

はじめに

沈殿池では、流下方向の流速が遅いので密度流の影響を受けやすく、短絡流による実滞留時間の極端な減少により沈殿効率が低下する。本研究では、粒子の沈降速度とフルード数による流況の変化を調べた。

1. 解析方法

(1) 基礎方程式

本研究では横流式沈殿池の流れを2次元非圧縮性粘性流体として流れを扱った。解析手法として、SMAC法を用いた。SMAC法の支配方程式は以下になる。空間方向の離散化には有限要素法、時間方向の離散化にはラング・ニコルソン法を用いた。安定した解を得るために運動方程式、濃度移流方程式の移流項に対してSU/PG法による2次精度の風上化を施した。

運動方程式

$$\frac{\partial \mathbf{u}^*}{\partial t^*} + \mathbf{u}^* \cdot \frac{\partial \mathbf{u}^*}{\partial \mathbf{x}^*} + \mathbf{v}^* \cdot \frac{\partial \mathbf{u}^*}{\partial \mathbf{y}^*} = \text{Re}^{-1} \left(\frac{\partial^2 \mathbf{u}^*}{\partial \mathbf{x}^{*2}} + \frac{\partial^2 \mathbf{u}^*}{\partial \mathbf{y}^{*2}} \right) - \frac{\partial P^*}{\partial \mathbf{x}^*}$$

$$\frac{\partial \mathbf{v}^*}{\partial t^*} + \mathbf{u}^* \cdot \frac{\partial \mathbf{v}^*}{\partial \mathbf{x}^*} + \mathbf{v}^* \cdot \frac{\partial \mathbf{v}^*}{\partial \mathbf{y}^*} = \text{Re}^{-1} \left(\frac{\partial^2 \mathbf{v}^*}{\partial \mathbf{x}^{*2}} + \frac{\partial^2 \mathbf{v}^*}{\partial \mathbf{y}^{*2}} \right) - \frac{\partial P^*}{\partial \mathbf{y}^*} - \text{Fr}^{-2} \Sigma \rho^*$$

圧力の式

$$P^* = \frac{\phi^*}{\Delta t^*}$$

濃度拡散方程式

$$\frac{\partial C^*_{i1}}{\partial t^*} + \mathbf{u}^* \cdot \frac{\partial C^*_{i1}}{\partial \mathbf{x}^*} + (\mathbf{v}^* + \mathbf{v}_s^*) \cdot \frac{\partial C^*_{i1}}{\partial \mathbf{y}^*} = 0$$

トレーサー濃度式

$$\frac{\partial C^*_{t1}}{\partial t^*} + \mathbf{u}^* \cdot \frac{\partial C^*_{t1}}{\partial \mathbf{x}^*} + \mathbf{v}^* \cdot \frac{\partial C^*_{t1}}{\partial \mathbf{y}^*} = 0$$

ただし、 $\mathbf{u}$: $\mathbf{x}$ 方向流速、 $\mathbf{v}$: $\mathbf{y}$ 方向流速、 C : 濃度、 $\mathbf{v}_s$: 粒子沈降速度、 $\mathbf{g}$: 重力加速度、 Re : レイノルズ数、 Fr : フルード数、 t : 時間、 ρ : 密度、 Φ : 修正ポテンシャル、 P : 圧力である。また*は無次元量を示す。

(2) 解析方法

下流端で越流流出する水深 3m、池長 15m の横流式沈殿池について、粒子の沈降速度による影響を調べた。沈降速度が異なる2種の濁質が混合しているものとし、そ

れぞれの理想的沈殿位置を流入口から池長の1/3と池末端とした。濁質の構成比率を変えて、流況を比較した。

トレーサーにより、短絡流の状況も調べた。

平均水平流速が早い横流式沈殿池は、流況が安定しており沈殿効率が良いと言われている。同一の表面積負荷でフルード数を変えて流況を調べた。小規模の沈殿池の例として、ホッパー型沈殿池を加えた。

境界条件を表1、解析条件を表2、表3に示す。

表1 境界条件

解析方法	変数	流入口	底	側壁	流出口	水面
SMAC	ψ	直線分布	0	0	$d\psi/dn=0$	1
	C	規定値	$dC/dn=-vC$	$dC/dn=0$	$dC/dn=0$	0
	U	1	0	0	$du/dn=0$	$du/dn=0$
	V	0	0	0	$dv/dn=0$	0
	ϕ	0	$d\phi/dn=0$	$d\phi/dn=0$	0	0

表2 解析条件1(粒子の沈降速度)

	case1		case2	
沈降速度(m/s)	1.0×10^{-3}	3.0×10^{-4}	1.0×10^{-3}	3.0×10^{-4}
理想沈殿位置	池長1/3	池末端	池長1/3	池末端
流入濃度(mg/l)	91	9	9	91
池長(m)	15			
水深(m)	3			
表面積負荷(m/day)	30			
平均流速(m/s)	0.00174			
1滞留時間(hr)	2.4			
フルード数 ² (Fr^2)	1.0×10^{-7}			
流入口レイノルズ数	5200			

表3 解析条件2(フルード数の影響)

	ホッパー型沈殿池	標準沈殿池	長い沈殿池
水深(m)	5	3	3
池長(m)	3	15	30
表面積負荷(m/day)	30		
平均流速(m/s)	3.47×10^{-4}	1.71×10^{-3}	3.47×10^{-3}
1滞留時間(hr)	2.4		
流入濃度(mg/l)	100		
理想沈殿位置	流入口から1/3		
沈降速度(m/s)	1.9×10^{-4}	1.0×10^{-3}	3.4×10^{-4}
水密度(g/ml)	0.9982		
動粘性係数 $\times 10^6(\text{m}^2/\text{s})$	1.0038		
流入口フルード数 ² (Fr^2)	0.68×10^{-8}	9.6×10^{-9}	4096.0×10^{-9}

2. 解析結果

(1) 沈降速度の影響

流況が安定した1滞留時間後に、流入部にトレーサーをパルス状に1/2計算ステップ(3.09min)投入した。各濁質組み合わせのトレーサー濃度分布と流線・濁質濃度分布を図-1と図-2に示す。流出トレーサー量の経時変化を、投入濃度と滞留時間で無次元化して示したのが図-3と図-4である。

濁質の沈降速度がより大きい場合は、流況が一滞留時

Keyword: 横流式沈殿池のシミュレーション, 滞留時間, 多粒子自由沈降, フルード数

* 武蔵工業大学大学院工学研究科土木工学専攻(〒158 東京都世田谷区玉堤 1-28-1 Tel.03-3703-3111)

** 工博 武蔵工業大学教授(同上)

間後も不安定な状態である。沈殿が悪い場合は、池底を流れる密度流がより遠くまで達しており、死水域はやや小さい。トレーサーの流出ピークは、前者の方がやや早くピーク理想沈殿位置

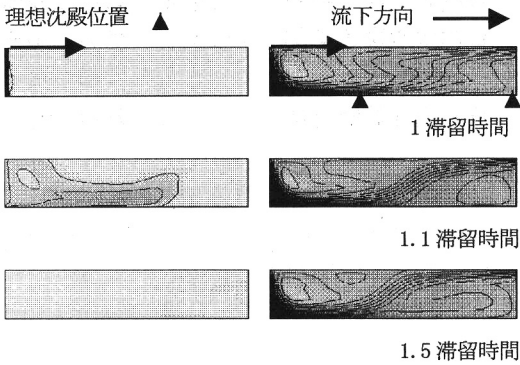


図1 (case1) トレーサー濃度分布 流線・濃度分布

ク濃度も高い。トレーサーの流出が長く尾を引くのは、流速が遅い死水域に広がったトレーサーが徐々に流出するためであり、沈殿効率には無関係である。

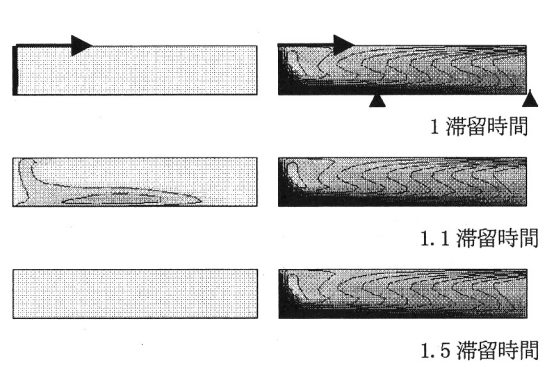


図2 (case2) トレーサー濃度分布 流線・濃度分布

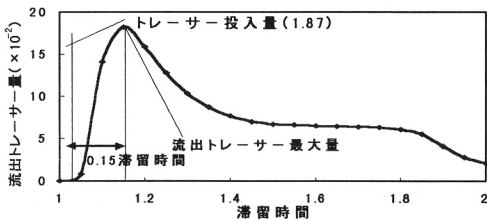


図3 流出トレーサー量経時変化(case1)

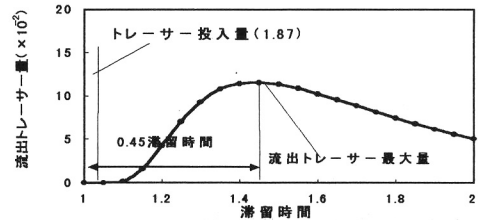


図4 流出トレーサー量経時変化(case2)

(2) 水平流速の影響

ホッパー型沈殿池、標準の沈殿池、および長い沈殿池の流線・濁質濃度分布を図5に示す。

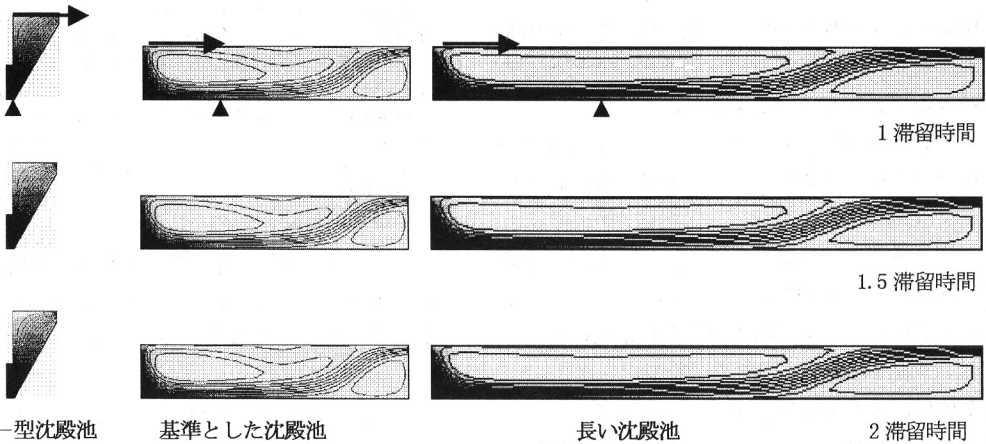


図5 流線、濃度分布図(ホッパー型沈殿池、基準とした沈殿池、長い沈殿池)

流速が早くフルード数が大きい長い沈殿池では、基準とした沈殿池と同様割合で死水域ができている。池の中心付近で沈降が終了して密度差が消失し、上流の大きな渦に慣性流が引っ張られて上昇したと思われる。ホッパー型沈殿池は、上昇流沈殿池となっている。沈降の状態は不良であり既往の知見と合致している。今後、適切な

形状を工夫する必要がある。

4. 今後の方針

フルード数の影響を確認するには、沈降速度と濁質濃度をより広範に変えて見る必要がある。