

II-PS15 沈澱池における密度流の数値シミュレーション

武蔵工業大学 学生員 田崎 拓也
正 員 綾 日出教
名古屋市下水道局 正 員 坂口 元保

1. はじめに

沈澱池内の密度流を二次元非定常粘性流体としてモデル化し、数値シミュレーションにより流況を観察した。濁質は均一粒子で、かつ単粒子自由沈降するものとした。

2. 解析方法

基本式として用いた流れ関数式、渦度方程式、および濃度拡散方程式を式(1)～(3)に示す。渦度方程式には、式(4)に示す粒子の濃度分布に起因する浮力項を導入した。

$$\frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2} = -\omega \quad (1)$$

$$\frac{\partial \omega}{\partial t} + u \frac{\partial \omega}{\partial x} + v \frac{\partial \omega}{\partial y} = \nu \left(\frac{\partial^2 \omega}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \omega}{\partial y^2} \right) + \frac{\partial F}{\partial x} \quad (2)$$

$$\frac{\partial C}{\partial t} + u \frac{\partial C}{\partial x} + (v + v_s) \frac{\partial C}{\partial y} = E \left(\frac{\partial^2 \omega}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \omega}{\partial y^2} \right) \quad (3)$$

$$F = \frac{\rho_s - \rho}{\rho_0} g = \frac{\rho_s - \rho_w}{\rho_0} (C - C_0) g \quad (4)$$

ただし、 u ： x 方向流速、 v ： y 方向流速、 ψ ：流れ関数、 ω ：渦度、 ν ：動粘性係数、 C ：濃度、 E ：濃度拡散係数、 v_s ：沈降速度、 F ：濃度浮力項、 g ：重力加速度、 ρ_s ：粒子密度、 ρ_w ：媒体密度である。

式(1)～(3)をGalerkin法により定式化し、有限要素法を用いて空間方向に離散化した。時間に関する離散化は、完全陰的解法を用いた。

解析対象は横流式沈澱池とした。解析に用いた三角要素分割および境界条件を Fig.1に示す。

解析モデルは、水深方向に均一な濁度で様な流速で流入し、下流端で越流流出するものとした。表面負荷 $30\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{day}$ 、有効水深 3m 、滞留時間 2.4hr とし、池の全長を変えることにより平均水平流速を変えた。濃度拡散係数は $0\text{cm}^2/\text{s}$ とし、媒体である水は 20°C の諸物性値を用いた。粒子は単粒子自由沈降し、沈積した粒子の再浮上はないものとした。粒子の沈降速度は、理想沈澱池とした場合に全長の $1/3$ 、 $1/2$ および末端の地点で沈降が終了するように定めた。流入濃度を 0mg/l から $400\text{mg/l} \cdot \text{hr}$ の速度で増加させ、所定の濃度に達した後は、一定濃度で流入するようにした。初期条件は全領域で渦度 $\omega=0$ 、濃度 $C=0$ である。

3. 解析結果

1) 粒子の沈降速度が密度流に与える影響

比較的流況が安定している池長 30m の条件下で沈降速度 V_s を変えた計

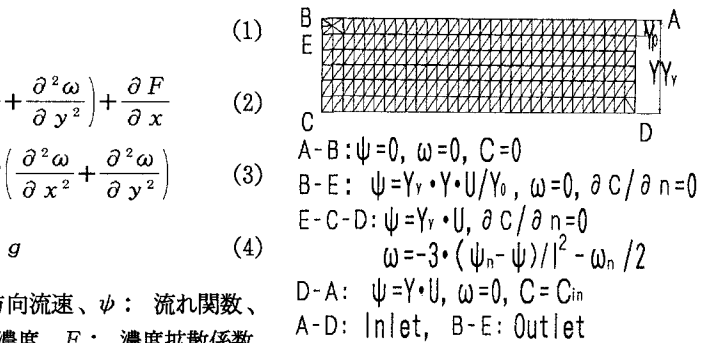


Fig.1 要素分割および境界条件

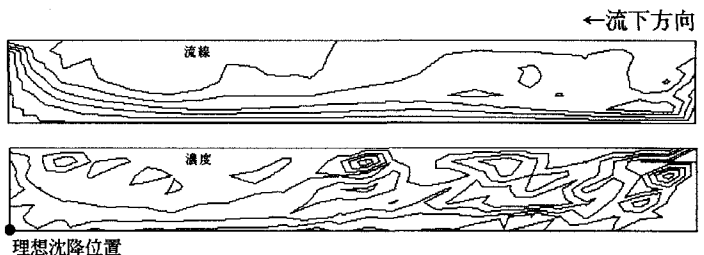


Fig.2 流線および濃度分布($V_s: 0.03472\text{cm/s}$) 5hr
 $U: 0.3472\text{cm/s}$, $SS: 200\text{mg/l}$, $Fr^2: 4.10 \times 10^{-7}$, $L: 30\text{m}$

算例の定常解における流線および濃度分布をFig. 2~4に示す。

底部に発達した密度流により粒子が理想沈降位置より下流に押し流されている。初期には、どの流速においても同様な大きな渦が発生したが、定常状態に近づくにつれて沈降速度が大きくなり、下流側水面部に生じる逆流の範囲が大きくなった。また池中央底部の流速は沈降速度が大きいの順に、約1.2cm/s、1.1cm/s、1.0cm/sであり、沈降速度が大きいのほど底部の流速は大きくなった。

2) 平均流速が流況に与える影響

表面積負荷を同じとし、池長を10mに変えて平均流速を小さくした場合の定常解の流線および濃度分布をFig. 5に示す。

図には示していないが、平均流速が小さいほど流況は不安定になり、大きな渦が長時間継続し、濁質のキャリーオーバーを起こした。

原水の濁度が低い場合の流線および濃度分布をFig. 6に示す。

流況はさらに不安定になり長時間経過しても定常状態に達しなかった。

沈澱池内の流況は、フルード数の2乗 Fr^2 ($Fr^2 = u^2/gh$; u : 平均流速、 g : 重力加速度、 h : 水深) が 10^{-7} より小さくなると不安定になるといわれている²⁾。池長が10mの場合 Fr^2 は 4.55×10^{-8} であり、流況が不安定な領域にはいる。これにより経験則に妥当性があることが判明した。

5. おわりに

時間差分に完全陰的解法を用いることにより非定常時の計算誤差を減らすことができた。流速、流線および濃度分布の経時変化をアニメーション化したことにより、沈澱池内の流況または密度流の特性を観察し、検証することが容易になった。

今後は様々な形状や条件において解析を行う予定である。

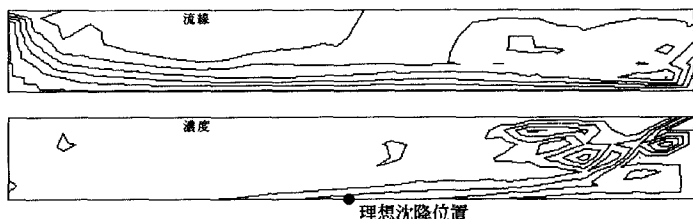


Fig. 3 流線および濃度分布($V_s: 0.06944\text{cm/s}$) 5hr
 $U: 0.3472\text{cm/s}$, $SS: 200\text{mg/l}$, $Fr^2: 4.10 \times 10^{-7}$, $L: 30\text{m}$

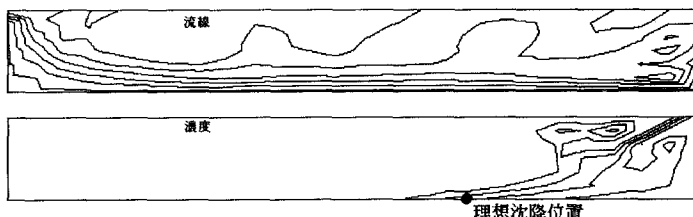


Fig. 4 流線および濃度分布($V_s: 0.10417\text{cm/s}$) 5hr
 $U: 0.3472\text{cm/s}$, $SS: 200\text{mg/l}$, $Fr^2: 4.10 \times 10^{-7}$, $L: 30\text{m}$

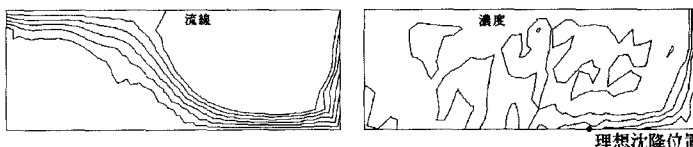


Fig. 5 流線および濃度分布($V_s: 0.10417\text{cm/s}$) 7hr
 $U: 0.1157\text{cm/s}$, $SS: 200\text{mg/l}$, $Fr^2: 4.55 \times 10^{-8}$, $L: 10\text{m}$

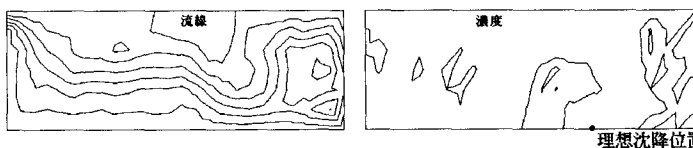


Fig. 6 流線および濃度分布($V_s: 0.10417\text{cm/s}$) 7hr
 $U: 0.1157\text{cm/s}$, $SS: 100\text{mg/l}$, $Fr^2: 4.55 \times 10^{-8}$, $L: 10\text{m}$

参考文献 1) 坂口、綾: "沈澱池密度流のシミュレーション"、第43回全国水道研究発表会、1992

2) 水道施設設計指針・解説、日本水道協会、p.195、1990