(59) ダム湖に流入する泥流の挙動について

九州大学工学部　平野宗夫　羽田野　義　赤司　也
建設省大隅工事事務所　古賀省三

山地崩壊などにより生じた高濁度の泥流がダム湖に流入すると，泥水は湖内の清水よりも密度が高い為湖底に沿って流入する。このような流れを泥水密度流（turbidity current）といい，桜島でみられるような土石流の海中への突入や，海底地震によってしばしば発生することが知られている。本論文はこのような泥水密度流について若干の基礎的な実験を行ない，理論的な考察を試みたものである。

1. 実験およびその結果

実験装置は図－1に示すように長さ4m，幅0.2m，水深0.8m，底面勾配0.204 の水槽である。濁水・着色塩水を所定の流量・密度で供給して泥水密度流を発生させ，その形状をVTRで測定した。また密度はサイフォンで採水して測定した。泥水密度流の先端部は写真－1に示すように盛り上っており，図－2に示すように，上層の清水を連行して高さを増しながら流下する。先端部の最大厚さδmaxを流下方向xに対してプロットすると図－3のようになり，ほぼ直線的に増加している。また先端速度を流下方向xに対してプロットすると図－5のようになり，流下方向に加速された後，一定値に漸近するようである。

2. 理論的考察

図－4に示す座標系で考える。図の斜線部について連続式，質量保存則および運動方程式は次のように与えられる。

$$\frac{\partial \delta}{\partial t}+\frac{\partial q}{\partial x}=q_* \quad \cdots\cdots\cdots(1) \qquad \frac{\partial \triangle\rho}{\partial t}+\frac{q}{\delta}\frac{\partial \triangle\rho}{\partial x}=-\frac{\triangle\rho\, q_*}{\delta} \quad \cdots\cdots\cdots(2)$$

$$\rho\int_0^{\delta}\left(\frac{\partial u}{\partial t}+u\frac{\partial u}{\partial x}+v\frac{\partial u}{\partial y}\right)dy=\triangle\rho\, g\,\delta\sin\theta+\tau i-\tau b \quad \cdots\cdots\cdots(3)$$

ここに，δ：泥水層厚，q：単位幅当りの泥水流量，ρ：泥水の密度，q_*：連行速度，g：重力加速度，$\overline{\triangle\rho}$：泥水と清水の密度差の断面平均

式(2)を若干変形して特性方程式で表示すると，

$$\frac{d\delta}{dx}=E-\frac{\delta}{\bar{u}}\frac{\partial \bar{u}}{\partial x} \quad \cdots\cdots\cdots(4)$$

ここに，$\bar{u}$は泥流の平均流速で$\bar{u}=q/\delta$，Eは連行係数で$E=q_*/\bar{u}$である。図－3よりδはxに比例しているから，$m=E-\delta/\bar{u}\cdot\partial\bar{u}/\partial x$を一定すると，　$\delta=m(x-x_0)+\delta_0$　$\cdots\cdots\cdots(5)$

となる。また式(2)を特性曲線表示すると，

$$\frac{dt}{1}=\frac{dx}{\bar{u}}=-\delta\frac{d\overline{\triangle\rho}}{\overline{\triangle\rho}\, q_*} \quad \cdots\cdots\cdots(6)$$

式(6)と式(5)より

$$\frac{\overline{\triangle\rho}}{\overline{\triangle\rho}_0}=\left(\frac{\delta}{\delta_0}\right)^{-\frac{E}{m}}=\left\{\frac{m}{\delta_0}(x-x_0)+1\right\}^{-\frac{E}{m}} \quad \cdots\cdots\cdots(7)$$

ここに，添字0は基準点における値を示す。一方式(3)を連続式を考慮して積分し，運動量補正係数を1.0とすると次式が得られる。

$$\frac{d\bar{u}^2}{dx}+\frac{2}{\delta}\left\{E\left(1-\frac{u(\delta)}{\bar{u}}\right)+f\right\}\bar{u}^2=\frac{2\overline{\triangle\rho}}{\rho}g\sin\theta \quad \cdots\cdots\cdots(8)$$

ここに，fは抵抗係数で$f=(\tau b-\tau i)/\rho\bar{u}^2$，$\bar{u}(\delta)$は境界における流速，$\theta$は底面の勾配である。上式に式(6)および(7)を代入し，E，k，fを一定として積分すると次式が得られる。

$$U^2=\frac{2F_0^{-2}\sin\theta}{2f+E(1-2k)+m}\{m(x-x_0)+1\}^{1-\frac{E}{m}}+\left(1-\frac{2F_0^{-2}\sin\theta}{2f+E(1-2k)+m}\right)\{m(x-x_0)+1\}^{-2\frac{E(1-k)+f}{m}} \quad \cdots\cdots\cdots(9)$$

ここに，$U=\bar{u}/\bar{u}_0$，$X=x/x_0$，$F_0=\bar{u}_0/\sqrt{\frac{\triangle\rho_0}{\rho}g\delta_0}$，$k=u(\delta)/\bar{u}$である。式(9)の適合性をみるために$k=0$，$E=m=0.06$，$f=0.01$として計算値と実測値をプロットしたのが図－5であり，両者はほぼ一致している。$Q=0.153\ell/S$の方は計算値が実測値より若干大きな値を示しているが，この原因としてはパラメータk，E，fの値の適否および密度の測定が不正確なことなどがあげられる。これらについては今後さらに正確な実験を行ない，検討するつもりである。

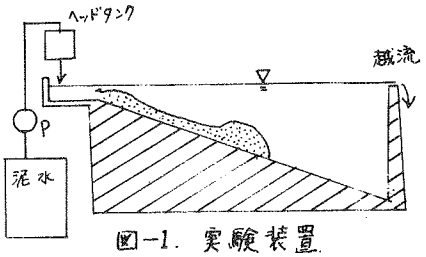

図-1. 実験装置

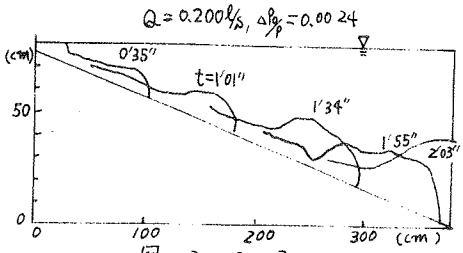

図-2 流況

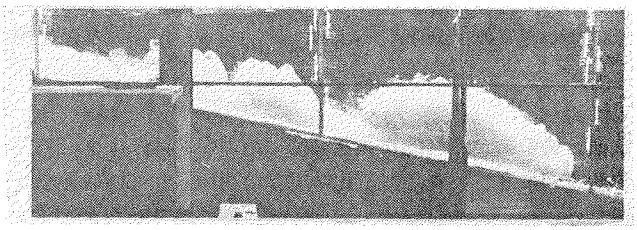

写真 -1

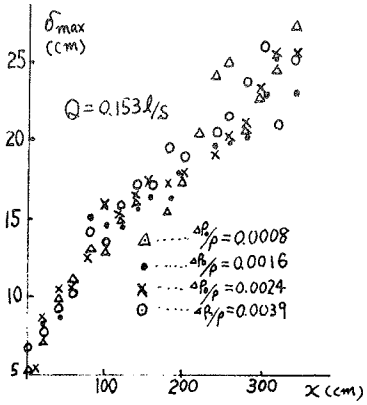

図-3 $\delta_{max} \sim x$

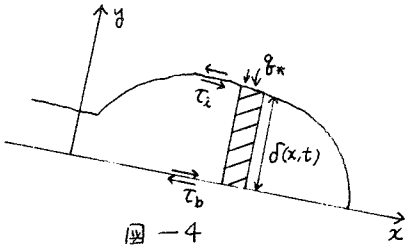

図-4

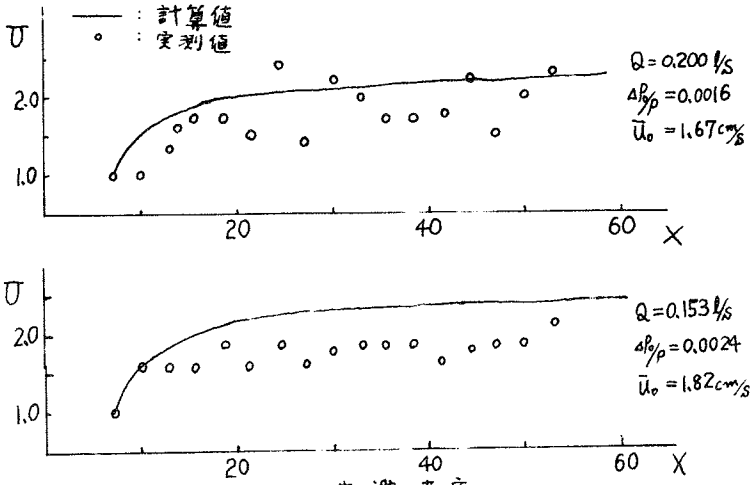

図-5. 先端速度