遠心場振動実験による斜面崩壊の MPS 法を用いた再現解析

東京都市大学 正会員 〇吉田郁政

1. はじめに

波動伝播から破壊現象までを一貫して解析できる地震応答解析手法として MPS 法(Moving Particle Semi-implicit あるいは Simulation)に注目し、地震時の斜面の崩壊現象を対象にその数値解析手法の開発を行ってきた¹⁾. MPS 法ではひずみ分布の表現として、変位の微分を直接は用いずに変位分布の差分を用いて支配 方程式を満たすように定式化している. そのため結果的に DEM(Discrete Element Method)を拡張したような定式化となっている. SPH 法(Smoothed Particle Hydrodynamics)法と MPS 法は粒子法ということで似たような方法と考えられる場合が多いが、相当に特性の異なる方法であろう. どちらかというと SPH 法は FEM(Finite Element Method)に、MPS 法は DEM に近い. MPS 法では定式化においてひずみ分布を直接用いていないため、ひび割れなどの不連続の扱いが容易であり、地盤材料に向いた解析手法であると期待している. 本稿では北爪 ら²⁾や大津ら³によって行われた斜面の遠心場振動実験の再現解析を通して、地盤構造物のための MPS 法の 有効性について報告する.

2. 斜面の遠心場振動実験²⁾³⁾の概要

泥岩切土斜面及び砂質盛土斜面を 想定した模型の遠心場振動実験が実 施され報告されており²⁾³⁾,本報告で は泥岩切土斜面モデルを対象にその 再現解析を試みる.材料としてセメ ント改良土を用い,これらを内寸幅 200×高さ 65×奥行 34cm のスチール 製の土槽内に流し込んで模型を作成 している.図-1 に示すように斜面高 さ 500mm (50g 遠心力場における実



規模換算では 25m),法面勾配 1:0.5 である. 主な物性値として,湿潤密度 15.8kN/m³,ピーク強度 c_p =143.3kN/m²、 φ_p =5.9°,残留強度 c_r =103.1kN/m²、 φ_r =5.9°,引張強度 σ_r =77.9kN/m²,弾性係数 E_0 =389000+430·P kN/m² (P: 土被り圧),ポアソン比は 0.466 と報告されている.入力加速度波形は図-3 に示すような主要動部が 60Hz(実規 模換算で 1.2Hz), 20 波の正弦波とした.入力加速度の最大振幅は実規模換算で 20,40,100,200,300,400, 500,600Gal とし,順番に振幅を大きくして加振した.ほぼ同様の条件で 2 回実験が行われているが,1 回は 400gal,もう 1 回は 600gal で崩壊している.しかし,振動台実験では必ずしも入力した最大加速度が実現され るわけではなく,振動台で計測された最大加速度は両者とも 500gal 程度であった.すべり面形状には 3 次元 性はあまり認められず,ほぼ 2 次元の円弧状であった.

3. MPS 法による再現解析結果

MPS 法では変形性能に関してはそのまま直接入力パラメタとすることができるが、強度パラメタに関して は DEM と同様に要素試験を再現できるように試行錯誤により決める必要がある.実施されている三軸圧縮試 験をおおよそ再現できるように試行錯誤によって入力パラメタを定めた後、振幅 300gal から順次振幅を増加 させて遠心場振動実験の再現解析を行った.300gal に対する応答計算では多少の残留ひずみが生じたものの、 ほぼ弾性に近い挙動を示しており、残留変位はさほど大きくはなかった.

キーワード 地震,斜面崩壊, MPS法,残留ひずみ,滑り線

連絡先 〒158-8557 東京都世田谷区玉堤 1-28-1

-276

300gal に対する応答計算の結果を引き継いで 400gal 加振を行った計算結果について図-2 に示す⁴⁾. 図には 6,7,10,18 秒時の最大せん断ひずみ分布を示しており,最初は法尻部分ならびに深い領域全体にせん断ひずみが 生じ,その後,いくつかのひずみが集中する線(滑り線候補)が見られた.深い大きな滑り線よりも浅い滑り 線における残留ひずみの集中が徐々に明確になってきている様子がわかる. 18 秒時の図は 400gal 加振後の残 留ひずみ分布とほぼ等しく,浅い滑り線候補が顕著となっている. 残留変位も生じており斜面が全体的にせり 出しているが法尻の変位が一番大きい. この計算結果を引き継いで振幅 500gal で加振を行った結果を図-4 に 示す⁴⁾. 図には実験で得られた滑り線もあわせて示した. 残留ひずみが集中している線に沿って崩壊が生じて おり,実験で見られた滑り線ともほぼ一致している.

4. まとめと今後の課題

再現解析の結果は概ね実験結果の特徴を再現することができた.説明は省いたが初期粒子配置や微小な解析 条件の違いによりすべり線の位置はある程度ばらつく.こうしたばらつきの程度や性質については今後の課題 としたい.また,強度パラメタの設定において低拘束圧における強度特性が地震時の滑り線の形状に大きな影 響を与えるようである.こうした低拘束圧の強度特性の定量的影響評価,モデル化の方法についても検討を進 めていきたい.

参考文献 1)吉田郁政: MPS 法を用いた地盤構造物の地震時破壊挙動解析のための基礎検討,土木学会論文集 A2, Vol.67, No.1, pp.93-104, 2011.8, 2)北爪ら,軟岩斜面の地震時安定性に関する遠心場振動実験,第 40 回地盤工学研究 発表会,G-08, pp.2281-2282, 2005., 3)大津ら:斜面の地震時安定性に関する遠心場振動実験,土木学会第 61 回年次 学術講演会概要集, 3-188, pp.371-372, 2006.,4)関連動画 http://tcu-yoshida-lab.org/MPS_animation.html



図-4 実験と MPS 法による滑り線 500gal 加振後

-552-