岩塊群の堆積範囲評価に向けた斜面流動過程を再現可能な個別要素モデリング

豊橋技術科学大学 学〇山田 泰弘 正 内藤 直人 非 大村 拓夢 非 Arif Daniel Bin Azmi 正 三浦 均也 正 松田 達也

1. はじめに

近年,高度成長期以降に集中的に整備した社会基盤 施設の老朽化が問題となっており,斜面防災分野も例 外ではない.今後は持続可能な社会に向けて,可能な 限り自然地形・環境の防災性能を見込んだ高精度な被 害想定を基にした既存ストックの長寿命化,合理的対 策の提案が必要であると考える.

岩塊群の堆積範囲の検討においては、いくつかの実 験結果に対して個別要素法¹⁾(以下 DEM)を用いた解 析により、その堆積範囲を予測できることが報告され ている^{例えば 2)}が、最終堆積形状のみが比較されている. また、これまでに行われてきた斜面崩落実験では斜面 勾配が一定の条件で岩塊サイズや崩落量を変える検討 ³⁾、岩塊サイズが一定で斜面勾配を変える検討⁴⁾などが 行われているものの、斜面勾配や流下長さ、岩塊サイ ズ、崩落量、流下長さ等のパラメータを組み合わせた 検討はほとんどない、岩盤斜面崩壊時の岩塊群の堆積 範囲の予測精度を向上させるためには、上述のパラメ ータの組み合わせた検討が望ましく、実験的検討だけ でなく数値解析を併用することが考えられる.

そこで本研究では、数値実験により岩塊群の多様な 崩落条件を検討するため、最終堆積形状だけではなく、 斜面流下から堆積するまでの岩塊群の速度分布を再現 するモデル化手法の一例を示し、斜面流動実験結果と の比較によりその妥当性を確認することとした.

2. 斜面流動実験および解析条件

2.1 実験概要

実験では奥行き 400mm の土槽を用いて, 斜面勾配 45°, 高さ 800mm の位置から粒径 20-40mm の岩塊を 80kg 崩落させた(図-1).斜面表面には合板を設置した.

2.2 粒子形状

実験で使用した岩塊から無作為に 50 個を抽出して 質量および粒子形状の計測を行った. 質量の計測結果 より,岩塊の最大質量が 42.58g,最小質量が 7.86g で あり,本研究でその平均値である 29.15g とした. 粒子 形状の計測では,岩塊の長辺長 *a*,中間長 *b*,および短 辺長 c を測定し, 全 50 個の扁平率 c/b と細長率 b/a の 平均を算出した. その結果, 岩塊の寸法比は a:b:c= 1:0.66:0.429 となり, 質量 29.1g の楕円体と仮定して 寸法比 41.3mm, 27.3mm, 17.72mm の 3 次元岩塊モデ ルを作成した (図-2).

2.3 粘性係数

図-3 に示す反発試験から粘性係数を設定した.無作 為に抽出した 50 個の岩塊を高さ 500mm から斜面およ び斜面上に固定した岩塊に衝突させ,高速度カメラで 撮影した画像より反発高さを計測した.その結果,反 発高さの中央値は岩塊-岩塊:4mm,岩塊-斜面:26mm であることが分かった.図-2 の岩塊モデルを用いて反 発試験の再現解析を実施し,反発高さの中央値が一致 するような粘性係数を調べた結果,粘性係数は岩塊-岩塊:0.26,岩塊-斜面:0.64 とすることとした.



令和2年度土木学会中部支部研究発表会 - III-17 -



図-5 岩塊群の堆積形状及び堆積質量の累積分布



図-6 実験と解析結果の速度分布の比較

2.4 摩擦係数

岩塊-斜面間の摩擦係数は図-4 に示す滑動試験から 設定した.50 個の岩塊を対象として,斜面を傾斜させ て滑動を開始する角度から静止摩擦係数を計測した. また,動摩擦係数は静止摩擦係数の約 52%となる既往 の文献⁵⁾を参考にして,試験で得られた静止摩擦係数 0.60 から,解析で用いる摩擦係数を 0.32 とした.

岩塊-岩塊間の摩擦係数は, Rowe⁶の粒子間摩擦角の測定結果より, その取り得る範囲が約 22-30°であることを参考に 0.47(粒子間摩擦角 25°)を用いた.

3. 斜面流動実験および解析結果の比較

図-5 には実験と解析で得られた岩塊群の堆積形 状とその質量の累積分布を示している.解析は実験 で得られた堆積形状及び累積分布を概ね良好に再 現できていることがわかる.岩塊群の先端に着目す ると,実験の方が解析より到達距離がわずかに長く なっていることがわかる.これは,解析では中央値 の粘性係数を用いたことによるものと考えられる. ただし,岩塊群の堆積形状の大部分を再現できてい る点で,反発係数の中央値を用いることは妥当であ ると概ね考えられる.

図-6には、実験結果と解析結果の速度分布を比較 している. 図中には斜面流動開始時を t=0ms とした 時刻 t を表記している.実験結果の速度分布は岩塊 群先端が斜面を流下しているときが最大速度 4m/s 程度であり、水平面衝突後、法尻から斜面方向に 0.4m の範囲の岩塊が約 3m/s で斜面を流下し,後続 の岩塊群が先頭の岩塊を押し出していることがわ かった.これより、斜面流動一堆積挙動の解明には 岩塊群の転動のモードだけでなく, 滑動モードの視 点も重要である可能性が考えられる. 解析結果にお いても, 岩塊群先端が最大速度で流下し, 先端が水 平面に衝突した後も後続の岩塊群が先頭の岩塊を 押し出すような挙動を再現できている. 岩塊形状計 測,反発試験,滑動試験を基にモデル化することで, 岩塊群の最終堆積形状のみならず斜面流動中の速 度分布も再現可能であることがわかった.

4. まとめ

本研究では、数値実験により岩塊群の多様な崩落 条件を検討するために3次元個別要素法解析の妥当 性の確認を行った.その結果、岩塊形状計測、反発 試験、滑動試験を基にモデルリングすることで、最 終堆積形状だけでなく斜面流動過程も再現できる ことを示した.また、実験と解析の結果から、斜面 流動-堆積挙動の解明には岩塊転動だけでなく滑 りを考慮する視点が重要である可能性を示した.今 後は、本モデリング手法を用いて、岩塊形状や崩落 量、斜面勾配などの様々なパラメータを組み合わせ た数値実験を行う予定である.

参考文献

- 1) Cundall, P. A., et. al.: Geotechnique, 29, 1979.
- 中瀬仁ら: 土木学会論文集 A1(構造・地震工 学), vol.71, No.4, I_476-I_492, 2015.
- 3) 土田章仁ら: 地盤工学ジャーナル, Vol.15, No.1, 159-169, 2019.
- 4) 栃木均: 電力中央研究所, N09021, 2010.
- 5) 中村晋ら: 土木学会論文集 C(地圏工学), vol.74, No.3, 259-274, 2018.
- Rowe, P.W.: Proc. of the Royal Society of London. Series A, Mathematical and Physical Sciences, Vol. 269, Issue 1339, pp. 500-527, 1962.