

第Ⅱ部門

SPH 法を用いたダムブレイクによる消波ブロック群の変形計算

大阪大学 大学院工学研究科 学生員 ○西澤 亮太郎
大阪大学 大学院工学研究科 正会員 荒木 進歩

1. はじめに

津波や高波が消波構造物に及ぼす挙動を正確に把握することは防災・減災・維持管理の観点から重要である．そして波と構造物の相互作用は複雑であり，様々なデータが必要になるため，評価手法として数値解析は有効であるといえる．消波構造物である消波ブロック群の安定性については，その解析難易度の高さから，水理模型実験での評価が一般的である．流体場の解析手法の一つである粒子法は，計算格子を用いないため，近年 FSI シミュレーションとして用いられている¹⁾．

そこで本研究では数値解析例として，角柱構造物を有する 3 次元ダムブレイク問題を取り上げ，角柱に作用する流体力を確認した後，消波ブロック群の移動解析へ拡張することを目的とする．

2. 数値計算

(1) DualSPHysics

本研究で用いる DualSPHysics は SPH 法に基づいて開発されているオープンソースモデルである．

DualSPHysics における計算式を示す．

(連続の運動量保存方程式)

$$\frac{dv}{dt} = -\frac{1}{\rho} \nabla P + \Gamma + g \quad (1)$$

(人工粘度スキーム)

$$\frac{dv_a}{dt} = -\sum_b m_b \left(\Pi_{ab} + \frac{P_b + P_a}{\rho_b \cdot \rho_a} \right) \nabla_a W_{ab} + g \quad (2)$$

(人工粘性項 Π)

$$\Pi_{ab} = \begin{cases} \frac{-\alpha \mu_{ab} \bar{c}_{ab}}{\rho_{ab}} & v_{ab} \cdot r_{ab} < 0 \\ 0 & v_{ab} \cdot r_{ab} > 0 \end{cases} \quad (3)$$

(連続式)

$$\frac{d\rho_a}{dt} = \sum_b v_{ab} m_b \cdot \nabla_a W_{ab} \quad (4)$$

ここで， a, b は添え字で隣接する粒子を表しており， Γ は散逸項， v は速度， ρ は密度， P は圧力， m は質量， g は重力加速度を， r は粒子の位置を表している．また，消波ブロックの移動解析には，物理演算エンジンの Project Chrono とのカップリング機能を用いた．

(2) 数値計算概要

数値解析例とし角柱構造物を有する 3 次元ダムブレイク問題を取り上げ，固定された構造物に作用する流体力を計算し，実験値²⁾との比較を行う．その後，図 1 に示すように同じ条件の水槽に，角柱構造物の位置を中心に 2 層にわたって移動を許すテトラポットを 5 つ配置し，水深 0.3m のダムブレイクを作用させ移動過程を観察する．なお，図 1 の右側部分は水深 0.01m の水で満たされている．

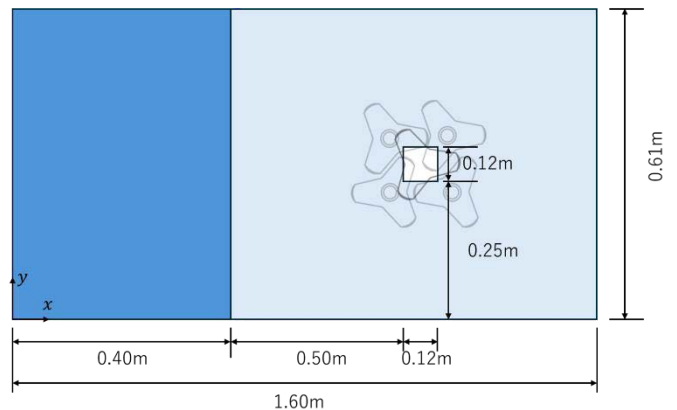


図 1 水路平面図

a) 解析条件

表 1 に解析条件と主要なパラメータを示す．本研究において空間解像度を表す初期粒子間距離 dp は 0.005m とした．用いたテトラポットは 5t 型を 1/10 の大きさで再現したものであり，ブロック高さ 0.193m に対する粒子間距離の比は 1/40 程度となっている．これは従来の比よりも小さく，ブロックに特別な処置³⁾を施さずとも，粒子が入り込むことを意図したためである．

表 1 数値計算条件

項目	値
kernel関数	Wendland kernel
初期粒子間距離 dp	0.005m
境界条件	DBC
剛体間の計算	Chrono
消波ブロックの摩擦係数	1.0
消波ブロックの反発係数	0.25
計算時間	3sec

(3) 数値計算結果

図 2 に構造物に働く x 方向の流体力の時刻歴を示す。図 2 に示す通り、DualSPHysics で算出した流体力は実験値との傾向の一致を確認できた。一方、構造物に作用する初期衝撃力は過大に作用していることが確認できた。

次に、テトラポットにダムブレイクを作用させた際の時刻歴変化を図 3 に示す。なお、流体の色の違いは圧力分布を示している。 $t=0.3s$ 付近で流体がテトラポットに当たり、 $t=0.6s$ 付近でテトラポット群が流体の作用を受け変形し始めた。 $t=1.5s$ 付近でテトラポットの移動は収束し、すべてのテトラポットが元の位置から移動していることが確認できた。

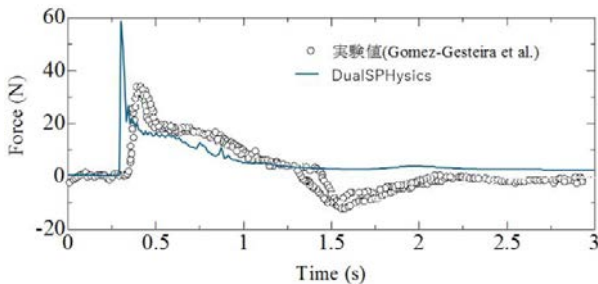


図 2 構造物に作用する流体力の比較 (実験, DualSPHysics)

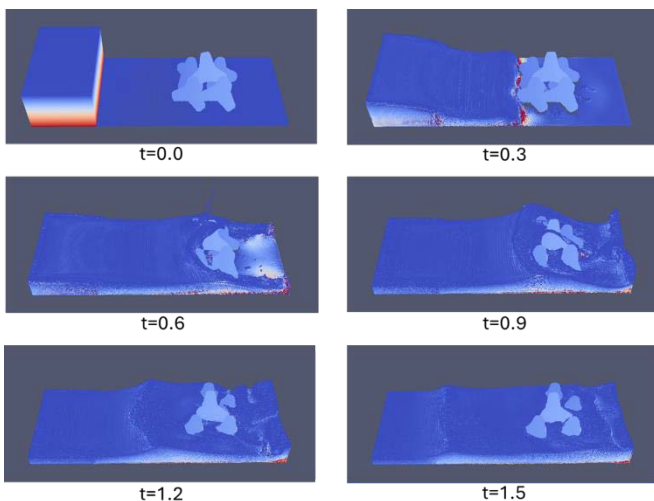


図 3 テトラポットに作用するダムブレイクの時刻歴変化

3. 考察

図2でDualSPHysicsによる流体力が実験値と比較して過大に算定された原因として、DualSPHysics特有の問題である³⁾圧力の不正確性が影響している可能性がある。この問題により、突発的に流体力が過大に算出されてしまう恐れがある。

図 3 では 2 つの観点から流体の作用を受けたブロック群の特徴を確認することができた。一つ目はブロック群として、 $t=0.3\sim 0.9s$ にかけてブロックがかみ合って移動したことが定性的に確認できる。二つ目は個々のブロックとして、 $t=1.5s$ 付近でそれぞれのブロックが別々に移動したことが確認できる。三井ら¹⁾の指摘で DualSPHysics の境界条件の問題により、それぞれのブロックが一体化し一つの剛体のように振る舞うという課題があった。本研究では粒子径を小さくとり、その課題を解決することができた。

4. まとめ

本研究の主な結論は以下のとおりである

- DualSPHysics による固定された構造物に対するダムブレイクの流体力の算定から、その妥当性と課題を確認することができた。
- DualSPHysics により、消波ブロック同士が影響しあい移動する過程を再現することができた。

今後は DualSPHysics による消波ブロック群の移動解析の妥当性の検証に加え、規則波によるブロック群の移動解析に発展させていきたいと考える。

参考文献

- 1) 三井順, 久保田真一, 松本朗: SPH 法による消波ブロック群の移動解析の試み, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol. 76, No. 2, I_823-I_828, 2020.
- 2) Gomez-Gesteira, M. and Dalrymple, R.A.: Using a three-dimensional smoothed particle hydrodynamics method for wave impact on a tall structure, *Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering*, 130, pp.63-69, 2004.
- 3) Fourtakas, G., Domínguez, J.M, Vacondio, R., Rogers, B.D., 2019. Local uniform stencil(LUST) boundary condition for arbitrary 3-D boundaries in parallel smoothed particle hydrodynamics(SPH) models. *Comput. Fluids* 190, 346-361.