

2008年荒砥沢地すべりに対する SPH 法による三次元地震応答解析

法政大学大学院 学生会員 ○石川大地 正会員 酒井久和
鳥取大学大学院 正会員 小野祐輔

1. 研究の背景・目的

本研究では、2008年岩手・宮城内陸地震における荒砥沢地すべりの三次元地震応答解析を SPH 法を用いて行う。小野らは¹⁾は2008年岩手・宮城内陸地震で発生した国内最大規模の地すべり(荒砥沢地すべり)を検討対象として自重解析を行った。この解析により実際の滑動量に匹敵する300mもの大変形を再現したが、解析にかかる時間1ケース約22日と非常に長いことや、自重解析が安定しないなど、いくつか課題が残っている。プログラムや解析方法の改良およびプログラムの並列化により、解析の改善・計算時間の短縮を図ることが本研究の目的である。

2. 研究方法

本研究では SPH 法を用いて地震応答解析を行う。SPH 法は粒子法の一つで、メッシュを用いないため大変形解析にも適した手法であるが、解の安定性、精度を確保するためには FEM 等の解析手法に比べて非常に小さな計算時間間隔を使用する必要がある。そのため、前述のように3次元の大問題を解く場合に解析時間が膨大となり、解析のプログラム、解析方法の改良効率が悪いことから、本解析ではまず、プログラムの並列化により計算時間の短縮を図り、次いで、プログラムと解析手法の改良を行う。

2.1 並列化

プログラムの並列化には導入が容易な OpenMP を用いた。まず、プロファイルを行うことにより、各サブルーチンが占める時間を求めた。その結果、ひずみ速度と加速度の計算を行うサブルーチンにおいて計算コストが高いことが分かり、計算負荷の高い箇所に OpenMP を適用した。並列化においては、結果の整合性を単純な数値モデルで検証を進めた。OS 環境も改善することにより、並列計算では1ケース約22日要していた計算が約60時間で解析可能になり、約8倍の高速化となった。また、並列計算による結果の整合性の確認を行った。

2.2 プログラムと解析手法の改良

小野らの研究¹⁾では自重が安定しない問題があった。原因として下記の2点が考えられる。1点目は本解析プログラムでは地盤の強度が拘束圧依存性を持っており、自重解析の初期段階において拘束圧がない状態から自重が作用するため、非常に小さなせん断耐力しか有しておらず、地盤が塑性状態に達し易いこと。2点目は SPH 法では荷重が作用したときに粒子が微小震動を起こし、それによってさ

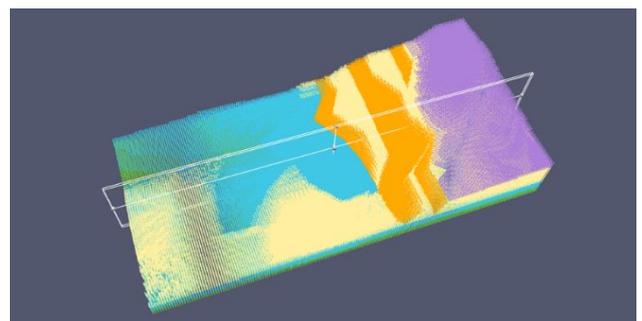


図-1 解析モデル

らに地盤が塑性状態に達し易いことである。そのため、まず地盤の塑性状態を把握することが必要であることから、弾塑性判断を修正・可視化することで妥当性の確認を行い、塑性化の判定のバグを修正した。次に、2点目の原因を抑止するため、粘着力を増大させた状態で初期応力解析を行い、弾性状態の応力を求めた。地震応答解析ではその物理量を引き継いだ解析を行った。ただし、本研究では1ケースの解析は以下の様に統一した。解析時間300秒、積分時間間隔 1.0×10^{-3} 秒、影響半径は13m(粒子間隔の1.3倍)とする。解析範囲は $1800\text{m} \times 800\text{m} \times 150\text{m}$ 、粒子数254,351個の解析に用いたモデルを図-1に示す。強度試験や、調査結果をもとに設定した解析に用いた土の物性値を表-1に示す。地震応答解析では地表面にA~Iの9つの着目点を取り、流動量の測定を行った。

キーワード：荒砥沢地すべり，滑動再現，SPH法，並列化，地震応答解析 連絡先：〒162-0843，東京都新宿区市谷田町2-33

表-1 解析に用いたパラメータ

	密度 (g/cm ³)	ヤング率 (MN/m ²)	ポアソン比	ピーク粘着 力(kN/m ²)	ピーク内部 摩擦角(°)	残留粘着 力(kN/m ²)	残留摩擦力 (°)
旧陥没帯内堆積物	1.76	80	0.40	28.09	15.73	0.00	10.00
溶結凝灰岩	1.90	1000	0.35	1282.00	52.08	0.00	40.00
軽石凝灰岩	1.65	80	0.40	200.00	35.00	0.80	27.80
砂岩・シルト岩	1.61	700	0.35	650.00	50.00	0.00	5.00
凝灰岩	2.25	1000	0.30	230.00	20.00	0.98	7.80

3. 地震応答解析

秦らの当該地点の推定地震動³⁾を用いた地震応答解析を行った結果、地震動が発生した10秒後の弾塑性状態(図-2)を見ると、地震動により一部で土の破壊が生じ、地滑り上部ではすべり面の形成が確認でき、すべり面に沿って土が滑る様子が再現できた。時間がたつにつれ破壊は進み、大部分が塑性状態(赤い部分)となる。

最終的な変形と実現象の比較(図-3, 4)では地滑り中部における軽石凝灰岩の土塊の流動の再現ができた。

また、図-5より地すべり下部(点A, B)における滑動量は約200mであり、実現象に近い結果が得られた。一方、それ以外の着目点、特にA, D, G側では実現象より小さい滑動量となった。これにより地滑り上部で発生した150mに及ぶ滑落崖の再現には至らなかった。この原因の一つとして、全応力解析であることから間隙水圧によるせん断剛性・強度低下を考慮できていないことが挙げられる。本研究では、砂岩・シルト岩の内部摩擦角を間隙水圧の影響による見かけの値として5°に設定しているが、これらの物性値について再検討する必要がある。

4. まとめ

弾塑性判断の修正を行ったことで、地震応答解析では小野らの研究¹⁾では見られなかった土塊流動やすべり面の様子、表面地形の凹凸などより実現象に近い残留変形を再現できた。しかし、自重が安定しない問題は改善されたが、完全な安定状態に至らないため、引き継ぐ物理量など解析方法の再検討が必要である。

OpenMPを用いた並列化を行うことで同一環境下の時間短縮で4倍の効果が得られた。さらなる高速化にはGPUを用いて並列計算を行うCUDAなどの手法が考えられる。

参考文献

1)小野祐輔, 岡本遼太, 河野勝宣, 酒井久和, 秦吉弥, 池田勇司: SPH法を用いた荒砥沢地すべりの三次元解析, 第36回地震工学研究発表会講演論文集, NoC23-929, pp1-11, 2016.10.
 2)東北森林管理局: 岩手・宮城内陸地震に係る山地災害対策検討会 分科会資料(荒砥沢地すべり), 2010.3.
 3) 秦吉弥, 大角恒雄, 野津厚, 釜井俊孝: 経験的サイト増幅・位相特性を考慮した強震動評価手法に基づく2008年岩手・宮城内陸地震における荒砥沢地すべり地での地震動の推定, 日本地すべり学会誌, Vol.47, No.5, pp.247-254, 2010.

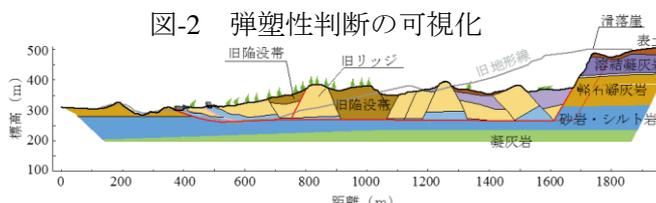
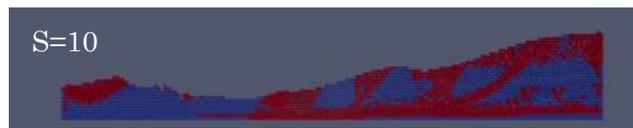


図-3 被災前後の断面図(文献²⁾に加筆)

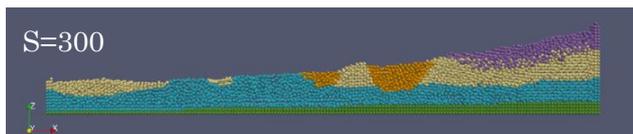


図-4 地震応答解析結果

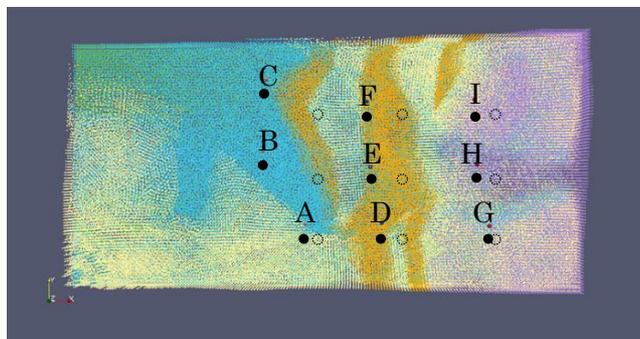


図-5 着目点の流動量