

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 (その5)

山口大学大学院 学 〇市原翔 藤本崇人  
 山口大学大学院 正 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、トンネル掘削によってすべり挙動が誘発されるメカニズムを解明することが重要である。本研究では、現場での計測結果<sup>1)</sup>に対して、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、そのメカニズムを考察することを目的としている<sup>2) 3)</sup>。本発表では、斜面の限界状態領域とトンネルの位置の関係について述べる。解析には粒状体解析手法 (PFC2D ver3.10, ITASCA) を用いる。

2. 粒状体解析による数値シミュレーション

2.1 解析モデル

本研究では図1に示すトンネルで得られた挙動<sup>1)</sup>を対象とする。地すべりが想定される土塊の上部(B-1)、中央(B-2)、下部(B-4)の3箇所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全体が下方に向かって変位していることがわかる。このような挙動は、一般的なトンネル掘削解析では再現することが困難である。そこで、本研究では次のようなモデルを作成する<sup>2) 3)</sup>。また、地山の入力パラメータを表1のように設定する<sup>4)</sup>。まず、粒状体の粒子間強度を10 MNとして縦50 m×横120 mのモデルを作成し、弾性係数E=100~200 MPa程度の地山を想定する。その後地山を掘削し傾斜30°の斜面を形成する。次に粒子間強度を10 MNから0.03 MNに低下させ、地すべりが生じる直前の限界状態モデルを形成する。モデルとしては、限界状態領域がないケース(解析モデルA)、限界状態領域にトンネルを含まないケース(解析モデルB)、トンネルを含むケース(解析モデルC)の3種類を考え(図2)トンネル掘削解析を行う。

2.2 トンネル掘削モデル

本研究では3種のトンネル掘削モデルを設定しているが<sup>2) 3)</sup>、ここでは、トンネル覆工を剛体としてトンネル底盤中央に向け一様に収縮させるモデル(図3)を考える。覆工の入力パラメータを表2に示す。図4のようにトンネル直上3点の応力の変化を追跡する。

2.3 解析結果

図5に図1の傾斜計に相当する位置における変位ベクトルを示す。限界状態を設定し、その領域にトンネルが掘

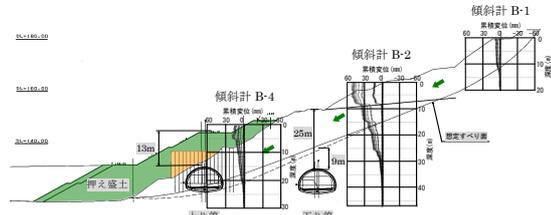


図1 トンネル掘削による斜面の変位 (孔内傾斜計による)<sup>1)</sup>

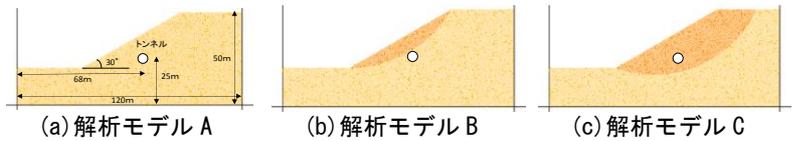


図2 解析モデル

表1 地山パラメータ

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	$5.0 \times 10^6$
		せん断方向	$2.5 \times 10^6$
	壁-粒子間	垂直方向	$5.0 \times 10^6$
		せん断方向	$2.5 \times 10^6$
粒子間摩擦係数		0.37	
粒子密度( $kg/m^3$ )		2000	
Contact Bond(MN)	粒子間強度低下領域	垂直方向	0.03
		せん断方向	0.03
	上記領域以外	垂直方向	10
		せん断方向	10

表2 覆工パラメータ

ばね定数(N/m)	壁-粒子間	垂直方向	$5.0 \times 10^6$
		せん断方向	$2.5 \times 10^6$
粒子間摩擦係数		0.87	

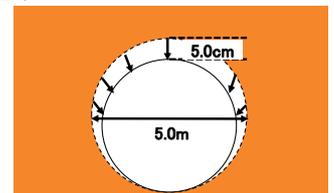


図3 トンネル掘削モデル (剛性覆工モデル—括掘削)

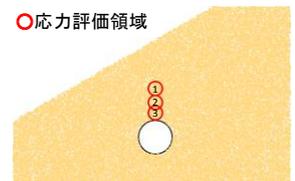


図4 応力経路計測位置

キーワード 地すべり斜面, トンネル掘削, 変位挙動, メカニズム, 粒状体解析

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

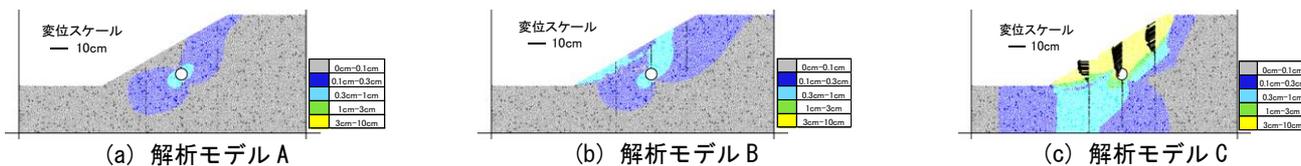


図5 断面変位ベクトル図

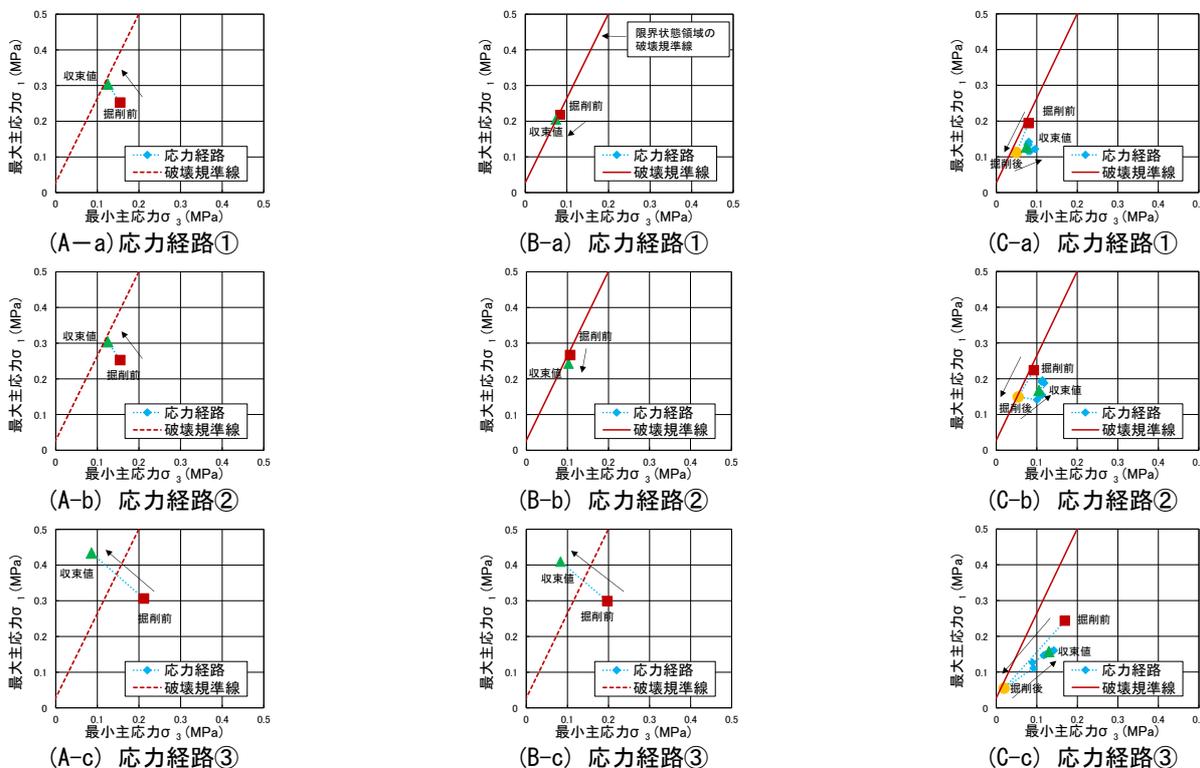


図6 応力経路（一括掘削） 天端変位 5cm

削される場合（解析モデル C）では、現場計測と同様にトンネル上部地山が斜面下方に向かうすべり挙動が生じている。限界状態領域の存在だけでなく、トンネル掘削位置がその領域にあることが上部斜面のすべり変位を生じさせる要因と思われる。

### 3. 考察

それぞれのケースの応力経路を図6に示す。トンネル壁面に近いほど、掘削直後の応力の変化が顕著に表れている。限界状態領域を設定しないモデル A では弾性的な応力変化を示しており、限界状態領域外にトンネルを掘削するモデル B では応力経路①、②において、応力は当初、破壊規準線上にあるものの、モデル A と同様トンネル掘削による応力変化は小さい。一方、限界状態領域が広く、領域内にトンネルが掘削されるモデル C では、トンネル掘削中に応力は破壊規準線を推移し、あるいは破壊規準線に接近し、不安定となりすべり変位が生じるものと考えられる。一方、地山の変位が覆工によって拘束されると、応力の変化は反転し、変位は収束に向かう。

トンネル掘削による地すべり挙動の予測においては、すでにすべりが生じていることに対応する限界状態領域の設定、および、その領域とトンネルの位置関係が重要と考えられる。

### 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一第二東名高速道路 引佐トンネルー, トンネルと地下, 第36号巻3号, pp.207-218, 2005
- 2) 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のメカニズムの考察(その4), 土木学会第69回年次学術講演会講演概要集, III-215, pp.429-430, 2014.9.
- 3) 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斜面の地すべり挙動の粒状体解析によるメカニズムの考察, 第43回岩盤力学に関するシンポジウム講演集, pp.182-187, 2015.1
- 4) T. Funatsu, T. Hoshino, H. Sawae, 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