

粒子法 (SPH法) を用いた津波による 構造物・浮体の移動変形シミュレーション

関西大学

環境都市工学部 都市システム工学科

准教授 安田 誠宏

2023年3月2日

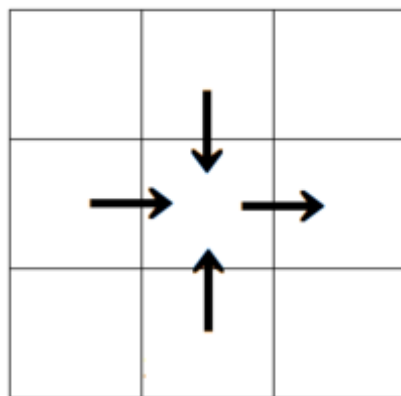
新技術の概要

津波による多くの被害を防ぐためには、港湾や沿岸市街地における津波の挙動や海岸構造物の被災、漂流物の移動メカニズム等を解明することが重要な課題である。

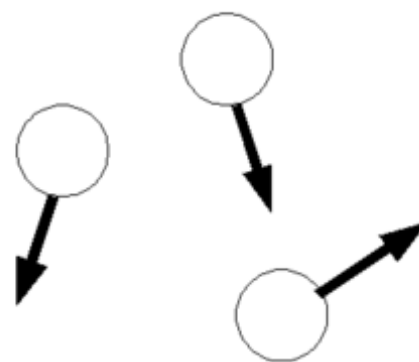
SPH (Smoothed Particle Hydro-dynamics) 法に基づいたオープンソース流体解析コード DualSPHysicsを用いて、港内および沿岸市街地における津波の挙動やそれに伴う構造物の移動、浮体の漂流解析を行う技術を開発している。

従来技術とその問題点

通常の津波解析は格子法、本技術は粒子法。



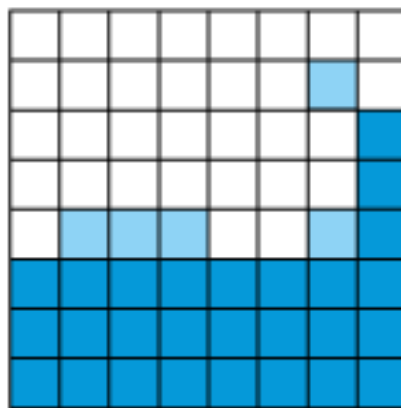
格子法



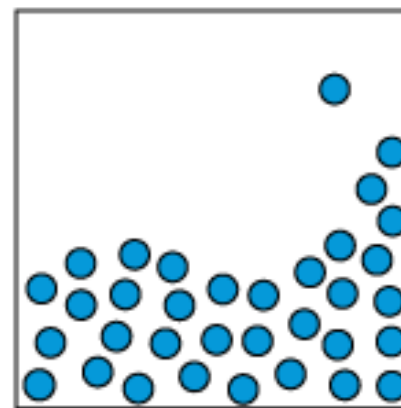
粒子法



(a) 実際の水面形状



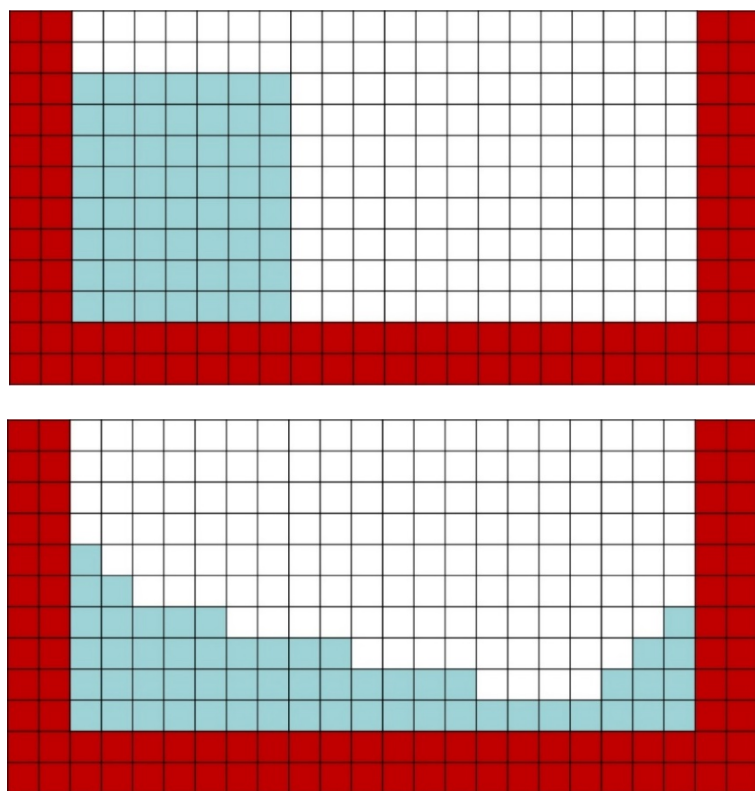
(b) 格子法



(c) 粒子法

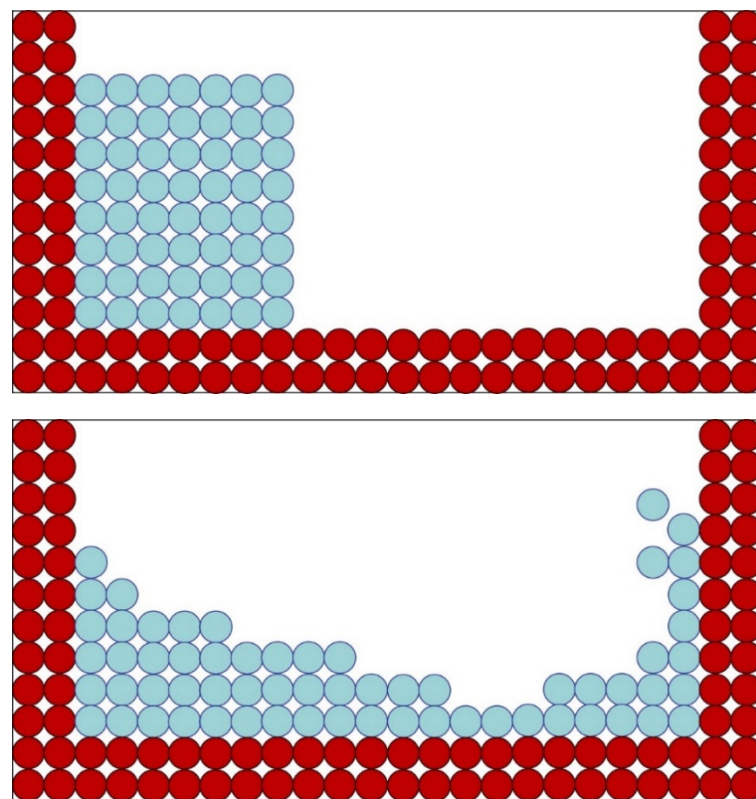
- 格子法：領域を格子に分割し，その格子点を計算点とする手法
- 粒子法：連続体を粒子の集合として計算する手法.

格子法



変形が大きい際には計算が破綻

粒子法

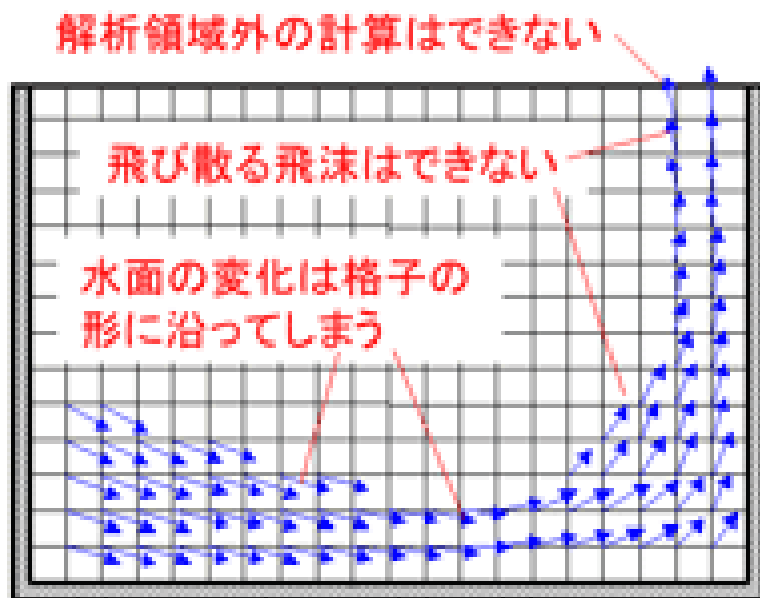


大変形問題への有用性が高い

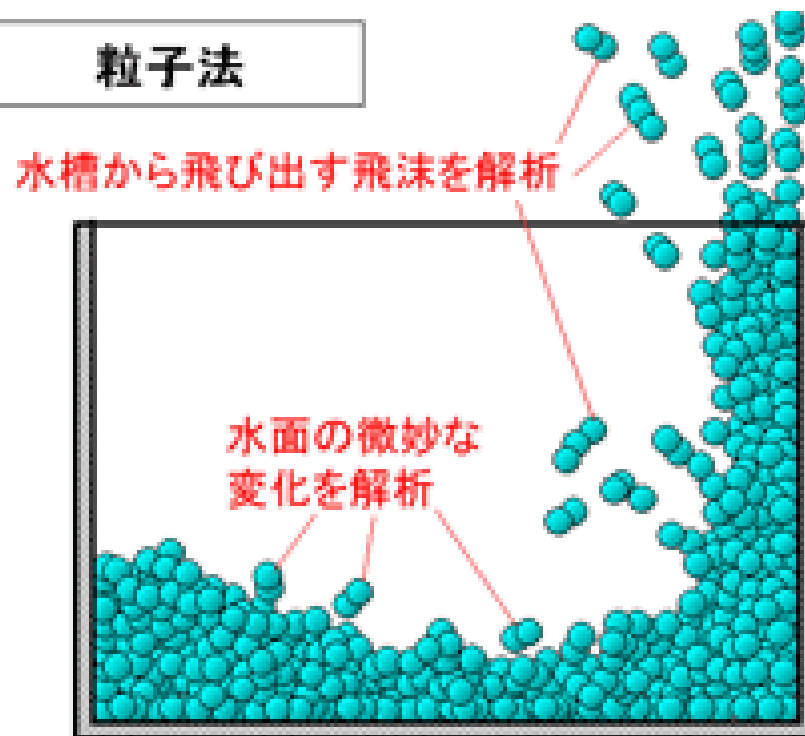
従来技術とその問題点

格子法(差分法／有限要素法)はEular法であり、
粒子法(SPH)はLagrange法である。

従来技術 : 差分法／有限要素法



粒子法



新技術の特徴・従来技術との比較

SPH法は、移流項がないため、離散化に伴う数値振動や数値拡散は発生しない。

そのため、自由表面を特別な取り扱いを必要とせずに表現することができ、海岸工学分野で扱われる大変形問題への有用性は高い。

さらに、GPUを用いて解析できるため、CPUよりも計算速度が速い。

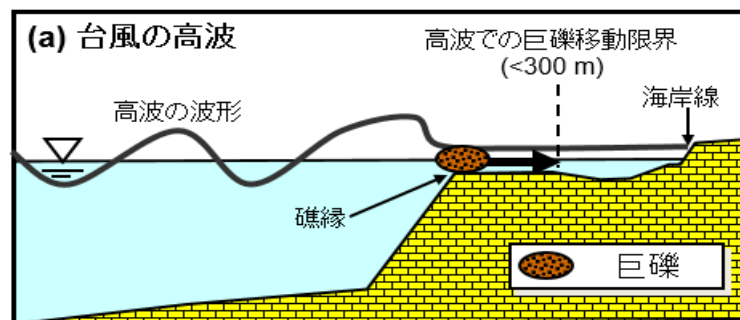


巨礫(津波石・台風石)の移動解析

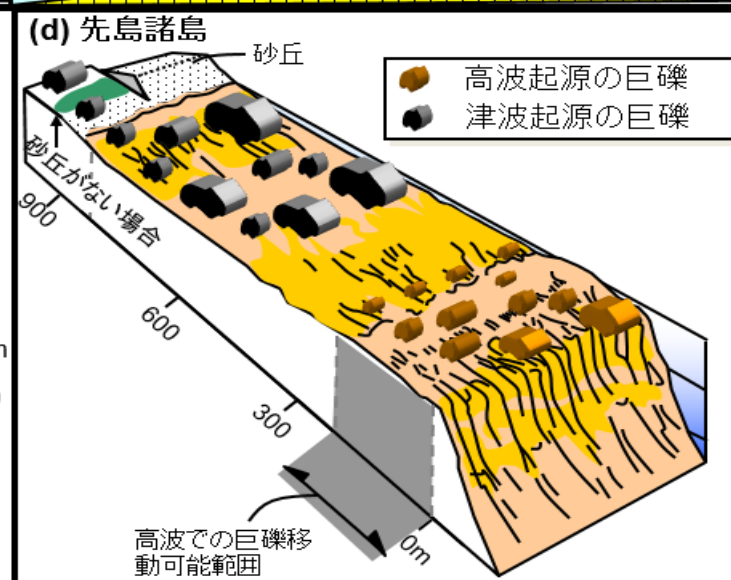
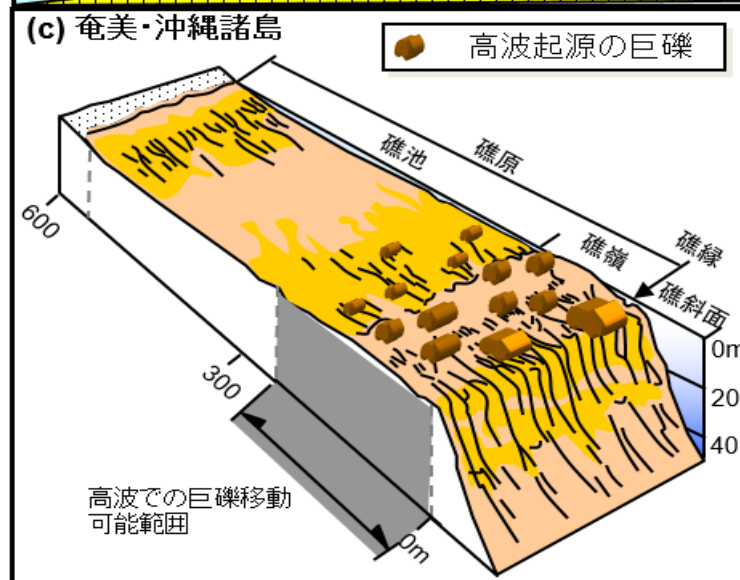
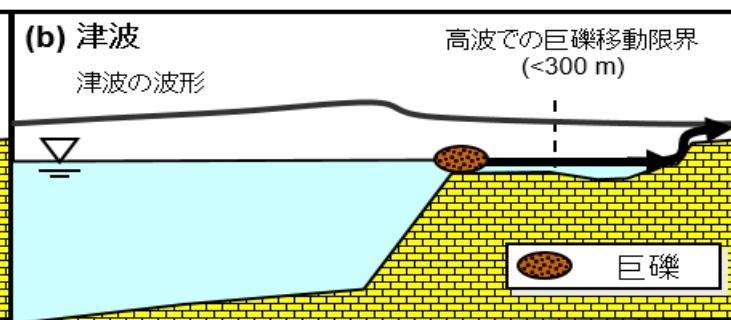
- 津波・台風後には巨礫群の打ち上げが報告されている。

インド洋大津波(2004年12月), 東北地方太平洋沖地震津波(2011年3月)

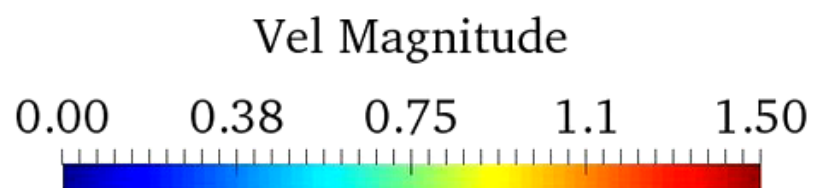
(a)高波



(b)津波



解析結果【石の移動，津波】



Time: 0.00



計算条件

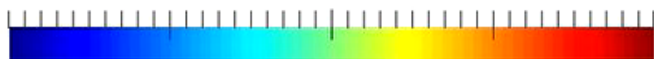
水深: 0.840m, 波高: 0.150m

GPU: NVIDIA GeForce GTX 1080 Ti

解析結果【石の移動, 高波】

Vel Magnitude

0.00 0.38 0.75 1.1 1.50



Time: 5.01



計算条件

水深: 0.840m, 有義波高: 0.295m, 有義波周期: 2.55s

GPU: NVIDIA GeForce GTX 1080 Ti

解析結果 【波の作用方向】

津波

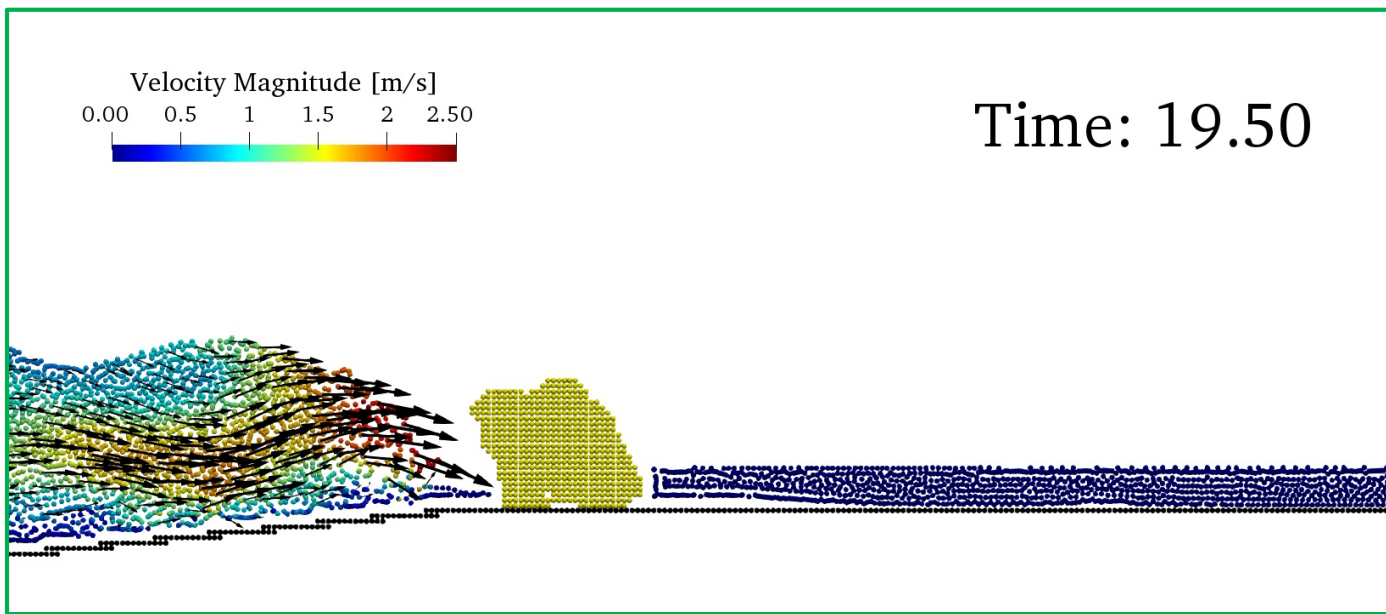
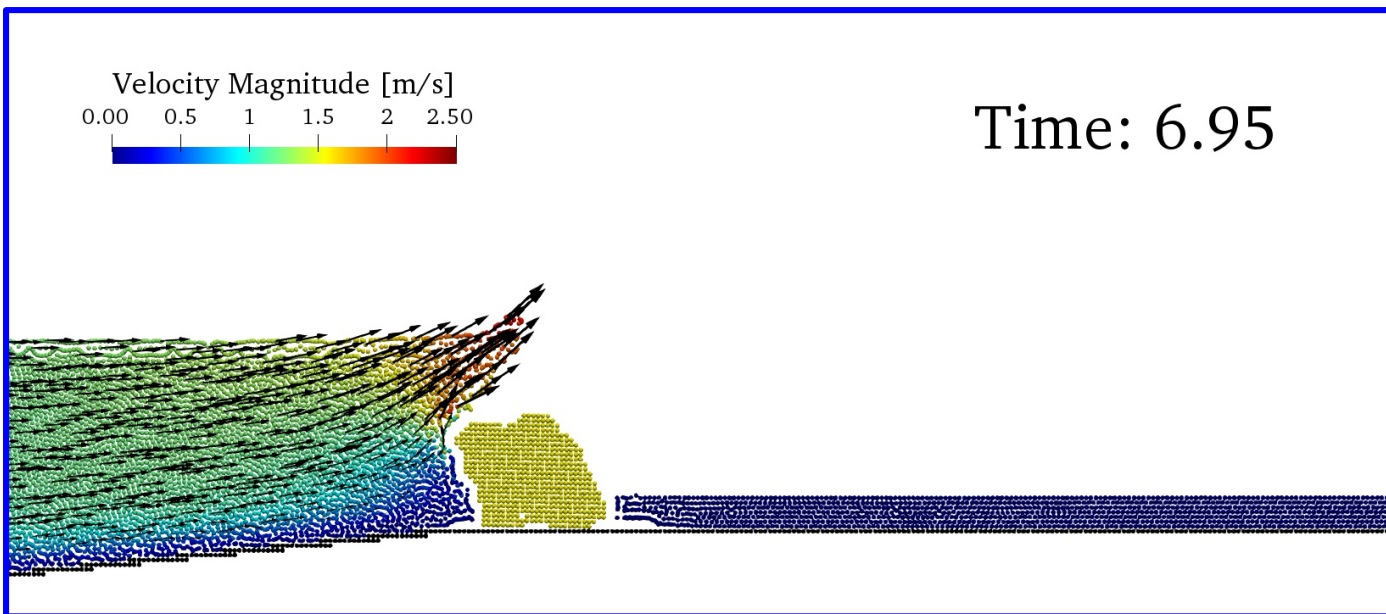
石を持ち上げるように作用

高波

砕波後、水平方向に作用



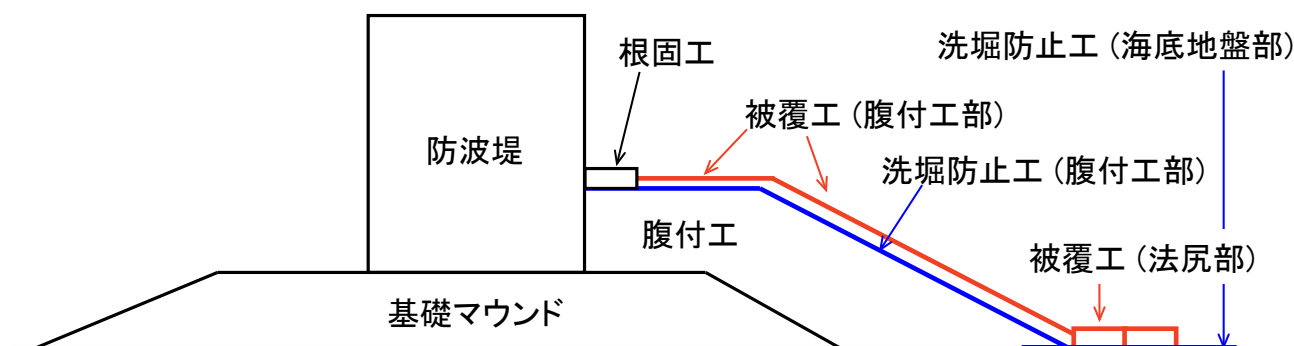
波の作用方向の違いが、
津波石と台風石の移動特性
に影響を及ぼしている



マウンド被覆ブロックの移動解析

防波堤の耐津波設計ガイドライン

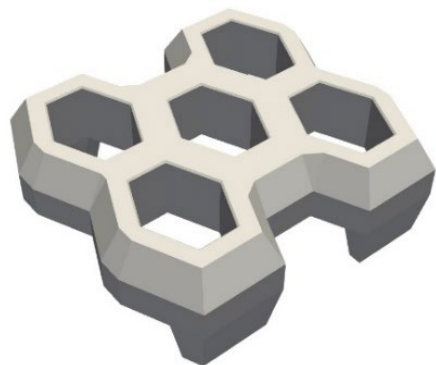
- 設計津波を超える規模の津波に対して、防波堤が変形しつつも倒壊しない「粘り強い構造」を今後の防波堤に求めている。
 - 腹付工の設置：津波の落下高さを低くする
 - 被覆ブロックの設置：マウンド材の流出防止，洗堀速度の抑制



国土交通省(平成25年9月): 防波堤の耐津波設計ガイドライン
国土交通省HP: 粘り強い防波堤・防潮堤の導入
https://www.mlit.go.jp/page/kanbo01_hy_002327.html

- ➡ ① 津波越流時の防波堤腹付マウンド被覆ブロックの飛散過程
 - ② 複雑な形状の被覆ブロックの移動
- を対象にした研究は行われていない。

被覆ブロック

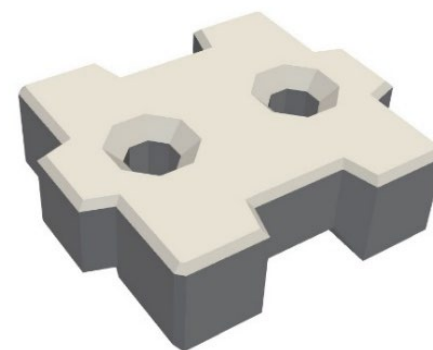


HC-block

- 六角形の孔を5個と脚をもつ複雑な形状をした被覆ブロック
- 六角形の孔が揚力を逃がすため、低重量で高い安定(大熊ら,2017)

HC-block 4t 型 諸量(模型)

質量	32.9 (g)
体積	14.3 (cm ³)
寸法	52.4mm × 47.6mm × 18.0mm



ST-block

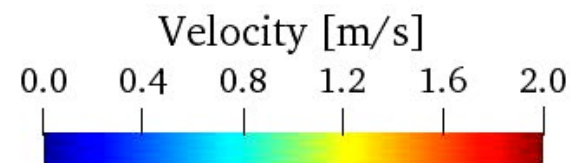
- 平坦な形状をした被覆ブロック
- 河川の根固工から海岸の人工リーフ・マウンド被覆工まで幅広く使用できるように開発された省力化ブロック.

ST-block 8t 型 諸量(模型)

質量	60.1 (g)
体積	26.1 (cm ³)
寸法	55.4mm × 46.2mm × 15.4mm

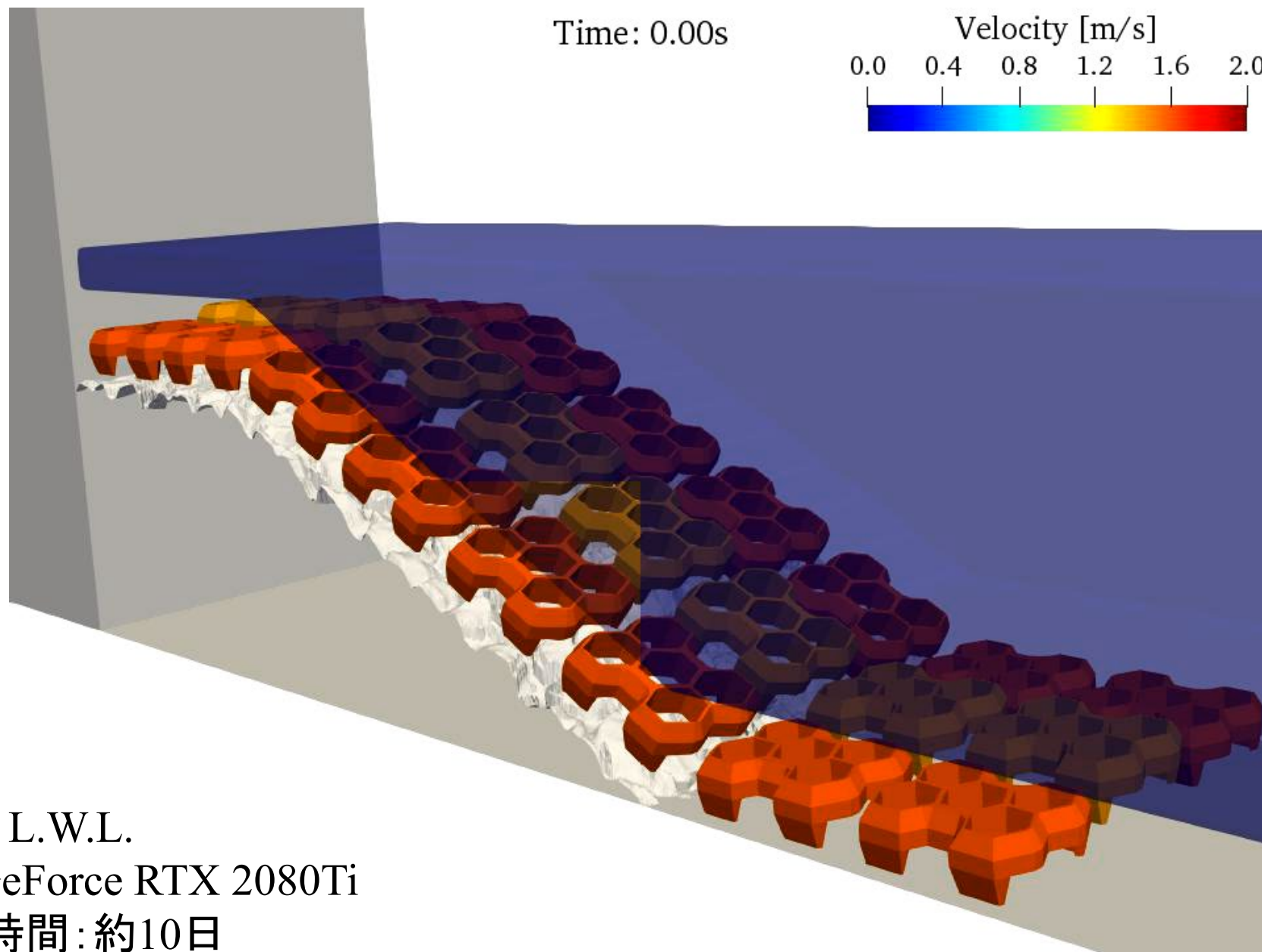
解析結果【 HC-block 】

Time: 0.00s



港
外
側

港
内
側



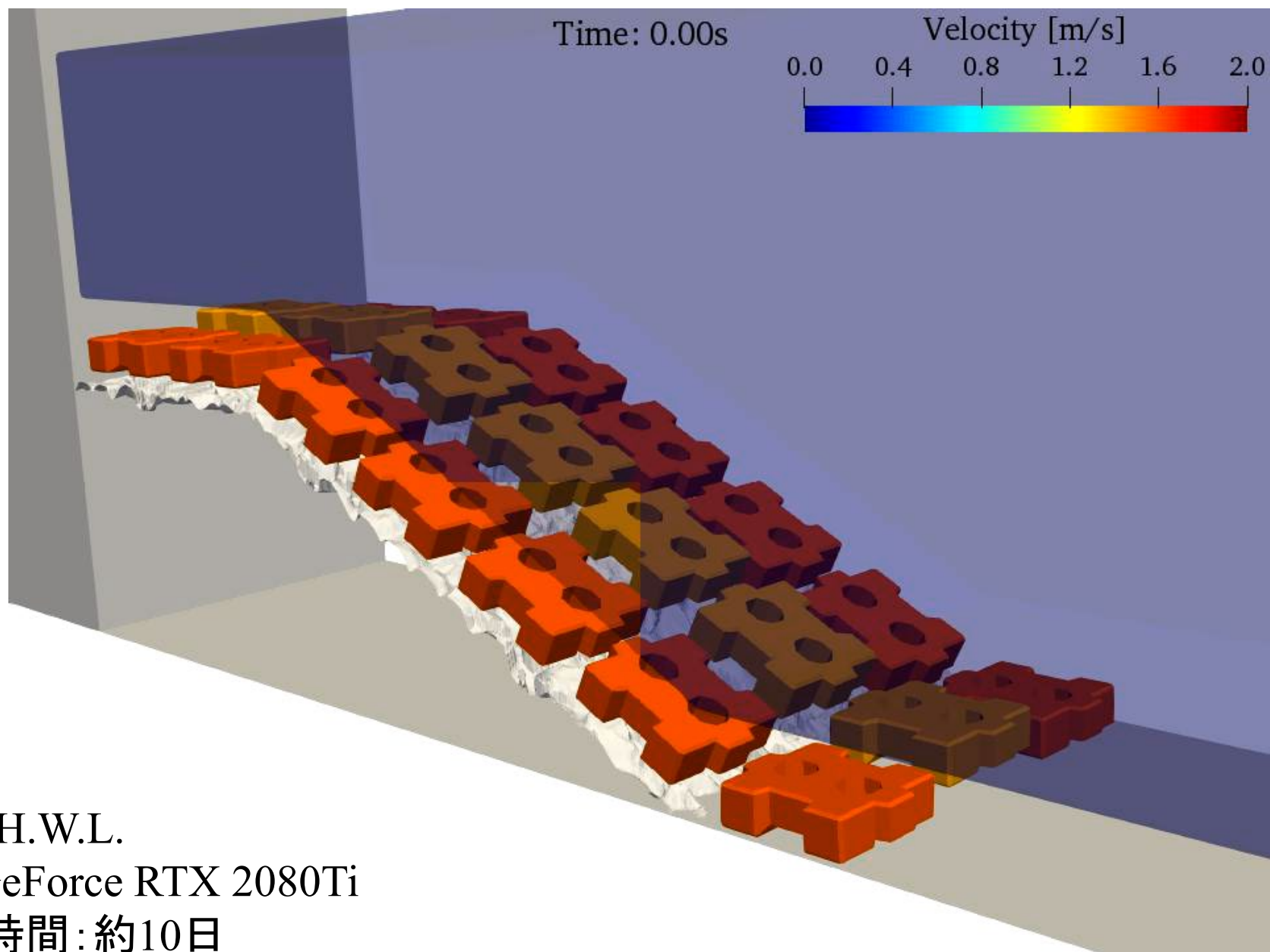
HC-block, L.W.L.

NVIDIA GeForce RTX 2080Ti

所要計算時間: 約10日

解析結果【 ST-block 】

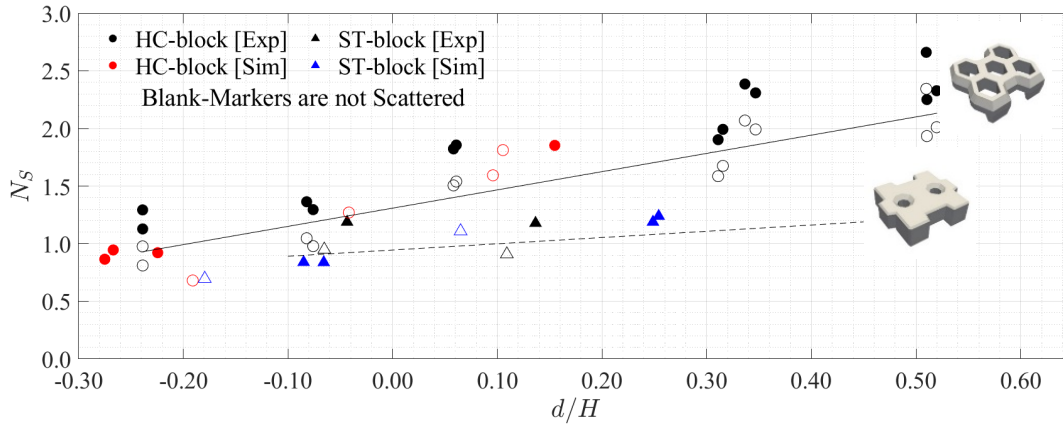
港
外
側



港
内
側

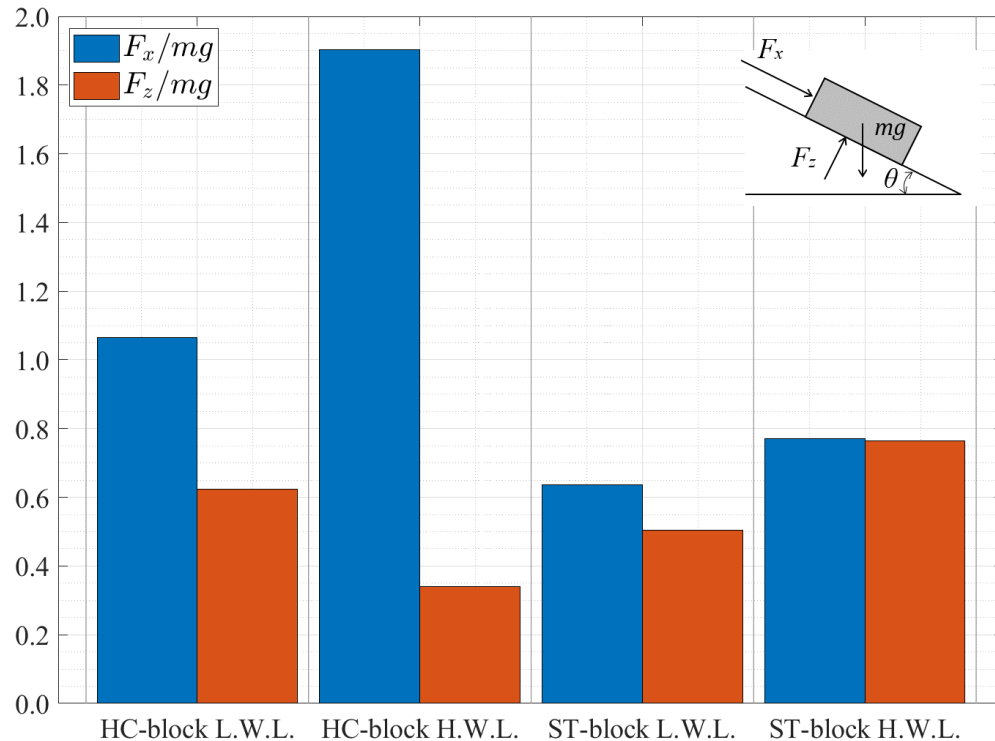
ST-block, H.W.L.
NVIDIA GeForce RTX 2080Ti
所要計算時間: 約10日

流体力による移動特性評価



飛散過程の違い

- HC-blockは滑動してから転倒.
- ST-blockは滑動せずに転倒.
 - HC-blockの孔内部にも流体力が作用するため.



d/H が小さい (港内側水位が低い) 時

- HC-blockとST-blockは近い N_S
 - F_z が同程度の値を示すため.

d/H が大きい (港内側水位が高い) 時

- HC-blockが大きい N_S
 - HC-blockに作用する F_z が小さい.
 - HC-blockの孔形状がブロックに作用する揚力を逃がしている.

津波作用による浮体の漂流解析

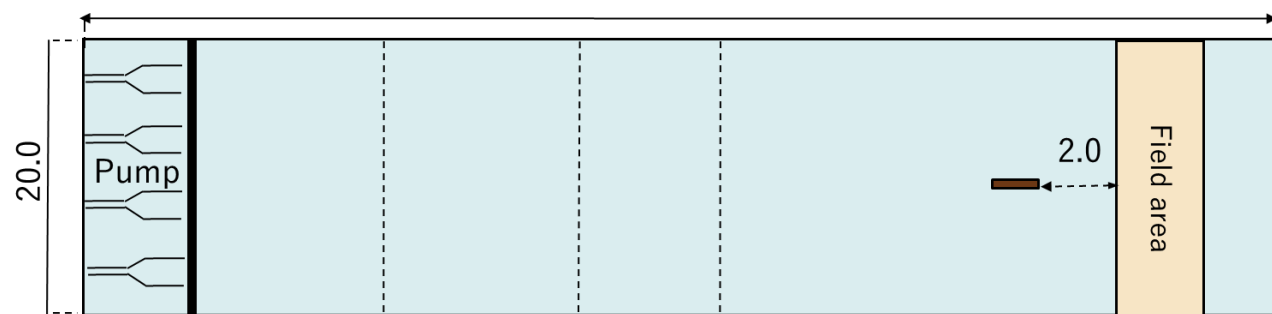
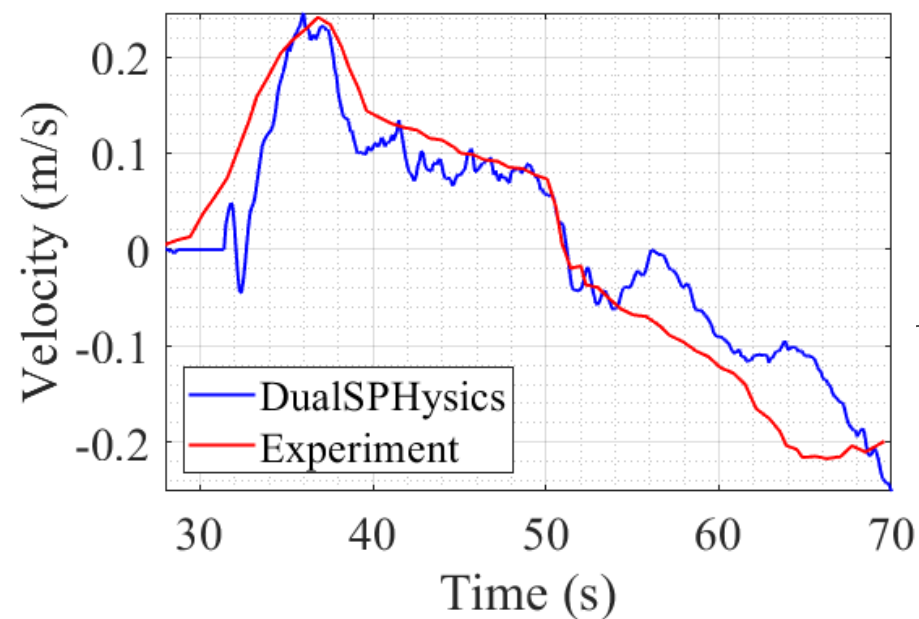
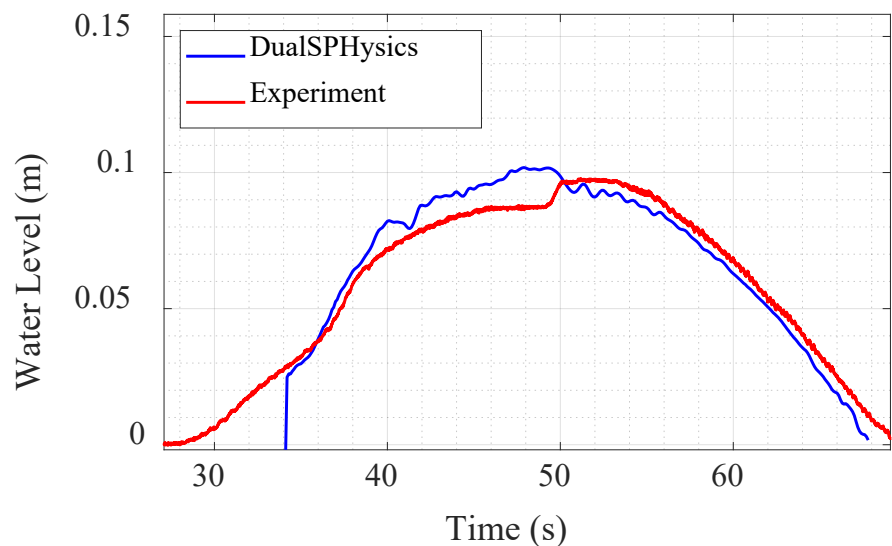
東日本大震災での漂流物による被害

船舶の漂流、座礁、岸壁上に乗り上げなどの多くの被害が起きた。
津波・漂流物挙動のメカニズムを把握する必要がある。

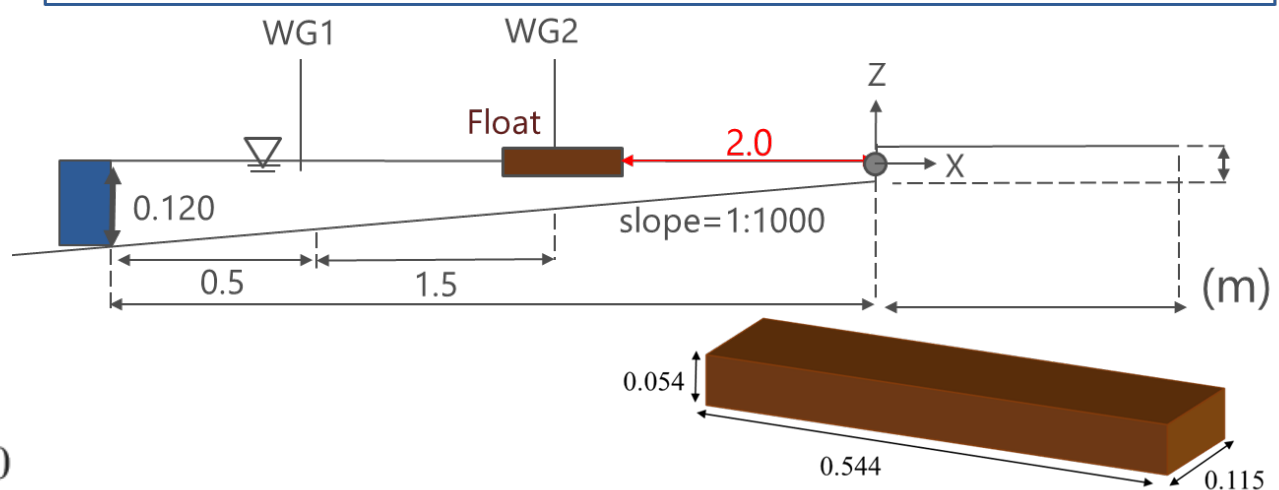
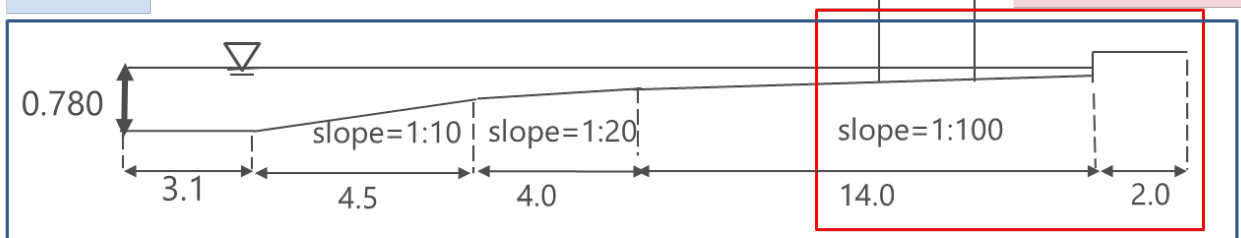


水位・流速の解析結果

WG2

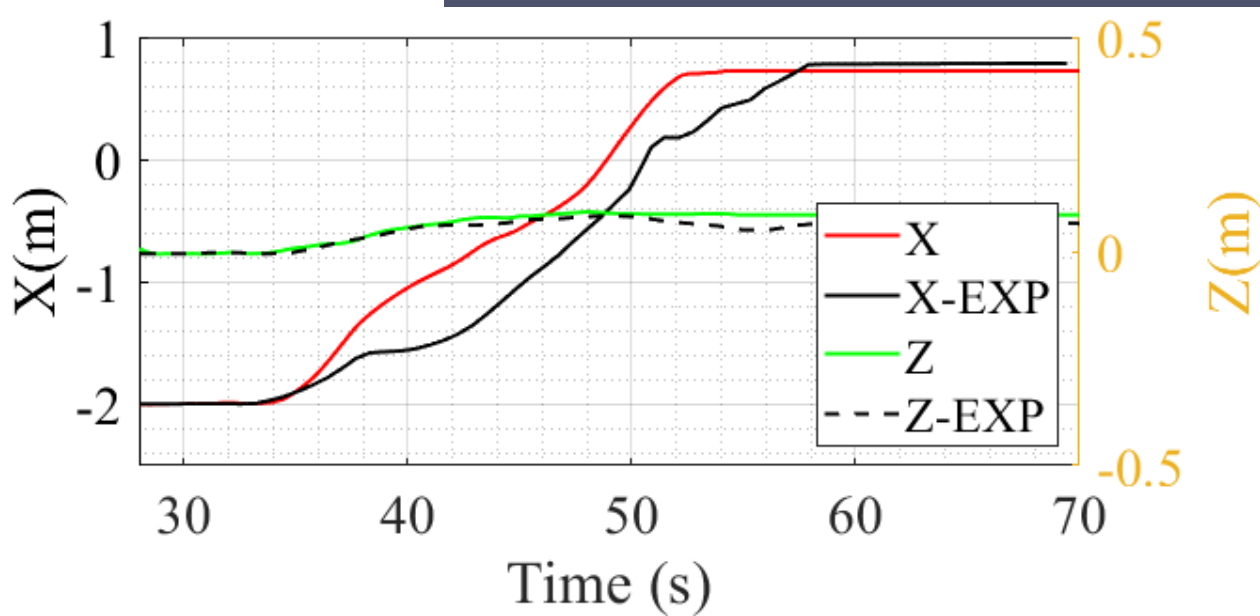


SWASH

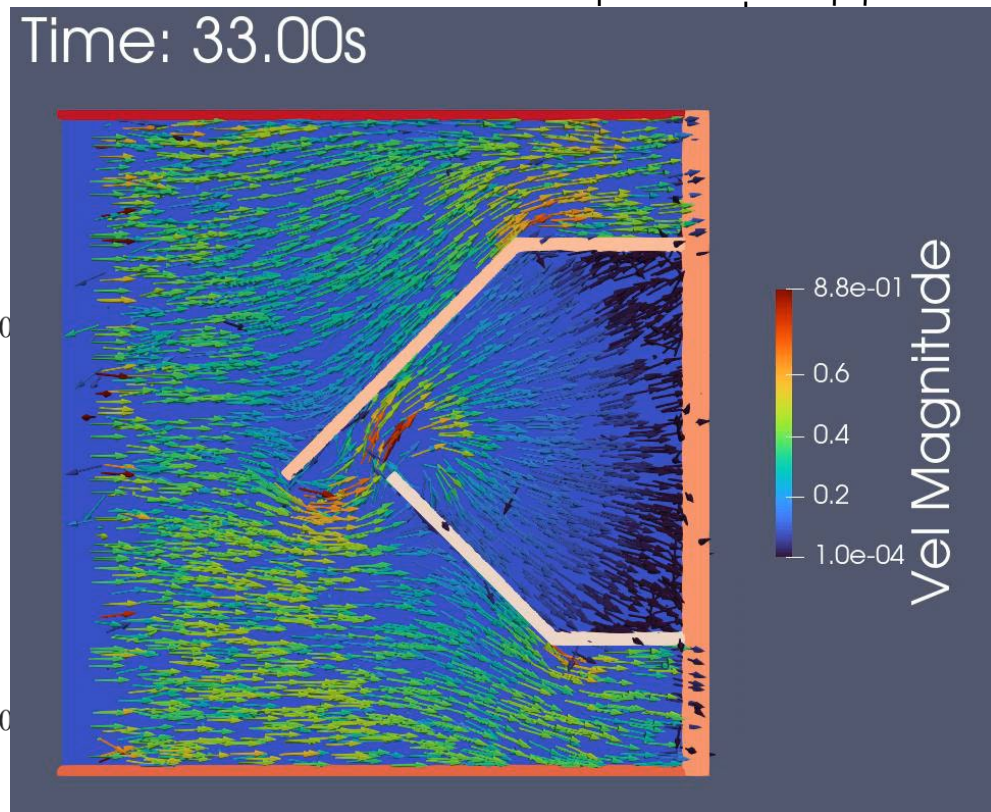
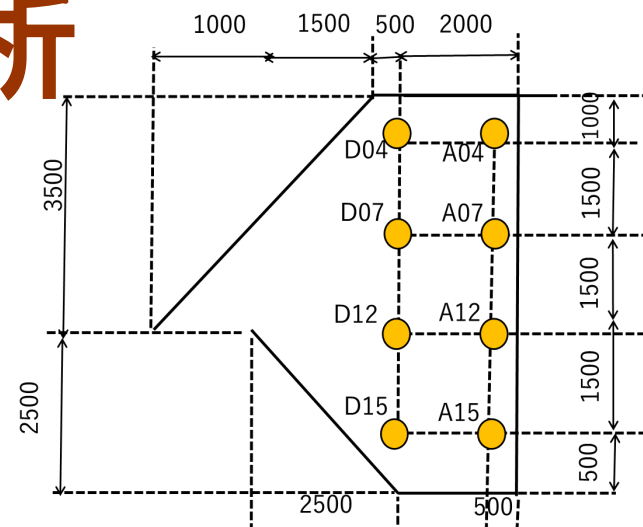
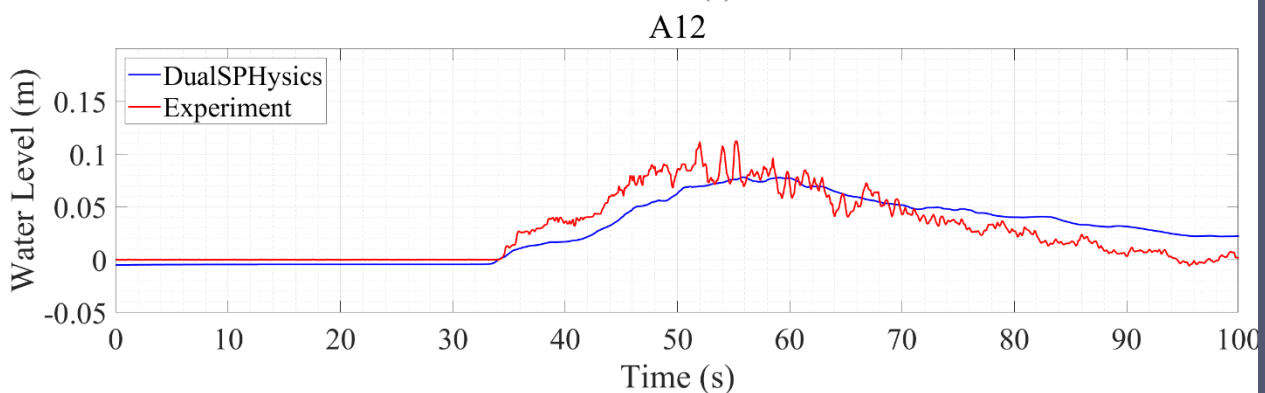
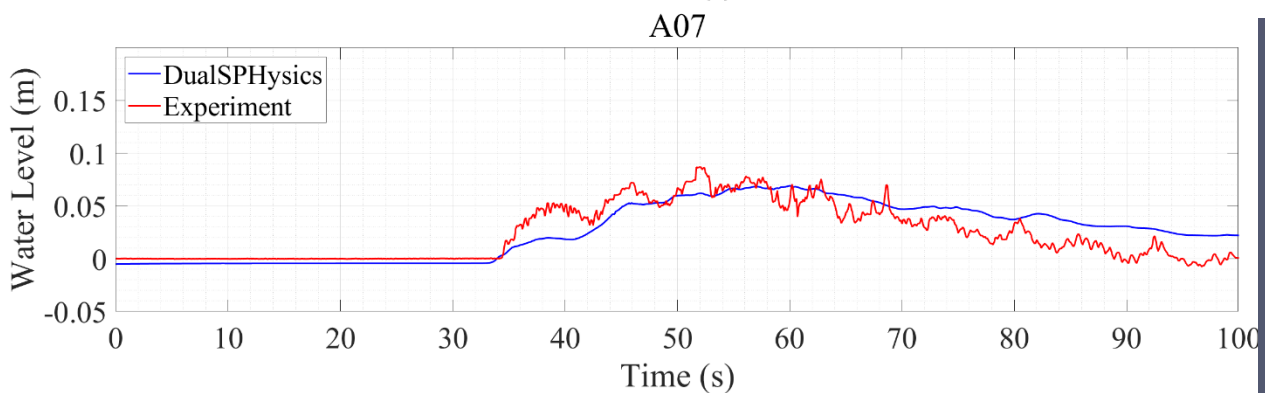
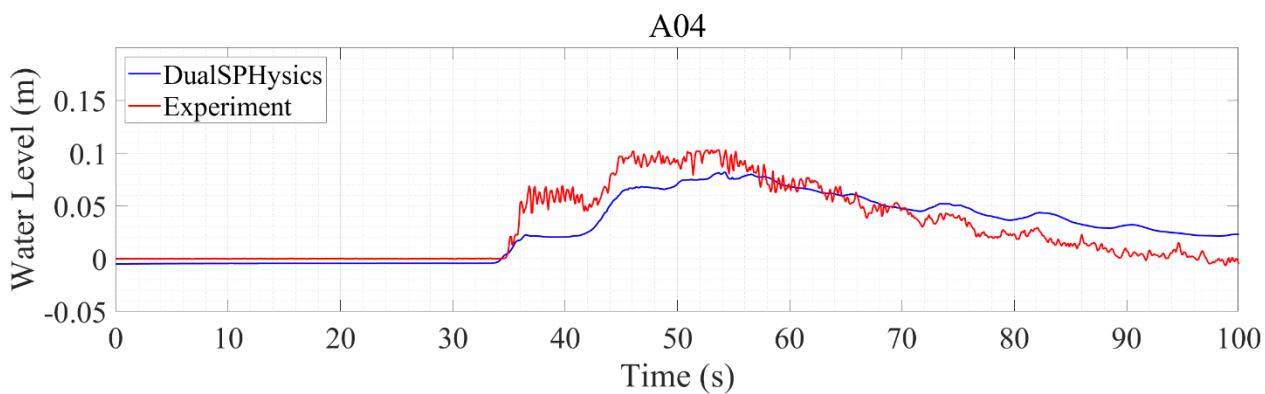


浮体の移動解析結果

Time: 28.00s



港内の津波流動解析



想定される用途

- 本技術の特徴を生かすためには、通常の格子法での解析が難しい物体の移動現象の解析に適用することが望ましいと考えられる。
- また、達成された計算手法の適用性に着目すると、流体解析分野や用途に展開することも可能と思われる。

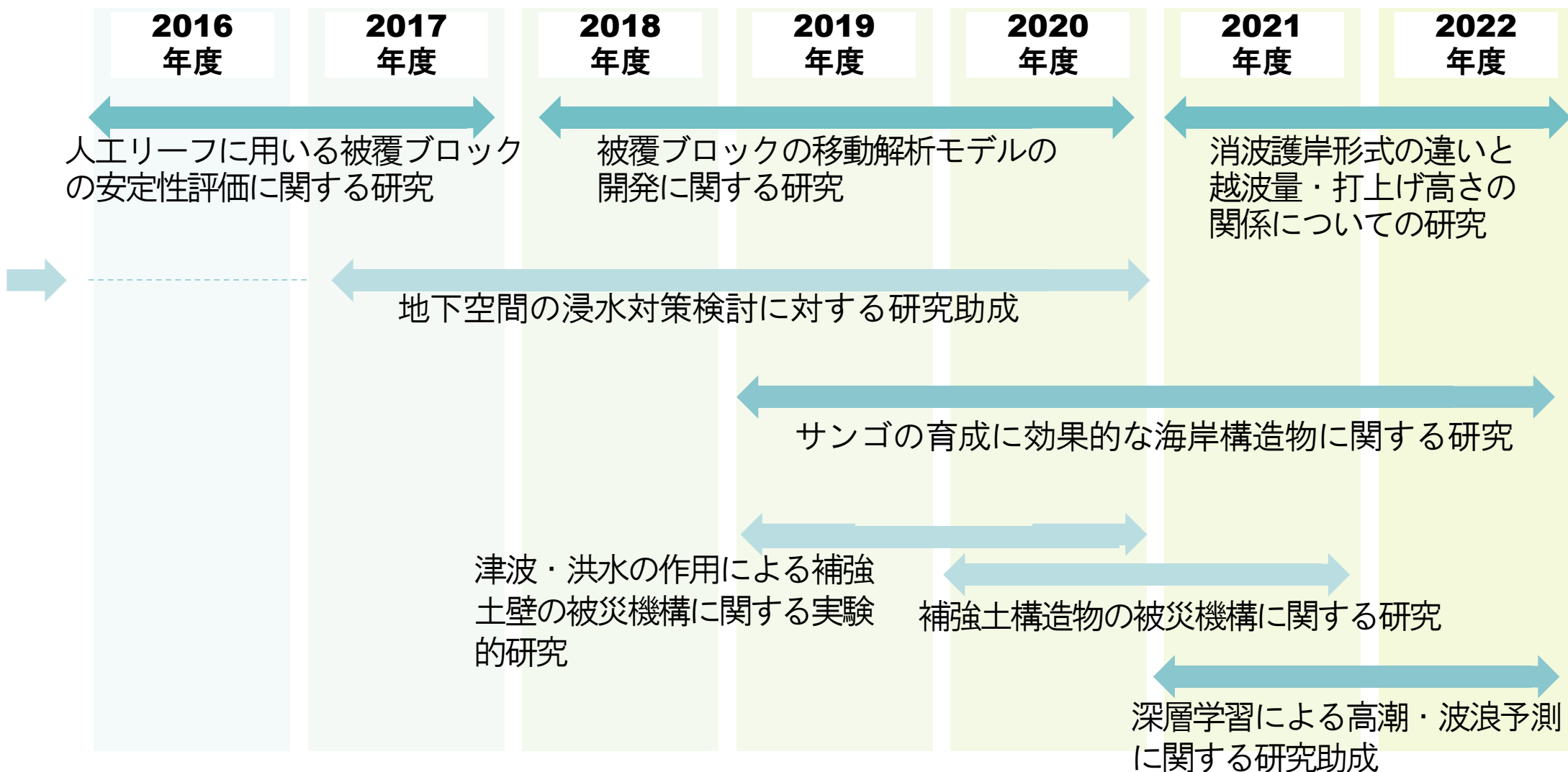
実用化に向けた課題

- 現在、津波による構造体の移動について解析が可能のところまで開発済み。
- しかし、長時間作用する波浪に対する計算コストの問題が未解決である。
- また、土砂の移動について適用を試みている段階だが、未だ課題は多く残されている。
- 実用化に向けて、解析の再現精度を向上できるように技術を確立する必要もある。

企業への期待

- 未解決の計算コストの問題については、高性能GPUの活用により克服できると考えている。
- GPU利用技術を持つ、企業との共同研究を希望。
- また、水災害防災分野への展開を考えている企業には、本技術の導入が有効と思われる。

産学連携の経歴



お問い合わせ先



関西大学
KANSAI UNIVERSITY

社会連携部

<https://www.kansai-u.ac.jp/renkei/>

産学官連携センター・知財センター

<https://www.kansai-u.ac.jp/renkei/industry/>



sangakukan-mm@ml.kandai.jp