第II部門 SPH 法を用いた津波石・台風石移動の数値解析

関西大学環境都市工学部 学生員 〇山本剛士 関西大学環境都市工学部 正会員 安田誠宏

1. はじめに

近年、コンピュータテクノロジーの発展により、GPUの計算処理能力が向上している.それに伴い、数値 シミュレーションによって複雑な現象を再現する研究事例が増えつつある.数値解析手法の一種の粒子法は、 連続体を多数の粒子の集合体として表現するという特徴から、大変形問題への有用性が高いことが知られて いる.海岸工学分野では、ケーソンの滑動や消波ブロックの移動などの大変形問題への適用が期待される.

沿岸域の未解明な研究課題として、巨礫群の打ち上げがある.津波により打ち上げられた巨礫は、日本では「津波石 (tsunami boulder)」と呼ばれている.津波石は沖縄県の先島諸島に多く残っており、1771 年の明和大津波の際に打ち上げられたとされている.また、奄美諸島の太平洋側のサンゴ礁においても巨礫は観測されており、これらは台風時の高波により運ばれた「台風石 (typhoon boulder)」と推定されている¹⁾.津波石を含む津波堆積物は、低頻度で発生する巨大津波のリスク評価に対して重要であることが認識されているが、津波石と台風石を識別する手法は確立されておらず、議論が続いているのが現状である.観測事例が限られているために詳細な移動メカニズムについてもわかっていない.

本研究では、陽解法型粒子法である SPH (Smoothed Particle Hydrodynamics) 法を用いて、津波・高波時の巨 礫の移動を解析することを目的とする.木曽ら²⁾が実施した水理模型実験の再現を試み、実験と解析による 結果の比較を通じて、SPH モデルの最適な設定条件を検討する.さらに、得られた諸量から津波石・台風石 の移動特性の評価を行う.

2. 計算手法および解析条件

本研究では、流体解析コード DualSPHysics³⁾を用いて解析を実施する. DualSPHysics では、弱圧縮性流体 への解法である WC (Weakly Compressible) SPH 法に基づいて計算が行われる. GPU を用いて計算を行うこと ができ、さらに CUDA によって並列化されているために、大規模な計算が可能である.

本研究の解析条件を以下に示す.なお,数値波動水槽を図-1に示す.

(1) 入射波条件 孤立波・不規則波ともに静水深 0.84 m の条件で解析を行う.津波を想定した孤立波は, 孤立波高 0.150 m と 0.075 m の 2 ケース, 台風を想定した不規則波は有義波高 0.295 m, 有義波周期 2.55 s の 1 ケースの計 3 ケースについて解析を実施する.

(2) 石のモデル化 実験で使用された巨礫模型を 3D スキャナで読み取り,STL 形式で保存されたものを DualSPHysics にインポートすることで形状を再現する.石の質量は実験で測定されたものを使用し,解析で は最大長辺が約 10 cm (10C) と約 17 cm (17C) の2 種類の石を対象にする.また,底面と石の摩擦を考慮す るために個別要素法により計算を行う.個別要素法のパラメータは,石は琉球石灰岩の値を用い,底面は鉄 とアクリルの数値を組み合わせて決定する.

3. 解析結果

(1) 水位変動 孤立波および不規則波を造波したときに,WG2 およびWG6 で測定された水位変動を図-2 に示す.孤立波のときには,いずれの粒子間距離 dp でも,WG2 では最大波高を良好に再現できているが,WG6 では差が生じている.実験では WG10 付近で砕波が確認されたが,解析では WG6 付近で砕波しており,砕波位置を再現しきれていないことが原因と考えられる.また,孤立波の通過後に水位が上昇していることが確認できる.これは DualSPHysics に組み込まれている境界条件 Dynamic Boundary Condition (DBC) に

Takashi YAMAMOTO, Tomohiro YASUDA

k198781@kansai-u.ac.jp

よって、境界粒子と流体粒子間に生じるギャップの影響と考えられる. DualSPHysics において不規則波は、 造波板前面の水位に基づいて造波される. *dp* = 5 mm では水位変動を再現しきれず、また、ギャップによっ て初期水位よりも上昇するために、実験の水位を再現しきれていないと考えられる.

(2) 石の移動 孤立波および不規則波のときの17Cの石の移動量の時間変化を図-3に、また、波が石に作用する直前のスナップショットを図-4に示す.図-3より、孤立波、不規則波ともに、実験で得られた石の移動量を、解析で良好に再現できたことが確認できる.また、図-4より、孤立波と不規則波で石の作用の仕方が異なり、津波時には石を持ち上げるように、高波時には石と水平方向に波が作用することがわかった.さらに、孤立波の場合には砕波せずに石に作用している一方で、不規則波では砕波後に石に作用しており、これが津波時と高波時の石の移動特性の違いと考えられる.また、孤立波の場合、持ち上げる力によって石は回転し、波の通過から少し遅れて移動を開始した.後藤¹⁾が述べた『重量の重い巨礫は津波の先端部の移動 速度に着いて行くことができず、先端から遅れて運搬される』という過程を再現できたといえる.

4. おわりに

SPH モデル DualSPHysics を用いて巨礫移動解析を実施し、水理模型実験の再現を試みた.石の移動量について良好に再現することができた.孤立波作用時に石が回転し始めて、波に少し遅れて移動する特性を示すことができた.孤立波と不規則波では石に作用する力の向きが異なり、この波作用の違いが、津波石と台風石の移動特性の違いに影響していることが示唆された.

参考文献

- 後藤和久:津波石研究の課題と展望II-2009 年以降の研究を中心に、津波石研究の意義を再考する--、 堆積学研究、第71巻、第2号、pp.129-139、2012.
- 2) 木曽哲志,安田誠宏,森信人,Andrew KENNEDY:津波・高波による巨礫移動特性の実験的検討,土木 学会論文集 B2(海岸工学), Vol.74, No.2, pp.I_361-I_366, 2018.
- Crespo et al., DualSPHysics: Open-sourse parallel CFD solution based on Smoothed Particle Hydrodynamics (SPH), Computer Physics Communications, 187, 204-216, doi: 10.1016/j.cpc.2014.10.004, 2015.



図-1 数值波動水槽





図-3 石の移動量 (17C) (左図:孤立波,右図:不規則波)

