

すべり面の三次元構造を考慮した大規模地すべりの安定性評価に関する研究

研究予算 : 運営費交付金
研究期間 : 平 24～平 28
担当チーム : 地すべりチーム
研究担当者 : 石井 靖雄、高木 将行

【要旨】

高品質ボーリングコア観察によって、すべり面における微細構造を明らかにした。また、従来、困難であった側面抵抗等のすべり面の不均一性を考慮したパラメータについて検討を行った。これらの成果から、より正確な地すべりブロックの挙動の理解が可能となる。また、地すべりブロックにおける再分割検討などに資するものである。

キーワード : すべり面構造、三次元斜面安定解析、土質強度設定

1. はじめに

地すべりの安定性の評価を精度よく行うためには、解析手法及びパラメータの精度を高めていく必要がある。特に、地すべりの安定性の評価において地すべり土塊の側面抵抗の重要性が指摘されており、精度良く評価するためには、三次元解析を行うことが望ましい。

しかし、地すべりの三次元解析に際して重要となる地すべり土塊側面のすべり面については調査事例が少ないことから、その構造や強度等の知見は少なく、認定方法も確立されていないのが実情である。また一方で、形状が複雑な地すべりでは主測線における二次元解析だけの検討では安定性の評価や対策工の計画が合理的でない場合があり、そのような場合にも三次元解析を行うことが望ましい。加えて、解析に使用するパラメータの取得、設定手法は確立されていない¹⁾。

一方、近年ではコアリング技術の向上により高品質なボーリングコアの採取が可能となったことから、以前は確認することができなかった微細な構造、性状をボーリングコアから判定できるようになってきた。その結果、場所によるすべり面性状の不均一性の実態も明らかとなってきた。すべり面性状が不均一であるということは、発現される強度も不均一であることが予想されることから、今後地すべりの安定性評価においては、すべり面の不均一性を考慮した解析パラメータの設定が望まれる。

本研究では、地すべり対策技術の高度化を図るため、地すべり土塊のすべり面における微細構造の調査を行うとともに、混合試料による強度特性の検討

を行い、さらに地すべり土塊の側面抵抗を考慮した三次元解析による地すべりの安定性評価手法を提案するものである。

2. すべり面における微細構造の調査

2.1 調査方法

石川県南部の甚之助谷地すべり中間尾根ブロック中央から末端部(図-1)で採取した4孔のコアの樹脂固定法によるすべり面標本²⁾(図-2)を用いて、すべり面付近の微細構造の調査を実施した。また、平成22年10月～平成23年6月間の孔内傾斜計による観測では、BV-90孔は深度31mで挿入不能となり、BV-91孔では深度31m及び深度33m付近に比較的大きなせん断変位が確認された(図-3)。

2.2 調査結果

孔内傾斜計により変位が観測される図-4 上 : BV-90における主すべり面(深度31m付近)の傾斜は約25°で順傾斜であり、基盤の細粒砂岩には、主

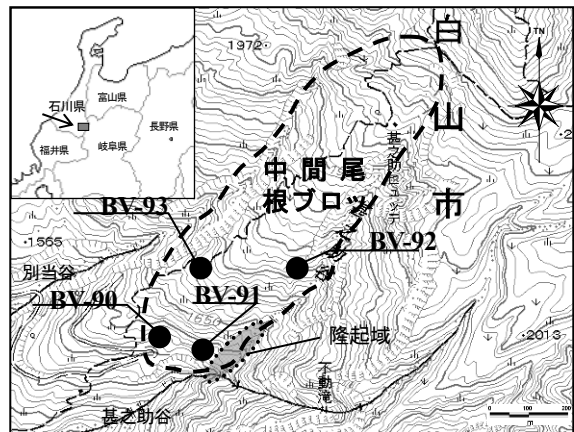


図-1 ボーリング位置図

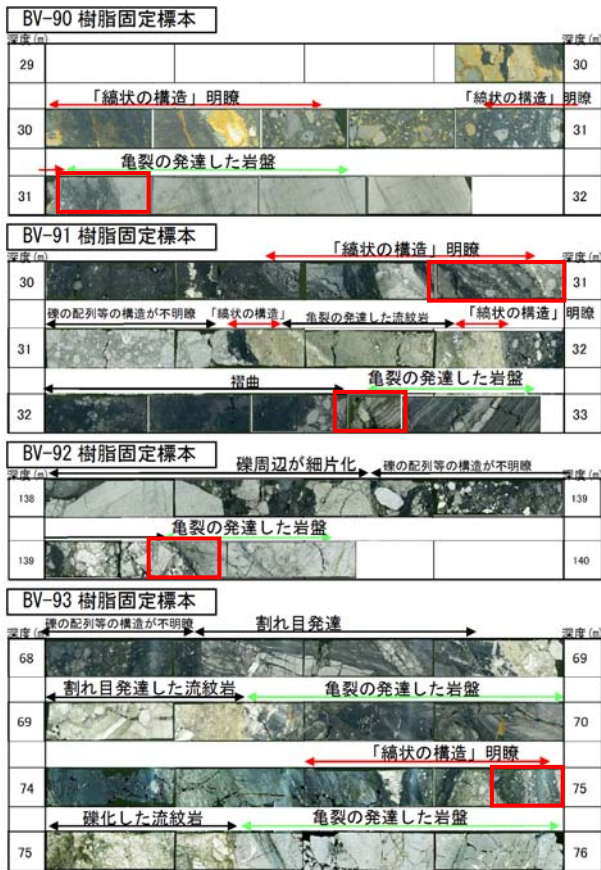


図-2 樹脂固定すべり面標本と観察結果概要 (四角で囲われた範囲は、図4-5の位置を示す)

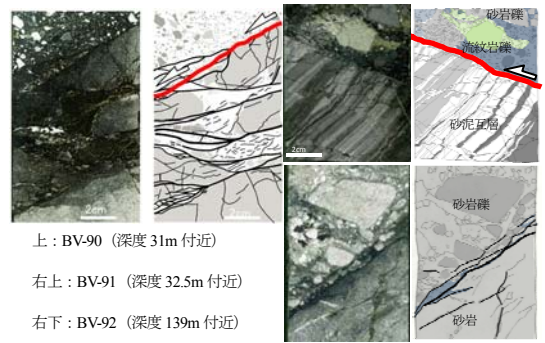


図-4 樹脂固定標本及びスケッチ

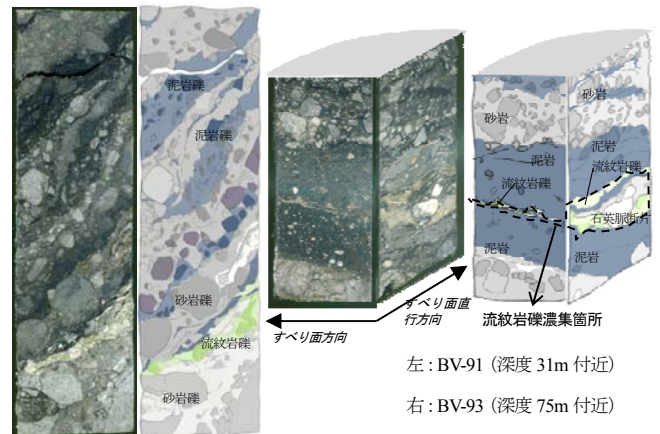


図-5 樹脂固定標本及びスケッチ

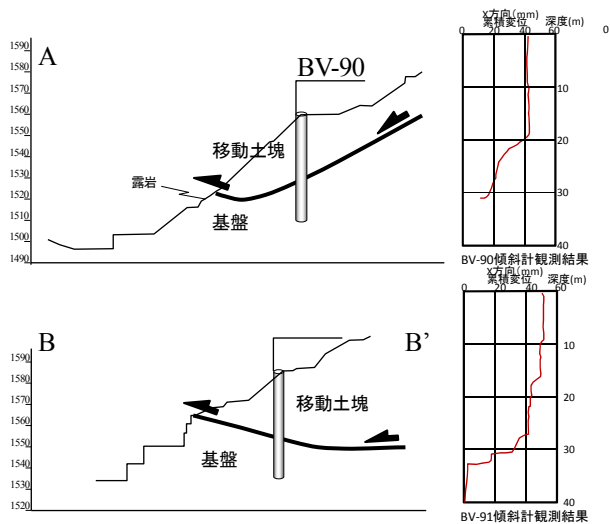


図-3 ボーリング孔付近の断面図及び孔内傾斜計観測結果

すべり面とほぼ平行である。図-4 右上: BV-91 (深度 32.5m 付近) では、主すべり面は約 20° の逆傾斜である。基盤の砂岩泥岩互層には主すべり面と斜交していることが確認できる。また、すべり面直上の移動体には、流紋岩礫が含まれ、礫の周囲にはさら

に破碎されて細くなったものがたなびくように分布する。図-4 右下: BV-92 (深度 139m 付近) では、亀裂の発達した岩盤の上面には、せん断面が連続的に発達していた。また、図-5 左: BV-91 (深度 31m 付近) では、流紋岩・砂岩・泥岩が各々の同種の礫を含むゾーンとして分布し、それぞれの礫とさらに破碎され細粒となった礫が数珠つなぎのように連なりながら引き伸ばされ右上がり分布している。

次に、既往調査結果から地すべり移動体に相当する図-5 右: BV-93 (深度 75m 付近) では、樹脂固定標本を地すべり移動方向とこれに直行する方向の 2 方向で観察した。すべり面方向での切断面では、泥岩に挟まれた流紋岩は、細礫を含みながら幅数 mm の薄層として観察されるが、これに直行する方向で切断した面での流紋岩を含む層は、幅数 cm と膨らみ、レンズ状となっている。

以上より、樹脂固定すべり面標本を用いることで、主にコア外周を見る通常の観察と比較して、すべり面やすべり面付近の構成物などを詳細な観察が容易に可能となった。

3. 混合試料を用いた試験による強度特性の検討

粘土と砂の混合試料の強度特性を検討するために、カオリン粘土と珪砂を用いて、それらの混合率を表-1 のとおりに設定した土質試料の 8 試料に対して、圧密定体積一面せん断試験 (JGS0560) 及び圧密定圧一面せん断試験 (JGS0561) を表-2 の条件のとおり、供試体寸法を直径 60 mm、高さ 20 mm、せん断速度を 0.02mm/min、圧密応力を 50、125、200kPa でそれぞれ行った。

一面せん断試験の結果 (図-6) より、粘土の混合率はある値を境として、粘土の混合率が増加させるとせん断抵抗角が減少しながら変化する結果が得られた。粘土混合率が 0~40% のとき、せん断抵抗角は概ね 35° を示し、一定の値を示した。粘土混合率が 40~80% のときは、粘土混合率が大きくなるにつれ、せん断抵抗角が減少する傾向が見られた。最後に 80~100% のとき、せん断抵抗角が 20~25° 付近の値を示した。ゆえに砂と粘土の混合試料については、その混合率をいくつかに分けて試料のせん断抵抗角を設定できる可能性について示すことができた。

表-1 各試料のカオリン粘土と珪砂の混合率

試料名	混合率 (重量比)	
	カオリン粘土	珪砂※
No. 1	0%	100%
No. 2	20%	80%
No. 3	40%	60%
No. 4	50%	50%
No. 5	60%	40%
No. 6	70%	30%
No. 7	80%	20%
No. 8	100%	0%

※ $\phi = 425 \sim 750 \mu\text{m}$

表-2 一面せん断試験条件

試験名	圧密定体積一面せん断試験	圧密定圧一面せん断試験
供試体寸法	直径60mm, 高さ20mm	
せん断速度	0.02mm/min	0.02mm/min
圧密応力	50, 125, 200kPa	

4. すべり面区分による強度設定手法の調査

4. 1 調査手法

本調査では、三波川結晶片岩地帯に位置する徳島県善徳地すべり防止区域内の Z2-1 (F) ブロックを

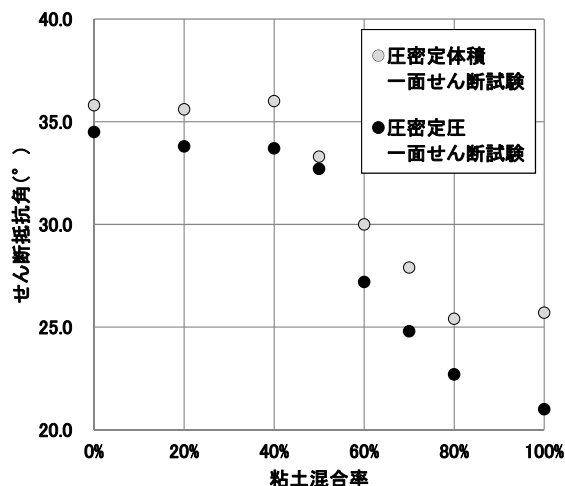


図-6 粘土混合率とせん断抵抗角の関係

対象とし、すべり面の傾斜に着目し、すべり面を複数に区分の上、安定解析による土質強度パラメータの設定を試みた結果を報告する。

安定解析には、極限平衡法による三次元安定解析式の一つである三次元簡易 Janbu 法⁴⁾を用いた。土質強度パラメータの設定には、すべり面傾斜区分ごとに完全軟化強度または残留強度を与えて行い、解析ケース数は、完全軟化強度と残留強度の組合せとして考えられる 32 ケースについて実施した。なお、完全軟化強度は再調整試料による一面せん断試験値を、残留強度は既往文献値⁵⁾を使用した。

また、地下水位条件として、孔内傾斜計の観測結果で変動 B 相当の変位速度となった平成 23 年最高水位 (地下水位①)、及び変動 C 相当の変位速度となった同年の最低水位 (地下水位②) とした。解析結果の妥当性については、三次元安定解析より得られた安全率が変動 B 時に $F_s < 1.00$ 、変動 C 時に $F_s \approx 1.00$ を満足するかどうかで判定した。

4. 2 調査結果

解析結果の一部 (表-3) を示すと、変動 B 時に $F_s < 1.00$ 、変動 C 時に $F_s \approx 1.00$ を満たしたのは 13 ケースであった。表-3 に各解析ケースでの土質強度パラメータ組み合わせとそのときの安全率と判定結果を示す。以上より、実際の地すべりブロック挙動と調和する土質強度パラメータの組合せをいくつか絞り込むことができた。

さらに絞り込まれたケースのうち、地すべりブロック内で観測された孔内傾斜計の変位速度結果と比較し、変位速度と調和する土質強度パラメータの組合せの検討を行う。ブロック区分と孔内傾斜計観

測による変位速度結果（図-7）より、当該ブロックにおける変位速度は頭部、中部、末端部、右側部、左側部の順に大きくなる傾向があった。ただし、頭部内・左側部内では孔内傾斜計による観測が実施されていないため、頭部・左側部にそれぞれ比較的近い中部での観測結果を頭部・左側部での観測値として採用している。ここで、変位速度が相対的に大きなすべり面傾斜区分では小さい強度が、変位速度が小さな区分では大きな強度が発現されていることが考えられることから、頭部・中部に完全軟化強度を、大きな変位速度が観測されている末端部・左右側部に残留強度と設定した。この組み合わせは前述の解析ではケース⑧に該当し、そのときの解析から得られた安全率は妥当と判定されている。以上の検討により、三次元安定解析を実施し、すべり面区分ごと

の変位速度を考慮することで、実際のブロック挙動と調和する土質強度パラメータの組み合わせを絞り込むことができた。

5.まとめ

本研究で得られた主な知見は以下である。

- ・以上より、樹脂固定すべり面標本を用いることで、主にコア外周を見る通常の観察と比較して、すべり面やすべり面付近の構成物などを詳細な観察が容易に可能となった。
- ・砂と粘土の混合試料を用いた一面せん断試験から、粘土の配合率によって、せん断抵抗角が大きく変化する結果が得られた。その配合率からいくつかの区分して試料のせん断抵抗角を設定できる可能性を示した。
- ・すべり面を傾斜に着目した区分に土質強度パラメータを設定して三次元安定解析を実施することで、実際の地すべり挙動と調和した結果が得られた。さらに地すべりの動態観測結果に基づき、土質強度パラメータを設定することにより、適当と考えられる土質強度パラメータの絞り込みが可能となった。

表-3 三次元安定解析結果

解析ケース	土質強度パラメータ組合せ					安全率F _s		判定
	頭部	中部	末端部	左側部	右側部	水位①(変動B)	水位②(変動C)	
④	軟化	軟化	軟化	残留	残留	0.981	1.010	○
⑧	軟化	軟化	残留	残留	残留	0.945	0.981	○
⑩	軟化	残留	軟化	軟化	残留	0.932	0.974	○
⑪	軟化	残留	軟化	残留	軟化	0.952	1.010	○
⑬	軟化	残留	残留	軟化	軟化	0.934	0.994	○
⑮	軟化	残留	残留	残留	軟化	0.917	0.981	○
⑰	残留	軟化	軟化	軟化	残留	0.988	1.016	○
⑲	残留	軟化	軟化	残留	残留	0.971	1.003	○
⑳	残留	軟化	残留	軟化	残留	0.952	0.987	○
㉒	残留	軟化	残留	残留	残留	0.936	0.974	○
㉔	残留	残留	軟化	軟化	軟化	0.959	1.016	○
㉖	残留	残留	残留	軟化	軟化	0.924	0.987	○
㉘	残留	残留	残留	残留	軟化	0.907	0.974	○

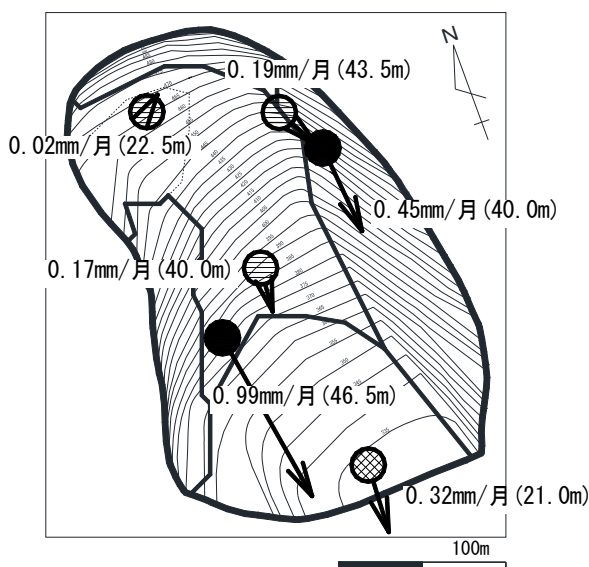


図-7 ブロック区分と変位速度結果

参考文献

- 1) 山崎孝成：「すべり面の構造とせん断強度研究の現状と課題」、日本地すべり学会誌、Vol.48、No.3、pp.1-14、平成23年年5月
- 2) 武士俊也・杉本宏之・本間宏樹・宇都忠和：「樹脂固定法によるすべり面標本作製マニュアル（案）」土木研究所資料4227号、平成24年5月
- 3) 脇坂安彦・上妻睦男・綿谷博之・豊口佳之：「地すべり移動体を特徴づける破碎岩—四万十帯の地すべりを例として—」、応用地質、Vol.52、No.6、pp.231-247、平成24年2月
- 4) 鶴飼恵三：「簡易Janbu法による斜面の3次元安定解析」、地すべり、Vol.24、No.3、pp.8-14、昭和62年12月
- 5) 眞弓孝之・柴崎達也・山崎孝成：「すべり面せん断試験によるすべり面のせん断強度評価」、日本地すべり学会誌、Vol.40、No.4、pp.273-282、平成15年11月

STUDY ON STABILITY EVALUATION OF LARGE-SCALE LANDSLIDE CONSIDERING THREE-DIMENSIONAL STRUCTURE OF SLIDING SURFACE

Research Period : FY2012-2016

Research Team : Erosion and Sediment Control Research Group
(Landslide)

Author : ISHII Yasuo, TAKAGI Masayuki

Abstract : By high quality boring core observation we revealed microstructure on sliding surface. In addition, we investigated the parameter considering the nonuniformity of sliding surface such as landslide of side resistance, which was conventionally difficult. From these results, it is possible to understand the behavior of the landslide block more accurately. It also contributes to review of re-division in the landslide.

Key words : The structure of sliding surface, three-dimensional slope stability analysis, Soil strength setting