

II-124 横流式沈澱池内の濁度密度流と除去率

九州工業大学 正員 藤崎一裕
 九州工業大学 学生員 西政秀
 神鋼鋼線 正員 白浜昭二
 九州大学工学部 正員 粟谷陽一

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り、この場合の基礎式として以下の式を用いる。

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

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

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

$$u \frac{\partial c}{\partial x} + w \frac{\partial c}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial z} (\nu_t \frac{\partial c}{\partial z} + w_0 c) \quad (4)$$

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

ここに p : 圧力, ν_t : 渦動粘性係数, 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。

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

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

上式を用いて、基礎式を整理すると

$$\bar{u} \frac{\partial \bar{u}}{\partial x} + \bar{w} \frac{\partial \bar{u}}{\partial z} = -\frac{1}{F_{dc}^2} \int_z^h \frac{\partial \bar{c}}{\partial z} dz - \frac{1}{F_{dc}^2} \frac{d\bar{h}}{dx} + \frac{\partial}{\partial z} (\bar{\nu}_t \frac{\partial \bar{u}}{\partial z}) \quad (7)$$

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

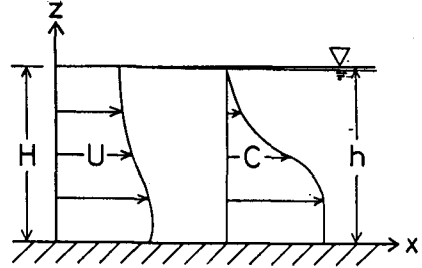


図1

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

ここに、

$$\bar{x} = \frac{x}{H}, \quad \bar{z} = \frac{z}{H}, \quad \bar{u} = \frac{u}{u_0}, \quad \bar{c} = \frac{c}{c_0}, \quad \bar{w} = \frac{w}{w_0}$$

$$F_{dc} = \frac{u_0}{(\rho_s - \rho_l) / \rho_l \cdot c_0 g H}, \quad F_d = \frac{u_0}{\sqrt{g H}}, \quad \bar{\nu}_t = \frac{\nu_t}{w_0 H}$$

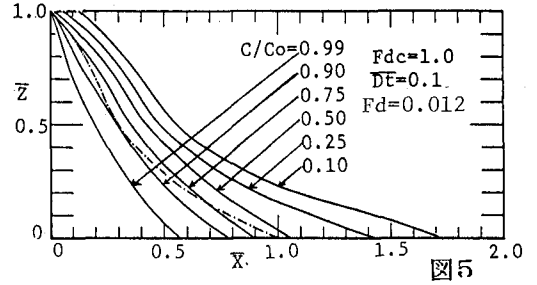
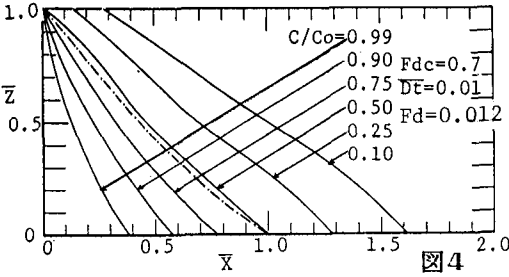
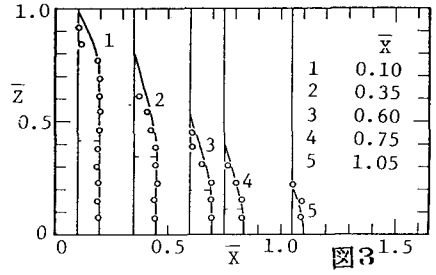
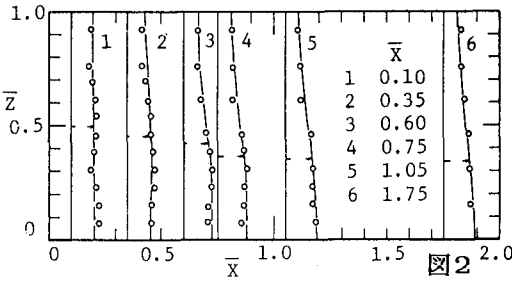
であり、 u_0, c_0 は流入口における値を意味する。(7)式が流下方向運動方程式、(8)式が水深方向に積分した流体の保存則、(9)式が粒子の保存則である。(7)式右辺第1項が密度流に直接関与する項である。また、現象は、 $F_{dc}, F_d, \bar{\nu}_t$ の3つのパラメータにより表現される。

$\bar{\nu}_t$ を、水深によらない一定の値とし $\frac{\partial u}{\partial z}, \frac{\partial c}{\partial z}$ は水路床および水面で0という条件を仮定して現象を検討した。

(7)~(9)式を連立させて電子計算機により数値解を求めた。 $\Delta x = 0.005, \Delta z = 0.05 \sim 0.025$ とした。計算は、まず $x = x + \Delta x$ における水深 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、得られた結果が(8)式の連続の式をみたすように h に関して逐次近似を行なうという方法によった。

3. 結果と考察

図2~3に流速分布と濃度分布の計算値の1例を実線で示す。図4、5にも濃度分布の例を示した。図4、5中の一点鎖線は乱流拡散を無視した完全流体の場合の粒子懸濁部と清澄部との境界面である。図4、5では、水面の境界条件のため、入口近くで水面近傍の濃度がやや大きめにでている。また図4に比べて F_{dc} の値が小さい図5の方が密度流の様相



がより明らかにでており、逆に図4では乱流拡散の影響が相対的に強く表れている。

図6、7に除去率と F_{dc} および ν_t との関係を示す。また、これらの図中の下部の曲線は密度流による池内流速の最大値(U_{max})の変化を表す。これらの図からも F_{dc} が小さく、 ν_t が小さいほど密度流効果が大きく除去率 E は ν_t の増大とともに低下することがわかる。

図2、3中にプロットした点は実験値で幅20cm、水深65cm、長さ5mの水路での実験結果の一例である。粒子としては山口県豊浦産の標準砂を整粒して用いた。粒子の密度は2.65、平均径210 μ m、沈降速度2.3cm/sである。図の場合水平方向流入流速 $U_0=4.5$ cm/s、初期濃度 $C_0=0.021\%$ である。流速は電磁流速計により測定し、粒子濃度は手製の濁度計により求めた。

図8に一連の実験で得られた F_{dc} と ν_t との関係を示す。実験値より求めた ν_t の値は水路幅などの影響を受けるものと考えられるが、 F_{dc} が小さくなり密度流の影響が大きくなるにつれて ν_t が減少しており一応の定性的な傾向は得られている。しかしながら、 ν_t と諸パラメータとの関係や水路底部での境界条件等については今後なお検討を要する。

終りに実験に協力された向井保紀、村上貴史の両氏に感謝する。

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

