

武蔵工業大学 学生員 三上 譲
武蔵工業大学 正 員 綾 日出教

1. はじめに

沈殿池内の濁度密度流は、流入する濁水中の濁質の沈降に起因する密度差によって発生する。密度流は沈殿池底部に発達し、死水域を発生させ懸濁粒子の沈降を妨げ、粒子の再浮上を引き起こし実滞留時間を減少させ処理効率悪化の原因となる。沈殿池における流入濁度は時間変動し、濁度密度流は密度変化に支配されることから、流れを時間に依存する不定流として考え解析する必要がある。そこで本研究では、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、時間的流況変化について解明する。また同時にモデル実験を行い、数値解析の妥当性を検討する。

2. 基礎方程式

解析モデルは流れを非圧縮性流体とし、幅方向の諸量は一様であると仮定した。解析モデルを三角形要素に分割し有限要素法を適用した。粒子の沈降速度は単粒子沈降として、Re数によって Stokes 式・Allen 式を選択し求めた。以下に基礎方程式を示す。

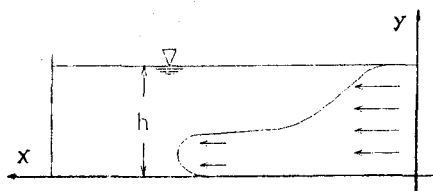


Fig.1. 座標系

・ 連続の式 $u = \psi_{,x} \quad , \quad v = -\psi_{,y} \quad (1)$

・ Poisson方程式 $\psi_{,xx} + \psi_{,yy} = -\omega \quad (2)$

・ 運動方程式 $\dot{u} + u \cdot u_{,x} + v \cdot u_{,y} = -1/\rho_0 \cdot p_{,x} + \nu (u_{,xx} + u_{,yy}) \quad (3)$

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

・ 渦動方程式 $\dot{\omega} + u \cdot \omega_{,x} + v \cdot \omega_{,y} = \nu (\omega_{,xx} + \omega_{,yy}) + F_{,x} \quad (5)$

・ 拡散方程式 $\dot{c} + u \cdot c_{,x} + (v + w_0) c_{,y} = E_x \cdot c_{,xx} + E_y \cdot c_{,yy} \quad (6)$

・ 密度フルード数 $F_{dc} = \frac{u_0}{\sqrt{(\rho_s - \rho_w) c_0 g h / \rho_w}} \quad (7)$ ・ 粘性パラメータ $\nu_t = \frac{\nu}{w_0 \cdot h} \quad (8)$

ここに ψ : 流れ関数 ω : 渦度 u : x方向速度成分 E_x : x方向拡散係数 ρ_s : 濁質密度
 ν : 動粘性係数 p : 圧力 v : y方向速度成分 E_y : y方向拡散係数 ρ_w : 溶媒密度
 w_0 : 沈降速度 F : 浮力 c : 濁度 $\dot{u}, \dot{v}, \dot{\omega}, \dot{c}$: それぞれ時間微分

偏微分方程式の近似解法に重み付き残差法 (Galerkin法) を用いて、Poisson 方程式・渦動方程式・拡散方程式について要素方程式を誘導した。時間積分には準陰的解法を用いた。

3. 解析結果

解析モデル (流路長180cm・水深40cm) は水深方向に対し流入流速が一様である粘性流れ場に、一定濃度の濁水が連続に流入するものとした。流出端は越流堰を想定した。解析を行った3群の解析条件をTable.1.に示す。濁度密度流を表わす無次元量として密度フルード数(7)式¹⁾および粘性パラメータ(8)式を用いた。RUN1についての定常流に達する過程の速度ベクトルをFig.2.に示す。流入開始後20 sec 程で水路底部に密度流が発達し始め、流入部水面付近には流入方向と逆の流れが発生する。時間経過とともに密度流は下流へ発達し、200secを過ぎて定常に達する。理論滞留時間 (246sec) を経過すると初期条件によりその過程は異なるが、定常状態に達することがわかった。

Table.1. 解析条件

	RUN 1	RUN 2	RUN 3
流入流速 u_0 (cm/s)	0.731	0.731	0.731
動粘性係数 ν (cm ² /s)	0.1588	0.1588	0.1588
初期内部密度 (g/ml)	1.002	1.002	1.002
流入水濃度 c_0 (mg/l)	300	300	300
粒子の比重	2.72	2.72	1.20
粒径 (cm)	0.021	0.048	0.010
密度フルード数 F_{dc}	0.000032	0.000032	0.001391
沈降速度 (cm/s)	0.260	1.237	0.00686
粘性パラメータ ν_t	12.21538	2.567502	462.9738
平均密度流速 (cm/s)	0.80356	0.80356	0.75018

定常状態に達したときの濃度分布がFig.3.であり、懸濁粒子の沈降速度が密度流に影響することがわかる。RUN2の場合は流入端より1/3付近で沈降が終了し、密度差が解消されるために下流で密度流が発達しない。RUN1は沈降速度が遅いため密度差が消えず、流出部までで沈降しきれない粒子は底部に発達した密度流により流出する。RUN3は流入水と内部との密度差が非常に少ないが、中流付近底部に密度流が生じ、粒子はほとんど沈降せず流出している。

4. 実験

実験装置にはFig.4.に示すアクリル製水路（流路長180cm・水深40cm）を用い、流入端に流入流速を一様にするために有孔整流壁を設けた。懸濁粒子には整粒した砂を用いた。また槽内水には沈降速度を制御するため、CMCを溶解し粘性を高めた水を用いた。流速測定にはLDVを使用し、同時に注入トレーサー法による可視化により流況を観察した。数値解析モデルRUN1と同条件で実験を行った結果をFig.5.に示す。

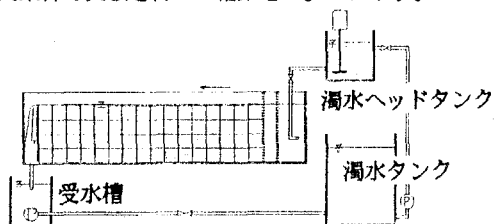


Fig.4. 実験装置

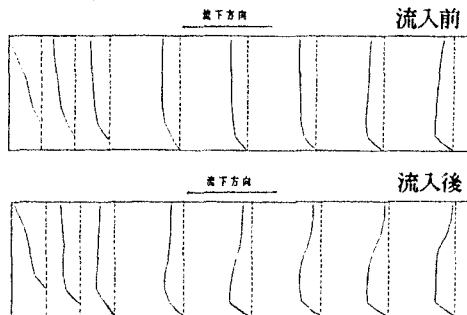


Fig.5. 実験結果

5. まとめ

本研究では、実験結果とよく合致する解析結果が得られてきた。今回は設定モデル形状を変えて数値解析および実験を行ったが、流れの傾向としては近いが合致しているとは言い難く、温度・沈降形態等の諸パラメーター導入などの改良の必要がある。また定常状態に外的因子を作用させたときの流況変化等も解析する。実験においては整流壁・越流堰等を設け、より現実的な流況につい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)

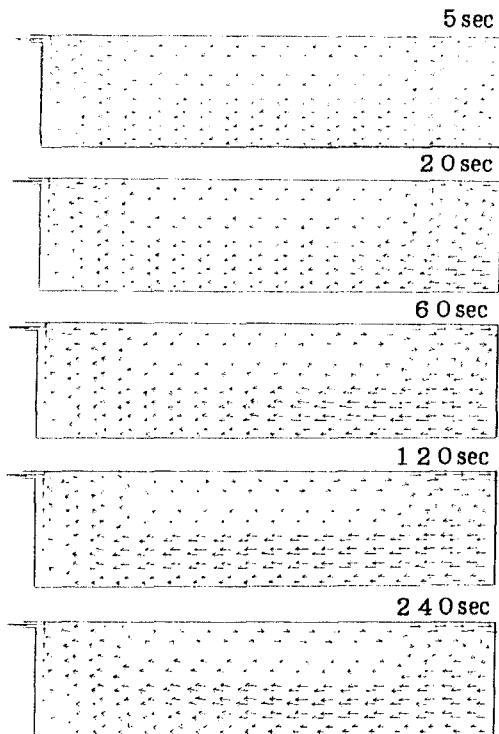


Fig.2. 流速の時間変化

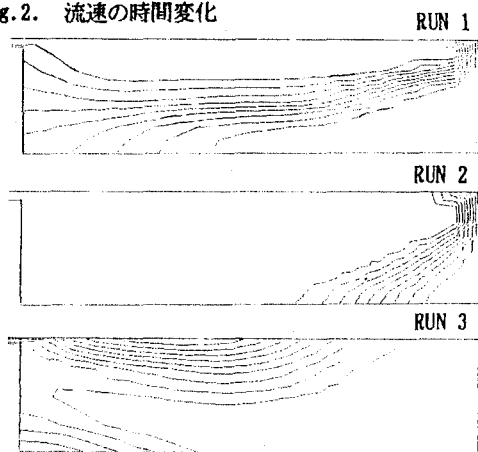


Fig.3. 定常流の濃度分布