

DEM を用いた熊本地震による南阿蘇村立野地区の斜面崩壊解析

早稲田大学 学生会員 ○今田 耕太郎

早稲田大学 フェロー会員 赤木 寛一

清水建設(株) 正会員 齋藤 亮

清水建設(株) 正会員 桐山 貴俊

1. はじめに

近年の地震を起因とした大規模な斜面崩壊や土石流が社会基盤に及ぼす影響は甚大である。2016 年熊本地震では阿蘇地域を中心に斜面崩壊や地すべり、土石流が多数発生し、多くの被害をもたらした。南阿蘇村立野地区では大規模な深層崩壊を起こし、崩壊土砂による阿蘇大橋落橋を招いた(図-1)。これらの被害を最小限に抑えるには、斜面崩壊発生後の大変形挙動の定量的な評価技術の確立が必要である。そこで地盤崩壊量を評価する手法として数値解析手法による地盤の崩壊予測が期待されている。本研究では、数値解析手法として個別要素法(以下、DEM とする)を用いて南阿蘇村立野地区の斜面崩壊を対象とした二次元の崩壊解析を行った。DEM 解析における斜面崩壊中の摩擦係数および粘着力に着目し、定性的かつ定量的な観点から崩壊性状を比較することで物性値の影響について検討した。

図-1 南阿蘇村立野地区の斜面崩壊¹⁾

2. DEM における斜面崩壊モデル

現地調査報告書¹⁾より南阿蘇村立野地区にて発生した斜面崩壊では、斜面頂部である阿蘇カルデラ壁の西側で崩壊した土砂の一部が斜面中部へ堆積し、崩壊土砂の大半が黒川へと流入していることが確認されている。崩壊規模は崩壊長約 700(m)、最大崩壊幅約 200(m)、崩壊土砂量 50 万(m³)、最大崩壊深さ約 25(m)である。報告書および国土地理院の標高データをもとに、地震発生前の 3DCAD を作成し地震発生後の航空写真を重ね合わせることで流動範囲の推定を行った。このもとで最長手方向の二次元断面を抽出した(図-2)。この断面において報告書のデータ²⁾を元に奥行幅 200(m)、斜面最深部 25(m)と設定し円弧すべり面を仮定して地表面形状の推定を行った。斜面座標と設定した円弧下限の座標から微小台形の面積を足し合わせることで円弧すべり面上の総土量を計算し、推定土量である 50 万(m³)に近似するような二次元の斜面形状を決定した(図-3)。これを DEM 解析に用いる 2D 斜面崩壊モデルの地表面形状とする。

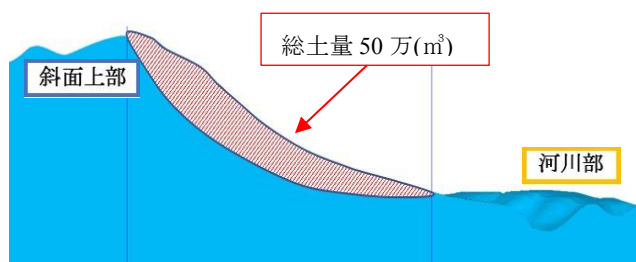


図-2 円弧すべりによる斜面形状の推定

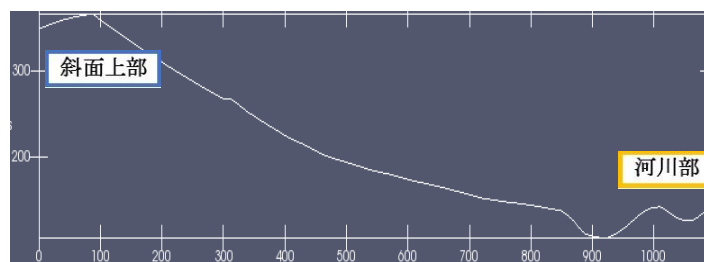


図-3 解析モデルにおける地表面形状

決定した地表面形状における崩壊領域に対して粒径 0.25(m)の粒子を重力パッキング法により充填した。充填した粒子は自重により 100(s)かけて下流に到達すると仮定し斜面崩壊解析を行った。DEM 解析に用いた物性値を表-1 に示す。粘性係数およびローカルダンピングについては計算の安定性と収束性を考慮しながらパラメトリックスタディにより決定した。本稿では斜面崩壊中の粘着力および摩擦係数に着目して堆積形状や流動傾向の比較を行う。それぞれの値が大きいケース (Case1)、中間的なケース (Case2)、小さいケース (Case3) とした 3 ケースについて DEM 解析を行った(表-2)。これらの解析結

表-1 DEM 解析に用いた物性値

項目	単位	値
時間間隔 Δt	s	0.00002
粒子密度 d	g/cm ³	1.6
法線ばね係数(粒子間) k_n	N/m	1.0×10^7
せん断ばね係数(粒子間) k_s	N/m	2.5×10^6
法線ばね係数(粒子壁間) k'_n	N/m	1.0×10^8
せん断ばね係数(粒子壁間) k'_s	N/m	2.5×10^7
粘性係数 h	N · s/m	1.0×10^1
ローカルダンピング α	-	0.05

斜面崩壊 DEM 解析 大変形

〒169-8555 東京都新宿区大久保 3-4-1 58 号館 205 号室赤木研究室 Tel 03-5286-3405

果を比較し、DEM 解析における斜面崩壊中の物性値の影響について検討した。

3. 解析結果

Case1~3 の解析結果について比較する。図-4 に DEM 解析における粒子の初期堆積形状を示した。斜面上部に配置した粒子は時間の経過とともに斜面上を流れ、斜面中流部へ堆積および河川部へ流入する。DEM のシミュレーション結果から、摩擦係数および粘着力の変化により河川部への到達速度や堆積形状などの流動傾向が異なることを確認した。特に粘着力と摩擦係数が大きいほど流動性が低く、粒子が上流部で滞留する傾向がある。

これらの傾向を堆積土砂分布の違いにより評価する。図-5 のように斜面を 4 つの領域に分割（上流部・中流部①・中流部②・河川部）し、各ケースの土砂分布について整理した（図-6~8）。各ケースで斜面上の堆積土砂分布が違うことが確認できる。Case1 では土砂が緩やかに流れ、その多くが上流部と中流部①に堆積した。100(s)時点では上流部に 27 万 (m³)、中流部①に 22 万 (m³) 堆積し、996 (m³) が河川に流入した。Case2 では 40(s)時点までに土砂が上流部を抜け、その後緩やかに中流部に堆積した。100(s)時点で上流部に約 3.5 万 (m³)、中流部①に 29 万 (m³)、中流部②に 17 万 (m³) 堆積し、3675 (m³) が河川に流入した。Case3 では土砂が勢いよく流れ、20(s)時点でほとんどの土砂が上流部を抜け、50(s)時点で最終堆積状態へと収束している。土砂は中流部②に約 11.3 万 (m³) が堆積し、残りの 38 万 (m³) が河川に流入した。これらの結果から斜面崩壊中の摩擦係数および粘着力の値により土砂の河川部への到達速度や堆積形状が異なることを確認した。災害報告書¹⁾によれば南阿蘇村立野地区における実際の斜面崩壊では、上流部で崩壊した土砂の大半（約 50 万 m³）が中流部②へ堆積および河川部へ流入したことが確認されている。したがって本研究では土砂分布の傾向から Case3 が適切な解析結果であると判断した。

表-2 3 ケースの検討物性値

検討項目	単位	Case1	Case2	Case3
摩擦係数 μ	-	0.58	0.27	0.18
粘着力 k_r	kPa	10	5	2

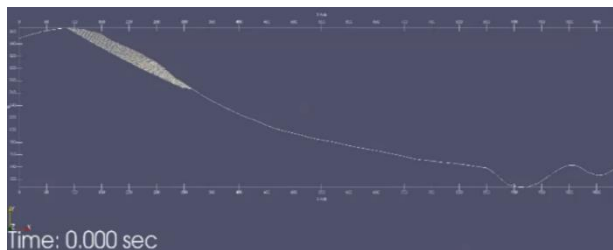


図-4 DEM 解析の初期堆積形状

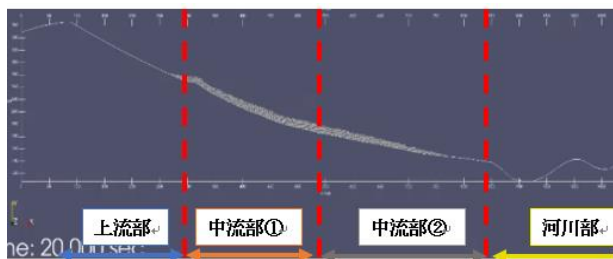


図-5 斜面領域の 4 分割

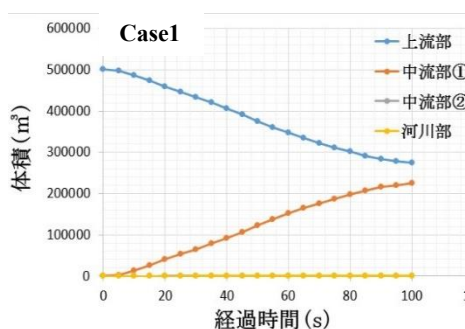


図-6 経過時間における体積変化(Case1)

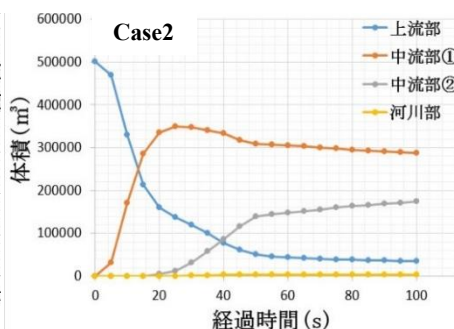


図-7 経過時間における体積変化(Case2)

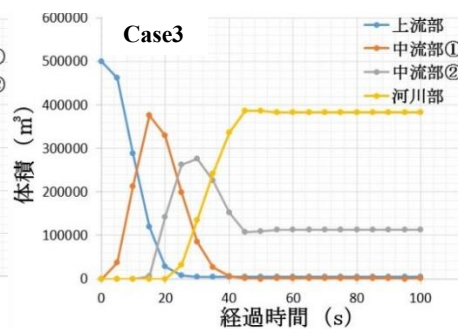


図-8 経過時間における体積変化(Case3)

4. まとめ

本研究では熊本南阿蘇立野地区にて発生した斜面崩壊を対象として DEM による再現解析を行った。斜面崩壊中の摩擦係数と粘着力の違いによる堆積形状および流動傾向を確認し、これらの傾向を土砂分布の違いから定量的に比較・考察した。土砂の最終的な斜面上の堆積量および河川への流入量から、摩擦係数と粘着力が比較的小さい Case3 が再現性の高い解析結果であると判断した。今後の課題としては Case3 における土砂の到達速度の再検討が挙げられる。Case3 では 50(s)時点で最終堆積形状へと収束しているが、実際の斜面崩壊は土砂の流速は緩やかであると考えられる。これについては解析上の安定計算に関わる粘性係数およびローカルダンピングについても再検討を行う必要がある。また、本研究成果を利用した地盤の大変形挙動による崩壊予測への利用に向けた解析手法の確立を目指す。

<参考文献>

- 1) 砂防学会, 平成 28 年熊本地震に係る土砂災害緊急調査団, 「平成 28 年熊本地震による土砂災害に関する緊急調査報告書」P.15~24, 2016.
- 2) 地盤工学会 平成 28 年熊本地震地盤災害調査団: 平成 28 年熊本地震に起因した斜面災害に関する現地調査報告, 2017.