

横流式沈澱池内の濁度密度流

九州工業大学 正員 藤崎一裕
九州工業大学 学生員 ○白浜昭二
九州大学工学部 正員 栗谷陽一

1. まえがき

横流式沈澱池内の密度流現象に関する系統的な研究は少なく、実用に主眼をおいた概略的な取り扱い¹⁾や、池内の流れを完全流体の流れで近似した解析²⁾などが発表されている。本報では、池内の濁度密度流解析に乱流拡散の影響をもとり入れる立場から検討を行った。

2. 基礎式

図1のように座標軸をとると、この場合の基礎式として以下の式を用いる。

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

$$u \frac{\partial w}{\partial x} + w \frac{\partial w}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} - g + \frac{\partial}{\partial z} \left(\nu_t \frac{\partial w}{\partial z} \right) \quad (2)$$

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

$$u \frac{\partial c}{\partial x} + w \frac{\partial c}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial z} \left(\nu_t \frac{\partial c}{\partial z} + \omega_c c \right) \quad (4)$$

$$\rho = c \rho_s + (1-c) \rho_f = \rho_f + c(\rho_s - \rho_f) \quad (5)$$

ここに p : 圧力、 ν_t : 渦動粘性係数、 ω_c : 粒子沈降速度、 ρ_s 、 ρ_f : 粒子及び流体の密度、 c : 粒子濃度 (体積基準) である。

$\partial/\partial z \gg \partial/\partial x$, $u \gg w$ の場合を想定しているから、(2) 式より

$$\left. \begin{aligned} p &= \int_x^A \rho g dz = p_b - \int_0^z \rho g dz, \quad p_b = \int_0^A \rho g dz \\ \frac{\partial p}{\partial x} &= \int_x^A \frac{\partial}{\partial x} \rho g dz - \rho(x, A) g \frac{dA}{dx} \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

上式を用いて、基礎式を整理すると

$$u \frac{\partial u}{\partial x} + w \frac{\partial u}{\partial z} = -\frac{1}{F_{dc}^2} \int_x^A \frac{\partial \tau}{\partial x} - \frac{1}{F_{dc}^2} \frac{dA}{dx} + \frac{d}{dz} \left(\bar{\nu}_t \frac{\partial u}{\partial z} \right) \quad (7)$$

$$\frac{d}{dx} \int_0^A u dz = 0 \quad (8)$$

$$u \frac{\partial c}{\partial x} + w \frac{\partial c}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial z} \left(\bar{\nu}_t \frac{\partial c}{\partial z} + \beta \bar{c} \right) \quad (9)$$

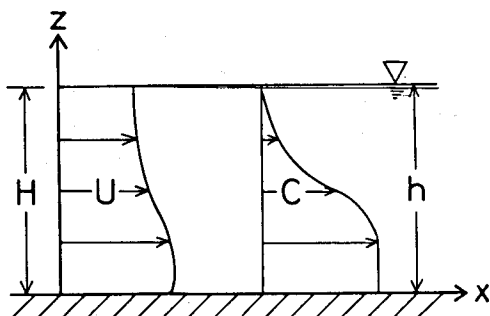


図1

ここに

$$\bar{x} = \frac{x}{H}, \quad \bar{z} = \frac{z}{H}, \quad \bar{u} = \frac{u}{u_0}, \quad \bar{c} = \frac{c}{c_0}, \quad \bar{w} = \frac{w}{u_0}$$

$$F_{dc} = \frac{u_0}{\sqrt{(\rho_s - \rho_f)/\rho_f \cdot c_0 g H}}, \quad F_d = \frac{u_0}{\sqrt{g H}}$$

$$\bar{\nu}_t = \frac{\nu_t}{u_0 H}, \quad \beta = \frac{\omega_c}{u_0}$$

であり、 u_0, c_0 は流入口における値を意味する。

(7) 式が流下方向運動方程式、(8) 式が水深方向に積分した流体の保存則、(9) 式が粒子の保存則である。(7) 式右辺第1項が密度流に直接関与する項である。また、現象は、 F_{dc} 、 β 、 F_d 、 ν_t の4つのパラメータにより表現される。

(7) ~ (9) 式を連立させて電子計算機により数値解を求めた。 $\Delta \bar{x} = 0.05 \sim 0.1$ 、 $\Delta \bar{z} (w_0/u_0) = 0.001 \sim 0.005$ とした。計算は、まず $\bar{x} = \bar{x} + \Delta \bar{x}$ における水深 $\bar{h}$ を仮定して、この点における流速分布、濃度分布を計算し、えられた結果が(8)式の連続の式をみたすように $\bar{h}$ に関して逐次近似を行うという方法によった。

3. 実験装置ならびに方法

理論解析の妥当性を調べるために、モデル実験を行った。実験は幅 20cm、長さ 5m、水深 105cm の水槽 (図2) で行い、 x, z 方向流速と粒子濃度を同一箇所測定した。流速測定にはアレック社製の電磁流速計を、濁度測定には手製の濁度計を用いた。濁

度計ブローブは発光ダイオードとフォトトランジスタからなり、パルス状の光線を（検出部を通る）粒子がささぎる時の電気信号から、粒子濃度を求めた。また各々の実験中に池内の適当な数箇所を選んで500cc程度懸濁液をサンプリングして、濁度計の検量線を検証した。

粒子を鉛直方向に一樣濃度で注入させるために、水路の両側に鉛直に設置したパイプより、高濃度懸濁水を放出し、水路内の流入水と混合した。また、水路底部に沈積した粒子が、底面勾配や、流れの断面積を変えることを防ぐために、水路底部に高さ10cm、目開き3.0mmの金網による仮想底部を設置した。用いた粒子は、山口県豊浦産の標準砂をフルイで整粒して用いた。この時の平均径 210 μ m、沈降速度 2.03cm/sである。

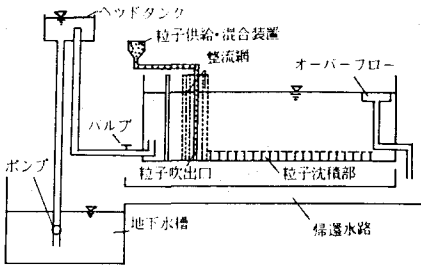


図2 (実験装置)

4. 結果と考察

図3および図4に実験結果と計算値の比較を示す。図中の一点鎖線は乱流拡散や密度流の影響がないとしたときの、水面に流入した粒子の軌跡を示す。図3の $F_{dc}=1.15$ の場合は乱流拡散の影響のみでほとんど密度流の影響は現れていない。このとき実験条件より $v_0=0.15$ cm/sの値を用いた。一方、図4の $F_{dc}=0.61$ の場合は、流入水と周囲水との粒子懸濁による密度差で懸濁部の沈降が促進されており、また、この場合流下方向密度勾配にもとづく静水圧の差のため、沈降池底部側加速現象が現れるなど、現象の特徴がよく出ている。

図5は $\omega_0 H / 2\nu_t = 5$ のときの ω_0 / ω_{00} と除去率 E との関係を、また、図6、7は $F_{dc}=1.0$ と0.5の場合を例にとり、沈降のパラメータ $\omega_0 H / 2\nu_t$ と E との関係を示した。図はいずれも、 $U_0 / U_{00} = 1/12$ の場合であり

$$\frac{\omega_0 H}{2\nu_t} = \frac{\beta}{\nu_t} \quad \frac{\omega_0}{\omega_{00}} = \frac{x}{\omega_{00}} \cdot \frac{\omega_0}{U_0}$$

である。これらの図から、 F_{dc} やその他のパラメータと除去率の関係をを知ることができる。

終わりに、実験に協力された、西政秀、向井保紀、村上貴史の各氏に感謝する。

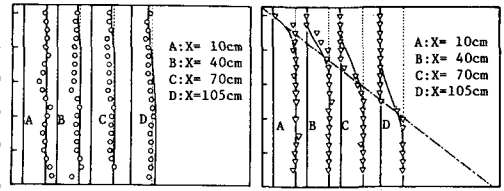


図3-1 ($F_{dc}=1.15$)

図3-2 ($F_{dc}=1.15$)

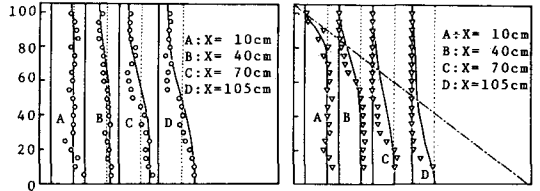


図4-1 ($F_{dc}=0.61$)

図4-2 ($F_{dc}=0.61$)

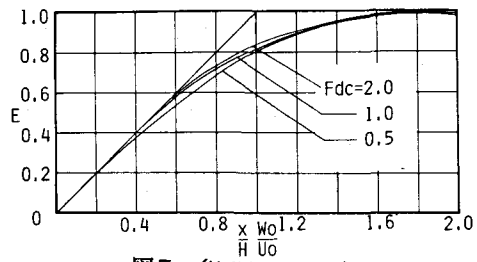


図5 ($\omega_0 H / 2\nu_t = 5.0$)

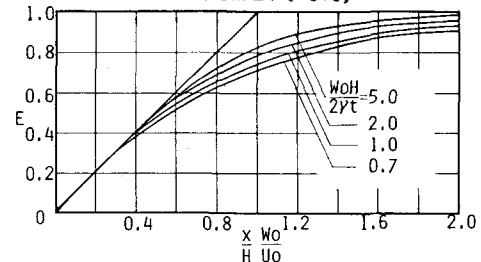


図6 ($F_{dc}=1.0$)

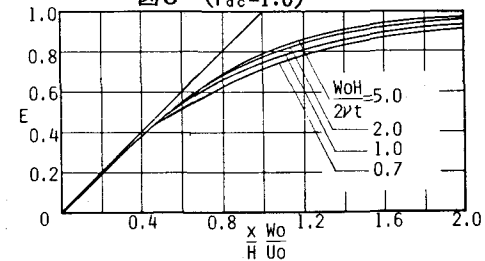


図7 ($F_{dc}=0.5$)

参 考 文 献

- 1) 中川義徳、水道協会雑誌 258号、1956
- 2) 栗谷陽一、楠田哲也
土木学会論文集 168号、1969