

# 密度流による最終沈殿池の流体解析

中日本建設コンサルタント株式会社 ○高見澤 光佑 中根 進

## 1 はじめに

最終沈殿池では反応槽の活性汚泥混合液が流入し、活性汚泥フロックを沈降させることにより、固液分離して処理水(上澄水)を得ている。活性汚泥混合液は、固形物濃度を持ち、密度や粘性が清水と異なっている。流体の密度は、溶解したり浮遊したりしている物質の濃度によって決まり、濃度変化が密度流発生の一要因となる。

最終沈殿池内を活性汚泥フロックの沈降と考える数値流体解析には筆者らには難しいため、活性汚泥混合液を清水ではなく密度と粘性をもつ仮想流体と設定し、密度流として数値解析することにより、沈殿池内部の水理特性を把握する。

活性汚泥混合液の密度は、清水の密度と較べわずかな差しかない、粘性は清水の 10 倍程度あると思われる。活性汚泥混合液が清水の密度より少し大とすれば、密度差による塩水くさびの現象として表すことができるが、活性汚泥フロックの沈降は表しにくい。

活性汚泥フロックの沈降を密度流で表現しようと考え、活性汚泥混合液を実際と異なる数値計算用の密度、粘性を実施設の汚泥界面の測定を踏まえつつ設定し、解析を試みた。以下にその結果を報告する。

## 2 最終沈殿池の水理特性

### 2.1 最終沈殿池の水理特性

最終沈殿池内の平均流速は 0.3 m/sec 程度であり、レイノルズ数  $Re$  で判断すると乱流域となる。

$$Re = \frac{\rho UL}{\mu} = \frac{UL}{\nu}$$

$U$  : 代表流速(m/sec)、 $L$  : 代表長さ(m)、 $\rho$  : 密度 (kg/m<sup>3</sup>)、 $\mu$  : 粘度(粘性係数) (Pa・s)  
 $\nu$  : 動粘性係数(=  $\mu / \rho$  m<sup>2</sup>/sec)

活性汚泥混合液の密度は、固定速粘度計で測定した、分離濃縮した重力濃縮汚泥と機械濃縮汚泥の粘性係数  $\mu$  から活性汚泥混合液濃度 1500~2000 mg/l の粘性係数  $\mu$  を推定すると 0.013 Pa・s であった。

活性汚泥混合液の動粘性係数  $\nu$  は、以下となる。

$$0.013 \text{ Pa}\cdot\text{s} \div 1000 \text{ kg/m}^3 = 1.3 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{sec}$$

清水の動粘性係数  $\nu$  は、10°C で  $1.3 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{sec}$  である。

数値流体解析では、活性汚泥混合液の粒子径、比重などを組み込むことが難しい。

本稿では、後述する実施設で観察した汚泥界面が再現できるように活性汚泥混合液を清水と異なる密度と粘性係数を持つ仮想流体として解析する。数値流体解析用の密度と動粘性係数を表 2.1 のように設定した。非定常の圧縮流体の方程式は、次式で表す。

流体の運動量の保存式

$$\rho \frac{\partial u}{\partial t} - \rho \nu \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) + \rho u \frac{\partial u}{\partial x} + \rho v \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial p}{\partial x} = 0$$

$$\rho \frac{\partial v}{\partial t} - \rho \nu \left( \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) + \rho u \frac{\partial v}{\partial x} + \rho v \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial p}{\partial y} = -\rho g$$

流体の質量保存式

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial \rho u}{\partial x} + \frac{\partial \rho v}{\partial y} = 0$$

表 2.1 数値流体解析用の密度と動粘性係数

	密度 $\rho$	動粘性係数 $\nu$
終沈流体	1.0	0.1
活性汚泥混合液	20.0	15.0

上式の偏微分方程式(弱形式)と壁面、流入、流出の境界条件を入力して有限要素法で解くことにより流れを解析する。数値解析には、FreeFem++という偏微分方程式を解くフリーソフトを利用し、Moulding.edp<sup>1)</sup>のコードを書き換えて使用した。

## 2.2 実施設の活性汚泥堆積状況

最終沈殿池の汚泥界面を先端に逆止弁を付けた直径 25mm の透明なサンプリングホースで測定した事例を図 2.1 に示す。汚泥ピット付近には作業スラブがあり、界面を測定できなかった。

沈殿池上流から下流にかけて汚泥界面が下がっていく様子が観察できた。沈殿池流入のスロープ部は、反応槽から流出した直後であり、汚泥界面はなく、活性汚泥混合液の状態であった。スロープの底が最も濃度が高い状態であり、この現象が密度流で解析するきっかけとなった。

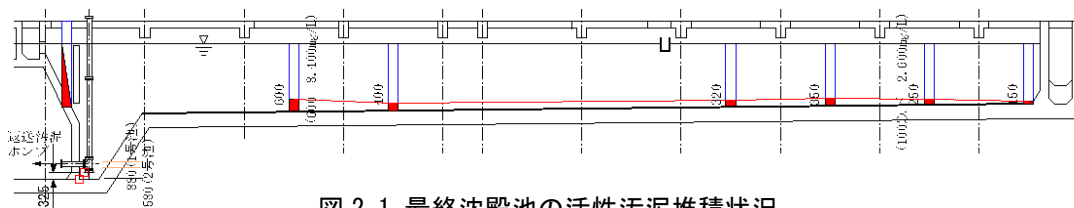


図 2.1 最終沈殿池の活性汚泥堆積状況

## 3. 最終沈殿池の数値流体解析

### 3.1 最終沈殿池の数値解析モデル

最終沈殿池の断面形状は、筆者が設計する際に考える標準的断面であり、沈殿池の長さや整流壁の穴のピッチは実施設と異なる。計算モデルは、密度流と比較するために清水モデルも計算する。返送率は 50% を想定し、汚泥ピットから常時、引抜いている状態とする。

計算モデルの各部名称と寸法を図 3.1 に示す。

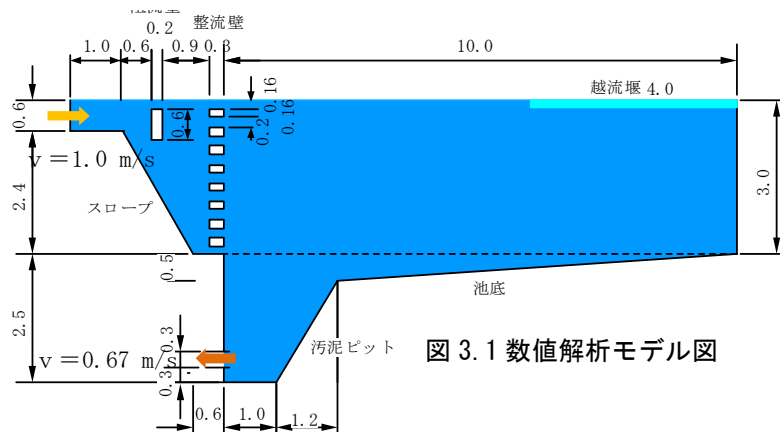


図 3.1 数値解析モデル図

### 3.2 最終沈殿池の清水流体解析

密度流との比較のため、清水での非定常の二次元流体解析を行う。時間ステップ  $t = 200$  の流速分布を図 3.3 に示す。整流壁下流における汚泥ピットの深さまでの鉛直方向の流速分布を図 3.4 に示すが、清水では水面付近を流れ、ピット部は、引抜による流速が現れている。

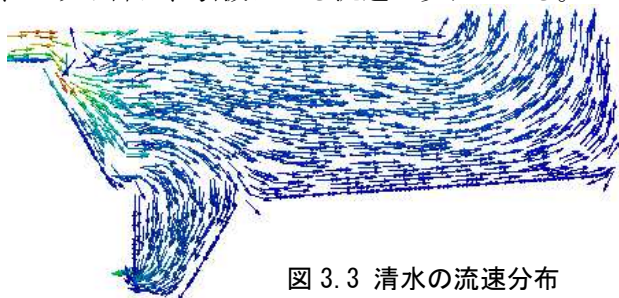


図 3.3 清水の流速分布

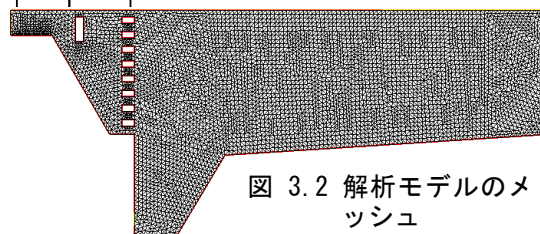


図 3.2 解析モデルのメッシュ

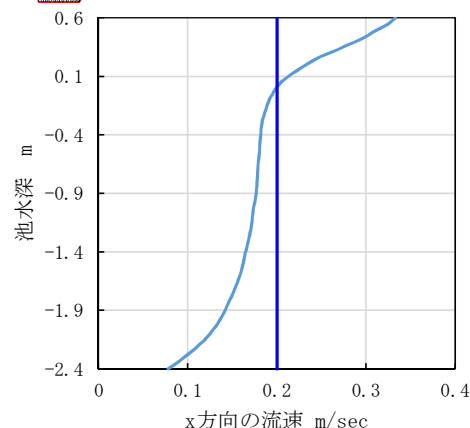


図 3.4 清水の整流壁下流 0.5 m 位置の流速分布

### 3.3 最終沈殿池の密度流解析

時間経過毎の池内の濃度分布を密度流として図 3.5 に示す。時間

ステップ  $t = 40$  の池内の流速分布を図 3.6 に示し、整流壁下流の流速分布を図 3.7 に示す。

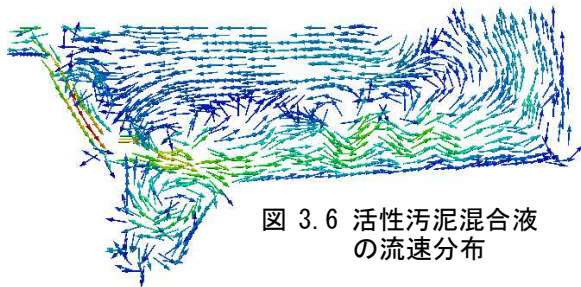


図 3.6 活性汚泥混合液の流速分布

沈殿池内の底部以外では、流速の大きさはほとんどない。流れの向きとしては、汚泥ピット下流側隅部にあたり底部を流れ越流堰付近に達し、時間の経過とともに水面付近で逆流する。さらに時間が経過すると水深の半分程度は逆流している。この計算での時間ステップが  $t=100$  以上となると計算が発散しているのではないかとと思うほど沈殿池内の流向はばらついている。清水の解析ではこのような現象は見られず、活性汚泥混合液による密度流の影響である。

時間経過に伴う汚泥ピット内の密度の変化を図 3.8(ピット底部平面中央鉛直方向の平均値)に示す。時間経過により越流水の密度の変化していく様子を図 3.9 に示す。いずれも時間経過と共に密度が高まっていく。

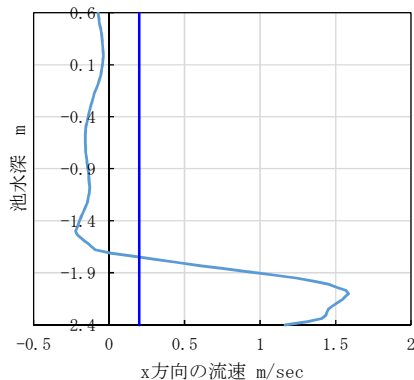


図 3.7 密度流の整流壁下流 0.5 m 位置の流速分布 (x 方向)

## 5. まとめ

活性汚泥混合液を密度流に見立てて非定常流解析を行なった。最終沈殿池の池底をうねるような流れが観察された。清水の解析では池底のうねりはなかった。

実施設の汚泥界面は、薄く、長さ方向に沈殿池下流端まで観察できたが、うねりまでは確認はできていない。

下水道の普及が概成している今日遅きに失した感があるが、数値解析により最終沈殿池への流入形状、汚泥ピット形状の最適化の検討に利用できたのではないかとと思われる。

### 【参考文献】

- 1) Florian De Vuyst : Numerical modeling of transport problems using freefem++software pp.155-157  
Department of Mathematics ENS CACHAN

【問い合わせ先】 中日本建設コンサルタント(株) 水工技術本部 中根 進 TEL052-232-6055 E-mail s\_nakane@nakanihon.co.jp

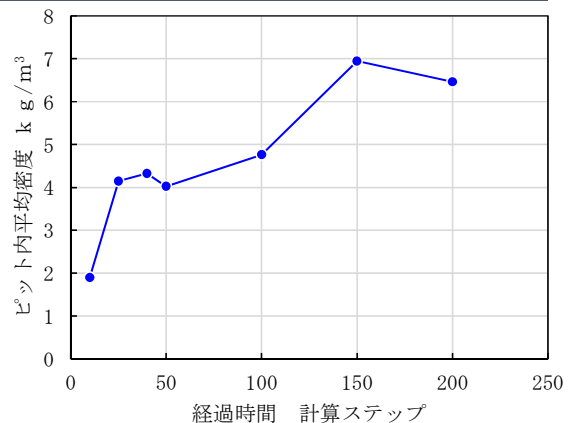
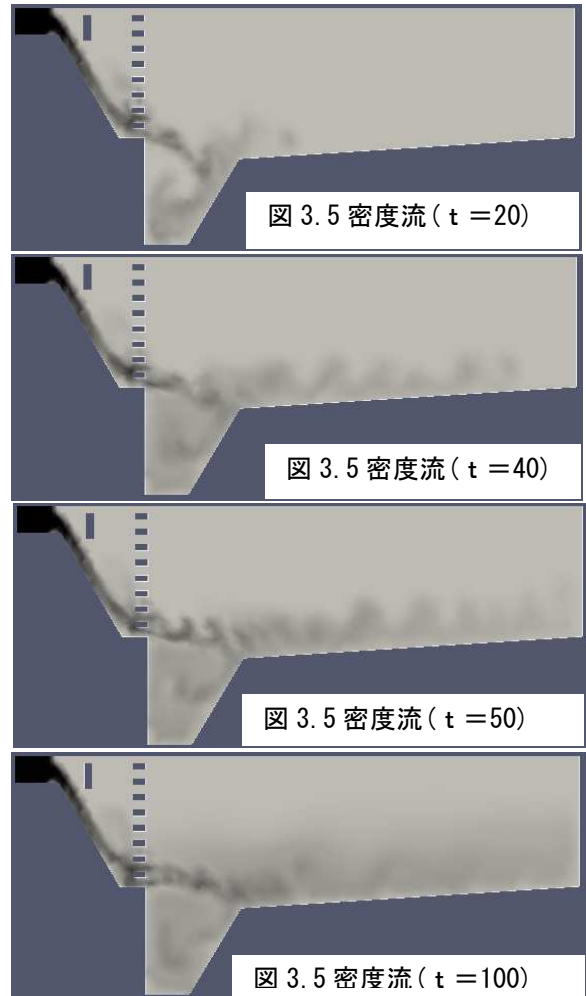


図 3.8 時間経過による汚泥ピット内の平均密度

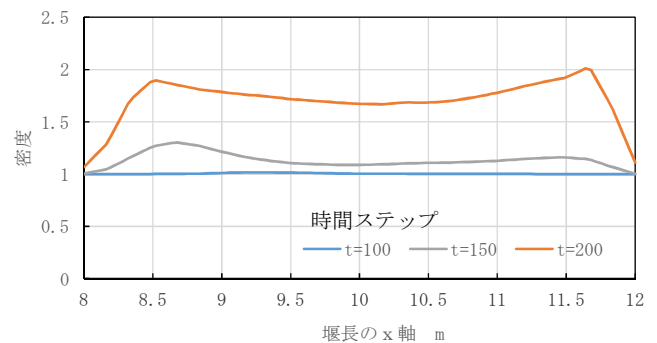


図 3.9 越流堰流出部の時間経過による密度分布