

II-410

沈殿池濁度密度流の非定常解析

JR東日本 ○ 正員 相沢 文也
武蔵工業大学 正員 綾 日出教

1. はじめに

沈殿池における濁度密度流は、流入水と池内水の密度差及び懸濁物質の沈降に伴う密度変化に起因する。池内底部に発達した密度流は、死水域の発生、粒子の沈降の障害さらに沈殿物の再浮上を引き起こし、実滞留時間を減少させ、沈殿池の処理能力を低下させる原因となる。定常流としての沈殿池濁度密度流に関する研究は、幾つか報告されている。しかし、濁度密度流は懸濁粒子の沈降に伴った密度変化に支配され、流入濁度も変動することから、濁度密度流を時間に依存する不定流として扱うことが必要であると考えられる。

本報告では、沈殿池内の濁度密度流を二次元非定常粘性流れとしてモデル化し、有限要素法(Finite-Element-Method)を用いることにより、濁度密度流の時間的な流状変化について解明する。さらに、モデル実験を行い、数値解析の結果を検証する。

2. 基礎方程式

解析対象となる流れを非圧縮性流体とし、沈殿池の幅方向の各諸量は一様であると仮定した。以下に基礎方程式を記す。

(1)式は連続の式、(2)式は連続の式と渦度 ω の関係式より導いたポアソン方程式であり、(3)式はx方向運動方程式、(4)式はy方向運動方程式に浮力の項Fを加えたものである。(5)式は(3),(4)式から圧力項を消去した渦動方程式である。拡散方程式は沈降速度 w_0 を導入した(6)式で表される。また流体の密度 ρ_n を規定する式は(7)式で表される。

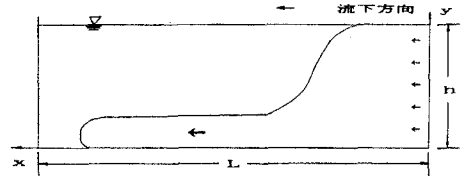


図-1 座標系

$$u = \psi_{,y}, \quad v = -\psi_{,x} \quad \text{-----} \quad (1)$$

$$\psi_{,xx} + \psi_{,yy} = -\omega \quad \text{-----} \quad (2)$$

$$\dot{u} + u \cdot u_{,x} + v \cdot u_{,y} = -1/\rho_0 \cdot P_{,x} + \nu(u_{,xx} + u_{,yy}) \quad \text{-----} \quad (3)$$

$$\dot{v} + u \cdot v_{,x} + v \cdot v_{,y} = -1/\rho_0 \cdot P_{,y} + F + \nu(v_{,xx} + v_{,yy}) \quad \text{-----} \quad (4)$$

$$\dot{\omega} + u \cdot \omega_{,x} + v \cdot \omega_{,y} = F_{,x} + \nu(\omega_{,xx} + \omega_{,yy}) \quad \text{-----} \quad (5)$$

$$\dot{c} + u \cdot c_{,x} + (v + w_0) c_{,y} = E_x c_{,xx} + E_y c_{,yy} \quad \text{-----} \quad (6)$$

$$\rho_n = c \rho_s + (1 - c) \rho_w \quad \text{-----} \quad (7)$$

$$F_{dc} = \frac{u_0}{\sqrt{(\rho_s - \rho_w) / \rho_w \cdot c_0 g h}} \quad \text{-----} \quad (8)$$

ここに、 ψ : 流れ関数 ω : 渦度 u : x方向の速度成分 v : y方向の速度成分 P : 圧力
 ν : 動粘性係数 ρ_w : 媒体密度 ρ_s : 粒子の密度 g : 重力加速度 c : 濁度
 E_x : x方向拡散係数 E_y : y方向拡散係数 d : 粒子径
 $F = g(\rho_s - \rho_w) / \rho_w$ $\dot{u}, \dot{v}, \dot{\omega}, \dot{c}$ は、それぞれの時間積分である。

粒子の沈降速度 w_0 は単粒子沈降とし、Stokes式を用いた。

偏微分方程式の近似解法には、重み付き残差法の一つであるGalerkin法を用い、(2),(5),および(6)式についてそれぞれ要素方程式を誘導した。また、時間積分には準陰的解法を用いた。解析上の初期設定として、流入流速を水深方向に一様とし、濁質の流入は清水の流れの場に一定濃度で連続投入するものとした。解析モデルには、水深方向に比ば十分に大きい長さを持つ二次元開水路(水深 $h=20\text{cm}$ 槽長 $L=180\text{cm}$)を想定し、三角形要素によりそれらを分割した。

3. 解析結果

3.1 濁度密度流の流況

流入濁度を変化させて解析を行った一例を以下に示す。なお濁度密度流を特徴づける無次元量は、(8)式¹⁾の密度フルード数 F_{ρ} を用いた。

図2に領域全体の流速ベクトル図を示した。死水域の状態や底部での流速が顕著に現れている。

3.2 濁度密度流の時間的流況変化

図3は濁質流入後の最大、最小流速の発達過程を各時間毎に示したものである。図4に死水域の形成過程を濁質流入後の経過時間と死水面積比の関係を示した。両図より流入濁度によって定常流に達する過程は異なるものの、流入流量を基準とする理論滞留時間(144s)内にほぼ定常状態に達していることがわかる。

4. モデル実験

全長200cm、幅10cm、深さ50cmの亚克力製モデル沈殿池を用い、解析の妥当性を検討した。試水には、水道水に懸濁粒子として標準砂を混入したものを用い、懸濁粒子が流入部で直ちに沈降してしまわないようにCMCを混入して流体の粘性を高め、沈降速度を調節した。流速分布及び死水域の観察は、注入トレーサー法による可視化により行った。

濁度密度流を測定した結果が図5-(a)である。実線は流速分布の形状であり、点線はトレーサーを追跡することにより得られた流脈線である。図5-(b)、(c)は、実験と同様な初期条件で解析した計算結果である。(b)は流速ベクトル、(c)は流線を示すものである。三つの図を比べると、解析値は実験値をよく再現していることがわかる。

5. おわりに

本報告では、沈殿池内の濁度密度流を不定流としてFEM法によりシミュレーションを行った。本解析手法は検証実験とよく合致しており、沈殿池内の濁度密度流の解明に有効である。今後はさらに水温変化の影響を導入して検討する予定である。

参考文献

- 1) 藤崎 他 横流式沈殿池内の濁度密度流と除去率 土木学会第41回年次学術講演会（1985）

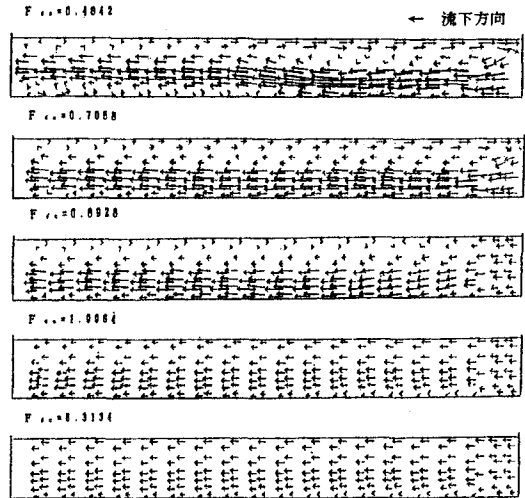


図2 流速ベクトル

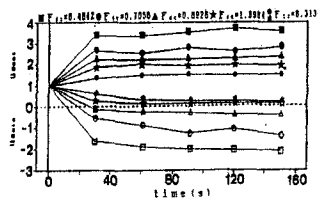


図3 最大、最小流速の時間的変化

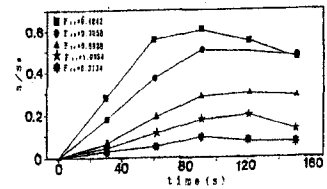


図4 死水面積比の時間的変化

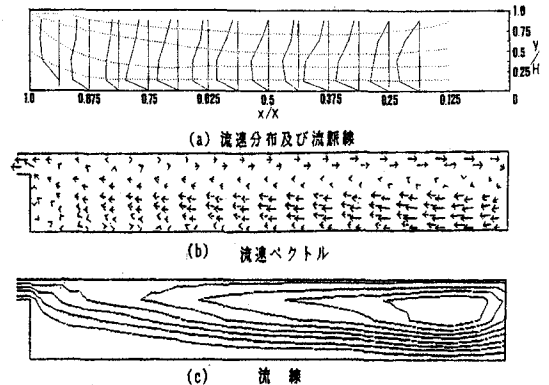


図5 実験値と解析結果