

マルチ解像度セル前処理付き粒子法による 圧縮性・非圧縮性流体統一解法への展開

浅井 光輝¹、三木洋平²、市村強³、藤田航平³、小野謙二⁴、大島聡史⁴、森川ダニエル⁵

¹九州大学工学研究院、²東京大学情報基盤センター、³東京大学地震研究所、⁴九州大学情報基盤研究開発センター、⁵JAMSTEC

研究概要

SPH法・MPS法などの粒子法は、差分法や有限要素法などの格子法と比べ、対象とする物体の大変形・分裂・結合を伴う形状変化の激しい問題を効率よく計算できる。この利点を活かし、地震・津波だけでなく、豪雨災害の被害予測を志向したマルチフィジックス計算を試みてきた(図1,2)。粒子法は計算精度の観点から均等な粒子間隔で解くことが求められることから、都市全体の広域災害解析は必然的に大規模になる。

そこで代表者らは、これまでに粒子法に関するJHPCN課題に長く携わることで、大規模粒子法に特化したコード開発を進めてきた。具体的には、2022年度では計算ノードを跨ぐ多数GPUで機能するMPI並列版コードを陽解法に実装した。2023年度では実用的な汎用ソルバを確立するために、粒子法に特化した幾何マルチグリッドソルバを独自に開発した。

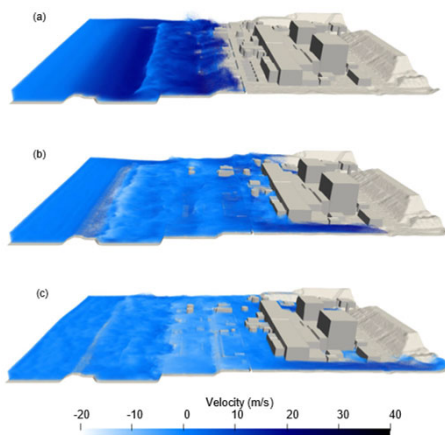


図1. 粒子法による福島原発周辺の津波遡上解析[2]

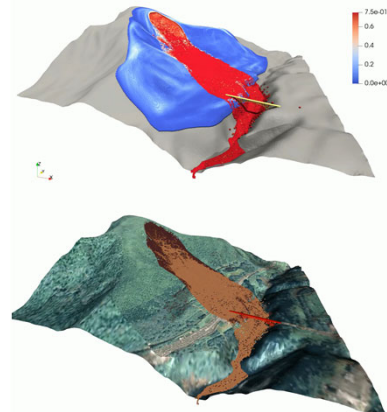


図2. 粒子法による地すべり解析[1]

研究目的

本年度は、開発した幾何マルチグリッドソルバを使った陰的粒子法に関して、計算ノードに跨ぐ多数GPUでも高効率な演算を可能することを目標とし、さらに非圧縮性流体から圧縮性流体までを統一的に解析可能な陰解法型のソルバへの発展を目指す。

研究計画

研究項目 A. 幾何マルチグリッド粒子法のMPI並列化

粒子法では近傍粒子探索用にバックグラウンドセルを使用する(図3)。このセルを構造格子とみなした疎問題を前処理とするマルチ解像度反復ソルバ(図4)をMPI並列化することで、陰解法における連立一次方程式解法の大幅な高速化を試みる。

研究項目 B. 圧縮性・非圧縮性流体統一解法への新展開

災害被害予測で扱う流体现象の多くは、圧縮性を無視できるが、時として、圧縮性が本質的な現象がある(例えば、図5に示すウィンドスロップ現象)。そこで、本研究では非圧縮性流体の粒子法として確立されてきたフラクショナルステップ法による速度・圧力の分離型解法を一般化し、圧縮性流体を解く陰解法(あるいは半陰解法)へと拡張させる。

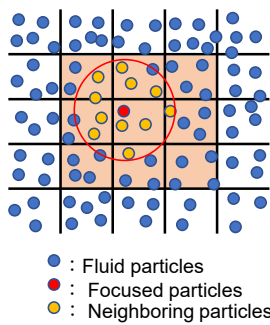


図3. バックグラウンドセル

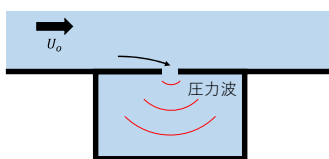


図5. 圧縮性に伴う圧力波(ウィンドスロップ現象)

Geometric multigrid preconditioning ($M = D^{-1} + PL_1^{-1}R$)

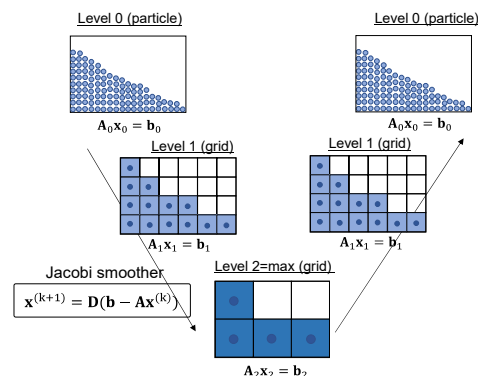


図4. 粒子セルの幾何マルチグリッド前処理

参考文献

[1] Daniel S. Morikawa, Mitsuteru Asai, A phase-change approach to landslide simulations: Coupling finite strain elastoplastic TLSPH with non-Newtonian IISPH, COMPUTERS AND GEOTECHNICS, 10.1016/j.compgeo.2022.104815, 148, 2022.08

[2] Mitsuteru Asai, et. Al., A class of second derivatives in the Smoothed Particle Hydrodynamics with 2nd-order accuracy and its application to incompressible flow simulations, Computer Method in Applied Mechanics and Engineering, https://doi.org/10.1016/j.cma.2023.116203, 2023