

第Ⅱ部門

DualSPHysics を用いた津波作用時における浮体の漂流解析

関西大学大学院 理工学研究科 学生員 ○福井 雅人
 関西大学 環境都市工学部 正会員 安田 誠宏
 ハイドロ総合技術研究所 海岸グループ 山本 剛士
 Universidade de Vigo José Manuel Domínguez Alonso
 Universitat Politècnica de Catalunya Corrado Altomare

1. はじめに

東日本大震災では、船舶の漂流や座礁、転覆、陸上への乗り上げなど多くの被害が起きた。船舶等の漂流物による被害は多岐にわたり、航路の閉塞や、衝突による陸上構造物の破壊などといった被害が各地で確認された。津波漂流物によるこのような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漂流物の移動メカニズムを解明することが重要な課題である。DualSPHysics¹⁾は SPH (Smoothed Particle Hydrodynamics) 法に基づいたオープンソース流体解析コードであり、C++と CUDA で実装され、CPU や GPU を用いて解析を行う。GPU は近年急速な発展を遂げており、それに伴い計算負荷の大きい解析の実行が期待されている。DualSPHysics を用いたブロックや漂流物体についての適用例は多くあるが、船舶やコンテナ等の水域から陸上までの移動を対象とした例は少ない。本研究では、単純な浮体の漂流実験を対象に漂流、遡上、陸上に乗り上げる一連の現象について藤井ら²⁾が行った津波による浮体の漂流実験を対象とし、再現計算を行い DualSPHysics の適用性を検討する。

2. 解析条件

図-1に数値波動水槽の断面図を示す。計算コストを削減するために造波境界からの津波計算には非静水圧波浪モデルSWASH³⁾を適用した。SWASHは非線形浅水方程式を、鉛直方向をシグマ座標系で分割して計算するモデルである。SWASHの解析結果をDualSPHysicsに使用する1-wayカップリング解析を実施した。SWASHでは浮体を設置せずに実験水槽スケールの1次元解析を行い、DualSPHysicsでは浮体を設置して陸上部付近の計算を実施した。浮体の質量は喫水が実験と合うように調整した。津波条件は実験と同様に2種類設定し、wave1(周期90 s, 波高7.5 cm)では軽載時のケースで解析を行い、wave2(周期90 s, 波高10 cm)では軽載時と満載時のケースで解析した。浮体が陸上に遡上してからの衝突計算については、Project Chrono⁴⁾で計算を行った。Project Chronoは、C++で記述されたオープンソースに基づく物理モデルである。実験値のY方向の移動量がおおよそ 0.1 m 以下であったため、水路幅を1 mとした。解析にはGeForce RTX 4090を使用し、解析対象時間を42秒間としたところ、実計算時間は約16時間であった。初期粒子数は約90万個であった。

3. 解析結果

図-2に SWASH と DualSPHysics の津波水位の計算結果と実験結果を示す。いずれの場合も良好に再現できているといえる。DualSPHysics の解析結果が若干過大評価であるが、SWASH で実験スケールの解析を事前に行うことで、DualSPHysics の流入境界位置を任意に変更でき、ある程度の精度を保持したうえで計算コストを削減できることが示された。

図-3に wave2 条件における設置角度毎の浮体の移動量を示す。黒線は実験結果を表している。設置角度 0 度の場合、実験結果を良好に再現することができた。設置角度 45 度の場合、最終到達地点が実験値よりも若干岸側であるが、浮体の漂流する傾向は捉えることができた。しかし、設置角度 90 度の場合は、水中の挙動は実験結果と同様の傾向を示しているが、陸上の漂流距離は実験値より大幅に長くなった。この原因として陸上に遡上した後に、摩擦抵抗力が十分に計算されないために、到達地点が遠くなったと考えられる。数値

Masato FUKUI, Tomohiro YASUDA, Takashi YAMAMOTO, José Manuel Domínguez Alonso, Corrado Altomare
 k625117@kansai-u.ac.jp

振動が生じたことや、底面の流体粒子が境界付近で圧縮され、壁面を貫通することが原因として考えられる。また、浮体が遡上した後、浮体と水平床の間に流体粒子が存在した。流体粒子の存在が個体-流体間の摩擦に問題を生じさせ、浮体と水平床間の衝突計算に影響を及ぼした可能性が考えられる。

図-4 に wave1 条件における、満載時の 5 回の試行結果の試行結果と解析結果の漂流軌跡を示す。満載時において、実験では陸上に遡上せずに、押し波により岸側へ漂流し、引き波によって沖側へ流されている。解析時間が実験データよりも短かったため、浮体の最終到達地点は実験より岸側であるが、解析結果でも実験と同様の漂流挙動を示していることが確認できる。解析結果の X 方向の移動範囲は、実験値のばらつきの中に含まれ、解析モデルの妥当性を確認できた。

4. おわりに

本研究では、DualSPHysics を用いて津波作用時の 3 次元浮体漂流解析を行った。SWASH と DualSPHysics のカップリング解析により、計算コストを下げたうえで、平面水槽を伝播する津波を再現することができた。また、設置角度 0 度の場合に水域や陸上での漂流挙動を再現できた。実験の試行結果との比較から解析結果の妥当性を示した。しかし、設置角度の 90 度の場合に、最終到達地点の再現性について課題が残った。そのため、今後の課題としては材料パラメータや衝突計算等についての詳細な検討が求められる。

参考文献

- 1) Dominguez, J.M., Fourtakas, G., Alomare, C., R.B. Canels Tafuni, A., Garcis-Feal, O., Martinez-Estevez, I, Martinez-Estevez, I., Mokos, A., Vacondio, A.J.C., Rogers, B.D., Stansby, P.K., Gómez-Gesteira, M., DualSPHysics: from fluid dynamics to multiphysics problems, *Computational Particle Mechanics*, 9(5), pp867-895, 2022.
- 2) 藤井直樹, 大森政則, 池谷毅, 朝倉良介, 入谷剛, 柳澤賢: 津波による漂流物の移動に関する基礎的研究, 海洋開発論文集, Vol.21, pp.127-132, 2005.
- 3) Zijlema, M., Stelling, Smit, P.: SWASH: An operational public domain code for simulating wave fields and rapidly varied flows in coastal waters, *Coastal Engineering*, 58, pp. 992-1012, 2011.
- 4) Tasora, A., R. Serban, H. Mazhar, A. Pazouki, D. Melanz, J. Fleischmann, M. Taylor, H. Sugiyama, D. Negrut: Chrono, An open source multi-physics dynamics engine, *High Performance Computing in Science and Engineering – Lecture Notes in Computer Science*, pp.19-49, 2016.

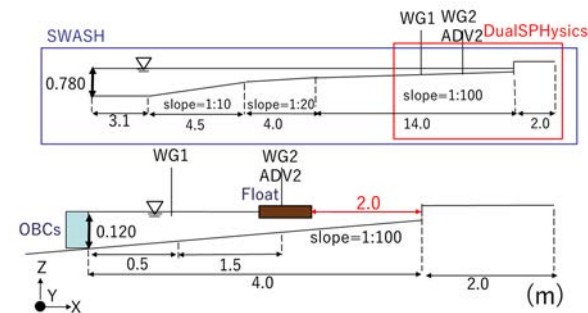


図-1 数値波動水槽の断面図

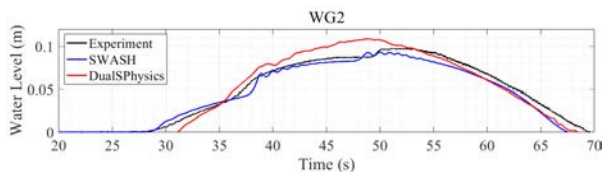


図-2 WG2 における水位変動の解析結果

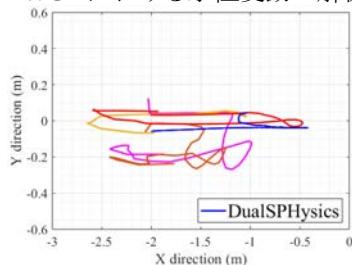
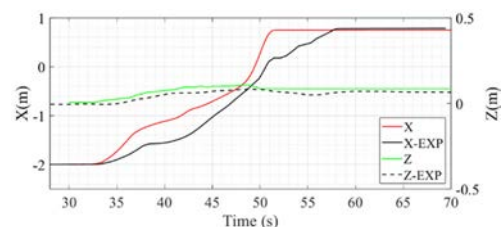
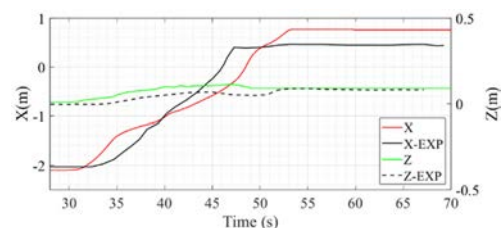


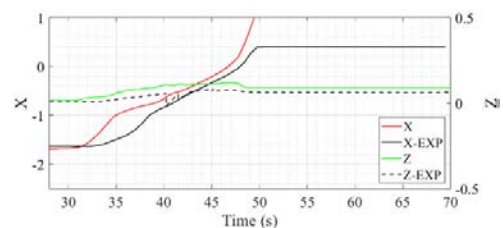
図-4 wave1 条件における XY 平面の漂流軌跡 (暖色は実験結果)



(a) 設置角度 0 度



(b) 設置角度 45 度



(c) 設置角度 90 度

図-3 設置角度の違いによる浮体の移動量 (3D 解析)