

沈降を考慮した泥水密度流先端部の解析

九州大学大学院 学生員○松 尾 俊 洋

九州大学工学部 正員 平野 宗夫

九州大学工学部 松本佳英

1. まえがき

泥水密度流先端部の解析を行なう際には、重い流体が周囲の流体を連行することのみならず、浮遊粒子が沈降することや底面の粒子がまき上げられることなどの影響も考慮に入れなければならない。本報では、濁質として珪砂を用いた thermal の実験を行ない、粒子の沈降や先端部の粒子の粒度分布の流下方向変化などを考えながら、先端部の流動特性を理論的、実験的に考慮したものである。

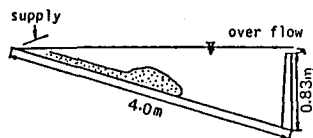


圖-1 實驗水路

$\text{cl B} / \text{cl X}$	$V(l)$	$\sin \theta$
0	8.0	0.039
		0.083
		0.142
		0.202

表-1 実験条件

2. 実験

実験水路は図-1に示したものを用了。実験は水道水を満たした水路内に上流部より濁度10,000PPMの珪砂(比重2.65、中央粒径30 μ)を混合した水を投入し、先端部の発達、先端移動速度および濁度を測定した。なお、先端部が流下するにつれて粒度分布が変化することが予想されたので、流下する濁水を採水し顕微鏡写真撮影を行ない、デジタイザーで粒径を測定した。実験条件は表-1に示すとおりである。

3. 理論

実験結果の解析に際して、非定常な下層密度流であると考え、図-2に示す2層流モデルを用いた。下層流体に関する体積保存則、水の質量保存則、砂の質量保存則および流下方向の運動方程式は前報¹⁾と同様である。粒径別の質量保存則は、粒径別の濃度を C_i とすると式(1)となる。

$$\frac{\partial(c_i \hat{\delta})}{\partial t} + \frac{\partial(c_i \hat{u} \hat{\delta})}{\partial x} = (1 - \lambda)(\hat{r}_* - \hat{r}_i) \quad (1)$$

また、 $r_1 = \frac{CW_0}{1-\lambda}$ (2) とし、特性曲線 $\frac{dx}{dt} = \bar{u}$ 上で表すとそれぞれ式 (3) ~ (5) が得られる。

$$\frac{d\hat{\delta}}{dx} = E - \frac{\hat{\delta}}{\hat{u}} \frac{\partial \hat{u}}{\partial x} + \frac{\hat{r}_* - \hat{r}_f}{\hat{u}} = m + \frac{\hat{r}_* - \hat{r}_f}{\hat{u}} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \frac{d\hat{u}}{dx} = & -\frac{\hat{u}}{\delta} \left\{ \frac{\rho_0}{\rho} (1-k) E + \frac{\sigma(1-\lambda) + \rho_0 \lambda}{\rho} \frac{\hat{r}_* - \hat{r}_1}{\hat{u}} + f_i + f_b \right\} + \frac{\Delta \rho}{\rho \hat{u}} g \sin \theta \\ & - \frac{g}{\rho \delta \hat{u}} \cos \theta \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\rho \delta^2}{2} \right) - 2(\beta-1) \frac{\partial \hat{u}}{\partial x} - (\beta-1) \frac{\hat{u}}{\delta} \frac{\partial \delta}{\partial x} + \hat{u} \frac{\partial \beta}{\partial x} \quad (5) \end{aligned}$$

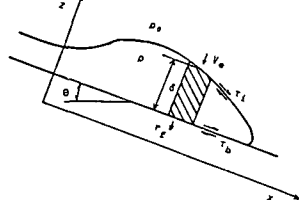


図-2 解析モデル

ここで、 E は連行係数、 m はふくらみ係数、 β は運動量補正係数、 $k = u_z - \delta / \hat{u}$ である。

4. 考察

(1) 粒度分布の変化

採水地点は上流端から1.2, 1.8, 2.6, 3.2mの4点で、それぞれI、II、III、IVとする。その粒度分布の変化をグラフにしたものが図-3であるが、明瞭な変化は見られない。また図-4は中央粒径の流下方向変化を示しているが原材料の

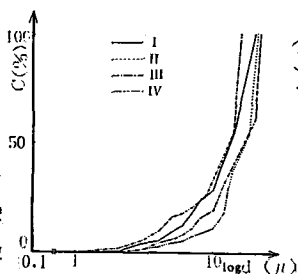


图-3 粒度分布

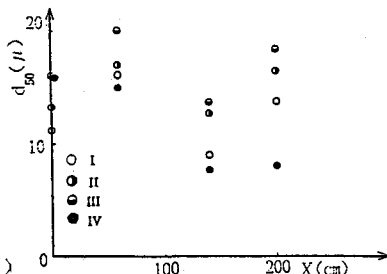


図-4 流下距離と中央粒径の関係

中央粒径からは大きく変化しているものの測定した4点間では、あまり変化は見られない。

(2) ふくらみ係数 m

$$m = \frac{d\delta}{dx} \frac{\hat{r}_k - \hat{r}_l}{\hat{u}} \quad (6)$$

本実験では式(6)の右辺第1項が第2項に比べ卓越しているの、 δ の実験値から m が求められる。図-5は m と底面勾配の関係をプロットしたものである。投入物質が珪砂、塩分の場合とも底面勾配に比例して増加していることがわかる。前者の方が若干大きいが大差はないと思われる。

(3) 連行係数 E

式(4)に C 、 δ の実験値を与えると、 E は求められ、 E と底面勾配の関係は図-6の通りである。塩分だけでなく珪砂についても比例関係が見られるが前者の方が大きい値を示している。

(4) 連行係数とふくらみ係数の比 E/m

E/m は実験値と計算値との間の重要なパラメーターであるが、この値は(2)、(3)により求められた、それぞれの m と E の値から与えられる。

図-7は E/m と底面勾配の関係を示したもので、 $E/m = 1 \sim 2$ の間にあり、底面勾配が大きくなるに従い、 E/m は小さくなる傾向にあるが同様の傾向が見られた塩分の場合に比べて小さいことがわかる。

(5) 実験値と計算値との比較

式(3)～(5)を用いて数値計算を行ないその結果を実験値と比較したものが図-8、9である。これによると濃度の計算値は $E/m = 2$ 程度で実験値にはほぼ一致しており、(4)で直接、計算で求められた E/m の値と対応している。速度の計算値については底面抵抗係数 $f = 0.1$ としたとき、 $E/m = 2.5$ の曲線が実験値に近くなった。また体積速度 $\hat{r}_l = 0$ とした場合の計算値を破線で示し、沈積項の影響をみたが実験水路の範囲では、誤差範囲程度の差異しかなかった。

5. 結論

本研究は、泥水密度流先端部が流下するに従って、粒度分布が大きく変化してゆくことを想定して行なわれたが、測定区間では長さが不十分なため、その変化は小さいことがわかった。ただ、もとの中央粒径からの変化を考えると、濁質投入直後にかんりの沈降があったと思われる。また、長大な水路を想定して計算すると十分下流では、粒度分布が大きく変化してくることから実際の距離では沈積項の影響が重要になってくる可能性がある。

<参考文献>

1) 平野、羽田野、松尾；濁水の流入により形成される thermal の流動特性について 第40回年次学術講演会

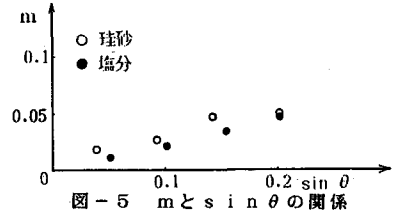


図-5 m と $\sin \theta$ の関係

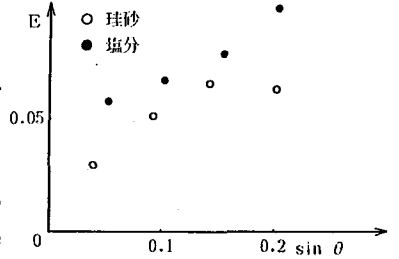


図-6 E と $\sin \theta$ の関係

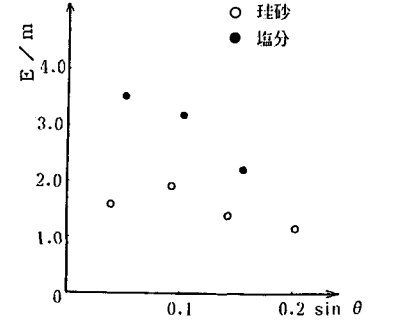


図-7 E/m と $\sin \theta$ の関係

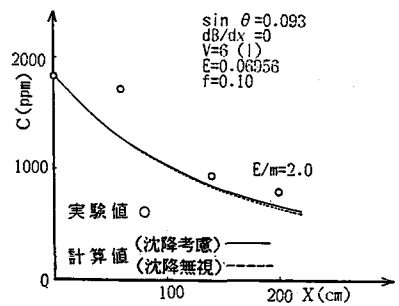


図-8 濃度の実験値と計算値

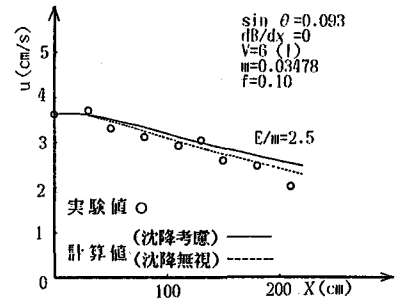


図-9 速度の実験値と計算値