

地すべり斜面におけるトンネル掘削解析のモデル化についての考察

山口大学大学院 学生会員 ○天藤翔太, 市原翔
正会員 中島伸一郎, 清水則一

1. はじめに

地すべり斜面の直下にトンネルを掘削すると、地すべりが誘発されることがある。このような問題に対し、適切な解析のあり方が検討されているものの¹⁾、まだ十分に確立されていない状況である。本研究では、現場の変位計測結果²⁾に基づき、トンネル掘削による地すべり斜面の変位挙動を再現できる解析方法を検討し、そのメカニズムを考察することを目的とする³⁾。

2. トンネル掘削による地すべり斜面の変位挙動

本研究では現場で得られた斜面の変位挙動を参考にする。図1に、トンネル（下り線）掘削の際に、地すべりが想定される斜面の上部（B-1）、中央（B-2）、下部（B-3）の3箇所の孔内傾斜計で計測された地山の水平変位計測結果を示す。この図より、いずれの傾斜計においても水平変位が増加しており、トンネル上部の斜面全体が斜面下方に向かって変位していることがわかる。つまり、このような変位挙動が地すべり挙動である。

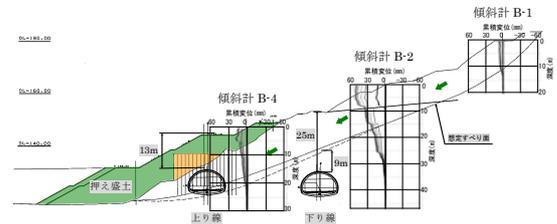


図1 トンネル掘削による地すべり斜面の変位挙動²⁾

3. 粒状体解析による数値シミュレーション

3.1. 解析モデル

本研究では、解析には粒状体解析手法 (PFC2Dver3.10, ITASCA) を用いる。地山は、弾性係数 $E=150\text{MPa}$ 程度のものを想定し、表1の入力パラメータを用いてモデル化した(図2)³⁾。

解析モデルの作成方法は以下の通りである。

- ① 縦 50m×横 120m の水平地山を作成し、重力解析を行う
- ② 地山を掘削し、傾斜 30° の斜面を作成する
- ③ 地山のある一定の領域（限界状態領域と呼ぶ）の粒子間強度（Contact Bond Strength）を徐々に低下させ、地すべりが生じる直前の状態（限界状態）にする

トンネルの掘削位置は浅いところから深いところに位置する3箇所を想定する(図2)。

3.2. 解析結果とメカニズムの考察

図3に、トンネル掘削シミュレーションを行った結果を示す。これらの図は、変位ベクトル図と合成変位コンター図である。図4に合成変位コンター図の凡例を示す。トンネル掘削によって、Case2には地すべり挙動、Case1にはトンネル掘削領域に向かって変位する挙動が生じている。Case3に関しては変位挙動がほとんど生じていない。したがって、トンネル掘削によって生じる地すべり挙動は、限界状態領域とトンネルの位置関係が大きく関わっているということが考えられる。

次に、トンネル掘削前後の地山の応力状態の変化をより詳しく調べるために、トンネル掘削による地山内部の応力の推移（応力経路）をトンネル周辺に対して求めた。応力計算位置と凡例を図5、応力経路を図6に示す。キーワード トンネル掘削, 地すべり斜面, メカニズム, 粒状体解析, 応力経路, 限界状態

連絡先 〒755-8611 山口県宇部市常盤台 2-16-1 山口大学工学部社会建設工学科 TEL(0836)85-9334

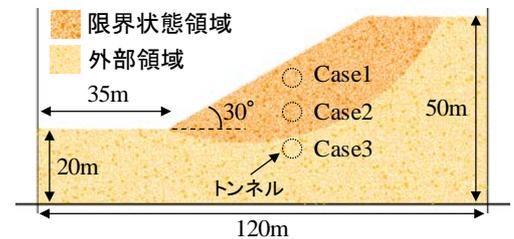


図2 解析モデル

表1 入力パラメータ

パラメータ	値
最小粒子半径 [m]	0.1
最大粒子半径 [m]	0.2
間隙率	0.15
ばね定数 [N/m]	
粒子間-垂直方向	5.0×10^8
粒子間-せん断方向	2.5×10^8
壁・粒子間-垂直方向	5.0×10^8
壁・粒子間-せん断方向	2.5×10^8
粒子間摩擦係数	0.37
粒子密度 [kg/m^3]	2000
Contact Bond [MN]	
垂直方向強度	
限界状態領域	0.03
外部領域	10
せん断方向強度	
限界状態領域	0.03
外部領域	10

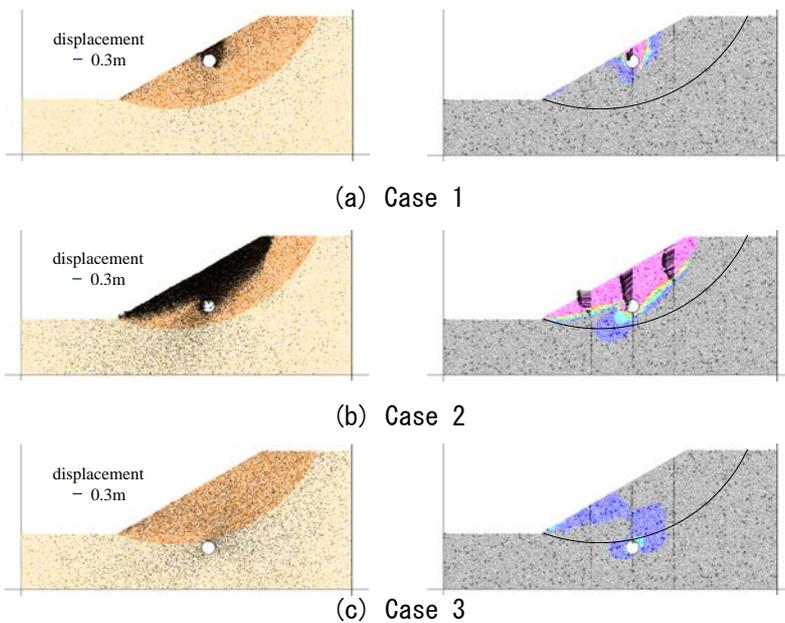


図3 変位ベクトル図および合成変位コンター図



図4 合成変位変位コンター図の凡例

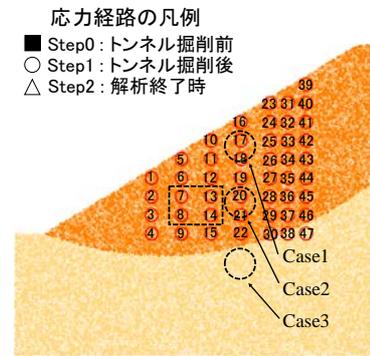


図5 応力計算位置と応力経路の凡例

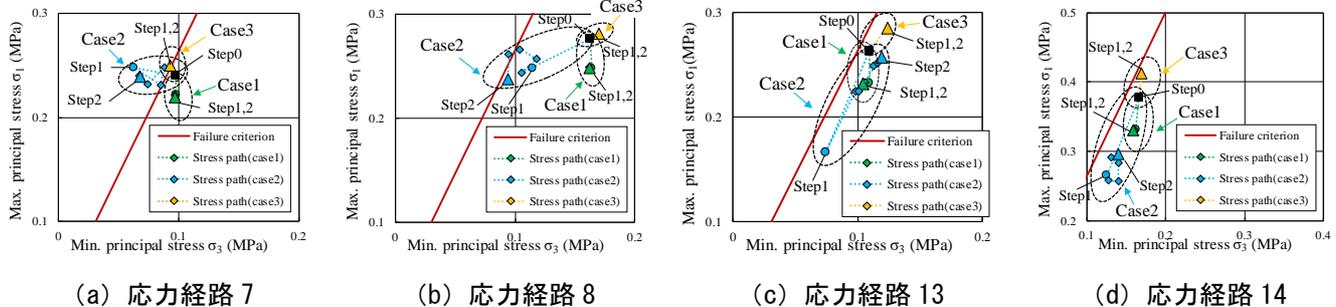


図6 応力経路

お、今回は全ての解析ケースにおける応力経路の中で、応力変化が特徴的であった斜面下方の4つの応力経路に着目し、検討を行った。ほとんど変位挙動が生じなかったCase3は他の2つの解析ケースと比べて、応力変化がほとんどみられなかった。一方で、地すべり挙動が生じたCase2やトンネル掘削領域に向かって変位する挙動がみられたCase1においては、大きな応力変化がみられた。応力経路7, 8に着目すると、Case2はトンネル掘削後、応力が減少し破壊規準線に向かって推移しているが、Case1においては最大主応力のみが減少しているだけである。次に、応力経路13, 14に着目すると、Case2はトンネル掘削後、応力が破壊規準線に沿って減少している。特に、応力経路13においては応力が減少した後、破壊規準線に沿って増加している。しかし、Case1では応力経路13, 14において、応力経路7, 8の時と同様に最大主応力が減少し、最小主応力はほとんど減少していない。以上の結果より、斜面下方の地山の応力が、トンネル掘削後、破壊規準線に向かって推移する、もしくは破壊規準線に沿って減少する場合において地すべりが発生しているということが考えられる。

4. むすび

本研究では、トンネル掘削によって誘発される地すべり挙動を再現できる解析方法を検討し、地すべりが誘発されるメカニズムについて考察した。トンネル掘削による地山内部の応力の推移について検討した結果、トンネル掘削断面の斜面下方の地山の応力変化が地すべりの発生の有無を決めるポイントであることが分かった。

参考文献

- 1) 独立行政法人土木研究所・基礎地盤コンサルタンツ株式会社・応用地質株式会社・鹿島建設株式会社・日本工営株式会社・川崎地質株式会社, トンネルへの地すべりの影響評価手法に関する共同研究報告書, 2010. 3
- 2) 田山聡, 竹國一也, 神澤幸司, 平野宏幸: 小土被りの大規模地すべり地帯を情報化施工で突破—第二東名高速道路 引佐トンネル—, トンネルと地下, 第36号巻3号, pp.207-218, 2005
- 3) S. Amafuji, S. Ichihara, S. Nakashima, N. Shimizu: Numerical modeling of tunnel excavation effects on landslide behavior, Proc. of the YSRM 2017 & NDRGMG 2017, 2017, (印刷中)