

II-411

沈澱池における濁度密度流の推定法

九州工業大学 正 員 藤崎一裕
九州工業大学 学生員 小野敏孝
九州大学工学部 正 員 栗谷陽一

1 まえがき

横流式沈澱池内の濁度密度流現象の概略について検討した。この種の濁度密度流現象については、まだ十分な検討がなされていない。むしろ、密度流の影響を考慮に入れない段階での、池内の流況を細かく把握しようとする試みなどが多くなされている。

筆者らは、これまでに、池内の乱流拡散をも考慮して、濁度密度流の大略の様子を簡単に記述する目的で検討を行ってきた。本報では、これらの解析の総括として、密度流の発達、減衰の過程や、代表流速値の簡単な推定法などについて報告する。

2 基礎式

図1のように諸量を定めると、この場合の基礎式は、無次元表示で以下になる。¹⁾

$$\bar{u} \frac{\partial \bar{u}}{\partial \bar{x}} + \bar{w} \frac{\partial \bar{u}}{\partial \bar{z}} = -\frac{1}{F_{d0}^2} \int_{\bar{z}}^{\bar{h}} \frac{\partial \bar{c}}{\partial \bar{x}} d\bar{z} - \frac{1}{F_{d0}^2} \frac{d\bar{h}}{d\bar{x}} + \frac{\partial}{\partial \bar{z}} \left(\bar{\nu}_t \frac{\partial \bar{u}}{\partial \bar{z}} \right) \quad (1)$$

$$\frac{d}{d\bar{x}} \int_0^{\bar{h}} \bar{u} d\bar{z} = 0 \quad (2)$$

$$\bar{u} \frac{\partial \bar{c}}{\partial \bar{x}} + \bar{w} \frac{\partial \bar{c}}{\partial \bar{z}} = \frac{\partial}{\partial \bar{z}} \left(\beta \bar{\nu}_t \frac{\partial \bar{c}}{\partial \bar{z}} + \bar{c} \right) \quad (3)$$

ただし

$$\left. \begin{aligned} \bar{x} &= \frac{x w_0}{H U_0}, & \bar{z} &= \frac{z}{H}, & \bar{u} &= \frac{u}{U_0} \\ \bar{w} &= \frac{w}{w_0}, & \bar{c} &= \frac{c}{c_0}, & \bar{h} &= \frac{h}{H} \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

$$\left. \begin{aligned} F_{d0} &= \frac{U_0}{\sqrt{(\rho_s - \rho_l) / \rho_l \cdot c_0 g H}} \\ F_d &= \frac{U_0}{\sqrt{g H}}, & \bar{\nu}_t &= \frac{\nu_t}{w_0 H} \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

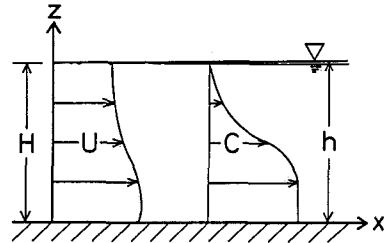


図1 座標系

であり、 ν_t :渦動拡散係数、 w_0 :粒子沈降速度、 ρ_s :粒子密度、 ρ_l :流体密度、 β :定数($=1$)であり、 U_0 、 C_0 はそれぞれ流入口の値である。

流下距離は水深方向に比べて十分に長いものとして境界層近似を用いた。現象は主として、密度フルード数 F_{d0} と無次元拡散係数 $\bar{\nu}_t$ により特徴づけられる。

(1)式右辺第一項が密度流の発生に直接関与する項で、第二項が水面勾配の変化を通して断面内流量を一定に保持するように作用する。

本解析では、現象の概略の把握を目的としているため、まず ν_t を全水深にわたって一定とし、底面での摩擦も無視した場合について検討する。また(3)式の β も1とする。

基礎式の数値解は、通常の有限差分法により求めた。 $\Delta \bar{x} = 0.001$ 、 $\Delta \bar{z} = 0.025$ とし、X方向の積分には、Runge-Kutta法によった。また密度流効果が著しい場合に対しては、濃度分布や流速分布に簡単な関数形を仮定して、そのパラメータを求めていく積分モーメント法も併用した。

3 濁度密度流の概略

図2-1～図2-4に流速分布の計算例を示す。(図中の破線については後述する) 一般に F_{d0} が小さく、 $\bar{\nu}_t$ が小さいほど密度流の成長が著しいが、これらの図からその様子を量的に知ることができる。

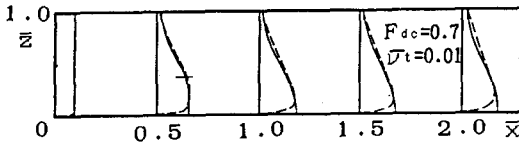


図2-1 流速分布

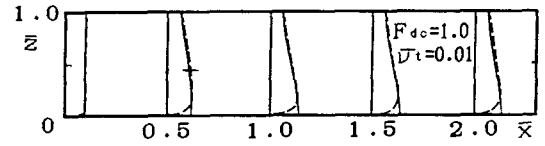


図2-2 流速分布

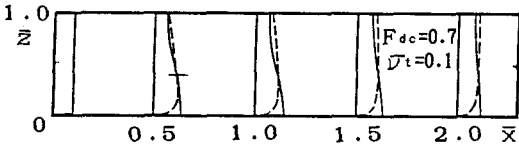


図2-3 流速分布

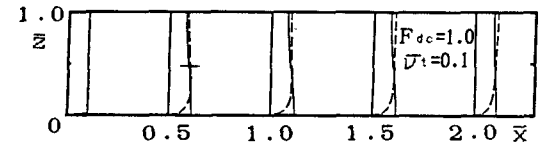


図2-4 流速分布

図中の横細線は粒子濃度が50% ($\bar{C}=0.5$) の位置を示す。 F_{dc} が同じ場合には、粒子濃度の分布形は $\bar{D}_t$ により変化するが、 $\bar{C}=0.5$ の水深は $\bar{D}_t$ の影響を受けることが少ない。

図3には、密度流の代表流速として、底部における流速 (U_b) と水面流速 (U_s) の流下方向の変化を示す。 $\bar{x}=1$ で粒子の沈降がほぼ終了することを考えると、パラメータの値によっては、密度流の減衰が非常に遅くなる様子が表れている。

図4には密度流の代表流速として、 U_b の最大値 (U_{bmax}) と U_s の最小値 (U_{smin}) をとり、これらの値と F_{dc} 、 $\bar{D}_t$ との関係を調べたものである。これらの値が生じる距離は F_{dc} 、 $\bar{D}_t$ により異なるが、 U_{bmax} と U_{smin} とも F_{dc}^{-2} とほぼ直線関係にある。これは、この解析で水路底部の摩擦を考慮していないことから予想される結果である。

図5には実用上の便を考慮して、図4の関係を更に簡略化して示した。図中の曲線は次式で近似できる。

$$\left(\frac{U_{max}}{U_0} - 1 \right) \cdot F_{dc}^2 = \frac{1}{2} \frac{1}{1 + \alpha \bar{D}_t}, \quad \alpha = 13.5$$

現象に及ぼす底面摩擦の影響についても検討した。拡散係数に双曲線分布を仮定し、水路底部におけるせん断力 τ_0 を一定とし、その値は流速分布に対数則を仮定して求めた。Reynolds数、 $H_0 U_0 / \nu = 30000$ の場合に対する数値解を図2、3の中に破線で示した。

図2によると密度流の流速分布は $\tau_0=0$ の場合と比較して、底部を除いてはあまり大きな差はないといえる。また、図3によると、密度流の発達過程においても底面摩擦の影響はあまり表れていない。

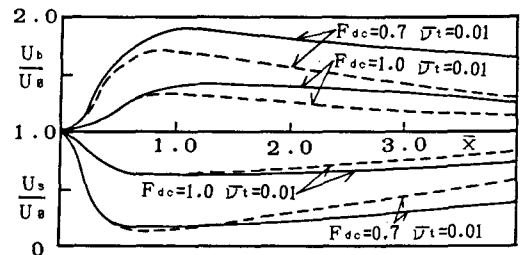
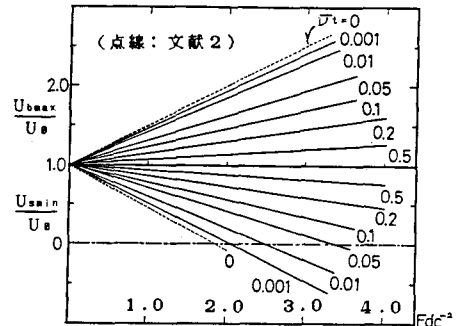
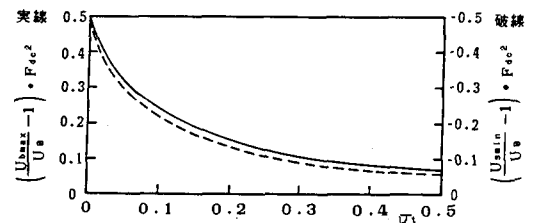


図3 密度流の発生、減衰過程


図4 代表流速と F_{dc} 、 $\bar{D}_t$ との関係 (I)

図5 代表流速と F_{dc} 、 $\bar{D}_t$ との関係 (II)

参考文献

- 1) 藤崎、向井、西、栗谷、土木学会年講 (昭和62年9月) p722~773
- 2) 栗谷、楠田、土木学会論文集、第168号、1969年8月、p25~36