

九州大学工学部 正 平野宗天
九州大学工学部 正 羽田野繁義
九州大学工学部 学 池田浩二

1. まえがき

泥水密度流は貯水池の濁り現象あるいは堆砂の問題と密接に関連するため、水工学上重要な研究課題の一つであり、近年活発に研究がなされるようになった。しかしながらこれまでの研究は殆んどが二次元貯水池に関するものであり、実際の貯水池が複雑な断面形をしていることから、断面の変化を考慮した扱いが必要である。

本研究は、その最も単純な場合として水路幅が直線的に広がる場合について下層密度流の実験を行ない、その先端部の運動の解析を試みたものである。

2. 解析

断面形の変化が緩やかな場合、傾斜密度流も間水路漸変流と類似の扱いが可能と考えられる。Fig. 1に示すような二層モデルで考える。重い流体に関する体積保存則、質量保存則および近似的な運動方程式はそれぞれ次式となる。

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = g_* B \quad (1)$$

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \bar{u} \frac{\partial \rho}{\partial x} = - \frac{\rho g_*}{\delta} \quad (2)$$

$$\rho \int_{-\frac{\delta}{2}}^{\frac{\delta}{2}} \int_0^B \left(\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} \right) dz dy = \Delta \rho g B \delta \sin \theta - g B \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{1}{2} \rho \delta^2 \right) - (\tau_i - \tau_b) B \quad (3)$$

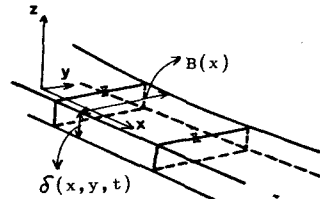


Fig. 1 Model for analysis.

ここに、 A は重い流体の流積、 B は水路幅、 u, v, w はそれぞれ x, y および z 方向の流速成分、 g_* は周囲水の進行速度、 $\bar{u}$ は u の断面平均値、 ρ は密度差、 δ は重い流体の流動厚さ、 θ は底面傾斜角である。

式(1)、(2)および(3)は、若干変形したのち運動量補正係数を1.0とすると同一の特性曲線 $dx/dt = \bar{u}$ 上で考えることが可能となる。以下、上式を特性曲線 $dx/dt = \bar{u}$ 上で考え先端部の運動に注目する。まず式(1)において $g_* = E\bar{u}$ 、 $dB/dx = i$ とおくと $d\delta/dx = E - \delta/\bar{u} \cdot \partial \bar{u}/\partial x - i\delta/(B \cdot \bar{u})$

水路幅が一定の場合、密度流先端部の形状は相似に保たれ、かつ先端最大厚さが x とともに直線的に増大するという実験結果から、 $d\delta/dx = E - \delta/\bar{u} \cdot \partial \bar{u}/\partial x$ ($=m$) を一定として扱った。ここでもそれを参考にし、これに水路幅の拡がりの効果を重ね合わせた形で考える。結局は解けてその結果を無次元形で表せば次式となる。

$$\frac{\delta}{\delta_0} = \left[\frac{m}{2} (X-X_0)^2 + \frac{B1}{1} m (X-X_0) + \frac{B1}{1} \right] / \left(X-X_0 + \frac{B1}{1} \right) \quad (4)$$

ここに、 $B1 = B_0/\delta_0$ 、 $X = x/\delta_0$ で添字0は初期値を示す。なお、式(4)で振幅率が δ の変化に及ぼす効果を調べたのがFig. 2である。

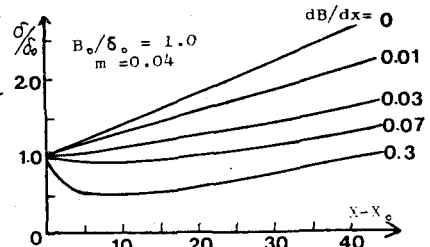


Fig. 2 Calculation of δ versus x . (for various values of dB/dx)

図より流がり角の大きい程の発達が見えることがわかる。

また ρ も m および E を一定とした場合解けて次式を得る。

$$\frac{\rho}{\rho_0} = \left\{ \left(\frac{X-X_0}{2B/(cm)} + m \right) (X-X_0) + 1 \right\}^{-E/m} \quad (5)$$

速度については解析的に解くことは困難であるが、無次元化された次式を数値的に解くことは可能である。

$$\frac{dU^*}{dX} = 2F_0 \sin \theta \frac{\rho}{\rho_0} - 2\{(1-k)E + f\} \frac{U^*}{(\frac{\rho}{\rho_0})} + \frac{(1-k)}{B1 + i(X-X_0)} U^* \quad (6)$$

ここに、 $F_0 = \bar{u}_0 / \sqrt{g \bar{h}_0}$, $U^* = U/\bar{u}_0$, $k = u^{(0)}/\bar{u}$, $f = (\tau_0 - \tau_0)/\rho \bar{u}^2$

3. 実験結果との比較および検討

実験に用いた水路は、下流端に高さ 0.7m のせきをもつ長さ 4m の可変勾配水路で、水路幅を途中（上流より 10 m）から直線的に拡大したものである。実験は振幅率 0.02, 0.04, 0.09 について既報⁽¹⁾と同様に行ない、漸拡部を密度流が流下する時、先端部の発達、混合状態、初動速度について測定を行なった。

二次元の場合、先端の発達率即ち、式(4)中の m は勾配によって変化する^(2), 3)ことが最近明らかにされているが、式(4)を本実験に適用した場合、Fig.3に示すように m の値は上記の二次元の場合の値 $m = m_0$ では通さず、それより大きい値を用いた時、よい一致を示すようである。 m の大半は進行によると考えられ、上述の事実は漸拡水路（ $dB/dx = 0.09$ ）における傾斜密度流定常部の進行係数が二次元の場合の2倍程度の値になるという福岡⁽⁴⁾の実験結果とよく対応している。つぎに、水理量計をかえて行なった実験に対して式(7)の m に合致する m_0 の値（これを m_0 とする）を求め、断面勾配に対してプロットしたのが Fig.4 である。これによると二次元水路における $dB/dx = m$ と同様、 m_0 は勾配とともに増大している。また、上で求めた m と二次元の場合の m_0 との比をとり、これを水路振幅率 dB/dx に対してプロットしたのが Fig.5 である。これによると、かなり大きなバラつきはあるものの、 m/m_0 が dB/dx とともに増大する傾向のあることがわかる。従ってその変化特性に及ぼす dB/dx の効果は Fig.2 ほどは顕著でなくなる。塩分濃度・先端速度については譲渡時に述べる。

<参考文献>

- 1) 平野・羽田野・香司；泥水密度流先端部の挙動について，九大工学集報，第51巻第4号，1978
- 2) 平野・羽田野・高倉；泥水密度流先端部の挙動について(第2報)，第35回土木学会年議，1980
- 3) R.E. Britter and P.F. Linden；The motion of the front of a gravity current travelling down an incline，J.F.M. (1980) vol. 99, part 3
- 4) 福岡・福岡・高倉；三次元貯水池に流入する濁水の流動機構，東工大土木科学研究報告，No. 26，1970

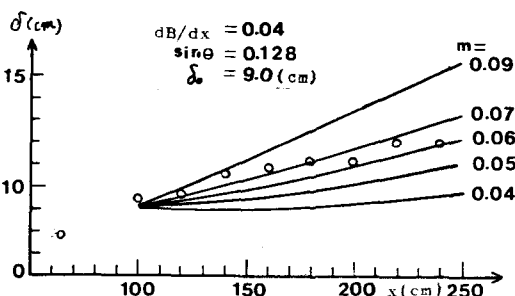


Fig.3 Variation of δ with x . (compared with experimental data)

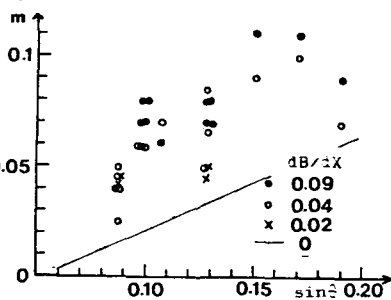


Fig.4 $m \sim \sin^2 \theta$.

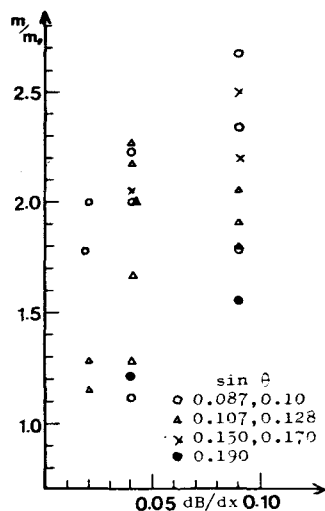


Fig.5 $m/m_0 \sim dB/dx$.