

高精度粒子法の港湾施設設計への適用研究（その2）

後藤仁志*

1. 研究の目的

粒子法¹⁾は meshfree かつ Lagrange 型の解析手法であり、流体塊の分裂・結合を伴う境界大変形問題の記述が容易である。その特性から粒子法は砕波・越波をはじめとした海岸工学問題への適用が多数実施されてきた（例えば Gotoh and Khayyer²⁾³⁾）。本研究では、著者の研究チームで開発してきた高精度粒子法の港湾施設設計への適用性の検討を主題とする。

本年度は、著者らが開発した最新の高精度化の1つである δ -SPH-CG 法⁴⁾を浮体計算へと適用する。最終的な目標は浮体式海洋構造物設計に活用可能な粒子法型高精度計算手法の開発であるが、その第一段階として波浪中浮体応答実験の二次元ベンチマーク計算を対象に高精度粒子法の適用性を検討する。 δ -SPH-CG 法は既往の δ -SPH 法⁵⁾と比べエネルギー保存性に優れており、波高の数値減衰のより少ない計算が可能であることから、より高精度な現象再現が可能となると予期される。

2. 研究の方法

本研究では、弱圧縮を許容した陽解法型 SPH 法（ δ -SPH 法⁵⁾）の枠組みにて計算を実施する。支配方程式は、連続式、Navier-Stokes 式および状態方程式⁶⁾である。 δ -SPH 法は高精度な計算を実施するために人工的な補正項（人工粘性項・人工拡散項）を方程式系に加えて安定化させた手法であり、現代の陽解法型 SPH 法の主流である計算法であるが、エネルギーの保存性が十分に担保されていないという課題を抱えていた。著者の研究チームでは δ -SPH 法のさらなる高度化として、半陰解法型粒子法に対して著者らが提案した圧力勾配項離散化の高度化 GC 法¹⁾をもとに δ -SPH 法に最適な形へと記述し直した手法すなわち CG 法⁴⁾を開発した。CG 法を導入した δ -SPH-CG 法は既往の δ -SPH 法と比べ良好なエネルギーの保存性を有し進行波の再現性が向上することが示されており⁴⁾、波浪中浮体応答計算に適したモデルであると考えられる。

本研究では、計算手法の浮体動揺問題への適用性の基礎的検証として、Härdzić らの波浪中浮体の応答実験⁷⁾のベンチマークテストを実施した。計算領域左端に設置されたフラップ型造波板を実験と同様の条件にて回転させ造波する。定量的な比較のため、浮体の前方および後方に計測点を設置し波高を計測するとともに、浮体の水平方向移動の変位についても記録する。流体と浮体の両者を粒子にて離散化し、浮体については剛体を仮定し PMS モデル⁸⁾によりその挙動を追跡する。計算は δ -SPH-CG 法および δ -SPH 法により行い、実験結果との比較から著者らの提案した δ -SPH-CG 法の本現象再現に際する優位性を示す。

3. 得られた成果

図-1に、 δ -SPH-CG 法と δ -SPH 法による圧力空間分布および水平方向流速空間分布の瞬間像を示す。図より、 δ -SPH-CG 法では δ -SPH 法と比べ波高が良好に維持されること、速度の空間分布が滑らかになることが確認できる。CG 法は近傍粒子の不規則配列時にも高精度な計算を可能とする手法でありエネルギーの保存性などの計算精度が改善されることが著者らの既往研究で示された⁶⁾が、本計算でも定性的に CG 法導入の改善効果が確認でき、実用上の波浪浮体連成計算にも有効であることが示された。

図-2に、浮体前方の自由水面位置時系列と浮体水平移動時系列の結果を示す。CG 法の導入により数値計算の結果が実験値に近づいており、CG 法導入の効果が定量的に示されたといえる。以上のよう、提案モデルは浮体応答問題の計算の改善に有効であることが示された。

* 京都大学・教授

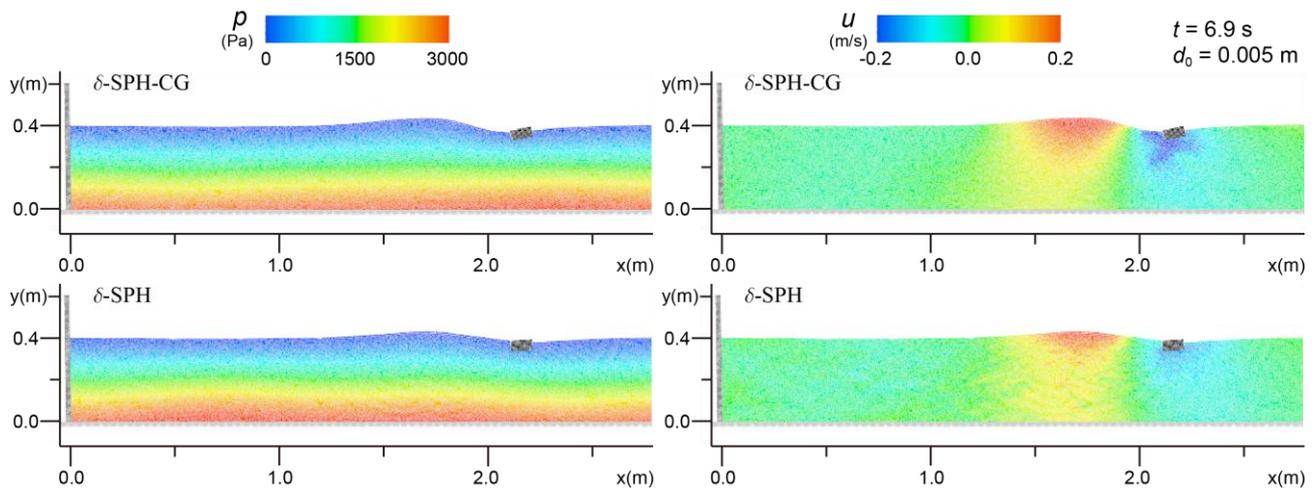


図-1 浮体応答計算の瞬間像（左：圧力分布，右：水平速度分布）

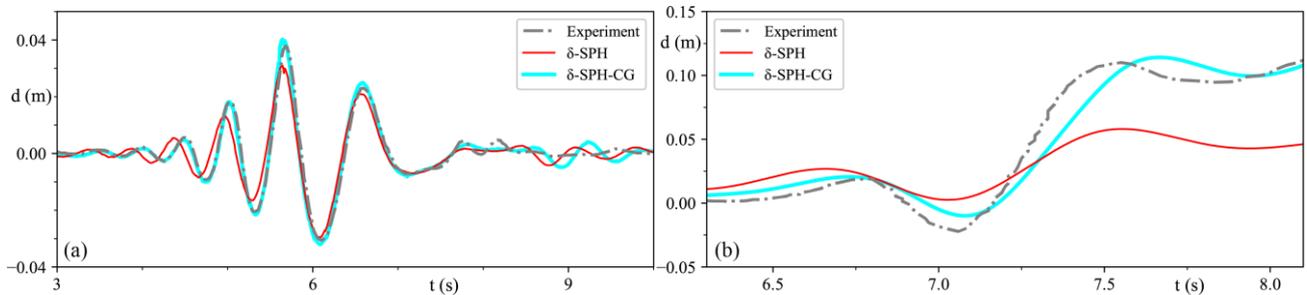


図-2 (a)浮体前方の自由水面位置時系列，(b)浮体水平移動時系列

4. 謝 辞

本研究は、株式会社ニュージェックから委託を受けて実施されたものであり、関係各位に謝意を表したい。

発 表 論 文

現時点で発表は行っていないが、今後の進展も併せて国際学術誌への投稿を検討したい。

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，289p，2018.
- 2) Gotoh H., Khayyer A.: On the state-of-the-art of particle methods for coastal and ocean engineering, *Coast Eng J*, Vol. 60(1), pp. 79-103, 2018.
- 3) Gotoh H., Khayyer A.: Current achievements and future perspectives for projection-based particle methods with applications in ocean engineering, *Journal of Ocean Engineering and Marine Energy*, Vol. 2(3), pp. 251-278, 2016.
- 4) 清水 裕真, Abbas Khayyer, 後藤 仁志, 杉本 寛明： δ -SPH 法による水面波の高精度計算のための改良型圧力勾配項の提案，*土木学会論文集*, Vol. 79(17), pp. 23-17004, 2023.
- 5) Marrone S., Antuono M., Colagrossi A., Colicchio G., Le Touze D., Graziani G.: delta-SPH model for simulating violent impact flows, *Comput Method Appl M*, Vol. 200(13-16), pp. 1526-1542, 2011.
- 6) 後藤 仁志：流れの方程式，森北出版，568p，2022.
- 7) Hadžić I., Hennig J., Perić M., Xing-Kaeding Y.: Computation of flow-induced motion of floating bodies, *Appl Math Model*, Vol. 29(12), pp. 1196-1210, 2005.
- 8) Koshizuka S., Nobe A., Oka Y.: Numerical analysis of breaking waves using the moving particle semi-implicit method, *Int J Numer Meth Fl*, Vol. 26(7), pp. 751-769, 1998.