

せん断特性による周縁部強度の選定

Design of marginal strength by characteristics of shear

美馬健二（有限会社太田ジオリサーチ）*，城井浩介（中電技術コンサルタント株式会社）

太田英将（有限会社太田ジオリサーチ）

Kenji MIMA (Ohta Geo Research Co.,Ltd.)，

Kousuke KII (Chuden Engineering Consultants Co.,Ltd.)，

Hidemasa Ohta (Ohta Geo Research Co.,Ltd.)

キーワード：3次元安定解析，せん断特性，強度区分，安全率

Keywords : three-dimensional stability analysis, characteristics of shear, division of strength, safety factor

1. はじめに

安定解析を順算法で行う場合には、すべり面の強度定数が必要であり、主にせん断試験値が用いられる。せん断試験は、圧縮せん断や一面せん断などさまざまな方法によって地すべりのせん断現象を再現させることが可能である。

しかし、安定解析の現状は、地すべり粘土のせん断試験値（一面せん断試験等による残留強度値）を用いて順算法を行っても、現状の地すべり土塊の安全率が過小に評価されるなど、現実を説明できないことが多く、その矛盾の解決が大きな課題となっている。昨今、この課題に対してさまざまな解析手法が研究されており、太田ら¹⁾²⁾は、周縁部摩擦効果の重要性を述べ、2次元安定解析

では計算上限界があることを指摘するとともに、周縁部摩擦効果を考慮した3次元安定解析手法を提案している。なお、3次元安定解析が、複雑な地すべり条件に有効であることは周知の事実であるが、周縁部の具体的なせん断強度の設定手法については確立されていない。

本報告は、ある地すべりに対して、周縁部のせん断特性に着目し、3次元安定解析を行った。すなわち、周縁部をせん断特性に応じて区分（強度区分）し、それぞれの箇所の強度定数を用いて、3次元安定解析（Hovland法）を行ったので結果を報告する。

2. せん断特性における強度区分の概念

図-1は、せん断特性における強度区分の概念図を示す。2次元断面では、せん断特性に応じて、(1)底部、(2)頭部、(3)末端部の3つに区分される。さらに、3次的に区分すると、(4)側部が加わり、区分は4つとなる。これらの区分のせん断特性をせん断試験に置き換えると次のようになる。

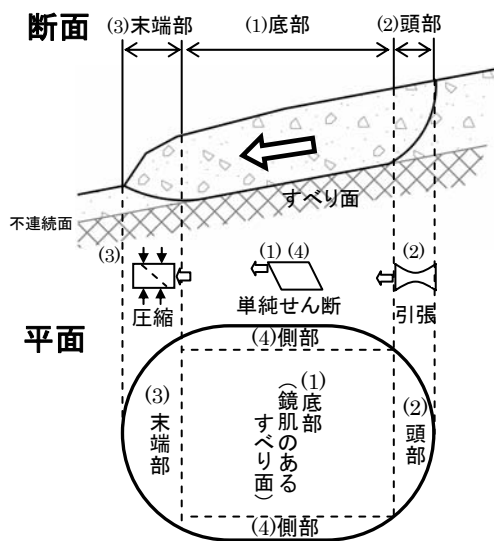


図-1 せん断特性における強度区分の概念図

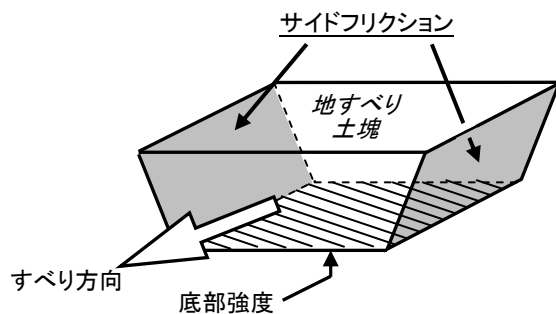


図-2 サイドフリクション

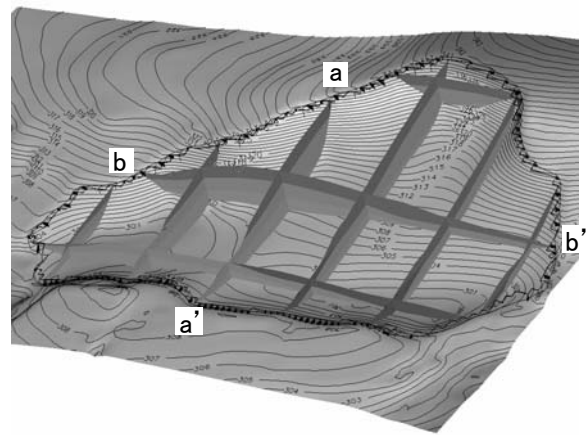
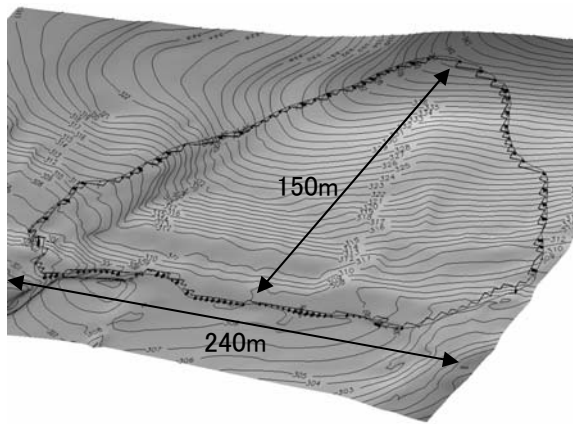


図-3 地すべり地の地形形状（左）とすべり面形状及び断面図（右）

(1) 底部

底部は、直線的な主たる滑動面であり、単純せん断の挙動をとる。したがって、単純せん断試験や一面せん断試験のせん断強度に相当する。また、底部が弱面で、大変位が与えられると、リングせん断試験や繰返し一面せん断試験による残留強度に相当する。

(2) 頭部

頭部は、引張の挙動が作用する部分であり、三軸伸張試験のせん断強度に相当する。

(3) 末端部

末端部は、すべり面が底部から地表へ抜け上がる区域であり、地すべりブロック上方からのすべり力と土被り圧により圧縮作用を受ける。宜保³⁾は、仲順地すべりでは、粘土が地すべりブロックの上部から中部のすべり面において確認されるのに対し、下方では認められないことから、下部にはピーク強度を動員する手法を提案している。したがって、この末端部では、地層条件によっては三軸圧縮試験によるピーク強度に相当することが考えられる。

(4) 側部

側部は、サイドフリクション（図-2）部に当たる部分であり、底部同様に、単純せん断試験や一面せん断試験のせん断強度に相当する。

3. 対象地すべり

図-3には、対象地すべり地区の地形形状とすべり面形状及び断面図を示す。代表的な断面図をa-a'とb-b'とする。

対象地区は安山岩で構成され、地すべり末端部には風化の著しい崖錐堆積物が堆積する。安山岩層は風化状態により区分でき、すべり面は、主にCL級の硬質な岩盤層とN値15程度に風化した層との境界または後者の層内に形成されている。当該地すべりは、もともと古い大きな地すべりの一部を切土したために滑動を始めた。地すべり規模は、幅約240m、長さ約150m、最大厚さ約20mである。地すべりの形態は、末端が抜け上がっており、断面形状は、縦断方向・横断方向ともに船底型である。底部の主たるすべり面は再滑動のすべり面であるが、側部・末端部および頭部の一部は、今回の滑動で初めてすべり面となったものである。

4. 強度区分

図-4は、図-3に示した縦断面図a-a'と横断面図b-b'における強度の区分方法について示す。縦断面図a-a'は、(1)底部、(2)頭部、(3)末端部の3つに区分した。横断面図b-b'は、(1)底部と(4)側部の2つに区分した。

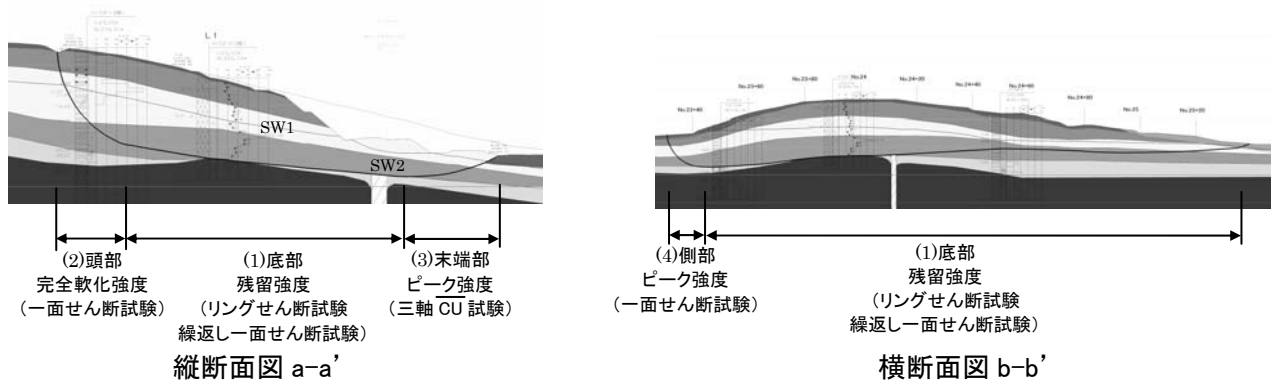


図-4 強度区分 (断面)

この区分方法をいくつかの断面において繰返し、図-5のような平面図に区分した。これらの区分に相当するせん断試験とせん断強度の選定について図-4および図-5を用いて以下に述べる。

(1) 底部

底部は、鏡肌の認められる不連続面での単純せん断である。したがって、すべり面付近の試料を用いてリングせん断試験と繰返し一面せん断試験を実施し、これらの試験値である残留強度の平均値とした。

(2) 頭部

頭部は、引張破壊モデルであり、土塊がほぐされるように破壊すると考えた。したがって、正規圧密状態の強度値と推定し、直接せん断型の一面せん断試験による完全軟化強度とした。

(3) 末端部

末端部は、地層内で圧縮せん断破壊が生じる（地質的な不連続面とは直接関係しない）。末端部のすべり面は、底部のすべり面とは異なり、土工により初めて発生したため、せん断強度は、三軸圧縮試験におけるピーク強度とした。また、末端部に関しては、地層が明確に区分できるため、図-5に示すとおり、SW1層とSW2層に強度を細分した。

(4) 側部

側部は、末端部と同様に地層内の均質な条件でのせん断であり、単純せん断破壊が生じる。また、土工によって初めてすべり面が発生したため、せん断強度は、一面せん断試験によるピーク強度とした。

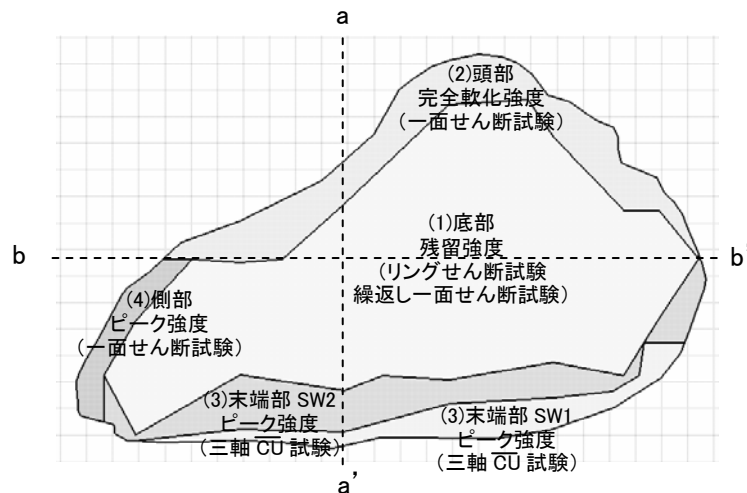


図-5 断面図から作成した強度区分 (平面)

5. 解析結果及び考察

図-5 に示した強度定数を用いて 3 次元安定解析を行い、その結果を表-1 に示す。

当該地すべりは、土工により滑動し始めたため、発生時の安全率は 1 前後であったと考えられ、計算結果の安全率 1.01 は妥当であると考えられる。

図-6 は、抑止バランス図である。淡色の部分が滑動部であり、濃色が抵抗部であることを示す。すなわち、底部と頭部の一部が滑動部であり、側部と末端部が抵抗部となっていることが読み取れる。

図-7 は、各区分におけるすべり面積と抵抗力を示す。底部は、すべり面積が全体の 64% を占めているため、すべりに対する抵抗力は、他の区分と比べて大きい。しかし、底部と周縁部 ((2) (3) (4) を統一したもの) を比較すると、周縁部のすべり面積が全体の 36% と小さいのに対し、抵抗力は底部とほぼ同じ 50% を担っている。これは、周縁部の強度定数が大きいためである。

6. まとめ

地すべり土塊の断面が船底型となる形態では、周縁部はすべり面積が小さくても、多大な抵抗力を生む。このため、安定解析モデルをより現実に近づけるためには、周縁部の正確なすべり面形状や強度定数の設定、強度区分の取り方が重要である。

表-1 3次元安定解析結果

すべり力 [kN]	抵抗力 [kN]	すべり面積 [m ²]	安全率
918520	929161	23689	1.01

抑止バランス図: 個々の要素のすべり力から抵抗力を差し引いた残りを円の大きさを表したものである。すべり力が抵抗力より大きくなっている部分を淡色の円、逆に抵抗力がすべり力より大きくなっている部分を濃色の円で表現している。

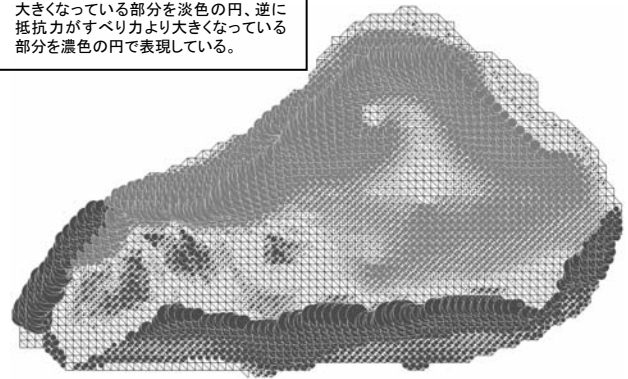


図-6 抑止バランス図

参考文献

- 1) 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, pp. 95-100.
- 2) 中川渉・守随治雄・古木宏和・太田英将・林義隆(2005): 周縁部強度を未知数とした 3 次元安定解析手法の研究, 地すべり Vol. 41, No. 6, pp. 56-65.
- 3) 宜保清一(2000): 地すべり土の残留強度と斜面安定度評価法に関する研究, 平成 12 年度(社) 日本地すべり学会総会及びシンポジウム

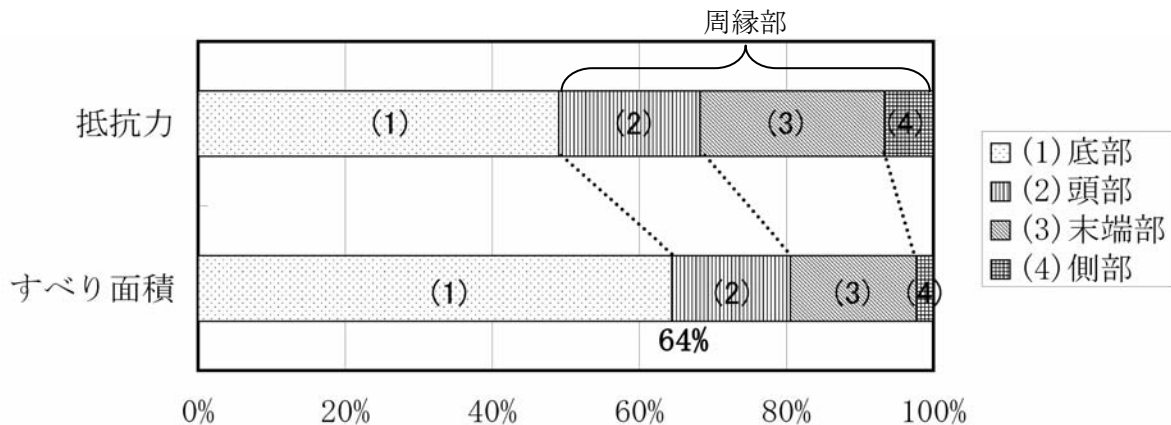


図-7 各区分におけるすべり面積と抵抗力