山口大学大学院	学生会員	〇市原翔	山口大学大学院	学生会員	藤本崇人
山口大学大学院	正会員	中島伸一郎	山口大学大学院	正会員	清水則一

1. はじめに

地すべり地における斜面の直下にトンネルを 掘削する場合,トンネル掘削の影響を抑制する ように適切な対策を検討する必要がある.その ために,トンネル掘削によるすべり挙動が誘発 されるメカニズムを理解することが重要となる. 本研究では,トンネル掘削による地すべり斜面 の変位挙動を数値解析によって再現し^{1),2)},そ のメカニズムに関して考察することを目的とす る.解析には粒状体解析手法 (PFC2D ver3.10 ITASCA)を用いる.

2. トンネル掘削による地すべりの変位挙動

図1に地すべり斜面の縦断面図を示す.本研 究では図1に示すトンネルで得られた挙動³⁾を 対象とする.地すべりが想定される領域の上側 (B-1),中央(B-2),下側(B-4)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.いずれの傾斜計でも,トンネル掘削によ り地山の水平変位が増加し,トンネル上部の斜 面が下方に向かって変位していることがわかる.

3. 粒状体解析を用いた数値シミュレーション

3.1 解析モデルの作成

本研究では次のようなモデルを作成する.地 山のパラメータを表1に示す.始めに,粒子間 強度を10 MN として縦50 m×横120 mのモデ ルを作成し, E=100~200 MPa,一軸圧縮強度 σ_c=10~20 MPa 程度の地山を想定し再現する.そ

傾斜計 B-1 傾斜計 B-2 傾斜計 B-4 下り線 トンネル掘削による地すべり変位挙動4) 図 1 10m 30° 35m 25m 20m 68m 限界状態モデル 図3 トンネル掘削モデル 図 2 表1 地山パラメータ 表2 覆エパラメータ (a) 剛性覆工 最小粒子半径(m) 01 最大粒子半径(m) 0.2 0.15 垂直方向 5.0×10⁹ 垂直方向 5.0×10^{8} ばね定数(N/m) 壁−粒子間 粒子間 せん断方向 2.5×10^{9} せん断方向 2.5×10^{8} ばね定数(N/m) 粒子間摩擦係数 垂直方向 5.0×10⁸ 壁−粒子間 せん断方向 2.5×10^{8} (b) 柔性覆工 粒子間摩擦係数 0.37 粒子密度(kg/m 2000 垂直方向 垂直方向 Pb_kn 粒子間強度 50×10^{6} 0.03 接着剛性(Pa/m) Contact Bond 低下領域 せん断方向 Pb_ks 25×10^{6} Paralle Bond (MNI) <u>垂直方向</u> せん断方向 上記領域以外 垂直方向 Pbn 1.085×10^{6} 10 接着力(Pa) 1.085×10^{6} 5cm 5cm 5.0m 5.0n (a) 剛性覆エモデル (b) 同棲覆エモデル (c) 柔性覆エモデル²⁾ (一括掘削)¹⁾ (段階掘削)²⁾ 図4 トンネル覆エモデル

の後、地盤を掘削し傾斜 30°の斜面を形成する.次に図2の点線で囲んだ部分の粒子間強度を10 MN から、 徐々に 0.03 MN まで低下させ、巨視的には、E=55 MPa、 σ_c =0.03 MPa の地すべりが生じる直前の限界状態 モデル(図2)を作り、その後、トンネルを掘削したモデル(図3)を作成する¹⁾.

3.2 トンネル掘削モデル

本研究ではトンネル掘削モデルとして、(1)トンネル覆工を剛体として天端を中心にトンネル上部に沈下を一括 して与えるモデル(図4(a),剛性覆工モデル(一括掘削)),(2)同様の沈下変位を段階的に与えるモデル(図4 (b),剛性覆工モデル(段階掘削)),(3)トンネル内部の粒子を取り去り覆工部分の粒子を連結して覆工の変形を 考慮したモデル(図4(c),柔性覆工モデル),の3種類を考える.



4. 解析結果とメカニズムの考察

解析結果を図 5~図 7 に示す.図 5~図 7 (a) は無補強の場合のトンネル周辺領域の傾斜計による計測に 相当する水平変位と、応力計算領域の位置を示す.これより、トンネルを掘削することによって、地表面の すべり挙動が生じていることがわかる.また、図1の傾斜計の動きをよく再現していることがわかる.図5 ~図7(b)には(a)に示す応力計算領域の応力経路を示す.トンネル掘削前からトンネル掘削後にかけて, 破壊規準線に沿って最小主応力が減少する推移がみられる.このような応力の挙動によって、斜面の安定性 が失われるものと考えられる.一方,図5~図7(c)にトンネル掘削前に垂直縫地を施工した場合の変位を 示す.図5~図7(d)には(c)に示す応力計算位置の応力経路を示す.垂直縫地を打設することで,最小主 応力が低下せず、むしろ増加がみられ、応力が破壊線から遠のく傾向となり地山が安定する様子がわかる.

5. まとめ・今後の課題

本研究ではトンネル掘削による地すべり挙動の数値シミュレーションを行った。地山変位とともに地山内 部の応力経路を調べることで、トンネル掘削によって斜面が不安定化するメカニズムの一端を説明すること ができた.

- 参考文献 1) 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 2) 藤本崇人,田口和也,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のメカニズムの考察メカニズムの考察(その 2),平成 25 年度土木学会中国支部研究発表会発表概要集,III-19, 2013 3) 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一第二東名高速道路 引佐トンネル一,ト ンネルと地下,第 36 号巻 3 号, pp.207-218, 2005.