

斜面崩壊土砂の到達距離に平地部の地盤が及ぼす影響の個別要素解析による検討

鳥取大学 正会員 小野 祐輔
 鳥取大学 学生会員 ○松浦 悠斗
 鳥取大学 正会員 河野 勝宣

1. はじめに

斜面崩壊により生じた土砂は斜面を流下した後、平地部に到達して停止する。平地部に到達した土砂の運動は、平地部の地盤から何らかの影響を受けると考えられる。

写真1は2018年北海道胆振東部地震によって発生した斜面崩壊の土砂が平地部である田に到達し、土砂が停止した様子である。田の表面の土が隆起しており、崩壊土砂が田の土の動きを抑制する作用をしたと推察できる。ただし、その効果が工学的な議論に値するものなのか、あるいは無視できるのかは不明である。本研究では、平地部の地盤の密度、材料強度（内部摩擦角）に着目し、個別要素法による数値実験を用いて、平地部の地盤が平地部に到達した斜面崩壊土砂の到達範囲に与える影響の定量的な検討を実施した。



写真1 斜面崩壊土砂によって田の表土が隆起した様子

2. 方法

図1に示した形状の解析モデルを設定した。図は側面図であり、奥行0.20mを与えた三次元解析を行った。崩壊土砂は静止した状態から、重力の作用により一斉に崩壊、流下する。その後、崩壊土砂は斜面下の平地部に到達し、平地部の地盤の影響を受けて停止する。以上の過程に対して個別要素法¹⁾による数値解析を行った。崩壊土砂、平地部の地盤とも均一なサイズの球体要素を用いた。平地部の地盤の密度を2種類、平地部の地盤の接触ばねの性質を2種類設定し、表1に示す3つの解析ケースを設定した。

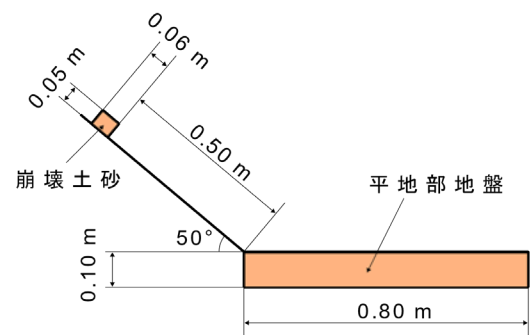


図1 解析モデルの側面図

個別要素法では、要素と要素の接触力を接触ばねにより求め、それぞれの要素の運動を求めていく。球体要素を用いる場合、プリミティブな個別要素法では、接触ばねとして法線ばねと接線ばねの2つを設定する。しかし、球体要素を用いて地盤をモデル化する場合、この2種類のばねでは設定できる地盤の内部摩擦角に限界があり、一般的な地盤の内部摩擦角を利用できないことが知られている。そのため、近年では、法線ばねと接触ばねに加えて、球体要素間に曲げばねとねじりばねを導入した接触モデル²⁾を用いることが多い。本研究でも平地部の地盤の材料強度を支配するパラメータとして内部摩擦角に着目するため、ねじりばねと曲げばねを使用した。表1に平地部地盤を構成する球体要素に与えた密度、内部摩擦角、粘着力と各接触ばねの値を示した。表2には崩壊土砂に用いた球体粒子の各パラメータを示した。なお、表1および表2に示されている内部摩擦角、粘着力は、球体要素間の接線方向の接触力の算定に用いたモール・クーロンモデル

キーワード 斜面崩壊, 崩壊土砂, 到達範囲, 個別要素法, 数値解析

連絡先 〒680-8552 鳥取県鳥取市湖山町南4-101

TEL 0857-31-5286

のパラメータであり、球体要素の集合としてモデル化した地盤に対する値ではない。そのため、球体粒子の集合体としてモデル化した地盤の材料強度としての内部摩擦角は別途解析を行って求める必要がある。これら解析ケースは、解析ケース A と B を比較することで平地部地盤の内部摩擦角の影響を、解析ケース A と C を比較することで平地部地盤の密度の影響を調べることを意図して設定した。

表 1 解析ケースと平地部地盤に用いた球体要素のパラメータ

解析ケース	半径 (m)	密度 (kg/m ³)	内部摩擦角 (deg.)	粘着力 (kPa)	法線ばね (kN/m)	接線ばね (kN/m)	曲げばね (kNm/rad)	なじりばね (kNm/rad)
A	0.0025	2.40E+03	35.0	0.00	150	22.5	0.00	0.00
B	0.0025	2.40E+03	35.0	0.00	150	22.5	0.01	0.01
C	0.0025	3.60E+03	35.0	0.00	150	22.5	0.00	0.00

表 2 崩壊土砂に用いた球体要素のパラメータ

半径 (m)	密度 (kg/m ³)	内部摩擦角 (deg.)	粘着力 (kPa)	法線ばね (kN/m)	接線ばね (kN/m)	曲げばね (kNm/rad)	ねりじばね (kNm/rad)
0.0025	3.30E+03	32.0	0.00	50.0	7.50	0.00	0.00

3. 結果と考察

まず、平地部地盤の内部摩擦角を求めるために、平地部地盤のモデル化に用いた球体要素を用いた三軸試験解析を次の手順で実施した。(1) 空間内に球体要素をランダムな位置に生成して作成した供試体モデルを指定した等方圧力状態になるように圧縮する。(2) 直交する三軸のうち x 軸と y 軸方向の軸応力 σ_{xx} および σ_{yy} を保ちながら、z 軸方向に圧縮を与える。この圧縮を z 軸方向の軸応力 σ_{zz} の値が頭打ちするまで続ける。(3) σ_{zz} が頭打ちになった時の応力を用いてモールの応力円を描く。(4) 平地部地盤に用いる 2 種類の球体要素に対して、それぞれ拘束圧を $\sigma_{xx} = \sigma_{yy} = 5.0, 10.0, 20.0$ (kPa) と与えた 3 ケースの解析を実施し、モールの応力円に接する直線を求めて内部摩擦角を決定する。図 2 にモールの応力円と接する直線を示した。これらの直線の傾きから、解析ケース A と C の平地部地盤の内部摩擦角は 20.0° 、解析ケース B で用いる平地部地盤の内部摩擦角は 52.5° となった。

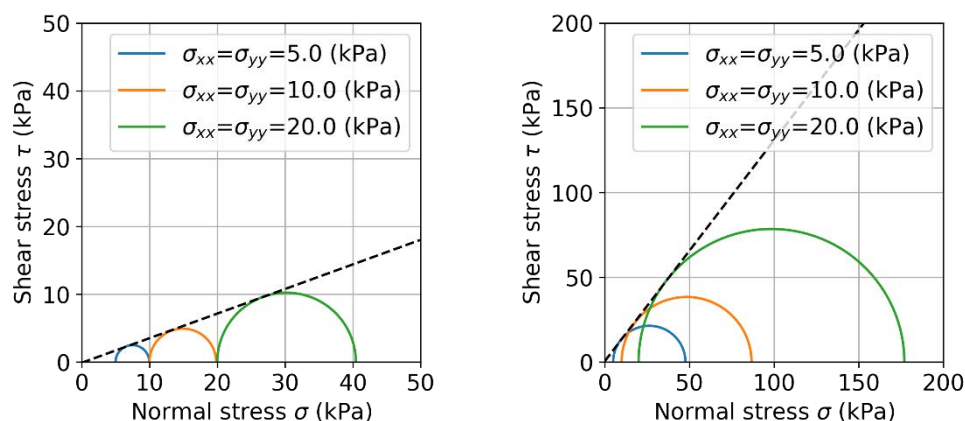


図 2 モールの応力円と接する直線

(左図は解析ケース A および C の平地部地盤，右図は解析ケース B の平地部地盤に対応)

次に、本研究の目的である崩壊土砂が斜面を流下し平地部地盤で静止する過程の解析を実施した。各解析ケースにおいて、崩壊土砂が静止した時の崩壊土砂と平地部地盤を図 3 に示した。図中の白い球体が崩壊土砂に用いた球体要素である。いずれの解析ケースにおいても平地部地盤は斜面近くが削られ、隆起している様子が確認できる。図 4 には、崩壊土砂の球体要素について、静止した位置の水平面内での分布と斜面最下

端からの距離のヒストグラムを示した。解析ケース A と B を比較すると、平地部地盤の内部摩擦角の小さいケース A において斜面に近い位置に崩壊土砂が留まる傾向がみられる。解析ケース A と C の比較では、平地部地盤の密度の小さいケース A の方が崩壊土砂の広がる範囲が狭い。すなわち、平地部地盤の内部摩擦角は小さい方が、あるいは平地部地盤の密度が小さい方が、平地部地盤による崩壊土砂の到達範囲を抑制する傾向がある。図 5 は、平地部地盤の変形の様子を比較したものである。平地部地盤の地表面の高さを変形前の高さをゼロとして、斜面からの距離に沿って示している。解析ケース A と B では、解析ケース A の方で平地部地盤に生じた窪みが深くなっている。この窪みに崩壊土砂が留まることで崩壊土砂の広がりが抑制されている。ただし、窪みの外側で平地部地盤が隆起しており、隆起の範囲はケース B よりもケース A の方が広い。ケース A とケース C を比較した場合にも、ケース A の方が発生した窪みが深く、その外側の広い範囲で平地部地盤が隆起している。

4. おわりに

斜面崩壊により生じた土砂が平地部に達した後に到達する範囲は、防災・減殺対策を進める上で重要な情報である。今後、崩壊土砂により平地部地盤に生じる陥没による土砂の補足効果とその外側で生じる隆起の大きさに着目した検討を進める予定である。

謝辞

本研究の個別要素法による数値解析には Yade²⁾バージョン 3.8.10 を使用しました。

参考文献

- 1) Cundall P. A. and Strack O. D. L.: A discrete numerical model for granular assemblies, *Géotechnique*, Vol.29, No.1, pp.47-65, 1979.
- 2) Šmilauer V, Catalano E, Chareyre B, Dorofenko S, Duriez J, Gladky A, Kozicki J, Modenese C, Scholtès L, Sibille L: Yade Documentation, The Yade Project, 2010.

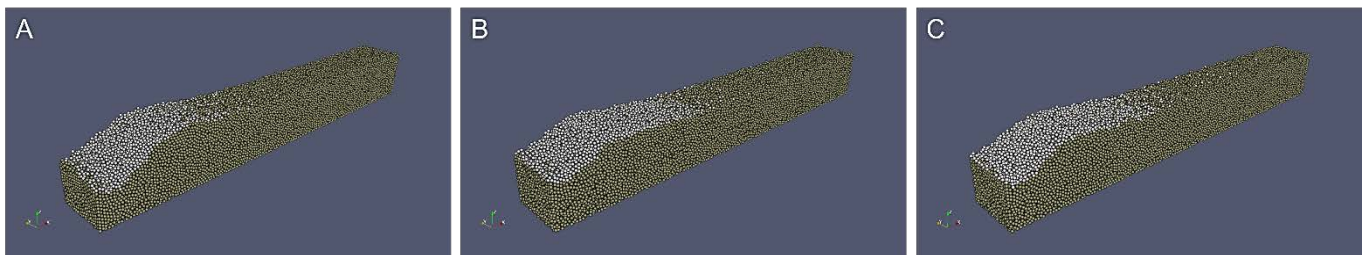


図 3 崩壊土砂の堆積と平地部地盤の変形の状況

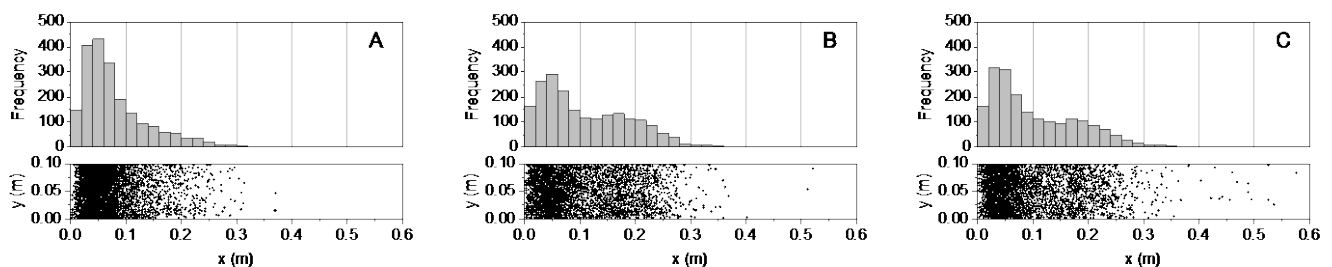


図 4 崩壊土砂の堆積の状況 (x 軸は斜面最下端からの距離を表す方向, y 軸は奥行方向)

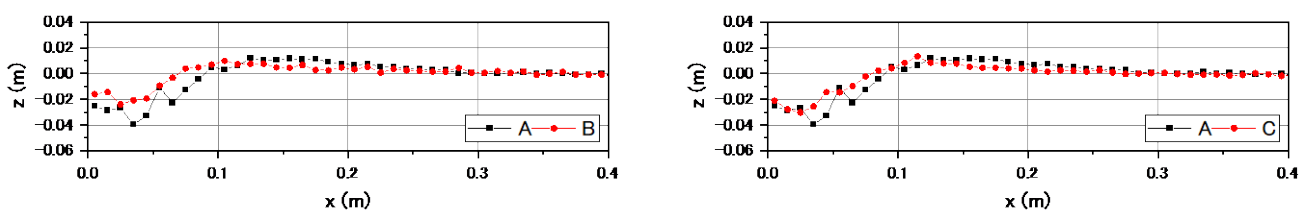


図 5 平地部地盤の変形の比較