

波浪現象に対する DualSPHysics の有効性に関する一検討

鹿島建設(株) 正会員 ○野中沙樹 鈴木一輝 岩前伸幸

1. 背景および目的

近年の GPGPU の普及および GPU の処理能力の向上に伴い、GPU 演算によって実用的な時間での複雑な 3 次元流体運動の解析が期待されている。粒子法の一つである SPH (Smoothed Particle Hydrodynamics) 法に基づくオープンソースの流体解析プログラム DualSPHysics¹⁾は、GPU 演算が実行可能である。本研究では、波浪現象への適用に関する基礎的な検討として、規則波の造波問題を対象に DualSPHysics の有効性を計算精度および計算時間の観点から検討した。

2. 解析条件

2.1 解析方法

本研究では DualSPHysics v5.0 を使用した。DualSPHysics では、演算方法として CPU による OpenMP 並列と CUDA を用いた GPU 並列計算の 2 種類がサポートされている。本検討では、両方法での計算を行い、精度および時間を比較した。使用した GPU のスペックは表-1 のとおりである。CPU 計算では、Intel Xeon Gold 6150@2.7GHz×2 を使用し、2CPU36 コアの並列計算を実施した。

2.2 解析領域および解析条件

断面 2 次元計算の計算領域を図-1 に示す。水平床一様水深場の左端にピストン型造波板として移動粒子を配置し、これに変位を与えることにより造波する。移動粒子の変位は、水深 $h=18.0\text{m}$ 、周期 $T=10.0$ 秒、波高 $H=2.5\text{m}$ の条件で Stokes 波の第 2 次近似解により与えた。また、計算領域右端での波の反射を防ぐために、水路右端から 100m までの領域に減衰領域を設けた。3 次元計算の際には、水路断面 ($X-Z$ 断面) は断面 2 次元計算と同じ形状とし、水路幅 (Y 方向) を 50m とした。その他の解析条件は既往の研究²⁾を参考に、表-2 に示すとおりとした。実施した解析ケースは表-3 に示すように、2 次元/3 次元計算、粒子径、CPU/GPU 計算を組み合わせた 10 ケースとした。

表-1 GPU のスペック

デバイス名	Tesla P100-PCIE-16GB
CUDAコア数	3,584 (56 マルチプロセッサ)
最大クロック周波数	1.33 GHz
グローバルメモリ	16280 MB
共有メモリ	48 MB

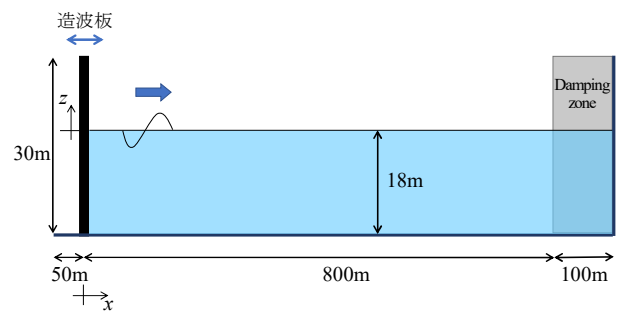


図-1 計算領域

表-2 解析条件

	2次元計算	3次元計算
計算時間	150秒	
粒子径 dp	0.2m,0.5m,1.0m	0.5m, 1.0m
初期密度 ρ_0	1000kgm ⁻³	
スムージング距離の係数	1.2	1.0
CFL数の上限	0.2	
ファイル出力間隔	0.5秒間隔(300ファイル)	
カーネル関数	5次Wendland	
時間積分	Symplectic法	
人工粘性項の係数 α	0.01	
密度拡散項の係数 δ_ϕ	0.1	

表-3 解析ケース

ケース名	2D/3D	粒子径 [m]	総粒子数 (流体粒子数)	CPU/GPU
1-GPU	2D	1.0m	17,000 (16,000)	GPU
1-CPU				CPU
2-GPU	2D	0.5m	67,000 (65,000)	GPU
2-CPU				CPU
3-GPU	2D	0.2m	410,000 (405,000)	GPU
3-CPU				CPU
4-GPU	3D	1.0m	900,000 (800,000)	GPU
4-CPU				CPU
5-GPU	3D	0.5m	7,200,000 (6,400,000)	GPU
5-CPU				CPU

キーワード DualSPHysics, 粒子法, 造波, GPGPU, 計算時間

連絡先 〒182-0036 東京都調布市飛田給 2-19-1 鹿島建設(株)技術研究所 TEL 042-485-1111

3. 結果および考察

CPU 計算と GPU 計算による計算結果の比較として、Case 2-GPU と 2-CPU の $x=200\text{m}$ における水位変動の時刻歴を図-2 に示す。両計算結果はほぼ一致しており、ケースによる波高の差は最大で 1%程度であった。したがって、演算方法による計算精度への影響は小さいと判断できる。

粒子径の違いによる計算結果への影響を把握するために、Case 1-GPU, 2-GPU, 3-GPU の $x=200\text{m}$ における水位の時刻歴を図-3 に示す。ケースによって、周期のずれは確認されないが、波高は粒子径に応じて 3~4%程度の差が生じた。

図-4 に各ケースでの計算所要時間とその内訳を示す。SPH 法の各時間ステップの処理は、近傍粒子探索 (NL)、粒子間の相互作用計算 (CF)、物理量の更新 (SU) で構成されることから、それらにファイル入出力 (I/O)、初期化などを含むその他 (Other) を加えた 5 項目で計算時間を区分した。総粒子数が多いケースほど、CPU 計算に比べ GPU 計算の時間短縮率が高く、最も短縮率が高くなった Case 3-GPU, 3-CPU では GPU の計算時間は CPU 計算の 1/20 以下となった。計算時間の内訳をみると、CPU 計算では、CF の時間が概ね 8 割以上を占めた。総粒子数が増加するほど、演算量が増加し GPU による高速化の効果が大きくなるため、GPU 計算の方が CPU 計算よりも CF の時間が占める割合が小さくなった。一方、ファイル入出力に関しては、GPU 計算の方が CPU 計算よりも所要時間が大きくなった。

4. まとめ

オープンソースの SPH 法による流体解析プログラム DualSPHysics を用いて、造波問題を対象に粒子径および演算方法による計算精度と計算時間への影響について調べた。その結果、演算方法による波高の差は最大で 1%程度であった。一方、粒子径についてはその値に応じて波高に 3~4%程度の差が生じることから、現象に合わせて適切な値を設定する必要があると考えられる。また、計算時間については、GPU 計算ではファイル入出力などの処理に時間を要するものの、粒子の相互作用計算といった演算部分は高速であり、CPU 計算と比較して最も効率が良い場合で 1/20 程度の時間になることを確認した。したがって、構造物や地形を考慮するなど、総粒子数が数百万オーダーの大規模な解析を行うにあたっては、GPU 計算のメリットは大きいと考えられる。

参考文献

- 1) A.J.C. Crespo et al. : DualSPHysics: Open-source parallel CFD solver based on Smoothed Particle Hydrodynamics (SPH), Computer Physics Communications, Vol. 187, pp. 204-216, 2015.
- 2) Sato et al. : Validation of the applicability of the particle-based open-source software DualSPHysics to violent flow fields, Coastal Engineering Journal, Vol. 63, pp. 545-572, 2021.

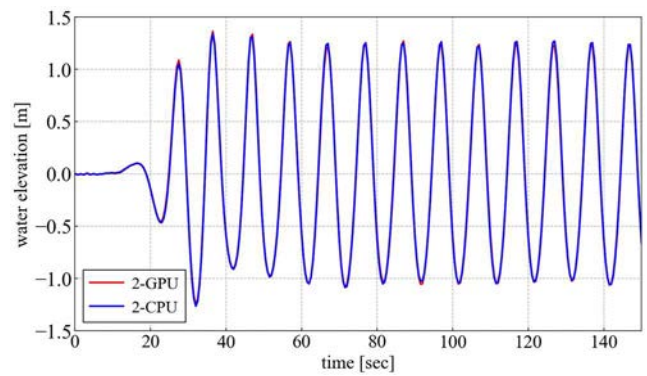


図-2 Case2-GPU, 2-CPU の $x=200\text{m}$ における水位時刻歴

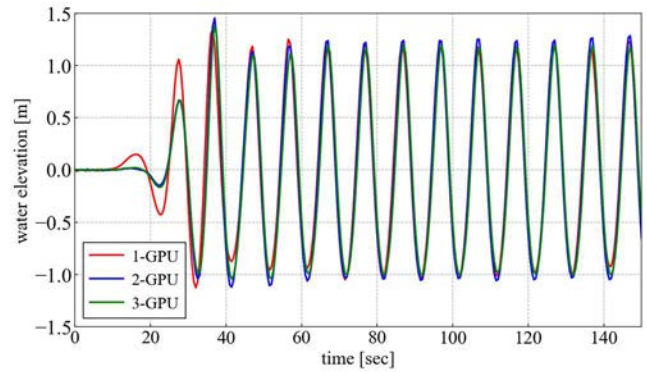


図-3 $x=200\text{m}$ の水位時刻歴 (粒子径の影響)

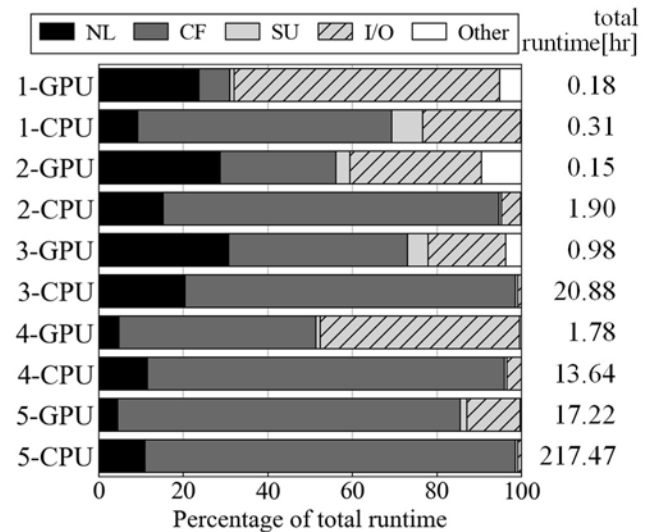


図-4 計算所要時間と処理時間の内訳