

Ⅴ-8 固定床における土石流の研究

九州大学 工学部 学生員 ○ 猿渡 裕明
 “ “ “ 志岐 實
 “ “ “ 隈本 英樹

1. まえがき

最近の福島や熊本における現地観測や水路実験により、土石流の先端部が段波状を呈することが明らかになってきた。段波は本来、非定常な現象であるが、段波の伝播速度と同じ速さで移動する座標系より見ると、段波の先端は停止し、定常な流れとして取り扱うことができる。このような移動座標系における現象を実験室に再現するために、ベルトコンベア式水路を作り、土石流の段波を停止させて実験を行なった。

2. 実験装置の概要

実験装置は図-1に示すもので、その概要および実験方法は前報¹⁾に記すとおりである。

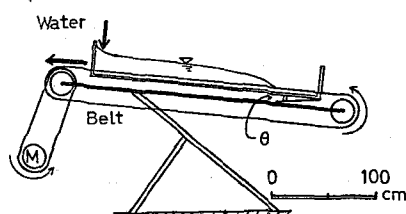


図-1 実験水路

3. 実験結果とその考察

1) 粒子の濃度分布

土石流中にメスリシリンダーを図-2のように底面に垂直に打ち込んで粒子を採取し、粒子の平均濃度 C_d および最上層濃度 C_* を測定した。その結果、濃度は水路勾配や流動速度（ベルト速度）にほぼ関係なく、ほぼ一定のようで、メスライトによる土石流では $C_d = 0.3 \sim 0.4$ 程度、最上層濃度 $C_* = 0.63 \pm 0.02$ であった。次に粒子濃度の深さ方向の分布を、写真上で側壁（面積： $A = 10 \times 1 \text{ cm}$ ）に接している粒子数 n の測定値から $C_d \propto (n/A)^{1/3} d^3$ として $C_d/C_{d\max}$ を求めてプロットしたものが図-3である。これによると、底面近くを除く大部分の領域で C_d は一定に近くなっているが、底面近くの1粒径程度の厚さでは C_d はかなり小さい。この層では粒子が激しく上流側に移動しており、かつ側壁の影響を受け易く、測定法にも、若干問題はあるが、底面付近の粒子濃度がかなり低いことは実験中の観察によってはっきり認められる。

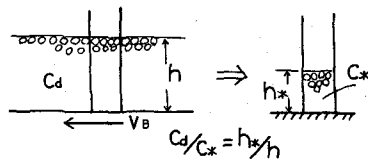


図-2 濃度測定

2) 流速分布

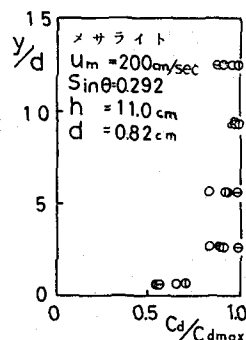
モータードライブ付カメラによる流速分布の測定結果²⁾より、本土石流の流速分布を底層域（1粒径程度の厚さ）とそれより上層域の2相に分ける。

上層域にビンガム流体式を適用すれば、基礎式は

$$\tau = \tau_y + \mu \frac{du}{dy} = \rho_m g \sin \theta (h - y) \quad \text{----- (1)}$$

図-3 濃度分布

で、 $y/h = \xi$ 、 $y/h = a_*$ 、 $y \geq y_0$ のとき $\tau = \tau_y$ および $u = u_h$ 、平均流速を $u_m = \int_0^h u dy / h$ とおくと、式(1)は次式のようになる。



$$\frac{U - U_{\text{un}}}{U_h - U_{\text{un}}} = 1 - \frac{3}{Q_*^2} (\xi - Q_*)^2 \quad (2)$$

上式に、実験値 U_{un} , U_h を代入し、 $Q_* = 0.9$ とした場合の結果は図-4に示すとおりで、実験値と計算値はよく一致する。他の本路勾配やベルト速度による実験結果も、ほぼ同様な傾向を示し、ほぼ $Q_* = 0.7 \sim 0.9$ である。

また、実験中の観察によれば、上層域での粒子の運動形態は、各粒子が密に接触しながら下流へ相対的に移動し、Bagnold²⁾ のいう粒子の衝突による顕著な反発現象はみられないようである。一方、ベルト近傍の底層域では、粒子はベルトの影響を受け、上層に比べてかなり早い速度で後方に移動する。

底層域に、図-5に示す運動モデルを仮定すれば、底層内の1個の粒子に作用する力のつり合い式は

$$x \text{ 方向: } (mg \frac{\pi}{6} d^3 + P_b b^2) \sin \theta + \frac{C_o \rho (U - U_g)^2}{2} \frac{\pi}{4} d^2 + f N = 0 \quad (3)$$

$$y \text{ 方向: } (-\alpha + \rho) \frac{\pi}{6} g d^3 \cos \theta + N - P_b b^2 \cos \theta = 0 \quad (4)$$

となる。

ここに、 σ : 粒子密度、 ρ : 水の密度、 d : 粒径、 C_o : 抗力係数、 f : 摩擦係数、 τ_b : セン断力、 P_b : 鉛直応力、 N : 底面よりうける抗力、 g : 重力加速度、 b^2 : τ_b , P_b が作用する面積である。ここで、 U , P_b および τ_b をそれぞれ

$$U = \beta V_B \quad (5)$$

$$P_b = C_b (\sigma - \rho \cos \theta) (H - d) \quad (6)$$

$$\tau_b = C_b (\sigma - \rho \cos \theta) (H - d) \sin \theta \quad (7)$$

(β : 定数、 V_B : ベルト速度、 C_b : 上層濃度、 h : 上層水深)

とし、さらに、鉛直応力 P_b が上層域との衝突力とつり合っているとすると、Bagnold²⁾ と同様にして、1個の粒子の衝突力は $2\sigma \frac{\pi}{6} d^3 (U_b - U_g) \cos \alpha$ 、単位面積内での衝突確率は $C_o C_b (U_b - U_g)$ に比例するので、比例定数を K とし、次式がえられる。

$$P_b = K (U_b - U_g) C_o C_b 2\sigma \frac{\pi}{6} d^3 (U_b - U_g) \cos \alpha \quad (8)$$

(K : 定数、 C_o : 底層濃度、 α : 粒子の衝突角)

$$\text{また、連続の式は } \int_0^d U_g C_o dy + \int_d^H U C_b dy = 0 \quad (9)$$

式(3)~(9)より、土石流の流動特性について次式がえられる。

$$W_g = W \pm \left(\frac{4}{3 C_o} \left\{ \frac{1}{C_o} \cos \theta \left(\frac{H}{d} - 1 \right) \left[C_b \left(\frac{\sigma}{\rho} - 1 \right) (2 \sin \theta + \mu \cos \theta) + \sin \theta \right] + \frac{\sigma}{\rho} \sin \theta + \mu \left(\frac{\sigma}{\rho} - 1 \right) \cos \theta \right\} \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$C_o = \frac{3}{K d^3 \pi} \left(1 - \frac{\rho}{\sigma} \right) \frac{\cos \theta}{\cos \alpha} \left(\frac{H}{d} - 1 \right) \frac{1}{(W_b - W_g)^2}$$

($W_g = U_g / \sqrt{g d}$, $W_b = U_b / \sqrt{g d}$)

なお、本実験における土石流の流動特性については現在、計算中である。

参考文献

- 1). 平野, 岩元, 篠原; 固定床における土石流の流動特性について 第15回 災害シンポジウム論文集 1998.10
- 2). Bagnold: Experiment on a gravity-free dispersion of large spheres in a Newton fluid under shear 1955

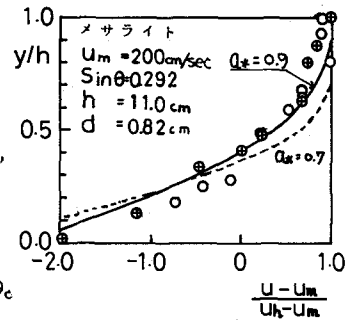


図-4 流速分布

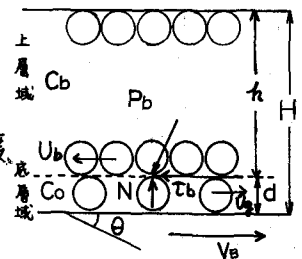


図-5 運動モデル