

九州大学工学部 正 平野宗夫

九州大学工学部 正 利田野繁義

九州大学大学院 学○赤司淳也

1. まえがき

山地崩壊などにより生じた高濃度の泥流がダム湖に流入すると、泥水密度流が発生する。泥水密度流はこのほか、土石流の海中への突入や海底地震などによってしばしば発生することが知られている。前報¹⁾では室内実験により一様な勾配の斜面に沿って流動する泥水密度流についてその先端部の性状を調べ、その結果を報告した。

本研究は、底面勾配が途中で変化する場合について塩水を用いた室内実験をもち、先端部の運動について考察を加えたものである。

2. 実験およびその結果

(1) 実験装置および方法

実験に用いた水路は図-1に示すような幅0.2m、全長約4mの

2次元水路で、上流から1.5m(水平距離)までは底面勾配が

0.206 それより下流では水平な底面になる。つまり、下流端には越

流せきが設置してある。実験はこの水槽

に水道水を満たしておき、上流から所定

の流量で既知濃度の着色塩水を供給して

擬似泥水密度流を発生させてその先端部

の運動をV.T.R.で撮影した。また、先端

部が水平底面の区間に達し、水平底面に

沿う流動が落ち着いたとみられる地点で先端部の密度分布を

瞬間採水によって測定した。なお、密度は電導度を測定して

塩分濃度に換算して求めた。

(2) 実験結果

(a) 液流および先端部の厚さ 先端部の移動状況を示し

たのが図-2である。それによると先端が傾斜面を流動する場合は前報¹⁾

と同様に先端部はふくらみを増しながら流下し、勾配急変点で形状を若

干変えたのち、水平底面に沿って流動し始める。また先端部ふくらみの

最大厚さを d_{max} とし、最先端の位置 x とその時の d_{max} とをプロット

したのが図-3である。それによると、水平底に沿って流動する場合は

斜面を流下する場合¹⁾と異なり、先端部ふくらみ厚さの増大がみとめられ

ず、ほぼ同一の形状を保ちながら進行するようである。

(b) 密度分布 先端部が水平な底面に沿って流動する際の密度分布

を測定した結果の1例を図-4に示す。なお、図には先端部の形状と採

水位置が示されている。それによると、密度差の大きいもの程一様な分

布からはずれるようである。

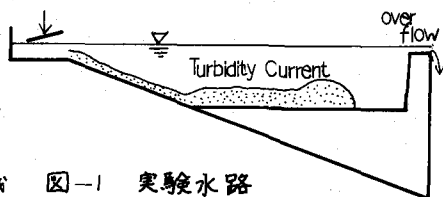


図-1 実験水路

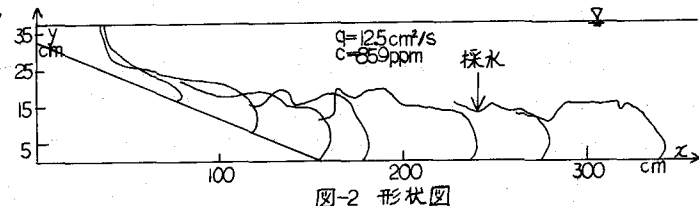


図-2 形状図

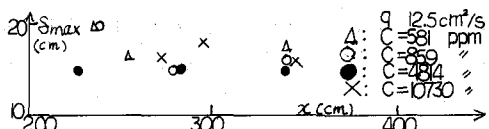


図-3 S_{max} - x の関係

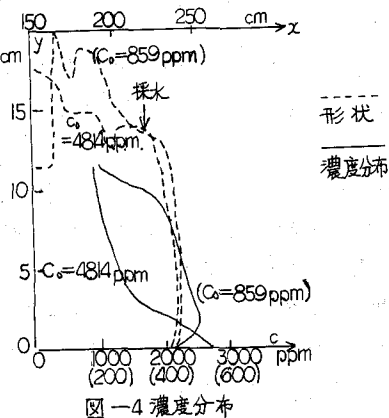


図-4 濃度分布

3. 理論的考察

泥水密度流先端部の流れを図-5に示すようなモデルで考える。
図の斜線部に連続式、質量保存則および近似的な運動方程式を考え
るとそれぞれ式 (1), (2) および (3) を得る。

$$\frac{\partial \delta}{\partial t} + \frac{\partial \xi}{\partial x} = \xi_* \quad (1) \quad \frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial \rho}{\partial x} \right) = -\frac{\partial \rho}{\partial x} \quad (2)$$

$$\rho \int_0^\delta \left(\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} \right) dy = \Delta \rho g \delta \sin \theta$$

$$-g \cos \theta \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{1}{2} \Delta \rho \delta^2 \right) + \tau_i - \tau_b \quad (3)$$

ここに、 δ は泥水流の厚さ、 ξ は泥水流の単位幅流量、

$\Delta \rho$ は泥水と清水の密度差の断面平均、 ξ_* は進行速度、

で進行係数 E を用いて $\xi_* = E \bar{u}$ 、 τ_i および τ_b はそれぞれ

れ界面および底面における抵抗で抵抗係数 f を用いて $\tau_i - \tau_b = -f \cdot \rho \bar{u}^2$ とおく。但し、 $\bar{u}$ は泥水流の断面平均流速である。

運動量補正係数を 1.0 として式 (3) を若干変形したのち、 $\partial (\Delta \rho \delta^2) / \partial x = 2 \Delta \rho \delta \cdot \partial \delta / \partial x$ と考えて特性曲線 $d\xi/dt = \bar{u}$ 上で考えると、 $k = u(\delta)/\bar{u}$ を用いて、

$$\frac{d\bar{u}}{dx} + \frac{2}{\delta} \{ E(1-k) + f \} \bar{u}^2 = \frac{2 \Delta \rho}{\rho} g \left(\sin \theta - \frac{\partial \delta}{\partial x} \cos \theta \right) \quad (4)$$

以下、先端部が水平な底面上を流動する場合について考える。この場合、式中の θ は $\theta = 0$ となる。さらに、先端はほぼ同一の形状を保ちながら進行するので、先端部の頂点を含む断面と最先端の速度は等しくなり、速度については頂点を含む断面で考えればよいことになる。また、特性曲線 $d\xi/dt = \bar{u}$ 上で δ を考えると

$$\frac{d\delta}{dx} = E - \frac{\delta}{\bar{u}} \frac{\partial \bar{u}}{\partial x} = 0 \quad \therefore E = \frac{\delta}{\bar{u}} \frac{\partial \bar{u}}{\partial x} \quad (5)$$

今、 $E = 0$ とおくと x 方向に流速のむずみをもたず、先端部の密度が変化しない状態を示す。そのような場合について考え、 $X = x/\delta_0$ 、 $U = \bar{u}/\bar{u}_0$ および $F_0 = \bar{u}_0 / \sqrt{g \delta_0}$ (添字 0 は先端が基準点にある時の値) を用い、さらに頂点付近では $\partial \delta / \partial x = 0$ ということを考えて式 (4) を変形すれば次式 (6) が求まり、 $f = \text{const.}$ として式 (6) を積分すれば式 (7) が得られる。

$$\frac{dU^2}{dX} + 2fU^2 = 0 \quad (6) \quad U^2 = e^{-2fX} \quad (7)$$

式 (6) の適合性をみるために $f = 0.005$, 0.01 および 0.02 の場合を計算し、実験値とともにプロットしたのが図-6である。図より、実験値・計算値ともに漸減の傾向を示し、両者は良く一致していることがわかる。

4. 結び

以上を要約すると、勾配急変異を通過する泥水密度流先端部は、この程度の勾配変化ではその前後で移動速度とふくらみ厚さがさほど変化しないことがわかった。また、先端部が斜面を流下する場合と水平底面に沿って流動する場合とは、ふくらみの発達の様子が全く異なっており、先端部の発達の様子は勾配によって変化することが予想される。今後、勾配を色々変化させて先端の発達率を調べ、勾配が連続的に変化する所を流下する泥水密度流の流動に結びつけるのもセリである。最後に本研究にあたり実験およびデータ整理に熱心に協力してくれた梅尾信之君に謝意を表します。《参考文献》 1) 平野・羽田野・赤司；第33回土木学会年報、1978、P395