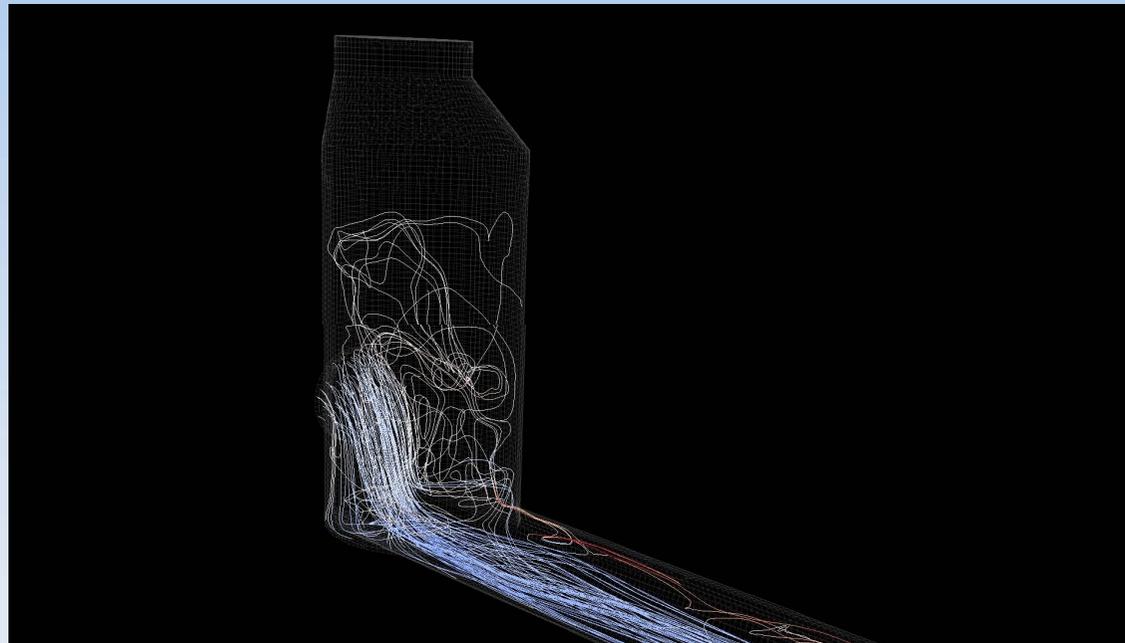


CFD(数値流体力学)を用いた 管路の中の流れの見える化とその応用



はじめに

- これまでの解析モデルの概要
- 数値流体解析の概要
- 下水管路における解析事例
- まとめ
- 参考資料

これまでの解析モデルの概要

2012.2.28

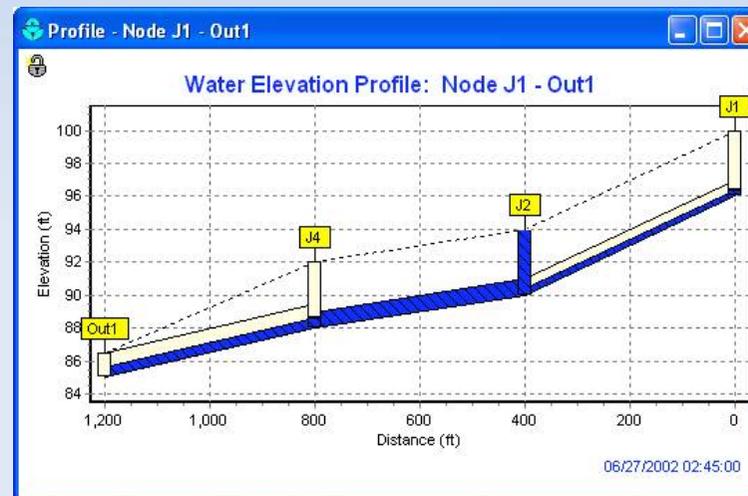


株式会社 新日本エグザ

3

1次元雨水流出解析モデル

- MOUSE、XP-SWMM、Infoworks-CSなどの下水管路内の流下状況を解析するモデル
- マンホールを接合点とし、流量、流速、動水勾配等の把握が可能
- Kinematic Waveや完全サンブナン（Saint Venant）式により、水平方向(1次元的)の水の挙動を算定



2012.2.28

出典: EPA SWMM User's Manual



株式会社 新日本エグザ

1次元雨水流出解析モデル

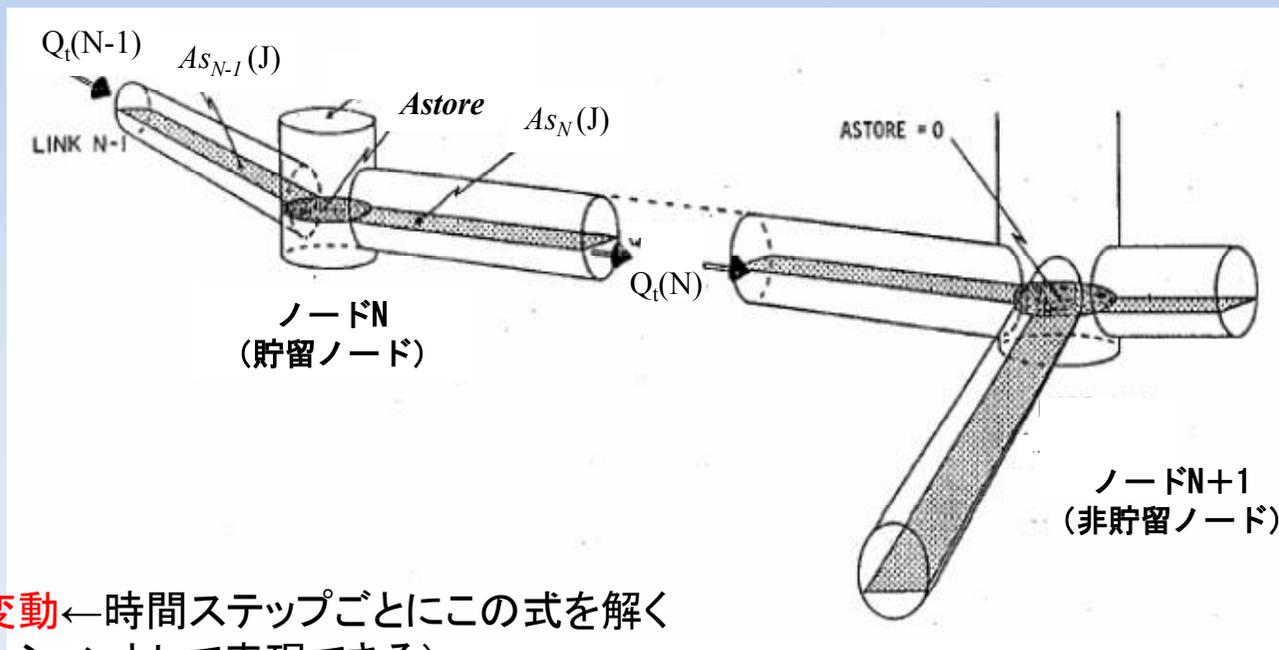
ノード N における水頭 H の変化は:

$$\frac{\partial H}{\partial t} = \frac{\Sigma Q}{Astore + \Sigma As}$$

ΣQ : (流入 - 流出) 量の総和

ΣAs : 管路水面の面積の総和

$Astore$: ノードの水面の面積



水位の変動 ← 時間ステップごとにこの式を解く
(アニメーションとして表現できる)

2012.2.28

2次元氾濫解析モデル

- 地表面氾濫などを取り扱うモデル
- 地表面をメッシュ状に分割し、湛水深等の把握が可能
- 一般的には、Kinematic Wave法を用い、平面的(2次元の)な水の移動状況を算定



2012.2.28

出典:大阪市防災マップ

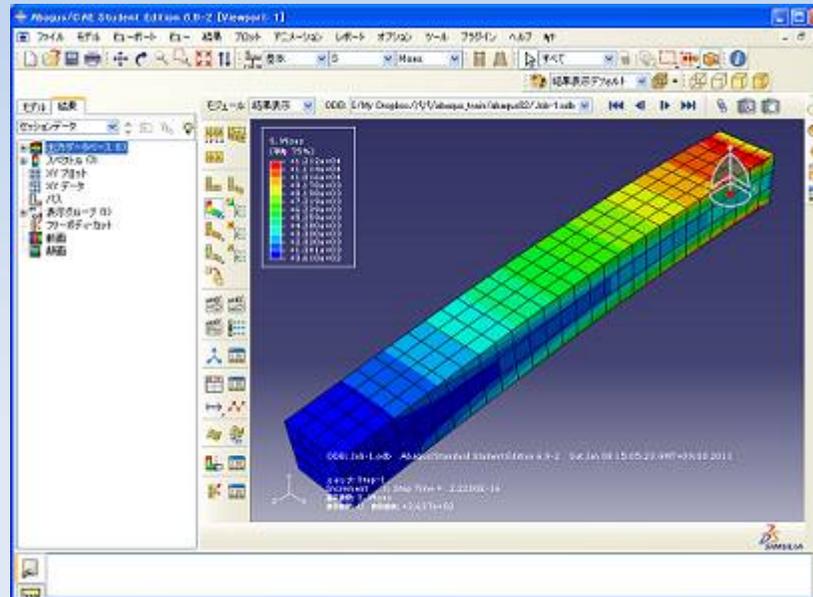


株式会社

新日本エグザ

構造解析モデル

- 有限要素法(Finite Element Method)により、構造物の応力に対する変位量等を算定するモデル。
- 構造物を微細なメッシュ形状に分割し、各メッシュ成分における応力値を算定。



2012.2.28

出典: <http://jikosoft.com/>



株式会社 新日本エグザ

数値流体解析の概要

2012.2.28



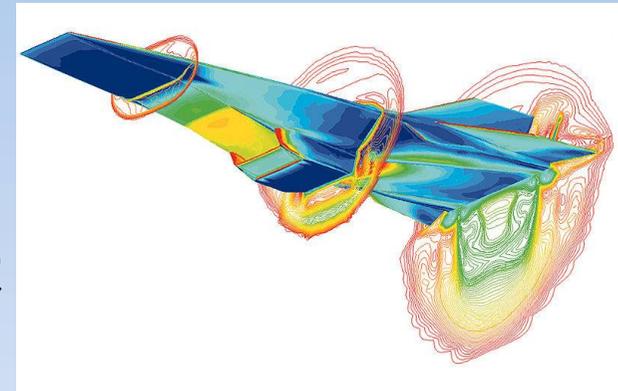
株式会社

新日本エグザ

8

数値流体解析とは

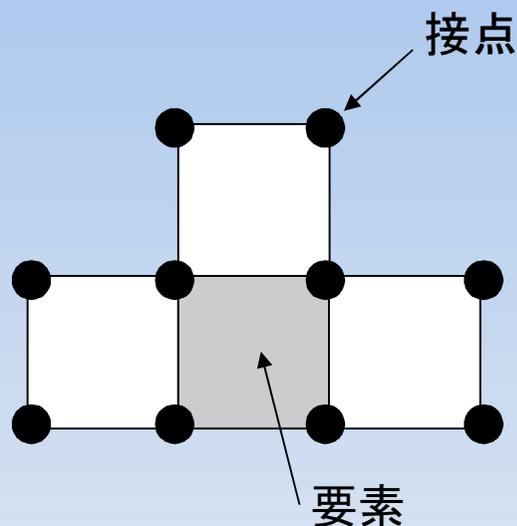
- 流体の運動に関する方程式をコンピュータで解く、数値流体力学 (Computational Fluid Dynamics) を応用し、流れを観察する数値解析・シミュレーション手法のこと
- Navier – Stokes 式を用い、有限体積法(Finite Volume Method)により空間的(2もしくは3次元)に流体の状況を算定
- 自動車レースのF1における車体の開発や、航空機の翼形状の設計等で使用。



NASAの極超音速実験機X-43Aまわりの可視化結果

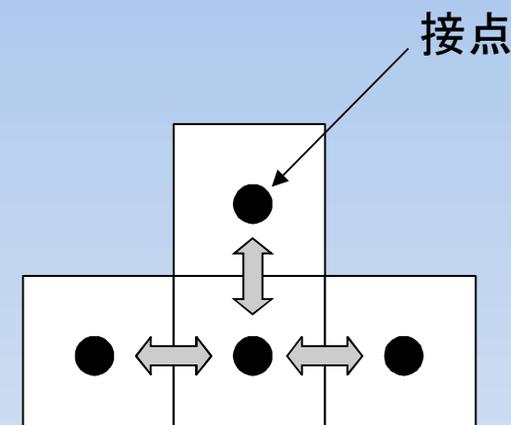
有限要素法と有限体積法の相違

FEM(有限要素法)の概要



- 要素内のすべての点における物質量およびその分布を計算
- 非構造格子への適応が容易
- 収束性が悪く、計算負荷が高い

FVM(有限体積法)の概要

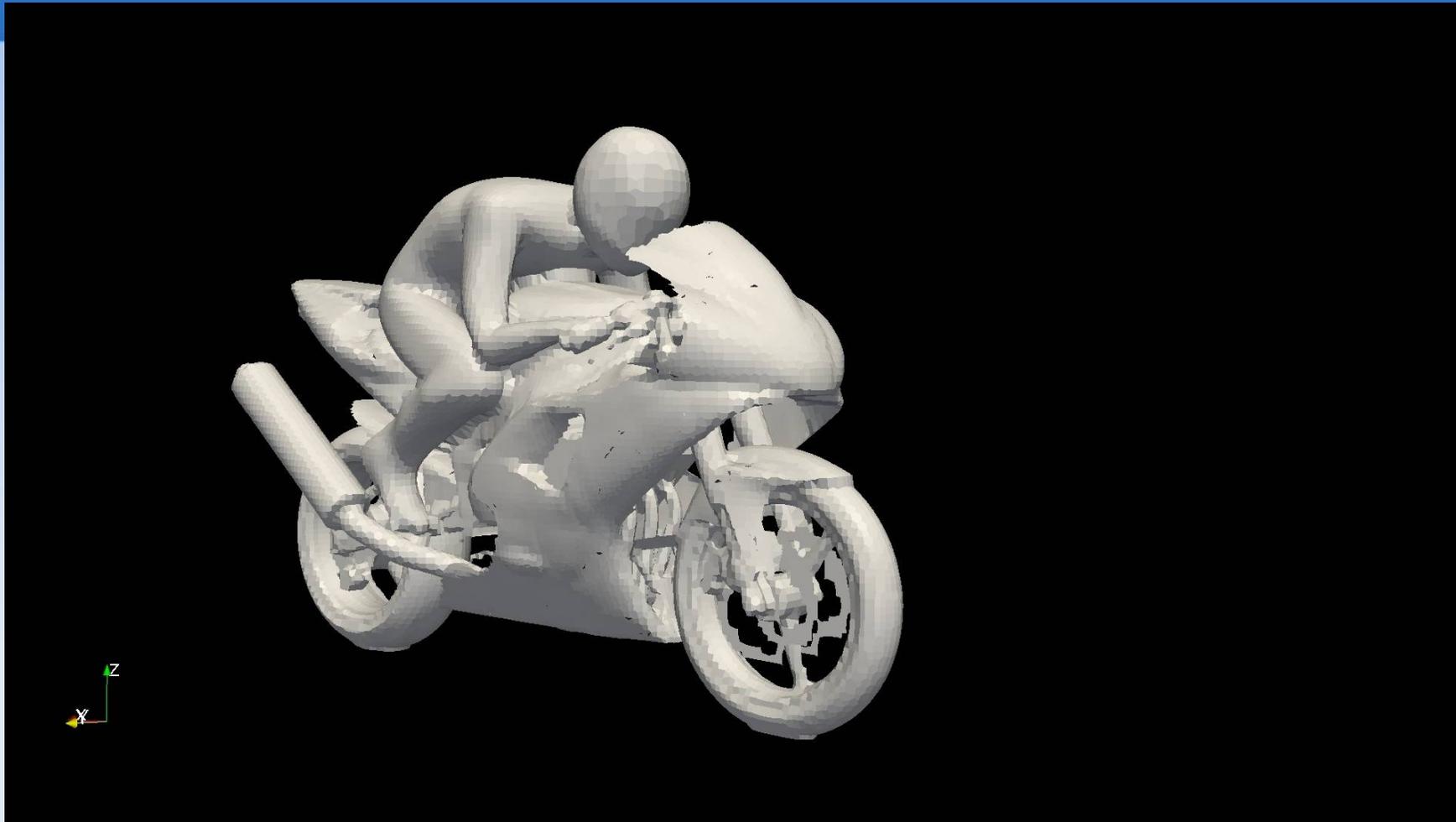


- 隣り合う格子あるいは面に出入りする物質量の収支を計算
- 非構造格子への適応が困難
- 収束性が高く、計算負荷が低い

数値流体解析の手順

- モデルデータの作成
 - 検討対象とする施設の構造を再現した2Dもしくは3Dのモデルを作成する。
- 格子生成
 - 検討対象範囲を、計算最小単位となる格子に分割を行う。
- 解析
 - コンピュータを用いて、各格子における流れの方程式を解く。
- 後処理
 - 解析結果により得られる諸値(流速、圧力等)をコンター表示やベクトル表示などの画像として出力する。

モデルデータの作成例



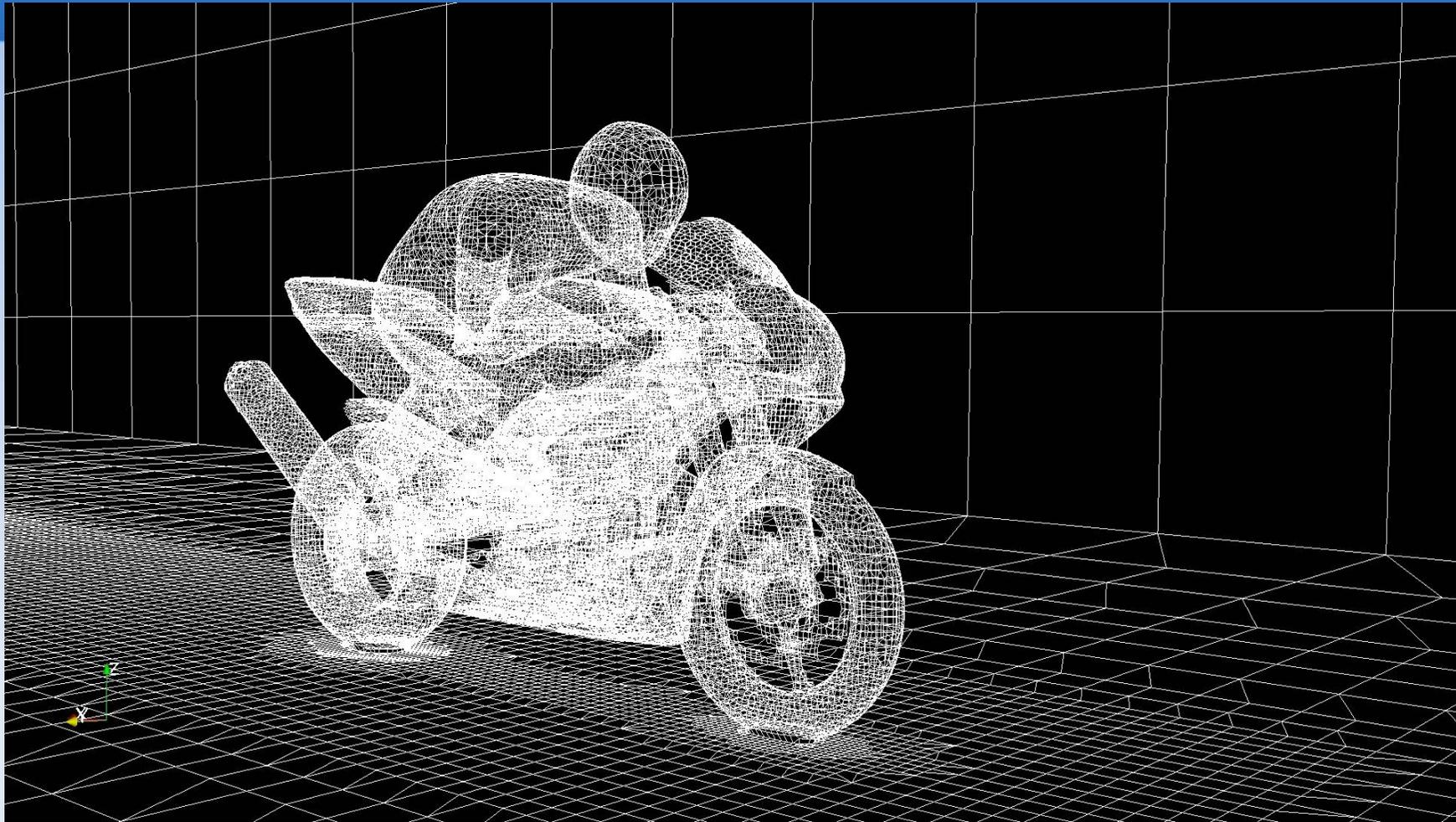
2012.2.28

12



株式会社 新日本エグザ

格子作成例



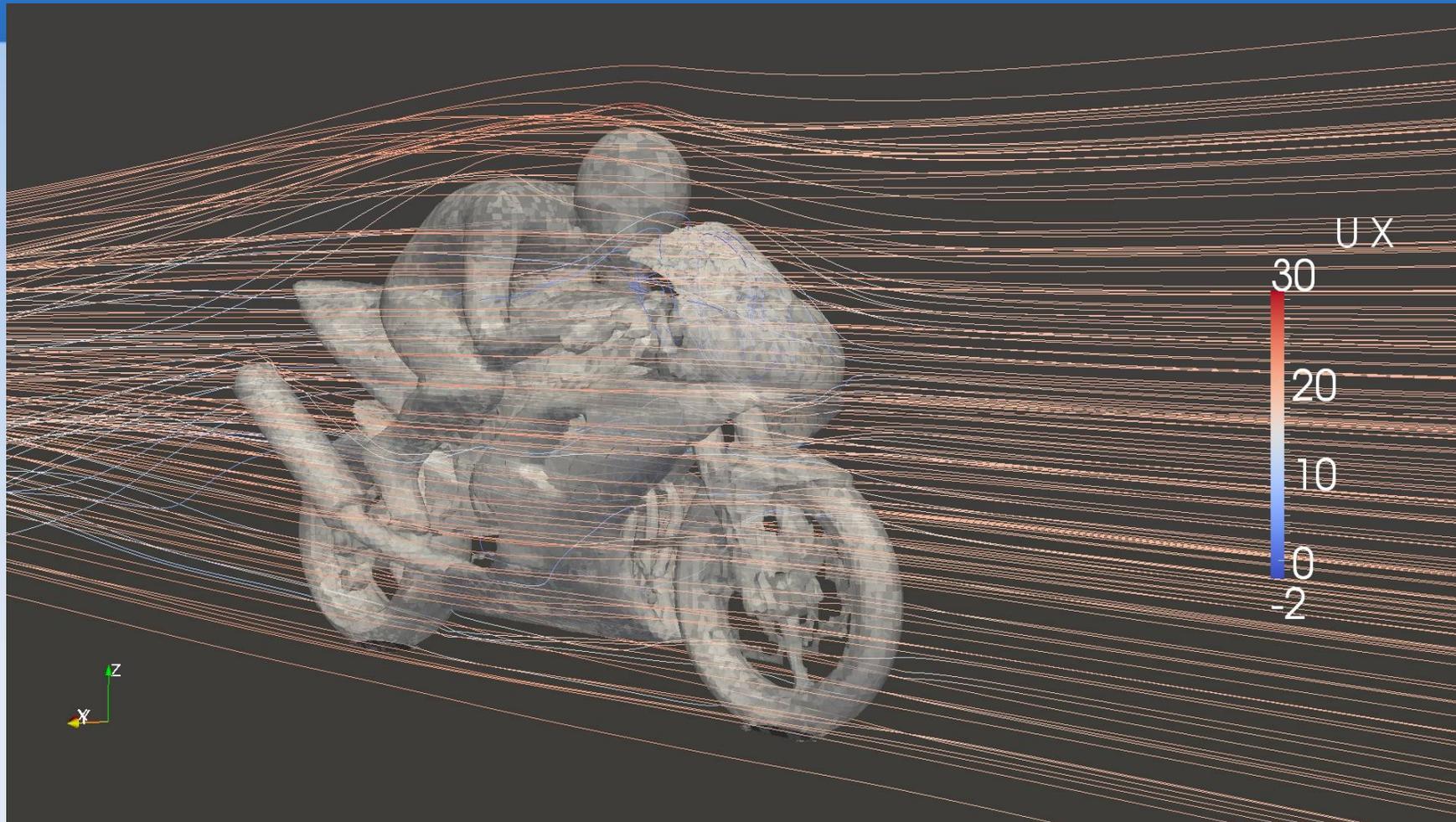
2012.2.28

13



株式会社 新日本エグザ

後処理表示例



2012.2.28

14



下水管路における解析事例

2012.2.28



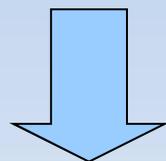
株式会社

新日本エグザ

15

解析の経緯

- ポンプ圧送後の管渠内における流況解析
 - 圧送管の下流取付管において、負圧の発生により、宅内トラップ升の封水吸い込みが発生。
 - これに起因した臭気発生により、住民から苦情あり。



CFDを用いた解析により、その原因とメカニズムを検証

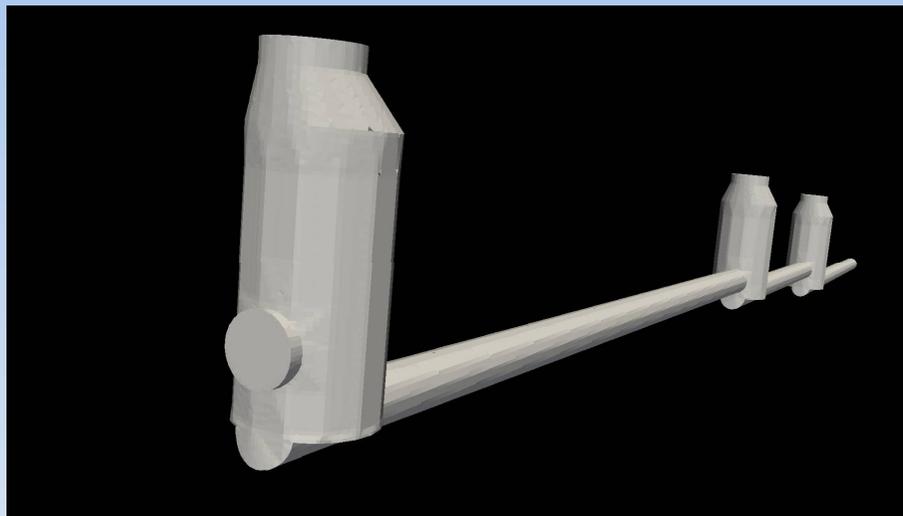
境界条件の設定

- 流入条件
 - 管径：Φ450mm
 - ポンプ出力：0.135m³/s
- 路線の諸元
 - 管径：Φ400mm
 - 管種：遠心力鉄筋コンクリート(HP)管
 - 人孔：1号マンホール
 - 延長：約30m

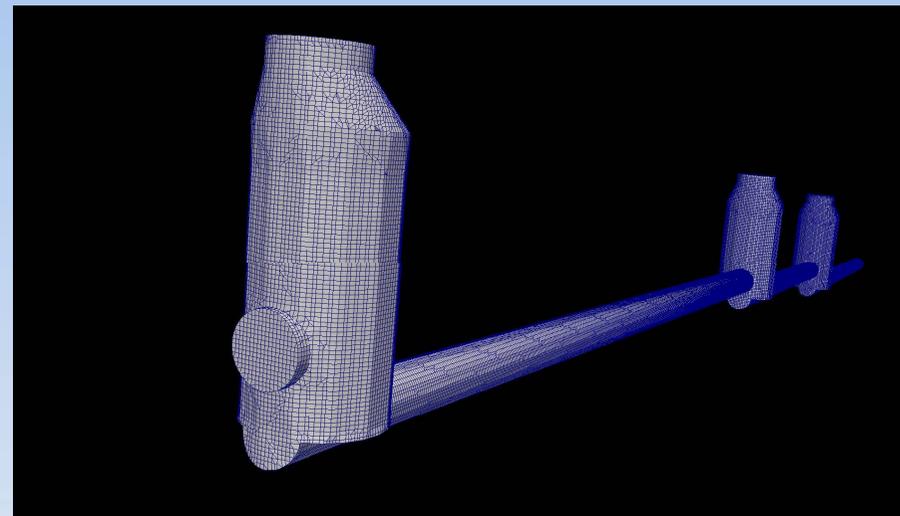
解析モデルの構築

- 解析手法
 - VOF(**V**olume **O**f **F**luid)法を用いた、気液2層の混層流モデルを採用。
 - 乱流モデルはLaminar Flow（層流）モデルを採用
- メッシュ生成状況
 - 1辺、約5cmの矩形を基準とした平面により分割されたメッシュを生成。
 - 総接点数：約250,000
 - 総エレメント数：約430,000

モデルデータ及びメッシュ生成状況



モデルデータ作成状況



メッシュ生成状況

2012.2.28

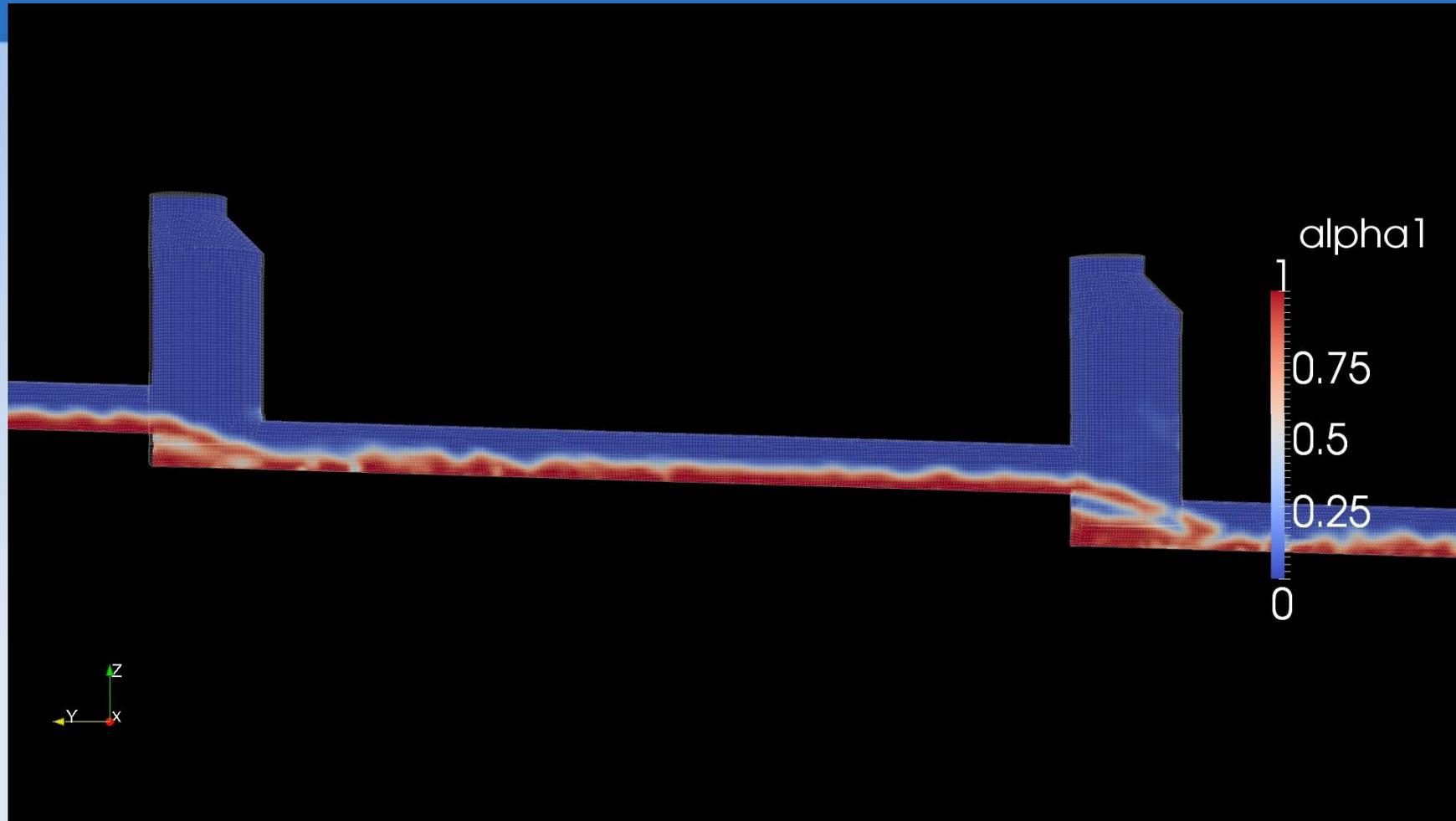


株式会社

新日本エグザ

19

解析結果(相比率の分布)



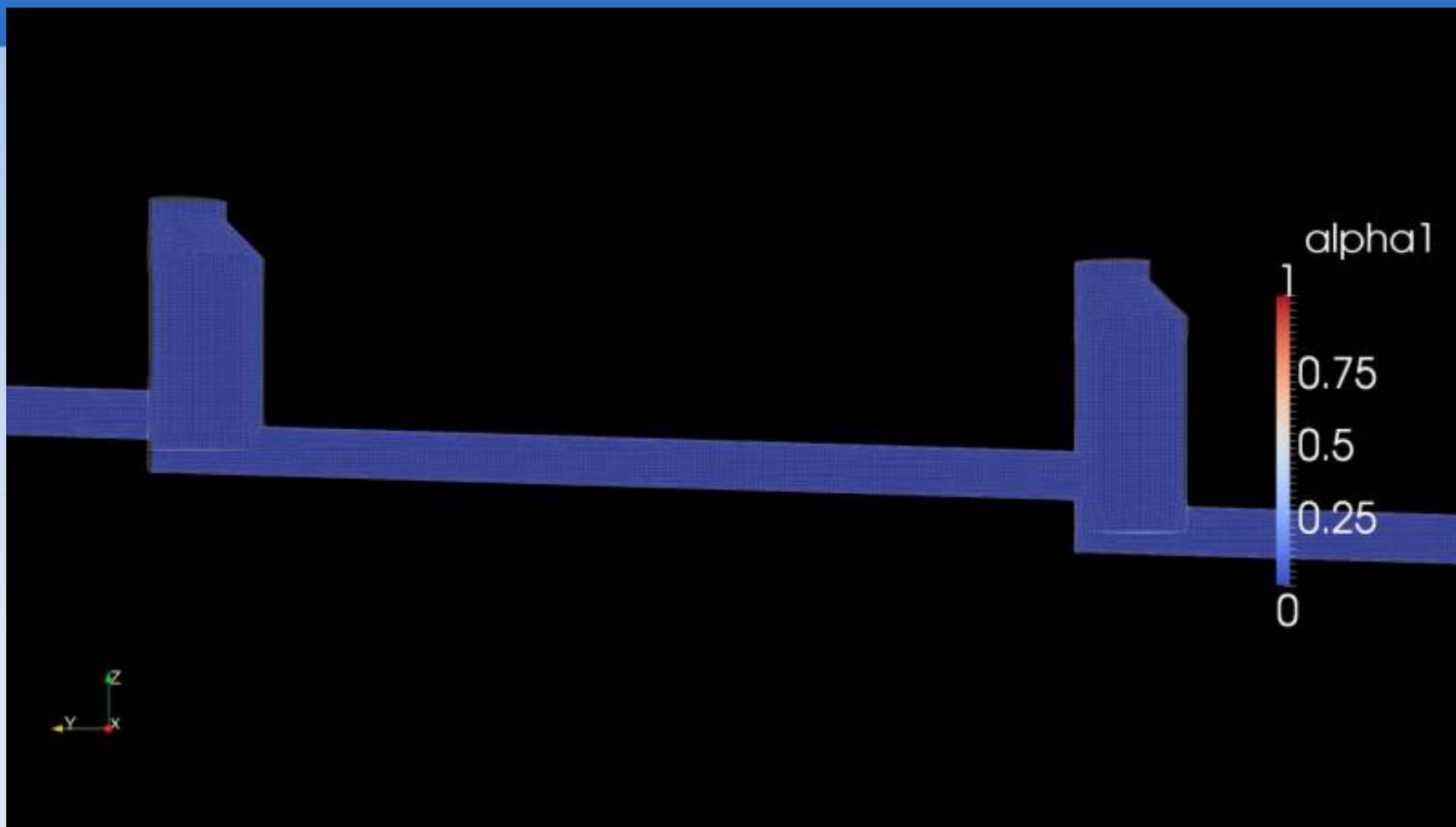
2012.2.28

20



株式会社 新日本エグザ

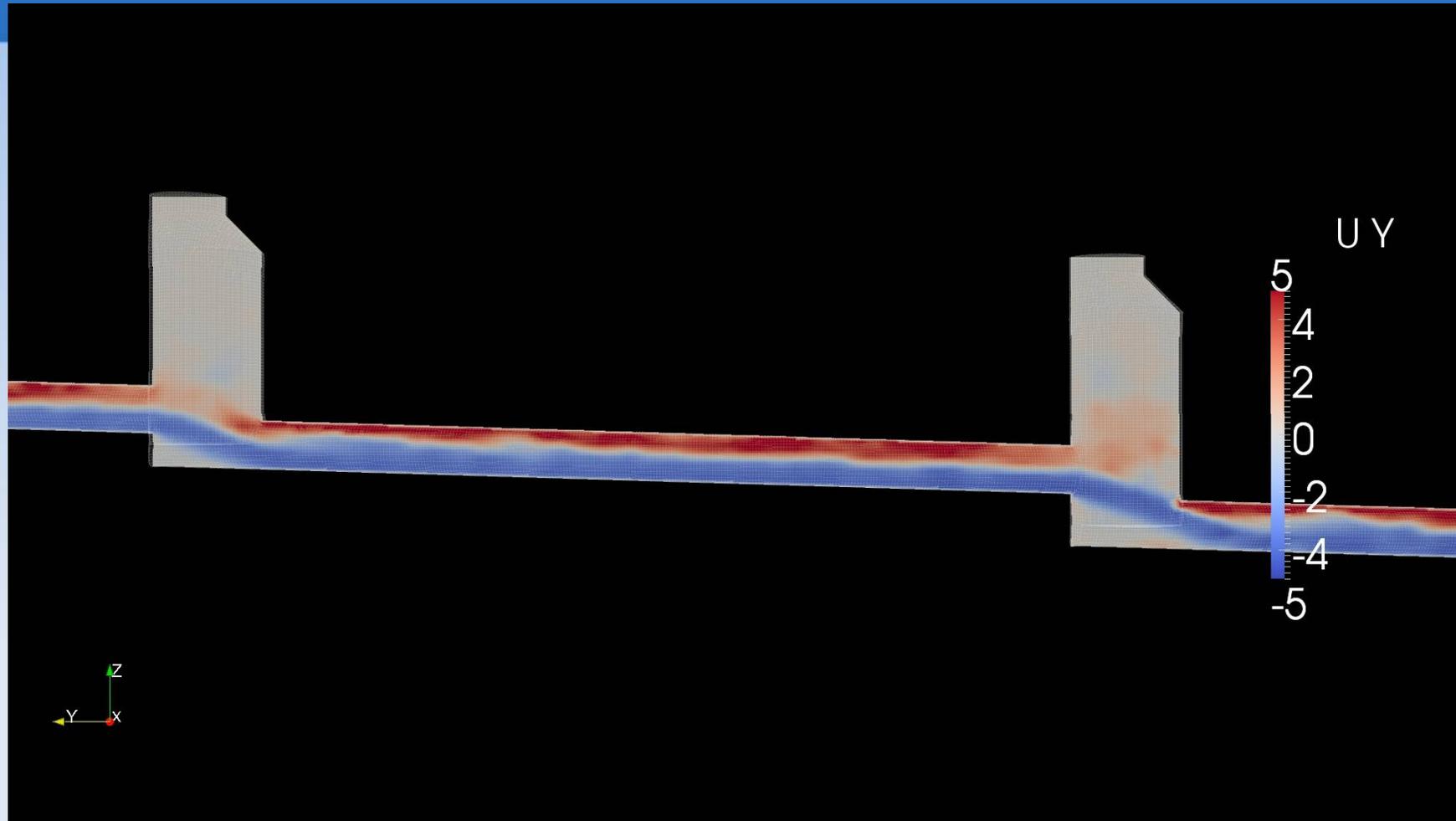
解析結果(相比率の分布)



2012.2.28

21

解析結果(流速分布)

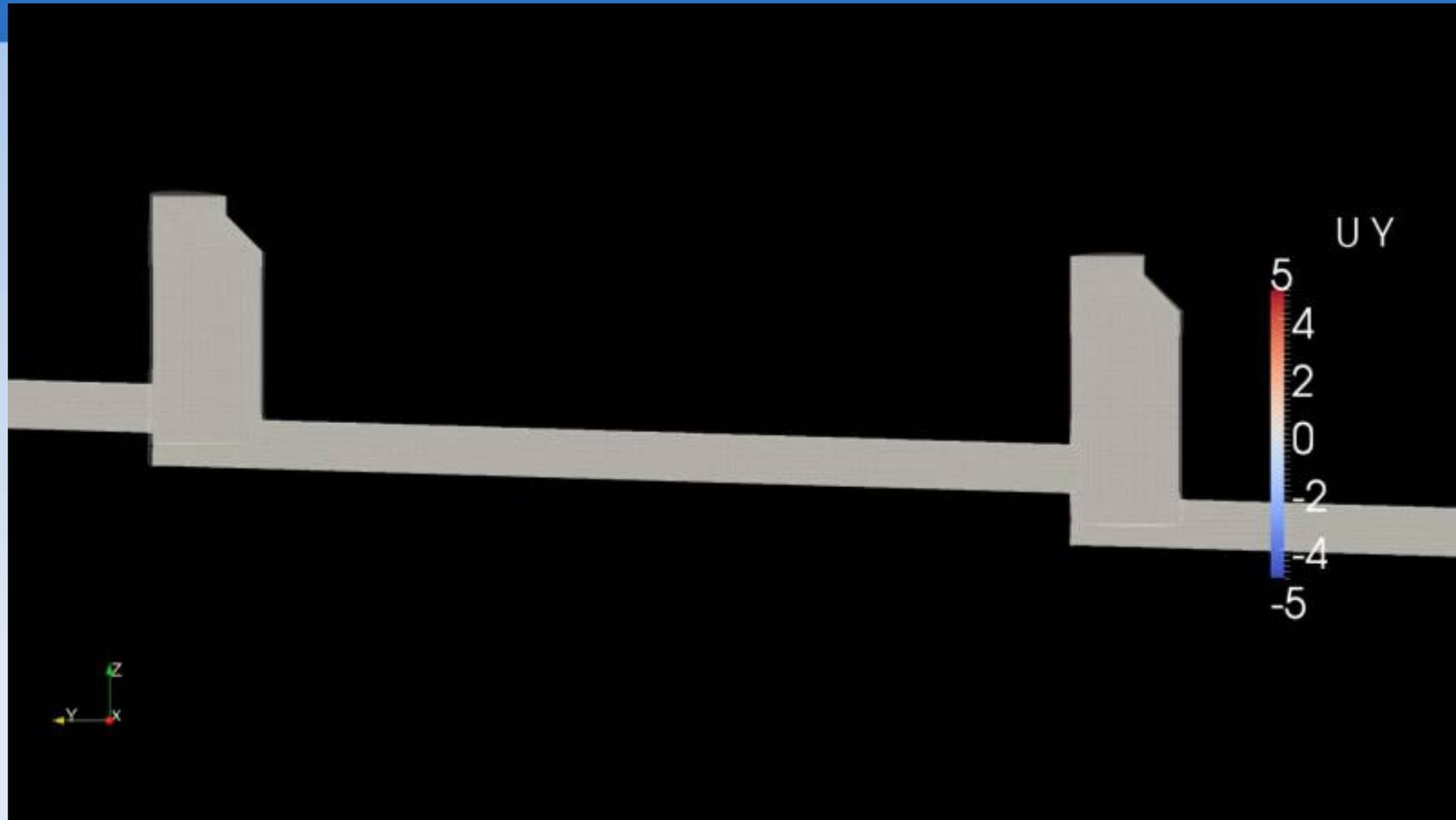


2012.2.28

22



解析結果(流速分布)

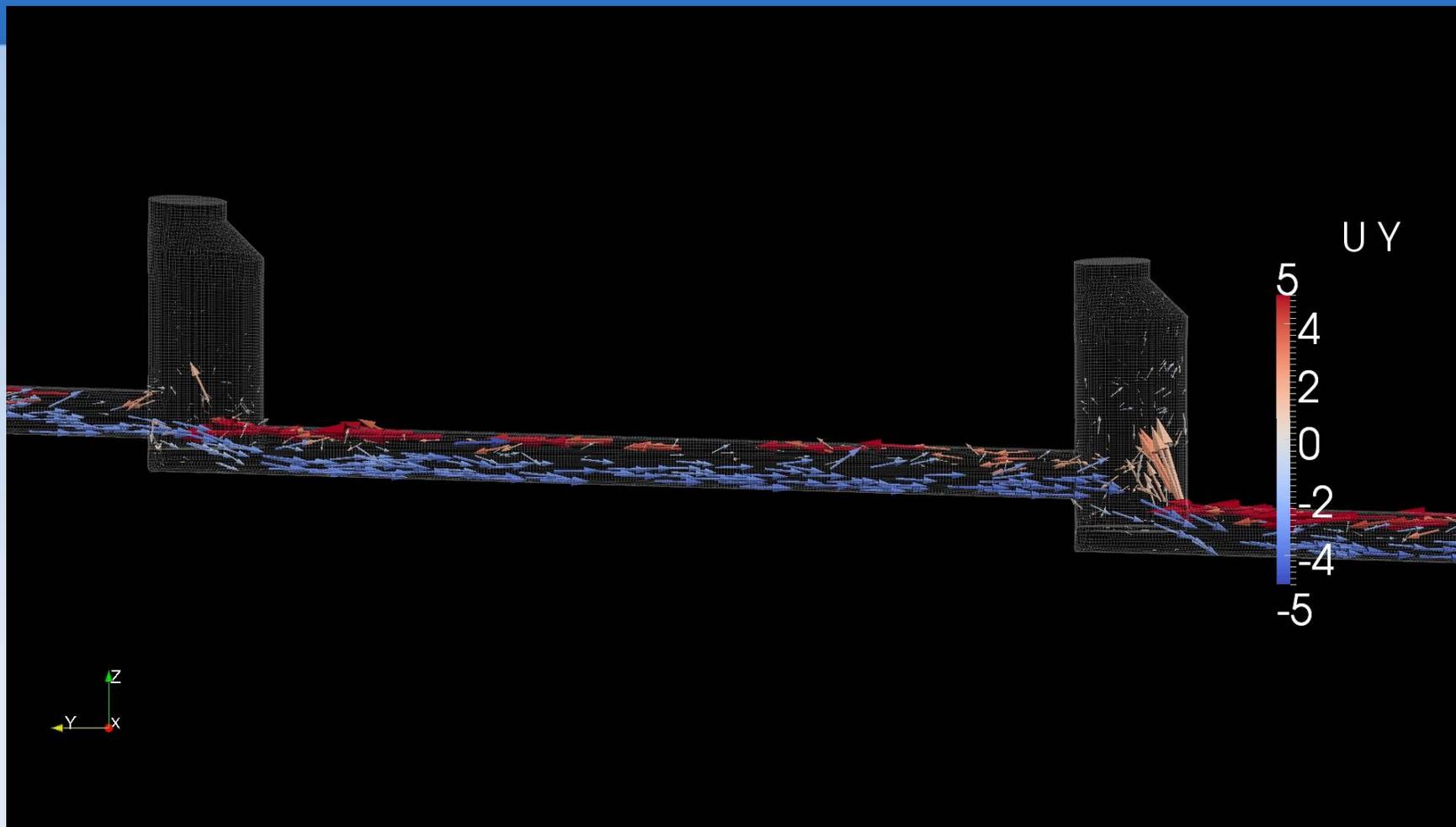


2012.2.28

23



解析結果(ベクトル分布)

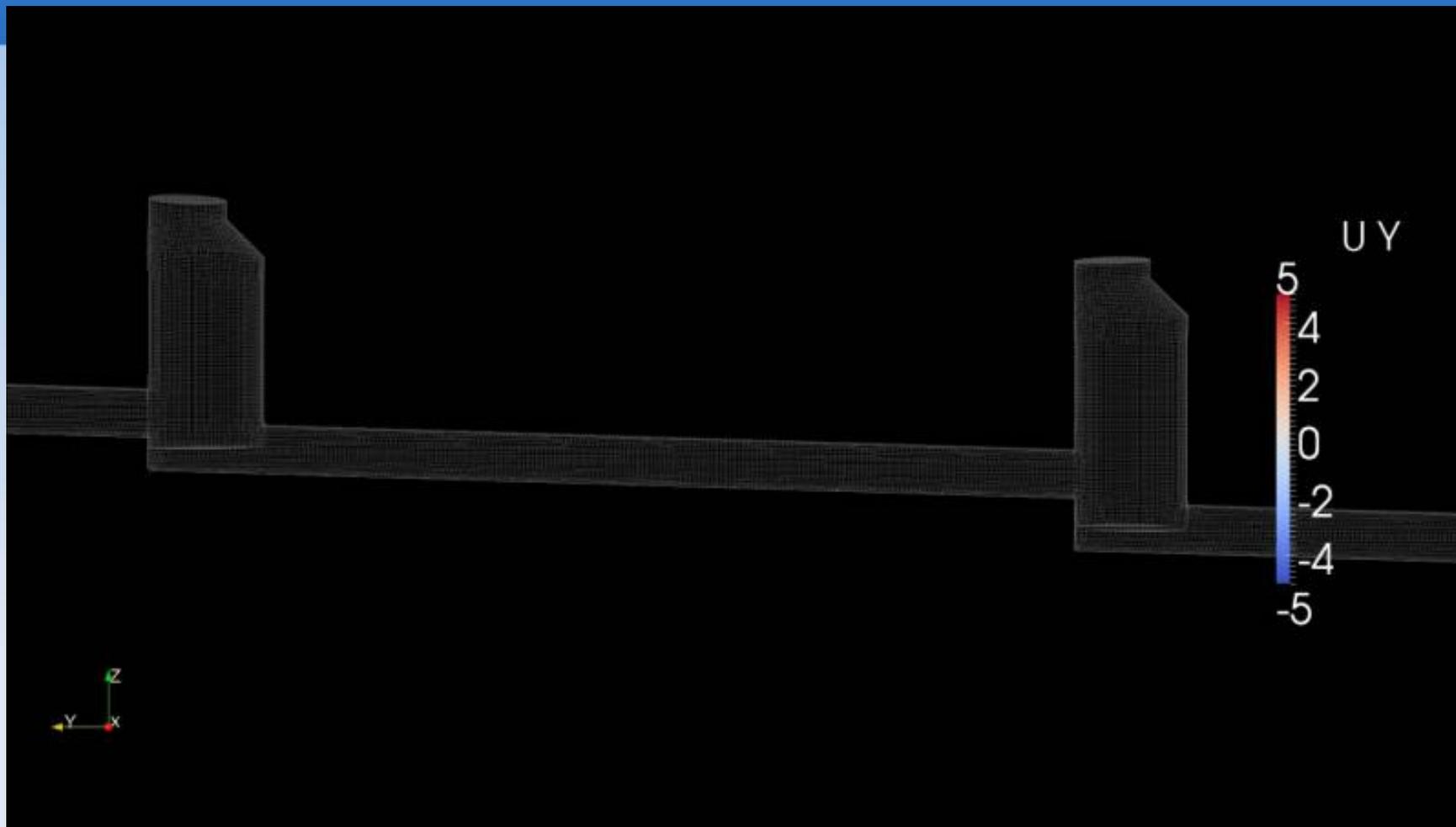


2012.2.28

24



解析結果(ベクトル分布)



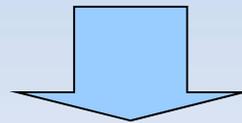
2012.2.28

25



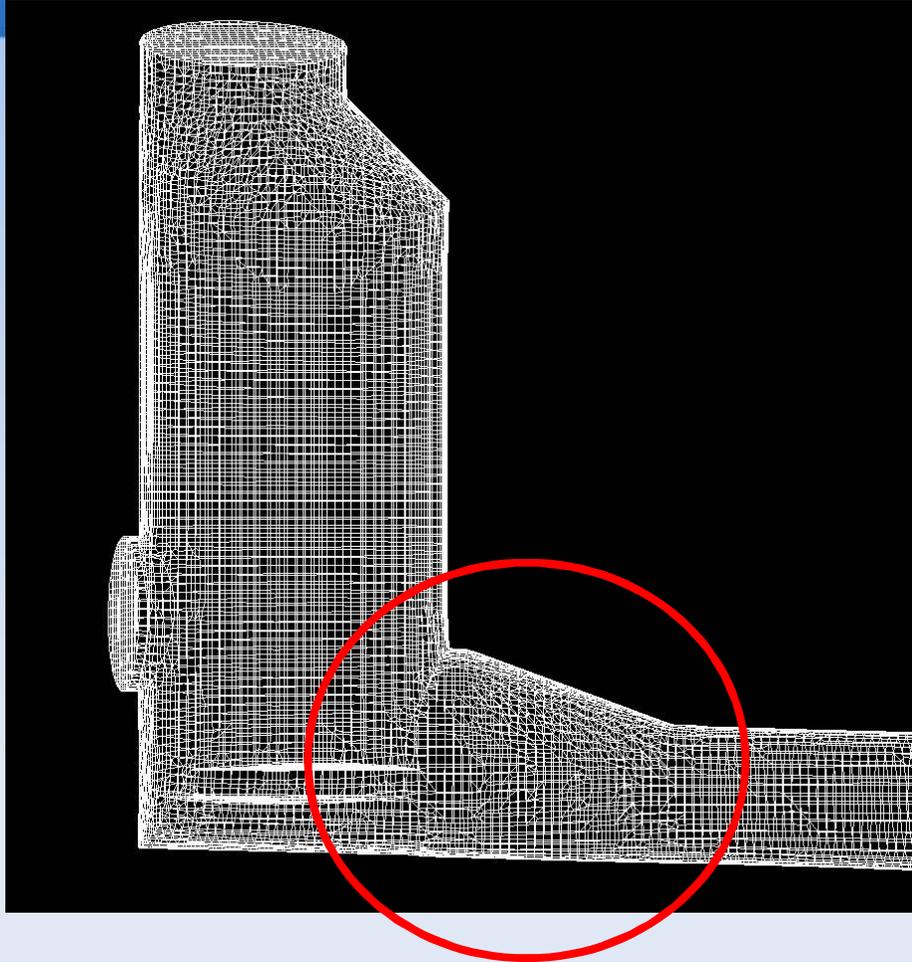
結果の考察

- これまでの1D解析では不可能であった、マンホール内の跳水による管渠の閉塞を確認することができた。
- また、跳水によるMH内空気の連行によって発生する管渠内の負圧の状況についても、確認することができた。



- 対策施設をモデル化することにより、その効果についても検証が可能と考えられる。

対策施設の検討例



- 跳水による流出部の閉塞軽減を目的とし、MH流出部にコーンを設置
 - 流入部 : $\phi 600$
 - 延長 : 600mm

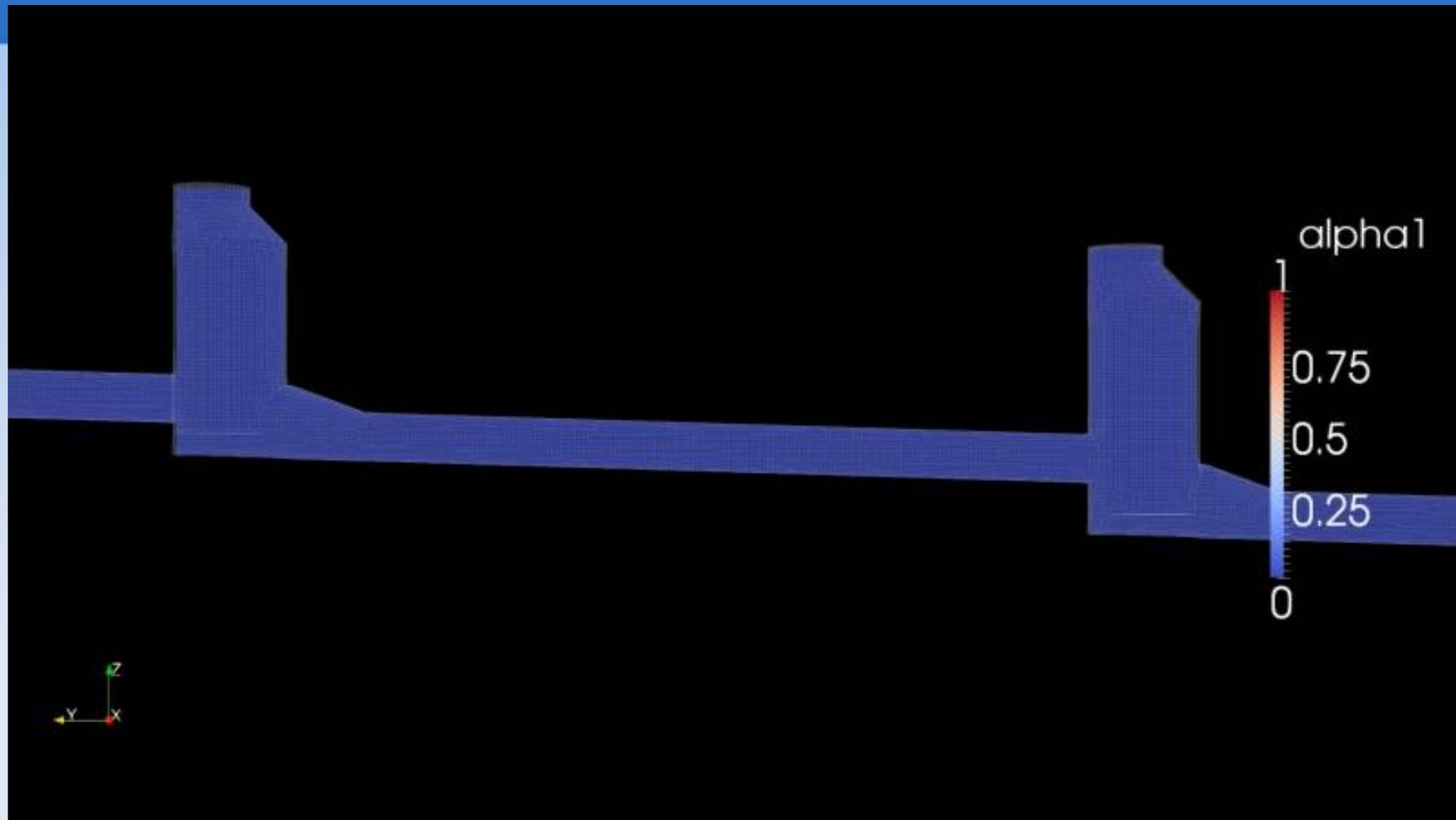
2012.2.28

27



株式会社 新日本エグザ

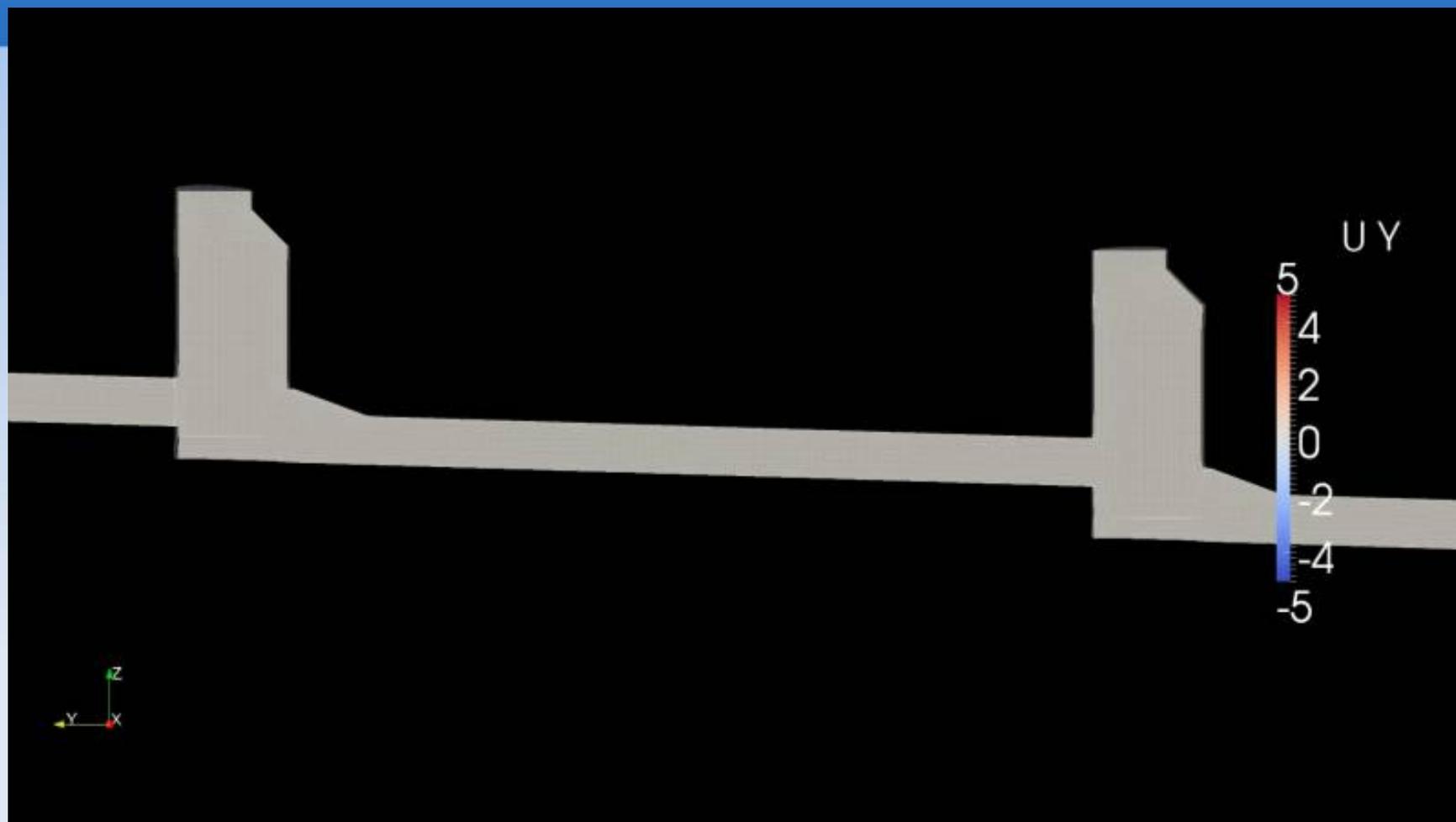
対策施設の検討結果(相比率)



2012.2.28

28

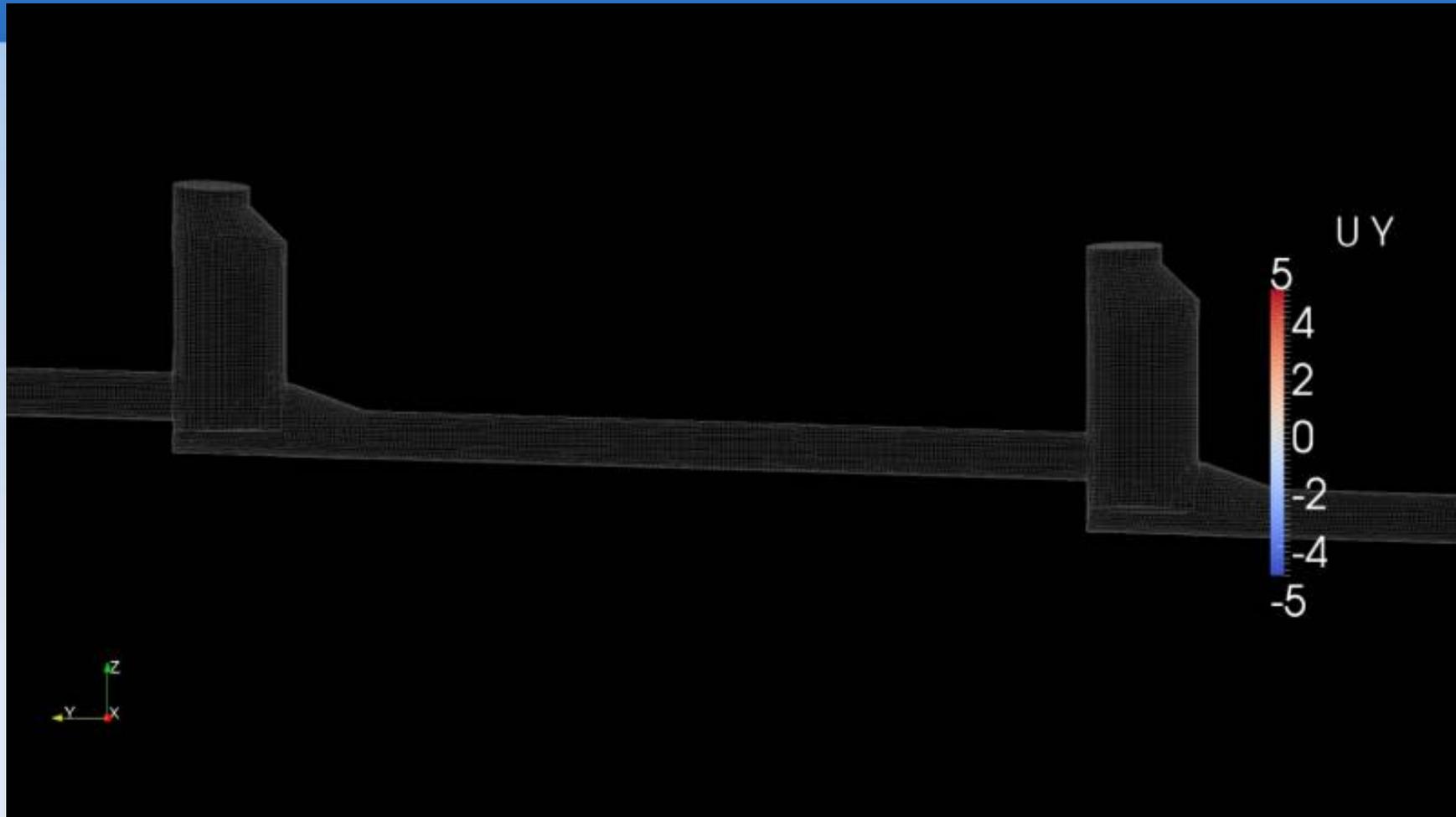
対策施設の検討結果(流速)



2012.2.28

29

対策施設の検討結果(ベクトル)



2012.2.28

30

まとめ

- 既存の手法では評価・検討が困難であった事例についても、対応が可能となる。
- これまで、モデル実験等が必要とされていた施設検討について、実験ケース数の削減を図ることが可能となる。
- 下水道施設に対する適応事例が極めて少ないため、実証試験等による妥当性の検証が望まれる。

参考資料

2012.2.28



株式会社

新日本エグザ

32

使用ソフト等の一覧

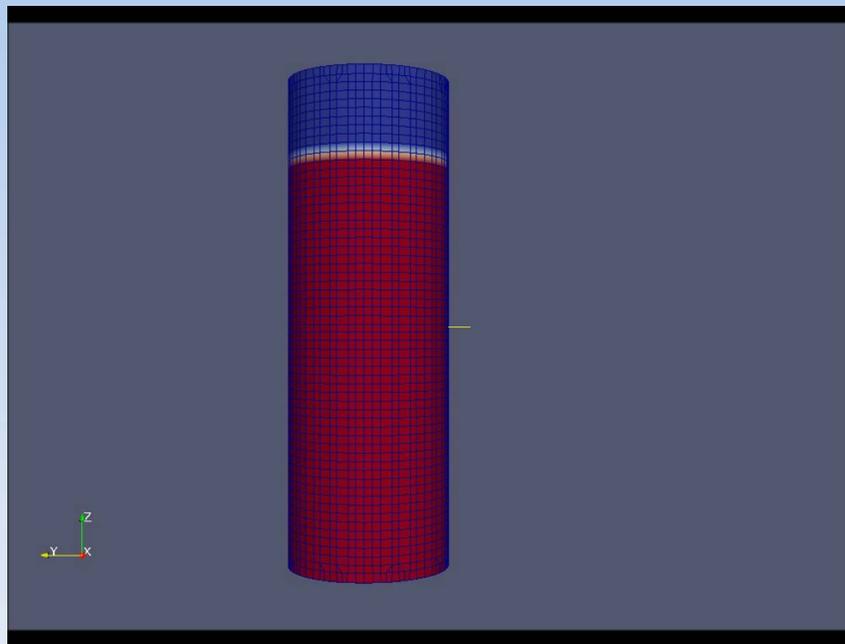
- 使用ソフト

- OS :Ubuntu 10.4(Linux)
- メッシャー :SALOME 6.3.0
- ソルバー :OpenFOAM 2.1.0
- ポスト :ParaView

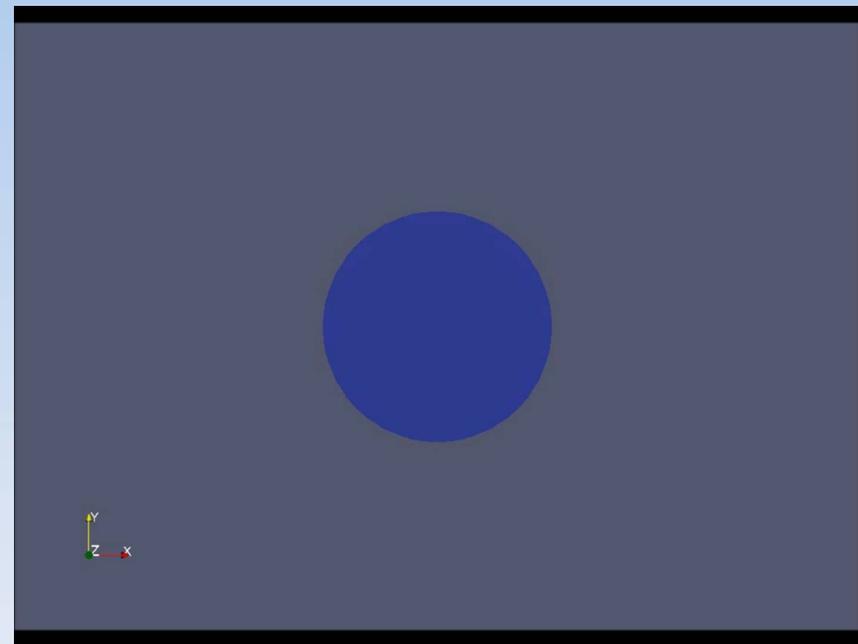
- 使用機材

- CPU :Intel Core i7-2600 3.4GHz
- RAM :DDR3 16GB

その他解析事例



地震時のタンク内液体の挙動



地震時のタンク内圧力の分布

ご清聴ありがとうございました。

問い合わせ先

株式会社 新日本エグザ
谷口 文武

E-mail : f-taniguchi@shinnihon-exa.co.jp

Tel : 03-5827-1216