不連続体解析による岩盤斜面の振動台実験に対するシミュレーション

中電技術コンサルタント(株) 非会員 ○髙橋 裕徳 清田 亮二 足立 光

- 中電技術コンサルタント(株) 正会員 岩田 直樹
  - 琉球大学 正会員 藍壇 オメル
- サンコーコンサルタント株式会社 正会員 佐々木 猛
  - 関西大学 正会員 大西 有三

### 1. はじめに

岩盤斜面の地震時安定性は、一般的にすべり安全率により評価されているが、近年の地震動の増大に伴い、崩壊 後の挙動に着目した変形量による評価が求められるようになってきた.しかしながら、崩壊後の挙動については、 不連続体解析等による検討もなされているが、事例も少なく、モデル化や解析手法等については確立されていない.

足立ら<sup>1</sup>は、琉球石灰岩で岩盤斜面を模した振動台実験結果を基に、不連続変形法(DDA)による数値シミュレーションを行った.シミュレーションでは、下部ブロックに変位応答を入力し、上部ブロックのすべり挙動を再現しようとしたが、滑りブロックを1つのブロックとしてモデル化を行ったため、ブロックの接触箇所が少ないことや、ロッキングの影響等により実験結果を再現することができなかった.

そこで、本検討では、すべりブロックの面的な接触を評価でき、ブロックの応答の増幅等を考慮できる DDA と同じ不連続体解析法の一つである Manifold 法を用いて、実験結果のシミュレーションを行った.

## 2. 実験概要

実験装置および実験模型を図-1 に示す.実験模型は、高さ 130mm,幅 380mm,すべり面角度が 15°の下部ブロックの上 に、斜面傾斜角が 46°,斜面高さ 88mm の上部ブロックを載せ たもので、想定する岩盤斜面の 1/500 スケールとして、琉球石 灰岩により作成した.模型は振動台の上にフレームにより固 定し、上部ブロックの応答加速度、すべり量を計測するため、 レーザー変位計(水平方向、鉛直方向、すべり方向)及び加 速度計(水平方向、鉛直方向、すべり方向)及び加 速度計(水平方向、鉛直方向、すべり方向)及び加 速度計(水平方向、鉛直方向)をフレーム及び上部ブロック に設置した.すべり面の強度特性は、傾斜実験より、静的摩 擦強度 $\phi_s$  =39.7~41.2°,動的摩擦強度 $\phi_d$ =27.0~35.9° とな っている.

実験に用いた入力波形と、上部ブロックの水平変位を図-2 に示す.入力地震動は水平動のみとし、周波数を2Hzとして加 速度を最大670Galまで段階的に増加させた.この結果、上部 ブロックは、9.5秒付近の入力加速度-475Galの際にすべりが発 生した.



図-1 実験装置及び実験模型



#### 3. 解析手法及び解析条件

Manifold 法 <sup>2)</sup>は DDA のブロックをさらに FEM メッシュで

分割し,FEM のような連続体モデルと DDA のような不連続モデルを同時に解析する手法であり,FEM 要素には4節点アイソパラメトリック要素を用いている.解析モデルを図-3 に示す.上部及び下部ブロックを DDA ブロック として,各ブロック内を FEM 要素で分割している.解析用物性を表-1 に示す.ブロックの剛性が大きく,モデル

キーワード 振動台実験,動的解析,不連続体解析,岩盤斜面,残留変形,シミュレーション 連絡先 〒734-8510 広島市南区出汐2丁目3番30号 中電技術コンサルタント株式会社 原子力プロジェクト室 TEL082-256-3416

寸法が小さいことから、上部及び下部ブロックの固有振動数は数100Hz以上となり、各ブロックは剛体挙動を示し、入力地震動による増幅は発生しない.

外力の入力条件及び境界条件は、振動台実験をイメージして、①下部ブロックに変位を入力した場合、②下部ブロックにのみ加速度を入力した場合、③上部及び下部ブロックに加速度を入力した場合の3つのケースについて検討を行った.①、②は、下部ブロックの振動が、接触面を介して上部ブロックに伝達することで、上部ブロックの応答を再現しようとしたケースであり、③は、FEM と同様に上部及び下部のブロックに同時に入力加速度を作用させたケースである.

# 3. シミュレーション結果

ケース①の上部ブロックの水平変位応答を図-4 に示 す.この結果,加振開始と同時に滑り始め,加振に伴っ てステップ状に滑りが発生する.これは,下部ブロック が上部ブロックから離れる方向(左側)に移動した際に, 上部ブロックが追随できず,ブロック同士が離れてしま い,その期間の移動量が累積して上部と下部のブロック の相対的な滑りとして生じているためである.従って, 振動実験のように,ブロック同士が接触したまま,静止 摩擦力を超えた外力が発生したときに滑りが生じると いったメカニズムになっていない.

ケース②の入力加速度を下部ブロックにのみ作用さ せる場合、モデル底面の境界条件を固定とすると、下部 ブロックは剛体挙動を示すため変位が生じない.このた め、上部ブロックにも振動が伝わらず、応答を再現でき ない.従って、底面の境界条件を水平ローラーとした. これにより入力加速度に応じた変位が下部ブロックに 生じるが、上部ブロックが追随しないため、ケース①と 同様の結果となる.

## 表-1 解析用物性值



Time(sec) 図-5 上部ブロックの水平加速度及び水平変位応答

ケース③では、底面の境界条件を水平ローラーとし、上部ブロックにも加速度を入力した.図-5に上部ブロック の水平加速度応答と水平変位応答を示す.水平加速度は、入力地震動と同様の応答となっており、上部ブロックに 地震動が作用していることが確認できる.水平変位応答をみると、振動に伴ってマイナス側(左側)に徐々にブロ ックが移動していくが、これは下部と上部ブロックが一体となって、マイナス側(左側)にドリフトしているため であり、上部と下部の相対変位としては、1mm以下の非常に小さな滑りしか発生していない.

### 4. まとめと今後の課題

Manifold 法を用いた振動模型実験の再現を目的として、入力条件や境界条件を変えてシミュレーション解析を行ったが、実験結果を再現することはできなかった.本解析のような剛体挙動を示す1つのブロックの地震時挙動を 再現するためには、メッシュ分割やブロック接触部の構成則の見直し等が必要と考えられる.

参考文献 1) 足立ほか:動台模型実験による斜面上の岩盤ブロックの地震時挙動,平成28年度土木学会中国支部研究発表会投 稿論文 2) 大西ほか: Manifold 法の岩盤問題への適用性検討,第1回計算工学シンポジウム講演論文集, pp.901~904, 1996.5