

横流式沈澱池における濁度密度流について(II)

九州工業大学 正 員 藤崎一裕

九州工業大学 学生員 向井保紀

九州工業大学 小野敏孝

九州大学工学部 正 員 栗谷陽一

1. まえがき

筆者らはこれまでに、横流式沈澱池内の濁度密度流について、その数値解析法などについて検討を行ってきた。今回はこれらの解析の総括として、密度流の発達、減衰の様子や死水の状況等について、概略を報告する。

2. 基礎式及び解法

現象は水深に比べて流下距離が十分に長い場合を考えているので、境界層近似を用いる。図1のように座標軸をとると、この場合の基礎式は、

$$u \frac{\partial u}{\partial x} + w \frac{\partial u}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial z} \left(\nu_t \frac{\partial u}{\partial z} \right) \quad (1)$$

$$0 = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} - g \quad (2)$$

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (3)$$

$$u \frac{\partial C}{\partial x} + w \frac{\partial C}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial z} \left(\nu_m \frac{\partial C}{\partial z} + w_0 C \right) \quad (4)$$

$$\rho = C \rho_s + (1 - C) \rho_l = \rho_l + C(\rho_s - \rho_l) \quad (5)$$

ここに、 ν_t : 渦動粘性係数、 ν_m : 渦動拡散係数、 w_0 : 粒子沈降速度、 ρ_s 、 ρ_l : 粒子及び流体の密度、 c : 粒子濃度(体積基準)である。

本解析では、現象の概略を把握することを目的としたため、 ν_t を全水深にわたって一定値と仮定し、また $\nu_m = \nu_t$ とした。

上の基礎式を整理して、無次元表示すると、

$$\bar{u} \frac{\partial \bar{u}}{\partial \bar{x}} + \bar{w} \frac{\partial \bar{u}}{\partial \bar{z}} = -\frac{1}{F_{dc}^2} \frac{\partial \bar{c}}{\partial \bar{z}} \frac{d\bar{h}}{d\bar{x}} + \frac{\partial}{\partial \bar{z}} \left(\bar{\nu}_t \frac{\partial \bar{u}}{\partial \bar{z}} \right) \quad (6)$$

$$\frac{d}{d\bar{x}} \int_0^{\bar{h}} \bar{u} d\bar{z} = 0 \quad (7)$$

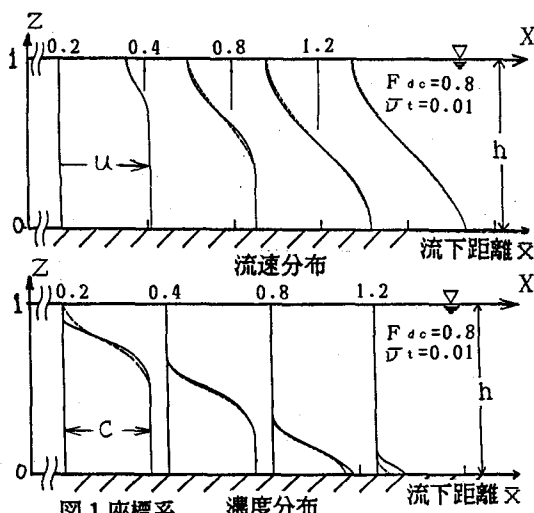


図1 座標系 濃度分布

$$\bar{u} \frac{\partial \bar{c}}{\partial \bar{x}} + \bar{w} \frac{\partial \bar{c}}{\partial \bar{z}} = \frac{\partial}{\partial \bar{z}} \left(\bar{\nu}_t \frac{\partial \bar{c}}{\partial \bar{z}} + \bar{c} \right) \quad (8)$$

ここで、

$$\bar{x} = \frac{x}{H} \frac{w_0}{U_0}, \quad \bar{z} = \frac{z}{H}, \quad \bar{u} = \frac{u}{U_0}, \quad \bar{w} = \frac{w}{w_0}, \quad \bar{c} = \frac{C}{C_0}$$

$$F_{dc} = \frac{U_0}{\sqrt{(\rho_s - \rho_l) / \rho C_0 g H}}, \quad F_d = \frac{U_0}{\sqrt{g H}}, \quad D_t = \frac{\nu_t}{w_0 H}$$

であり、 U_0 、 C_0 は沈澱池入口における値を表す。

(6) (7) (8) 式がこの場合の基礎式で(6)式右辺第1項が密度流の発生に直接関与し第2項の水面勾配が流量を一定に保持するように作用する。

基礎式の数値解は、まず通常の有限差分法により求めたが、密度流効果が大きく死水を生じるような場合には、積分モーメント法を用いた。この方法は池内の粒子濃度分布や流速分布に簡単な関数形を仮定して、そのパラメータを順次求めていく手法である。(計算方法の概略は前報¹⁾参照)

図1に、2つの計算方法比較例を示す。両者の値には少し差を生じているところもあるが、全般的に近い値になっている。(実線: 差分法、破線: 積分モーメント法)

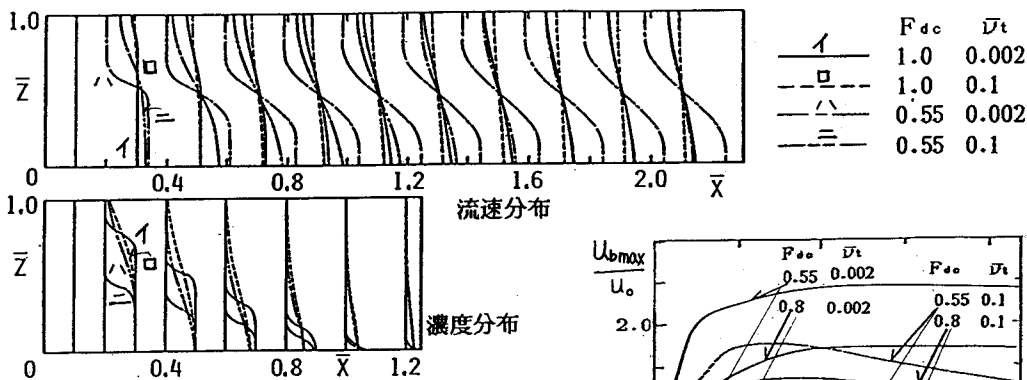


図2 流速及び粒子濃度分布

3. 濁度密度流の概略

図2に流速分布と粒子濃度分布の一例を示す。これらの図から、 F_{dc} が小さいほど密度流効果が大きいこと、 D_t が大きいほど池内の拡散が進み、密度流が発生しにくいことがわかる。

図3には密度流の最大流速 u_b (沈澱池底部の流速) と最小流速 u_a (水面における流速) の変化をしめす。 F_{dc} と D_t の値によっては u_b は入口流速の2倍以上になり、底部における沈降粒子の再浮上などが生じやすくなることが予想される。

図4には u_b の最大値 u_{bmax} 、 u_a の最小値 u_{amin} を示した。これらの値の生じる距離は F_{dc} 、 D_t により異なるが u_{bmax} 、 u_{amin} とも F_{dc}^{-2} とはほぼ直線関係にある。これはこの解析で水路底部で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、6中で $u_a < 0$ となる部分では死水を生じる。図5にはこの死水の発生状況を示した。この図からも F_{dc} は死水の発生に直接関与し、 D_t は死水等の現象の発達や減衰に及ぼす影響が強いことがわかる。

死水の存在は、池内に短絡流を生じ、沈澱池の有効容積を減少させる。図6には $x-z$ 平面での死水の面積を示した。この図からも死水の発生限界やその大略がわかる。

終わりに数値計算等に協力された九州工大学生の中山竜起君に感謝する。

参考文献

- 1) 藤崎、向井、西、粟谷、土木学会年講(昭和62年9月) p772~773
- 2) 粟谷、楠田、土木学会論文集、第168号、1969年8月、p25~36

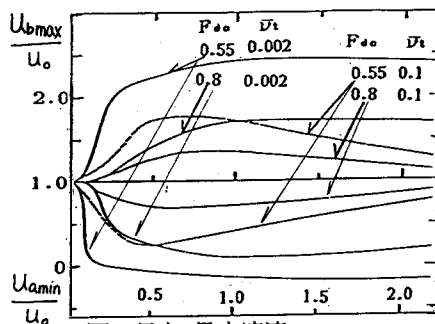


図3 最大・最小流速

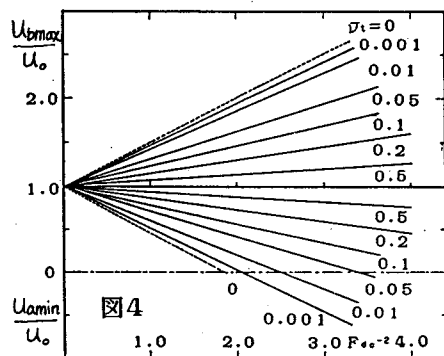


図4

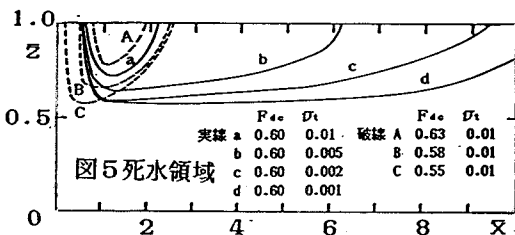


図5 死水領域

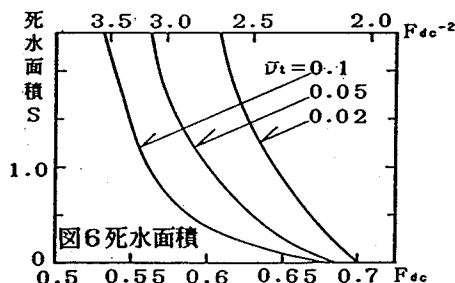


図6 死水面積