

2025年7月23日  
第35回技術研究発表会

# 越流堰配置の異なる最終沈殿池の 三次元密度流解析

---

中日本建設コンサルタント株式会社 水環境技術本部  
高見澤光佑・金井あゆみ・中根 進

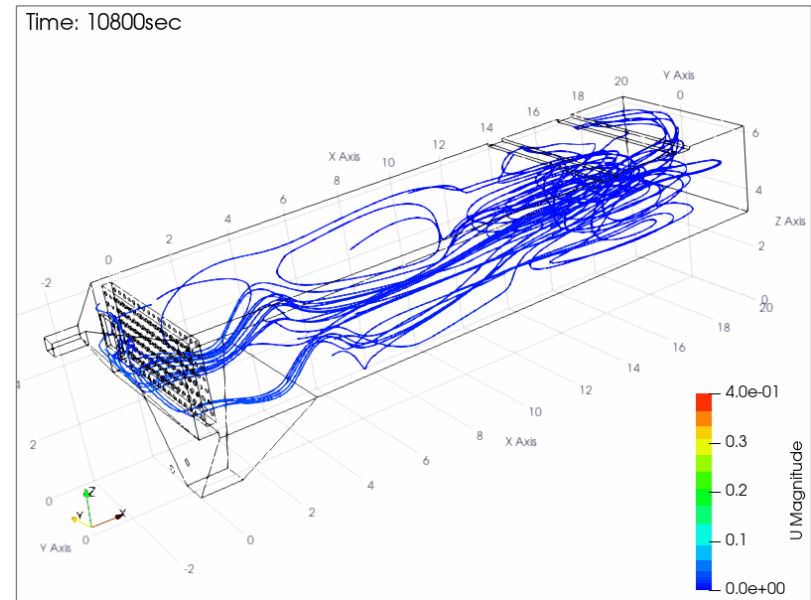


人・街・自然・いきいき

中日本建設コンサルタント株式会社

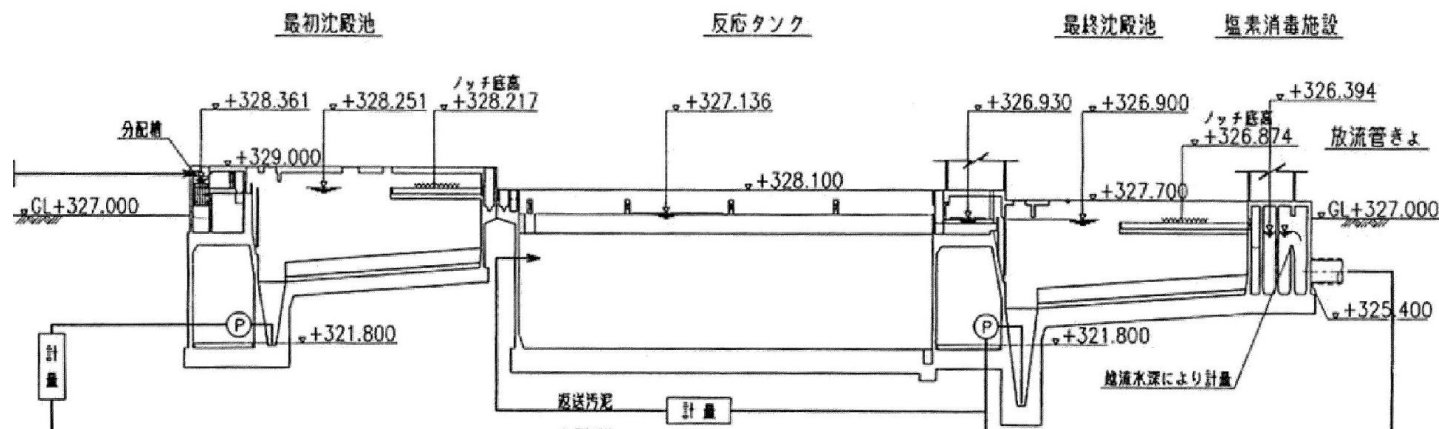
# 目次

1. 背景・目的
2. 最終沈殿池の解析方法
3. 解析結果の考察
  - ◆水の流れ
  - ◆汚泥の沈降状況
  - ◆越流水濃度（処理水濃度）
4. まとめ



# 1. 背景・目的

- ▶ 最終沈殿池は反応槽から活性汚泥が流入し、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。
- ▶ 反応槽混合液は、固形物濃度を持ち、密度、温度や粘性が清水と異なることにより、これらの流体が接すると密度流が発生する。
- ▶ 下水道指針（1984年版）には、最終沈殿池の流れが密度流であることを示唆する表現がある。



出典：下水道施設計画・設計指針と解説-2019版- (P10)

# 1. 背景・目的

- ▶ 過去には、有限要素法を用いた二次元断面モデルにより活性污泥フロックを密度流で表現し、越流堰からの流出濃度を示した。

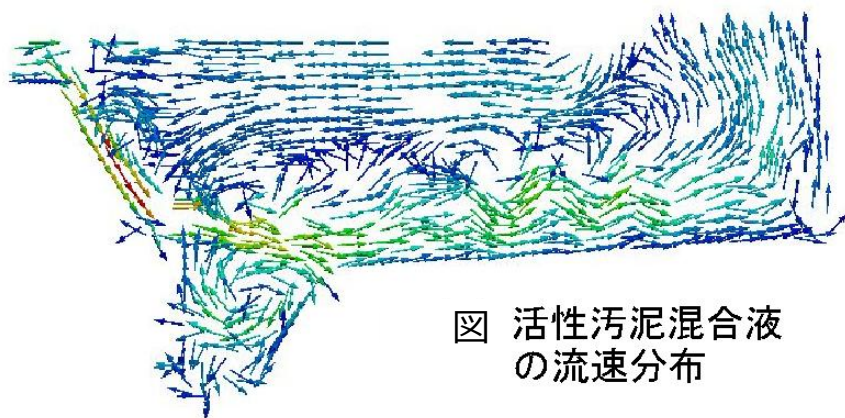


図 活性污泥混合液の流速分布



図 密度流 ( $t = 20$ )

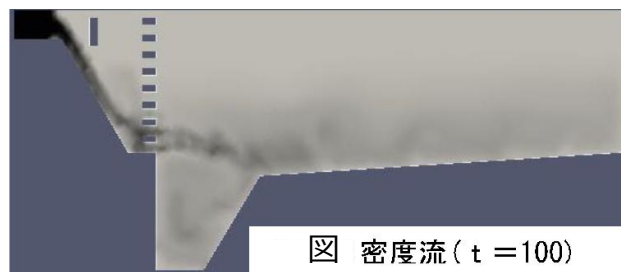
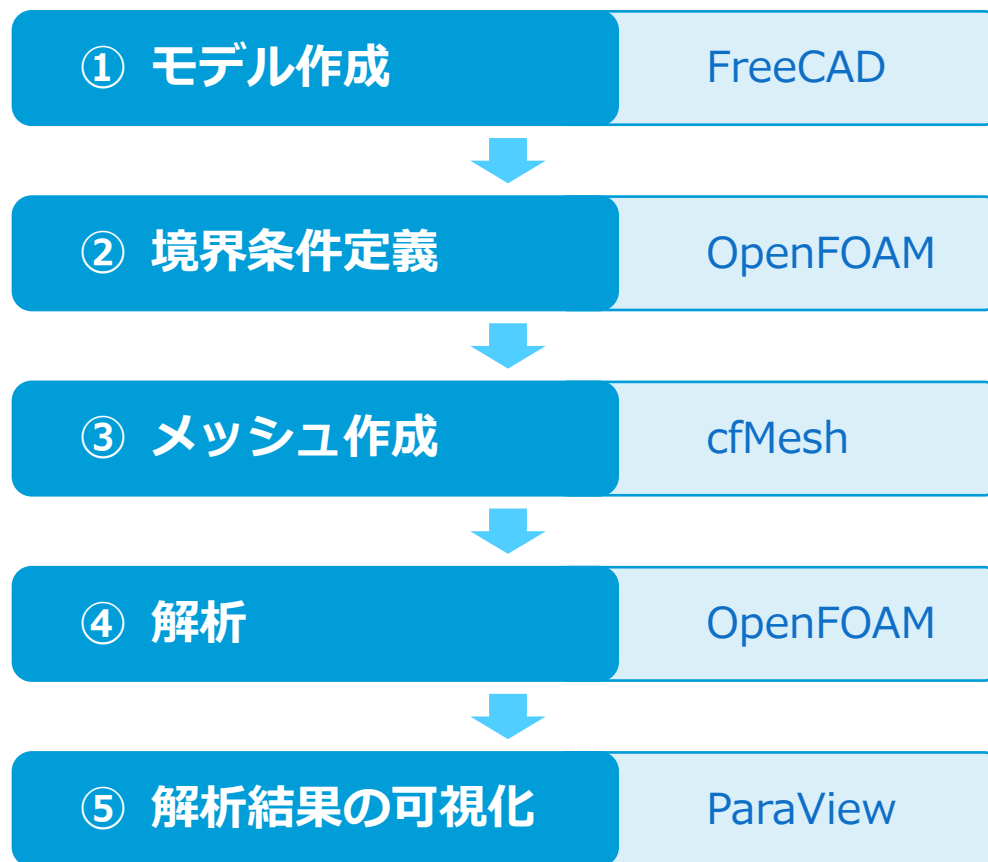


図 密度流 ( $t = 100$ )

今回は越流堰の配置が異なった2例の最終沈殿池の密度流をフリーソフトOpenFOAMの有限体積法を使って三次元モデルで解析事例とその解析から得られた水の流れ、越流堰からの流出濃度等を紹介する。

## 2. 最終沈殿池の解析方法

- ▶ 解析の流れと使用ソフトウェアを以下に示す。



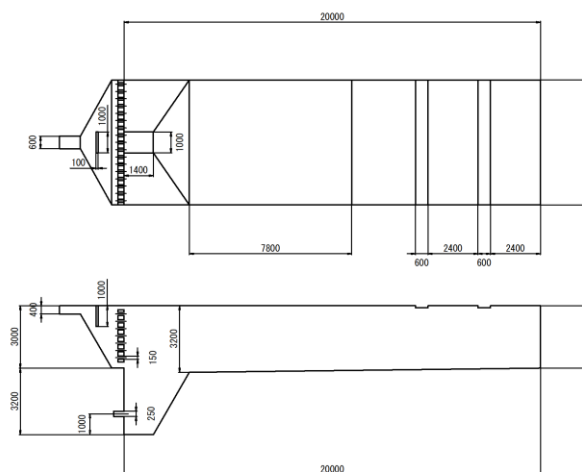
## 2. 最終沈殿池の解析方法

### ▶ 最終沈殿池の解析モデル諸元

- ▶ 標準活性汚泥法の設計諸元を使って、最終沈殿池モデルを以下のように設定する。

流入諸元	
流入水量	3750m <sup>3</sup> /日（返送汚泥量：750m <sup>3</sup> /日、越流量：3000m <sup>3</sup> /日）
滞留時間	10368sec（（20m×6m×3m）÷3000m <sup>3</sup> /日＝0.12日＝2.88h＝10368sec）
流入流速	0.181m/s（3750m <sup>3</sup> /日÷86400sec/日÷（水路幅0.6m×水路高0.4m））

沈殿池諸元	
水面積負荷	25m <sup>3</sup> /（m <sup>2</sup> ・日）
越流堰負荷	150m <sup>3</sup> /（m <sup>2</sup> ・日）
越流堰長	6m×2列×2トラフ＝24m、トラフ幅0.6m
越流堰配置	流れと直角方向（縦断方向と横断方向）
越流水深	0.1m
汚泥掻寄速度	0.3m/min（0.005m/sec）
汚泥引抜管径	φ250

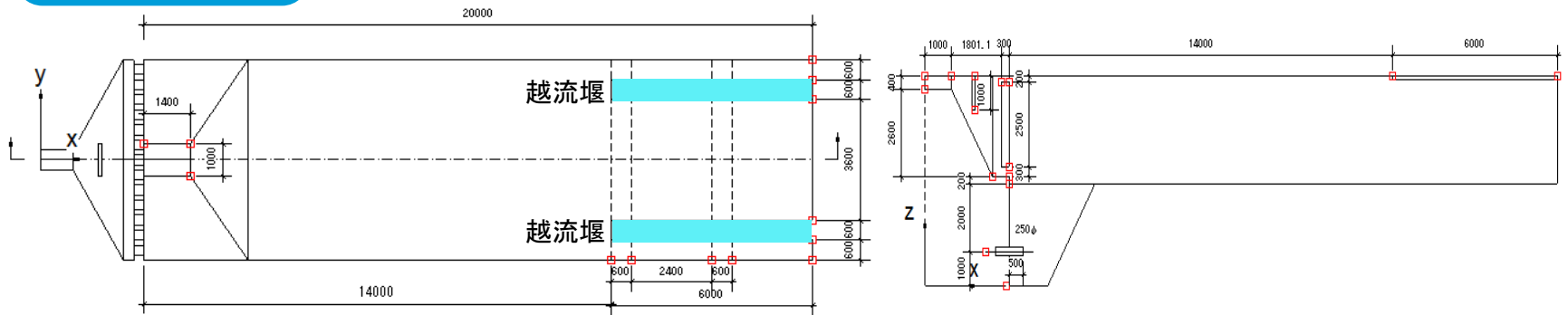


## 2. 最終沈殿池の解析方法

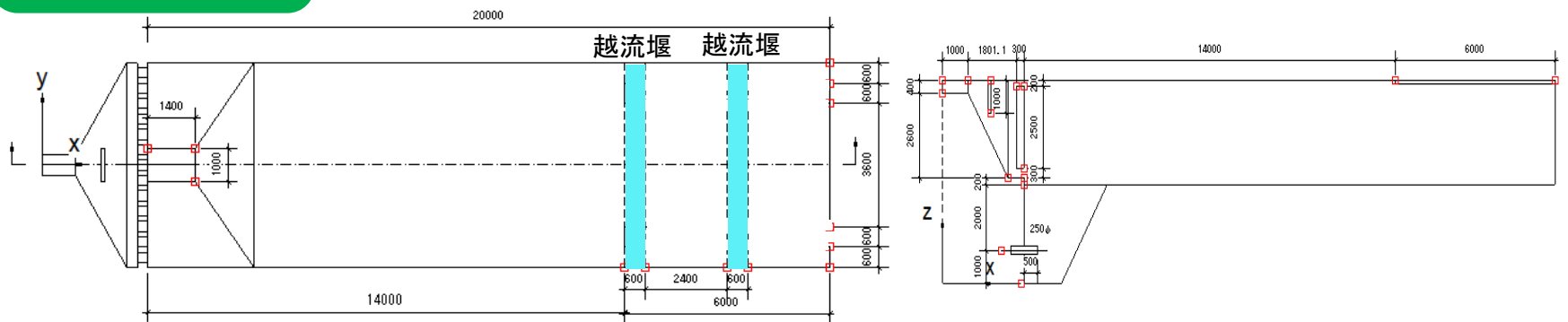
### ▶ 最終沈殿池の解析モデル諸元

越流堰が「縦断方向」、「横断方向」の2パターンを解析

越流堰が縦断方向



越流堰が横断方向



## 2. 最終沈殿池の解析方法

### 反応槽混合液（活性汚泥）諸元

● 固形物濃度	● 2,000mg/L (0.2%)	反応槽MLSS濃度
● 流体モデル	● ビンカム流体（塑性流体）	

### ビンカム流体（塑性流体）

- 低濃度濃縮汚泥と高濃度濃縮汚泥のずり応力、ずり速度を示す。

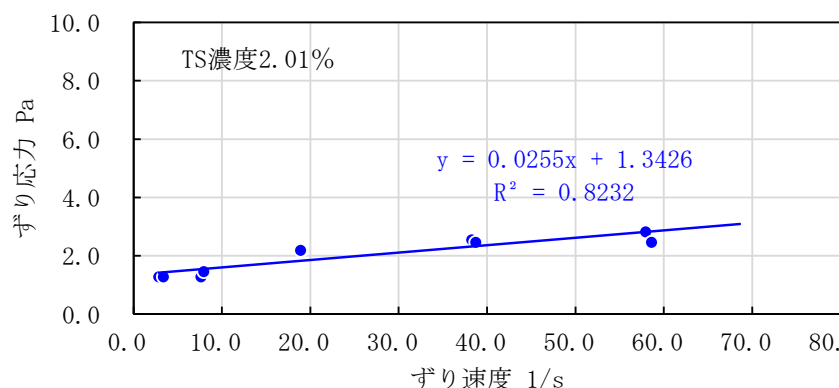


図 低濃度濃縮汚泥のずり速度とずり応力の関係

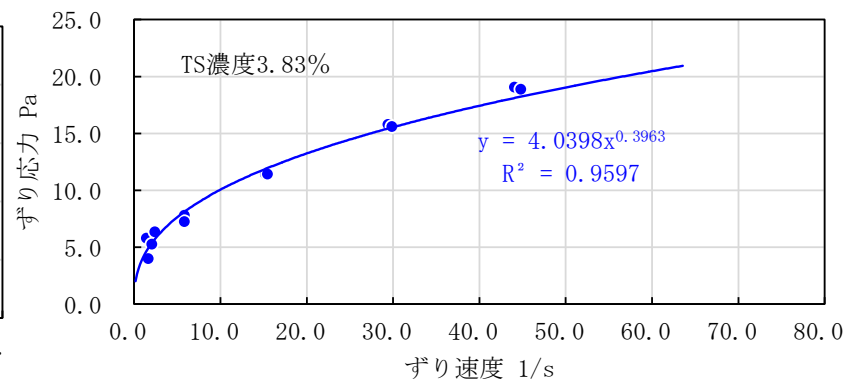


図 高濃度濃縮汚泥のずり速度とずり応力の関係

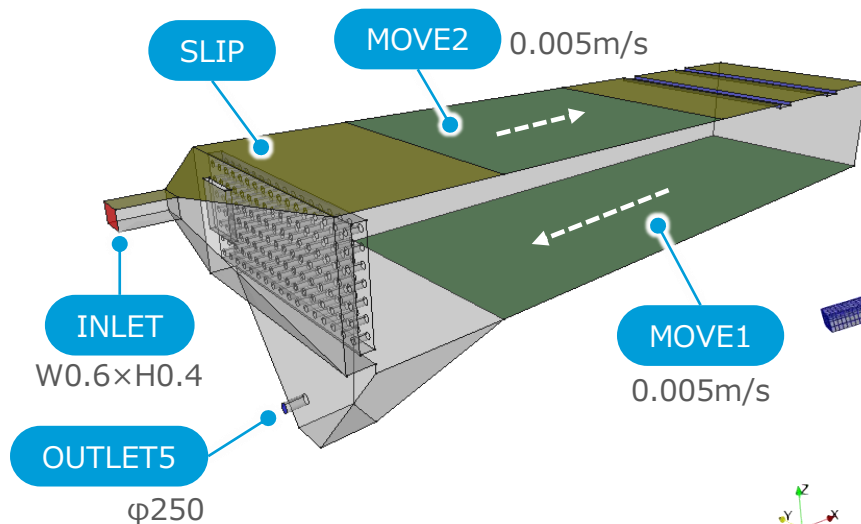
- 今回想定の低濃度濃縮汚泥は、ビンカム流体の特性を示すため、本モデルで採用



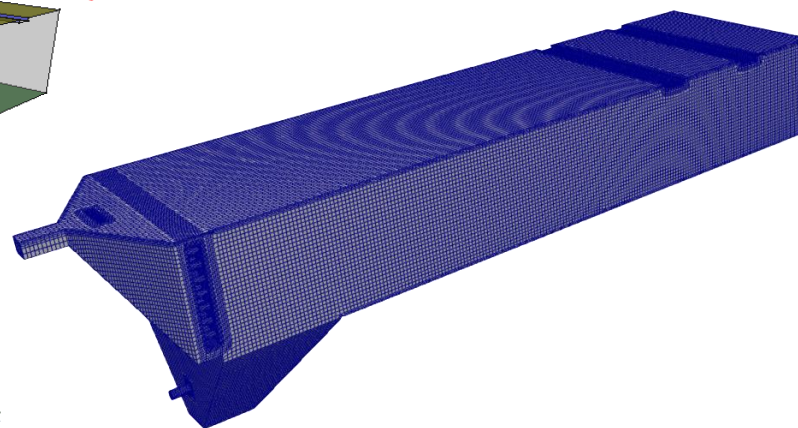
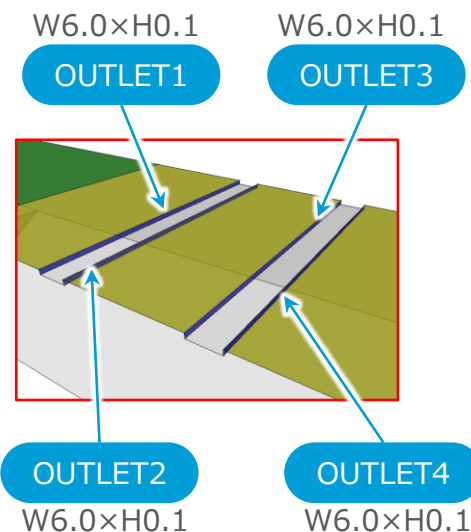
## 2. 最終沈殿池の解析方法

### ▶ 最終沈殿池の解析モデルと名称

- ▶ FreeCADを用いて、流体領域のみのモデルを作成し、cfMeshを利用して解析メッシュを作成した。
- ▶ それぞれの面に以下の境界名を付与する。



解析モデルと境界名



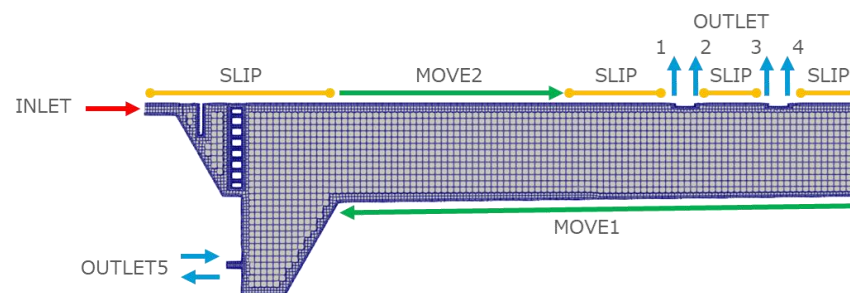
解析メッシュ全体

## 2. 最終沈殿池の解析方法

### ▶ 最終沈殿池の解析ソフトウェア

- ▶ 解析にはOpenFOAMを使用し、混相流ソルバー「driftFluxFoam」のチュートリアルケース「tank3D」を利用する。
- ▶ 最終沈殿池へ2000mg/Lの反応槽混合液が流入し、越流堰および汚泥引抜管から流出する様子を、10800秒間解析する。

名称	境界名	与条件
流入水路	INLET	0.181m <sup>3</sup> /s
越流堰	OUTLET1-4	(±0.01447,0,0)m/s
汚泥引抜管	OUTLET5	自然流入出
汚泥掻寄機	MOVE1,2	(±0.005,0,0)m/s
水面	SLIP	すべり壁
壁面	WALLS	すべり無し壁



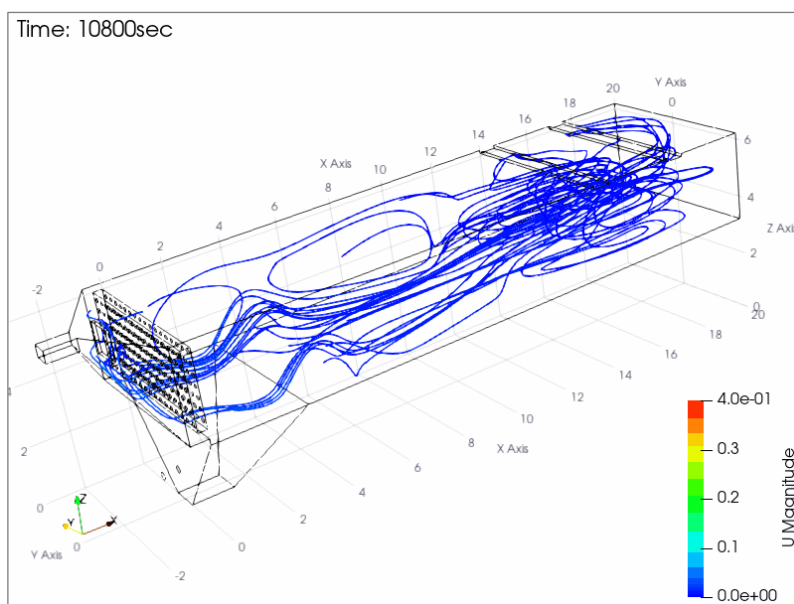
解析メッシュと境界名

汚泥引抜管：750m<sup>3</sup>/日、越流堰：自然流入出として解析を実施したが、計算が発散してしまったため、チュートリアルケースの与条件に合わせて越流堰に流速を与える設定とし、汚泥引抜管：自然流入出、越流堰：3000m<sup>3</sup>/日の条件で解析を実施した。

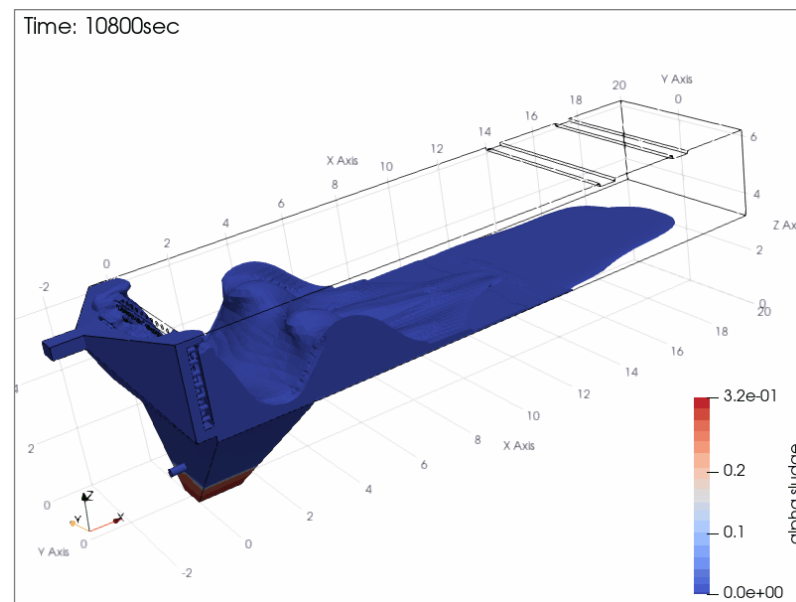
## 2. 最終沈殿池の解析方法

### ▶ 最終沈殿池の解析イメージ

- ▶ 流入から越流堰に至る流線を左図に示す。着色は流速を表す。
- ▶ 水と泥の混相流から、泥を抽出した流れを右図に示す。着色は濃度を表す。



流入から越流堰に至る流線 (t=10800sec)

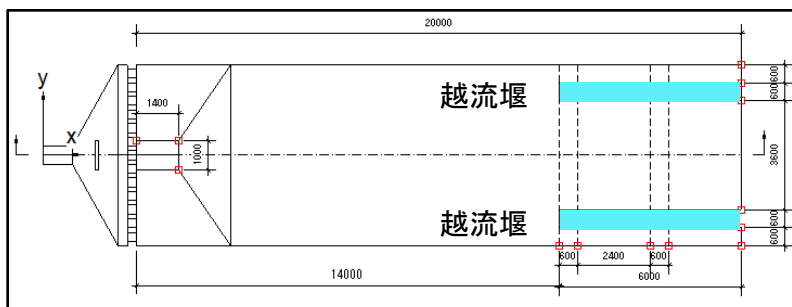
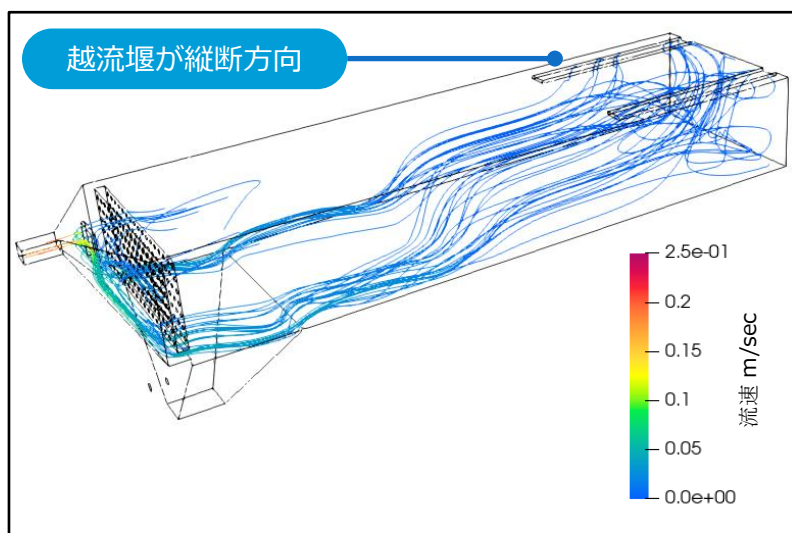


100mg/L以上の反応槽混合液濃度 (t=10800sec)

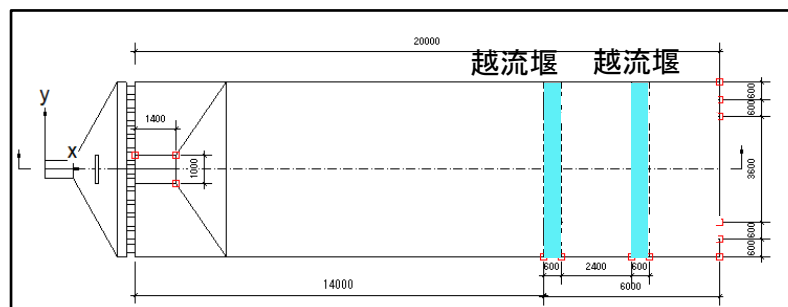
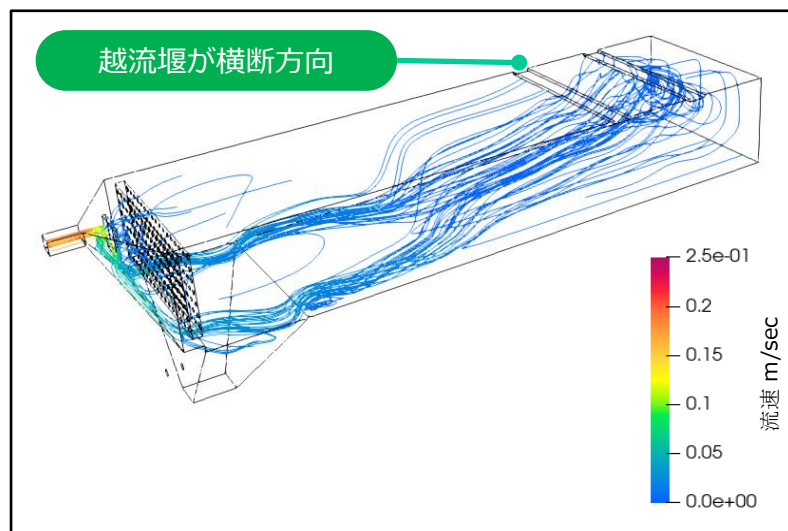
# 3. 最終沈殿池の解析結果

## 3.1 水の流れの解析結果

▶ 越流堰が縦断方向の場合と横断方向の場合の解析結果を示す。



平面図（越流堰 縦断方向）



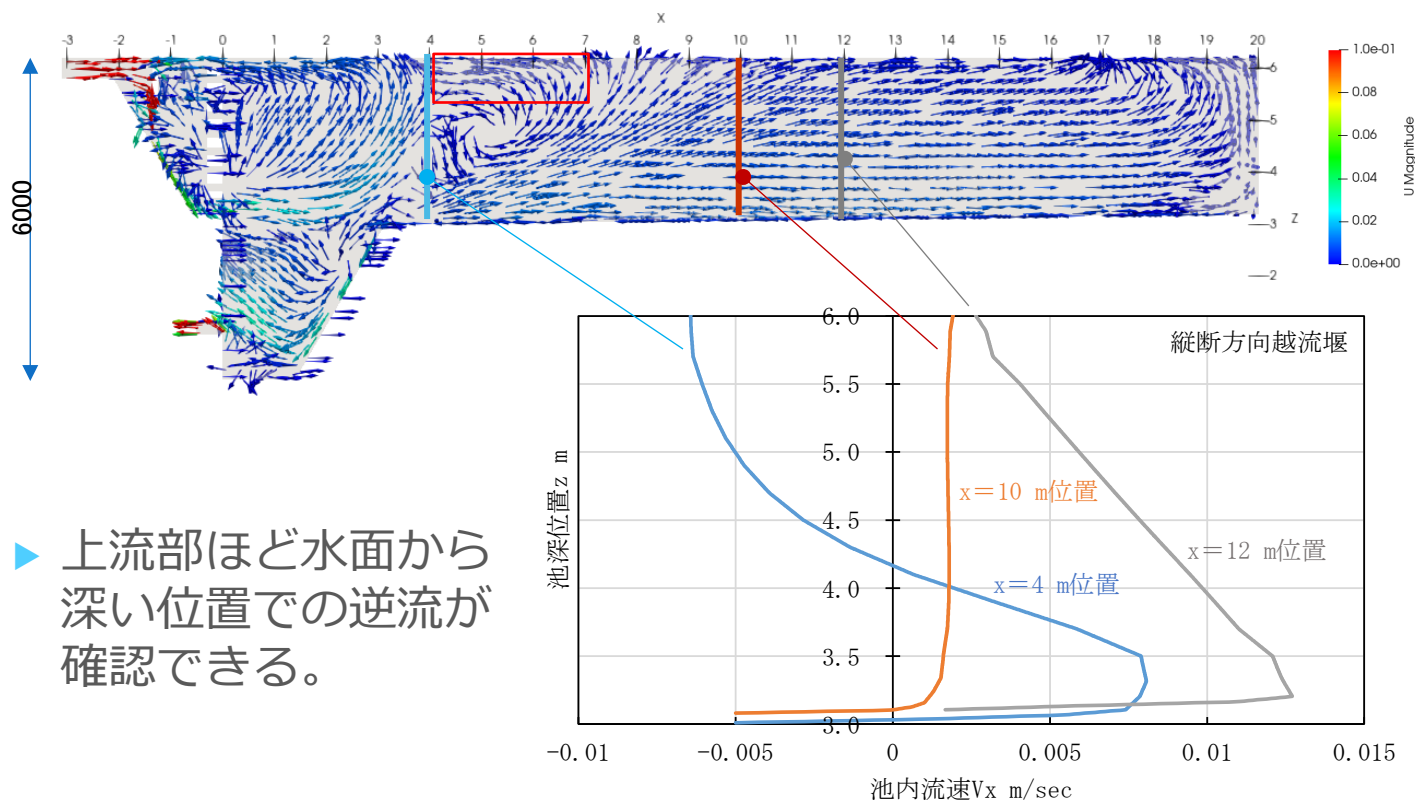
平面図（越流堰 横断方向）

# 3. 最終沈殿池の解析結果

## 3.1 水の流れの解析結果

縦断方向の結果

- ▶ 越流堰が縦断方向の沈殿池内の水の流れ ( $t=4,000\text{sec}$ )を示す。着色は流速を表す。



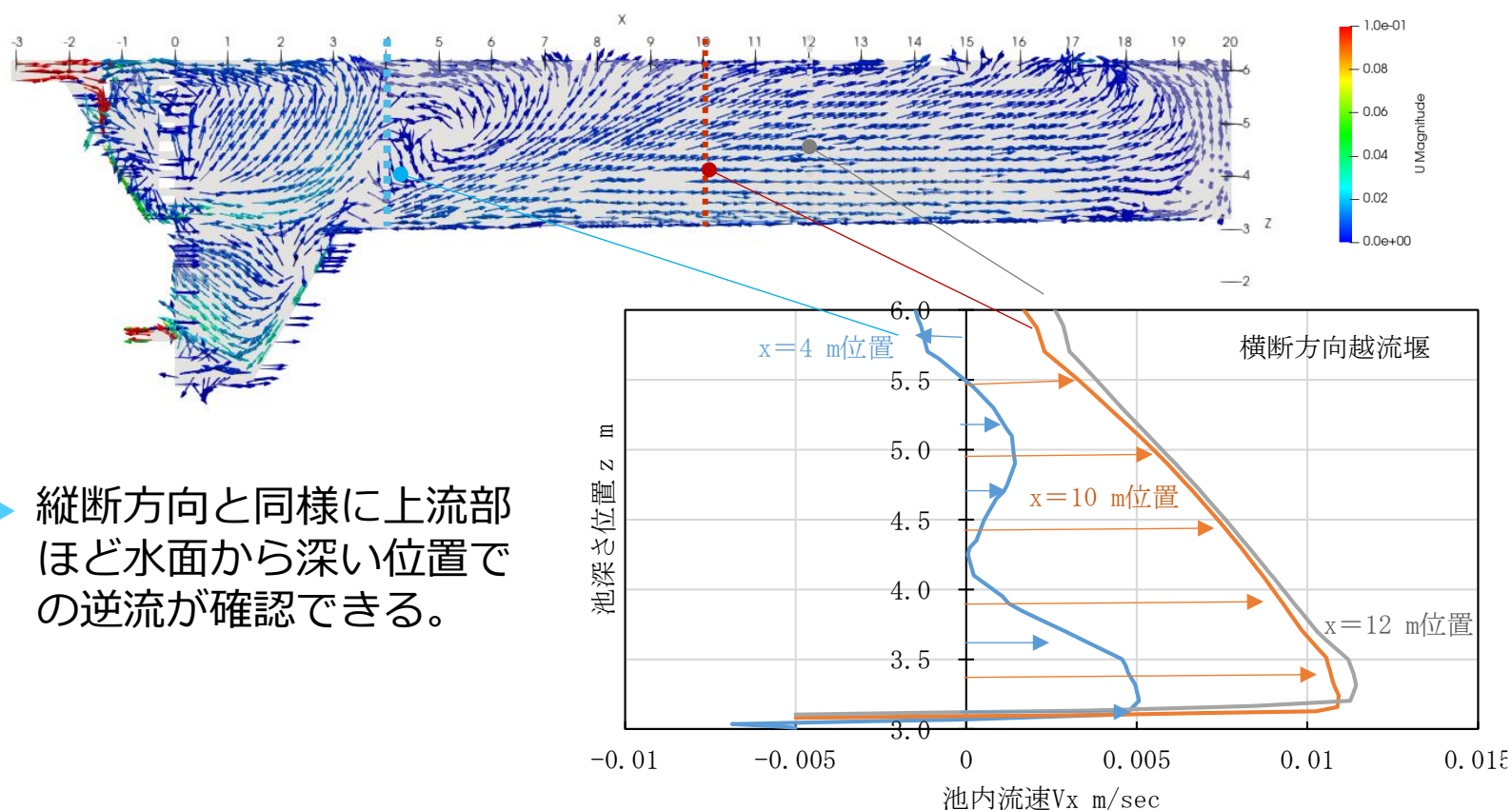
- ▶ 上流部ほど水面から深い位置での逆流が確認できる。

# 3. 最終沈殿池の解析結果

## 3.1 水の流れの解析結果

横断方向の結果

▶ 越流堰が横断方向の沈殿池内の水の流れ ( $t=4,000\text{sec}$ )を示す。





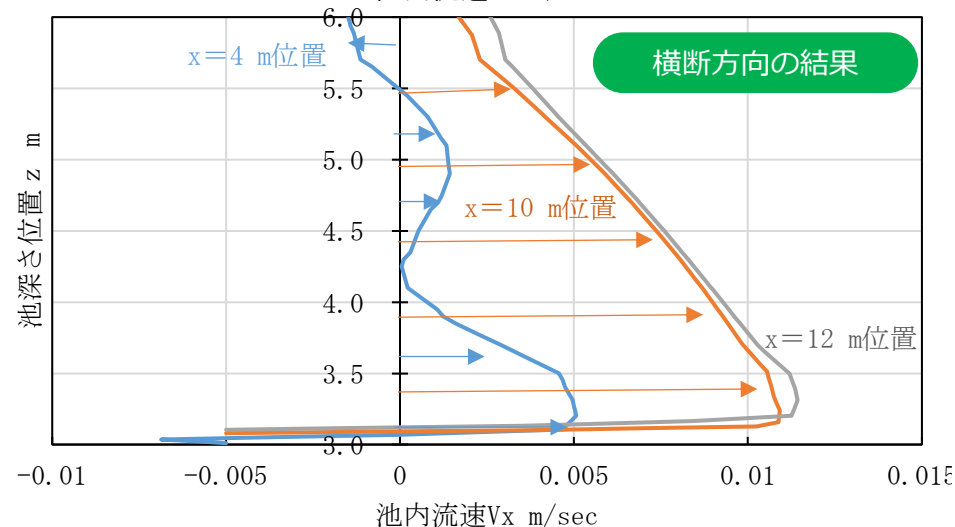
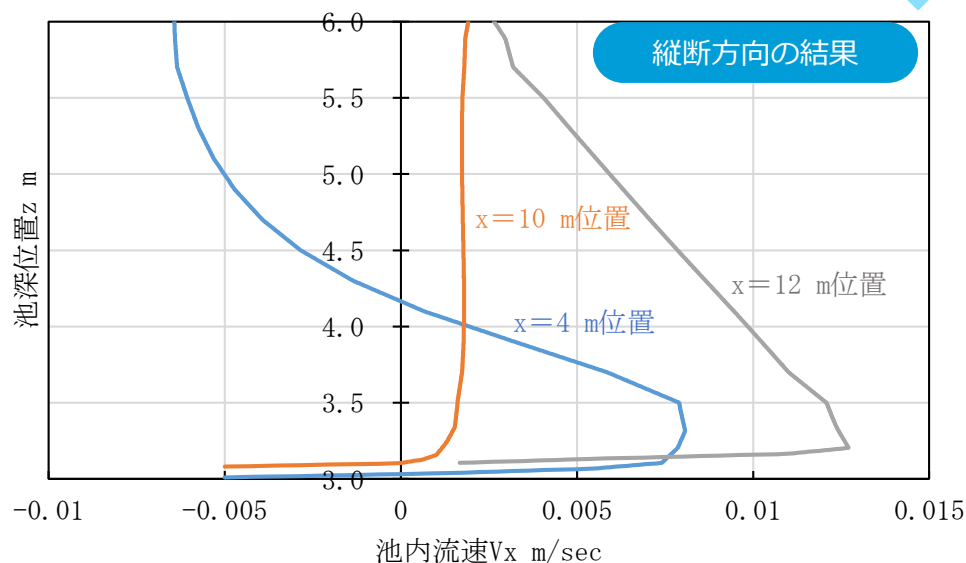
# 3. 最終沈殿池の解析結果

## 3.1 水の流れの解析結果

### ▶ 縦断方向と横断方向の比較

縦断方向と横断方向は共に同様に上流部ほど水面から深い位置での逆流が確認できる。

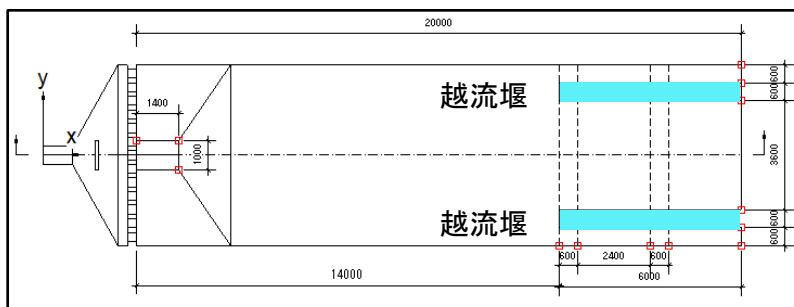
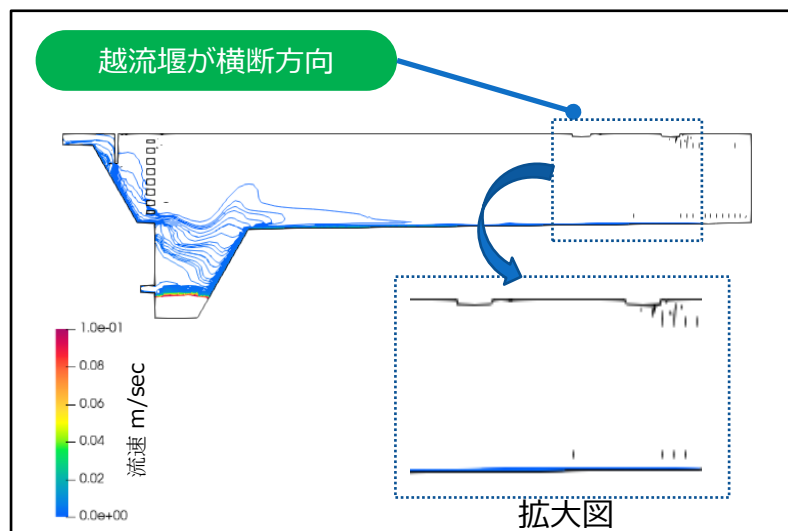
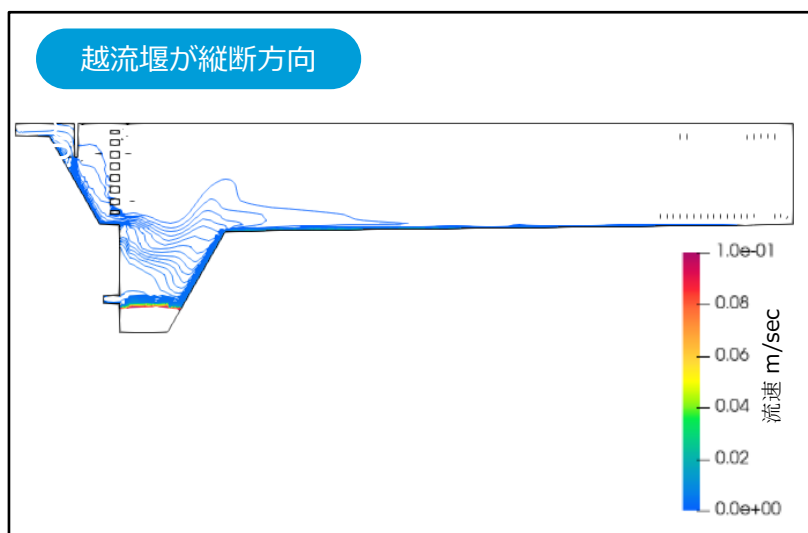
縦断方向は、横断方向に比べて逆流が水面から深い位置まで発生している。



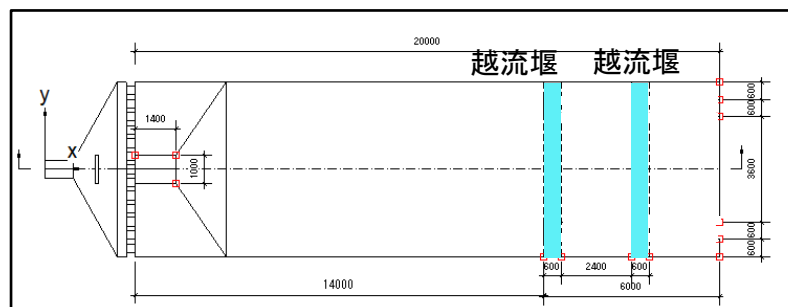
# 3. 最終沈殿池の解析結果

## 3.2 汚泥の沈降状況の解析結果

- ▶ 越流堰が縦断方向の場合と横断方向の場合の解析結果を示す。



平面図（越流堰 縦断方向）



平面図（越流堰 横断方向）

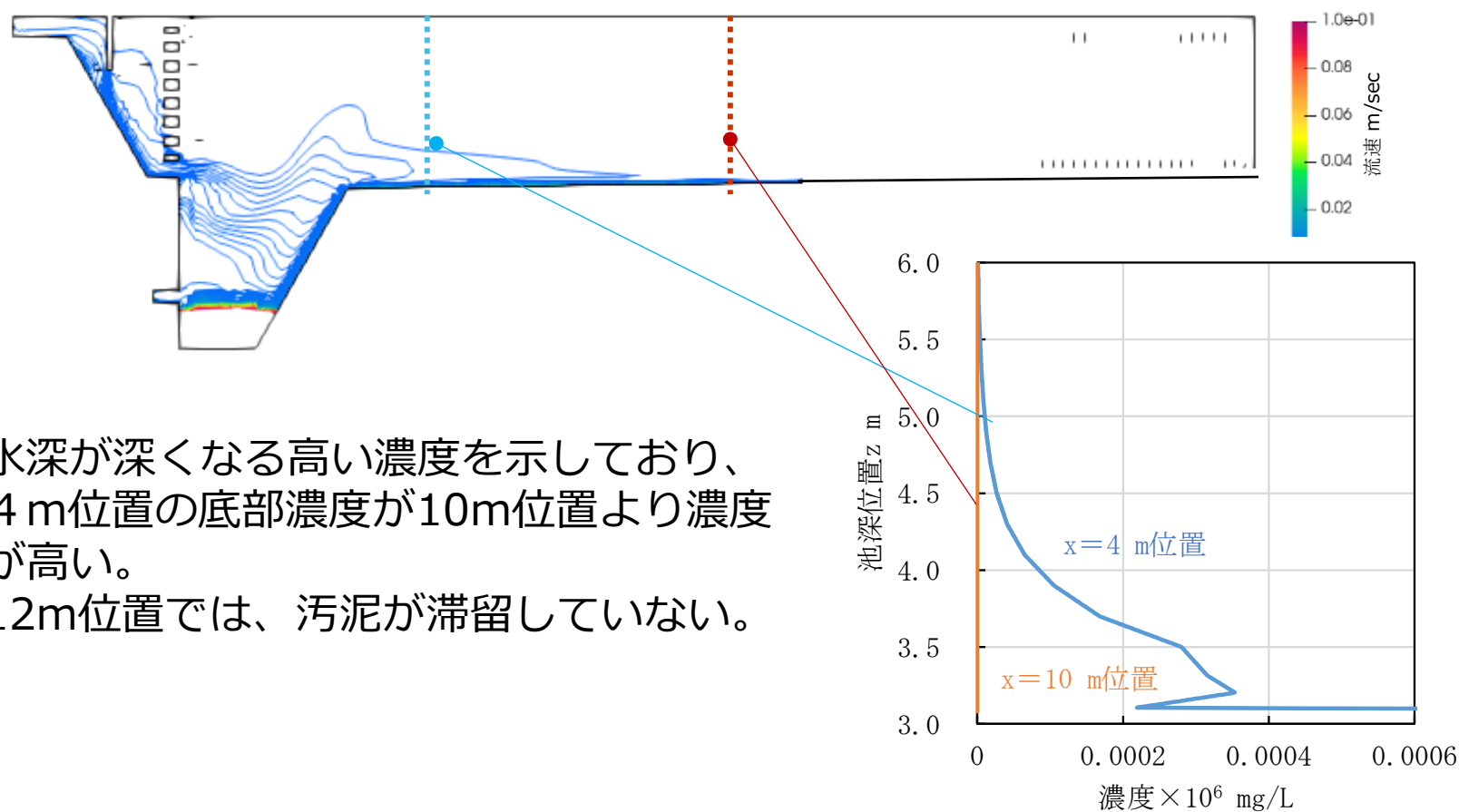


### 3. 最終沈殿池の解析結果

#### 3.2 汚泥の沈降状況の解析結果

越流堰が縦断方向

▶越流堰が縦断方向の解析結果 (t=10,800sec)を示す。



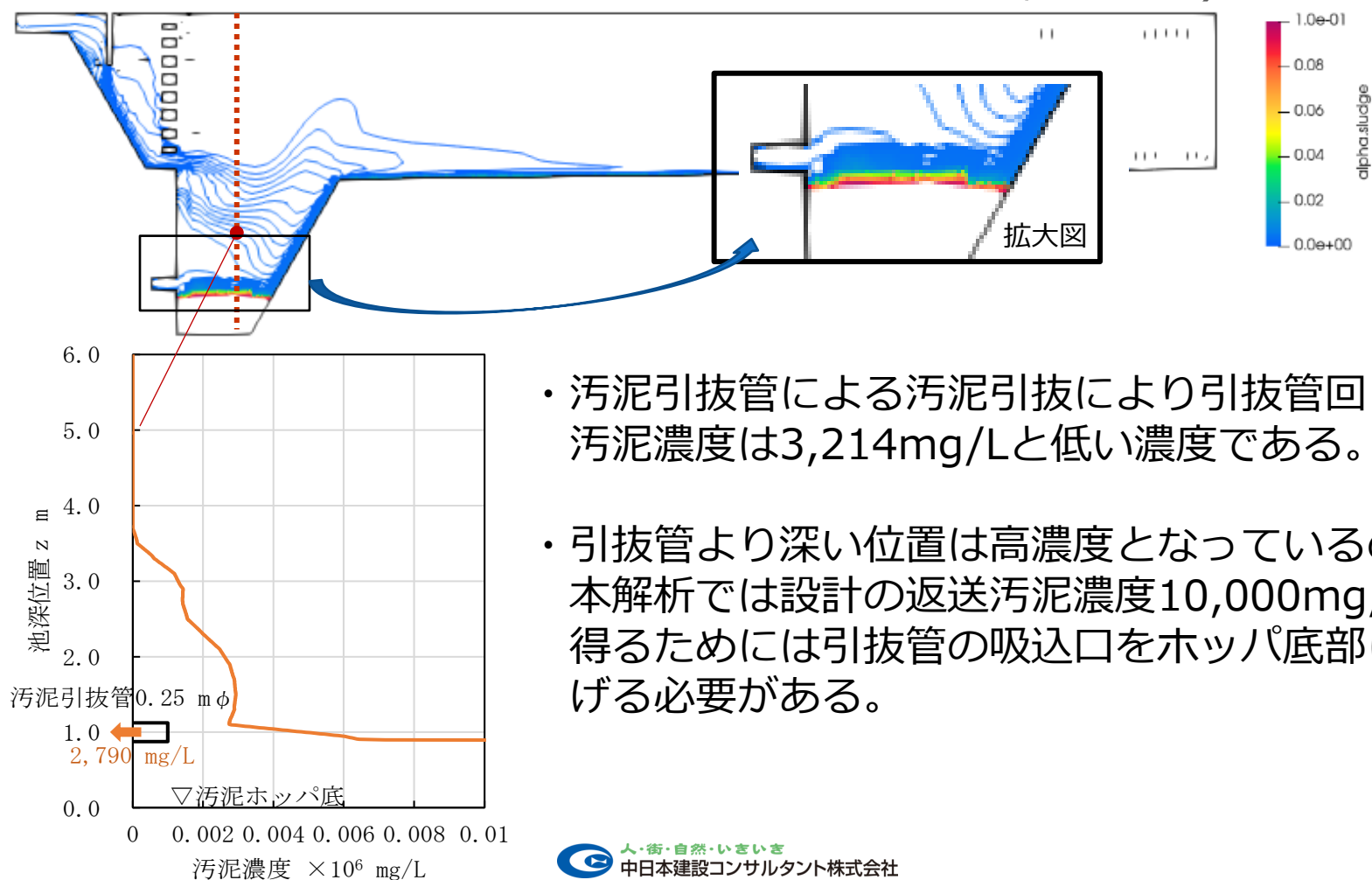
- 水深が深くなる高い濃度を示しており、4 m位置の底部濃度が10m位置より濃度が高い。
- 12m位置では、汚泥が滞留していない。

### 3. 最終沈殿池の解析結果

#### 3.2 汚泥の沈降状況の解析結果

越流堰が縦断方向

▶汚泥ホッパ底部の汚泥濃度の解析結果 (t=10,800sec)を示す。



## 3. 最終沈殿池の解析結果

### 3.3 越流水濃度の解析結果

▶ 越流水（処理水）濃度の解析結果（ $t=10,800\text{sec}$ ）を示す。

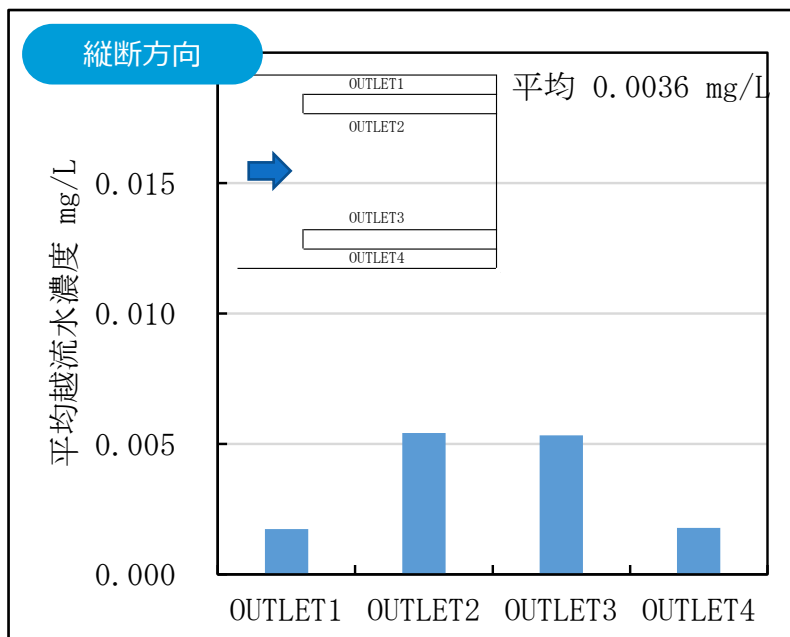


図 越流堰からの平均流出濃度(縦断方向越流堰)

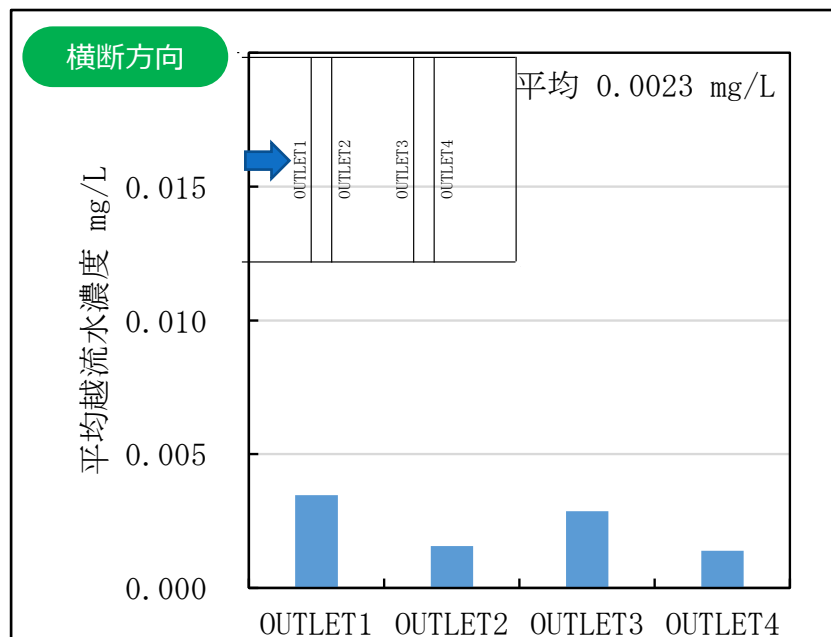


図 越流堰からの平均流出濃度(横断方向越流堰)

- 越流堰が縦断方向の場合、側壁に近いOUTLET1、OUTLET4の越流堰からの越流水濃度は低く、池中央のOUTLET2、OUTLET3からの越流水濃度は高い結果となった。

# 3. 最終沈殿池の解析結果

## 3.3 越流水濃度の解析結果

10,800sec(3.0hr)まで計算し、経過時間ごとに越流堰の平均越流水濃度を整理した。

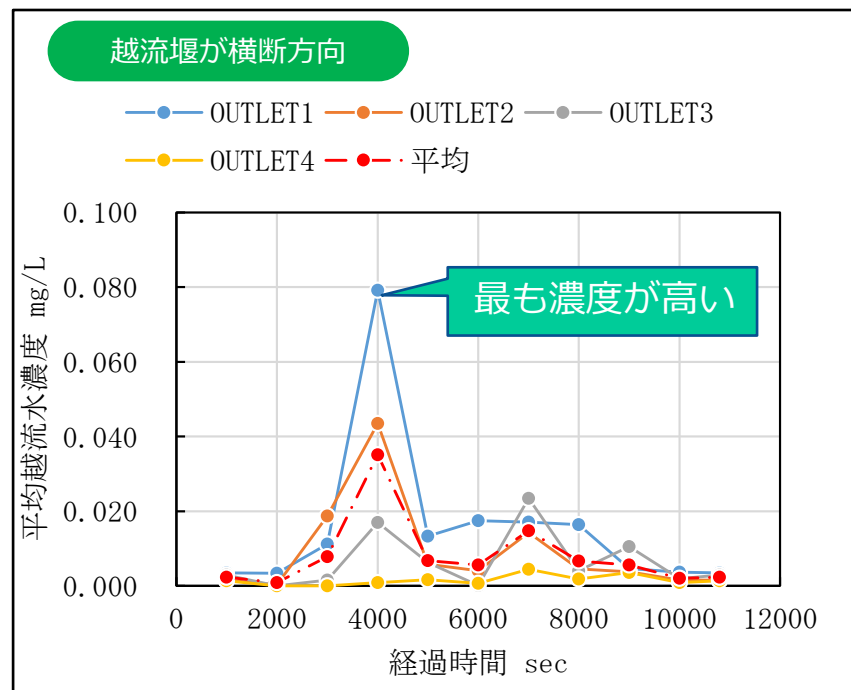
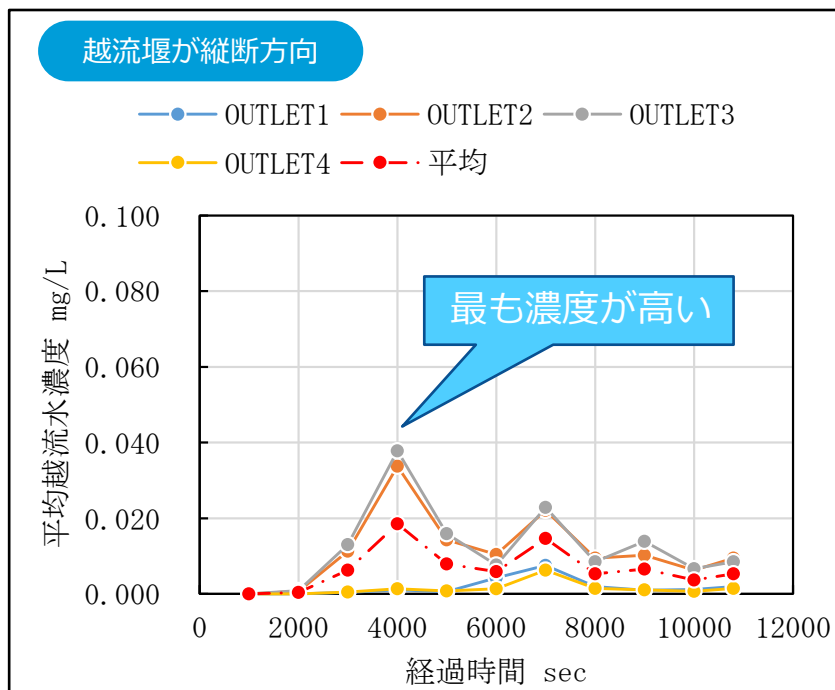


図 経過時間ごとの越流堰平均越流水濃度(縦断方向越流堰) 図 経過時間ごとの越流堰平均越流水濃度(横断方向越流堰)

- 経過時間による平均越流水濃度には一定の傾向は見られず、計算途中の4,000secが最も高濃度となり、その後低下する結果となった。

## 4. まとめ

### ▶ 背景・目的

- ▶ 越流堰の配置が異なった2例の最終沈殿池の密度流を有限体積法を使って三次元モデルで解析し、沈殿池内の水の流れと汚泥濃度分布、越流水濃度の算出を試みた。

### ▶ 最終沈殿池の3次元密度流の解析

- ▶ 沈殿池内の水の流れ：過去に報告した二次元解析でも水面付近の逆流現象は認められたが、三次元解析においても越流堰の配置如何によらず逆流現象が生じた。この逆流は実施設でも容易に観察でき、解析の妥当性を確認できた。
- ▶ 越流水濃度：縦断方向越流堰の設定滞留時間10,800secにおける越流水濃度(処理水濃度)は、横断方向越流堰の越流水濃度より、わずかなではあるが高い濃度を示した。
- ▶ 本解析手法は雨天時活性汚泥処理法（3W処理法）を導入している処理場など、水量・水質負荷が増加した際の最終沈殿池の流況変化等の検証に適用できる可能性が示唆された。