

トンネル掘削による地すべり斜面の変位挙動解明のための数値解析モデルの検討

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

1. はじめに

地すべり斜面直下におけるトンネル建設では、地すべりの誘発とともに、トンネル掘削への地すべりの影響が懸念される¹⁾。このような問題を設計時に考慮するためには、適切な解析手法が必要で検討されているものの²⁾、まだ十分に確立されていない状況である。筆者らもこの研究に取り組み、トンネル掘削が地すべりを誘発するメカニズムの検討をしている³⁾⁻⁵⁾。本研究では補強の効果について考察する。図1にトンネル建設によって誘発された地すべり斜面の変位挙動¹⁾を示す。図1に示すように、トンネル(下り線)建設によって、いずれの傾斜計(B-1, B-2, B-4)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する地すべり挙動が確認できる⁵⁾。

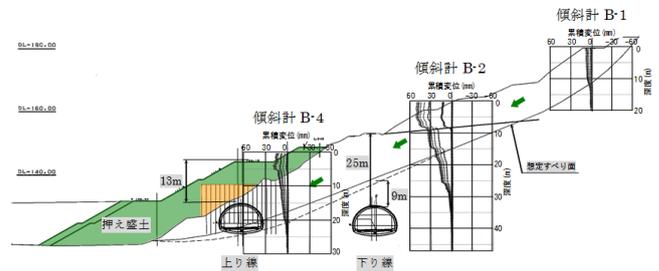


図1 トンネル建設による地すべり斜面の変位挙動¹⁾

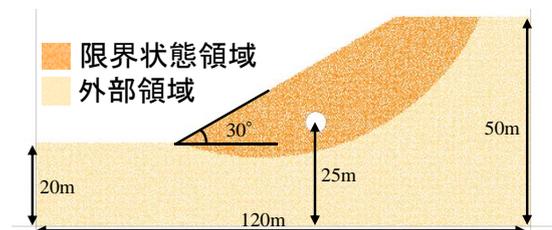


図2 解析モデル

2. 粒状体解析による数値シミュレーション

(1) 解析モデル

本研究では、解析に粒状体解析手法(PFC2Dver3.10, ITASCA)を用いる。地山において、すでに地すべりが生じている領域を限界状態領域としてモデル化する点が本研究の特徴である(図2)³⁾⁻⁵⁾。ここで、限界状態領域は、領域の粒子間強度(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)として作成している。表1に解析に用いた入力パラメータを示す。解析ケースは、地すべり挙動が生じるCase Aと補強材をモデル化し地すべり挙動を抑制したCase Bの2種類とする。補強材は補強する箇所の粒子間をParallel Bondで結合することでモデル化する。

表1 地山の入力パラメータ⁵⁾

パラメータ	記号	値
最小粒子半径(m)	R_{min}	0.1
最大粒子半径(m)	R_{max}	0.2
間隙率	n	0.15
ばね定数(N/m)		
粒子間-垂直方向	k_n	5.0×10^8
粒子間-せん断方向	k_s	2.5×10^8
壁・粒子間-垂直方向	k_n	5.0×10^8
壁・粒子間-せん断方向	k_s	2.5×10^8
粒子間摩擦係数	μ	0.37
粒子密度(kg/m^3)	ρ	2000
ContactBond(MN)		
外部領域		
垂直方向強度	σ_c	10
せん断方向強度	τ_c	10
限界状態領域		
垂直方向強度	σ_c	0.03
せん断方向強度	τ_c	0.03

(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の解析モデル、変位ベクトルおよび変位コンターの結果を示す。Case Aでは、トンネル掘削によって地すべり挙動が生じていることがわかる。Case Bでは、補強材を加えることで斜面全体の変位量が小さくなり、斜面下方では変位が生じていないことがわかる。

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4に、応力経路を図5に示す。

なお、今回は2つ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8つの応力経路に着目した。応力経路7, 11, 12, 18, 19では、Case AとCase Bでのトンネル掘削後の応力の推移にほとんど違

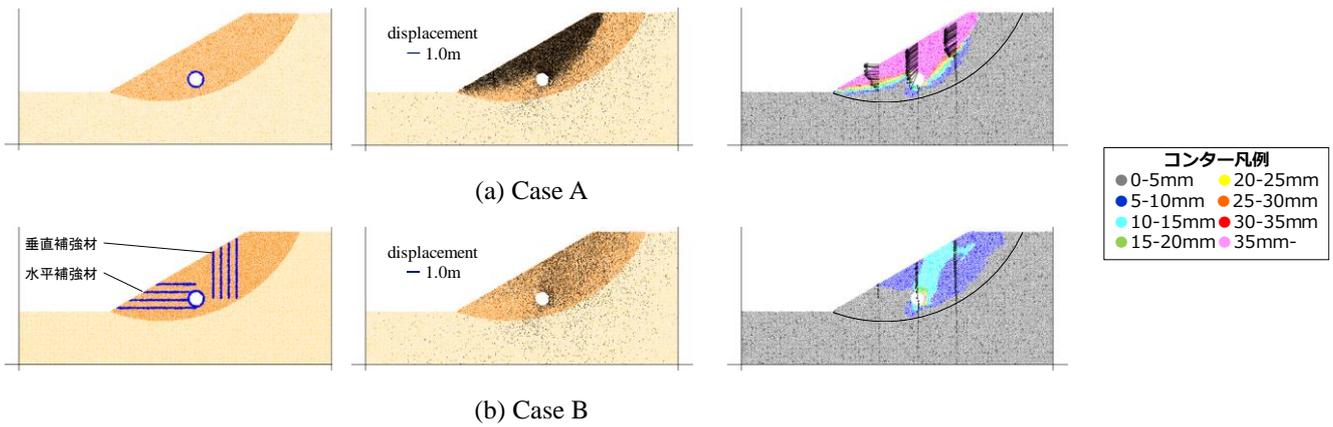
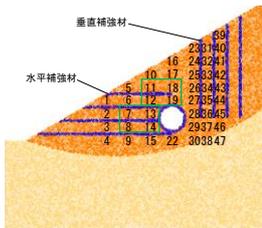


図3 解析モデル（左）と変位ベクトル（中）および変位コンター（右）



(a) Case A



(b) Case B

図4 応力計算位置

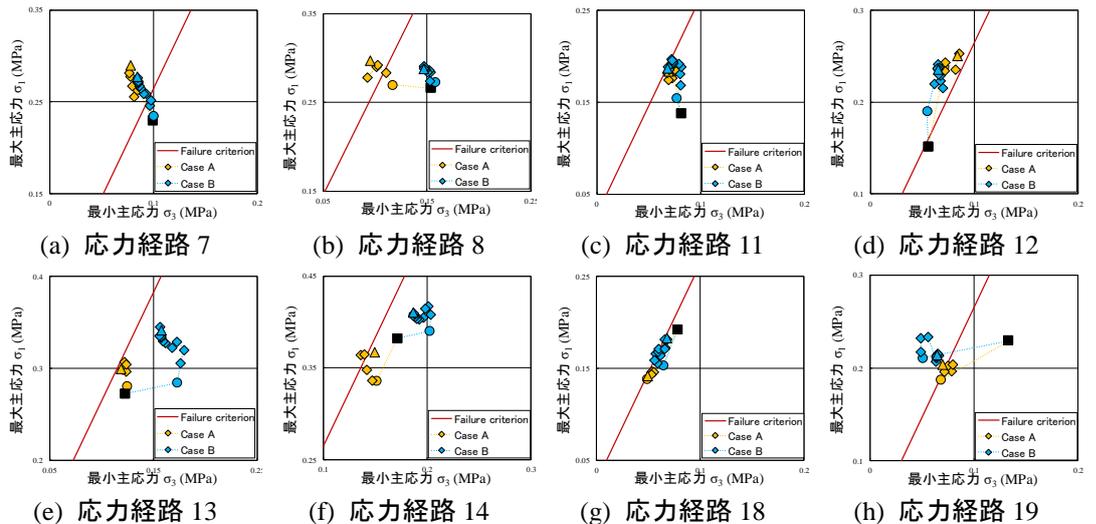


図5 応力経路

いがみられなかった。しかし応力経路8に着目すると、トンネル掘削後、Case Aでは破壊規準線に向かって推移し、大きな応力変化がみられるのに対して、Case Bではほとんど応力変化がみられなかった。また応力経路13、14に着目すると、トンネル掘削後、Case Aでは破壊規準線に向かって推移している、または破壊規準線に沿って応力が減少しているのに対して、Case Bでは破壊規準線から遠ざかる方向に応力が推移している。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地すべりが発生しているということが考えられる。

3. むすび

本研究では、不安定斜面でのトンネル掘削で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。その結果、トンネル掘削断面の斜面下方の地山の応力の推移が地すべりの発生に影響を及ぼすポイントであることが分かった。

参考文献

- 1) 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.
- 2) 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) 今富公太, 清水則一, 平野宏幸: トンネル掘削による地すべり斜面の変位挙動のメカニズムの考察, 土木学会第64回年次学術講演会講演概要集, III-383, pp.765-766, 2009.9.
- 4) 藤本崇人, 市原翔, 中島伸一郎, 清水則一: トンネル掘削による地すべり斜面の変位挙動とそのメカニズム考察, 第35回西日本岩盤工学シンポジウム論文集 pp.57-64, 2014.8.
- 5) 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.