

京都大学工学部 学生員 ○久岡 勇登
 京都大学工学研究科 正会員 五十里 洋行
 京都大学工学研究科 正会員 後藤 仁志

1. はじめに

粒子法では計算点が移動するためネスティング計算の実施が難しいが、それが実現すれば計算負荷の大幅な低減と効率的な高解像度計算が期待できる。本研究では水平床での規則波伝播計算を通じて将来的な粒子法のネスティング計算に向けての基礎的検討を行う。

2. 数値解析手法

本研究では Shibata et al.²⁾と同様に計算領域を複数に分割して別々の計算空間に割り当て、各空間ではそれぞれ均一の解像度を設定する。各空間は隣接計算領域を担当する空間と粒子数個分だけ計算領域を重複させ、その重複領域に存在する粒子の物理量を相互に計算に反映させることで領域境界を横断する物理量の伝達を可能にする。さらに、本研究では、全計算空間で統一した PPE を解くことで圧力場を得られるように改良を施し、圧力計算精度の向上を図った。

3. 水平床上規則波伝播計算

(1) 計算条件

図-1 に示す造波水槽を用いて規則波を造波する。二解像度計算については、造波板から 3.5m までは粒径 0.01m、造波板から 3.5m の位置から減衰域までは粒径 0.008m、粒径 0.0075m、粒径 0.005m をそれぞれ用い、三種の組み合わせで行った。減衰域には粒径 0.01m を用いた。また四解像度計算においては造波板から 2.5m までは粒径 0.01m、続いて粒径 0.008m、粒径 0.005m、粒径 0.0036m の順にそれぞれ 1m ずつ配置し、減衰域手前 1m と減衰域には粒径 0.005m を用いた。なお、入射条件は周期 1.5s、波高 0.04m とした。

(2) 計算結果

それぞれのケースにおける計算領域全体の流体の体積変動時系列を図-2 に示す。二解像度計算についてはどのケースも平均的にはほぼ初期の体積から変化しておらず、体積が保存されていると言える。四解像度計算については波が発達するまで若干の体積の減少が見られる。これは、初期状態として配置した粒子の格子状配列に起因したものと考えられる。格子状配列は粒子法計算において必ずしも安定した状態ではないので、力がバランスするランダム配置に遷移するまでに一時的に発生したと思われる。発達後はほぼ初期の体積付近のわずかな変動にとどま

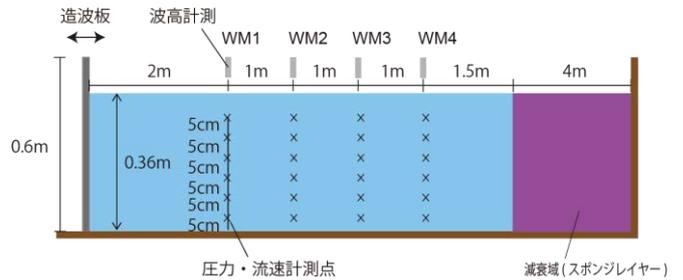


図-1 計算領域

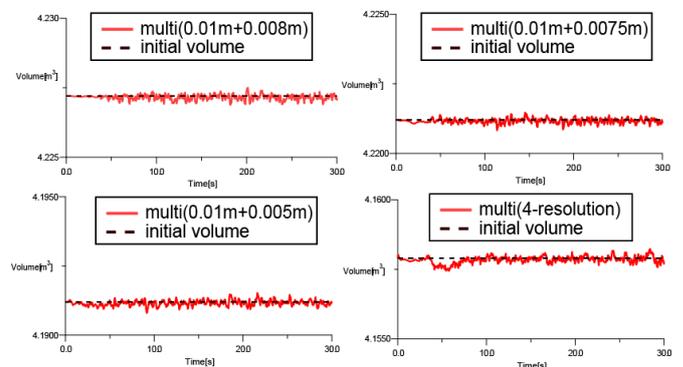


図-2 計算領域全体の体積変動時系列

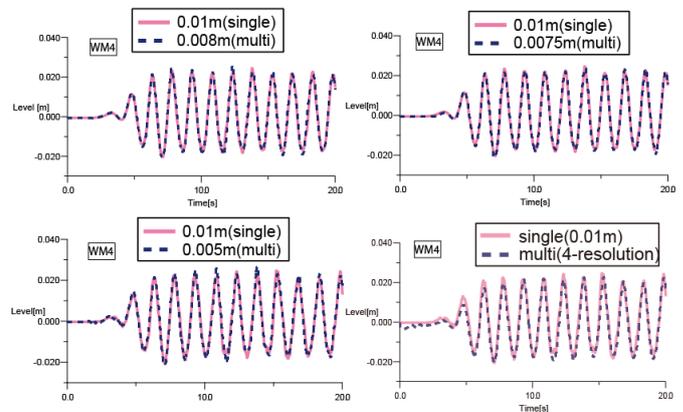


図-3 水位時系列

表-1 単一解像度と複数解像度計算における各観測点での波高 (10波平均)[m]

	WM1	WM2	WM3	WM4
single0.01m	0.0404	0.0411	0.0411	0.0403
0.01m+0.008m	0.0404	0.0409	0.0409	0.0405
0.01m+0.0075m	0.0401	0.0414	0.0409	0.0403
0.01m+0.005m	0.0408	0.0410	0.0404	0.0414
4-resolution	0.0406	0.0395	0.0396	0.0397

っており，最終的には体積保存は十分に満足されていることがわかる．図-3 に，WM4 における水位時系列を単一解像度計算のケースと比較して示す．どの粒径の場合も位相のずれは見られず，波高についても概ね一致していることがわかる．しかし，粒径比が大きな 0.01m+0.005m の計算結果はわずかにずれが大きい．また四解像度計算結果では時折ピークが小さくなっている箇所が見られる．表-1 に各観測点での十波平均波高を示す．二解像度計算結果は，どのケースもすべての観測点でほぼ一定の値であり，波高減衰していないことが確認された．一方で，四解像度計算結果は WM4 の水位時系列でみられた傾向が WM2 と WM3 でも確認され，WM2 以降で若干波高減衰が生じている．これは領域境界が多いために誤差が蓄積したからであると考えられる．図-4 に，圧力および流速二成分の鉛直分布を示す．単一解像度計算および各ケースのどの粒径，どの計測点においても差はほぼ見られない．ただし，流速について 0.01m+0.005m 二解像度計算の場合には他の二者よりも差がわずかに大きい．四解像度計算の場合には若干のずれがみられるが，これも領域境界での誤差が蓄積したことによると考えられる．図-5 に 1 ステップあたりの計算時間，図-6 に 1 ステップあたりの計算時間と粒子数の関係を示す．複数解像度計算は単一解像度計算よりも計算時間および粒子数を削減できていることがわかる．

4. おわりに

本研究では，既存の空間分離型複数解像度計算モデルを基に圧力計算手法に改良を加え，精度を向上させた手法を提案した．本手法を水平床上の規則波伝播計算に適用し，均一解像度の場合と同等の精度で波浪伝播を計算できることを示した．ただし，四解像度計算においては波高が若干小さく評価されてしまう傾向があるため，その改善が急務である．また隣接する計算領域の粒径比が大きい場合にもやや精度低下がみられたため，粒径比を大きくして計算する場合には注意を要する．今後，粒径比の大きさと計算の精度低下の関係を明らかにするとともに，どの程度の粒径比まで適用可能かについても更なる検証の余地があると考えられる．さらに本計算手法の適用性の検討のために様々な場での計算を行いたい．

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，pp.1-10, 69-132, 2018.
- 2) K. Shibata, S. Koshizuka, T. Matsunaga, I. Masaie : The overlapping particle technique for multi-resolution simulation of particle methods, *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, Vol.325, pp.434-462,2017.

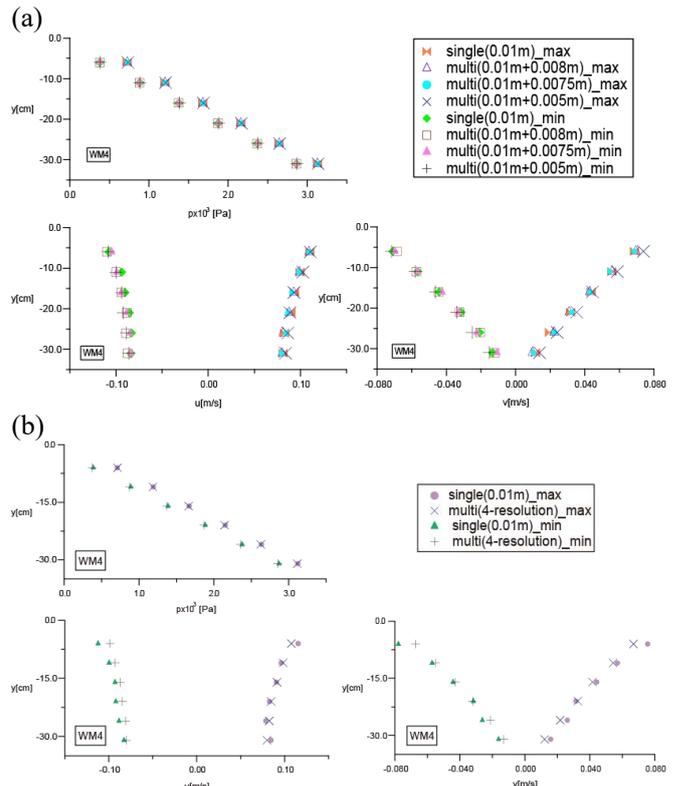


図-4 圧力および流速の鉛直分布 ((a)二解像度計算, (b)四解像度計算)

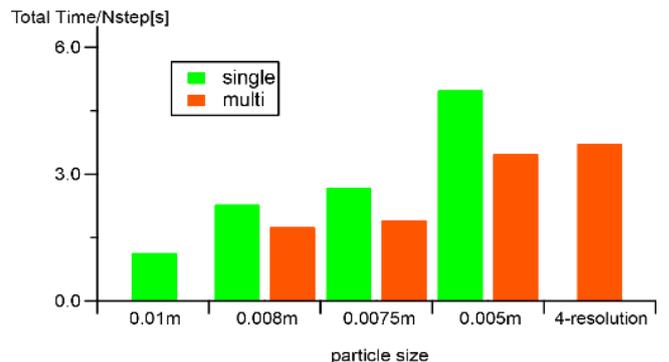


図-5 1 ステップあたりの計算時間

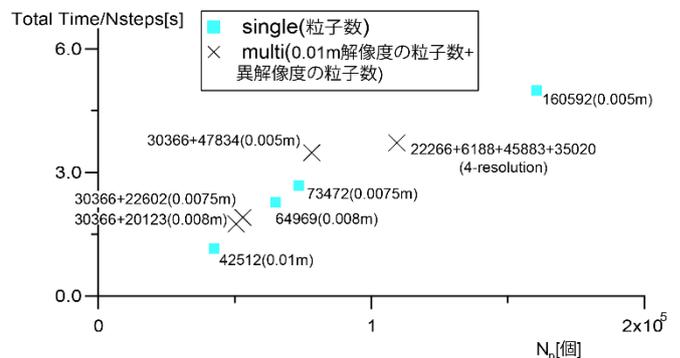


図-6 1 ステップあたりの計算時間と粒子数の関係