

大規模津波遡上解析に向けた ISPH 法的高速化と並列化効率の検証

九州大学大学院	学生会員	○ 藤本 啓介
九州大学大学院	正会員	浅井 光輝
九州大学大学院	正会員	園田 佳巨

1. はじめに

2011 年 3 月 11 日に起きた東日本大震災での津波被害の教訓から、沿岸地域の防災・減災技術の再検討が急務である。安全・安心な沿岸地域を形成するには、津波被害を事前に精緻に想定し、十分な強度を確保した防波堤を構築する必要がある。現在までの津波氾濫解析は、浅水長波の仮定を用いて平面 2 次元問題へと簡略化し、これを差分法で解くことが一般的であった。そのため、構造物に働く流耐力を正確に評価することが困難であり、今後は 3 次元解析により流体力も評価できる技術が求められている。そこで本研究では、粒子型解法の 1 つである Smoothed Particle Hydrodynamics (以下, SPH 法) を用いた 3 次元津波氾濫解析の構築を目指している。本報では特に、非圧縮性流体解析用に開発された Incompressible SPH(ISPH)法の改良案である安定化 ISPH 法[1]の高速化アルゴリズムについて述べ、その並列化効率の検証し、大規模津波遡上解析への適用例を報告する。

2. 解析手法の概要

SPH 法は、格子を必要としない粒子型解法の一つであり、粒子上(計算点)に解くべき物理量を与える。SPH 法の詳細は文献[2]に委ねる。本研究で採用した ISPH 法では、圧力ポアソン方程式の解法と近傍粒子検索に計算時間の多くを費やす。本稿では近傍粒子探索手法についてのみ議論する。

粒子探索手法として、all-pair 探索、linked-list 探索、tree 探索の 3 つの探索アルゴリズムが代表的である。各手法の計算回数はそれぞれ $O(N^2)$, $O(N)$, $O(N\log N)$ である。ここでは、tree 探索の一種である KDtree 探索と、linked-list 探索の 2 つの探索アルゴリズムの概要を示す。

(1) KDtree 探索アルゴリズム

KDtree 探索とは、K 次元の空間を座標系の垂直軸に沿って枝分かれするように分割する手法であり、最接近点の候補になるには離れすぎている点を含む部分木を考慮しなくて良くなるため、 $O(N\log N)$ の効率で対象点を見つけることができる。しかし、アルゴリズムが複雑でありノード内並列が非常に困難であるという問題もある。

(2) linked-list 探索アルゴリズム

linked-list探索は、バックグラウンドセルを用いることで、検索すべき近傍粒子の候補を限定する。SPH法へと適用するには、セルの各辺の大きさを粒子径の2倍とすれば、検索候補となる粒子は対象粒子が属するセルと隣接するセルのみに限定でき、 $O(N)$ の演算で近傍粒子を検索できる。また、空間を意識した分割が比較的容易で、アルゴリズムが簡潔でありノード内並列も可能である。次に、それぞれの近傍粒子探索手法を用いた場合の並列演算効率について議論する。本研究では、OpenMP, MPIを用いたノード内並列およびノード間並列の両者を用いたハイブリッド並列化を実施した。前述したが、KDtree探索アルゴリズムはノード内並列への適用が困難であるため、ノード間並列のみ行っている。その他に関してハイブリッド並列を用いて、解析時間の比較、それぞれの並列化効率の検証を行った。

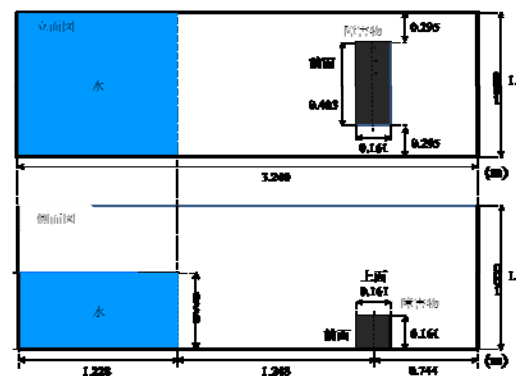


図-1 比較検証実験の諸元

キーワード : incompressible SPH, pressure Poisson equation, SPH

連絡先 : 〒819-0395 福岡県福岡市西区元岡 744 番 九州大学 伊都キャンパス W2 号館 11 階 1102 号室
Tel/Fax 092-802-3370

3. 並列化検証

(1) 解析例

今回検証例題として、Kleefsman らによって行われた実験を用いることにした。その検証実験の諸元を図-1 に示す。

(2) 検証結果

解析 PC の環境は、Fujitsu PRIMERGY RX200 S6, Intel Xeon X5670(2.93GHz), CPU6core を用いた。本資料では、最大 24core とした時のノード間並列時の検証結果を示す。近傍粒子探索アルゴリズムのみの解析時間の比較を図-2, 全解析時間の比較を図-3, に示す。

図-3 より、近傍粒子探索において KDtree 探索時は数 10 秒を要していたが、linked-list 探索時は数秒しかかからなかった。また、これまで KDtree 探索を用いた場合、全解析時間の約 30% を近傍粒子探索が占めていたが、linked-list 探索を用いることで、約 5% まで削減できた。図-3 が示すように、linked-list 探索を用いることで全解析時間を約 3 分の 1 短縮することが可能となった。今後は 24core 以上での検証を行い、ハイブリッド並列での並列効率についても議論する予定である。

また、大規模津波遡上解析へ適用した例を以下に述べる。本報告では、KDtree 探索を用いた結果を記載する。今回九州大学のスパコンを用いて解析を行った。その環境は、Fujitsu PRIMERGY RX200 S6, Intel Xeon X5670(2.93GHz)12core, 最大で 864core (72node×12core) 使用可能である。メモリ容量は 48GB である。岩手県宮古市田老町を解析対象とし、縦 3km, 横 2.5km の領域をモデル化した。総粒子数は約 1050 万粒子で、津波の入力は図-4 に示すように解析領域の右側(東側)を流入境界と設定し、10m/s で水を継続して流入することにした。解析条件としては、時間増分を 0.01sec とし、実時間にして 250 秒間の解析を実施した。図-5 に津波流入開始から実時間で 200 秒後の流域と速度分布の図を示す。この結果から、津波遡上解析において定性的な流れの表現ができ、堤防による跳ね返りを確認することができた。今後は流入条件の再検討を行い、より正確に津波を表現した大規模津波遡上解析を行う予定である。

4. おわりに

大規模津波遡上解析に向けたアルゴリズムの高速化の検討を行った。今後は、ノード数・コア数を多く使用した場合の検証を行い、更なる高速化のため、並列効率の上昇を検討し、大規模な解析へとつなげていきたい。

参考文献

- [1]Asai, M., Aly, A. M., Sonoda, Y. and Sakai Y.: A stabilized incompressible SPH method by relaxing the density invariance condition, Journal of Applied Mathematics, accepted.
- [2]酒井譲, ほか 2 名 : SPH 法による非圧縮性粘性流体解析手法の研究, 日本機械学会論文集 B 編, 70 巻 666 号, pp.47-54, 2004

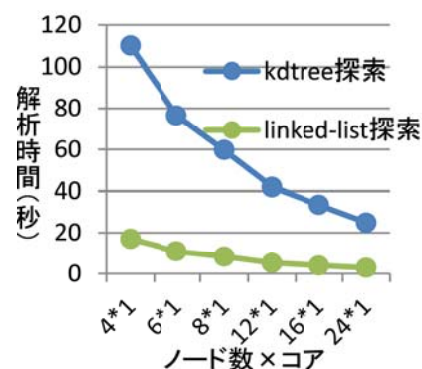


図-2 近傍粒子探索の各解析時間

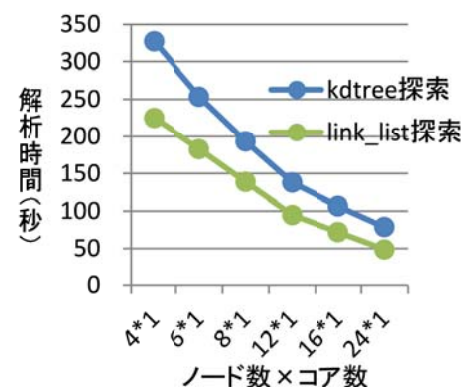


図-3 mainloop の各解析時間

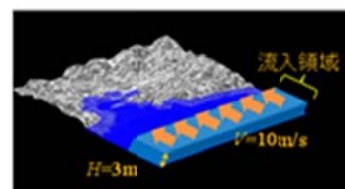


図-4 解析条件

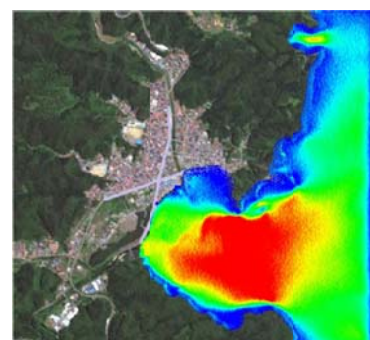


図-5 解析結果