

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

山口大学大学院 学生会員 ○今富公太
 山口大学大学院 正会員 清水則一
 清水建設株式会社 正会員 平野宏幸

1. はじめに

わが国の道路建設では、道路の線形制約から地すべり地にやむを得ずトンネルを掘削し、難工事となる事例があり、その対策が課題となっている。しかし、トンネル掘削が地すべり挙動に及ぼす影響について予測することは難しく、そのメカニズムも明らかではない。本研究では、ある現場で実測されたトンネル掘削によって生じた地すべり挙動を数値解析によって再現し、そのメカニズムを考察することを目的とした。

2. 現場概要

図-1 は、坑口付近に地すべり斜面がある現場において、トンネル掘削によって地すべり挙動が現れた実測結果である。現場では、地すべり対策として坑口に盛土を設け、一部に縫地を施工していた。しかし、トンネル掘削によって、収束していた地すべりが、想定されるすべり面に沿って生じた。

3. 数値シミュレーション

3.1. 解析モデル

一般に、山岳トンネルを対象とした数値解析で用いられる有限要素法などの連続体解析では、材料の分離やすべりを再現することは困難であるとされている。そこで本研究では、粒状体解析コード(PFC2D)²⁾を用いる。筆者らは、トンネル周辺の緩み領域の再現や、支保効果のメカニズムの理解に粒状体解析が有効であることを示している³⁾。

図-2 に、粒状体による地すべり斜面のモデルを示す。粒子の形状は直径0.1~0.2mの円形で、斜面全般に一様に分布させている。また、解析に用いるパラメータを表-1に示す。なお、図-2において、

点線枠内では地すべり挙動を現すために、枠外の領域にある粒子と比べて、粒子間強度を低下させる粒子間強度を徐々に低下させていくことによって、地すべりを再現することとした。

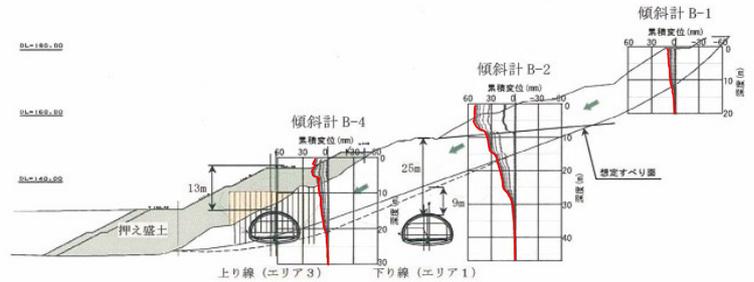


図-1 現場における実測結果¹⁾

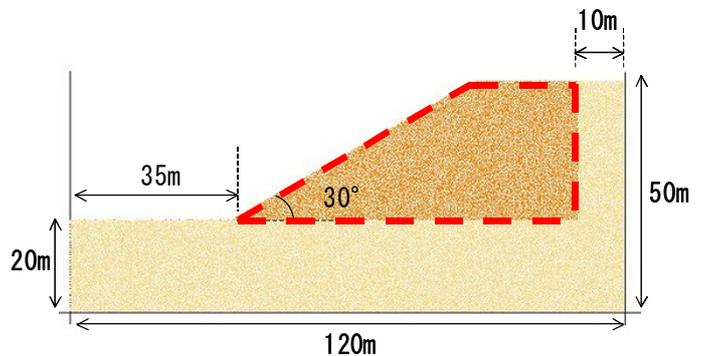


図-2 解析モデル

表-1 入力パラメータ

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 せん断方向 2.5 × 10 ⁸
	壁-粒子間	垂直方向 5.0 × 10 ⁸ 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
粒子間強度 (MN)	垂直方向強度	10
	せん断方向強度	

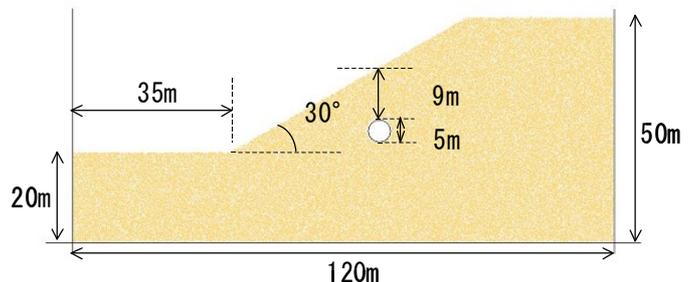


図-3 トンネル掘削モデル

キーワード トンネル掘削, 地すべり, 斜面の安全監視, 粒状体解析, 応力経路

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

3.2. トンネル掘削による地山変位

図-3に、図-2に示した斜面にトンネルを掘削するモデルを示す。図-4に、トンネル掘削後の地表面変位の推移を示す。トンネル直上の地表面変位は、トンネル掘削によってトンネル方向へと向くが、トンネル掘削の進行とともに、斜面下方へと変位していっていることがわかる。

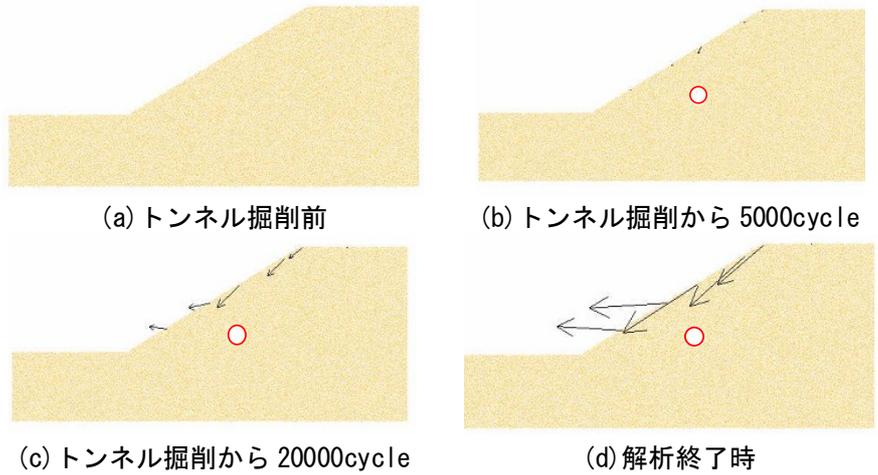


図-4 トンネル掘削による地表面変位の推移

図-5は、現場で行われた地中傾斜計による計測変位を想定して、断面における粒子の変位ベクトルを描いたものである。図-1に示す現場での実測結果と比較すると、ほぼ同様な変位となっていることがわかる。

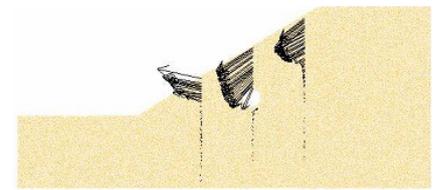


図-5 トンネル掘削斜面の断面変位

3.3. 数値シミュレーションによる地すべり挙動のメカニズムの考察

トンネル掘削による地すべり挙動のメカニズムの考察を行うために、応力経路を見る。本発表では、図-6に示す(a)すべり面上、(b)トンネル周辺の応力経路を見ることとした。

まず、(a)に示すすべり面上の応力経路に着目する。トンネル掘削により応力は破壊規準線に近づくように低下するが、②のように拘束圧は一旦回復している。これは変位挙動より、上から移動してくる粒子の影響を受けて、再び粒子同士が接触し、応力が伝達されたためであると考えられる。しかし、③のように再び破壊に達している。この時の変位挙動を見ると、粒子同士の摩擦によって一面せん断のような現象が生じており、すべり線が形成されていた。これにより、地すべり挙動が生じたと考えられる。

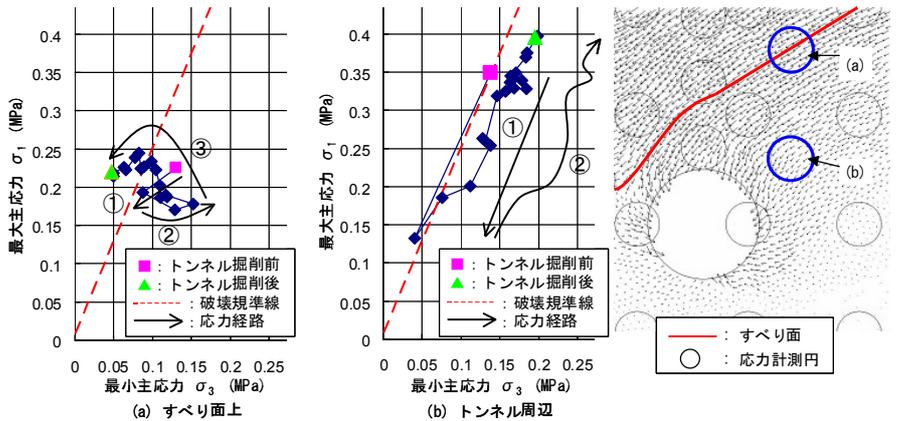


図-6 応力経路

次に、(b)に示すトンネル周辺の応力経路に着目する。すると、応力はトンネル掘削により一旦は破壊に近づくが、拘束圧は徐々に増加していき、トンネル掘削前の応力まで回復している。この時の変位挙動を見ると、トンネル周辺の粒子のトンネル方向変位が徐々に収束していることがわかる。これにより、地山が安定して地すべり挙動が収束したのではないかと考えられる。

4. まとめ

トンネル掘削による地すべり挙動を数値解析を用いて再現し、そのメカニズムの考察を行った。その結果、トンネル掘削によって、すべり面上では粒子同士の摩擦が生じてすべり面が形成され、トンネル内空変位を抑えることにより、地すべりは収束することがわかった。

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 引佐第二トンネル—, トンネルと地下, 第36巻3号, pp.207-218, 2005
- 2) Itasca Consulting Group, Inc: PFC2D, ver3.00
- 3) T. Funatsu, T. Hoshino, H. Sawae, and N. Shimizu: Numerical analysis to better understand the mechanism of the effects of ground supports and reinforcements on the stability of tunnels using the distinct element method, Tunneling and Underground Space Technology 23, pp. 561-573, 2008