

### 4.3 すべり面推定手法の活用による地すべり発生後の移動形態推定手法に関する研究

研究予算：運営費交付金（一般勘定）  
 研究期間：平 21～平 22  
 担当チーム：土砂管理研究グループ（地すべり）  
 研究担当者：藤澤和範，石田孝司

#### 【要旨】

亀裂や段差などの地すべりの徴候が表れた場合には、応急緊急対策や恒久対策の計画を立案し実行される。その際には地すべりがその後を示す動きを的確に判断することが、二次災害防止や警戒避難の検討にあたって重要である。しかし、地すべりの崩落危険度を評価する手法として確立されたものはない。本研究では、崩落に至る地すべりの特徴を整理・分析するとともに、地すべり末端部の小規模崩落が地すべり全体の安全率に与える影響について検討を行った。その結果、崩落に至る地すべりの特徴として、斜面が急勾配を示し特に 40 度以上の場合には対象事例の多くが崩落に至ったこと、地すべり末端部の小規模崩落が地すべり全体の安定性を低下させることなどのことがわかった。

キーワード：崩落型地すべり、末端小崩落、斜面安全率、すべり面形状

#### 1. はじめに

地すべり発生後の対応を考える際には、その規模を迅速に把握し、かつ移動土塊がその後を示す挙動を高い精度で推定することが必要である。昨年度までの研究により地表面変位ベクトルから地すべりの規模やすべり面形状を迅速かつ簡易に推定することを可能とする技術を開発した。また、地すべり災害後の効果的な応急緊急対応手法を提案した。一方で、特に地すべり発生後に移動土塊が崩落に至る危険性を判断することはその後の対応を決定する上で非常に重要であるが、地すべりがその後を示す挙動は地すべりの特性によって様々である中、その判断は経験の他、地盤伸縮計等による変位速度の確認に頼っているのが現状である。

本研究は、地すべりの素誘因やすべり面形状、地すべり末端部の小規模崩落と斜面安定との関係から地すべり発生後の移動土塊が崩落に至る危険度を評価することを目的としている。平成 21 年度には、崩落に至る地すべりの特徴を分析するとともに、末端部の小規模崩落が斜面安定に及ぼす影響を二次元斜面安定計算により検討した。また、地すべり末端部の面的な変状計測により地すべり末端部の小規模崩落の範囲等の把握を視野に入れ、構内試験や現地計測を通して 3D レーザースキャナを用いた斜面変位計測の適用性の検討、並びに課題の抽出を行った。

なお本稿では、亀裂や段差などの地すべり前兆現象が発生した後、移動土塊が加速して崩落に至った現象を便宜的に「崩落型地すべり」と称する。

表-1 整理した地すべり諸元

	比較検討項目	記載内容等
①概要の整理	崩壊発生年	
	崩壊発生時期	気象による時期
	崩壊発生場所	地名
	座標	崩落位置座標
	崩壊規模	崩壊土量
	地すべり規模	土塊の幅・土塊の長さ・土塊の厚さ
	崩壊後の土塊	残存・消失
	発生までの気象状況	連続雨量、日雨量、時間雨量
	前兆現象	有無・内容
	②地すべりの性状の整理	地形
基盤地質		岩相・構造
地質構造		受盤・流盤
土塊の地質		岩相
土塊の風化状況		WI-W3
風化土層の厚さ		
地下水位		すべり面との位置関係
すべり面の位置		
すべり面の形状		直線型・椅子型・円弧・複合円弧・背面クラック
すべり面末端位置		標高
③変動履歴の整理	滑落崖の勾配	
	平均すべり面勾配	テンションクラック部を除外した勾配
	すべり面の土質	
	地すべりタイプ	岩盤クリープ型・地質構造規制型・再滑動型・崩壊型
	経緯	
③変動履歴の整理	移動速度	崩落前の移動速度・崩落直前の移動速度
	第 2 次クリープ時の移動速度	等速移動時の変位速度・第 3 次クリープ以前の变位速度

#### 2. 崩落型地すべりの特徴

##### 2.1 整理した諸元

崩落型地すべりに共通する特徴を把握するため、近年我が国で発生した崩落型地すべりの諸元を収集し整理した。収集できた事例数は 18 である。これらの事例に関する調査報告書や公表されている文献を基にその素誘因として表-1 に示す項目について整理した。また、崩落前から変位計測等が行われていた事例については、計測データを整理し、検討を行った。

4.3 すべり面推定手法の活用による地すべり発生後の移動形態推定手法に関する研究

2. 2 18 事例における崩落型地すべりの特徴

収集した 18 の地すべり諸元を整理し、表-2 に示す。  
今回収集した崩落型地すべりの多くは、降雨ないし融雪

を誘因としていた。崩落型地すべりの定性的な特徴として考えられることを以下に記す。

崩落型地すべりは、緩慢な動きを繰り返すタイプの地

表-2 収集・整理した崩落型地すべりの諸元

地すべり番号	概要			地すべりの性状								すべり面					
	規模	誘因	素因	地形	縦断地形	斜面勾配	基盤地質	地質構造	土壌地質	土壌風化状況	地すべりタイプ	地下水位	すべり面位置	すべり面形状	清落差勾配	平均すべり面勾配	すべり層土質
①	W=120m L=120m D=20m V=200,000m <sup>3</sup>	降雨	風化岩のク リープ進行域 攻撃斜面	一様な攻撃斜 面	凸型	43°	砂岩頁岩互層	流れ盤	頁岩優勢砂岩 頁岩互層	W2(弱風化)	すべり面と旧 地形線の中間 付近	斜面に平行な 層すべり	直線に近い椅 子型	70°	44.2°	粘土を含む土 砂状	
②	W=150m H=90m V=50,000m <sup>3</sup>	降雨	風化頁岩のク リープ進行域	攻撃斜面の出 尾根	凸型	45°	中生代頁岩・ 砂岩・チャ ー	受け盤	風化頁岩	強風化	すべり面以浅	風化深度付近	直線に近い椅 子型	60°	45.2°	強風化頁岩	
③	W=30m H=35m V=350m <sup>3</sup>	降雨・地震 でない	砂岩優勢互層 と頁岩優勢互 層がのり面に 向かって右手 前に傾斜、深 度20m付近ま で風化	平面凸型直線 斜面	凸型	52°	砂岩頁岩互層	流れ盤	風化砂岩優勢 互層	強風化	すべり面以深	節理面と層理 面	椅子型(背面 クラック)	90°	50.2°	D~CL級の風 化岩中の節理 面(流入粘 土)	
④	W=150m H=180m	降雨	攻撃斜面、集 水地形、深部 の破碎帯、地 下水賦存量多 い	集水地形	凸型	38°	砂岩頁岩互層	受け盤	風化砂岩頁岩 互層	弱風化	すべり面以浅	風化基底面	円弧型	72°	30.7°	D級風化の礫 質土	
⑤	W=30m L=50m D=9m V=7,000m <sup>3</sup>	対象斜面の 左下方での 表層崩壊に よる応力解放、 間隙水圧の 繰り返し上昇 による間欠的 変動(崩落5日 前に38mm)	風化や緩みの 生じやすい頁 岩基質のメラ ンジェで構 成、受け盤と なる低角な層 構造と流れ盤 となる高角な 節理	尾根先端部の 攻撃斜面	凸型	49°	頁岩基質の混 在岩	受け盤	頁岩	弱風化	すべり面以深	風化部の節理 面	直線	64°	48.4°	粘土層を伴う 破碎岩	
⑥	W=100m L=200m V=60,000m <sup>3</sup>	融雪・降雨	古い地すべり ブロックであ り土質が脆弱、 末端が河川 の水衝部	地すべりブ ロック末端部	凸型	24°	凝灰岩、安山 岩	不明	凝灰岩、安山 岩の風化岩の 礫混じりシル ト	変質を伴い風 化角礫を含む 土砂状風化	再活動型 (複合直線 線破壊)	すべり面以浅	古い地すべり ブロックの基 底面	複合円弧型	64°	26.9°	凝灰岩、安山 岩の風化岩の 礫混じりシル ト
⑦	W=350m L=650m D=70m V=6,000,000m <sup>3</sup>	融雪・降雨	温泉の湧出域 で熱水変質が あること、安 山岩のキャッ プブロック構 造で土塊部に 地下水が集中し 易い場である こと	尾根先端部の 平滑緩斜面	凸型	16°	凝灰岩、安山 岩、砂岩、泥 岩	向斜構造	安山岩、凝灰 岩、泥岩	熱水によるモ ンモロロイ ト化が進行	崩壊型	すべり面より 上20~30m	風化変質の基 底面付近	船底型	45°	22.6°	変質凝灰岩
⑧	W=200m L=300m V=1,000,000m <sup>3</sup>	降雨	流れ盤構造の 砂岩泥岩互層 と背後の貫入 岩からの地下 水の供給、集 水地形、風化 により割れ目 の発達した凝 灰岩	山麓斜面	凸型	20°	軽石質凝灰 岩、砂岩泥岩 互層	流れ盤	軽石質凝灰 岩、砂岩泥岩 互層	強風化	再活動型 (岩盤す べり)	すべり面上4 ~18m	古い地すべり ブロックの下 方拡大位置	複合円弧型 (椅子型)	73°	20.2°	礫混じり粘土
⑨	W=50m L=50m V=4000m <sup>3</sup>	降雨	亀裂面と層理 面が縫い開口 して雨水が流 しやすいため	谷壁斜面	凸型	38.1°	砂岩頁岩互層	流れ盤	砂岩頁岩互層	割れ目沿いを 中心に深度 10m程度まで 風化	地質構造 規制型 (くさび 崩壊)	崩壊面以深	亀裂面と層理 面	椅子型	63°	66.3°	流入粘土を伴 う岩盤
⑩	W=180m L=430m D=20m V=1,500,000m <sup>3</sup>	降雨	スレーキング 易い泥岩、流 れ盤、古い清 落差	海食崖斜面	凸型	12.4°	泥岩	流れ盤	泥岩	弱風化	不明	層理面	船底型(平面 的)	45°	13.2°	破碎泥岩	
⑪	W=200m L=400m V=400,000m <sup>3</sup>	降雨	流れ盤となる 片理面の発達	攻撃斜面、集 水地形	凸型	37°	泥質片岩	流れ盤	泥質片岩(一 部ホルンフェ ルス)	強風化し一 部土砂状	崩壊型 (流動)	すべり面以深 (常時)	風化基底付近	複合円弧型	45°	36.2°	不明
⑫	W=300m L=250m V=1,000,000m <sup>3</sup>	降雨	マサ化の進ん だ花崗岩	背後に山塊を 持つ緩斜面の 尾根	平面 に近い凸 型	20.5°	花崗岩	塊状	風化花崗岩	強風化	崩壊型 (流動)	清落差直下で 大量の湧水、 地下水位高い	風化基底付近	椅子型	45°	24.2°	マサ
⑬	W=120m H=100m V=4,000m <sup>3</sup>	降雨	古い地すべり の末端部で遷 急線下が岩盤 クリープの場 となった	攻撃斜面	凸型	51°	砂岩優勢粘板 岩互層	受け盤	砂岩優勢粘板 岩互層	粘板岩の選択 的な風化	岩盤ク リープ型 (岩盤す べり)	ほとんどなし	風化基底付近	直線型	75°	55.2°	土砂混じりの 風化岩
⑭	W=120m L=160m D=20m V=20,000m <sup>3</sup>	融雪	風化岩の基盤 岩と産錐堆積 物からなる斜 面、すべり末 端付近の破碎 帯	攻撃斜面、尾 根先端部の凹 地形	凸型	41°	砂岩・頁岩・ 凝灰岩質砂 岩・緑色岩	受け盤	産錐堆積物と 強風化岩	強風化	崩壊型	すべり面以深 (常時)	産錐堆積物基 底面付近	直線型	47°	61.5°	不明
⑮	W=50m L=65m H=65m D=8m V=25,000m <sup>3</sup>	降雨	CL級の風化 深度が20程 度、ダム貯水 により地下水 流末環境の変 化あり	尾根先端部の切 土部	凸型	48°	珪質粘板岩	不明	強風化珪質粘 板岩	強風化	崩壊型	すべり面以深 (常時)	風化基底面付 近	直線型	40°	不明	不明
⑯	W=30m L=35m H=30m V=2,500m <sup>3</sup>	降雨	張りコンク リートによる 地下水流末の 遮断、風化の 進行	尾根先端部の切 土部	凸型	48°	玄武岩	不明	風化玄武岩	強風化(土砂 状)	崩壊型	すべり面以深 (常時)	風化基底面付 近	複合円弧型	90°以上 (オー バーハ ング)	43.7°	不明
⑰	V=700m <sup>3</sup>	5日前時間雨 量21mm	ブロックを横 断する断層破 砕帯、採石に よる急斜面の 残壁、片理面 が流れ盤	集水地形下部 は採石による 掘削のり面	凸型	40°	三波川帯基 性片岩	流れ盤	塩基性片岩	不連続面のみ 風化	地質構造 規制型 (くさび 崩壊)	すべり面以深	風化基底面付 近	椅子型(背面 クラック)	70°	21.1°	不明
⑱	W=110m L=200m V=150,000m <sup>3</sup>	20日前の日 雨量212mm	節理、断層破 砕帯が清落差 付近にあり、 破碎帯の膨潤 性粘土が清落 差の形成に影 響している	攻撃斜面、尾 根側面の凸型 斜面	凸型	39°	三波川帯泥質 片岩	流れ盤	泥質片岩	表層10m付 近まで強風化	崩壊型 (流動)	すべり面以深	風化基底面付 近	椅子型(背面 クラック)	70°	30°	不明

#### 4.3 すべり面推定手法の活用による地すべり発生後の移動形態推定手法に関する研究

すべりとは異なり、移動速度がある時点から急激に増大し（第3次クリープ段階）、土塊の崩落にまで至るといった運動形態を示すものである。この特徴は、崩落前の地盤伸縮計によるデータから読み取ることができた。また、崩落に至る過程が記録されたビデオ画像が存在した事例②については、その動画から現象を解析した。その結果、地すべりの末端部付近や側方崖に相当する位置では前駆的な小崩落が発生していることが確認できた。全ての崩落型地すべりに言えると断言できるものではないが、末端部付近や側方崖で発生する小規模崩落は、地すべりが崩落に至る前の前兆現象、或いは崩落に至る誘因の一つとして捉えることの可能性を示唆していると考えられる。

崩落型地すべりが発生した位置を地形的に見ると、溪流や河川の攻撃斜面となっているものが7事例（①, ②, ⑤, ⑪, ⑬, ⑭, ⑱）あり、これは地すべり土塊の抑えとなっている脚部が浸食を受け、崩落に至りやすくなる要因となっていることが考えられる。また全ての事例において、地すべり土塊を含む斜面の縦断形状は凸型を示していた。これらのことは、土塊の抑え領域（圧縮領域）となる末端部付近の形状が頭部付近よりも相対的に急勾配であることを示しており、地すべり土塊の安定性と関係があると推察する。また、地すべりの形状についてみると、縦断測線における地すべりの頭部と末端部を直線でつないだ勾配が35度を超えるものが13事例を占めた。

基盤地質は、⑦と⑧の2事例が軟岩に相当し、他は中古生層や火山岩の中硬岩であった。地すべり土塊の風化状況についてみると、その度合いに差はあるものの全ての事例において風化が進んだ状態にあることがわかる。また、斜面の傾斜方向と地質構造の関係をみると、流れ盤構造は9事例であるが、対象事例からは地質構造において崩落型地すべりを特徴づけることはできない。

地すべりタイプについて、藤澤ら<sup>1)</sup>に従った分類を行った結果、厚い風化層や崩積土が分布する斜面で、概ね末端部が斜面中腹に生ずる崩壊型が7事例（⑦, ⑪, ⑫, ⑭, ⑮, ⑱）、また急傾斜で重力作用による変形が進行すると思われる岩盤クリープ型が6事例（①, ②, ③, ④, ⑤, ⑬）あり、この2タイプで18事例中7割以上を占めた。

地下水位についてみると、風化や土塊クリープによる緩み域がすべり面付近の深さまで及んでいると考えられることから、ボーリング孔内水位が逸水しやすい状況であることを割り引いても、①, ②, ④, ⑥, ⑦, ⑧, ⑫を除いた半数以上は常時すべり面以深であった。すべり面に作用する間隙水圧は、緩みによるクラックに沿う裂

か水による水圧が作用するものと考えられることから、斜面はわずかな供給水量で高い間隙水圧を発生させるといった性状を有していたとも推測できるが、このことについては今後崩落前の降雨等の資料を基に検討を行う必要がある。

すべり面形状は直線的ないし椅子型や船底型、複合円弧型などあり特段の傾向は見られず、収集した事例からは、すべり面に関する事項について崩落型地すべりを特徴づける傾向を見いだすことはできなかった。

### 2.3 他の事例との比較による分析結果

崩落型地すべりの特徴について検討する際には、崩落に至らない地すべりとの比較も必要であると考え、平成13年度～平成19年度に地震を誘因とするものを除く災害関連緊急地すべり対策事業を実施した地すべりのうち、分析に必要なデータが整っていた72事例を使用し、崩落型地すべりの特徴付けを試みた。地すべり発生前後の縦断形の変化や写真判定により、72事例のうち17事例を崩落型地すべりと判断した。この17事例は2.2項で対象とした事例との重複はない。

2.2項で示した18事例の多くは斜面勾配が35°以上と比較的急勾配を示していたことから、ここでは斜面勾配に着目し、地すべり土塊規模（土塊量）との関係を整理した。この結果を図-1に示す。ここでは、データベースの72事例に加えて2.2項で対象事例とした崩落型地すべり18事例についても、色を変えて図中にプロットしている。図-1からは、斜面勾配が40°以上の場合、地すべり土塊の規模によらず地すべりはほぼ全てが崩落に至っていることが分かる。ただし、斜面勾配が40°未満の場合には崩落型と非崩落型が混在しており、斜面勾配以外の要因が関係しているものと考えられる。

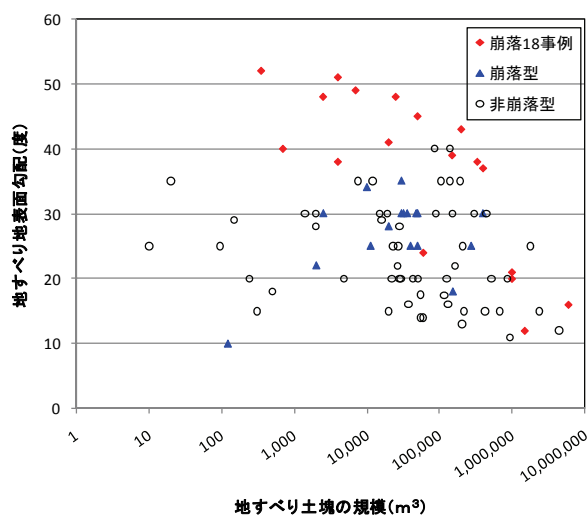


図-1 地すべり土塊規模と斜面勾配の関係

#### 4.3 すべり面推定手法の活用による地すべり発生後の移動形態推定手法に関する研究

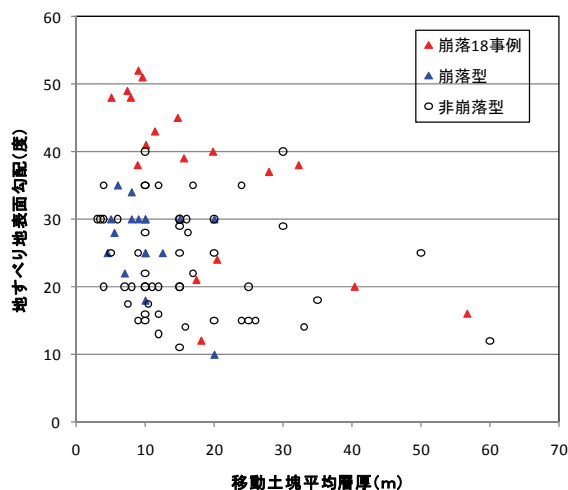


図-2 移動土塊平均層厚と斜面勾配の関係

次に、斜面勾配と移動土塊平均層厚の関係を整理し、図-2に示す。崩落型地すべりと非崩落型地すべりは混在しており、明確な関係を見いだすことはできなかったが、両者を分ける要因として地質や移動土塊の土質性状、すべり面形状など他の要因も考えられるため、平成22年度にはこれらについて分析を実施する予定である。

### 2.4 素因の特徴に関する整理

以上のことについて整理し、崩落型地すべりの素因的特徴をまとめると以下のとおりである。

- (1) 地すべり末端部が溪流や河川の攻撃斜面である等、末端部付近に崩壊、侵食されやすい条件があること
- (2) 斜面の傾斜が比較的急勾配であり、土塊・岩盤のクリープが生じやすい場にあること。検討した事例からは、斜面勾配  $40^\circ$  以上で発生した地すべりは規模にかかわらずほぼ全てが崩落に至った。
- (3) 軟岩分布地帯よりも中硬岩分布地域であること。
- (4) 末端部付近や側方崖で発生する小規模崩落は、地すべりが崩落に至る前の前兆現象、或いは崩落に至る誘因の一つとして捉えることができる可能性がある。

これらの事項は地すべりが崩落に至る危険度を評価する上での十分条件ではないが、現地において地すべりが崩落に至る危険度を評価する際の目安になるものと考えられる。

### 3. 斜面安定計算による崩落誘因の評価

#### 3.1 末端崩壊土量に着目した斜面安定計算の方法

2.では崩落型地すべりの素因的な特徴を見た。この中では、地すべり末端部付近の崩壊など地すべり土塊の一部の消失と背後の土塊の崩落との関係が示唆された。そ

こで、地すべり末端部の土塊の消失と背後の土塊の安全率への影響を把握するために、地盤伸縮計による計測データが存在した8事例を対象として二次元斜面安定解析を行った。ここで $c$ と $\phi$ は逆算により求めることとした。斜面安定解析にあたっては、富士通FIP社製のCOSTANA Ver. 15.2を使用した。

斜面安定計算を行う際には、一般的に土塊の滑動状態を考慮して安全率を推定した上で、これに合致するすべり面強度定数を逆算により決定する方法が取られる。ここで、例えば地すべり土塊が「動き出す直前」の状態や「動きが停止した直後」の、すべり抵抗力と滑動力が丁度つりあった状態の時点安全率が1.0であれば問題はないが、そのような状態は必ずしも常には望めない。本研究では崩落型地すべり現象の誘因として想定される土塊末端部の崩落量と安定性の低下をそれぞれ定量的に求めることがひとつの目的であるため、地すべり末端部の崩落が発生する前の初期安全率を精度良く求める必要がある。しかし、地すべりが崩落した後の状態を安全率1.0とすると、滑動前の安全率は極めて小さな非現実的な値となった。

そこで本研究では、地すべり変位速度とその時の安全率の関係を求めた検討事例<sup>2)</sup>を基にして地すべり移動速度と安全率の関係を近似線で表した。その上で、対象事例の地盤伸縮計データから得られる第2次クリープ段階の移動速度を近似式に当てはめて崩落前の安全率を求めた。なお、変位速度から推定した安全率が1.0を下回るものは、変位速度と安全率との関係から外れたものとみなし、便宜上安全率を1.0とした。今回収集した事例では、崩落前に末端部の崩落形状や規模を確認できた事例は1事例しかなく、またこの1事例も解析断面上で発生したものではなかった。そこで検討に際しては、地すべり土塊末端付近が攻撃斜面にあたることや急勾配斜面であることなどを考慮し、地すべり土塊末端部の浸食や表層崩壊などを想定して土塊末端の欠損形状として与え、安全率が1.0を下回るまで逐次斜面安定計算を繰り返し、末端崩落あるいは浸食による安定限界土量を把握するとともに、その状態に至るまでの安全率の推移を把握することとした。

#### 3.2 斜面安定計算結果

斜面安定解析を実施した事例のうち、いくつかの事例についてその結果を以下に示す。

### 4.3 すべり面推定手法の活用による地すべり発生後の移動形態推定手法に関する研究

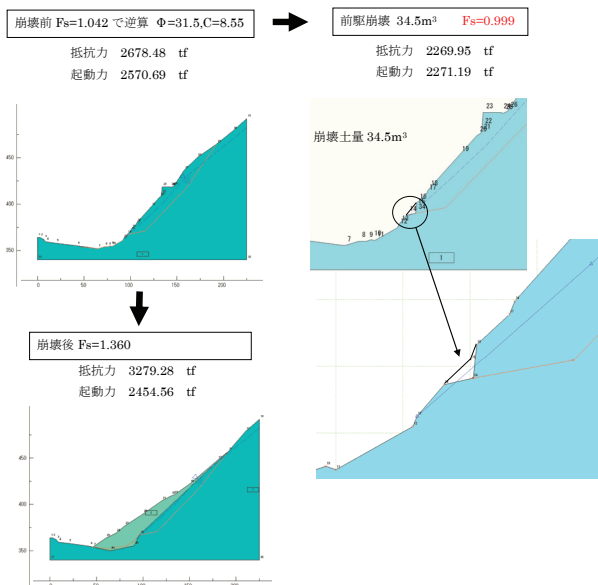


図-3 事例①の検討結果

#### 〔事例①〕

地すべり移動速度から初期安全率を  $F_s=1.042$  として計算を行った結果を図-3に示す。地すべり末端部分が  $34.5\text{m}^3$  崩落した時点で安全率は  $1.0$  を下回った。末端崩落により、すべり面長が短くなり、滑動力に比べて抵抗力が低減したことにより安全率が低下したものである。すべり面を欠損しない浅い末端崩落の場合は、更に末端部の崩落形状が必要となる。

#### 〔事例⑤〕

地すべり移動速度から初期安全率を  $F_s=1.109$  とし、地すべり末端部で土塊を欠損させた時の安全率の変化を見た。

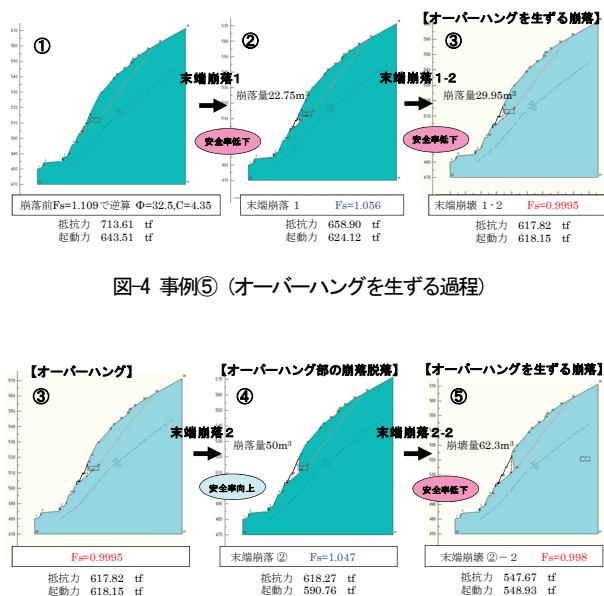


図-4 事例⑤（オーバーハングを生ずる過程）

図-5 事例⑤（オーバーハング部脱落と再形成の過程）

図-4には初期状態から末端部小崩落を経てオーバーハングが生ずる過程における地形と安全率変化を示した。地すべり末端部が崩落する前の初期状態 (①) から、すべり面末端部で約  $23\text{m}^3$  の小崩落が発生することにより安全率は約  $5\%$  低下した (②)。次にオーバーハングが生ずる形でこの小崩落の背面がすべり面に沿って約  $30\text{m}^3$  脱落することにより安全率はさらに約  $6\%$  低下し  $1.0$  を下回った (③)。

図-5は、③の状態からオーバーハング部が脱落し、その後再びオーバーハングが生ずる過程における地形と安全率変化を示した。③の状態からオーバーハング部が脱落する形で約  $50\text{m}^3$  の末端崩落が生じたことにより逆に安全率は約  $5\%$  上昇した (④)。次にこの状態からオーバーハングが生ずる形で約  $60\text{m}^3$  が脱落することにより再び安全率は約  $5\%$  低下し安全率は  $1.0$  を下回った。

#### 〔事例⑧〕

地すべり移動速度から初期安全率を  $F_s=1.076$  とおいて地すべり末端部の侵食と表層崩壊が交互に進行する状況での限界崩壊土量を検討し、結果を図-6に示す。このケースでは土塊末端部の崩落深度よりすべり面が深い位置にあることから、地すべり末端部の土塊の欠損による形状変化により安全率が低下したものである。

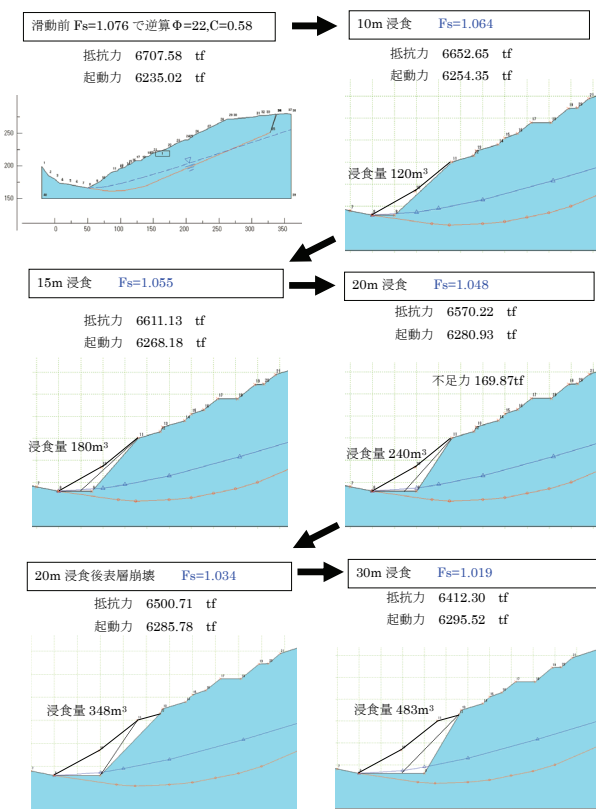


図-6 事例⑧の検討結果

## 4. 崩落誘因の評価

崩落型地すべりの不安定化の要因は、第2次クリーブから第3次クリーブに移行するきっかけを与える要素であると考えられる。その要因としては、地形形状の変化、すなわち末端崩壊による土塊の欠損やすべり面の欠損により地すべり土塊のバランスが変化し安全率が低下する場合や、地下水位の上昇が影響する場合などが考えられる。

今回検討対象とした事例においては、地下水位が確認されていない、もしくはすべり面以深にあるものが多かったことから、地下水位条件を固定して、土塊の形状の変化（末端崩壊）や崩落に伴うすべり面の欠損によるすべり抵抗力の変化による安定性の検討を行った。これらの検討の結果、地すべり末端部での小崩落は地すべり全体の安全率を低下させる要因となること、そして地すべりの形状によっては、末端部小崩落の規模が小さくとも安全率が1.0を下回る場合があることがわかった。そのため、今後は末端崩落の形状やすべり面形状が安全率に及ぼす影響についてさらに詳細な検討を行う。

## 5. 地すべり末端部の面的な変状把握

### 5. 1 実施内容

地すべりが大きく滑動する前の段階における地すべり末端部の崩落範囲やすべり面位置との関係の把握に資するため、3D レーザースキャナ（以下、「スキャナ」と言う。）を用いた地すべり末端部の面的な変状計測を行った。平成21年度には、スキャナの基本性能と計測時の留意点を確認するための構内実験を行った他、斜面変位が確認されているいくつかの斜面を対象として、斜面変位の計測を行った。

構内実験で確認した主な項目は以下のとおりである。

#### ①測定可能距離の確認

測定距離と反射強度の関係を確認し、本研究で対象とする斜面構造物の測定可能範囲を確認した。

#### ②入射角度の確認

斜面を斜めから測定した場合には、レーザー光の反射率が低くなる。そこで、レーザーが対象物に対して斜めに入射する場合の計測の信頼度を確認するため、同一対象物の角度を変化させての計測を行った。

#### ③2方向から測定した場合の点群の合成

対象が広範囲となる場合などには、2地点からの計測結果を合成する必要が生ずる。2方向から測定した点群を合成する際に、合成方法として主に用いられているタイポイント法と機械点バック点法の差異を確認した。

### 4.3 すべり面推定手法の活用による地すべり発生後の移動形態推定手法に関する研究

また、変位が計測されている斜面を対象とし、異なる時期に計測したそれぞれのデータの差分による実斜面の変位量計測を行った。

## 5. 2 計測結果

### 5.2.1 構内実験

ここでは、実験結果の一部について記載する。構内実験の状況を写真-1に示す。実験に使用したスキャナは株式会社トプコン製のGLS-1000であり、これは現地計測時に使用したスキャナと同じものである。



写真-1 構内実験時の様子 (右は標的)

#### ①測定可能距離の確認

実験はスキャナから測定対象のベニヤ板までの距離を変えて、100m、200m、300m、350mの4ケースを行った。計測した点群データを図-7に示す。トータルステーションによる計測と比較するために設置した反射シールは、スキャナで計測した場合に強反射となり、その部分はデータ取得ができないことがわかった。また、遠距離の計測では反射シール周辺の点群で距離誤差が大きくなる現象が生じた。計測距離が300m以内であれば計測点の取得率は高く実用上計測可能な範囲であることを確認した。

#### ②入射角度の確認

計測距離200mの条件において計測対象物への入射角を0°から75°までの5ケースで行った。この結果、スキャナと正対する角度が最も計測点の取得率が高く、距離誤差も小さいことがわかった。計測角度と誤差の関係からは、60度から75度の間で極端に誤差が大きくなったことから、60度以内程度の入射角で計測できる範囲が望ましいと考えられる。

#### ③座標変換方法の検証

今回の実験条件においては、機械点バック点法よりもタイポイント法が座標値のズレが少ないことがわかった。そのため以後の現地計測ではタイポイント法を採用してデータ評価を行うこととした。なお、タイポイント法は、2つの計測対象面の重複する部分において複数の同一点を選定し、これらの点を結合点として2つの画像を結合させる手法である。この結合点がそれぞれ不動点であれば最も高精度な座標変換方法であるが、2地点から計測

### 4.3 すべり面推定手法の活用による地すべり発生後の移動形態推定手法に関する研究

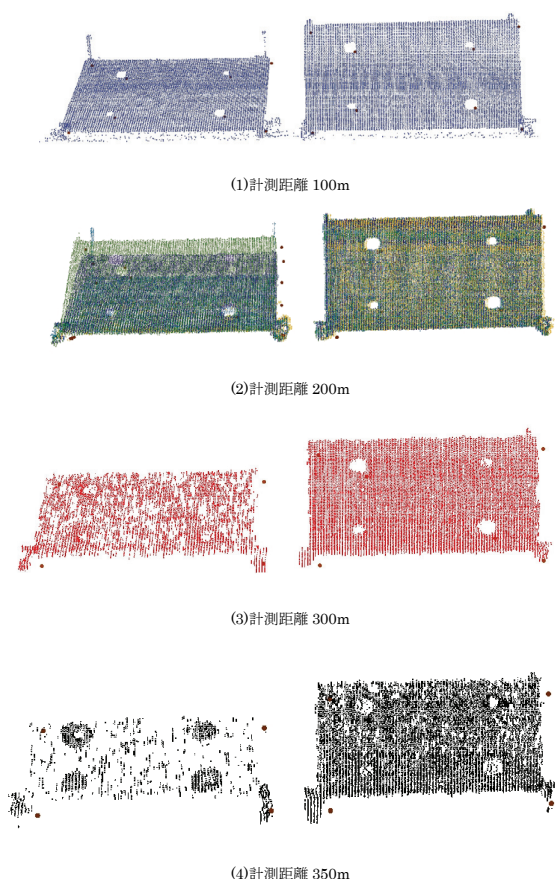


図-7 構内実験計測データの正面図

したそれぞれの画面の中で同一の地点を表す結合点が多くなる他、この結合点自体が不動であることを保証する必要がある。各計測時にトータルステーションでその位置を確認できる、或いはスキャナを据え付けっぱなしにしての計測が可能であれば、この方法は適切であることがわかった。

#### 5.2.2 現地計測

現地計測を実施した斜面のうち、1地区における計測結果を以下に記す。当該斜面では9月と12月の2時期にスキャナ計測を実施した。この2時期間の差分解析を行った結果を立面図として図-8に示す。図において+側(暖色系)が手前方向へのせり出しを示している。図の右側はせり出しがあるように見ることができるが、画像左右の変化量がそれぞれ+-であることを鑑みると、座標変換時の誤差が生じているものと考えられる。そのため、今後微少な変位を検出するための座標変換精度の向上を図るとともに、現地計測結果などを比較検討し、適切な計測手法について検討を行う必要がある。

#### 6. まとめ

崩落に至った地すべりの特徴を把握するために、近年

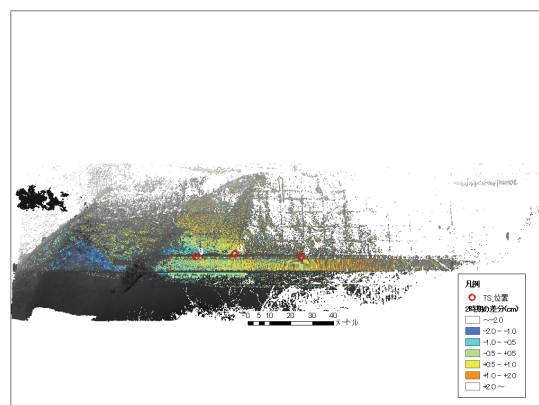


図-8 2時期の計測による差分解析結果の一例

発生した崩落型地すべりの諸元を収集し、分析を行った。その結果、崩落型地すべりの素因的な特徴として以下のことがわかった。

- (1) 地すべり末端部が溪流や河川の攻撃斜面である等、末端部付近に崩壊、侵食されやすい条件があること
- (2) 斜面の傾斜が比較的急勾配であり、土塊・岩盤のクリープが生じやすい場にあること。検討した事例からは、斜面勾配  $40^\circ$  以上で発生した地すべりは規模にかかわらずほぼ全てが崩落に至った。
- (3) 軟岩分布地帯よりも中硬岩分布地域であること。
- (4) 末端部付近や側方崖で発生する小規模崩落は、地すべりが崩落に至る前の前兆現象、或いは崩落に至る誘因の一つとして捉えることができる可能性がある。

また、いくつかの事例を対象として斜面安定解析による検討を行った結果として、地すべり末端部での小崩落は地すべり全体の安全率を低下させる要因となること、そして地すべりの形状によっては、末端部小崩落の規模が小さくとも安全率が1.0を下回る場合があることがわかった。

今後検討が必要な事項を以下に挙げる。

- (1) 誘因や地質、土塊の性状、すべり面形状などの視点を入れた検討により崩落に至る地すべりの特徴を整理する必要がある。
- (2) 三次元的斜面安定計算等により、地すべり末端部や側方崖の小規模崩壊の形状やすべり面勾配が地すべり全体の安全率へ及ぼす影響を評価する必要がある。

#### 参考文献

- 1) 藤澤和範、藤平大、石田孝司、徳永博：地すべり応急緊急対策事例の分析、第46回日本地すべり学会研究発表会講演集、pp31-34、2007年8月
- 2) e.g. Mandzic：Stability of unstable final slope in deep iron mine, Procs of 5<sup>th</sup> Int, pp455-458, 1988

## RESEARCH ON THE METHODOLOGY OF ESTIMATION ON LANDSLIDE MOVEMENT

**Budget** : Grants for operating expenses,  
General account

**Research Period** : FY2009-2010

**Research Team** : Erosion and sediment control  
research group  
(Landslide research team)

**Author** : Kazunori FUJISAWA, Koji ISHIDA

**Abstract** : When some cracks or steps which are signs of landslide are occurred, emergency measurement or permanent measures will be carried out. And it is important to decide precisely what way to move the landslide after that on the occasion of preventing second disaster or deciding the time for evacuation. However, there is no confirmed method that can evaluate the degree of landslide to collapse. So we analyzed characteristics of collapsed type landslide. And we analyzed the effect of small scale collapse at the toe area of landslide for factor of safety. Here we showed that steep slope landslide, especially when more than 40 degrees, many of the cases were collapsed. Also it was found that small size collapse at the toe area of landslide will influence factor of safety of landslide to be decrease.

**Key words** : collapsed type landslide, small scale collapse at the toe of landslide, factor of safety, slip plane shape