

建物被災メカニズム解明のための 数値津波水槽の開発



岩手大学 地域防災研究センター
自然災害解析部門 小笠原 敏記

研究背景

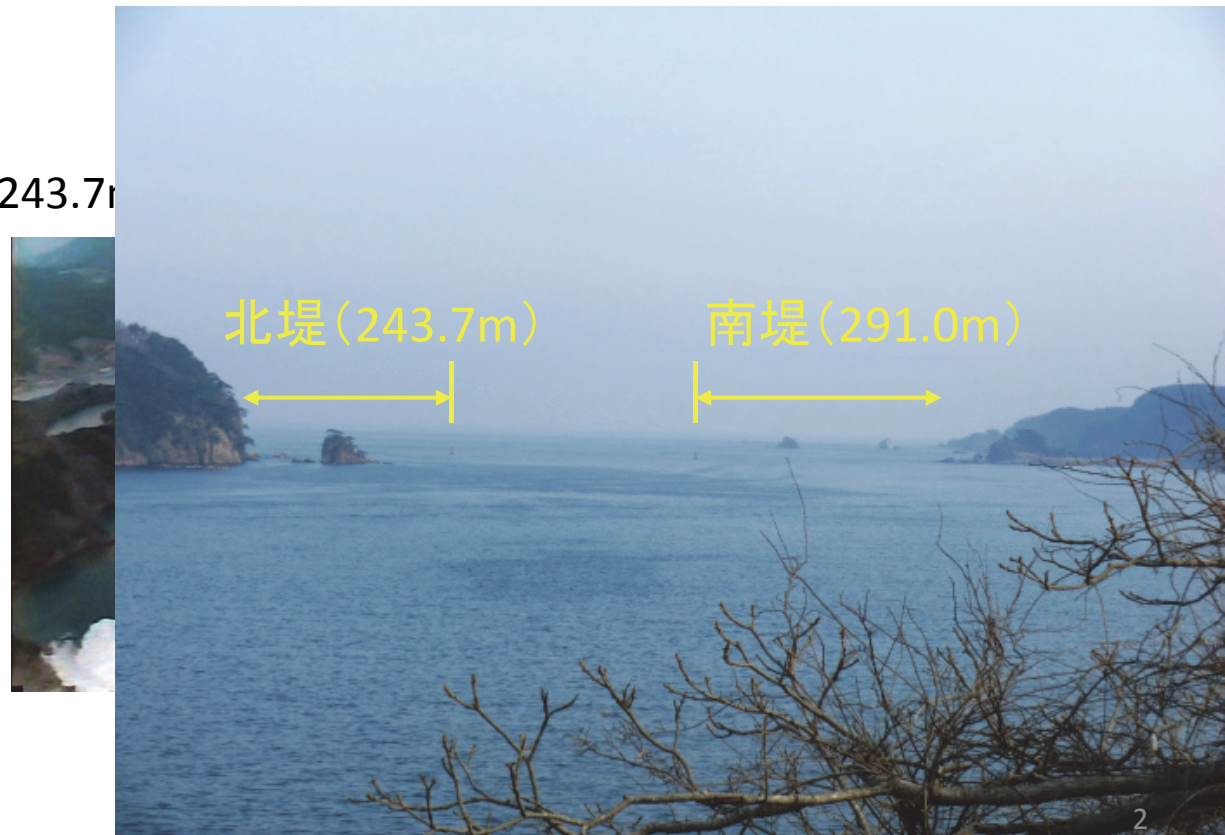
2011年東北地方太平洋沖地震津波:

海岸保全施設を始め, 港湾施設や交通施設等の公共土木施設も大きな被害を受けた.

- 大船渡湾口防波堤: 北堤 243.7m



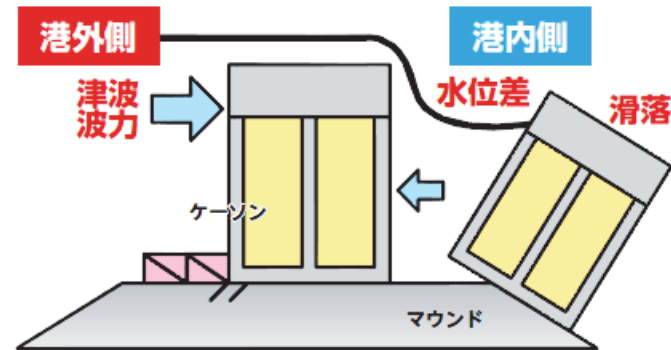
出典: 岩手県警



津波による防波堤の破壊メカニズム

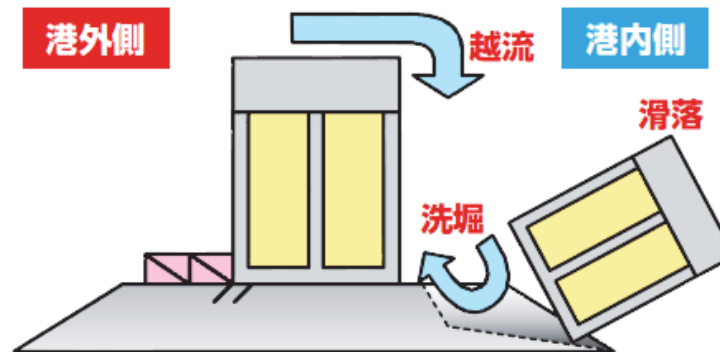
● 津波波力型

- 港外側と港内側の水位差
- 浮力の増加に伴う摩擦力の低下



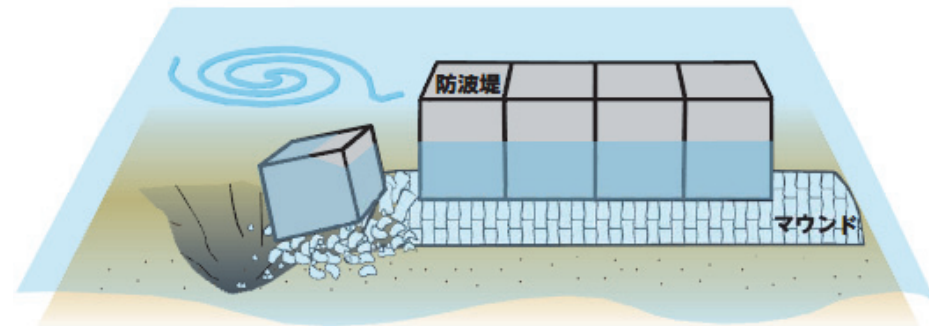
● 越流洗掘型

- マウンドの洗掘
- ケーソン直下まで洗掘の進行
- ケーソンの支持力の低下



● 堤頭洗掘型

- 先端(開口)部で流速が増大
- 渦が発生
- マウンドの洗掘



研究目的

海岸堤防の復旧や既設堤防の改修・強化

- 設計超過外力の作用時でも崩壊を回避
- 最低限の機能を持続



「粘り強い海岸保全施設」としての機能付加が重要

数値津波水槽の開発



- 海岸保全施設の被災メカニズムの解明
- 粘り強い海岸保全施設の安定照査

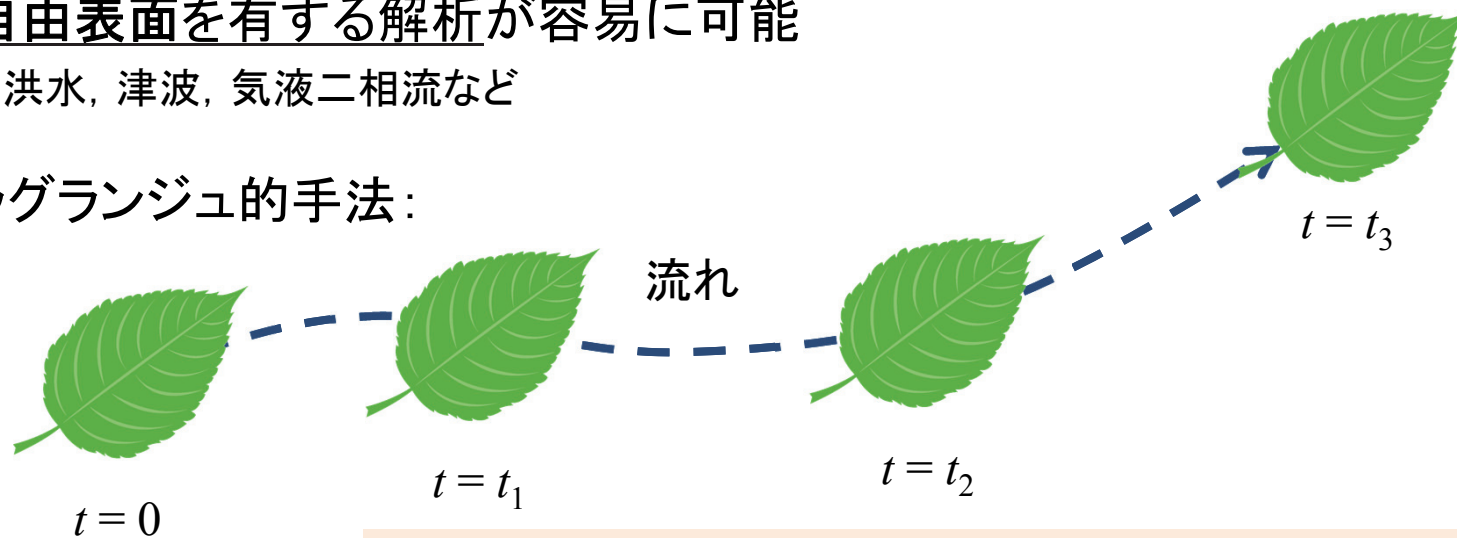
計算手法

粒子法のMPS (Moving Particle Semi-implicit) 法



- ✓ 流れ場をメッシュフリーでラグランジュ的に追跡する計算手法
- ✓ 粒子間相互作用モデルによる基礎方程式の離散化
 - 勾配・発散・ラプラシアンモデル
- ✓ 自由表面を有する解析が容易に可能
 - 洪水, 津波, 気液二相流など

ラグランジュ的手法:



ある物体の時々刻々の位置を追跡し、
物体の最初の位置と時間の関数として記述する。

非圧縮性流体の支配方程式

- 連続の式 (質量保存則):

$$\frac{D\rho}{Dt} = 0$$

- ナビエ・ストークス方程式 (運動量保存則):

$$\frac{D\vec{v}}{Dt} = -\frac{1}{\rho} \nabla P + \nu \nabla^2 \vec{v} + \vec{g}$$

\vec{v} : 速度ベクトル, t : 時間, ρ : 密度, P : 圧力,
 ν : 動粘性係数, \vec{g} : 重力加速度

粒子間相互作用モデル

支配方程式の微分演算子に適用

● 勾配モデル:
$$\langle \nabla \phi \rangle_i = \frac{d}{n^0} \sum_{j \neq i} \left[\frac{\phi_j - \phi_i}{r_{ij}^2} \vec{x}_{ij} w_{ij} \right]$$

- 圧力項に適用

● ラプラシアンモデル:
$$\langle \nabla^2 \phi \rangle_i = \frac{2d}{n^0 \lambda} \sum_{j \neq i} \left[(\phi_j - \phi_i) w_{ij} \right]$$

- 粘性項・ポアソンeq.に適用

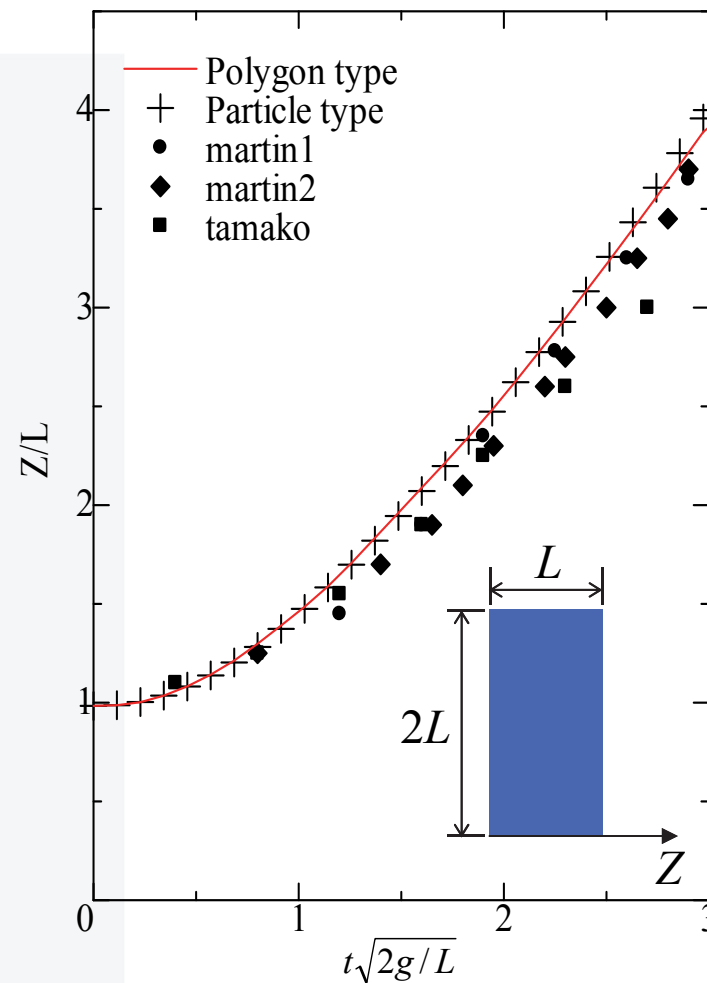
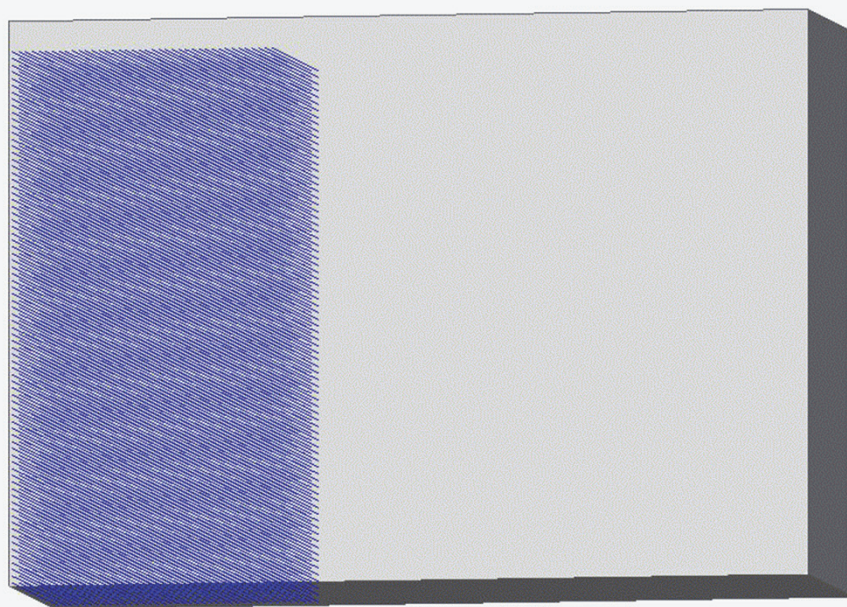
ϕ : 任意のスカラー量, \vec{u} : 任意のベクトル量, n^0 : 基準粒子数密度,
 w_{ij} : 粒子 i, j 間の重み関数, r_{ij} : 粒子間の距離, d : 次元数,
 \vec{x} : 各粒子の座標

ベンチマーク

● 精度検証

粒子数: 128,000個

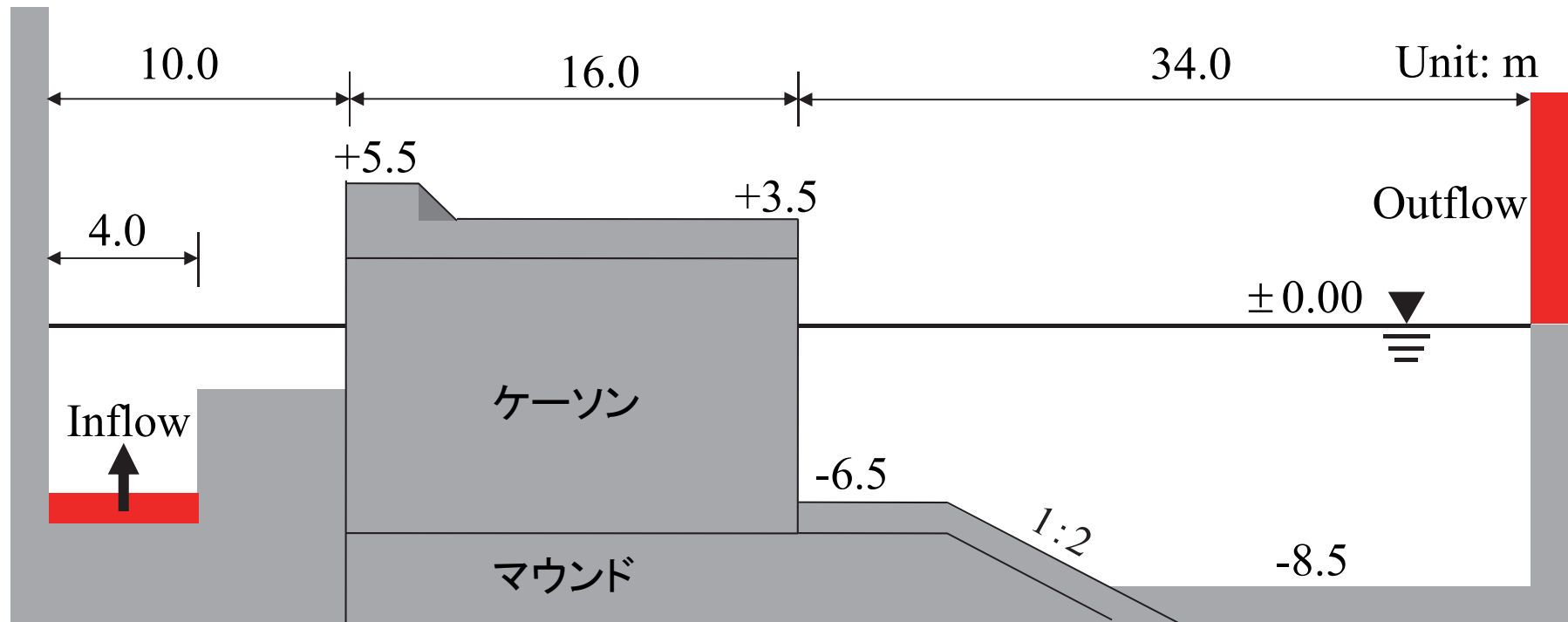
粒子径: 5mm



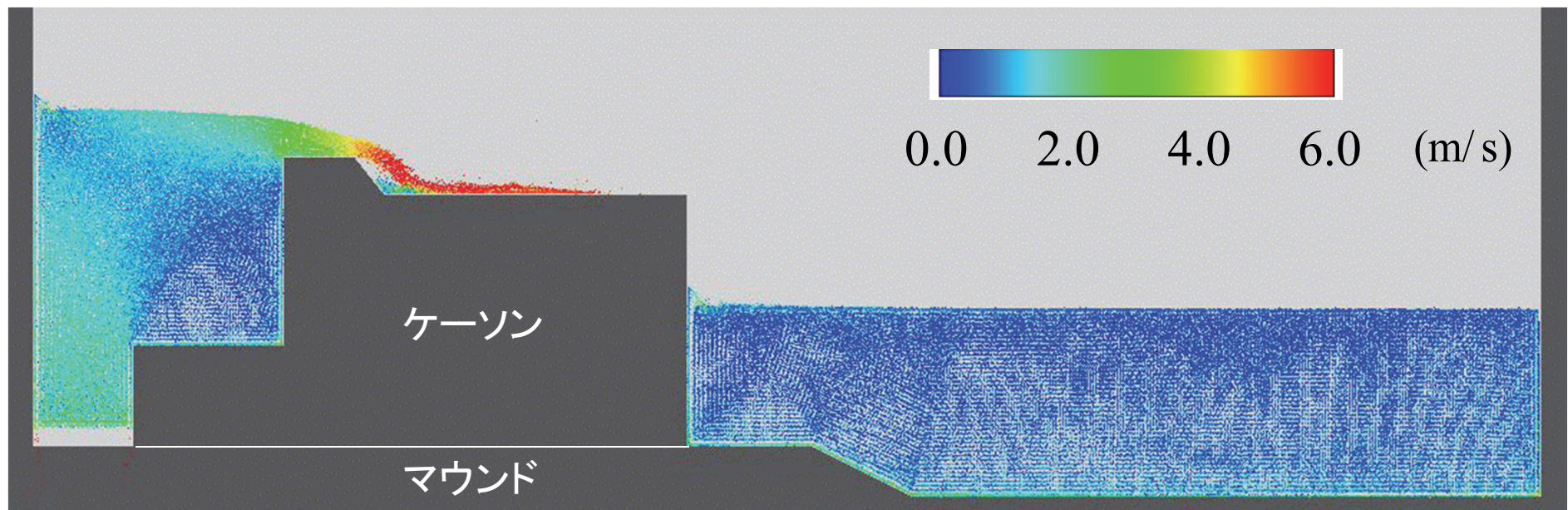
水柱崩壊計算における先端位置の比較

防波堤への適用

● 計算断面図

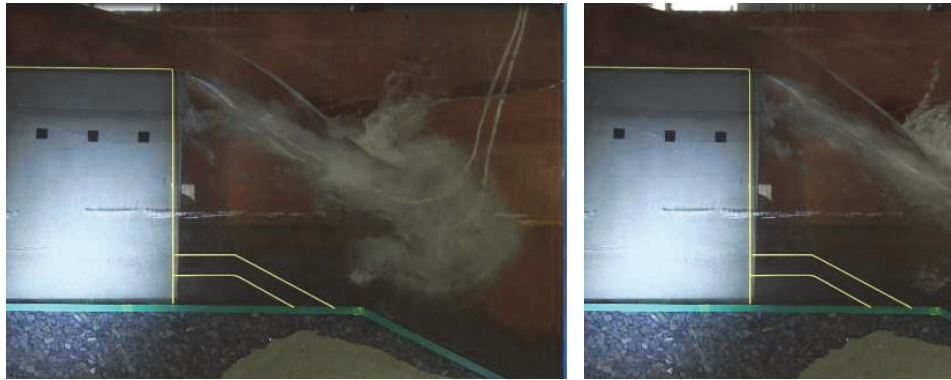


- 越流した津波が港内側に流れ込む様子

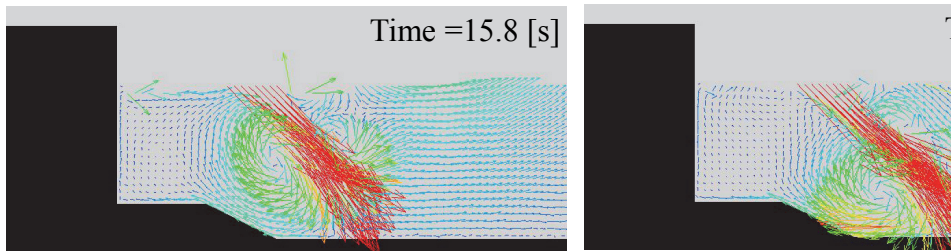


縮 尺: 1/40
粒子数: 約10万個
粒子径: 5mm
流入境界: 3.16m/s (現地換算値)

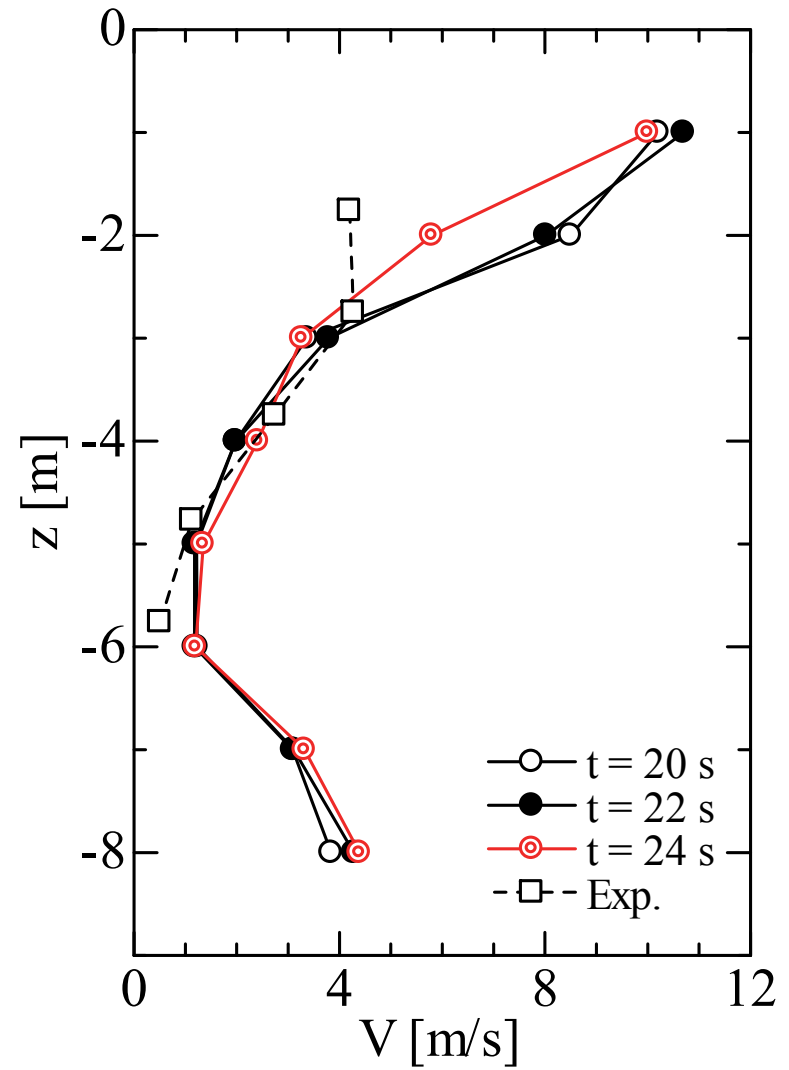
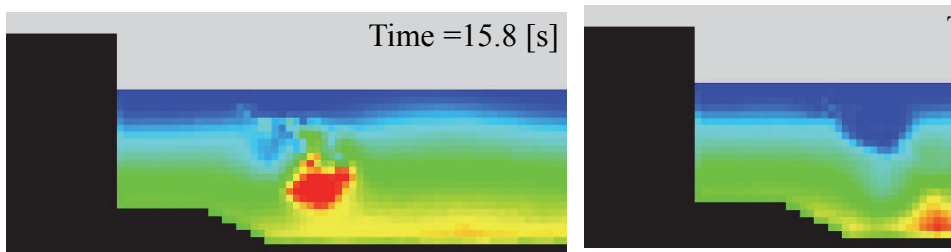
● 模型実験



● 流速ベクトル



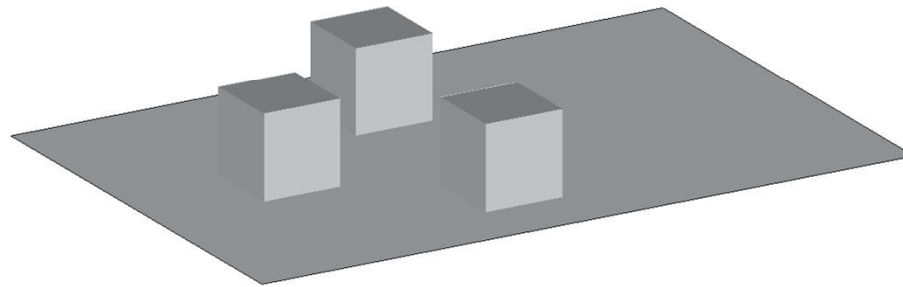
● 圧力



堤体背後のマウンド法先における流速の鉛直分布

計算例①

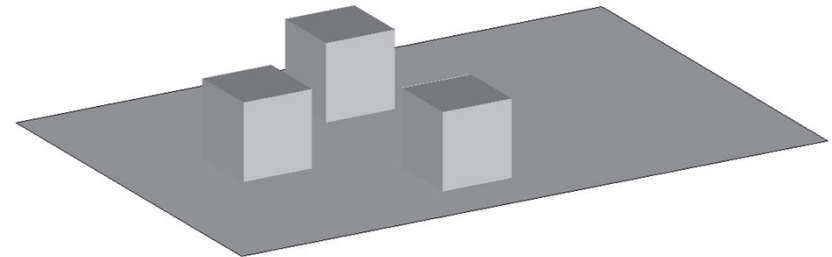
- 建物に襲来する津波の様子



平面図

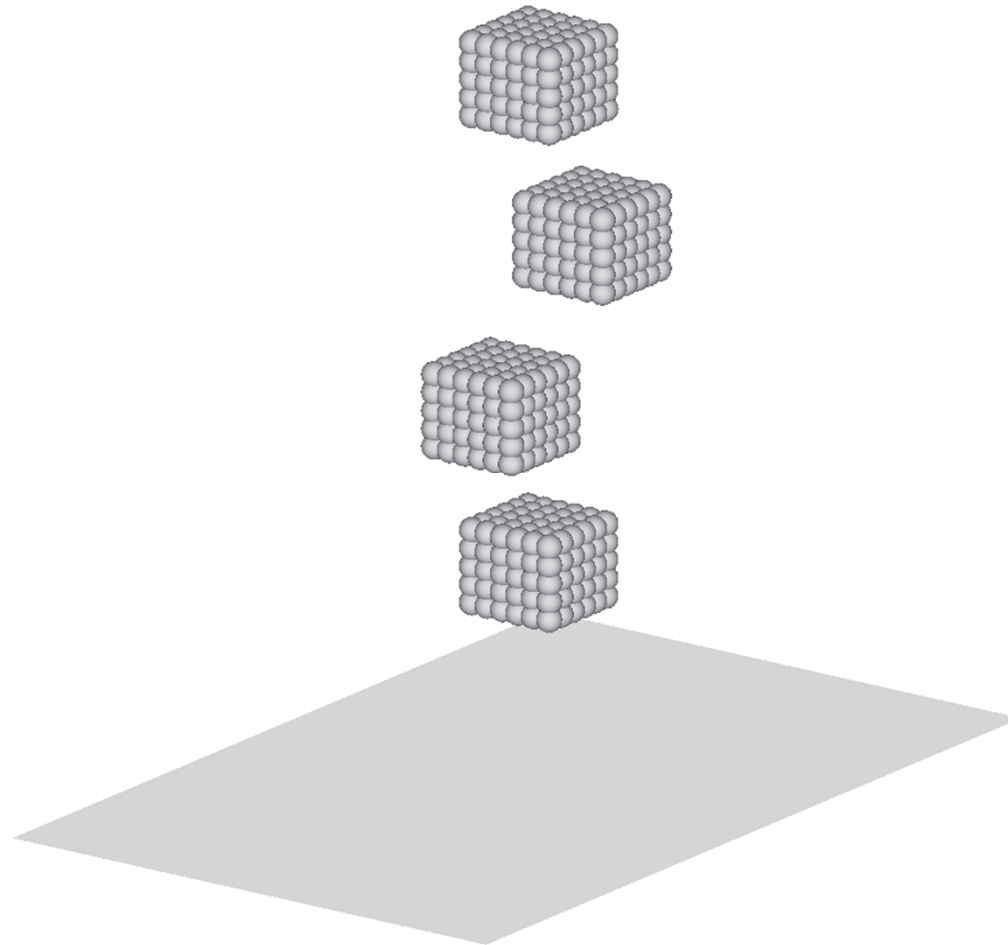


圧力分布



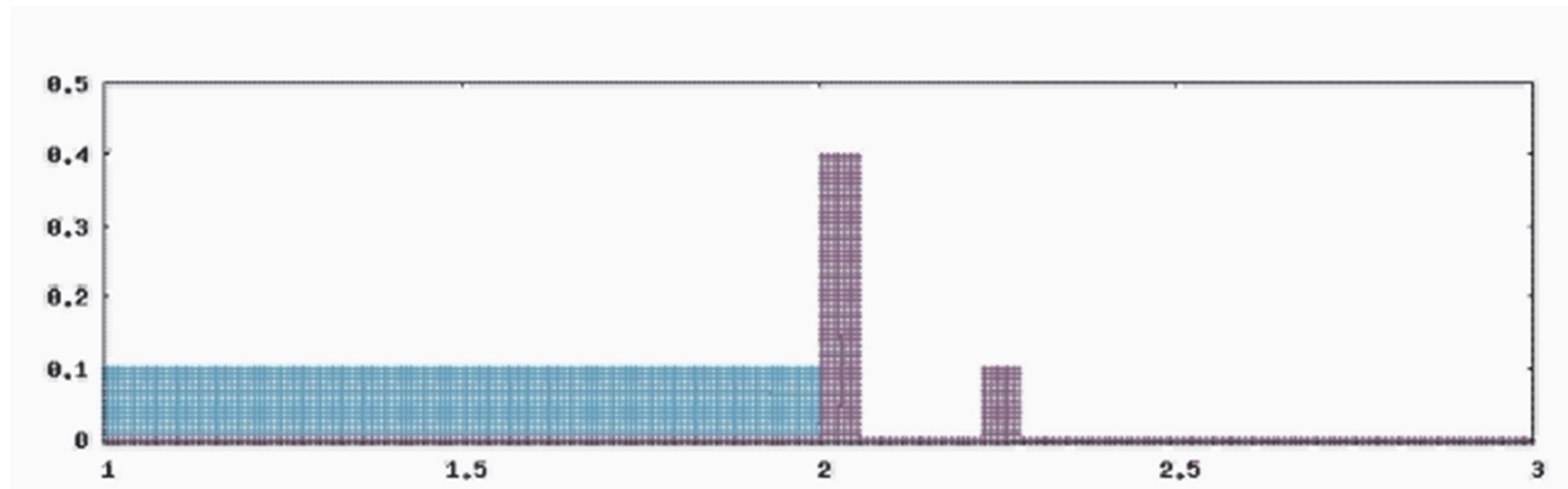
計算例②

- 複数の剛体が衝突する様子



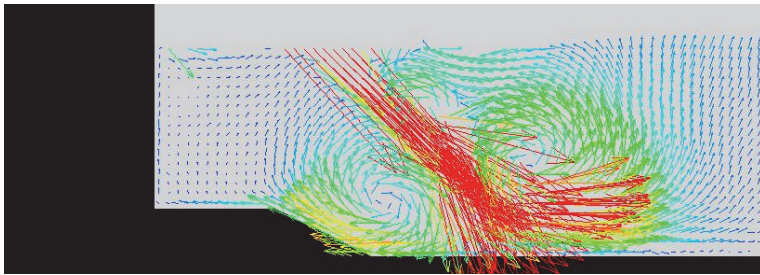
計算例③

- 流体-弾性体連成解析(津波が構造物を倒壊する様子)

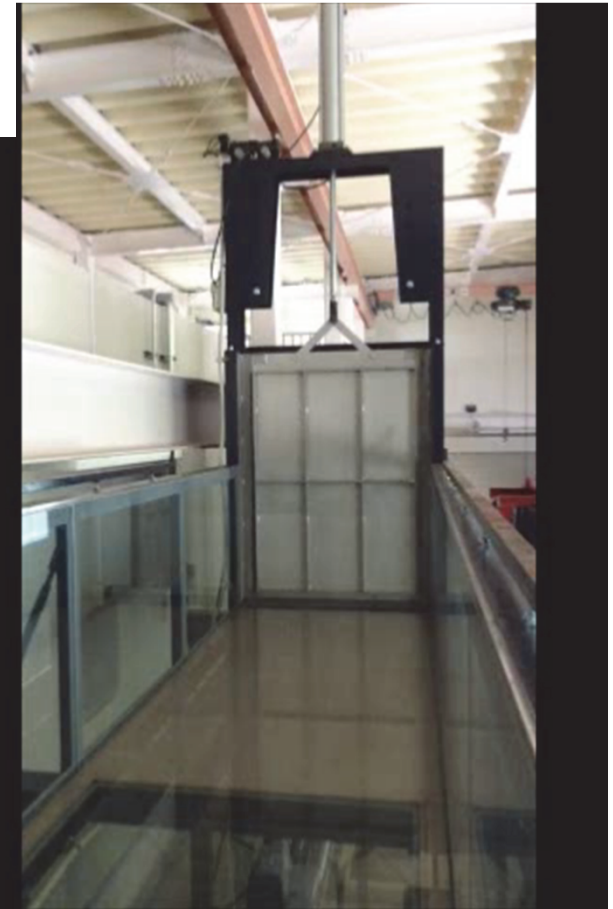
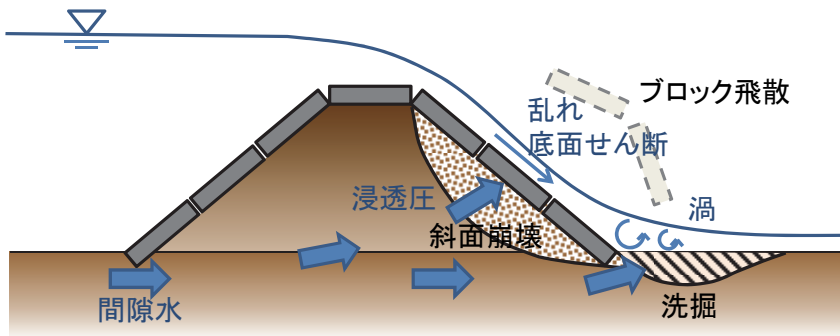


今後の研究計画

- 設計超過外力に伴う堤体の変形や崩壊過程を解析する流体－構造物の連成解析モデルの開発



- 堤体内部の間隙水の挙動および浸透圧が洗掘・吸い出しに及ぼす影響を評価できるモデルの開発



津波氾濫流発生装置付水路

L10 × H0.8 × W1.0m



ご静聴ありがとうございました。

今回の研究発表の詳細は下記を参照してください。

小笠原敏記・亀尾実愛・佐々木智・砂川透吾:ポリゴン型壁境界MPS法の特徴および防波堤越流津波への適用,
土木学会論文集B2(海岸工学), Vol.69, No.2, I_901-I_905.