

京都大学大学院工学研究科 学生員 ○山中 駿
 京都大学大学院工学研究科 学生員 後藤 崇文
 港湾空港技術研究所 正会員 鶴田 修己
 京都大学大学院工学研究科 正会員 Khayyer Abbas
 京都大学大学院工学研究科 正会員 後藤 仁志

1. はじめに

海岸・港湾における消波護岸の越波量予測の精度向上は、我が国の海岸域における防災計画を検討する上で不可欠な課題である。しかし、数値解析においては、砕波を伴う激しい現象下での不安定性や消波モデルの再現性の低さに未だ問題が残されている。

そこで本研究では、激しい自由水面の変形を伴う非圧縮性流体の挙動をロバストに計算することが可能な粒子法的一种である ISPH (Incompressible Smoothed Particle Hydrodynamics) 法¹⁾とその高精度化スキーム²⁾を活用しつつ、従来用いられてきた消波モデルに対して新たな消波境界の設定方法を提案し、越波解析の高度化を図る。

2. 数値解析手法

本研究では、ISPH-HS-HL-ECS-GC-OPS-ADS-LBP 法³⁾から成る粒子法の高精度化手法⁴⁾を用いた。

また、消波ブロック間の流れを再現するに当たり、既往研究では、多孔質構造物内部で流体が受ける抗力を流体の流速に直接関連付ける形でポーラスモデル（例えば、五十里ら²⁾）が構築されるが、チューニングパラメータの決定の困難さや、慣性力が卓越する消波ブロック間隙の流体を正確に記述するための物理モデルの欠落とそれに伴う適用性の低さが問題となっている。これを踏まえ、本研究では、ブロック群による新しい消波境界モデルを構築して、ブロック間隙の流体挙動をより実現象に近い形で再現する。2次元シミュレーション空間に消波境界モデルを構築する提案手順は以下の通りである。

[1] 対象の消波ブロックを、単位幅換算で同体積となる円柱で代表し、消波ブロックを円柱底面（円）に置き換える。この際、円柱の高さは、消波ブロックの最大長とし、体積と高さから円柱の径を定める。また粒子法の場合、置き換える円は図1に示すように、計算粒

子を円の中心から放射状に配置することで表す。

[2] 消波ブロック設置領域の間隙率が実際の対象ブロック群の配置時と一致するように、[1]で作成した円形ブロックを複数配置する。

[3] [2]で作成した各円形ブロックの外縁の固定粒子を1/2の確率でランダムに間引くことで図2のように表層に凹凸を設け、流体の流れ方向すなわち円形ブロックの外周接線方向に働く抵抗力を調整する。

以上の手順で作成したモデルを円形ブロックモデルと呼び、表層の凹凸を設けない・設ける場合を凹凸なし・凹凸ありとして区別する。

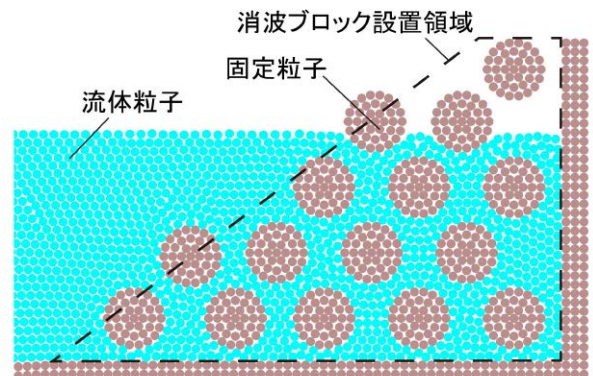


図1 円形ブロックモデル（凹凸なし）

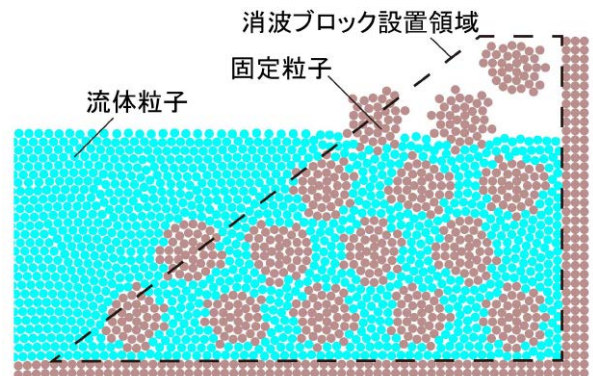


図2 円形ブロックモデル（凹凸あり）

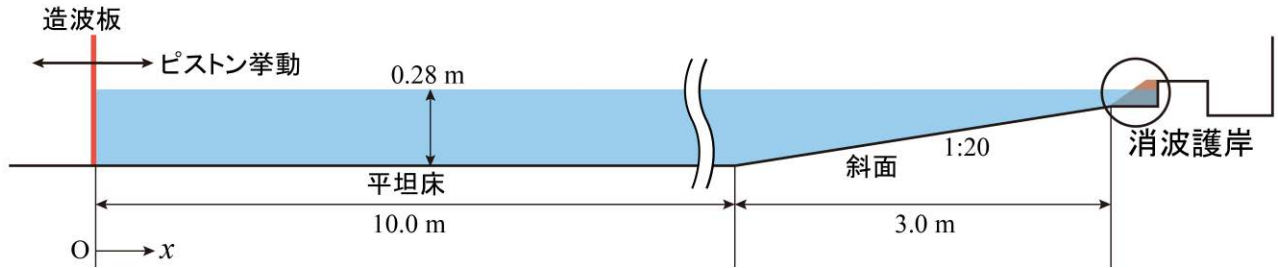


図3 初期条件（消波護岸越波計算）

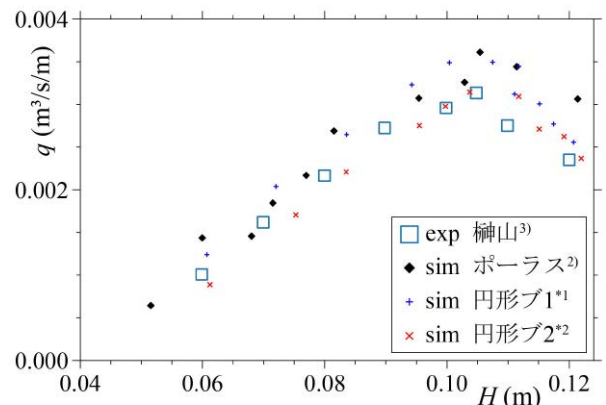
3. 消波護岸越波計算

(1) 計算条件

図3に、計算の初期条件を示す。平坦床の沖側端部 $x=0\text{m}$ に造波板を設置し、ピストン挙動により周期 $T=1.4\text{s}$ の規則波を発生させて、消波護岸において越波流量を測定した。波高は $H=0.06\sim0.12\text{m}$ の範囲で変化させた。

(2) 計算結果

図4に、各波高における越波流量について、榊山³⁾の実験結果と本提案モデルによる計算結果の比較を示す。また、五十里ら²⁾による従来型ポーラスモデルを用いた結果も併せて示す。図より、波高が $H=0.105\text{m}$ 以上の実験では、波高増大に伴う越波流量の減少が確認できるが、従来型ポーラスモデル²⁾では越波流量が実験結果と乖離し、過大評価されている。一方、円形ブロックモデルでは、特に凹凸ありの場合で、越波流量が実験結果を良好に再現できている。図5に、消波護岸前面での碎波の様子について、円形ブロックモデル（凹凸あり）を用いた計算結果のスナップショットを示す。榊山³⁾は、実験結果に関して「実験結果では消波工斜面上の遡上波と消波工内部からの上向きの流れが消波工の天端上でぶつかり合い飛沫を生じた」と言及しているが、本研究における計算結果においても、消波ブロック域内部の高速流によるブロック間隙からの上向き流れと遡上波が激しく衝突し、天端における飛沫が良好に再現されている。



*1 円形ブ1：円形ブロックモデル（凹凸なし）
*2 円形ブ2：円形ブロックモデル（凹凸あり）

図4 越波流量の比較

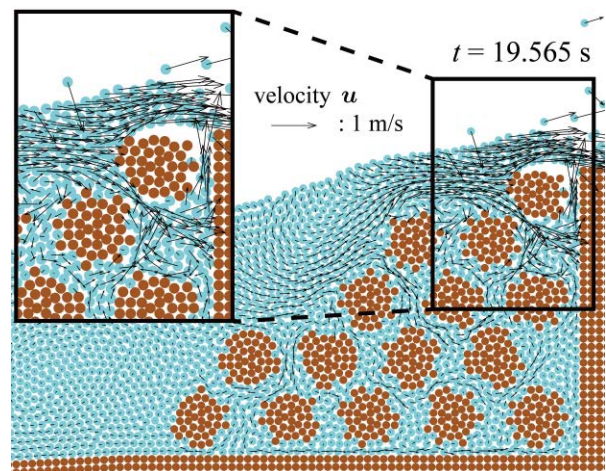


図5 越波の様子（流速ベクトル図）

4. 結論

本研究では、消波護岸のポーラス体を対象に新しい境界設定方法を開発し、越波流量の予測精度の向上を図った。消波護岸越波を対象とする既往の水理実験の再現計算では、提案した境界モデルを用いた計算において、実験結果の越波流量が良好に再現された。また、消波ブロック前面に波が当たった際の水飛沫やブロックの間隙からの水の吹き上がりといった従来のポーラスモデルでは再現が困難であった複雑な消波過程も再現された。

参考文献

- 1) 後藤仁志：粒子法 連続体・混相流・粒状体のための計算科学，森北出版，p. 289，2018。
- 2) 五十里洋行，後藤仁志，鶴田修己，小林祐司：改良型非均一粒子径 MPS 法による消波護岸の越波シミュレーション。土木学会論文集 B2（海岸工学），Vol. 73，No. 2，pp. I_19-I_24，2017。
- 3) 榊山勉：消波護岸の越波に関する数値計算モデルの開発と検証。電力中央研究所 報告書，1997。