

# 陸上構造物に作用する津波波圧評価 に対するDualSPHysicsの適用性の検討

(株) ハイドロ総合技術研究所

(元関西大学大学院 理工学研究科)

関西大学 環境都市工学部

三井共同建設コンサルタント株式会社

(元関西大学 環境都市工学部)

○山本剛士

安田誠宏

富田達也

1. 研究背景
2. 再現対象の水理模型実験の概要
3. 各数値モデルの概要と解析条件
4. 数値シミュレーション結果
  - 水位変動（時間の関係上，省略）
  - 波圧の時系列，鉛直方向の最大波圧分布
5. 波圧評価への適用性の検討
6. 結論

## □ 津波波圧評価式

$$p = 3\rho g\eta_{\max}$$

朝倉式 (2000)

$$p = 2.2\rho g\eta_{\max}$$

谷本式 (2013)

これらは限られた水理条件への適用性を検討するものであるため、現地条件に対して適用できないケースが多々ある。

➤ 数値モデルの適用が望ましい。

## □ 数値解析モデル

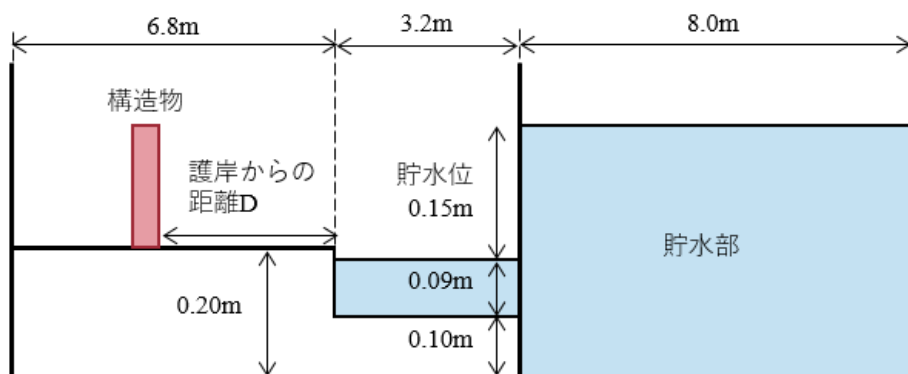
- DualSPHysics (SPH法), OpenFOAM (VOF法) など
- 個々の数値モデルにて実現象への適用性は検討されている。
- 各数値モデルの特徴・適用限界などを明らかにする必要がある。

□ DualSPHysics v5 では流体粒子と境界粒子を分類する手法としてDBCとmDBCが実装されているが、mDBCの適用性は十分示されているとはいえない。

## 研究目的

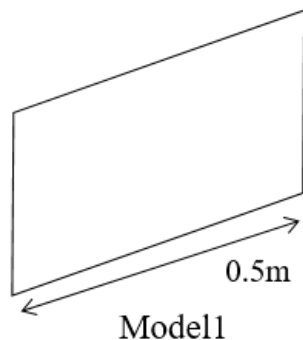
- ① DualSPHysicsを用いて構造物に作用する津波波圧の数値解析を行い、実験結果・OpenFOAMによる解析結果との比較を行う。
- ② 計算コスト・計算精度より津波波圧評価への適用性を検討する。

- 陸上構造物に作用する津波波圧実験 (有光ら, 2012)
- 実験データは「津波防災研究ポータルサイト」より取得.

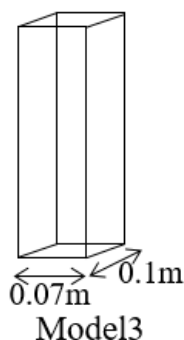


## 実験条件

- ゲートを急開して段波状津波を発生させる.
- 陸上部を遡上して構造物に作用する津波波圧を測定.
- サンプリング周波数：500Hz

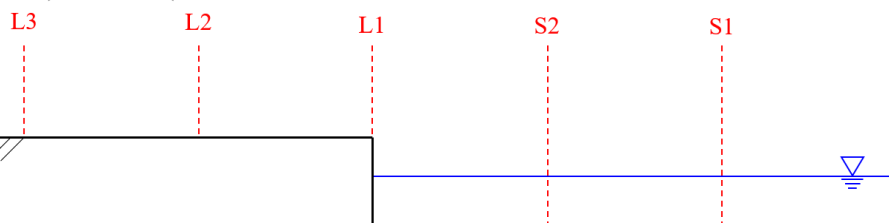


Model1



Model3

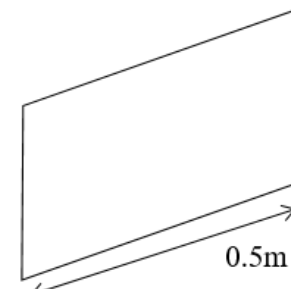
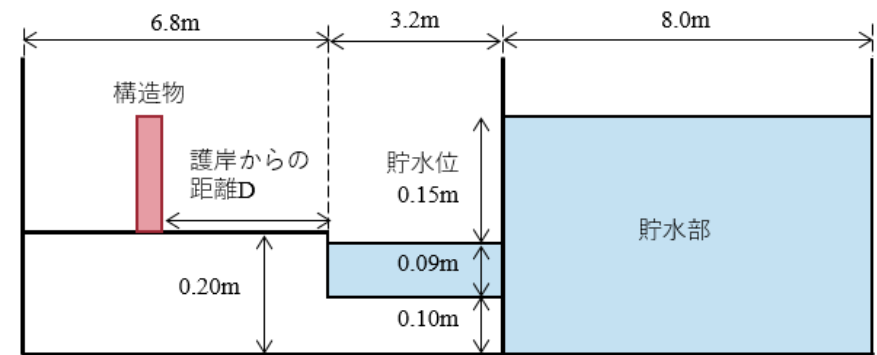
構造物設置位置



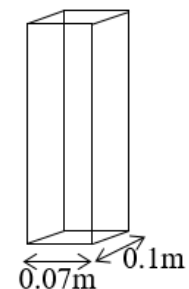
## 公開データ

- 構造物模型は2種類を対象
- 護岸からの距離を1mと2mの2箇所を実施.
- 貯水位は0.15m

- 造波方法：ダムブレイク流
  - ゲート急開はモデル化しない。
- 構造物模型：Model1, Model3
  - Model1 → 断面2次元計算
  - Model3 → 3次元計算
- 解析条件



Model1



Model3

の3通りの数値シミュレーションを実施

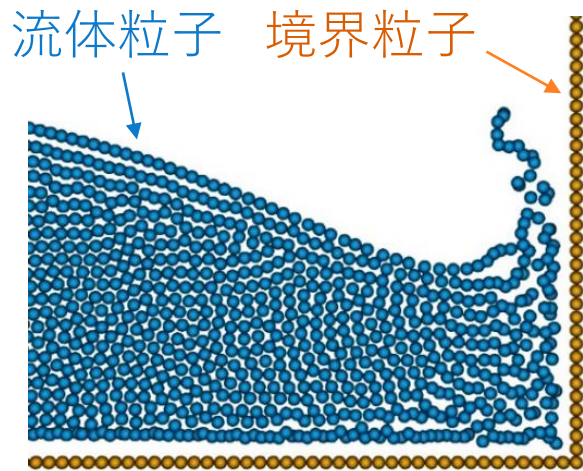
※DBCとmDBCの説明は次スライド

## □サンプリング周波数

- Model 1 (断面2次元計算) : 500Hz (実験と同じ)
- Model 3 (3次元計算) : 100Hz (データ容量を考慮)

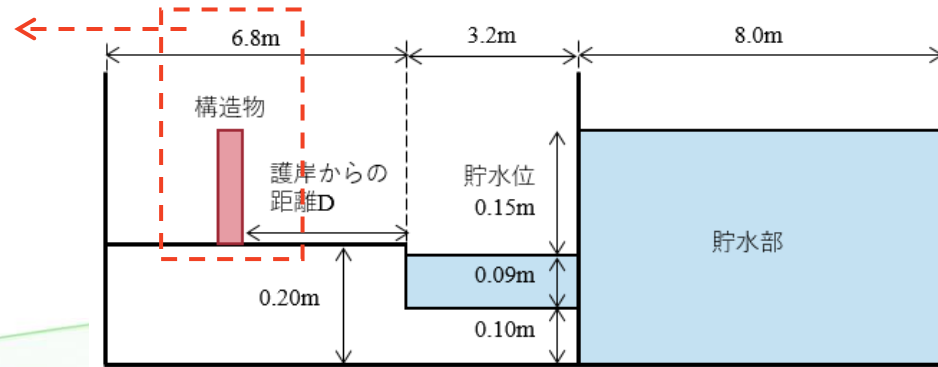
## DualSPHysicsのDBCとmDBCの違い

- DualSPHysicsでは流体粒子と物体を構成する粒子を区別するために、DBC( Dynamic Boundary Condition) が用いられていた。



境界粒子と流体粒子の間に隙間が生じる。

- 物体の形状・大きさを適切に評価することができない。
- DBCにより生じる隙間の分だけ物体の大きさを調整することで、流体と物体間の相互作用を適切に評価できる (三井ら, 2020) .





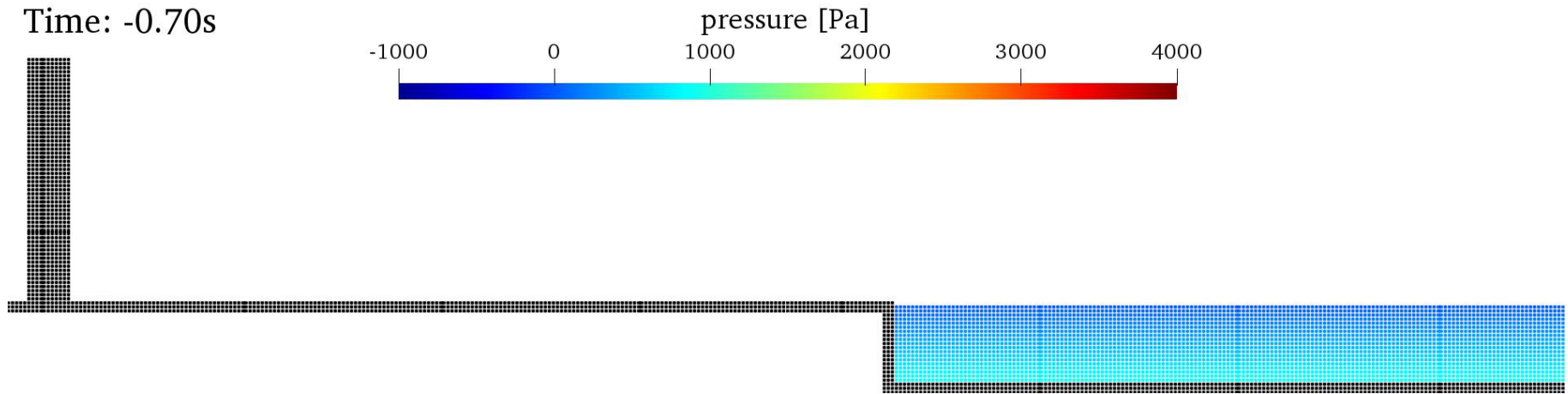
	DualSPHysics	OpenFOAM
支配方程式	SPH法	VOF法
気相の取扱い	単相流	気液二相流 (interFoam ソルバ)
乱流モデル	なし	断面 2次元 : SST k- $\epsilon$ 3次元 : Smagorinsky
解像度	断面 2次元 : $dp = 2\text{mm}, 5\text{mm}$ 3次元 : $dp = 5\text{mm}, 10\text{mm}$	断面 2次元 : $1.25\text{mm} \sim 10\text{mm}$ 3次元 : $2.5\text{mm} \sim 10\text{mm}$
時間刻み	自動調整 (最大CFL数 : 0.2)	自動調整 (最大CFL数 : 0.5)
その他	人工粘性係数 : $\alpha = 0.01$ 密度拡散項の係数 : $\delta = 0.1$	$c_\alpha = 0.25$ 離散スキーム : 風上差分
計算機	NVIDIA GeForce RTX 2080 Ti	Intel Xeon Gold 5218 CPU @2.30GHz 20CPUによる並列計算

※ 並列数による所要計算時間の比較・検討は実施していない  
 海洋開発シンポジウム2021 6/29~7/1 (Online)



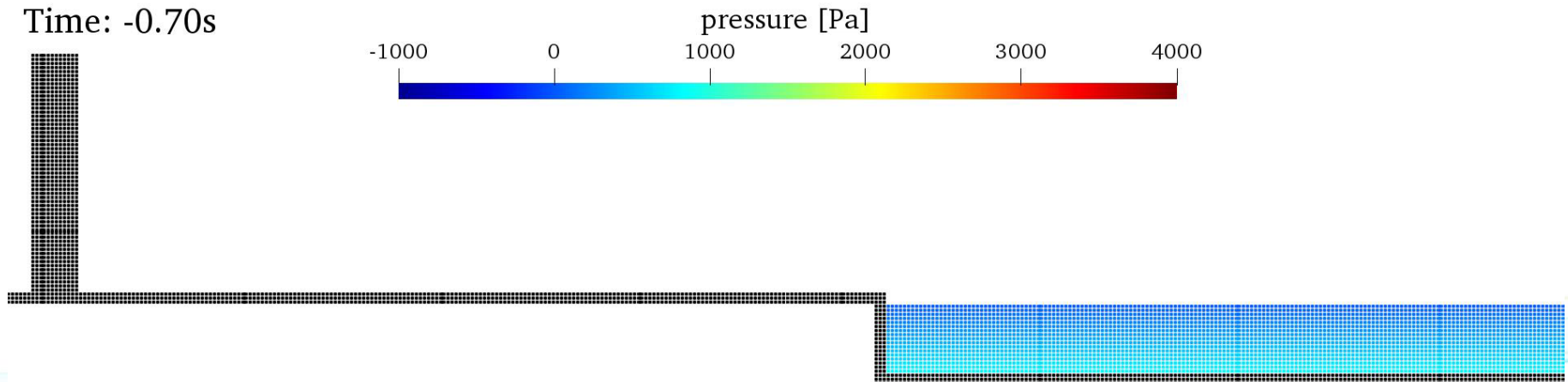
## DualSPHysics DBC dp=5mm

Time: -0.70s



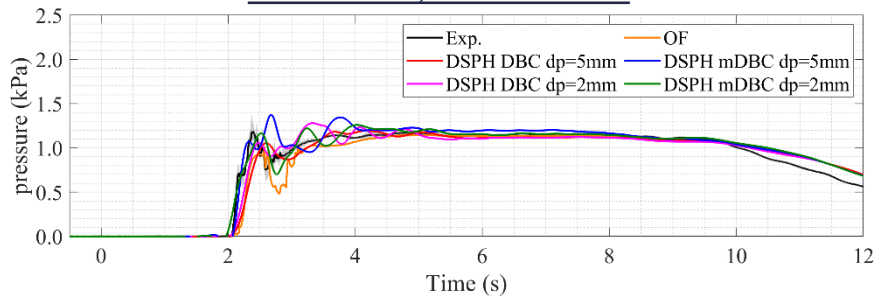
## DualSPHysics mDBC dp=5mm

Time: -0.70s

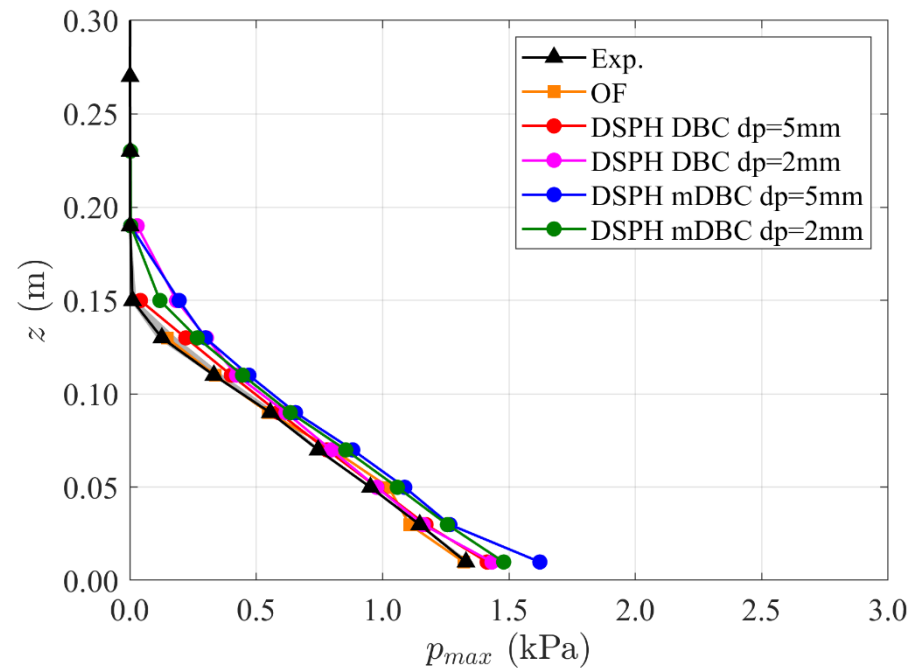
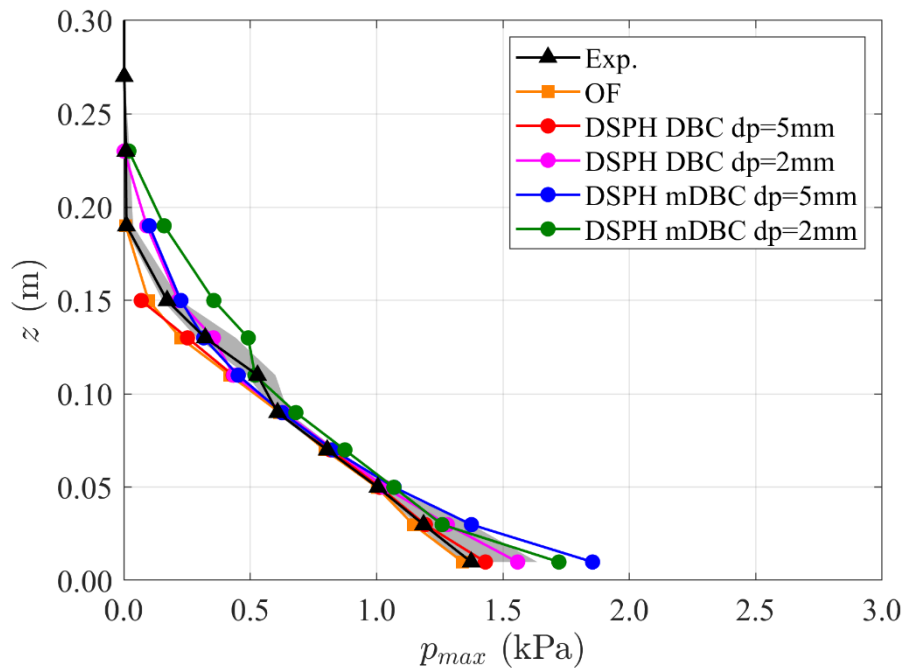
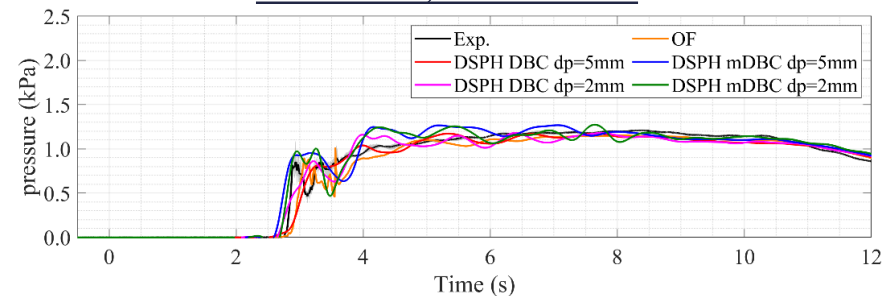




Model1,  $D = 1m$

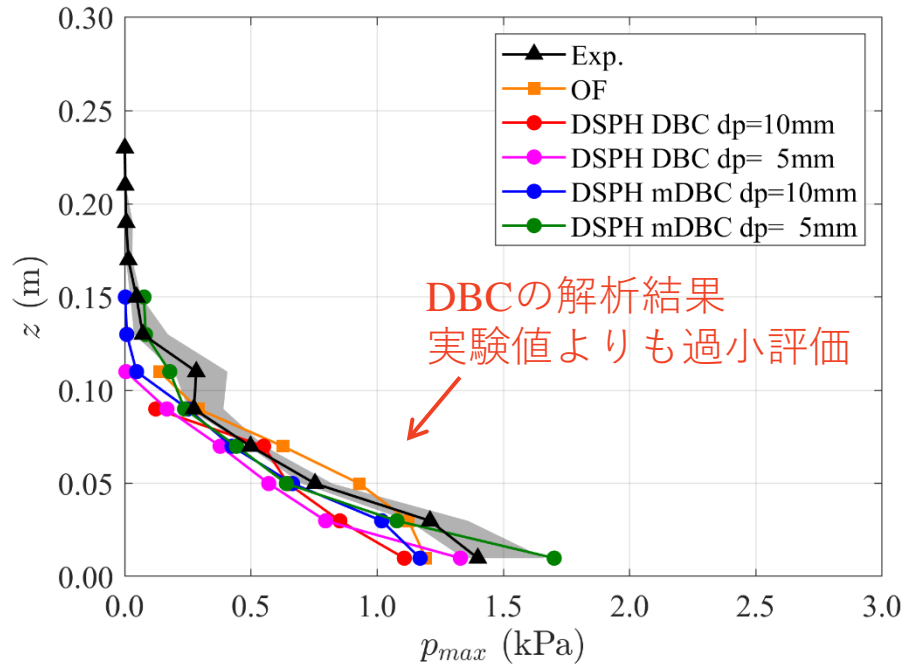
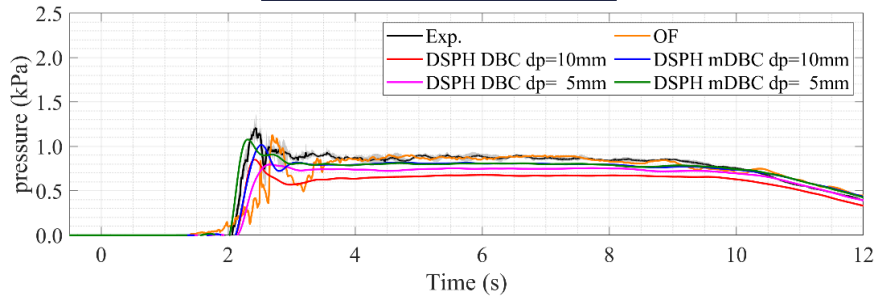


Model1,  $D = 2m$

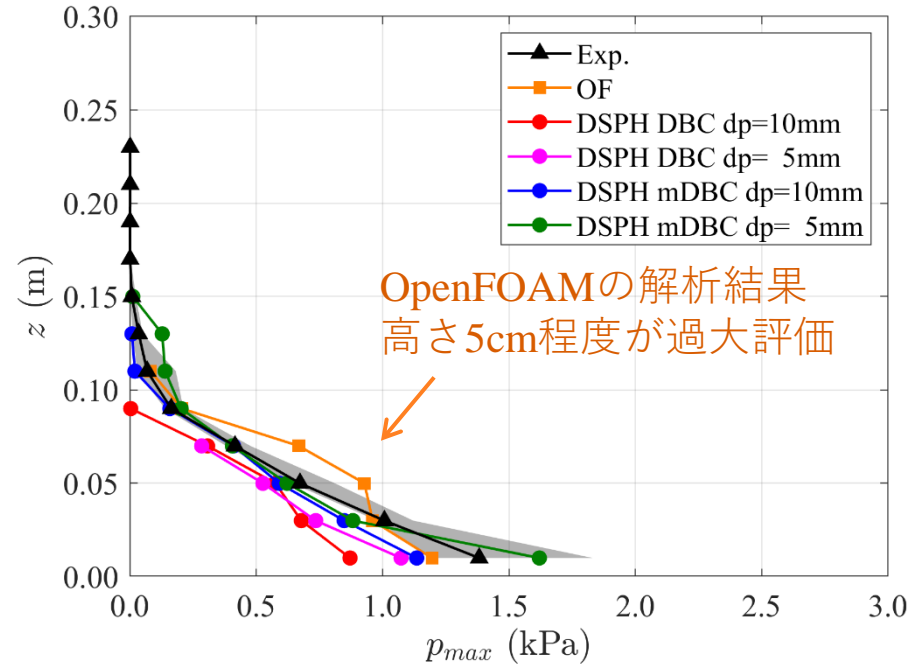
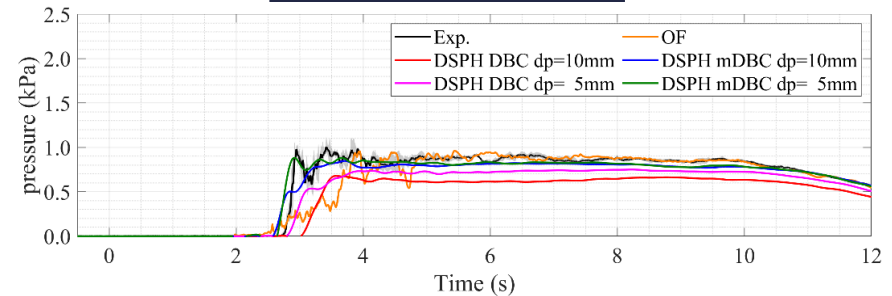


- DualSPHysicsは波圧の時系列が大きく振動するためフィルター処理が必要。
- 両モデルとも衝撃波圧成分に対して概ね再現できている。  
 → 断面2次元解析による波圧評価への適用性が示された。

## Model3, $D = 1\text{m}$



## Model3, $D = 2\text{m}$



- DBCは過小評価， OpenFOAMは過大評価の場所はあるが概ね対応。
  - mDBCでは衝撃波圧の再現性・作用時刻が実験結果とよく対応。
- mDBC, OpenFOAMは3次元解析でも水理模型を良好に再現できる。

## 断面2次元解析 ( Model 1 )

		OpenFOAM	DSPH DBC 1	DSPH DBC 2	DSPH mDBC 1	DSPH mDBC 2
計算解像度		1.25~10mm	dp=5mm	dp=2mm	dp=5mm	dp=2mm
計算時間 (再現期間: 20秒)		2.1時間	0.3時間	2.2時間	0.3時間	2.4時間
鉛直方向最大波圧 分布RMSE(kPa)	D1(1.639kPa)	0.103	0.087	0.057	0.054	0.056
	D2(1.405kPa)	0.027	0.020	0.047	0.093	0.063

## 3次元解析 ( Model 3 )

		OpenFOAM	DSPH DBC 1	DSPH DBC 2	DSPH mDBC 1	DSPH mDBC 2
計算解像度		2.5~10mm	dp=10mm	dp=5mm	dp=10mm	dp=5mm
計算時間 (再現期間: 15秒)		36.0時間	2.7時間	24.0時間	3.5時間	28.0時間
鉛直方向最大波圧 分布RMSE(kPa)	D1(1.664kPa)	0.130	0.185	0.188	0.160	0.097
	D2(1.831kPa)	0.108	0.190	0.175	0.129	0.072

- OpenFOAMは計算コストが大きく、また衝撃波圧の取扱いは困難だが、解像度を確保することで波圧を評価することができる。
- DualSPHysicsでは、DBCを用いた場合には計算結果に誤差が生まれやすいが、mDBCを用いることで比較的的低解像度でも良好な結果が得られる。



計算精度と計算コストより、津波波圧の評価には  
**DualSPHysics - mDBC** が最も適用性が高いことが示された。

□ 本研究では、DualSPHysicsとOpenFOAMを用いて数理解析を行い、陸上構造物に作用する津波波圧評価へのDSPHの適用性を検討した。

1. 断面2次元計算・3次元計算より、

- DualSPHysicsでは、mDBC・dp=5 mmで実験結果をよく再現できた。
- OpenFOAMは衝撃波圧を再現できなかった。

2. 計算コスト，計算精度の点から各モデルの津波波圧評価への適用性を評価

- OpenFOAMは、高精度であるが計算コストが非常に大きい。
- DualSPHysics DBCは精度が低く，DualSPHysics mDBCは，解像度を低くしても精度が良く，低計算コストで波圧を評価できる。

→ 陸上構造物の津波波圧評価にはDualSPHysics mDBCが最も適している。

□ 今後，衝撃波圧がより卓越する条件への適用性の検証など，他現象に対して数値モデル間の比較・検討を行う必要があると考える。

