

斜面近傍にあるトンネルの挙動に関する基礎的研究

首都大学東京大学院 学生会員 ○梅澤 麻理花
首都大学東京大学院 正会員 土門 剛
首都大学東京大学院 正会員 西村 和夫

1. 研究背景と目的

トンネル坑口部は小土被りのためグラウンドアーチが形成されにくく、崖錐のように脆弱な地山であることが多い。また、坑口部などの斜面近傍にあるトンネルでは、トンネルに対して非対称な地形のため偏土圧が作用することもあり、このように、坑口部等の斜面では力学的に不安定な条件が重なることから、トンネル掘削時にトンネルおよび斜面の崩壊が生じる可能性がある。しかし、斜面近傍の偏土圧作用メカニズムなどのトンネル挙動がそれほど明らかにされていないのも事実である。

本研究では粒状体地山で形成される斜面近傍にあるトンネルを再現し、斜面近傍のトンネル配置パターンと斜面崩壊等との関係性からトンネル挙動を明らかにすることを主な目的とする。本報告ではその第一段階として、底面摩擦実験により斜面崩壊の再現を試み、実験結果とDEM(Distinct Element Method)による再現解析結果とを比較し、斜面崩壊挙動について論じる。

2. 底面摩擦実験

2.1 実験装置

実験では、トンネルや周辺地山の崩壊挙動を容易に再現できる底面摩擦装置を用いた。地山材料は、長さ40mm、直径2.5mmおよび5.0mmの2種類のステンレス棒を重量混合比3:2で混合して使用した。内部摩擦角は約27°、粘着力は0kN/m²である。装置の底板上に図-1のように地山材料を並べ粒状体地山模型を作成した。なお、同図中の白い点は、地山変形を追尾するための画像解析用マーカーである。

2.2 実験方法

本実験では、底板を一定の速度でスライドさせることにより、地山材料と底板の間に摩擦力を発生させる。この摩擦力を疑似重力とみなし、疑似重力作用下の地山挙動を観察した。そして、得られた結果を動画計測ソフト Move-Tr とひずみ解析ソフト Strain を用いて画像解析した。

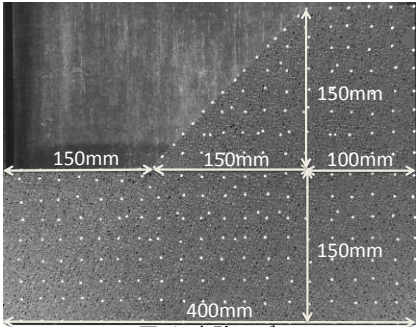


図-1 実験モデル

3. DEM 解析

底面摩擦実験による不連続体の挙動をシミュレートするため、DEM 解析を用いた。解析モデルは、底面摩擦実験と同スケールとし、地山円要素の重量混合比も実験と同様にした。DEM 解析に用いる物性値を表-1に示す。円-円要素はステンレス棒間、円-線要素はステンレス棒と実験装置境界との間に働く物性値である。本解析でも実験と同様、地山に作用させる荷重を底面摩擦力(疑似重力)とした。ステップ毎の時間増分と計算ステップ数を乗じたものがDEM上の解析時間となり、それをスライド速度で除したものがスライド量となる。

表-1 解析に用いた物性値

	円-円, 円-線要素
仮想縦弾性係数(N/mm ²)	200
反発係数	0
仮想せん断弾性係数比	0.25
要素間粘着力(N/mm ²)	0
要素間摩擦角(°)	50
許容引張応力(N/mm ²)	0
単位体積重量(N/mm ³)	7.70 × 10 ⁻³
底面摩擦係数	1.946
ステップ毎の時間増分(sec)	1.0 × 10 ⁻⁵
計算ステップ数	5000000
スライド速度(mm/sec)	5.0

キーワード：トンネル, 斜面崩壊, 底面摩擦実験, DEM

連絡先：首都大学東京 住所〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1 TEL042-677-1111 (代表)

4. 底面摩擦実験および DEM 解析結果

底面摩擦実験の結果を図-2 と図-3 に示す。図-2 は変位図、図-3 は最大せん断ひずみ図である。図-2(a)より、斜面の表面から崩壊が始まることが確認できる。しかし図-2(b)より、斜面表面あるいは表層付近の変位が大きいことが確認できるがそれよりも地山内部では変位が小さいことが確認できる。このことから斜面の表層崩壊に近い現象であると考えられる。

図-3(a)より、斜面のり先に大きなせん断ひずみが発生し、そこを起点に斜面内部や上部に広がっていくことが確認できる。また図-3(b)より、スライド量が増すとせん断ひずみの卓越した領域(赤色)がのり肩までおよび、その領域が斜面下方に移動することが確認できる。ただしこの領域はのり先で底面摩擦の影響を受けて、水平方向への移動が抑制されているように見える。

底面摩擦実験で円弧状の地すべりではなく表層崩壊が発生した理由としては、地山を模擬したアルミ棒の粘着力が 0kN/m^2 であること、また十分にアルミ棒が敷き詰められていなかったことが原因であると考えられる。

DEM での解析結果を図-4 に示す。図-4(a)より、DEM 解析の場合も斜面のり先から変位し、スライド量を増やすと斜面表面全体が崩壊していく様子が確認できる。

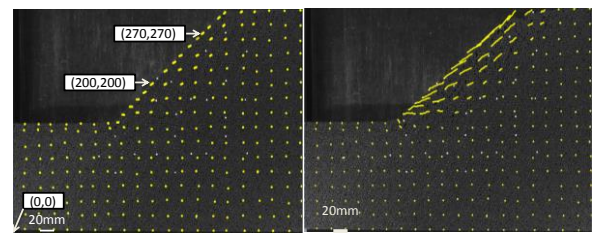
図-2 と図-4 の最下端左側境界点を(0,0)とすると、底面摩擦実験で最大変位点は(200,200)であり、変位量は 21.49mm となったのに対し、同じ点の DEM 解析での変位量は 35.73mm となった。また、DEM 解析で最大変位点は(270,270)であり、変位量は 39.33mm となったのに対し、同じ点の底面摩擦実験での変位量は 19.42mm となった。全体的に底面摩擦実験より DEM 解析の変位量の方が大きい値となった。このように両者の値の差があるものの、定性的には実験および解析ともに粒状体地山における斜面の表層崩壊を概ね再現できたと言える。

5. トンネルを配した試計算

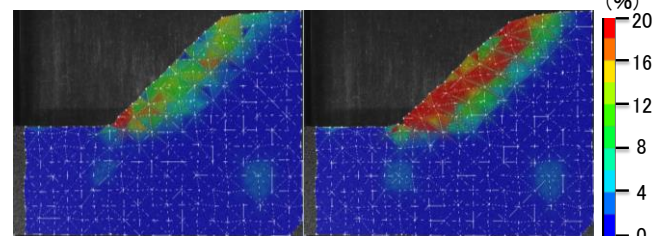
斜面に吹付コンクリート要素(許容引張応力 41.9N/mm^2 、円要素で構成)を有する直径 50mm のトンネルを配置したときの DEM 解析の試計算を図-5 に示す。図-5(b)より、スライド量わずか 0.25mm の時点で、斜面の崩壊が始まる前に吹付が剥がれ落ちる挙動が確認できる。

6. まとめと今後の課題

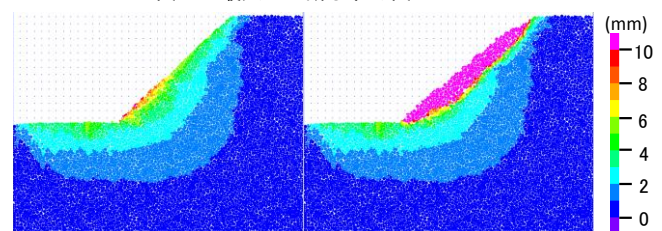
本研究では地すべりを再現することを試みたが、底面摩擦実験と DEM 解析ともに表層崩壊現象の挙動はおおむね再現できた。しかし、地山内部の変位方向やその量については両者の差が大きい箇所もある。また、トンネルの試計算も実現象とはかなり乖離しているものと思われる。トンネルや斜面崩壊挙動を DEM 解析で再現するには、解析時の物性値を変更するなど解析方法を再検討する必要があると考えられる。その上で、本研究の目的であるトンネルと斜面崩壊との関係性を明らかにする。



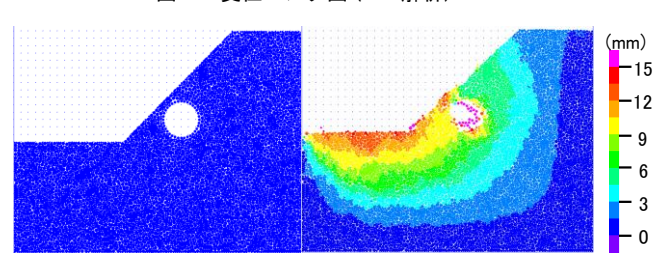
(a) スライド量 10mm (b) スライド量 60mm
図-2 変位図



(a) スライド量 30mm (b) スライド量 60mm
図-3 最大せん断ひずみ図



(a) スライド量 10mm (b) スライド量 60mm
図-4 変位コンタ図 (DEM 解析)



(a) スライド量 0mm (b) スライド量 0.25mm
図-5 変位コンタ図 (DEM 解析トンネル試計算)