

SPH 法による盛土の地震時安定性に関する三次元効果の検討

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. はじめに

近年、斜面崩壊や地すべりなどの破壊を含む大変形挙動を容易に取り扱うことができる手法として粒子法が注目されている。その内の一つである SPH 法を地震時の斜面安定性評価手法に適用するための研究として小野ら¹⁾の研究が挙げられるが、必ずしも実現象を再現していない。そこで本研究では、単純な斜面モデルに対して SPH 法を用いた地震応答解析を行い、三次元問題に対しての適用性を検討することを目的とする。

2. 研究方法

はじめに、二次元斜面モデルに対し、斜面崩壊の再現解析を行い、解析の妥当性を確認する。つぎに、拡張した三次元斜面モデルに対し解析を行い、二次元斜面と崩壊挙動を比較する。

二次元解析は、大津ら²⁾の遠心場震動実験で用いられた斜面モデルを実規模に換算したモデルで解析を行う。実験では、水平方向への加振を 100gal ずつ段階的に増大させ、600gal 加振時に、図-1 の破線部ですべり面が生じ、崩壊に至った。この実験に対し、小野の行った解析を参考として、図-2 に示すモデルを用いた。境界条件として底面と側面の粒子を固定した。SPH 法では、粒子密度をより大きくすることですべり面の発達過程の再現性は高くなるが、三次元解析での計算コストが膨大になるため、本研究では粒子間隔 1m のモデルで評価を行う。解析で用いた地盤材料の物性値及び解析パラメータを表-1, 2 に示す。構成モデルは Mohr-Coulomb の破壊基準に従った弾完全塑性とし、入力地震動は、図-3 に示す 1.2Hz、最大振幅 600gal の正弦波を与えた。ただし、地震動入力を行う前に、粘着力を増大させた自重解析により初期応力状態を算定した。

三次元解析は、二次元解析と同様の物性値・解析パラメータを用いて水平一方向 (X 方向) に地震動を作用させる解析を行った (図-4 参照)。境界条件は底面と側面粒子を固定した。

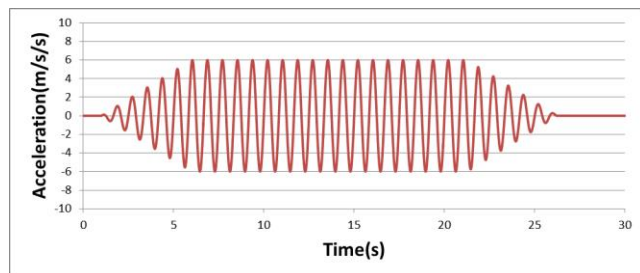


図-3 入力地震動

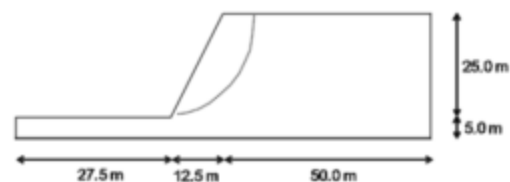
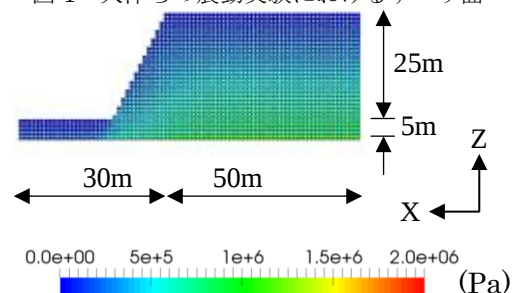
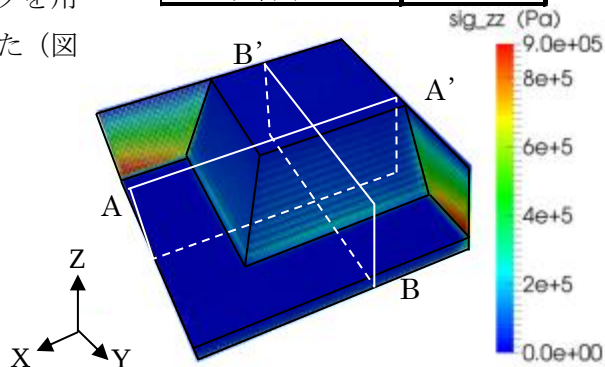
図-1 大津らの震動実験におけるすべり面²⁾図-2 二次元解析モデルと初期応力状態 (σ_{zz})

表-1 地盤材料の物性値

密度 ρ	1.61ton/m ³
ピーク粘着力	143.3kN/m ²
ピーク内部摩擦角	5.9°
残留粘着力	17.5kN/m ²
残留内部摩擦角	35°
ダイレタンシー角	0°
ヤング率	389000kN/m ²
ポアソン比	0.466

表-2 解析パラメータ

積分時間間隔	0.0001秒
解析時間	30秒
粒子間隔	1.0m
影響半径	2.6m

図-4 三次元解析モデルと初期応力状態 (σ_{zz})

キーワード：SPH 法，地震応答解析，盛土の安定，地すべり，斜面崩壊 連絡先：〒162-0843，東京都新宿区市谷田町 2-33

3. 地震応答解析結果

二次元解析における累積せん断ひずみの分布及び変形形状を図-5に示す。加振開始から約4秒時点において法尻部で破壊が生じ、徐々に破壊が広がることですべり線が形成された(図-5(a)参照)。加振から7秒経過した時点では、斜面の下部ではらみ出しが生じた(図-5(b)参照)。その後、約10秒時点でせん面に沿って土塊が滑り落ち、更に深い位置で緩やかな勾配を持つせん断面が生じた。すべり面の位置が図-1の破線で示した実験結果よりも、やや深い位置に表れている。これは、粒子密度や減衰の影響が考えられるが³⁾、概ね実験結果に近いすべり面形成過程である。

三次元解析における加振開始から6秒後の時点でのモデル全体及び各断面での累積せん断ひずみの分布を図-6, 7に示す。加振開始から4秒時点において、入力地震動の作用方向斜面の法尻部から破壊が進展し、6秒時点には図-7(a)のAA'断面に示す複数のすべり面の形成が確認できた。一方、その直角断面では、図-7(b)のBB'断面に示す水平なせん断面が確認できた。図-6では、モデル全体でのすべり面形状が確認できる。モデル中央部のXZ断面において、AA'断面と同じすべり面形状が続き、壁に近づくにつれ壁面の影響を受けていることが分かる。加振開始から4秒時点で法尻から破壊が進展していく過程は二次元解析の結果と同じ傾向が見られた。一方で図-7(a)に示すAA'断面では、二次元の解析結果よりも深い位置ですべり面が形成されており、同じ勾配の2つの斜面に対して方向によってすべり面形状が異なることから、三次元解析の影響が見られる。

4. まとめ

本研究では、盛土の震動実験と比較し、二次元の解析手法の妥当性を確認した。三次元解析では、地震動作用直角方向の斜面においてすべり面が確認され、また、地震動作用方向の斜面でも二次元解析と異なるすべり面が生じるなど、盛土の安定性に三次元解析の影響が見られた。今後は有限要素法や実験と比較することで更なる精度の検証を行う必要がある。また、境界となる壁面についても斜面の安定性評価への影響について調べる必要がある。

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, 土木学会論文集中A1(構造・地盤工学), Vol.73, No.4, 2017.
- 2) 大津仁志, 曾良岡宏, 北爪貴史, 佐藤正行, 中瀬仁, 伊藤浩二: 地盤材料の異なる斜面の地震時崩壊機構と変位量評価の適用性に関する相違, 降雨と地震に対する斜面崩壊機構と安定性評価に関するシンポジウム論文集, 2009.
- 3) 小野祐輔: SPH法による斜面の地震応答と崩壊挙動の解析, 土木学会論文集中A1(構造・地盤工学), Vol.69, No.4, 2013.

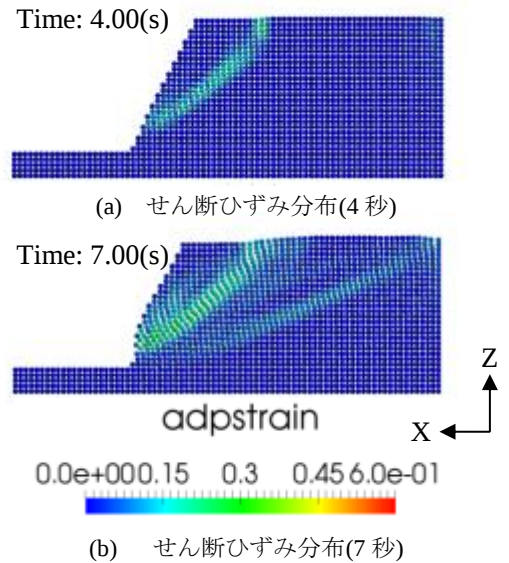


図-5 せん断ひずみ分布 (二次元解析)

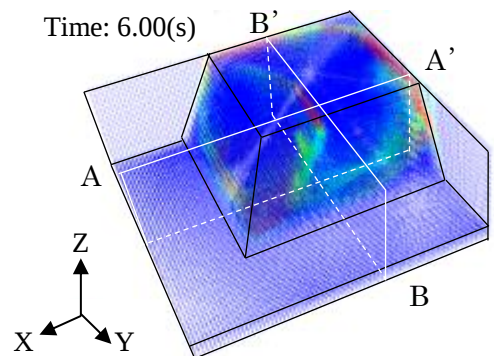


図-6 三次元解析結果 (せん断ひずみ)

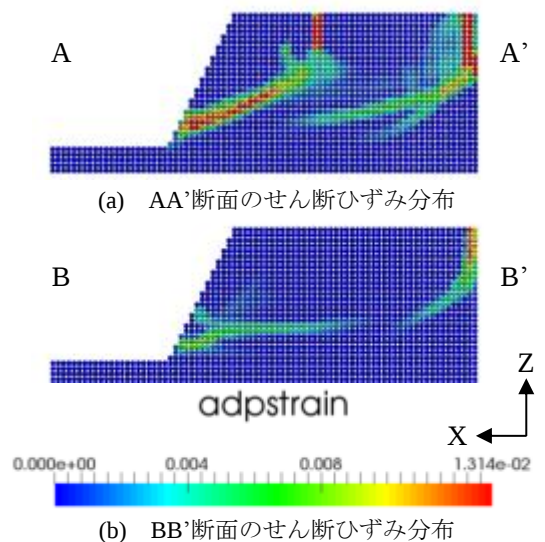


図-7 せん断ひずみ分布 (三次元解析)