

矩形沈殿池における流入部位置と密度流との関係

九州工業大学大学院 学生員 ○島田立季
九州工業大学工学部 正会員 藤崎一裕

1. はじめに

矩形沈殿池においては、密度流が発生して、処理効率の低下を招くということが知られている。この密度流による処理効率の低下を防ぐ方法として、整流設備の設置、越流堰の最適な設置、越流負荷の制御などがあるが、いずれも経験によるところが少なく、密度流による処理効率の低下を防ぐ明確な考え方がないのが現状である。そこで本研究では、モデル沈殿池水槽を用いた実験により数値モデルの検証を行った後、流入口の設置位置と密度流との関係について数値シミュレーションを用いて考察を行った。

2. 実験装置および実験方法

実験に使用した水路は、長さ 200cm、幅 10cm、高さ 40cm の全面アクリル製の水路で、下流端には越流堰が設けられている。混合水槽で混合された懸濁水が、一定濃度で定常的に流入するように設定されている。流速の測定には、2次元電磁流速計を使用し、粒子濃度の測定は、懸濁水をサイフォンにより直接採取したあと、乾燥秤量する方法によった。実験条件を表-1に示す。

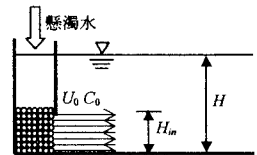


図-1 流入部概要図

表-1 実験条件

	RUN1	RUN2
容量 $V(\text{cm}^3)$	60000	60000
流入量 $Q(\text{cm}^3/\text{s})$	600	600
平均沈降速度 $w_0(\text{cm}/\text{s})$	0	0.57
流入粒子濃度 $C_0(\%)$	0	0.06
開口比 H_w/H	1/3	1/3

3. 数値解析

解析に用いる基礎式は次の(1)式で一般化表示される。

$$\frac{\partial(U\phi)}{\partial x} + \frac{\partial(V\phi)}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\Gamma_x \frac{\partial \phi}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\Gamma_y \frac{\partial \phi}{\partial y} \right) + S_\phi \quad (1)$$

ここに x, y はそれぞれ流下、鉛直方向座標、 U, V は x, y 方向流速で、 Γ_x, Γ_y は拡散係数、 S_ϕ は生成項である。物理量 ϕ に U, V, k, ϵ, C 、

エネルギー散逸率 ϵ 、粒子濃度 C をそれぞれ代入することにより連続の式、 x, y 方向の運動方程式、 k, ϵ の輸送方程式、粒子濃度 C の拡散方程式が導かれる。なおここで乱れのモデルには、標準の $k-\epsilon$ モデルを用いた。計算方法としては、圧力、流速の配置にはスタッガード格子、連続の式と運動方程式との結合には SIMPLE 法、式の離散化には有限体積法を用いた。また、分割数は水深方向に 60、流下方向に 100 とした。

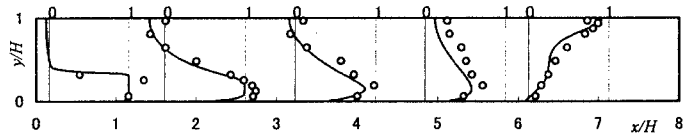


図-2(a) 流速分布 U/U_0 (RUN1)

4. 結果と考察

(1) 実験結果との比較

実験結果を図-2(a)~(c)に示す。プロットした点が実験値で、実線で示されているのは、前述の計算方法により求めた計算値である。

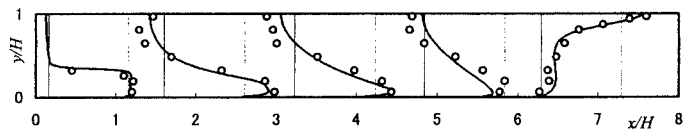


図-2(b) 流速分布 U/U_0 (RUN2)

図-2(a), (b)はそれぞれ、粒子を懸濁していない場合、粒子を懸濁した場合の流速の流下方向変化を示している。図-2(b)には、粒子を懸濁してい

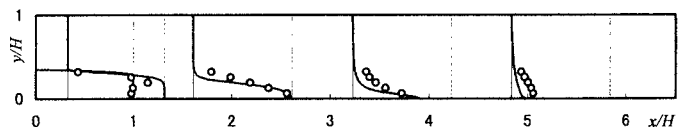


図-2(c) 粒子濃度分布 C/C_0 (RUN2)

表-2 計算条件

	H_{in}/H	F_{dci}	U_0/u_*	w_0/u_*
CASE1	1/2	1.4	40	1.0
CASE2	1/3	2.6	60	1.0
CASE3	1/4	4.0	80	1.0

F_{dci} : 流入部における密度フルード数
 U_0 : 流入流速
 u_* : 摩擦速度

るために、底部に密度流による加速が、そして表層部にその流れを補償する逆流が見られる。流速に対しての計算値は、この密度流による底部の加速も含めて、現象の概略をほぼ再現していると言える。一方、図-2(c)の粒子濃度の流下方向変化の様子を見てみると、現象の概略は捉えているものの、流下が進むにつれて、実験値と計算値とのずれが大きくなっているようである。これは、計算においては、実験で使用した粒子の平均沈降速度を用いているが、実際には粒子は分布を有しているためであると考えられる。

(2) 流入口高さが流況におよぼす影響

次に、この数値モデルを用いて、同一の流入量、粒子濃度において、流入口高さが $H_{in}/H=1/2, 1/3, 1/4$ と変化した場合の計算を行った。計算条件を表-2に示す。

図-3~5にそれぞれ、CASE1~CASE3の流速ベクトル図、粒子濃度コンター図、渦動粘性係数コンター図を、また、図-6に鉛直断面内の最大流速の流下方向への変化を示す。縦軸は池内の平均流速で無次元化されている。

CASE1は流下が少し進んだところで、密度流による加速が表れている。一方、CASE2,3では、流入部における密度フルード数がかなり大きな値であるために、流下が進んでも、密度流による加速現象は表れていない。ここで、粒子濃度コンター図を見てみると、CASE3~1の順に池内の清澄化が進んでいるのが確認できる。 $x/H=5$ のあたりにおいて、CASE1~CASE3ともに $C/C_0=0.5$ の等濃度線の位置が $y/H=0.5$ 程度であるが、図-6からも分かるようにCASE1は $x/H=5$ のあたりから密度流による加速現象が表れていて、そのために池内の清澄化が最も妨げられたものと思われる。ここで検討した範囲では、CASE2,3のように流入口を狭めた方が、沈殿池において問題となる密度流が表れずに、さらに池内の清澄化も促進されるようである。しかしながら、図-5に示すように、CASE2,3は流入流速が増す分、大きな拡散係数を有しており、池内の微細粒子の沈降を妨げる可能性があるものと思われる。

5. おわりに

本研究では、数値モデルの有用性を確かめた後、いくつかのシミュレーションを行い、流入部の構造が池内の流況に大きな影響を及ぼすことを明らかにした。

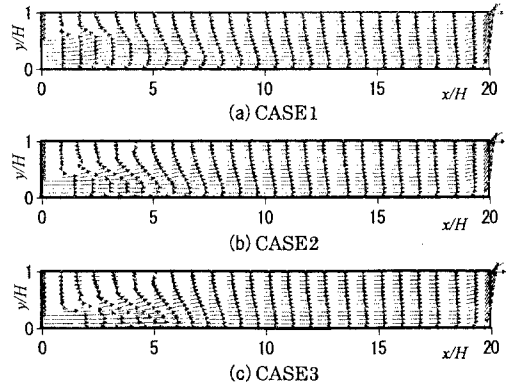


図-3 流速ベクトル

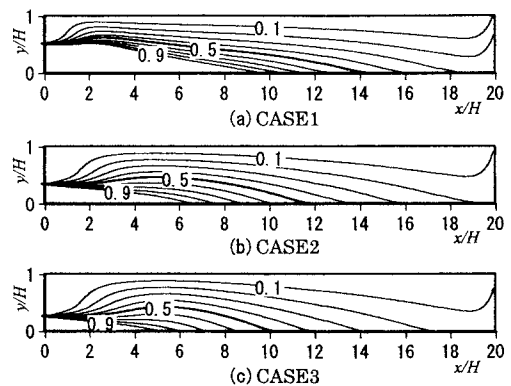


図-4 粒子濃度コンター

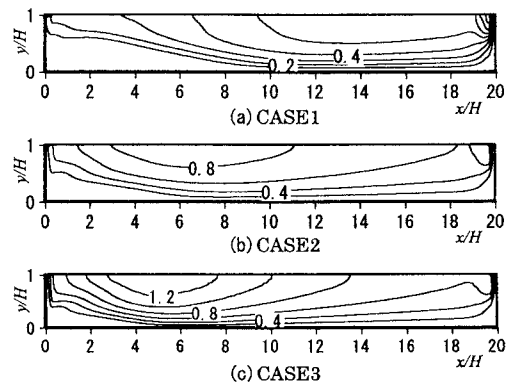


図-5 渦動粘性係数コンター

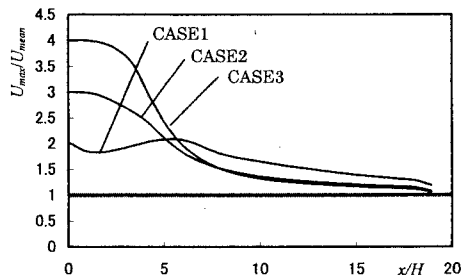


図-6 最大主流速の流下方向変化