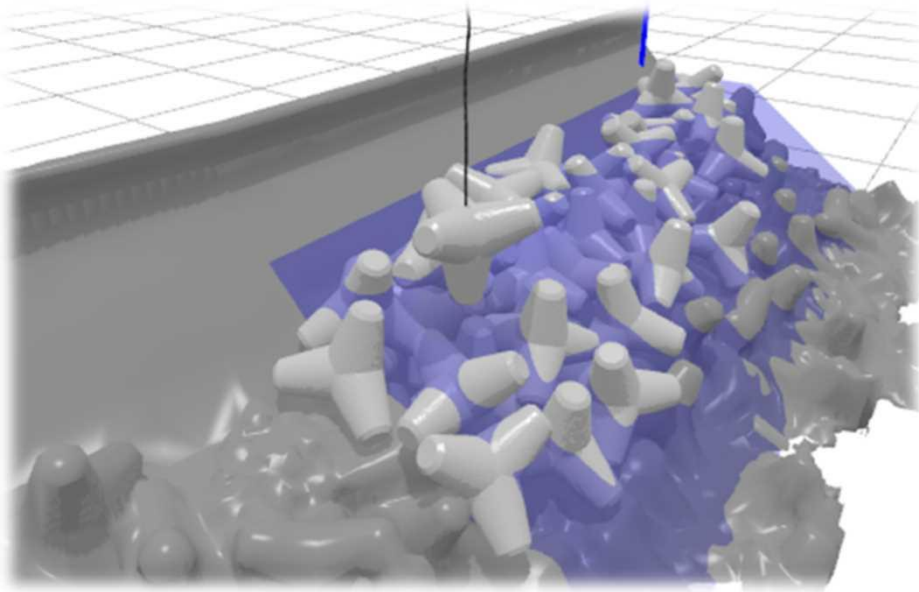


第12回 横浜技調技術交流会
2022年9月28日

リアルタイム消波ブロック 据付シミュレーション



(株)不動テトラ 総合技術研究所
海洋・水理グループ
三井 順

背景

- 近年、港湾では測量や設計、施工、維持管理等において3次元データの活用が進んでいる
- 一方で、消波工に関する検討は比較的少ない



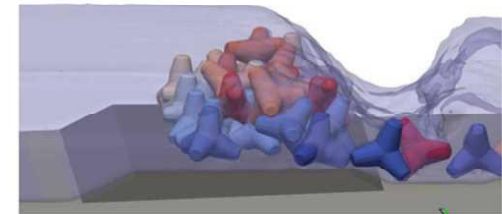
• 消波工に着目した3次元データの活用技術の開発

- UAV等による消波工の3次元測量による劣化度の判定
- 既設消波工の3次元形状に基づく消波ブロックの必要個数の計算
- 個々の消波ブロック形状を考慮した精緻な数値シミュレーションによる水理機能・安定性の予測

UAV等による3次元測量



波浪シミュレーション



• 消波工における3次元モデル

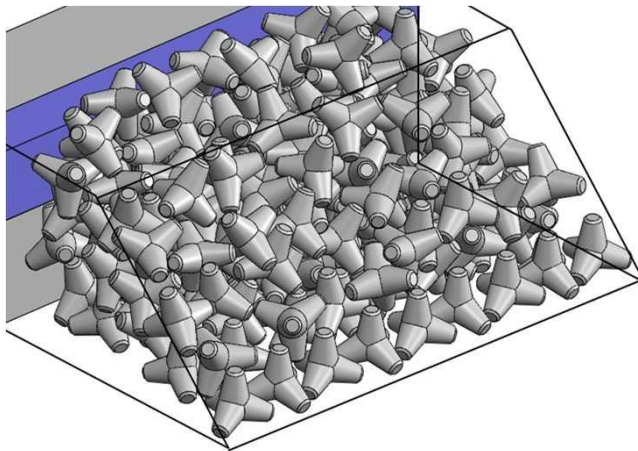
→ブロックの3次元的な配列まで再現した消波工のソリッドモデルが重要

✓ソリッドモデルなので、**ブロックの重心と位置情報**がわかる（設計）

✓**ブロック1個ごとの工事情報**を付与させることが可能（施工）

- コンクリート配合情報、品質管理情報、製作・施工管理情報

✓完成時のデータを経年変化の確認や被災状況確認等に活用できる（維持管理）



消波工の3次元モデルを適切に作成する方法が課題

消波工の測量点群を用いた 消波ブロックのソリッドモデリング技術（既存技術）

- UAVやマルチビームで測量した**既設消波工の3次元点群データへ消波ブロックのソリッドモデルを自動的に配置**する技術を紹介

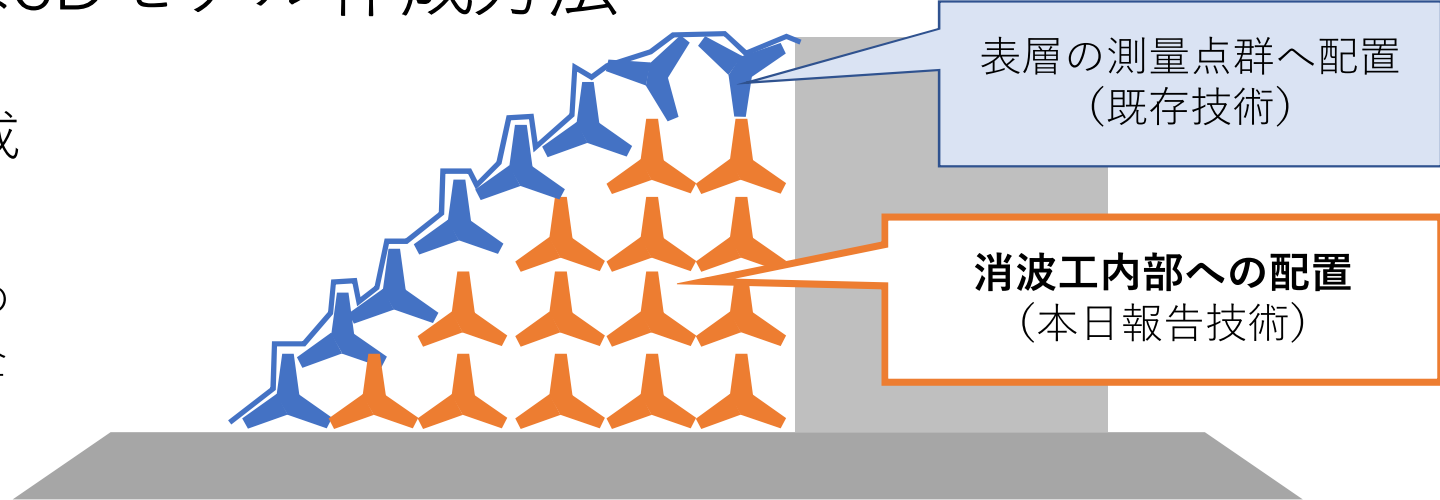


- ブロック1個ごとの位置・姿勢が得られる
- 配置に要する時間はブロック1個あたり約1分

本日報告技術：新たな3Dモデル作成方法

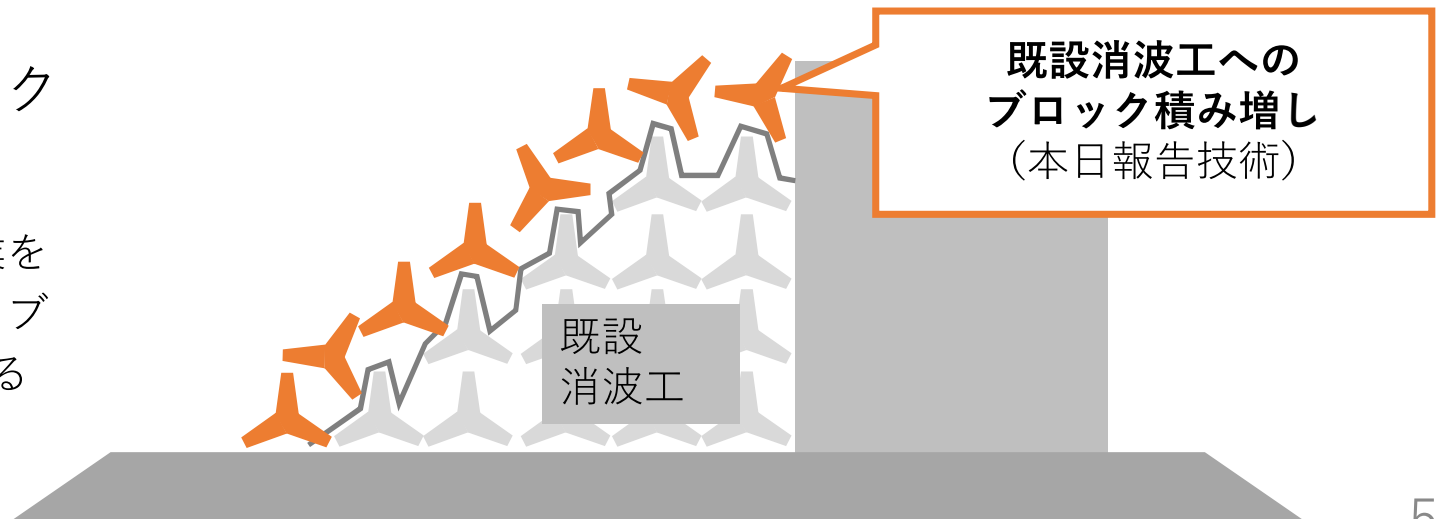
- 消波工全体の3Dモデル作成が可能

- 消波工内部については1個1個の位置や姿勢は再現しないが、全体としての空隙率等は再現する



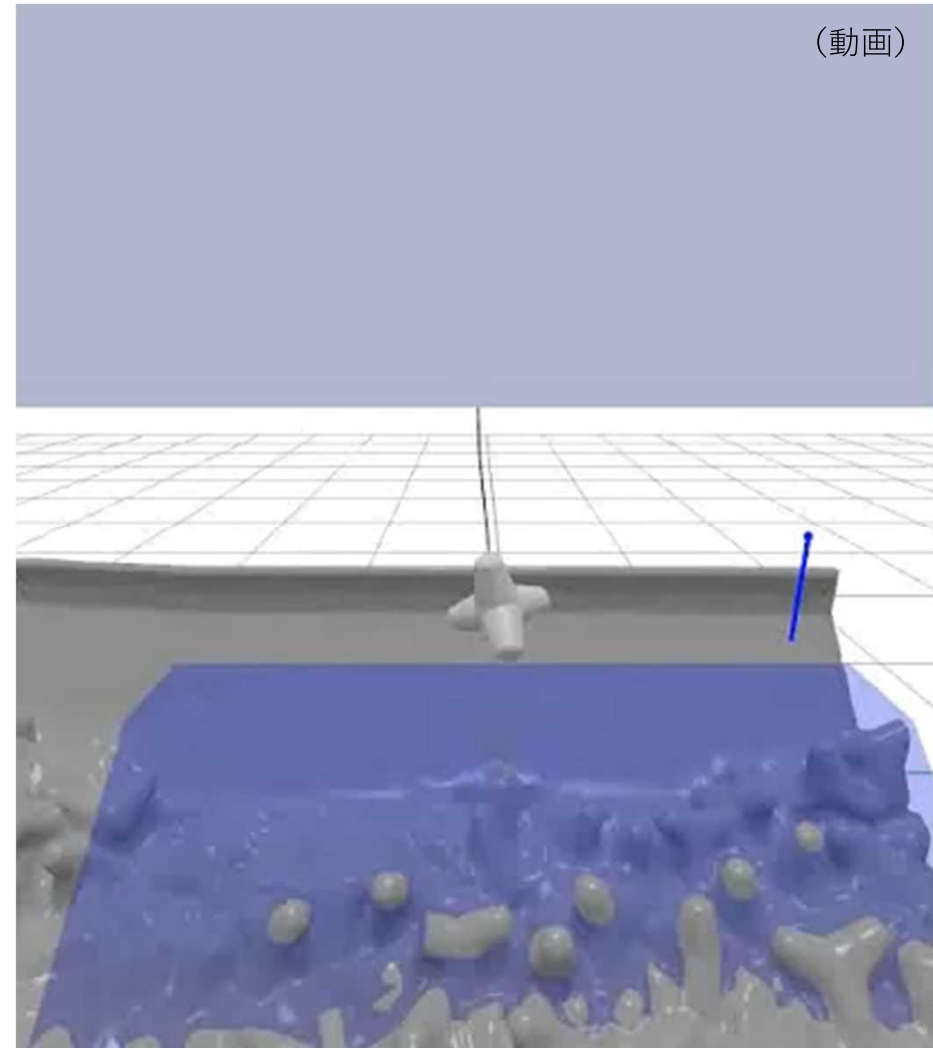
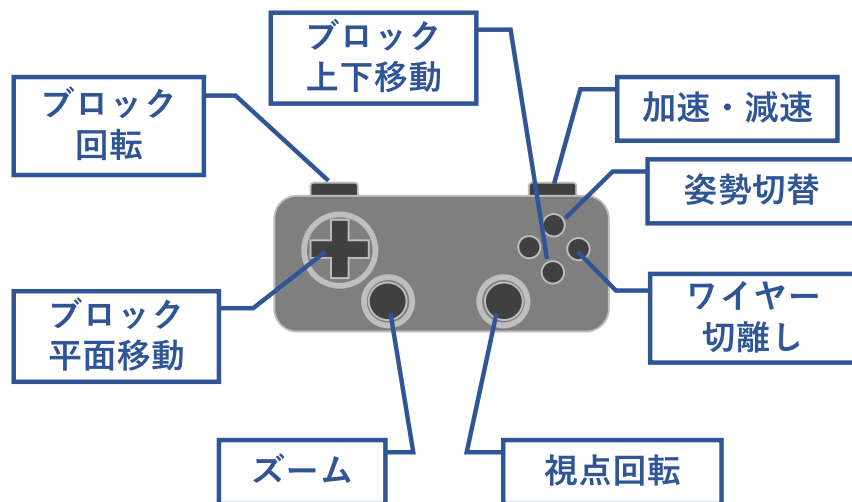
- 既設消波工への消波ブロックの積み増しが可能

- ワイヤーによる実際の据付作業を模したシミュレーションによりブロックモデルを1個ずつ設置する



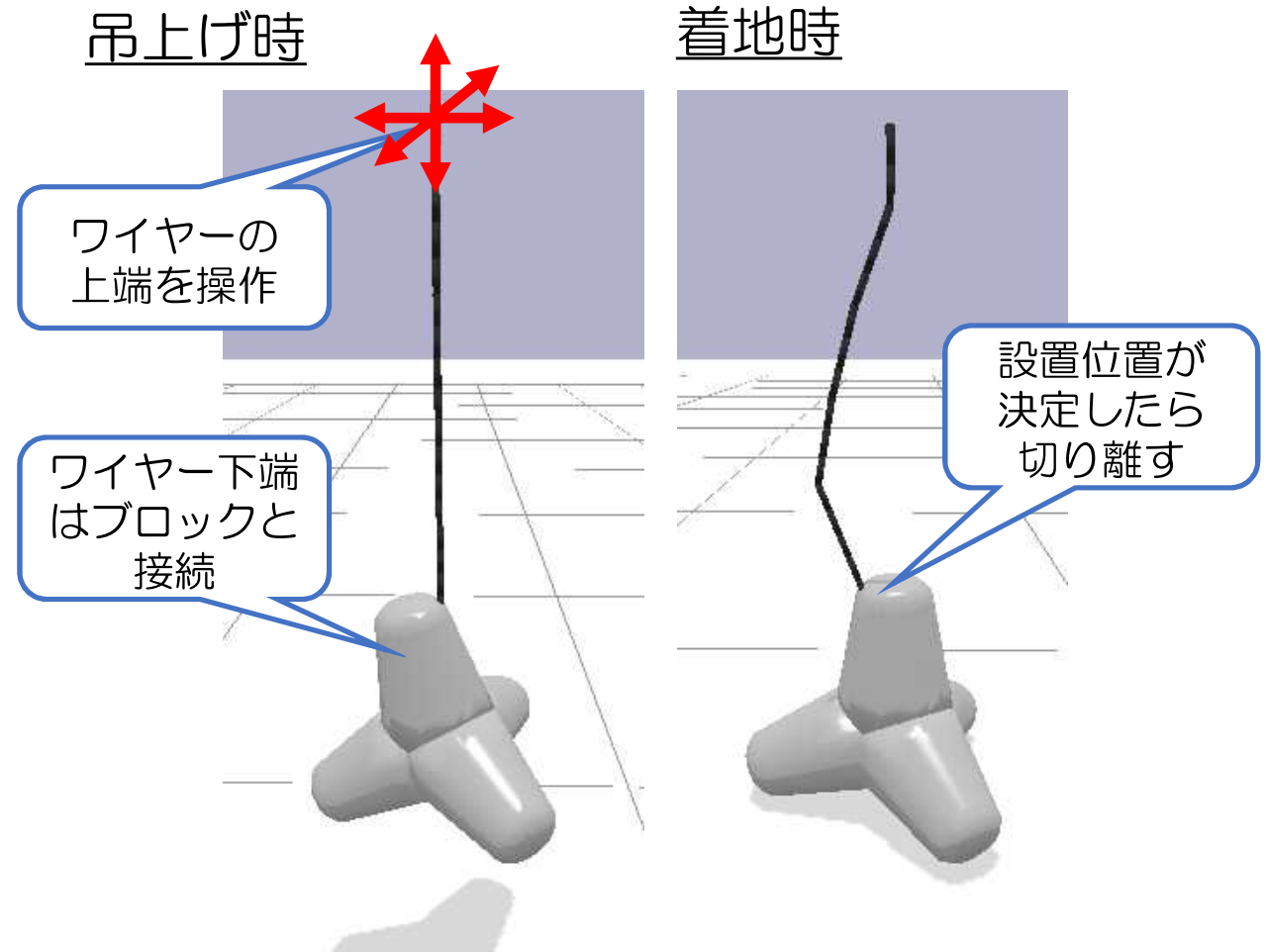
消波ブロック据付シミュレーション状況 (1)

- 既設構造物の3次元形状データを読み込み、そこへブロックを設置していく
- リアルタイムでブロックを操作



ワイヤーのモデル化

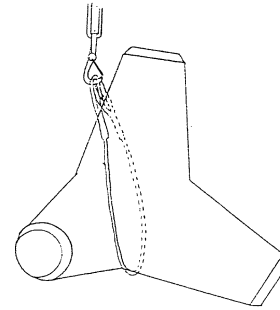
- 複数の棒状の剛体をジョイントしてワイヤーをモデル化
- (従来の自由落下による方法では難しかった) ブロックの設置位置や姿勢の細かな制御が可能



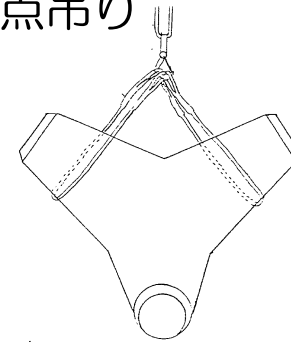
ブロック吊上げ姿勢

- 吊上げ位置（拘束位置）を変えることで実施工での吊上げ姿勢を再現
- シミュレーション時に容易に切り替え可能

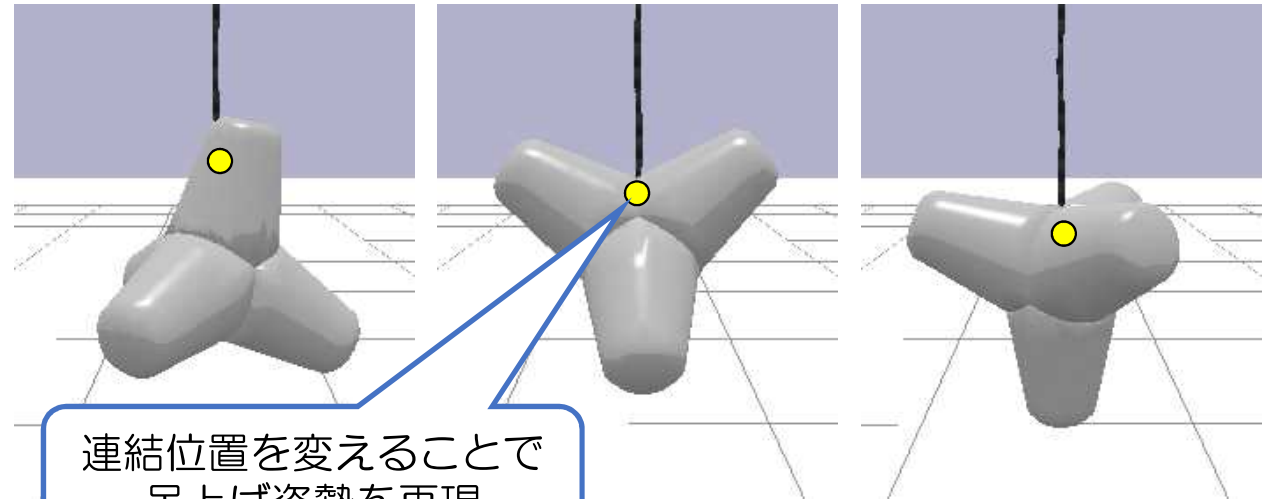
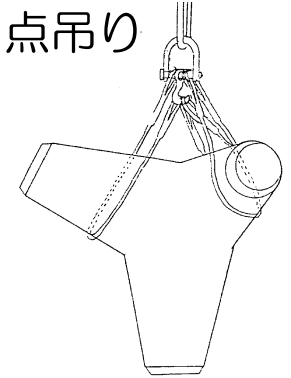
斜め吊り



2点吊り



3点吊り



連結位置を変えることで
吊上げ姿勢を再現

VR機器による操作（開発中）

PC



- ①PC上でプログラム実行
- ②VR空間でブロック据付操作

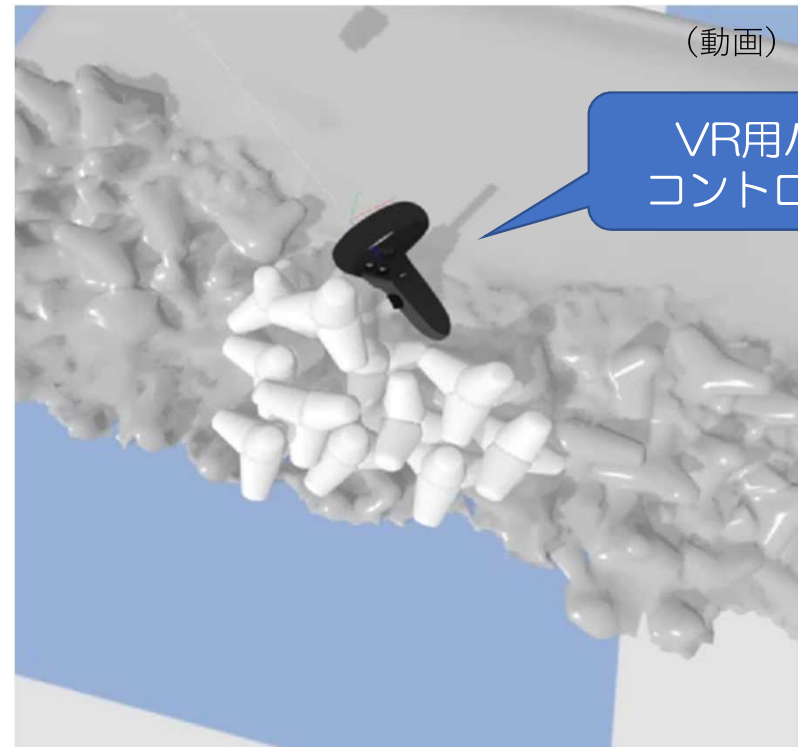
Wi-Fi 接続



VRヘッドセット・コントローラー

- 消波工の凹凸や距離感をより現実的に把握
- 設置するブロックを直感的に操作可能

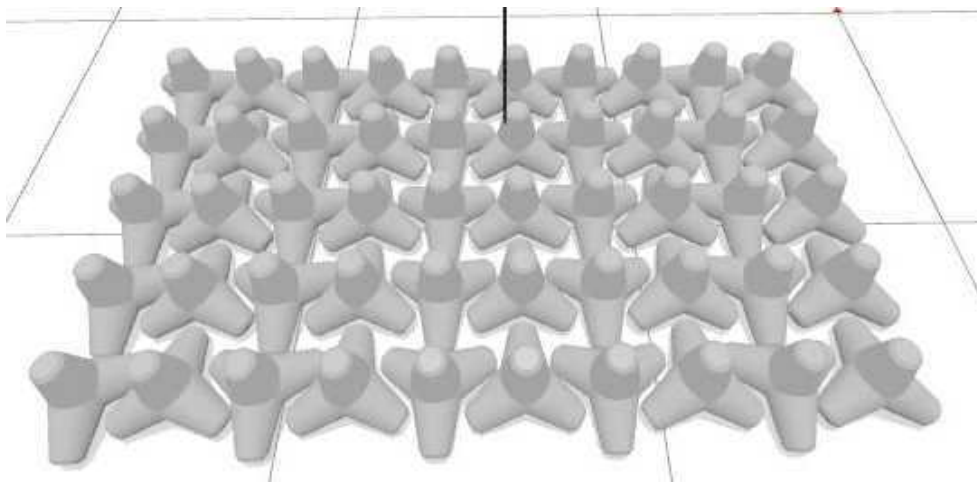
VR用ヘッドマウントディスプレイへの出力映像



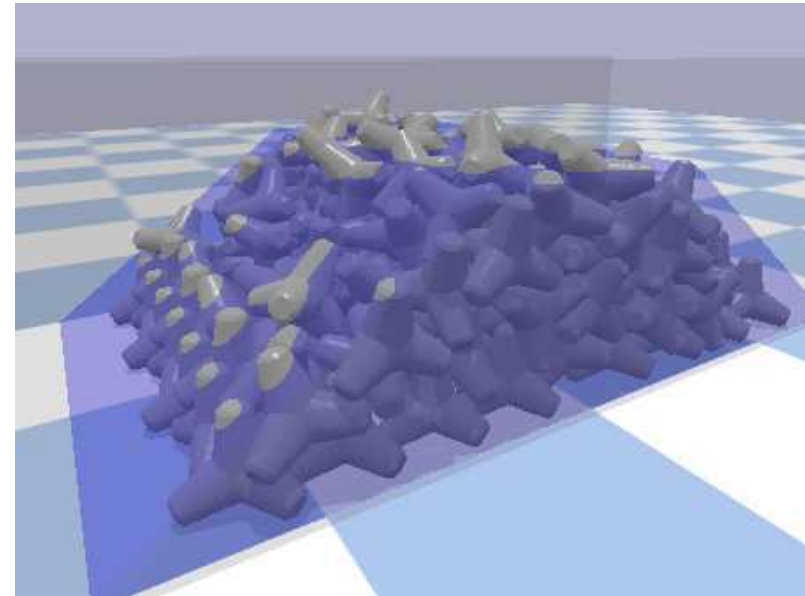
自動設置機能

1. 一定の間隔および向きで規則的にブロックを呼び出すことで自動的に配置する機能
2. 指定した任意の領域内に所定のブロック個数が収まるようにブロックを自動的に設置する機能

自動設置機能による規則的な配置例

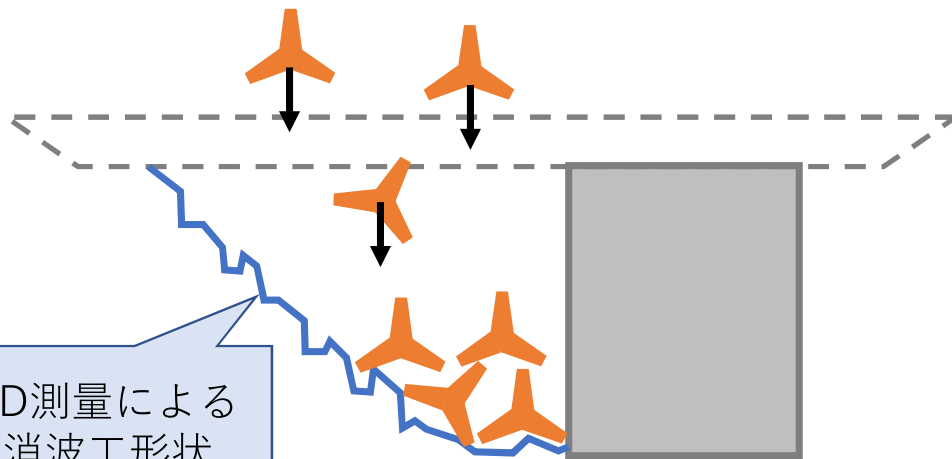


傾斜堤（台形状）への自動設置例

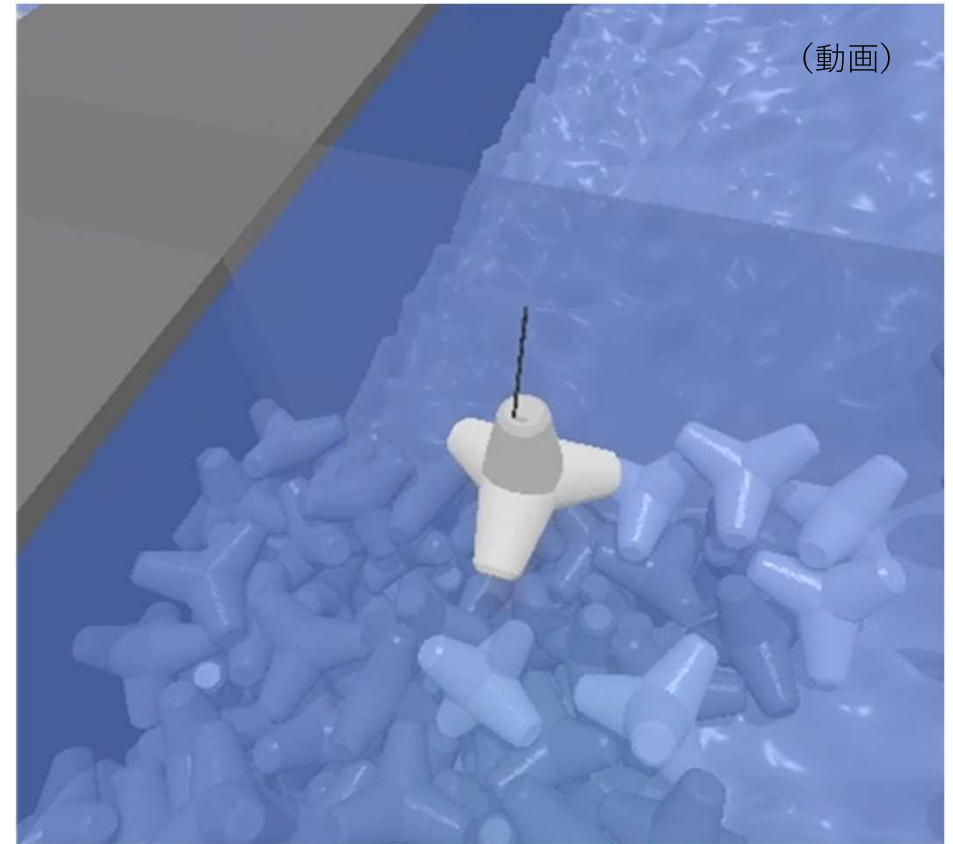


消波ブロック据付シミュレーション状況 (2)

- 既設消波工の表面形状に合うようにブロックを設置
- モデルを上下反転して消波工底面からブロックを自由落下により投入する

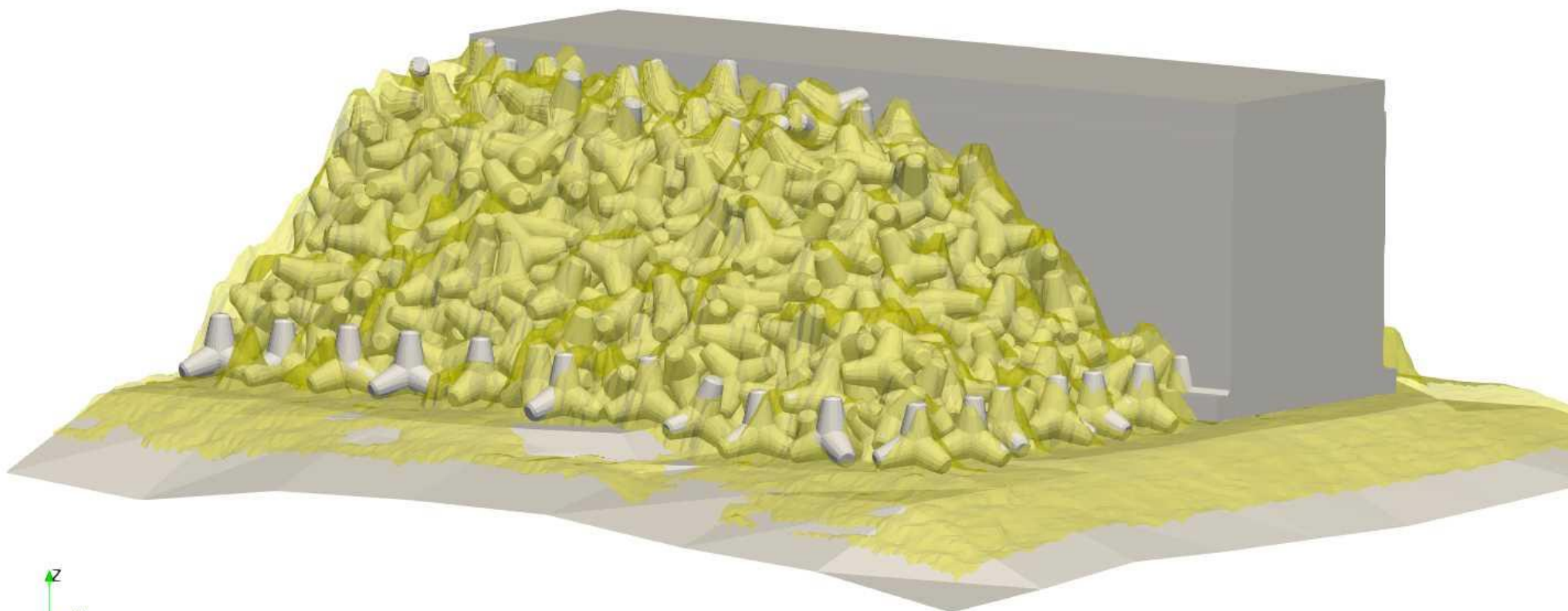


3D測量による
消波工形状



設置完了状況

(動画)

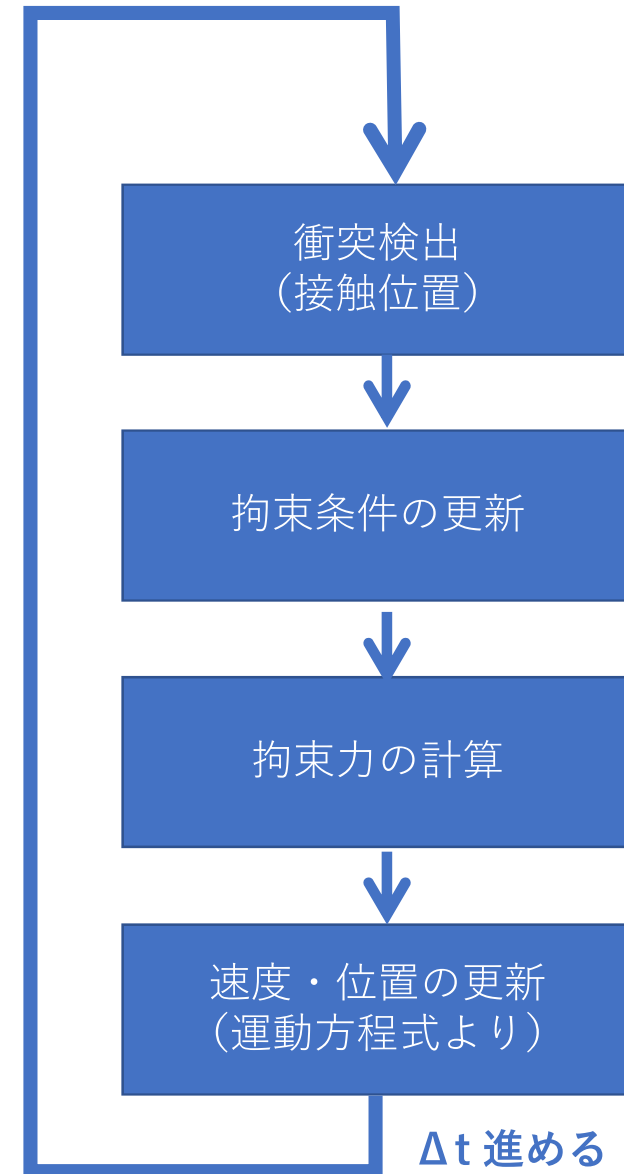


物理エンジン PyBullet について

- オープンソースの物理エンジン
- 衝突検出等を含むリアルタイム物理シミュレーションを実行可能
- VR機器に対応

剛体運動計算の流れ

- 並進と回転の6自由度を持つ運動方程式を離散化して解く
- 物体同士の接触や衝突の扱いが重要

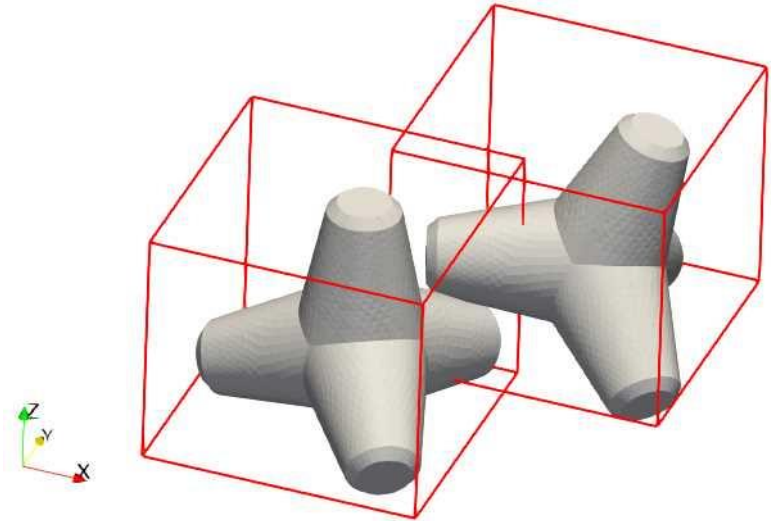


物理エンジンにおける衝突検出方法

Broad phaseとNarrow phaseの2ステップ

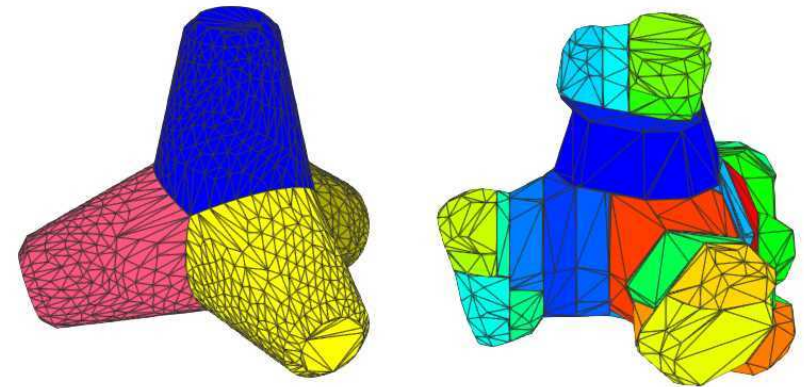
Broad phase

- 対象とする物体を包含する直方体を考え、2つの直方体のペアがオーバーラップするかを判定し、絞り込む



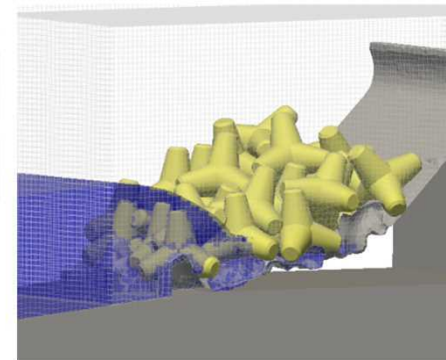
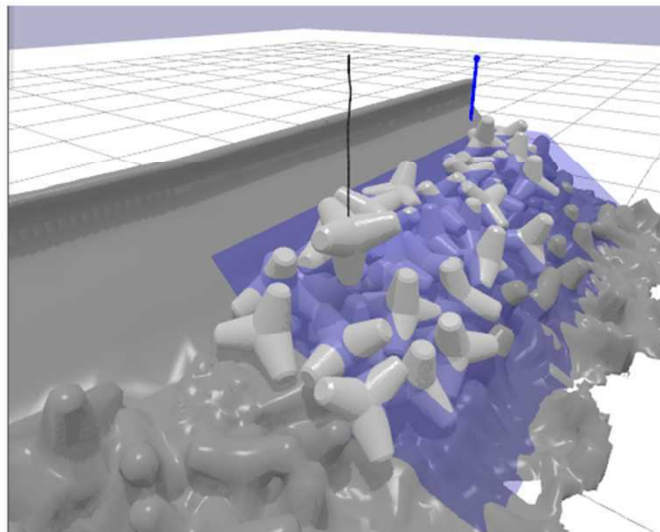
Narrow phase

- 絞り込んだ2物体に対して詳細な衝突判定を実施する
- 凸形状の場合は比較的高速に衝突判定できるため、消波ブロックモデルを凸形状の組み合わせとして作成する



活用具体例：既設消波工への補修検討

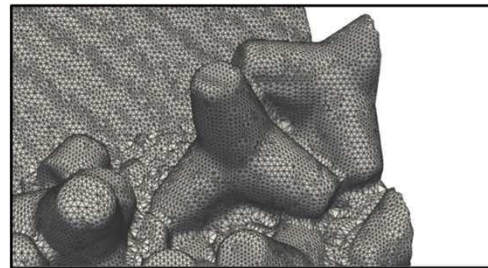
- UAV測量により取得した既設護岸の3Dデータを用いて消波ブロックの積み増し検討を実施
- 得られた消波工の3DデータをOpenFOAMの波浪解析に取り込み、ブロック設置効果を検証



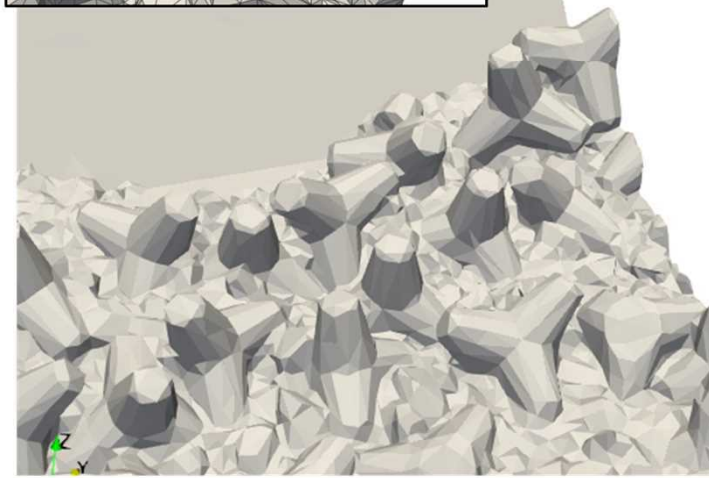
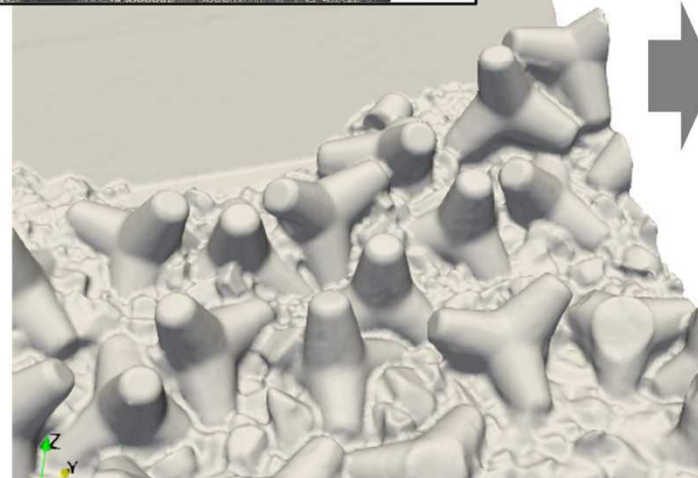
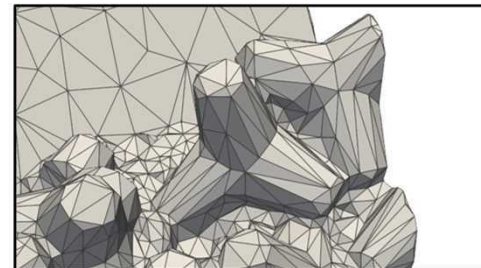
既設構造物の3Dデータの前処理

- UAV測量で得られた既設構造物データを簡略化して、計算負荷を低減
- ブロック据付シミュレーションで読み込むためにOBJ形式に変換

元の高解像度データ

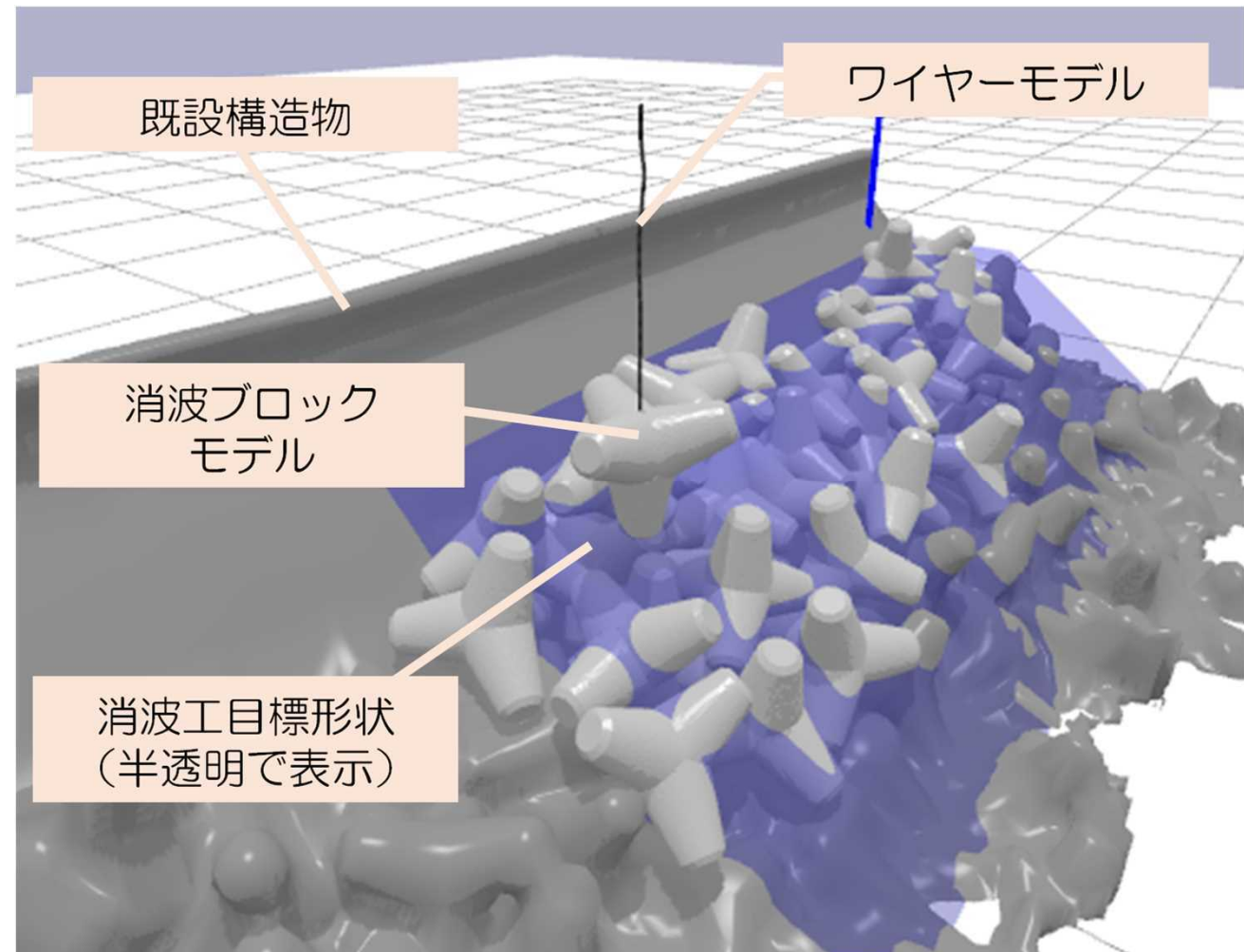


簡略化後のデータ

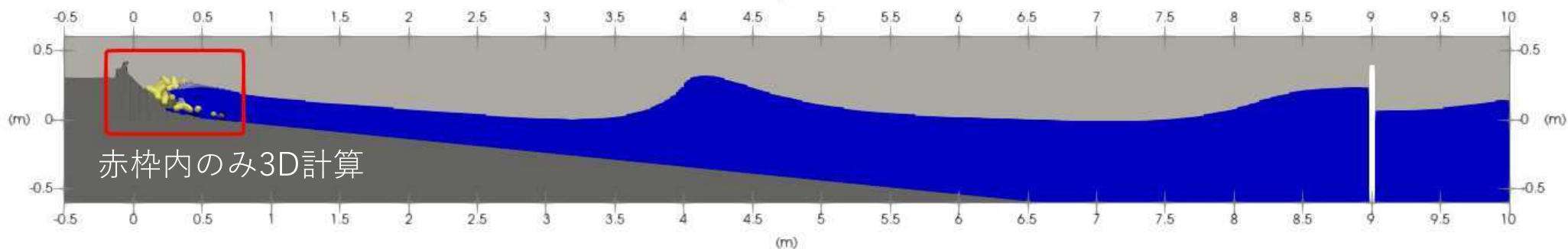


ブロック据付シミュレーション状況

- 設置後のブロックのデータはSTL形式で出力可能
- 1つ1つのブロックの重心位置および姿勢をテキストデータで出力可能

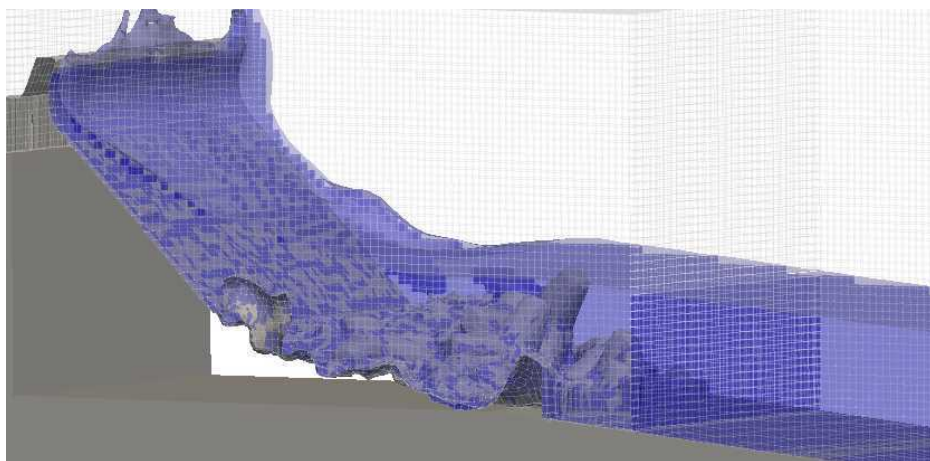


OpenFOAM（流体解析プログラム）による波作用状況のシミュレーション

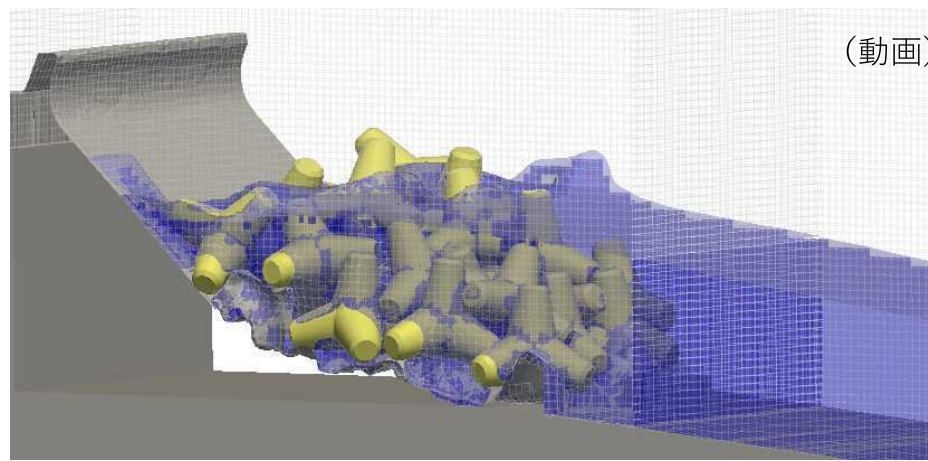


越波状況の比較例

ブロック積み増しなし



ブロック積み増しあり



まとめ

消波工の3次元デジタルモデルを作成するための、**消波ブロック据付シミュレーション手法**を開発した

- ワイヤーを用いた実際の据付作業を模擬する方法で、消波工の積み増しや新設時の3Dモデルの作成が可能
- 既設消波工全体の3Dモデルによる再現も可能
- 物理エンジンを用いたリアルタイムな物理シミュレーションにより容易に3Dモデルが作成可能
- 消波工の水理機能の高精度な数値シミュレーションや、現場でのブロック据付作業におけるブロック設置方法の検討など、様々な検討への活用を目指す

ご清聴ありがとうございました

Support the future
with technology

