

SPHシミュレーションによる斜面崩壊の定量的評価に関する研究

○神戸大学大学院工学研究科
神戸大学大学院工学研究科
宇宙航空研究開発機構

野中沙樹
大石哲
阿波田康裕



1. はじめに

粒子法の一つであるSPH (Smoothed Particle Hydrodynamics) 法による斜面崩壊シミュレーションは、崩壊前から崩壊後まで一貫して計算できる特徴などから、3次元の実際の斜面に対しても崩壊危険性や崩壊後の土砂の挙動や周囲の構造物への被害なども定量的に評価できる手法である。本研究の目的は、過去の地震による斜面崩壊事例に対して地形データをもとに3次元粒子モデルを作成して大規模並列計算を行い、並列方法と計算時間の関係の調査と計算速度の観点から大規模計算を行うフレームワークとして適切であるかを検討することである。

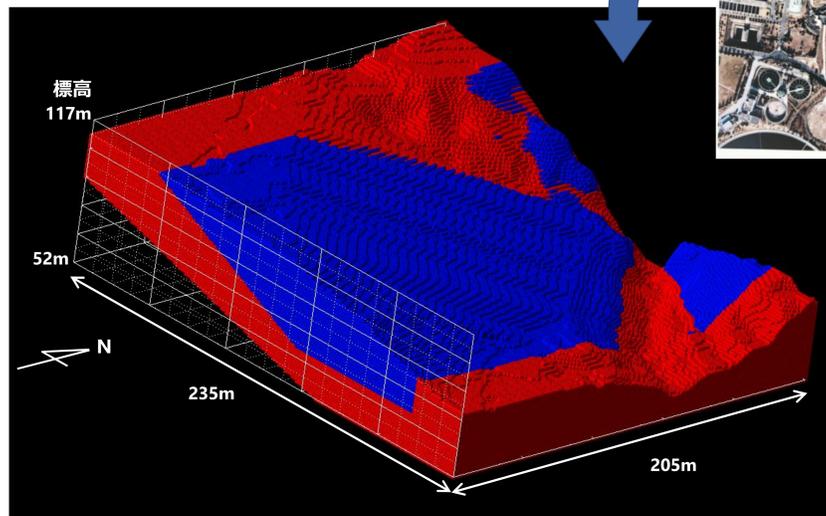
2. SPH法のシミュレーション概要

(1) 計算概要 (図-1)

- Bui *et al.*¹⁾を参考に、固体の支配方程式をSPH法の粒子表現に離散化し、弾塑性構成則に**非関連流れ則のDrucker-Pragerモデル**を適用した。
- ボトルネックとなる領域分割や、近傍粒子探索などを効率よく行うモジュールをもつ粒子系シミュレーションのための汎用フレームワークFDPS²⁾ (Framework for Developing Particle Simulator) を使用して並列化し、スーパーコンピュータOakforest-PACS (以下、OFP) で計算を行った。

(2) 解析モデル

兵庫県南部地震時に西宮市仁川百合野町で地すべりが発生した地域を3次元モデル化



地すべり資料館
展示写真より

2種類の強度の層を設定

粒子間隔：1.0m
総粒子数：約145万個
時間刻み：1.0 × 10⁻⁴秒

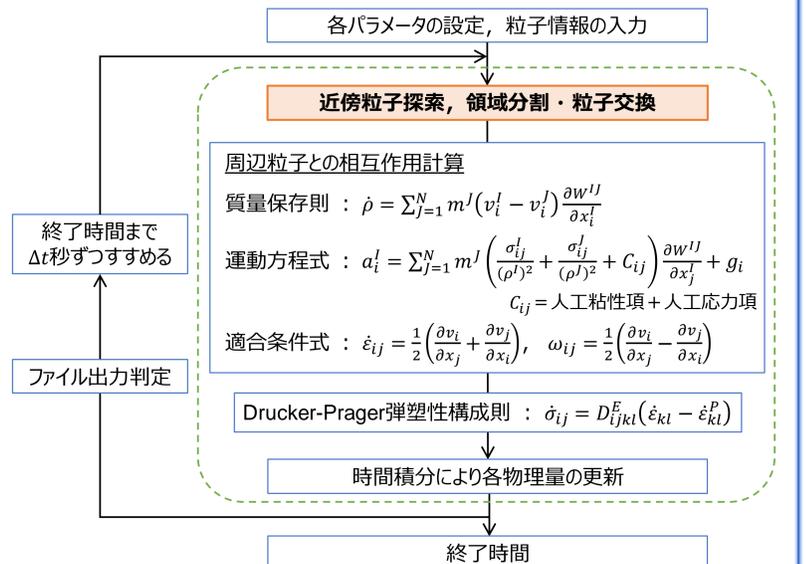


図-1 フローチャート

粒子の物性値		盛土	基盤
単位体積重量 γ [kNm ⁻³]		16.4	20.0
ヤング率 E [kPa]		4850.0	8000.0
ポアソン比 ν		0.35	
粘着力 c [kPa]		3.0	70.0
内部摩擦角 ϕ [°]		30.0	5.0
ダイラタンシー角 ψ [°]			0.0

3. 結果と考察

(1) 試計算 ～並列性能～

- OFPで上記モデルで100ステップまでの計算を行い、並列数と計算時間の関係を調べた。プロセス並列のみで、1ノードあたり64プロセスを立てており、1, 2, 4, 8, 16ノード使用した時の5ケースの計算を行った。
- 図-2の①はすべての処理の実行時間、②は図-1のループ内(緑破線内)の処理のみの実行時間について示している。
- ファイル操作等の処理の時間の影響により①は並列化効率の低下が大きいが、②の部分は非常に高く並列化することができており、スケールアップしやすいシミュレーションである。
- ②の部分の計算時間の内、約98%が周辺粒子との相互作用計算にかかっているため、この部分の処理をいかに短縮できるかが高速化には重要になっている。

(2) 本計算

- 本計算では8ノード使用し、512プロセス並列で100,000ステップ、10秒間分の計算を行った。このとき、基盤粒子の東西方向、南北方向ともに図-3に示す波形の加速度を一様に与えた。
- 土砂が流れ落ちるような変形は再現できなかったが、盛土粒子を中心に変位、ひずみが発生した。
- 総計算時間は約6.6時間となり、粒子の変位が始まってからも②の計算時間は1ステップ当たり0.2秒以下となっていたので、実地盤を対象とするような大規模計算のフレームワークとして適切な速度で計算できるものであるといえる。

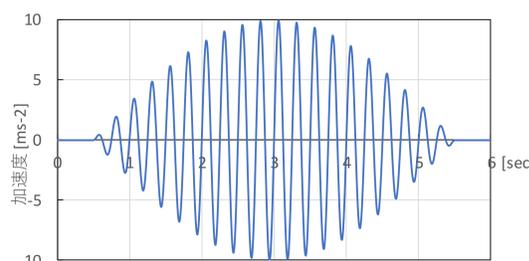


図-3 入力加速度

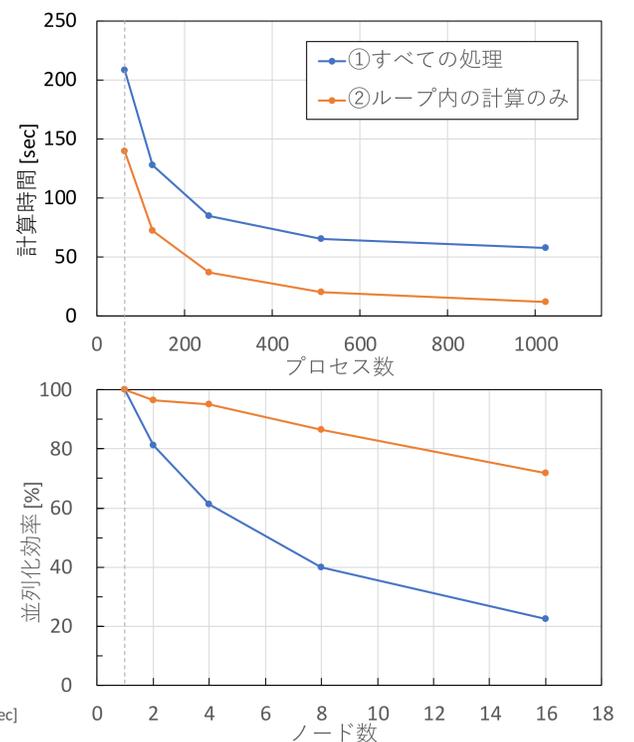


図-2 計算時間(上)と1ノードでの計算時間を基準としたときの並列化効率(下)

4. 今後の方針

- 今後の方針としては、各粒子の移動量をもとに崩壊規模等を定量的に評価すること、豪雨を原因とした斜面崩壊を取り上げるために水との連成計算を行えるようにプログラムを改良すること、シミュレーションの入力データである3次元粒子データ作成の自動化を図ることが挙げられる。

参考文献

- 1) Ha H. Bui *et al.*: Lagrangian meshfree particles method (SPH) for large deformation and failure flows of geomaterial using elastic-plastic soil constitutive model, *IJNAGM.*, Vol.32, pp.537-1570, 2008.
- 2) M. Iwasawa *et al.*: Implementation and performance of FDPS: a framework of developing parallel particle simulation codes, *PASJ*, Vol.68, No.54, pp.1-22, 2016.