

地すべり末端部切土施工時の安全を確保するための安定解析手法

切土 安定解析 地すべり

太田ジオリサーチ 正会員 美馬 健二  
 中電技術コンサルタント 正会員 城井 浩介  
 太田ジオリサーチ 正会員 太田 英将

1.はじめに

土砂崩壊による労働災害の死亡者の約半数が斜面の切り取り工事などによるものである<sup>1)</sup>。一般的に斜面の安全性は安定解析を用いて評価するが、従来の安定解析手法では切土掘削の影響を正しく評価できていない可能性がある。具体的には、従来から用いられてきた平均すべり面強度を用いる 2 次元安定解析では、相対的にせん断強度が大きい箇所を切り取る際の影響を過小評価する可能性がある。また、逆巻き施工する際にアンカー工の効果も最大断面、すなわち最もアンカー工が数多く施工される断面で安全率を計算するため、地すべり土塊全体の安定性を過大評価する可能性がある。本発表では、従来法による 2 次元安定解析と、周縁部強度を考慮した 3 次元安定解析<sup>2)</sup>とを施工段階毎に安全率の値で比較し、施工時の安全性について考察する。

2.地すべり地の概要

対象地すべりは、道路建設に伴う切土法面施工時に発生したものである。緊急的に押え盛土工が施工され、その後地質調査が行われ、地すべりブロック内の主要な箇所ですべり試験が行われた。地すべり対策工の設計には、地質および応力状態に応じた強度定数を採用し、順算法による 3 次元安定解析が用いられた<sup>3)</sup>。

3.安定解析の条件

(1) 従来の 2 次元安定解析 (逆解析) の場合

図 1 に示すように、緊急押え盛土工が発生した地すべり主断面形状において、その時点での安全率を  $F_s=1.00$  と仮定し、すべり面強度を逆算する。

(2) 周縁部強度を考慮した 3 次元安定解析 (順解析) の場合

この解析では、地すべりの 3 次元形状 (図 2) を考慮するとともに、すべり面に出現する地質、応力状態等を考慮して土質試験結果から得られた強度定数 (図 3) を与え順解析により安全率を算出する。緊急押え盛土工が施工された状態で安全率は  $F_s=1.07$  である。

せん断強度の特徴は以下の通りである。主たるすべり面を形成している底部は過去にも滑動したすべり面であり、明瞭な鏡肌を形成しているので、残留強度まで低下していると評価する。頭部は引張領域の特徴を持ち正規圧密状態に近い強度と想定されるので、完全軟化強度を適用する。

末端部や側部のせん断破壊は、道路建設に伴う切土工により初次的に形成されるものでありピーク強度を適用するのが適切と考える。

(3) 切土及びアンカー工の施工段階

施工段階は、押え盛土よりも上位のアンカー工を先に施工し、その後アンカー工を 1 段ずつ施工したらそこまで切り下す逆巻施工で行う。逆巻施工をする切土法面の位置は、図 4 に示すとおり最終仕上げ面に達する上から 3 段目である。この位置は、地すべり末端部に相当する。

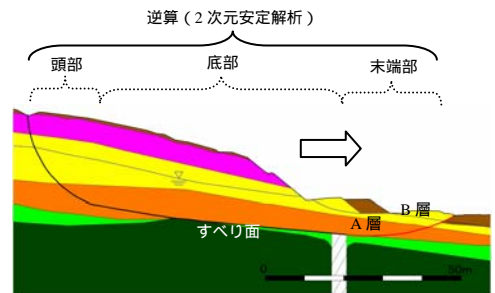


図 1 主断面形状(逆算:  $\phi=9.16, c=20.0\text{kN/m}^2$ )

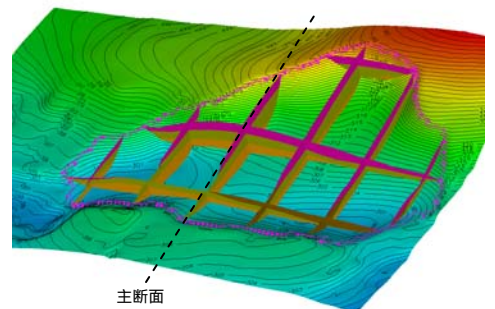
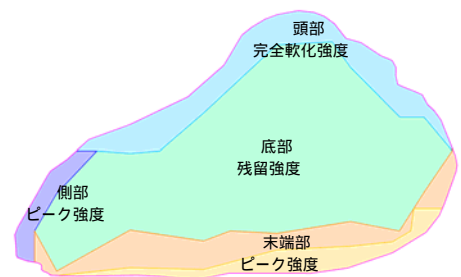


図 2 地すべりの 3 次元形状



	$\phi$	c
①底部 残留強度	10.56°	0 kN/m <sup>2</sup>
②頭部 完全軟化強度	24.77°	14.7 kN/m <sup>2</sup>
③側部 ピーク強度	18.42°	96.8 kN/m <sup>2</sup>
④末端部 ピーク強度	A層 35.35° B層 31.95°	23.3 kN/m <sup>2</sup> 15.0 kN/m <sup>2</sup>

図 3 3 次元安定解析の強度定数

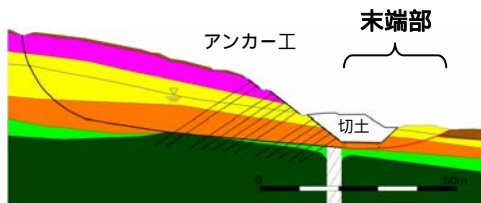


図 4 地すべり末端部の切土

### 3.安定解析結果の比較と考察

それぞれの施工段階において、2次元安定解析と3次元安定解析を行った。その結果の比較を図5に示す。この図を見ると明らかのように、2次元安定解析では施工が進むに従い安全率が上昇する。一方3次元安定解析では、施工が進む毎に逆に安全率が低下するという顕著な差が現れる。

3次元安定解析では、形状・土質強度にありのままの値を採用しているため、安全率の変化はこの結果の方が確からしい。このため、場合によっては2次元安定解析に基づく安全率管理では、実際の地すべり土塊の安全率が1を下回り事故が発生することがあり得る。以下に、その原因を考察する。

#### 強い抵抗部除去に対する効果の違い

末端部では切土により土被りが薄くなり、地表へ抜け上がるすべり面が形成されるが、初生的な破壊（ピーク強度）で、かつ地質的に脆弱ではない箇所である。切土段階が進むと、この強い抵抗をもつ部分が除去されるため安全率が大きく低下する要因となる。しかし、従来の平均すべり面強度を用いた2次元安定解析ではその影響を過小評価することになる。

#### 対策工の効果の違い

切土法面は、正面から見ると三角形形状をしている。このためアンカー工は、法面の上部では本数が少なく、最下部では最も多いことになる。したがってすでに施工されている上部アンカー工は全12段中7段（58%）ではあるが、本数としては総本数545本中212本（39%）に過ぎないことになる。

すなわち2次元安定解析では最大断面が施工延長にわたって存在する計算となるため（図6）、アンカー工の効果を過大に評価してしまうことになる。

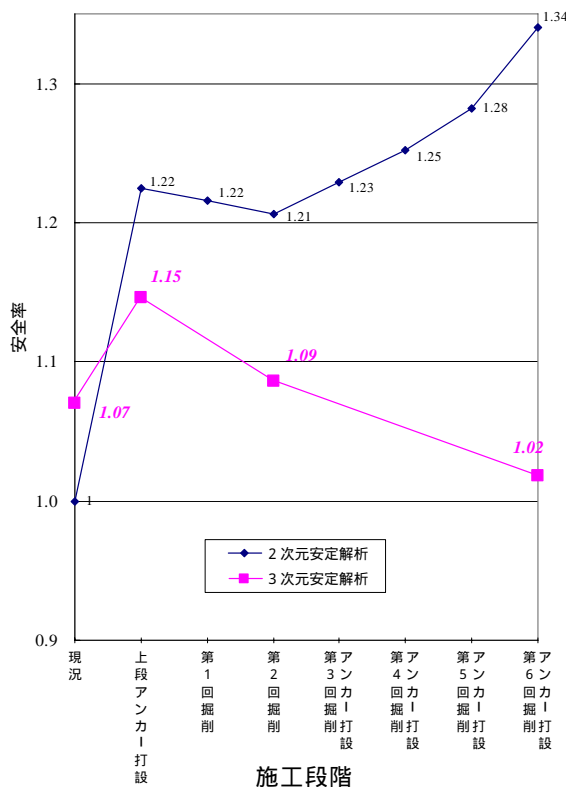


図5 2次元安定解析と3次元安定解析による安全率の比較

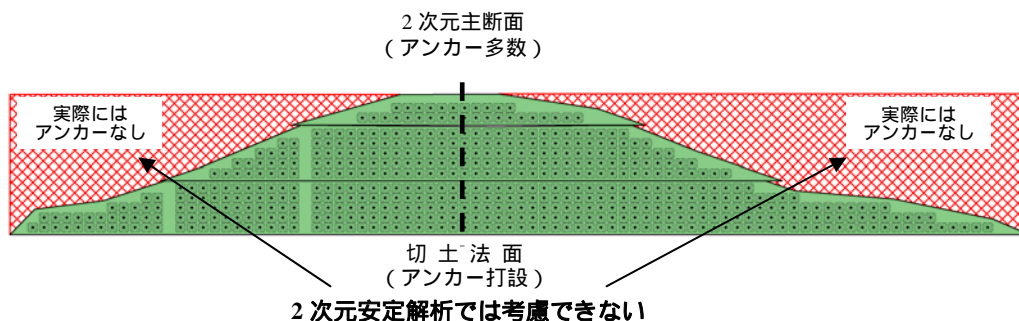


図6 2次元安定解析のアンカー効果

### 4.まとめ

相対的に強い強度を持つ箇所を切土する場合には、従来型の2次元安定解析手法ではその影響を過小評価する可能性がある。

正面から見て三角形形状の法面に対してアンカー工の逆巻き施工を行う場合、2次元安定解析では施工の全区間にアンカー工が存在すると評価することになるため、上部のアンカー工の影響を過大に評価する可能性がある。

上記の条件がある切土法面を安全に施工するためには、地質条件に応じた強度を与える3次元安定解析により、ブロック全体の安定度の変化を適切に評価することが望ましいが、相対的に強度が大きい末端部を切土する場合には少なくとも2次元安定解析においてもその部分の強度を個別に与える配慮が必要である。

### 参考文献

- 1) 伊藤和也・豊澤康男・Tamrakar S.B.・堀井宣幸(2005)：建設工事中の斜面崩壊による労働災害の調査・分析，第40回地盤工学研究発表会講演集，2437-2438
- 2) 太田英将・林義隆(2001)：周縁部摩擦効果を考慮した地すべりの3次元安定解析，地すべり，Vol.38，No.3，95-100
- 3) 美馬健二・城井浩介・太田英将(2006)：せん断特性による周縁部強度の選定，第45回日本地すべり学会研究発表会講演集，281-284