

II-51

泥水密度流先端部の挙動について(第7報)

九州大学工学部 正員 平野 宗夫

九州大学大学院 学生員 松尾 俊洋

九州大学工学部 学生員 小野 義之

九州大学工学部 学生員 馬場 透

1. まえがき

傾斜底面上を流下する下層密度流は、後続流の存在する plume と存在しない thermal に大別される。本報は、両者を統一的に表すために、水路幅が流下方向に直線的に広がる場合の plume と前報¹⁾ thermal とを比較し、その特性を明らかにしようとするものである。

2. 理論

現象を解析するに際しては、図-1に示すような2層流モデルによった。図の流体塊に関して体積保存則、質量保存則およびx方向の運動方程式を特性曲線法で解くと $d\hat{x}/dx = \hat{u}$ 上で以下の式がそれぞれ得られる。

$$\frac{d\hat{\delta}}{dx} = E - \frac{\hat{\delta}}{\hat{u}} \frac{\partial \hat{u}}{\partial x} - \frac{\hat{\delta}}{b} \frac{db}{dx} = m - \frac{\hat{\delta}}{b} \frac{db}{dx} \quad (1) \quad \frac{d\hat{P}}{dx} = -\frac{\hat{P}E}{\hat{\delta}} \quad (2)$$

$$\frac{d\hat{u}^2}{dx} = 2 \frac{\hat{P}}{\rho} g \sin \theta - \frac{2}{\rho \hat{\delta}} g \cos \theta \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{1}{2} \rho \hat{\delta}^2 \right)$$

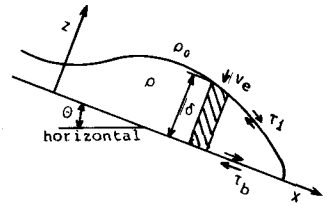


図-1 解析モデル

$$-2 \frac{\hat{u}^2}{\hat{\delta}} \left\{ (1-A)E + f_1 + 2 \frac{\hat{\delta}_s}{b} f_2 \right\} + 2 \frac{\hat{u}^2}{b} \frac{db}{dx} (1-A) - 2(\beta-1) \frac{\hat{u}}{\hat{\delta}} \frac{\partial}{\partial x} (\hat{u} \hat{\delta}) - 2 \hat{u} (\beta-1) \frac{\partial \hat{u}}{\partial x} - 2 \hat{u} \frac{\partial \beta}{\partial x} \quad (3)$$

ここに、 b は水路幅、 ρ および ρ_s はそれぞれ下層流体と上層流体の密度、 θ は底面傾斜角、 S は境界の長さ、 u はx方向の流速成分、 δ は下層流体の流動厚さ、 E は連行係数、 m はふくらみ係数 ($m = E - \frac{\hat{\delta}}{\hat{u}} \frac{\partial \hat{u}}{\partial x}$) である。 m 、 E および振幅 i を一定とし、最大厚さの断面を対象とすると、(1)~(3)式は以下のようにそれぞれ表される。

$$\frac{\hat{\delta}}{\hat{\delta}_s} = \left\{ \frac{Am}{2} (X-X_s)^2 + mB(X-X_s) + B \right\} / \left\{ i(X-X_s) + B \right\} \quad (4) \quad \frac{d\hat{P}}{d\hat{P}_s} = \left(\frac{b\hat{\delta}}{b_s\hat{\delta}_s} \right)^{-\frac{E}{m}} \quad (5)$$

$$\frac{dU^2}{dX} = 2F_0^{-2} \frac{d\hat{P}}{d\hat{P}_s} \sin \theta - \frac{2U^2}{\hat{\delta}_s} \left\{ (1-A)E + f_1 + 2 \frac{\hat{\delta}_s}{b} f_2 \right\} + \frac{2U^2}{b\hat{\delta}_s} (1-A) \frac{db}{dX} + \frac{4U^2}{\hat{\delta}_s} (\beta-1)(m-E) - 2U^2 \frac{\partial \beta}{\partial X} \quad (6)$$

ここに、 $B = b_s/\hat{\delta}_s$ 、 $X = x/\hat{\delta}_s$ 、 $i = db/dx$ 、 $F_0 = \hat{u}_0/\sqrt{4\rho_s g \hat{\delta}_s/\rho}$ 、 $U = \hat{u}/\hat{u}_0$ であり、添字0は初期値を示す。(4)~(6)式において E と m が現象を規定する重要なパラメータとなるので、以下これらについて実験的に検討する。

3. 実験結果とその考察

(1) 実験 実験水路の上流端より1mの所から水路幅を直線的に広げ、水路内に水道水を満たした後、上流端より着色塩水(濃度1000ppm)をhead tankで所定の流量流してplumeを発生させ、塩分濃度(採水位置 $x = 120, 180, 260, 320$ cm)、先端部の流動厚さおよび移動速度を測定した。なお、振幅率 $i = 0.020, 0.040$ 、水路勾配 $\sin \theta = 0.047, 0.102, 0.153, 0.202$ 、流量 $Q(\text{kg/s}) = 0.05, 0.10$ についてそれぞれ実験を行った。

(2) 実験結果および考察

(a) ふくらみ係数 m ふくらみ係数を次式

$$m = \frac{d\hat{\delta}}{dX} + \frac{\hat{\delta}}{b} \frac{db}{dX} \quad (7)$$

に δ の実測値を適用して求めたものが図-2である。 m は周囲水の連行と速度のむすみによる流動厚さの増加割合を合わせたものであるが図のように底面勾配に対して比例し、また、振幅率が同一であれば、plume と thermal で顕著な差は認められない。

(b) 連行係数 E 式(2)を $E = \text{const.}$ として積分すると式(8)が得られる。

$$E = -\ln(\Delta\rho/\rho_0) / \int_{x_0}^x dx/\delta \quad (8)$$

E の値は実験で得られた流動厚さと密度の実測値から上式によって求められるが、図-3は plume の場合の E と thermal の場合の E の比を底面勾配に対してプロットしたものである。底面勾配による変化は不明瞭であるが、thermal では plume の 1.7 倍ほどとなっている。

(c) $\delta/\alpha \cdot \partial\delta/\partial x$ この値は連行係数 E とふくらみ係数 m の平均値から求められ、底面勾配に対してプロットすると、図-4 のようになり、thermal と plume では大きく異なり、前者は正、後者は負の値とそれぞれ分かれることがわかる。これは傾斜 plume の場合は、後続流から先端部への流入があり、後続流の流速が先端部に比べて大きいので $\partial\delta/\partial x < 0$ となるが、一方、thermal の場合には初期の供給の影響がなく、現時点では先端部への後続流の流入はなく、逆に後方にとり残される状態となり $\partial\delta/\partial x > 0$ となるためと考えられる。

(d) ふくらみ係数と連行係数の比 E/m 式(5)より式式が得られる。

$$\frac{E}{m} = -\ln(\Delta\rho/\rho_0) / \ln(b\delta/b_0\delta_0) \quad (9)$$

これに実測値を適用して、 E/m の平均値を求め、底面勾配との関係を示したのが、図-5で、thermal の場合 $E/m > 1.0$ 、plume の場合 $E/m < 1.0$ となっている。また、thermal の場合、振幅率が同一であれば底面勾配とともに減少し、同一勾配では振幅率が大きいほど小さくなっている。plume の場合、振幅率にあまり関係せず、底面勾配が変化しても、ほぼ一定であるという結果が得られた。

4. 結論

以上より、1) ふくらみ係数 m は底面勾配が大きくなるに従って増加すること、2) 連行係数 E は thermal の場合は plume の場合に比べ、かなり大きな値をとること、3) $\delta/\alpha \cdot \partial\delta/\partial x$ の値は thermal の場合には正、plume の場合には負になること、4) E/m は thermal の場合、底面勾配とともに減少し、plume の場合はほぼ一定値をとることなどがわかった。

<参考文献>

- 1) 平野・羽田野・外村・松尾；泥水密度流先端部の挙動について(第4報) 第38回年次講演会, 1983
- 2) 平野・羽田野；土木学会論文報告集, No. 332, 1983.4

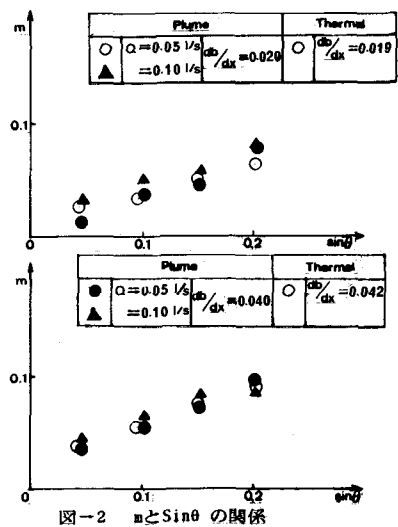


図-2 m と $\text{Sin}\theta$ の関係

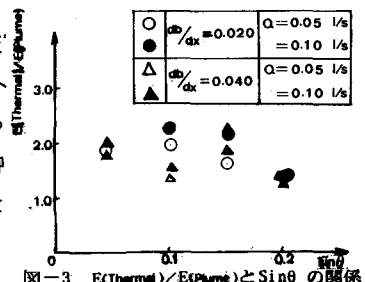


図-3 $E(\text{Thermal})/E(\text{Plume})$ と $\text{Sin}\theta$ の関係

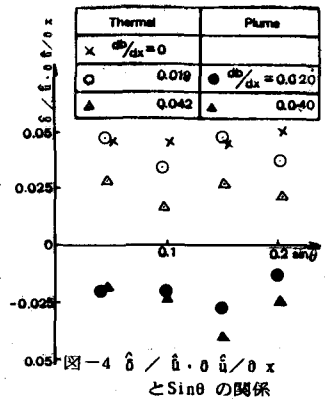


図-4 $\delta/\alpha \cdot \partial\delta/\partial x$ と $\text{Sin}\theta$ の関係

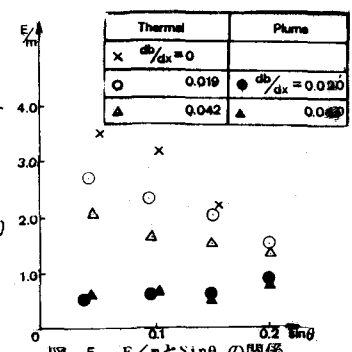


図-5 E/m と $\text{Sin}\theta$ の関係