# 粘着力を考慮した個別要素法による実規模土砂流下実験の再現解析

豊橋技術科学大学 学〇高坂晏志 正 内藤直人 正 松田達也 正 三浦均也 名古屋工業大学 学 木村絢 名古屋工業大学大学院 学 磯合凌弥 株式会社ライテク 正 難波正和

#### 1. 研究背景と目的

降雨等により斜面表層土が飽和状態に至る前の不 飽和状態で小規模な崩壊が発生することがあり,そ の土砂流入を防ぐために斜面法尻に待受け対策工が 設置される場合がある.対策工を経済的に設計,維持 管理するために土砂の流下挙動や衝撃力の発生メカ ニズムを解明することが求められている.現象の解 明には実規模実験が有効な手段として挙げられるが コストが高く,多数の実験ケースを実施することは 困難であるため,数値解析により実験の事前検討や 補完的な検討を実施することが望ましい.

そこで、本研究では、不飽和土の粘着力を考慮した 崩土の斜面流下挙動を数値解析で再現すること<sup>1)</sup>を 目的に、粒子間の付着・再付着が可能な接触モデルを 導入した個別要素法<sup>2)</sup>(Discrete Element Method,以 下 DEM と略す)を提案し、実規模で行われた土砂流 下実験の再現解析を実施することで付着モデルを導 入した DEM 解析の適用性を調べた.

## 2. 実規模土砂流下実験概要

図-1 に示すように土砂 50m<sup>3</sup>を流下高さ約 29m, 勾配 50°の斜面から流下させる実験を実施した.流下 させる土砂は「細粒分まじり砂質礫」で,平均粒径 3.2 mm,均等係数 352 であり,流動性を高めるため実験 直前に加水し,単位体積質量が約 1600kg/m<sup>3</sup>の初期 条件で崩壊装置に堆積させた.また,図-1 中に実験 斜面の全景写真を示しており,上段中央が対策工な



図-1 実験斜面の概要

しの条件,上段右側が待受け対策工ありの条件で,法 尻から流下方向に 5m地点に幅 1.0m,高さ 1.0mのコ ンクリートブロックを設置した.

## 3. DEM 解析概要

## 3.1 付着モデル

本研究では、模型実験や実物大スケールのマクロ な付着挙動を解析することを目的としているため、 実物スケールの2つの砂粒子の間に存在するメニス カス水による粒子間距離と引張力の関係を厳密にモ デル化するのではなく、ある程度の塊となった砂粒 子群と別の砂粒子群が接触した際に生じるマクロな 引張力を付着現象としてモデル化することを目的と した.図-2に示すように粒子半径に対応した微小範 囲(付着影響半径 rc)に引張ばねを導入した DEM を用いた.

## 3.2 解析条件

境界粒子の配置条件は以下の図-1 に示すとおり斜面の粒子間ラップ率は0%,水平面と崩壊装置はラッ プ率75%で直線に粒子を配置した.斜面には数十



図-2 粒子間の付着・再付着が可能な接触モデル

表-1 解析パラメータ

パラメータ	設定値
最大粒子直径	0.02 m
最小粒子直径	0.01 m
法線方向ばね定数	$2 \times 10^{7}$ N/m
接線方向ばね定数	$5 \times 10^6 \mathrm{N/m}$
単位体積質量	1600 kg/m <sup>3</sup> (間隙比 <i>e</i> =0.52)
減衰定数	1.0
摩擦係数	0.466 (=tan25°)



mm 程度の起伏がある一方で水平面は目立った起伏 がなかったため、斜面より水平面の粗度を滑らかな 条件とすることとした.

解析に用いた粒子パラメータは既往研究 2)を参考 に表-1 のように決定した.また、付着力を表現する 付着影響半径 r。はスランプ試験の再現解析により決 定することとし、その結果を図-4 に示す. 図-4(a)の 実験でスランプ高さは 12.5cm, 拡がり幅は 29.3cm で あった.スランプ高さを比較すると図-4(b)の rc=0.0005 が近い値を示しているが、土砂端部の自立 状況に及び拡がり幅に着目すると,図-4(c)のr<sub>c</sub>=0.001 の形状の方がより実験の崩壊形状に近いことを踏ま えて、付着影響半径は rc=0.001 と設定した.

#### DEM 解析結果 4.

## 4.1 堆積形状

図-5 および図-6 は対策工ありと対策工なしの土砂 流下後の堆積形状を示している. 土砂が集合体とし て連続して堆積した長さは、図-5 に示す待受け対策 工なしのケースでは、実験が 13-15m程度、解析が 14.5mとなり、両者は概ね一致している.また、図-6 に示す待受け対策工ありのケースにおいても、実験 結果と解析結果は概ね一致している.ただし,いずれ のケースにおいても、解析結果の方が法尻付近の堆 積層厚が薄くなる結果となっており、土砂や斜面の モデル化に検討の余地が残されている.

## 4.2 土砂表面流速

実験結果を PIV 解析して得られた土砂表面流速と 解析結果を図-7 に示す. 図-7(a)は水平面から鉛直方 向に 9.5m の地点に土砂が到達した際の流速, 図-7(b)



図-6 待受け対策工ありの条件の実験と解析の堆積形状



(b)法尻到達時 (a)地上 9.5m 地点到達時 図-7 実験と解析の土砂表面流速

は法尻に土砂先端が到達した際の流速を示している. 地上 9.5m 地点到達時, 法尻到達時ともに最大流速が 実験と解析で概ね一致することを明らかとした.

## 5. 結論

本研究では、不飽和土の斜面流下挙動に対する粒 子間の付着・再付着が可能な接触モデルを導入した DEM の適用性を検討するため、実規模スケールの土 砂流下実験の再現解析を実施した.

その結果、土砂流下前のスランプ試験における土 砂の変形状況を基にキャリブレーションした付着力 を付与することで, DEM 解析は実験の土砂表面流速 を概ね再現でき,かつ,土砂流下後の堆積形状も実験 結果と概ね一致することを明らかとした.

今後は,斜面勾配や土砂量,流下高さなどを変化さ せた解析を実施し,不飽和状態の崩壊土砂の斜面流 動・堆積メカニズムに関する数値解析的検討を進め る予定である.

参考文献 1) 内藤ら, 土木学会論文集 A2(応用力 学), Vol.75, No.2, I 433-I 444, 2019. 2) Cundall et. al., Geotechnique, Vol.29, No.1, pp.47-65, 1979.