

土石流の流動と堆積について

岐阜大学工学部 正員 河村三郎

岐阜大学工学部 学生員 山本 茂

1. 理論的考察

<土石流の流速分布, 平均流速, および先端部流速>

Bagnoldの流子流の表現にならって流動式を次のようにおく,

(土石流先端部定義図は, 図-1に示す。)

$$\tau = \xi C_m \sigma d^2 \left(\frac{du}{dy} \right)^2 \dots (1)$$

ここに, C_m = 土石流の平均容積濃度, σ = 土砂の密度, d = 土砂の平均粒径, ξ は土石流濃度の関数と考える。一方, せん断応力(τ)の分布は,

$$\tau = g \sin \theta (h - y) [(\sigma - \rho) C_m + \rho] \dots (2)$$

ここに, ρ = 水の密度, h = 土石流の水深, θ = 流路こう配, g = 重力加速度である。

式(1)から式(3)を, さらに式(2)を式(3)に代入して式(4)を得る。

$$u = \sqrt{\frac{1}{\xi C_m \sigma d^2}} \int_0^y \tau^{\frac{1}{2}} dy \dots (3)$$

$$\frac{u}{u_*} = \frac{2}{3} \sqrt{\frac{1}{\xi} \left[1 + \frac{1 - C_m}{(\sigma/\rho) C_m} \right] \left(\frac{h}{d} \right) \left[1 - \left(1 - \frac{y}{h} \right)^{\frac{3}{2}} \right]} \dots (4)$$

ここに, $u_* = \sqrt{g h \sin \theta}$ である。表面流速 u_s は $y = h$ で $u = u_s$ であるから,

$$\frac{u_s}{u_*} = \frac{2}{3} f(c) \left(\frac{h}{d} \right) \dots (5)$$

$$f(c) = \sqrt{\frac{1}{\xi} \left[1 + \frac{1 - C_m}{(\sigma/\rho) C_m} \right]} \dots (6)$$

である。さらに, 式(4)と式(5)より式(7)となり, 土石流先端部直後の $y = D$ での流速を u_d とすると, 式(8)を得る。平均流速(u_m)は, 式(4)を使用して式(9)となる。

$$\frac{u_s - u}{u_*} = \left(1 - \frac{y}{h} \right)^{\frac{3}{2}} \dots (7)$$

$$\frac{u_s}{u_*} = \frac{2}{3} f(c) \left[1 - \left(1 - \frac{D}{h} \right)^{\frac{3}{2}} \right] \dots (8)$$

$$\frac{u_m}{u_*} = \frac{2}{5} f(c) \left(\frac{h}{d} \right) \dots (9)$$

平均流速(u_m)を土石流の流量(q_T)で表現するために, 式(9)を変形すると式(10)になり, 一方 $h = q_T / u_m$ であるから, 式(10)に $h = q_T / u_m$ を代入して, 式(11)を得る。

$$u_m = \frac{2}{5} f(c) \frac{\sqrt{g \sin \theta}}{d} q_T^{\frac{3}{2}} \dots (10)$$

$$u_m = \left[\frac{2}{5} f(c) \frac{\sqrt{g \sin \theta}}{d} \right]^{\frac{2}{5}} q_T^{\frac{3}{5}} \dots (11)$$

2. 実験装置と実験方法

実験水路(15×20×600 cm)に $d_{50} = 10$ mm, 比重 = 2.64 の砂利と $d_{50} = 0.7$ mm, 比重 = 2.62 の砂を, 一様な厚さ(2.5, 5.0, 7.5, 10.0 cm)に敷き, 水路こう配を 15°, 20°, 25° の 3 種類に変え, 上流端より給水を行ない土石流を発生させた。流動時には, 流量, 流速, 平均容積濃度, 盛り上がり高さを測定した。

実験装置は図-2に示した。

3. 実験データによる理論式の検討

(1) ξ の表現式

M. A. Dement'yev のダイラント流動の形式で示すと, $\xi = \alpha (C_* - C_m)^n \dots (12)$. Dement'yev は, $\alpha = 1.04$, $n = -1.45$ を与えている. 式(12)を式(6)に代入すると $f(c)$ は,

$$f(c) = \left\{ \frac{1}{\alpha (C_* - C_m)^n} \left[1 + \frac{1 - C_m}{(\frac{\phi}{\phi_0}) C_m} \right] \right\}^{1/2} \dots (13)$$

ξ と $(C_* - C_m)$ との関係を図-3 に示した. この図から, $\theta = 20^\circ$ について, $\alpha = 5^{11} \times 10^{16}$, $n = -11$ が得られた. 一方 Bagnold の流動式からは,

$$\xi = \beta \left[\frac{1}{C_m [(C_*/C_m)^{1/2} - 1]^2} \right]^N \dots (14)$$

が得られる. 大同は, $N = 1$, $\beta = 0.625 \sim 1.125$ を得ている. ξ と $C_m [(C_*/C_m)^{1/2} - 1]^2$ との関係を図-4 に示した. この図からは, $\theta = 20^\circ$ について, $N = 5$, $\beta = 1.5 \times 10^5$ が得られた. 式(14)を式(6)に代入すると $f(c)$ は, 式(15)となる.

$$f(c) = \left\{ \frac{C_m^N [(C_*/C_m)^{1/2} - 1]^{2N}}{\beta} \left[1 + \frac{1 - C_m}{(\frac{\phi}{\phi_0}) C_m} \right] \right\}^{1/2} \dots (15)$$

ξ を $(1 - C_m)$ の関数として示すと, $\xi = \gamma (1 - C_m)^M \dots (16)$ この式の場合 $f(c)$ は,

$$f(c) = \left\{ \frac{(1 - C_m)^M}{\gamma} \left[1 + \frac{1 - C_m}{(\frac{\phi}{\phi_0}) C_m} \right] \right\}^{1/2} \dots (17)$$

ξ と $(1 - C_m)$ の関係を示すと図-5 のようであり, この図から $\theta = 20^\circ$ について $\gamma = 2.0 \times 10^4$, $M = -40$ が得られた.

(2) 平均容積濃度と水路床こう配との関係

高橋らは, 平均容積濃度 (C_m) と水路床こう配 (θ) について次の式を提案している.

$$C_m = \frac{\tan \theta}{(\frac{\phi}{\phi_0} - 1)(\tan \phi - \tan \theta)} \dots (18)$$

ここに, ϕ は堆積層の内部摩擦角である. (18) と実験結果を示すと図-6 のようである. 堆積形状などについての解析結果は, 講演² に述べる.

参考文献

- 1) M. A. Dement'yev ; Internal friction and Lateral particle interaction in high-density slurry flows, Fluid Mech - Soviet Research vol 4, No 1, 1975
- 2) 高橋 寺田 浜田 ; 土石流の発生に対する高濃度流の影響, 関西支部講演集

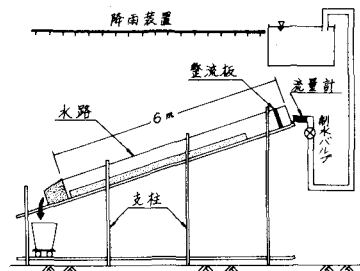
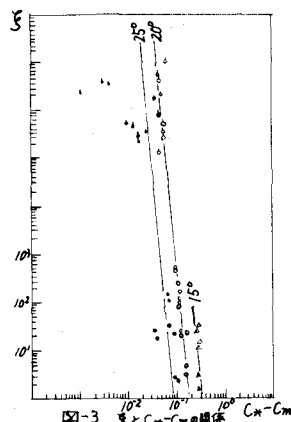
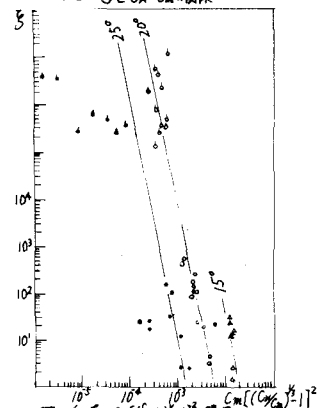
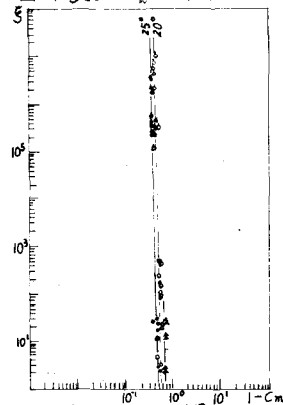
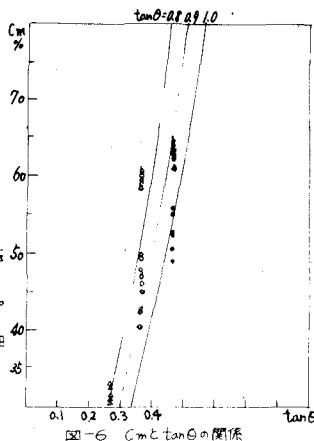


図-2 実験装置

図-3 ξ と $C_* - C_m$ の関係図-4 ξ と $C_m [(C_*/C_m)^{1/2} - 1]^2$ の関係図-5 ξ と $1 - C_m$ の関係図-6 C_m と $\tan \theta$ の関係