

模型水路内におけるボラの流動に関する実験的研究

宮崎大学農学部 ○谷口義信 高橋正佑
別府市役所 小林文明

1. まえがき

桜島の土石流を組成的にみると、同じ火山噴出物でも野尻川の場合は細粒分が多く、ボラが少ないのに対し、黒神川の場合は非常にボラの多いのが特徴である。野尻川のような細粒物質の土石流については池谷等¹⁾の研究があるが、ボラについては陶山²⁾の研究を除いては比較的少ないようである。ここではボラのような比重が軽く、粒子の比較的粗い土石流の流動特性を実験的に追求することを試みた。

2. 実験装置および実験方法

実験装置は0.2×0.2×4mの水路上部貯水槽を設け、これにより段波を発生させるようにしたものである。水路底面には金網を張りつけ摩擦を大きくした。水路内には粒径が5〜50mm(フレイ分け)の黒神川のボラを厚さ5cmに敷きつめ $d_m = 1.5cm$ 、これにインテックスとして着色礫を底面とそれから2cm間隔に埋め込み、これを高速度カメラフットソニック1-PLを用いて側面から撮影した。カメラの撮影速度は予備実験の結果から $\frac{1}{200} \sim \frac{1}{250}$ (24/sec)とした。なお水路には予め $180 cm^3/sec$ の流量を与えておき、これに貯水槽から8Lの水を段波として与えた。撮影フィルムはXモーションアナライザーにより、X、Y軸とも範囲は300mm) X、Y座標の読み取りを行った。なお時間はタイムバルサーから読み取り、X、Yについては水路に取り付けたX、Yメジャーから校正を行い、距離を算出した。

3. 粗大粒子から成る土石流の流速分布

高橋³⁾によれば土石流はグイラタント流体であり、その流速分布は次式で与えられるとしている。

$$u = \frac{2}{3d} \left\{ \frac{g \sin \theta}{d_s \sin \phi} \left\{ C_d + (1 - C_d) \frac{\rho}{\sigma} \right\} \right\}^{\frac{1}{2}} \left\{ \left(\frac{C_d}{C_d} \right)^{\frac{1}{2}} - 1 \right\} H^{\frac{1}{2}} \left\{ 1 - \left(1 - \frac{y}{H} \right)^{\frac{1}{2}} \right\} \quad \text{----- (1)}$$

ここに d : 粒径, d_s : 常数, ϕ : 安息角, g : 重力加速度, θ : 堆積層勾配, C_d : 流体濃度, ρ : 水の密度, σ : 粒子の密度, C_d : 堆積層濃度, H : 全水深, y : 水路底面からの高さである。(1)式から流速は粒径の関数となっていることがわかる。普通底面速度は0であるが、粗大粒子から成る流体の底面速度は0でないことは明らかである。いま粒径 d_1, d_2 にかかわらずそれぞれを u_{d1} ($y = \frac{d}{2}$ における速度), u_{d2} ($y = \frac{d}{2}$) は同一であるものとする。なお d_2 , その他の値は両者とも変らないものとする。このとき(1)式は粒径 d によって流速分布が異なることがわかる。すなわち粒径 d_2 から成る流体の流速分布を u_2 , d_1 の流速分布を u_1 とすると, $u_{d1} = u_{d2}$ の関係を用いて

$$u_2 = u_1 \left\{ 1 - \left(1 - \frac{d_1}{2H} \right)^{\frac{1}{2}} \right\} / \left\{ 1 - \left(1 - \frac{d_2}{2H} \right)^{\frac{1}{2}} \right\} = u_1 \frac{1 - (1 - \frac{d_1}{2H})^{\frac{1}{2}}}{1 - (1 - \frac{d_2}{2H})^{\frac{1}{2}}}, \quad \left(\text{ただし } \frac{d}{2H} = \frac{d_1}{2H}, \quad \frac{d}{2H} = \frac{d_2}{2H} \right) \quad \text{----- (2)}$$

ここで $\frac{d}{2H} = 0.01$, 0.1 として $d_2 = 1, \dots, 5$ を与えたときの $\alpha = \frac{1 - (1 - \frac{d_1}{2H})^{\frac{1}{2}}}{1 - (1 - \frac{d_2}{2H})^{\frac{1}{2}}}$ とグラフに描いたものが図1である。同図から粒径が倍になれば流速は約 $\frac{1}{2}$ になり、粒径にはほぼ反比例していることがわかる。

粒径と濃度の関係については理論的には決められない。そこで野尻川の試料を用いて、これを実験的に調べたものが図2である。同様に粒径 d と $f(C_d) = \left\{ C_d + (1 - C_d) \frac{\rho}{\sigma} \right\}^{\frac{1}{2}} \left\{ \left(\frac{C_d}{C_d} \right)^{\frac{1}{2}} - 1 \right\}$, $f(C_d)/d$ の関係を一括して示したものが表1である。同表から明らかなように粒径が約倍になれば、 $f(C_d)/d$ は約 $\frac{1}{2}$ になり、したがって d_2 に変化がないものとするれば流速は約 $\frac{1}{2}$ に低下することになる。しかし筆者等の実験によれば粒径の差異による流速の顕著な差異は認められなかった。これは塩野⁴⁾が指摘しているように d_2 は

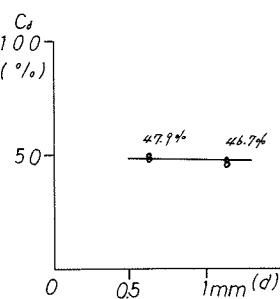
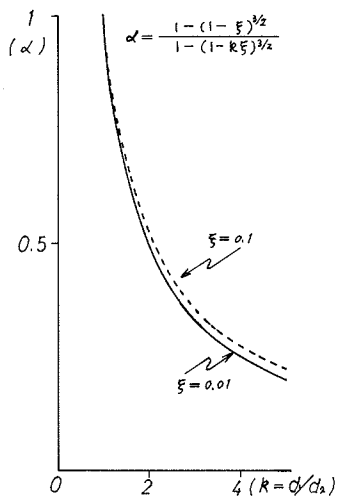
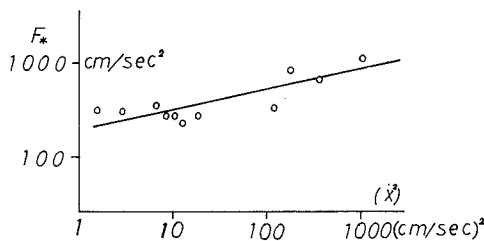


表-1 粒径dと濃度の関係

d (mm)	C _s (%)	C _e (%)	f(C _e)	f(C _e)/d
1.14	52.8	46.7	0.03435	0.03013
0.62	55.6	47.9	0.04204	0.06780

一定でない
ことを示す
ものであり、



しかも粒径に関係し
ていることがわかる。
そしてこの場合は粒
径が大きい程底面速
度が大きくなり、工
学的にはこのことが

図-3 x^2とF_*の関係

流路工の底面摩耗を著しく大きくする
等の問題を生ぜしめると言える。

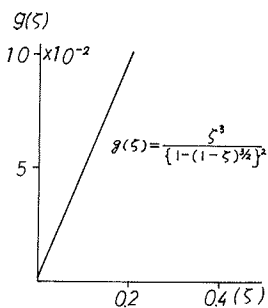


図-4 xiとg(xi)の関係

一方土石流の流速について日浦等は
質点力学の運動方程式に適用して

$$m\ddot{x} = mg \sin \theta - F \quad \text{--- (3)}$$

mは質量、thetaは斜面勾配である。Fは
衝突に起因する力であり $\frac{F}{m} = F_*$ とおき

$$\ddot{x} = g \sin \theta - F_* \quad \text{--- (4)}$$

として、日浦等のようにx^2とF_*の関係を
グラフに描いたものが図-3であり、

なる実験式が得られる。これは日浦が

図-2 dとC_dの関係

$$F_* = 2.09 x^{0.421} \quad \text{--- (5)}$$

求めた実験式とも類似の傾向を示している。

いま(3)式をインテグレーションとして入れた1個の粒子について考えるものとし、Fは粒子の密度rhoに比
例し、粒子のよめる面積に比例するものとして、一種の抵抗係数Kを用いてつぎのようにかく。

$$\frac{F}{m} = K \sigma d^2 u^2 / \sigma d^2 = K \frac{u^2}{d} \quad \text{--- (6)} \quad (3) \text{式において底面の粒子が終速度に達したとき } K = K_0$$

$$K_0 = \frac{g \sin \theta}{u_d^2} \quad \text{--- (7)} \quad u = u_d \text{として(7)式が得られる。一方 } u_d \text{は(1)式より}$$

$$u_d = \frac{2}{3d} \left[\frac{g \sin \theta}{\rho_i \sin \theta_r} \left\{ C_d + (1 - C_d) \frac{\rho}{\sigma} \right\} \right]^{\frac{1}{2}} \left\{ \left(\frac{C_d}{\sigma} \right)^{\frac{1}{2}} - 1 \right\} H^{\frac{1}{2}} \left\{ 1 - \left(1 - \frac{\rho}{\sigma H} \right)^{\frac{1}{2}} \right\} \quad \text{--- (8)}$$

$\xi = d/2H$, $f(C_d) = \left\{ C_d + (1 - C_d) \frac{\rho}{\sigma} \right\}^{\frac{1}{2}} \left\{ \left(\frac{C_d}{\sigma} \right)^{\frac{1}{2}} - 1 \right\}$ とおいて(7), (8)式からK_0はつぎのようになる。

$$K_0 = \frac{18 \rho_i \sin \theta_r}{\{f(C_d)\}^2} \cdot \frac{\xi^2}{\{1 - (1 - \xi)^{1/2}\}^2} = \frac{18 \rho_i \sin \theta_r}{\{f(C_d)\}^2} \cdot g(\xi), \quad g(\xi) = \frac{\xi^2}{\{1 - (1 - \xi)^{1/2}\}^2} \quad \text{--- (9)}$$

図-4から明らかのようにxiの増加とともにg(xi)は急激に増加している。一方前述のようにf(C_d)は粒径
の増大とともにやや減少することから考えれば、K_0は粒径の増大と共に増加すると考えられる。

4. まとめ

実験結果から粒径が大きくなるにつれC_dは減少する、また衝突に関係する抵抗係数が増加すること
が認められた。そしてこのときは底面速度が大きくなり、底面の摩耗が大きくなることが予想される。

引用文献

- 1) 池谷浩：桜島野尻川流路工水理模型実験報告書、2) 陶山正憲：55年度砂防学会講演集、3)
- 高橋保：京大防災研究所年報B-20、4) 塩野裕司：2)に同じ、5) 日浦裕全：京府大演習杯報告19