

横流式沈殿池内の密度流が微細粒子の挙動に及ぼす影響

九州工業大学大学院 学生員 ○長田 直己  
九州工業大学工学部 正会員 藤崎 一裕

1. はじめに

横流式沈殿池では、流れは一般に非常に遅いが、長さスケールが大きいいため乱流状態となる。この流れは、その低流速のために非常に不安定で、流入水と池内水との密度差の影響を受けて複雑に変化する。本研究では、流入水と池内水の密度差により生じる密度流について、数値解析により検討した。従来この種の濁度密度流については、均一粒子の場合が調べられているが、本研究では、密度流による加速現象に伴う局所的な乱れの増大が微細粒子の沈降に及ぼす影響について検討した。

2. 基礎式

流下方向に $x$ 軸、水路底から鉛直方向に $y$ 軸をとり、側壁の影響等を考慮せず2次元問題として考えると、この場合の基礎式が次式で一般化表示される。

$$\frac{\partial(\Gamma_\phi)}{\partial x} + \frac{\partial(V\phi)}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{\Gamma_\phi}{\rho} \frac{\partial \phi}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{\Gamma_\phi}{\rho} \frac{\partial \phi}{\partial y} \right) + S_\phi \quad (1)$$

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 $\Gamma_\phi$ は拡散係数、 $S_\phi$ は生成項である。物理量 $\phi$ に $u, v$ , 乱れのエネルギー $k$ , 乱れ散逸量 $\epsilon$ , 粒子濃度 $c$ をそれぞれ代入することにより流体質量、粒子、運動量の保存則、乱れエネルギー $k$  およびエネルギー散逸率 $\epsilon$ の輸送方程式が導かれる。なお、乱れのモデルには通常の $k-\epsilon$ モデルを用いた。 $k-\epsilon$ モデルは簡便で流れの状況を比較的よく再現するために、この種の現象に解析によく用いられている。なお、基礎方程式において密度流効果は鉛直方向の運動方程式にのみ取り込まれている。基礎式は水深 $H$ , 摩擦速度 $u_*$ を用いて無次元化した。このとき現象を規定するパラメータは次の2つである。

$$F_{dc} = \frac{U_0}{\sqrt{\Delta\rho/\rho \cdot c_0 gH}} \quad (2), \quad \overline{W_0} = W_0/u_* \quad (3)$$

ここに、 $U_0$ : 池内平均流速、 $\Delta\rho$ : 粒子と流体との密度差、 $\rho$ : 流体の密度、 $c_0$ : 基準粒子濃度である。

また濁質は2種類の粒子からなる場合を想定し、 $c_a, c_b$ 及び $W_a, W_b(=0.5W_a)$ をそれぞれ粒子 $a, b$ の濃度及び粒子沈降速度とした。本報では、粒子 $b$ の濃度は薄く、 $a$ の粒子による密度流が粒子 $b$ に及ぼす影響について考察した。密度流の影響を検討するために $F_{dc}$ が

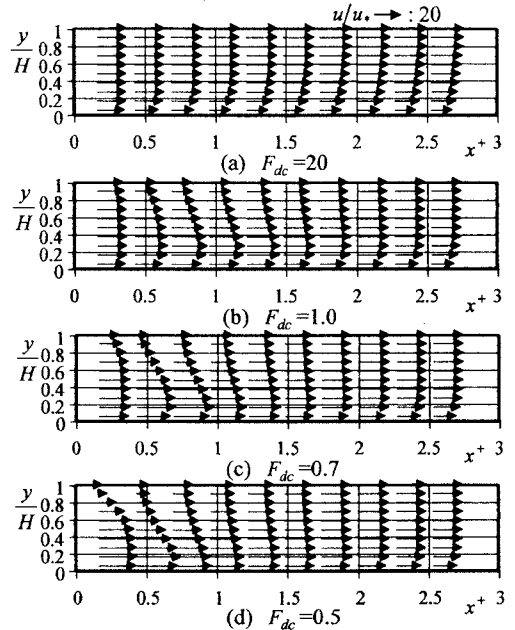


図-1 流速分布  $u/u_*$

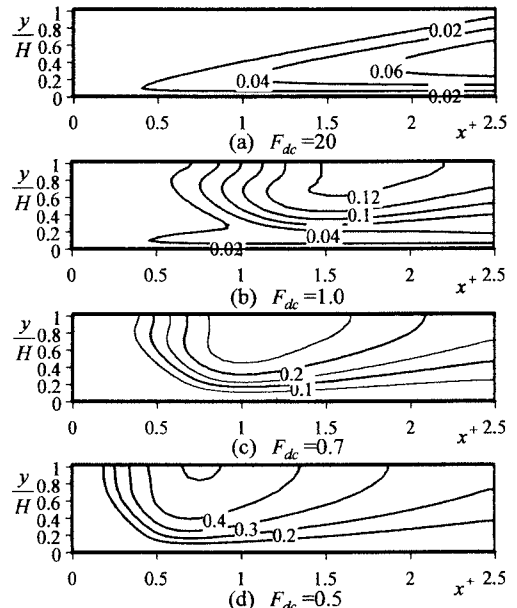


図-2 渦動粘性係数  $\mu_e/Hu_*$

0.5, 0.7, 1.0, 20 の場合について計算を行った。

計算方法は、有限体積法により基礎式の離散化を行い、圧力項関連の取り扱いが SIMPLE 法によった。計算にはスタッカード格子配列を利用し、分割数は水平、鉛直とも 30~40 とした。

### 3. 計算結果と考察

計算結果を図 1~4 に示す。図中の横軸  $x^*$  は  $x/L$  で、 $L(=U_0 \cdot H/W_0)$  は理想沈殿池において水面に流入した粒子の到達距離である。なお、全ての図において  $L$  は  $a$  の粒子の沈降速度を基準としている。

図 1(a)~1(d) に流速分布図を示す。図 1(a) は密度流の効果が無い場合で、一様流入状態から底面摩擦により境界層が発達していく様子が表われている。図 1(b)~1(d) では、流入直後に密度流効果により池内底部に加速が生じている。 $F_{dc}$  が小さい程底部に大きな加速が生じている。

図 2(a)~2(d) に渦動粘性係数の分布図を示す。ここで、図 1(b)~1(d) によると、流入直後に底部に加速が生じるにより、池内上部は流速が減速され、鉛直方向の速度勾配が増加する。このために池内上部の乱れが大きくなる様子が図 2(b)~2(d) に表われている。特に図 2(d) の  $F_{dc}=0.5$  では、流入後の早い段階で水面近傍に大きな乱流拡散が生じている。

図 3(a)~3(d)、図 4(a)~4(d) に入口濃度基準の粒子濃度分布図を示す。 $\bar{W}_0=1.0$  の図 3(a) と図 3(b) を比較すると両者に差が見られない。粒子径の小さい方の粒子濃度分布図、図 4(a) と図 4(b) を見ると  $F_{dc}=1.0$  の方が低濃度域の沈降が遅れている。 $F_{dc}$  が 1.0 より大きくなると、粒子径の大きな粒子の沈降に及ぼす密度流の影響はほとんどなくなるが、粒子径の小さい方の粒子の沈降にはその影響が残っている。相対濃度 0.5 の等濃度線に注目すると、図 3(a)~3(d) では、 $F_{dc}$  が小さいほど早く沈降が終了している。これは密度流により池内底部が加速され水面近傍の流速が減速するため、粒子の流下方向への輸送が抑えられるためである。 $\bar{W}_0=0.5$  の図 4(a)~4(d) では、 $F_{dc}$  が小さいほど低濃度域の粒子の沈降が遅れている。粒子径の小さい粒子は乱流拡散の影響を強く受け、沈降を妨げられる。 $F_{dc}=0.5$  のような密度流の効果が大きい場合には、低濃度域では乱流拡散の影響で粒子の除去効果が極端に低くなっている。このことは流出水の濁質濃度の増加をもたらす。

### 4. まとめ

流入粒子の粒度分布の影響を調べるため、2 組の沈降速度の異なる粒子の挙動を調べた。粒子径の大きい粒子により生じた密度流により、乱流拡散が増大し、微細な粒子は沈降が妨げられる。一方、減速域では沈降が促進される。

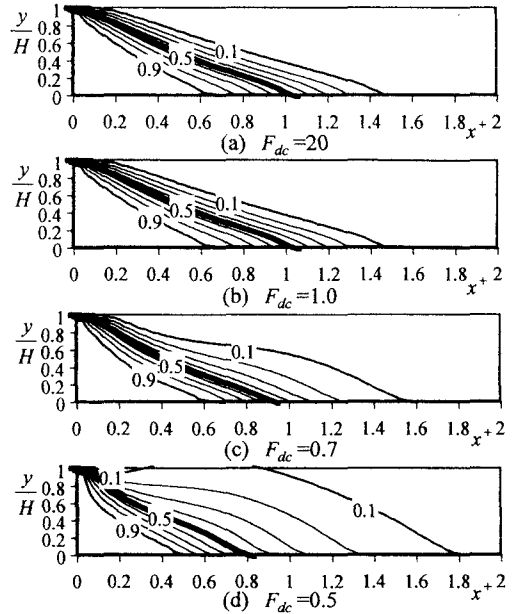


図-3 粒子濃度分布  $c_a/c_{a0}$  ( $\bar{W}_0=1.0$ )

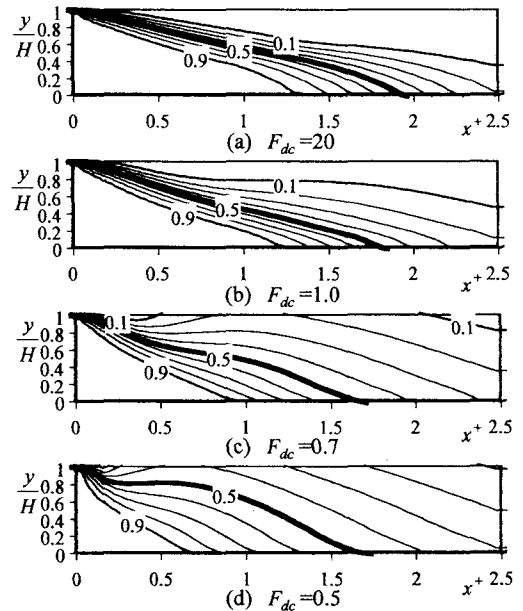


図-4 粒子濃度分布  $c_b/c_{b0}$  ( $\bar{W}_0=0.5$ )