

# 地すべり三次元安定解析の利用方法（その3）

## - 地すべり形状の決定要因と新しい対策方法 -

### A Study of Three-Dimensional Analysis of Slope Stability(Part 3)

#### Generation factor of the landslide shape and new countermeasure method

太田英将\*, 林義隆 (有限会社太田ジオリサーチ)

Hidemasa OHTA, Yoshitaka HAYASHI (Ohta-GeoResearch Co.,Ltd.)

キーワード：地すべり，三次元安定解析，対策工法

Keywords : Landslide, Three-dimensional slope stability analysis, Control works of landslide

### 1. はじめに

地すべりのもつ自然な姿を解析にできるだけ反映させ、効率的な対策を計画する目的で、地すべりの三次元安定解析に取り組んできた。

太田ほか(2000)では、二次元法と三次元法で解析に反映できる項目を比較し、地すべりブロックの平面形状、地表地形、地下水面の起伏、すべり面の起伏、が解析に取り込める三次元安定解析の有利さを示した。

さらに自然条件を素直に解析に取り込むためには、すべり面強度を現在の「単一すべり面強度法」ではなく、地盤別の強度に置き換えていく必要がある。

地すべりの解析手法であるからには地すべり形状が統計的にもっている「形状比」の説明ができなければならない。その上で、有効な対策工法の検討や、土工に対する影響の評価等を行う必要がある。

### 2. 地すべり形状比

地すべりの形状比は、既存地すべりを統計的にとりまとめた資料により知ることができる(高速道路調査会,1985)。この形状比のうち、筆者らは、幅/深さ比が重要と考えている。統計資料では、地すべりの幅/深さ比は、自然発生型地すべり、土工による地すべりで、それぞれ9.45, 8.32となっている。この値のもつ意

味は、「その幅になると、地すべりの安全率が1を下回り滑動が始まる」ということである。

実際に兵庫県南部地震で六甲山南麓部に発生した谷埋め盛土地すべりでは、幅/深さ比が10を越えると著しく被災箇所が多くなっている(図1)。

項目	カテゴリ	カテゴリスコア	レンジ	係数
幅/深さ比	0-5	0.1	1.786	0.737
	5-7.5	0.2		
	7.5-10.0	0.3		
	10.0-12.5	0.4		
	12.5-15.0	0.5		
	15.0-20.0	0.6		
20.0以上	0.7			
造成年代	昭和50年以後	0.1	0.346	0.243
	昭和50年以前	0.2		
底面からの地下水頭(≒間隙水圧)	なし	0.1	0.823	0.374
	0-3.0	0.2		
	3.0-4.0	0.3		
	4.0以上	0.4		

注) カテゴリスコアが大きい(正に)ほど安全側

図1. 統計解析で得られた谷埋め盛土の被災原因(釜井ほか,2000)

仮に、幅/深さ比 = 10 の安全率を1と仮定して、幅/深さ比を変えた場合安全率がどう変化するかを、図2のような地すべり形状モデルで試算した。すべり面強度は、軟弱となっている底部の方を側部よりも小さな値としている。

安全率の変化を図3に示した。側部強度の方が相対的に高い場合、幅/深さ比が大きくなるほど安全率は低下する。

このように、地すべりの安定には、外周部 今回のモデルでは側部の強度が大きな影響を与えていることがわかる。しかし、現在多く行われている二次元断面法では、外周部強度を評価できない。さらに、すべり面を形成する特別な地層部以外に形成される頭部や末端部のすべり面も区別せず同一のすべり面強度を与えて計算しているため、本来滑動の主体となるはずの底部すべり面が解析上「圧縮部」となるなどの地すべり土塊バランス上の矛盾を抱えている。

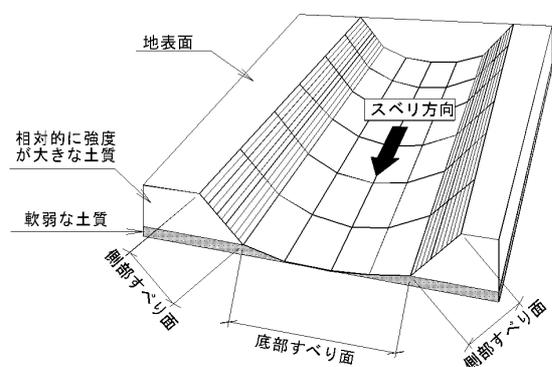


図 2. 試算モデル

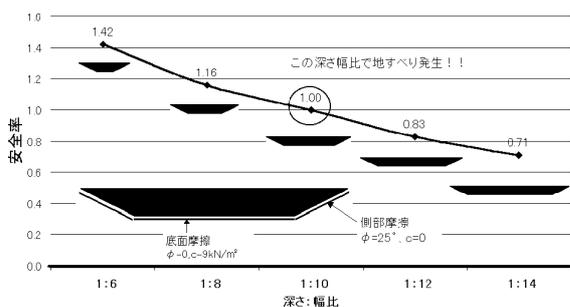


図 3. 幅 / 深さ比を変えた場合の安全率変化グラフ

### 3. すべり面強度の区分

地すべりや崩壊では、凝灰岩層などの粘土化や、崩積土砂層と基盤岩との境界部を地下水が流動するために発生する脆弱化部にすべり面が形成される（図 4，図 5 参照）。

自然斜面における地すべり・崩壊に共通する

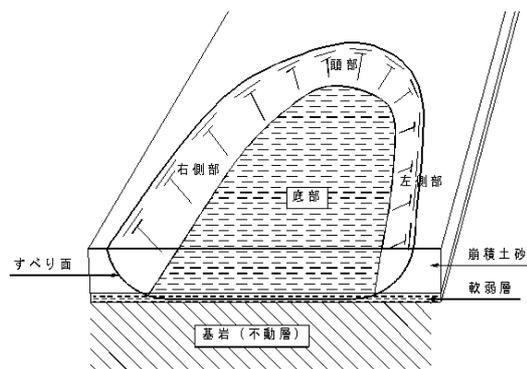


図 4. 地すべりのすべり面構造模式図

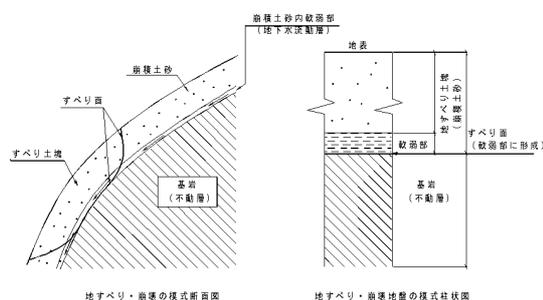


図 5. 崩壊の土層構造模式図

点は、「非常に強度の小さい底部すべり面と、相対的に強度の強い外周部すべり面が共存する」ということである。前述したように、その不均質さこそが地すべり・崩壊の大きさを決定する原因であり、土塊の滑動挙動を考察する上で重要な点である。このため、人工的で均質な盛土地盤の安定検討とは大きく異なる。

図 6 には、地すべり・崩壊土塊のすべり面強度の区分を示した。

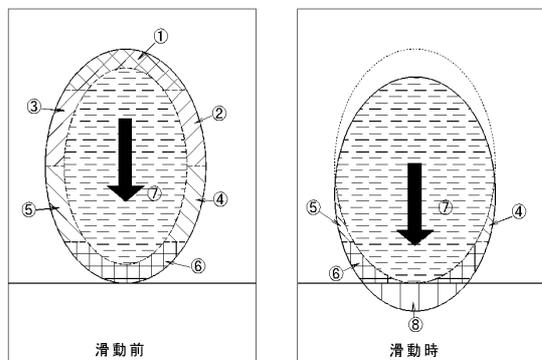
滑動の主体となり、かつ最も強度が小さいのが、の底部すべり面強度である。周辺部の強度としては、頭部、側部、末端部に区分することができる。ただし、現状ではいたずらに未知数を増やす意味がないため、地盤状況に応じて最小の区分とすることが必要である。

また、滑動前と滑動時は周辺部の摩擦抵抗に関する環境が大きく異なってくる。具体的には、頭部すべり面抵抗は、土塊が移動してしまうた

め効かなくなる。また側部抵抗に関しては、滑動方向に対して開放型となっている場合には、頭部と同様に摩擦が効かなくなる。逆に、閉塞型となっている場合には、移動に伴って摩擦がより大きくなるものと考えられる。

土塊の移動量が大きい場合には移動土塊が下方斜面上に乗り上げるため、現地表面と土塊の摩擦となる。この乗り上げ部の摩擦抵抗は、底部すべり面強度に比べて一般的に大きい。また、頭部の地すべり推力は小さく、あくまでも滑動部の主体は底部すべり面にある。

このような大移動後滑動が停止したすべりに対して、頭部に滑動力が集中するすべり面形状を想定し、単一のすべり面強度で逆解析される場合が現状では多い。しかし、実際には頭部排土工は地すべり土塊の安定にあまり寄与せず、末端部の切土はこの計算結果よりもずっと大きな不安定要因となる。



場所により摩擦強度は異なる。  
①頭部、②③末端開放型側部、④⑤末端閉塞型側部、⑥末端部、⑦底部（滑動時、強度回復時に細分）、⑧乗り上げ部

図 6.地すべり・崩壊におけるすべり面強度の区分  
単一すべり面強度は、それぞれの箇所の合成された「平均すべり面強度」ととらえることができる。

#### 4. 解析例

図 7 に示す幅 75m、長さ 110m、深さ 35m の岩盤地すべりが存在する箇所での解析例を示す。道路新設のために、地すべりの上半分に切土が行われる計画となっている。

このような土工条件の場合には二次元断面

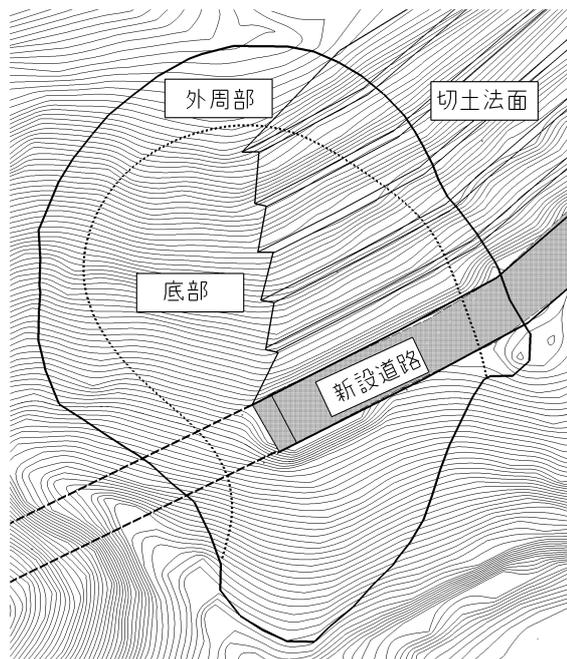


図 7.解析例  
(すべり面等高線、地下水位等高線は省略)

法で解析することが困難であるため従来から三次元法で解析されてきた。しかしその方法は、すべり面強度を同一とする「単一すべり面強度法」の場合が大半である。

実際には、すべり面が形成される条件を持つ地層が存在し、それが主たるすべり面(底部すべり面)を形成しているが、その外周部(頭部・側部)には強度の大きな地盤が存在している。

表 1 に単一すべり面強度で計算した場合(ケース1)と、底部・外周部に異なる値を用いた場合(ケース2)の比較を示す。

表 1.安定解析結果

	すべり面強度		安全率	
	c (kN/m <sup>2</sup> )	(°)	切土前	切土後
ケース1	36	28.0	1.000	1.004
ケース2	底部 14.6	14.5		1.000
	外周部 145	40.0		

ケース1では、若干安定度が向上したが、ケース2では安定度は逆に低下している。このように外周部強度と底部強度の差が大きい場合には、相

対的に強度の高い外周部を切土することで、地すべりの安定性が損なわれることが多い。

地すべり側部を土工により切土すると地すべりが不安定化する、と経験的に言われているが、側部と底部の強度を区別した解析手法ではそれを定量的に導くことができる。

### 5. 新しい地すべり対策方法

自然斜面の地すべりや崩壊は、弱い底部すべり面強度と、相対的に強い外周部強度を同時に持ちバランスを保っている。このことは、安定化の手法として、相対的に強い外周部強度の比率を高めることで合成された平均すべり面強度を向上させ安定化にシフトさせることが可能、ということを示唆している（図8参照）。

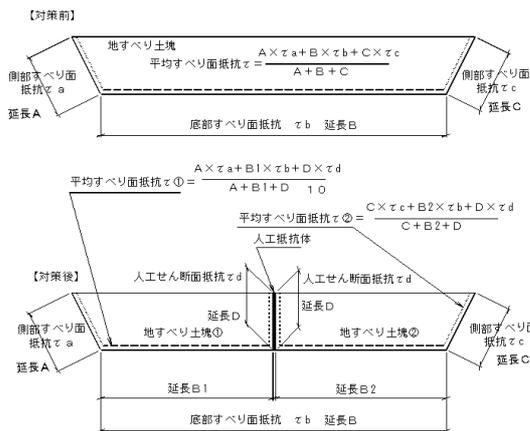


図 8.横断面内に強制的に破断面を発生させる手法の概念図。ブロック化することで合成された平均すべり面強度が向上し安定化に寄与する。

地すべりなどの規模が大きい土塊の場合には図 9 のように縦断方向に抵抗体を挿入し、地すべり土塊をブロック化させることで合成された平均すべり面強度を向上させることができる。

また、崩壊などの規模が小さいものに対しては、図 10 のようにロックボルトのような抵抗体を不均質に配置することにより、隣接する土塊の滑動挙動に差をつけ、その境界部に摩擦抵抗が発生させるようにすることで合成された

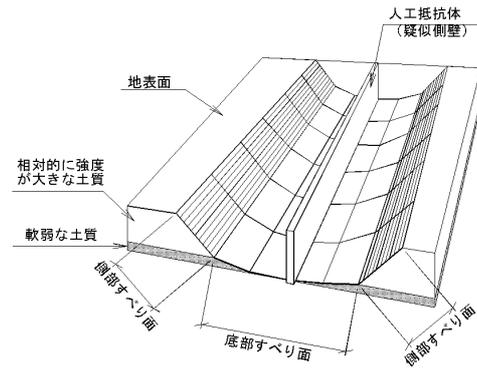


図 9.対策工法 1 (主に地すべり)

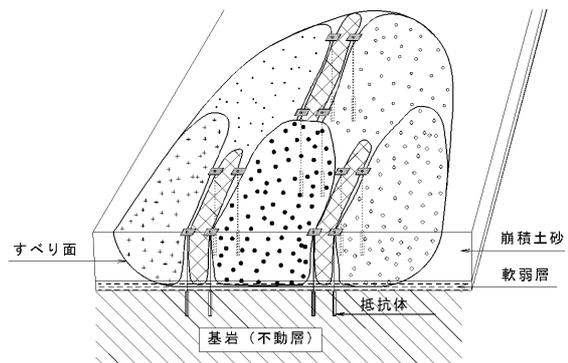


図 10.対策工法 2 (主に崩壊)

平均すべり面強度を向上させることができる。

いずれの工法も抵抗体自身の強度で抑止するのではなく、土塊内の摩擦抵抗を引き出すことに主眼をおいていることが特徴である。

今回の安定解析手法を用いれば、土質試験結果を計算に取り入れることが容易になり地すべり研究が進歩するものと期待できる。

また、地すべり・崩壊の土塊バランスを正しく評価できるようになると、対策工の目標値も、経験的に定められた計画安全率の概念ではなく、「安全率が 1 を下回らないこと」という性能規定へ変わることが期待される。

### 参考文献

釜井俊孝, 守随治雄, 太田英将, 原口強(2000): 都市域における地震時斜面災害のハザードマップ, 日本応用地質学会シンポジウム予稿集  
 太田英将, 林義隆, 國眼定(2000): 地すべり三次元安定解析の利用方法(その2), 第 39 回地すべり学会研究発表講演集  
 高速道路調査会(1985): 『地すべり地形の安定度評価に関する研究報告書』