\frac{C_b}{Cd} \right)^{1/2} - 1 \right\} \left\{ R^{1/2} - (R - y)^{1/2} \right\} \quad \text{--- (4)}$$

が得られる。図-2は一定の勾配と流量
 のもとで、濃度が変化した場合の流速
 分布形に関する実験値と理論値との比

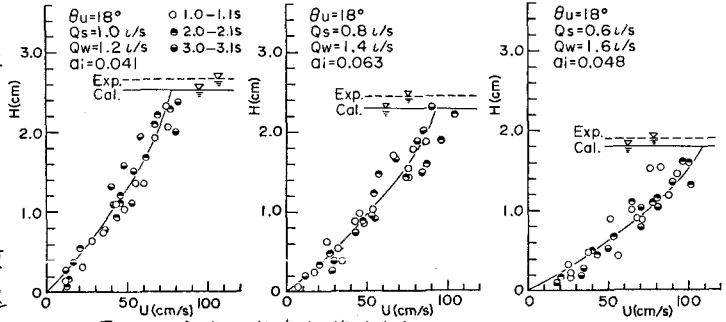


図-2 流速分布形 (均等粒径)

較である。濃度が比較的薄い場合を含めて、流速分布、水深ともに理論値がよく適合することがわかる。(4)式に
 含まれる定数 α_i について Bagnold は 0.042 を与えているが、実験方法の全く異なる今回の場合にも、ほぼこのよう
 になっていることは注目される。移動床水路における α_i は変動幅が大きく、一桁以上大きな値が測定されること
 も稀ではないが、これは床面を通しての浸透の影響による、流動性が失われることによるものと解釈される。
 なお、実験値の読みとりでは、後述の転波列状の波の部分を除いた比較的一様な水深の部分を用いている。

図-2のように、水面近傍でも顕著な速度勾配をもつ傾向は、平野ら¹⁾の実験結果との重要な相異点である。

3) 粒径の選別

土石流で粒径の選別の結果、巨礫が先端部に集中して流れることは周知の事実である。しかしながら、その
 力学機構については色々の仮説がたてられている。今回の実験では継続的に混合砂礫が供給されるため、先端部
 にだけ大粒子が集中するという特性は見られなかったが、給砂地点からすぐに、上層部が粗く、下層部が細くな
 るという水深方向の粒径選別が顕著であり、分散応力による説が妥当であることを示した。その詳細な機
 構については、ここでは割愛する⁴⁾。

4) 土石流における転波列

土石流においても、水流と同様にフルード数が大きい
 とき流れが不安定になって転波列が形成される。あ
 ずか数cmの間隔を伝播する時間から波速 C を求めている
 ので、それらを用いて無次元化した数値が比較的ば
 らつきが少なくなっているが、実験結果は水流に対し
 求めた石原らの理論結果に運動量補正係数として(4)式
 にもとづく $\eta = 1.25$ を用いたものに近くなっていること
 は興味深い。

4. 結語

固定床における土石流の流動特性を実験によ、て調
 べた結果、移動床におけるものと大差がなく、平均流
 の特性がダイラント流体としてよく記述できること
 を明らかにした。従来の平野らの結果はおそらく特殊
 な実験装置によ、て生じたもので不都合であることが
 判明した。

参考文献

- 1) 平野・岩本・猿渡; 第15回自然災害シンポジウム論文集, 1978.
- 2) Bagnold; Proc. Roy. Soc. London A. vol. 225, 1954.
- 3) 高橋; 京大防災研年報 No.20 B2, 1977.
- 4) Takahashi; J.H.Y. ASCE. vol. 106, 1980.
- 5) 石原・本間編, 応用水理学中工, 1958.

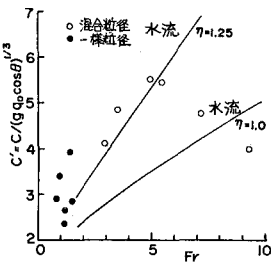


図-3 C' と Fr の関係

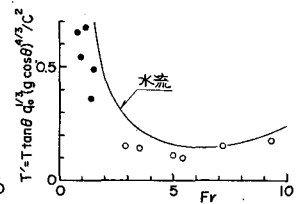


図-4 T' と Fr の関係

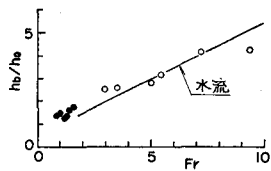


図-5 h_b/h_a と Fr の関係

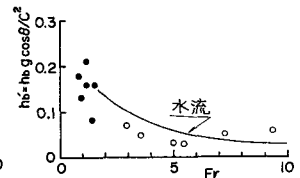


図-6 h_b' と Fr の関係