

# 多数の津波漂流物輸送と衝突防止工の効果に関する大規模並列計算

京都大学大学院工学研究科

京都大学大学院工学研究科

京都大学学術情報メディアセンター

京都大学大学院工学研究科

学生員 青木一真

学生員 鳥生大祐

正員 牛島 省

非会員 井唯博吏

## 1. 緒言

東日本大震災では、津波来襲時の被害として漂流物の衝突による構造物の脱落が報告されており、数値解析による漂流物の挙動予測は重要と考えられる。米山らは津波漂流物の挙動を予測する手法を開発し、その適応性について検討している<sup>1)</sup>。本研究では、牛島らによる3次元気液多相場の数値解法 MICS<sup>2)</sup>を用いて、津波漂流物が構造物や地表面と衝突しながら輸送される数値実験<sup>3)</sup>を拡張した大規模計算を行った。数値実験の結果から、衝突防止工<sup>4)</sup>によって漂流物の輸送が妨げられ、また津波の到達時刻に差が生じる現象を確認した。

## 2. 数値解法の概要

MICS<sup>2)</sup>では、空間に固定された Euler 格子を用いて流体計算を行う。物体計算では、四面体格子で表現された物体が Lagrange 的に Euler 格子上を移動する。本研究で用いた計算プログラムは、flat MPI を用いて3次元領域分割による並列化を行った。

## 3. 多相場の基礎式と解法

非圧縮性の気相と液相から構成される場の支配方程式は以下のように表される。

$$\frac{\partial \rho_f}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho_f u_j) = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial u_j}{\partial x_j} = 0 \quad (2)$$

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j}(u_i u_j) = f_i - \frac{1}{\rho_f} \frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{1}{\rho_f} \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \mu \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \mu \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right] \quad (3)$$

ここで、 $t$ 、 $x_i$  はそれぞれ時間、3次元直行座標系の座標成分である。 $u_i$  は  $x_i$  方向の気液相の質量平均速度であり、圧力  $p$ 、密度  $\rho_f$ 、粘性係数  $\mu$  は気液相で体積平均された値である。また、 $f_i$  は外力加速度の  $x_i$  方向成分である。上記の基礎式を、コロケート格子状で有限体積法に基いて離散化する。式(1)は質量保存則より導かれ、数値解を求めることにより、気液相の密度  $\rho_f$  および自由水面形状が定められる。式(3)に MAC 系の解法に基づく予測段階、圧力計算段階、修正段階の演算を順に適応する。

## 4. 物体運動の数値計算法

津波漂流物と静止構造物は剛体として扱われ、T型モデルで表現する<sup>5)</sup>。物体の移動計算は、剛体の並進運動に対する方程式と Euler の運動方程式を用いて行う。衝突判定には、物体の表面に配置された衝突判定球を用いて、DEM と同様に接触力の評価を行う。物体に働く流体力は、流体と固体の力学的な相互作用を考慮して求める<sup>2)</sup>。

## 5. 地表面の数値的取り扱い

本研究では、地表面を数値的に再現するために、ボックスと呼ばれる直方体形状の障害物を設定した。ボックスは流体計算セルを最小単位とし、積み木のように組み合わせて形成される。流体計算では、壁面と同様の圧力および流速の境界条件が用いられる。物体計算では、ボックスの配置に基いて地表面の高さを設定し、流体計算セルを最小単位として、三角形要素から構成される地表面を定義する。また、物体の衝突判定球と地表面の三角形要素の衝突判定を行うことで、接触力の評価を行う。

キーワード: 津波, 漂流物, 多相場モデル

連絡先: 〒 606-8501 京都市左京区吉田本町 Tel 075-753-7467

## 6. 数値解法の適用性

本研究では、多数の津波漂流物が衝突を伴いながら輸送される様子の数値実験を行った。なお計算には京都大学のスーパーコンピュータ Cray-XE6(AMD Opteron 2.5GHz, 32 cores / node, 64GB memory / node) を用いて、128 プロセスによる 4096 並列の計算を行った。図1に示すように、 $3.2\text{ [m]} \times 6.4\text{ [m]} \times 0.2\text{ [m]}$  の直方体領域に、勾配のない地面と 9 個の半球状の起伏を設定し、1536 個の車両モデルと 50 本の衝突防止工を配置した。車両モデルと衝突防止工の密度はそれぞれ  $3.57 \times 10^2\text{ [kg/m}^3]$ ,  $2.56 \times 10^3\text{ [kg/m}^3]$  とした。ここに初期水位  $0.08\text{ [m]}$  のダムブレイク流れを発生させ、漂流物の輸送状況について検討した。

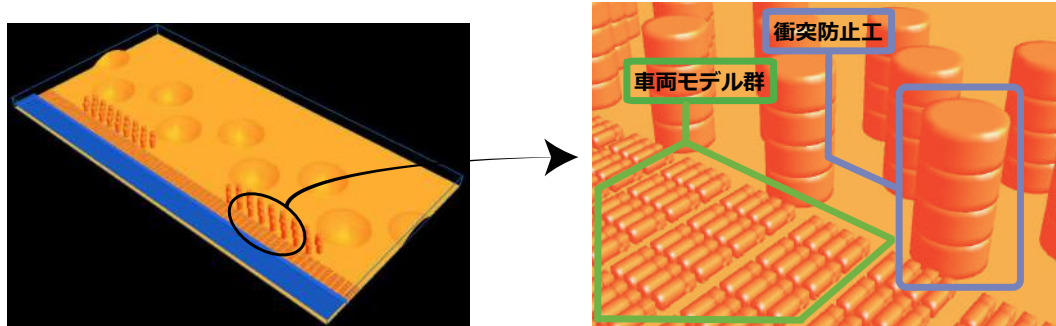


図-1 計算領域と物体の配置

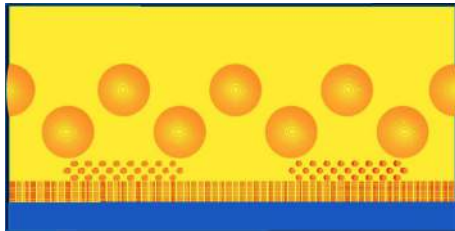


図-2  $t = 0.0\text{ [s]}$

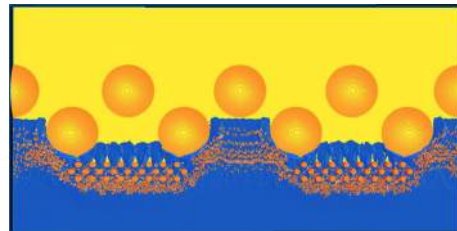


図-3  $t = 1.6\text{ [s]}$

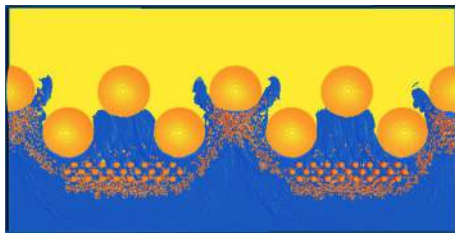


図-4  $t = 2.4\text{ [s]}$

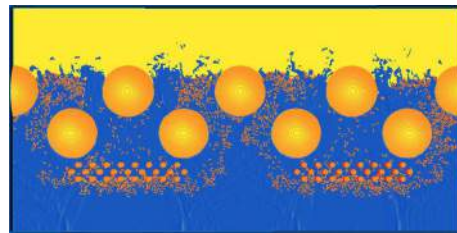


図-5  $t = 5.6\text{ [s]}$

計算結果を図2から図5に示す。円柱群を設置した領域では、流下方向への車両モデルの輸送が衝突防止工によって妨げられる様子が確認できる。一方、衝突防止工を設置しなかった領域では、津波と共に車両モデルが輸送される様子が確認できる。また、図3および図4から津波の到達時刻に差が生じていることも確認できる。

## 7. 結言

本研究では、既報<sup>3)</sup>の数値解析を拡張して、大規模計算による津波漂流物輸送の数値実験を行った。数値解析の結果から、津波漂流物の輸送が衝突防止工によって妨げられ、また津波の到達時刻に差が生じる現象を確認した。今後は、本研究の結果について、水理実験との比較検証を行っていく予定である。

## 参考文献

- 1) 米山望, 永島弘士, 戸田圭一: 津波来襲時の漂流物挙動解析手法の開発, 海岸工学論文集, Vol. 53, No. 551, pp. 886-890, 2006.
- 2) 牛島省, 福谷彰, 牧野統師: 3次元自由水面流中の接触を伴う任意形状運動に対する数値解法, 土木学会論文集, Vol. 64/II, pp. 128-138, 2008.
- 3) 青木一真, 牛島省, 柳生大輔, 鳥生大祐, 井唯博吏: 構造物および地表面との衝突を伴う多数の津波漂流物輸送の数値計算, 第18回応用力学シンポジウム, 2015(発表予定).
- 4) 羽角華奈子, 伊藤一教, 織田幸伸, 池畑由華, 今村文彦: 津波避難ビルに設置された漂流物衝突防止工の影響について, 大成建設技術センター報, 第45号, 39-1.39-6, 2013.
- 5) 牛島省, 福谷彰, 牧野統師, 瀬津家久: 3次元流体中を運動する接触と変形を考慮した任意形状固体モデルの数値解法, 応用力学論文集, Vol. 10, pp. 139-146, 2007.