

九州大学 工学部 正 員 平野 宗夫
清水建設 正 員 篠渡 裕明
九州大学 工学部 学生員 〇志岐 寛

1. まえがき

近年の現地観測や水路実験により、先端部が段波状と呈するほどの事実が明らかにされてきたが、まだ土石流の特性については不明な点が多く残されている。著者らは、本来非定常な段波の移動を、ベルトコンベアを用いた移動座標系を用いて定常流として取り扱い、固定床における土石流先端部の流動特性を調べてきたが、今回はこの装置を用いての実験結果をもとに、土石流を上層と底層の二層に分けた流動モデルを考えたので報告する。

2. 実験およびその結果

(1) 粒子の濃度と濃度分布

ベルトコンベア式水路にメサライトの土石流を発生させ、メスシリンダーで土石流を採取して流動中の土石流の平均濃度 C_m を測定した。それによると、 C_m は水路勾配やベルト速度に関係はくほぼ一定で、 $C_m = 0.3 \sim 0.4$ (最高濃度 C_k は $C_k = 0.63$) であった。また、濃度の深さ方向の変化を調べるために、側壁に密着しているメサライトの個数を写真により数えて求めた濃度分布を示すと図-1 のようになり、底面近くと除く大部分の領域で濃度はほぼ一定となっているが、底面近くでは急に小さくなっている。この底面から一粗径程度の底層部では粒子が激しく上流側に移動しており、測定の精度にはやや疑問があるが、上層部に較べて濃度がかなり小さくなっていることは実験中の観察からも確かなものと考えられる。

(2) 流速分布

流速分布の実測例を図-2 に示す。図-2 から、底層付近では流動が激しく流速の測定が困難でよくわからないが、底面から一粗径程度を除いた上層部では流速は一様流速に近いことがわかる。底層部の流速は実測できなかったが、実験中の観察によれば上層部の流速に較べて著しく小さい。このように、今回の実験で得られた結果は従来移動床で得られている流速分布とかなり異なり、底面の近くで勾配が急変するようは流速分布であることを示している。吉高²⁾も、固定床における実験ではほぼ同様の結果を得ており、図-2 のようは流速分布を有することが固定床における土石流の特徴の一つであると考えられる。

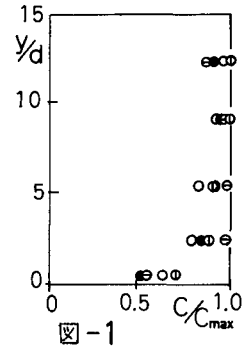


図-1

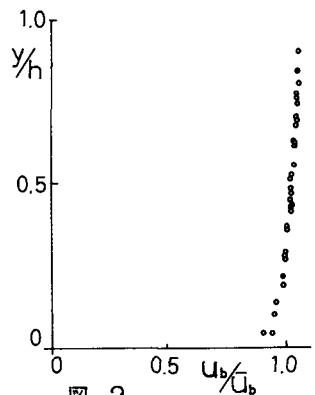


図-2

3. 解析

上述のように、底面近くの一粗径程度の層はその上部に比し流動状況が著しく異なっている。そこで、土石流を速度・濃度とも一様に近い分布を示す上層部と、濃度が小さく速度も遅い底層部の二層に分けて考えることにする。まず、図-3 のように、底層の粒子 A と上層の粒子 B の衝突による運動量の変化は次のように表わされる。

$$\left. \begin{aligned} m(u_{b2} - u_{b1}) &= -F_t (\mu_s \cos \alpha + \sin \alpha) & m(v_{b2} - v_{b1}) &= F_t (\cos \alpha - \mu_s \sin \alpha) \\ m(u_{g2} - u_{g1}) &= F_t (\mu_s \cos \alpha + \sin \alpha) - \mu_b P_t & 0 &= F_t (\mu_s \sin \alpha - \cos \alpha) + P_t \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

ここに、 $m = (\sigma + \frac{1}{2}\rho) \frac{\pi}{6} d^3$ 、 σ は粒子の密度、 ρ は水の密度、 u および v はそれぞれ粒子のxおよびy方向の速度成分、添字b、g、lおよび2はそれぞれ粒子B、粒子A、衝突前および衝突後を示す。 μ_b および μ_l はそれぞれ粒子間および粒子と底面との摩擦係数、 F_b および F_l はそれぞれ粒子間および底面の反力の力積、 α は衝突角である。また、粒子Aは底面に規制されてy方向に移動しないものとしている。

次に、この衝突による力が上層部の重力と釣り合っていると考えると、xおよびy方向について次式が成り立つ。

$$\left. \begin{aligned} \bar{C}_b \sigma g R a b \sin \theta &= -m (u_{b2} - u_{b1}) \cdot \Delta \\ \bar{C}_b (\sigma - \rho) g R a b \cos \theta &= m (v_{b2} - v_{b1}) \cdot \Delta \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

ここに、 $\bar{C}_b$ は上層の平均濃度、 a と b はそれぞれ底層の粒子一個の受け持つ長さで幅、その他の記号は図-4参照。また、 Δ は単位時間あたりの衝突回数で、衝突の周期を T とすれば $\Delta = 1/T$ である。 T が十分に小さいものとするとき $(u_{g2} - u_{g1})/T = -du_g/dt$ であるから、式(1)および(2)より

$$m \frac{du_g}{dt} = -\bar{C}_b \rho g R a b \left\{ \frac{\sigma}{\rho} \sin \theta - \mu_o \left(\frac{\sigma}{\rho} - 1 \right) \cos \theta \right\} \quad (3)$$

一方、衝突と衝突の間では、底層部の粒子の運動方程式は

$$m \frac{du_g}{dt} = \frac{\pi}{6} d^3 \sigma g \sin \theta - \mu_o (\sigma - \rho) g \frac{\pi}{6} d^3 \cos \theta - \frac{\pi}{8} C_o \rho (u_g - u_w)^2 d^2 \quad (4)$$

ここに、 u_w は底層の水の流速である。式(3)、(4)より

$$\frac{3}{4} C_o \beta C_o \frac{U^2}{gH} = \left\{ \frac{\sigma}{\rho} \sin \theta - \mu_o \left(\frac{\sigma}{\rho} - 1 \right) \cos \theta \right\} C_m \quad (5)$$

ここに、 $U = u_g - u_w$ 、 $C_m = \beta \frac{d}{H} C_o + \frac{R}{H} \bar{C}_b$ 、 C_o は底層の粒子濃度で $C_o = \frac{\pi}{6} d^3 / a b \beta d$ である。また、連続の式 $\int_0^{\beta d} (u_g - V_b) C_o dy + \int_0^R (u_b - V_b) C_b dy = 0$ より

$$C_o = \frac{H}{\beta d} \frac{V_b - \bar{u}_b}{u_g - \bar{u}_b} \quad (6)$$

ここに、 $\bar{u}_b$ は上層の粒子の平均流速、 V_b はバルト速度(平均流速)である。式(5)、(6)に $\bar{u}_b$ 、 H 、 V_b 等の実測値を適用して C_o を求め、プロットすると図-5のようである。底層部では上層部に比しかなり濃度が低くはっており、実測結果をよく説明している。

4. むすび

今回の実験により、濃度分布も流速分布も底面付近に急変領域を有しそれより上部領域ではほとんど一定となっており、このような分布を示すことが固定床土石流の特徴であると考えられる。

C_o を求めるにあたり、 V_b 、 θ は既知であり、 C_m は実験により求めた値を用いた。 μ_o も別に実験を行ない、 $\mu_o = 0.3$ という実験データを得た。しかし、 C_o 、 u_w 、 β のうちの未知のものは適当に仮定を行なった。従って、今後、このような未知のものを明らかにしてゆくことが必要である。

(参考文献)

- 1) 平野、岩元、鎌渡、隈本：土石流先端部の挙動について
- 2) 吉高、高野：射流による土堆の崩壊とその流下挙動について

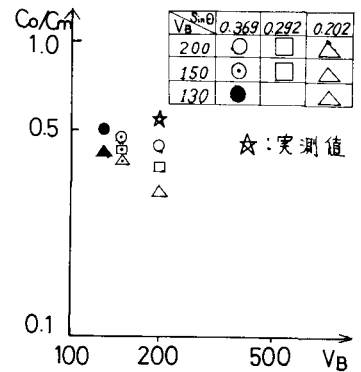
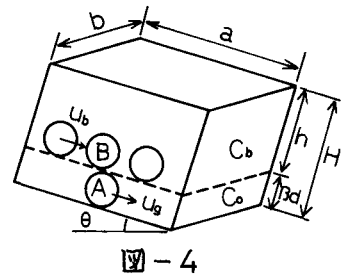
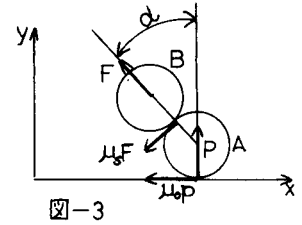


図-5