

1. 調査手法の選定

(基準書 第2章、2.3関連)

調査手法は、地すべりの規模及び範囲に応じて、各調査手法の目的、得られる情報・数値、費用等を勘案の上、表-2.1.1を参照して、事業計画の作成に必要な調査成果が得られるよう選定する。

表-2.1.1 調査項目と調査方法一覧表

調査項目	通常実施する調査方法	必要に応じ実施する調査方法	特殊条件下で実施する調査方法	明らかになれる情報・数値の概要	主たる実施段階			備考	
					A	B	C		
1. 調査業務	資料収集・整理			地すべりの概要	○				
	地形図の作成			地物の位置、調査及び計画設計の基図	○				
2. 地形調査	地形測量			斜面縦横断面図、河川縦横断面図等	○	○			
	空中写真判読			地すべりの範囲、微地形、活動性等	○				
	地形図判読			地すべりの範囲、活動特性等	○				
	現地踏査			地すべりの範囲、活動特性等	○				
3. 地すべり被害調査	資料収集・現地踏査	空中写真判読(航空・UAV)		最新及び災害時の地形、地物、三次元地形モデル ^{*1} 、踏査が困難な急峻な急峻地形箇所、到達困難箇所 ¹ の状況把握	○			本文では10.1緊急調査に含めた。	
	資料収集・現地踏査	レーザ測量(航空・UAV)		最新及び災害時の地形、地物、三次元地形モデル ^{*1}	○			本文では3.3.4地形図判読に含めた。	
4. 地質調査	資料収集・現地踏査			土地利用、水利用、農業用施設 ¹ の状況及び公共施設、家屋等の状況	○				
	資料収集・現地踏査			過去の被害、現在及び将来発生が予想される被害	○				
	地表地質踏査			① 基岩の露頭分布、岩石の種類と風化の程度 ② 各種堆積物の分布(段丘堆積物、扇状地堆積物、沖積層、扇状地堆積物等) ③ 崩土の分布状況(すべり面粘土の露頭があるときはその性状も含む) ④ 地層の走向、傾斜(さらに結晶片岩が対象の場合は、リニエーションの方向) ⑤ 背斜軸、向斜軸、断層等 ⑥ その他の亀裂等の分布	○	○			
	ボーリング調査			地層の状態、岩質、土質、基岩の深さ、鏡肌の存在、すべり面粘土	○	○			
		標準貫入試験			N値、地質構造の推定	○	○		
		電気探査(垂直探査)			地質構造の推定	○	○		
		電気探査(二次元探査)			地質構造の推定(崩土と基岩の境界の概略を把握)	○	○		
				比抵抗トモグラフィ	地下水賦存状況(地下水脈の分布状況の概略を把握)	○			
		電気検層		弾性波探査(屈折法弾性波探査)	地質構造の推定	○	○		
				孔内載荷試験	地質構造の推定	○	○		
			試験調査	水平方向地盤反力係数	○	○			
				地層の状態、すべり面粘土の性状	○				

*1 (国研) 土木研究所土砂管理研究グループ地すべりチーム「地すべり災害対応のCIMモデルに関する技術資料(案)」(2020)

調査項目	通常実施する調査方法	必要に応じ実施する調査方法	特殊条件下で実施する調査方法	明らかにされる情報・数値の概要	主たる実施段階			備考
					A	B	C	
5. 土質調査			サンディング	換算N値、一軸圧縮強さの推定	○			
			粘土鉱物分析	すべり面粘土の鉱物組成	○			
		試料の採取		土質状況	○	○		
		物理試験		土粒子の密度、粒度分布、液性・塑性限界、自然含水比、密度	○	○		
		土の分類		土の大体の力学的性質	○	○		
		室内力学試験		強度定数 (c, φ)	○	○		
			原位置力学試験	強度定数 (c, φ)	○	○		
		降水量観測		降雨状況	○	○	○	
		積雪深観測		積雪状況	○	○	○	
		気温観測		気温状況	○	○	○	
6. 気象・水文調査			湧水調査	位置、湧水量、水温等	○	○	○	
			河川流況調査	水循環過程等	○	○	○	
			豪雨時地表水状況調査	位置、流量、水循環過程等	○	○	○	
			水質調査	水温、pH、電気伝導度、イオン等	○	○	○	
			地下水測定	地下水位 (降雨と地下水位変動の相関)	○	○	○	
			1m深地温探査	地下水流動 (浅層地下水の流動経路)	○			
			トレーザ調査	地下水流動 (地下水流動経路及び流速の推定)	○			
			地下水検層	地下水流動層 (流動地下水の流入箇所及び流入程度)	○	○		
			簡易揚水試験	透水係数	○	○		
			間隙水圧計による測定	透水係数	○	○		
8. 地すべり移動量調査			湧水圧試験	間隙水圧	○	○		
				地下水の流動経路等	○	○	○	
			空中写真計測	地表移動量	○			
			レーザ測量 (差分解析)	地表移動量	○			
				地表移動量	○	○		
		移動杭による観測		地表移動量	○	○		
		伸縮計による観測		地表の傾斜変動	○	○		
			地表面傾斜計による観測	地表移動量	○	○		
			GNSSによる計測	地表移動量	○	○		
			干渉SARによる観測	地表移動量	○	○		
9. 周辺環境調査		すべり面測定管による測定		すべり面位置の推定	○	○		
		ハイレゾひずみ計による観測		すべり面位置の推定	○	○		
		鉛直方向伸縮計による観測		すべり面位置の推定、移動量等	○	○		
		孔内傾斜計による観測		すべり面位置の推定、移動量等	○	○		
		踏査、文献及び聞き取り		生態系、景観等の周辺環境	○	○		

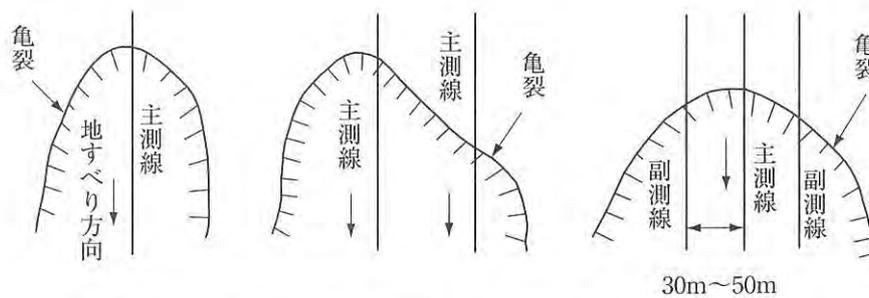
2. 調査位置の選定

(基準書 第2章、2.3関連)

2.1 調査測線の設定の例^{*1}

主測線は地すべりブロックの中心部で移動方向にほぼ平行に設けるものとするが、斜面上部と下部の移動方向が異なる場合は、折れ線又は、曲線になってもよい。地すべりブロックが2つ以上の場合は主測線も2つ以上とする。また、地すべりブロックの幅が100m以上にわたるような広域の場合は、主測線の両側に50m以内の間隔で副測線群を設ける場合が多い。

調査測線の設定の例を図-2.2.1に示す。



注) 主測線と副測線との間隔は30~50m (最大限50m) が望ましい。

図-2.2.1 調査測線の設定の例

2.2 調査位置選定の留意事項

調査位置の選定に当たっては、下記の事項に留意する。

- ① 調査は、比較的広域を対象とする資料調査、地形調査及び地すべり被害調査から着手する。
- ② 気象・水文調査、地下水調査、地すべり移動量調査等は長期的データを得ることが必要であることから、速やかに開始する。
- ③ 地形調査及び地表地質踏査により地すべりブロック区分を適切に行った上で、地すべりブロックの挙動特性を明らかにするため調査地点を選定する。一般的には地すべりブロックの頭部付近・中部・末端部・地すべりブロック外の上部にボーリング各1孔を掘削してボーリングコアの採取に努め、地質を確認する。
また、ボーリング孔を利用して地下水位、地中移動量の観測を実施する。
- ④ 地すべり移動量調査のうち、移動杭については主に地すべりブロック中央付近の横断方向に設け(1測線のみの場合)、伸縮計は頭部の滑落崖や側端部の亀裂をまたいで設置する。
- ⑤ 調査数量は面積の大小あるいは形状・地質の複雑さを考慮して適切に決定する。

*1 建設省河川局監修「改訂新版 建設省河川砂防技術基準(案)同解説調査編」pp.203~204(1997)を引用(一部変更)

2.3 ボーリング調査位置の配置*1

ボーリングは、**図-2.2.2**のように、主測線に沿って、30～50m程度の間隔で地すべりブロック内で3本以上及び地すべりブロック外の上部斜面に少なくとも1本以上の計4本以上行うことを基本として、それぞれの地すべりの状況に合わせて、他の調査との組合せや求められる対策等を勘案して、現場ごとに必要な情報が取得できる配置とする。例えば、地すべりブロックの面積が小さい場合には、地すべりブロックの地質を把握するのに最適な位置に2本以上配置するものとする。また、副測線でも50～100m間隔程度で必要に応じて行う。また、基盤内に断層、破砕帯が分布していたり、地質構造が複雑であったり、すべり面の分布が複雑な場合には、別途補足のボーリングを行う。

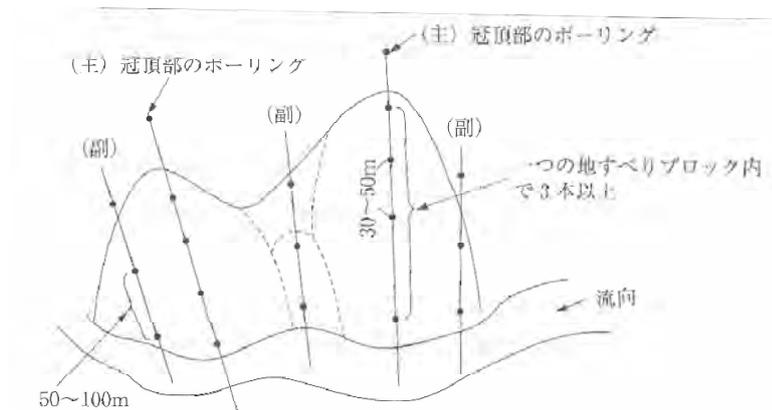


図-2.2.2 測線沿いのボーリング配置

2.4 調査位置の選定例

調査位置の選定例を**図-2.2.3**及び**図-2.2.4**に示す。

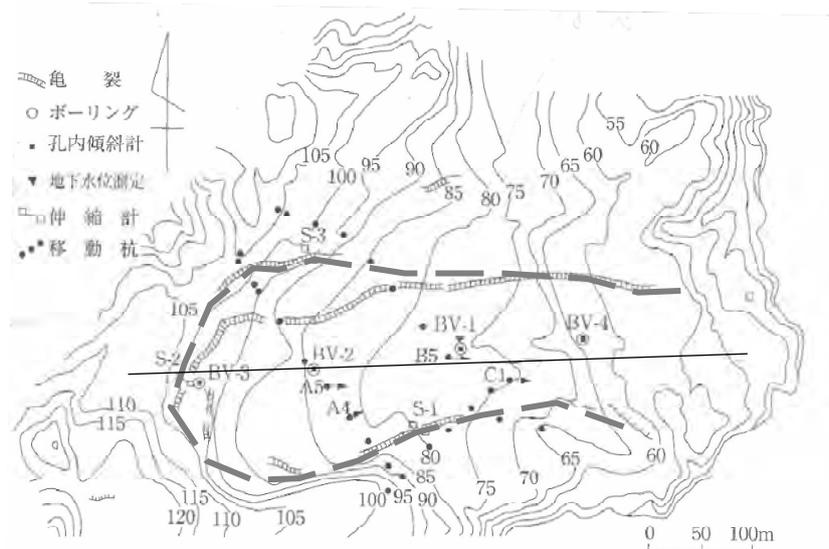


図-2.2.3 調査位置の選定例(1) (折戸南地区 (石川県))

*1 建設省河川局監修「改訂新版 建設省河川砂防技術基準 (案) 同解説調査編」pp. 205～206 (1997) を引用 (一部変更)

図-2.2.3の例では、移動杭は地すべりブロックを横断して、両端が不動地盤に乗るように設定してある（設置時点では、移動方向がはっきりしていなかったため、移動方向に直交する形とはなっていない）。

ボーリング孔は、主測線上付近に設定してある。

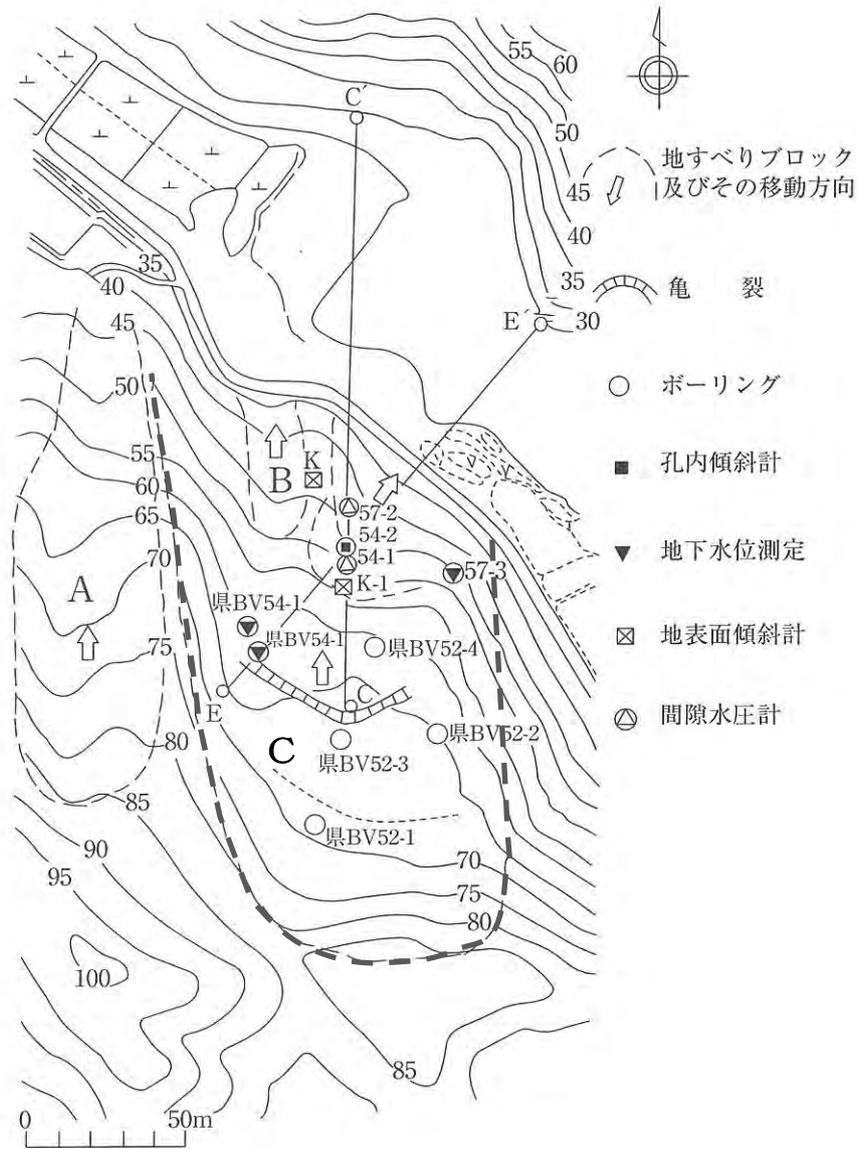


図-2.2.4 調査位置の選定例(2) (岩坂地区(石川県))

図-2.2.4は、中央部に示す活動中の地すべりブロック（Cブロック）を対象に各種調査を実施している。ボーリングの配置については、既存のボーリング孔（県BV52-1～52-4、県BV54-1）の配置と、今回発生した亀裂の位置を考慮して、C-C'上に配置し、複数種類の計器を設置している。

なお、活動の停止している西方のAブロックや別途応急対策が施工された北西末端部の小さなBブロックについては調査を配分していない。

3. 地形調査

(基準書 第2章、2.3(2)関連)

3.1 調査の目的

地形調査は、地形図の作成、地形測量、地形図又は空中写真の判読及び現地踏査を行うことにより、各種調査の範囲設定及び計画設計検討の基礎資料として、地すべり特有の地形から地すべり地域の範囲を推定し、地すべりブロックの区分を行うとともに、地すべりの移動状況やすべり面の形態に関する資料を得ることを目的としている。

3.2 調査方法の選定

調査方法を、表-2.3.1に示す。

表-2.3.1 調査方法

調査方法	明らかにされる情報・数値の概要	備考
地形図の作成	地物の位置、調査及び計画設計の基図	
地形測量	斜面縦横断図、河川縦横断図等	
空中写真判読	地すべりの範囲、微地形、活動性等	
地形図判読	地すべりの範囲、活動特性等	
現地踏査		
空中写真撮影(航空・UAV)	最新及び災害時の地形、地物、三次元地形モデル	<ul style="list-style-type: none"> ・既存の情報が不足している場合や人の立ち入りが困難で詳細な地形情報が必要な場合に空中写真撮影やレーザ測量によるデータ取得を行う。 ・DEMは、レーザ測量とUAVによる撮影写真のSfM処理のいずれからでも作成可能。
レーザ測量(航空・UAV)	数値標高モデル(Digital Elevation Model: 以下「DEM」という。)、地形の起伏、微地形	

3.3 調査内容

3.3.1 地形図の作成

調査、計画の基礎となる図面としては、地すべり対策事業の場合は通常縮尺1/2,000程度の地形図を用いるが、その他の土地改良事業にあつては、事業計画基図等で適当なものがあればそれを用いる。

新たに地形図を作成する際には、地すべり防止対策という目的に合わせて、次のような事項に留意して作成する。

- ① 原則として、空中写真測量による。ただし、必要な場合には、UAV又は航空機に搭載されたレーザスキャナを用いた計測を用いることができる。なお、既存のDEMがある場合はそれを活用

できる場合もある。

- ② 等高線間隔は現地の状況に合わせて1～5m間隔とする。
- ③ 亀裂、滑落崖、隆起、陥没等で、測量、図化の段階で判明したものは明示する。表-2.3.2のような記号例を用いて、図-2.3.1のように等高線図上に表示する。
- ④ 崩壊地、岩石等の露出地点についてもできるだけ明示する。
- ⑤ 溪流、沼沢、湿地、湧水、ため池等についてもできるだけ詳細に表示する。
- ⑥ 土地利用区分、人家、公共施設等を表示する。
- ⑦ 地すべり防止区域については、その境界を表示する。
- ⑧ 既往の地すべり災害対応や砂防のための施設を記入する。また、砂防指定地や保安林区域等の範囲がかかる場合は記入する。

また、地すべり防止施設の設計に用いる基図は、必要に応じて縮尺1/1,000～1/300程度で作成する。

表-2.3.2 地形調査に用いる記号の例

事 項	記 号	記 号
滑 落 崖		
開いた亀裂		適宜亀裂幅を記入する
閉じた亀裂		
亀裂の移動方向 沈下		適宜移動量を記入する
水平		〃
斜め		〃
上昇		〃
隆 起 部		
沈 降 部		
舌 端		
地塊の移動方向		
不 動 地		
た め 池		
沼 沢 ・ 湿 地		
湧 水 地		
ブ ロ ッ ク 境 界		
地すべり防止区域の指 定 境 界		

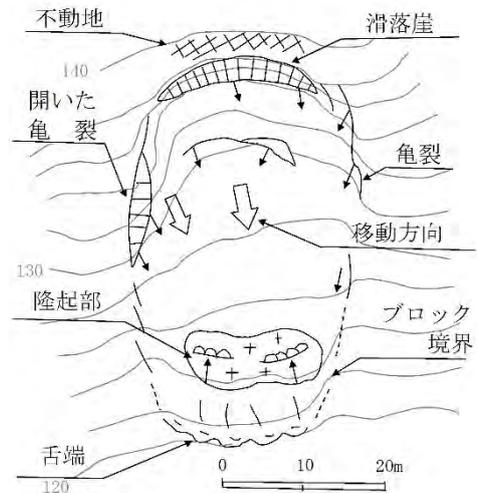


図-2.3.1 地形図表示例

3.3.2 地形測量

安定解析断面を決定するために必要な場合及び地表水排除工、侵食防止工、斜面改良工等各種地すべり防止施設の設計を行う際には、斜面縦横断測量及び河川縦横断測量を行う。その際の測線、精度については目的に応じて適宜設定する。

なお、地すべりの移動量の測定を目的とする測量については技術書「Ⅱ調査編、9. 地すべり移動量調査」を参照する。

3.3.3 空中写真判読

空中写真はそれを立体視することにより、微細な地形まで判読することができ、植生被覆という制約が大きい日本にあっても、地形や地質構造、植生等に関する情報を得るのに有力な手段となってきた。

判読に当たっては縮尺1/20,000～1/5,000程度の空中写真（カラー又は白黒）で、できるだけ新しいものを用いて立体視し、次の事項について判読を行い、地形図上に記載する。なお、土地の改変状況によっては、古い空中写真の方が元の地すべり地形を判読しやすい場合がある。

- ① 地すべり地域周辺の地形区分（山頂緩斜面、山腹緩斜面、山麓緩斜面、急斜面、段丘、谷底、低地等）
- ② 大規模地すべり（一次地すべり）の範囲確認と、その地形的明瞭度（古くて河川による侵食が進んでいるか、新しく明瞭か）
- ③ 亀裂や段差、隆起、陥没等の微小地形の判読と、それらを総合した地すべりブロックの区分及びすべり面形状の推定（-2.3.2及び-2.3.3）
- ④ 地すべりブロックの移動方向と概略安定度の推定
- ⑤ 崩土の流出方向と流出範囲
- ⑥ 小崩壊地形等の位置と規模
- ⑦ 線状構造の有無・位置（直線状の谷や山麓線等、断層や破碎帯が存在する可能性があるような線構造はないか）
- ⑧ 地質図との対比による地質の差に伴う地形的特徴の有無
- ⑨ 河川、溪流による地すべりブロックの侵食状況
- ⑩ 立木の乱れ等の有無
- ⑪ 土地利用（地すべり地域の土地利用は棚田になっていることが多い。棚田がすべて地すべり地域とはいえないが、畦畔率が高い場合や、荒廃地をはさんでいる場合には地すべり地域であることが多い。）
- ⑫ 過去の空中写真と、最新の空中写真の比較で、地すべりブロックの運動状況がとらえられることがある。また、土地利用の変遷も確認できる。

-2.3.3の例は、かなり老年期に達した地すべりで、地すべりが多く的小ブロックに分かれ、慢性的な地すべりを生じている。ブロックの区分では、まず斜面単位ごとにA～Eのブロック群に大区分し、さらに中ブロック（1, 2, 3, …）、小ブロック（a, b, c, …）に区分した（小ブロックの記号についてはAブロック群についてのみ示しB～Eでは省略している）。

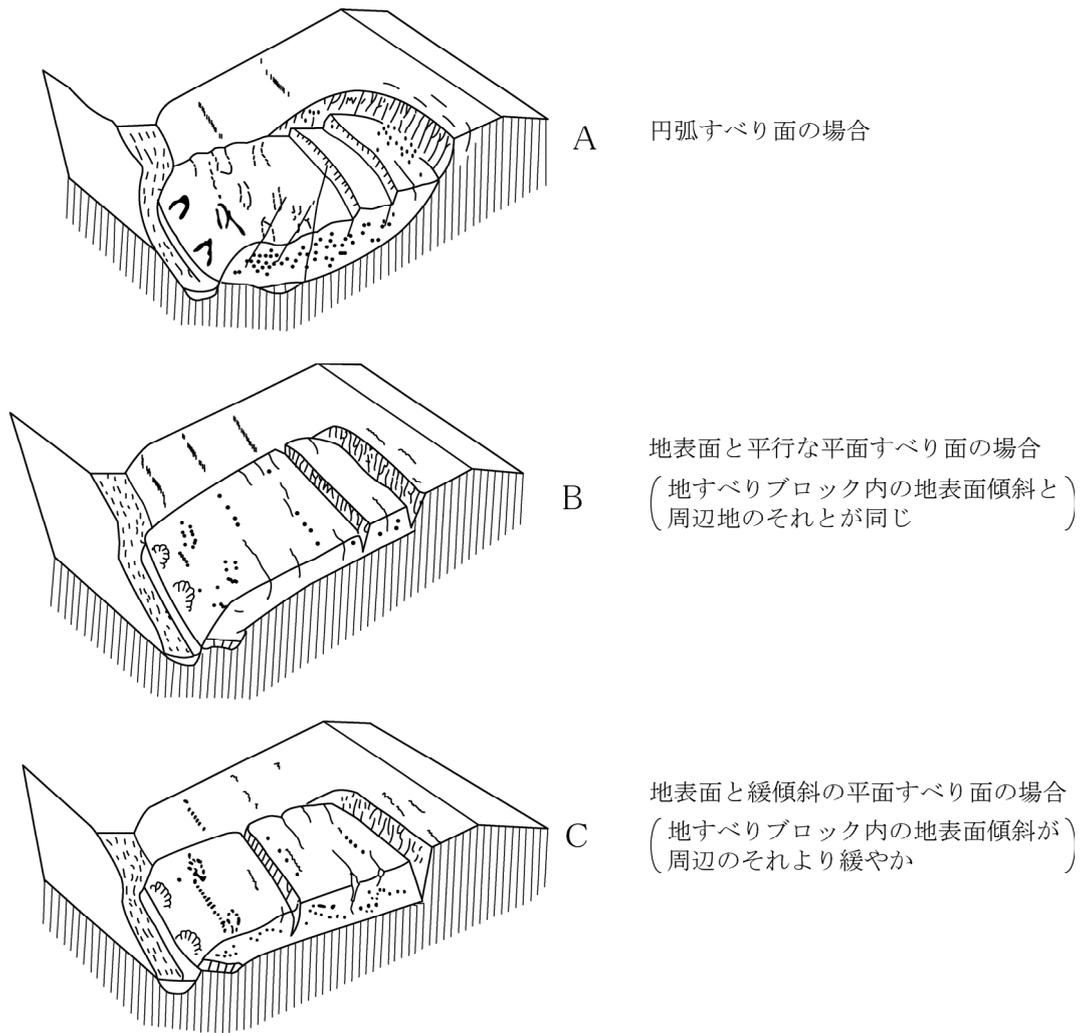
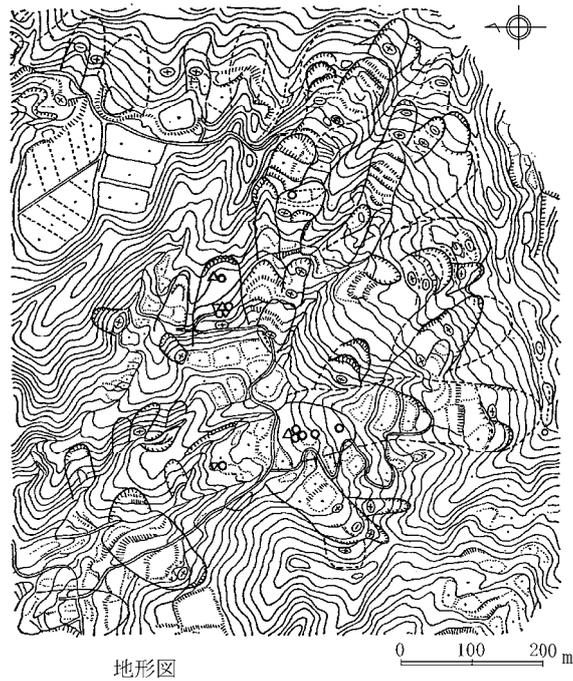
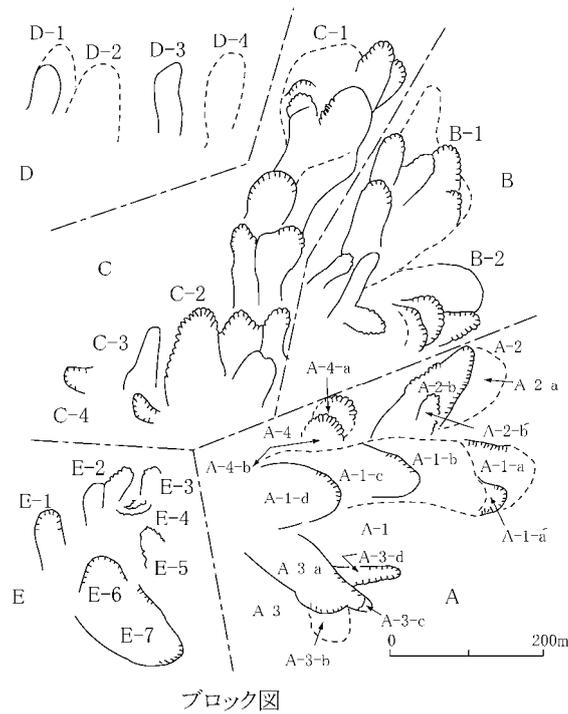


図-2.3.2 すべり面形状による地すべり地形の相違*1

*1 江川 (1982) : 地すべり地形について、国土地理院時報第56報、pp. 48～56を図のみ引用 (一部変更)



○水位・水圧・水量測定箇所 △ 地盤変動量測定箇所



- : 明瞭な地すべりブロック
- ⊖: 不明瞭な地すべりブロック
- ∩: 段差
- ∩: 崖

この例はかなり老年期に達した地すべりで、地すべりが多く的小ブロックに分かれ、慢性的なすべりを生じている。ブロックの区分は、まず各斜面単位ごとにA～Eのブロック群に大区分し、さらに中ブロック(1,2,3,…)、小ブロック(a, b, c…)に区分した(小ブロックの記号についてはAブロック群についてのみ示しB～Eでは省略している。)

図-2.3.3 地すべりブロック区分例(安塚南部地区(新潟県))

3.3.4 地形図判読

(1) 地形図による地すべり地形の判読

現在、移動が発生、継続し農地・農業用施設等に被害を与えている地すべりのほとんどは再活動地すべりであり、したがって地形図等から地すべり地形を読みとることにより、その範囲等を推定できることが多い。また、将来地すべり活動が再発するおそれのある箇所を知ることもできる。

地すべりは、**図-1.2.2**に示す地すべりブロックの形で出現するが、すべり面の形態、地すべりブロックの性状、活動の履歴等によっては地形図上で等高線が多様な形態をとる。一般的には**図-2.3.4**のような形となっていることが多い。地すべりは、同一範囲での再活動として繰り返し発生することや、滑動することで土塊が脆弱化してより小規模な地すべりも起こりやすくなる。そのような地すべりが隣接する斜面で起こると**図-2.3.4(1)**のような地形ができる。また、**図-2.3.4(2)**は尾根部が初生的な地すべりを起こす場合の地形を示す。**図-2.3.4(3)**は、(2)からさらに地すべり活動が進んだ場合に現れる緩斜面を伴う地形である。**図-2.3.4(4)**は地すべりを繰り返して土塊が下方へ移動して沢状になった地形である。このような現れやすい地形を念頭に置いて、地形図での地すべり判読を行う。

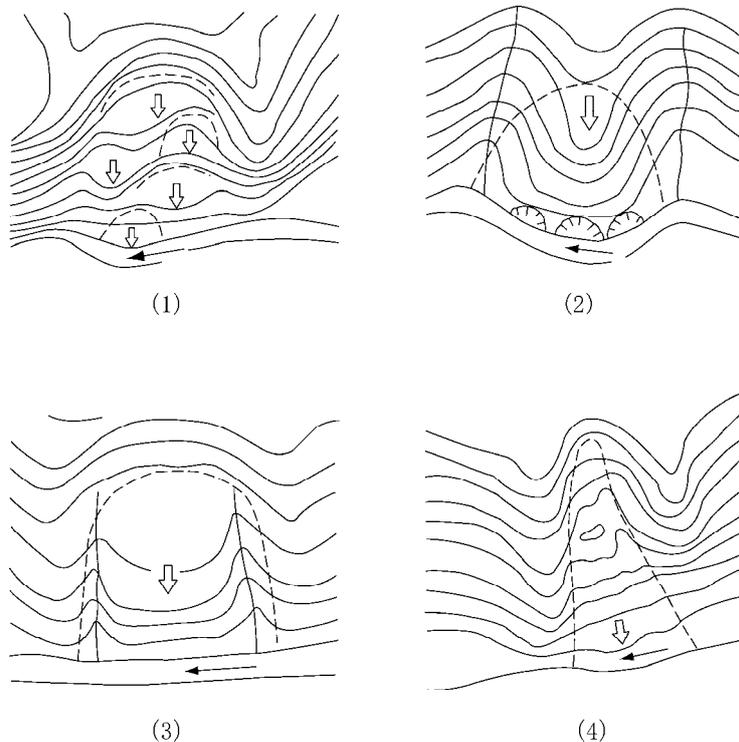


図-2.3.4 地形図に現れる地すべり地形の例*1

なお、侵食され残った段丘面や溶岩流・火砕流によってできた火山性の平坦面等はこれら地すべり地形と誤りやすいため、周辺のある程度広い範囲内の平坦面との対比や地質との対比等に関する注意も必要である。

地形図の判読を行う際には、地形図の縮尺により判読できる内容が異なり、縮尺に応じた判読項目はほぼ次に示すとおりである。

*1 山田剛二、渡 正亮、小橋澄治：地すべり斜面崩壊の実態と対策、山海堂、p.62 (1971) を引用 (一部変更)

1) 縮尺1/25,000の地形図

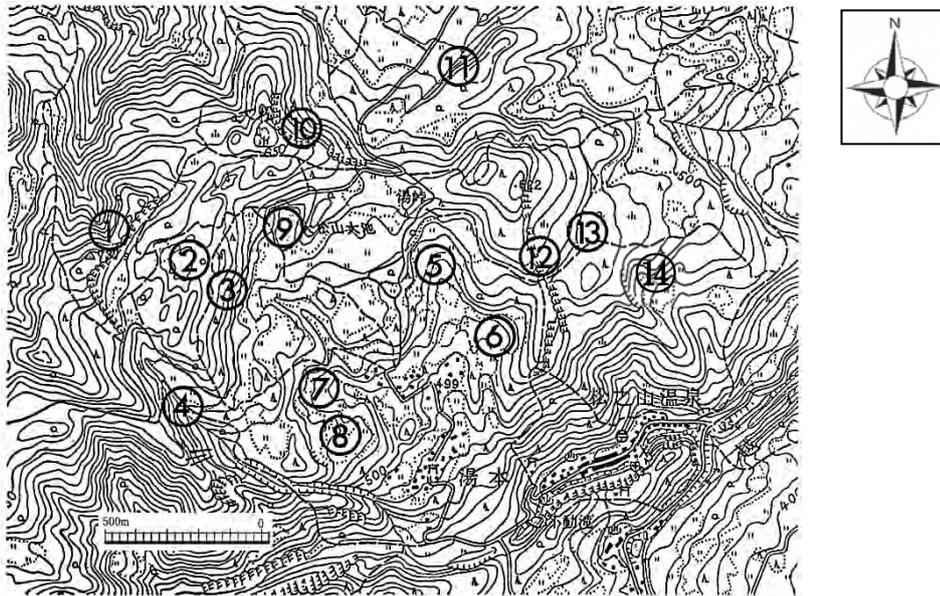
- ① 地すべり地域周辺の地形区分（山地、丘陵、台地、段丘等の大区分）
- ② 谷密度（単位面積当たりの谷の数、一般に地すべり地形では谷密度が小さい）
- ③ 大規模な地すべり地形（一次地すべり）の有無・形状（現在の地すべり活動が、古い時代の巨大な地すべりの一部である場合がしばしばあり、このチェックを行う）
- ④ 周辺にある他の地すべり防止区域や顕著な地すべり地形の有無と当該地すべり地域の地形的関連性の検討

2) 縮尺1/5,000～1/1,000地形図

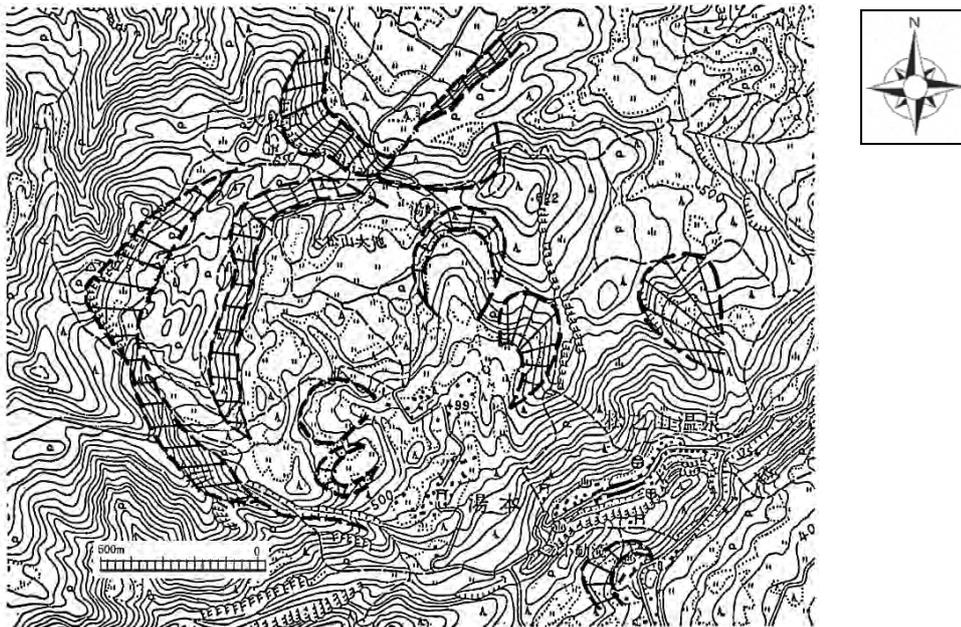
- ① 地すべりによると思われる斜面地形（滑落崖、二重山稜、凹地、分離丘、波状地形等）の把握
- ② 地すべりブロックの概略区分
- ③ 沼沢、湿地、湧水、ため池等の把握

3) 地すべり地形の事例とその判読

【事例1】図-2.3.5(A)の縮尺1/25,000地形図上の番号で示した位置において読みとれる地すべり地形の例を図-2.3.5(B)に示す。



(A)1/25,000地形図(国土地理院「松之山」図幅に加筆)



(B) 1/25,000地形判読例(国土地理院:「松之山」図幅に加筆)

注) この図では、特徴を強調するため、滑落崖相当部分について左記の記号を用いている。



図-2.3.5 縮尺1/25,000地形図判読例

図-2.3.5に示す事例1では、次のようなことが読みとれる。

- a) 地形図の中央部付近(⑤と⑨の間)の傾斜が比較的緩やかで谷密度が小さく、土地利用も水田を主としていることがわかる。
- b) 尾根部には馬蹄形の崖(①)が表示されており、①を頭部滑落崖とする地すべりであると推定される。
- c) ①の下部には②の凹地があり、さらにその下部には等高線の密な急傾斜部があるから、図-1.2.2の地すべりブロック模式図と対照すると②が頭部、③は二次滑落崖であると推定される。
- d) 地すべりブロックの側端は地形図上ではあまり明瞭ではないが、傾斜や谷密度等から地すべり北側側部は小尾根の頭部あたり、南側側部は頭部滑落崖付近から下流へ流れる沢(④)の辺りであると推定される。また、地すべり側端部は地すべり滑動によって破碎されるため、古い地すべりでは沢が発達することが多い。
- e) 地すべりブロック下部においては⑤～⑧のように小規模な馬蹄形状地形が見られるが、これらは二次地すべりによるものと考えられる。
- f) 大松山大池(⑨)は二次滑落崖下部にできた凹地部を利用してできたため池ではないかという推測もできる。

なお、本地域の北側は日本でも有数の大規模地すべりである松之山地すべりに当たり、その一部をなす滑落崖等(⑩、⑪)も見られる。また⑫、⑭については地形上では崖が明瞭であって、その下部に緩傾斜部の認められる場合(⑬)もあるものの、全体としては先程の地すべり地形ほど明瞭ではなく、さらに空中写真を判読したり、現地踏査を行わなければ地すべりかどうかの判断は難しい点がある。

【事例2】縮尺1/1,000地形図上で読みとれる地すべり地形の例を図-2.3.6に示す。



① 滑落崖 ② 凹地 ③ 分離丘 ④ 波状地形

図-2.3.6 縮尺1/1,000地形図判読例

図-2.3.6に示す事例2では、縮尺1/1,000と大縮尺な地形図のため微地形が読み取れる。尾根直下で急斜面をなす滑落崖(①)と、南北方向に延びる凹地(②)が読み取れ、そこから東側は、凹凸、緩急の変化の見られる斜面になっており、地すべりブロックとみられる。そこでは、尾根としての連続性が見られない独立した小丘(分離丘③)が見られる。また、斜面下方(図の右端部)は浅い凹地を含むゆるやかな凹凸をなす波状地形となっており、ここも地すべりでできた地形の可能性がある。

(2) DEMを用いた地すべり地形の判読

近年、航空機あるいはUAVに搭載されたレーザスキャナを用いた詳細な地形測量が可能になってきた。この中で、航空レーザ測量は、比較的広域の地形を把握する場合に適するが、UAVを用いたレーザ測量は、小範囲の小さな段差や亀裂、小崩壊等を捉えるのに適する。UAVレーザ測量は、対地高度数10~100m程度で飛行速度を調整することで、地上でのレーザ照射点を100~1,000点/m²以

上の高密度で得ることができる。その結果、全体若しくは一部が樹木や草本に覆われる地すべりブロックの詳細形状把握や地形変化の発見を効率的に行える。なお、影になり照射密度が下がる部分を減らすためUAVのフライトコース間のオーバーラップを確保することが望ましい。また、森林や草本植物の影響でレーザの地上到達率が下がるため、植生繁茂期を避けることで、より少ない照射点密度での地形測量が可能となる。農林水産省九州農政局による平成29年度～令和元年度調査では、繁茂期の水田ではレーザの地上到達率が0.53%となったケースもあった。照射点密度を変えたUAVレーザ測量による地形起伏図の比較（図-2.3.7）から、微地形判読等を行うための地形図作成に最適な照射点密度は、落葉期は経済性を考慮すると100～200点/m²程度、植生繁茂期は400点/m²以上と考えられた。

レーザ測量による水平位置と標高の点群データからDEMを作成し、そこから、傾斜や斜面の凹凸の度合い等の地形量を計算し、それらを陰影や色のグラデーション等で場所による差を表すことで立体的に地形を表現した地形図が得られる（例えば赤色立体地図^{*1}）。これを用いることで、詳細な地すべり地形の判読や地すべりブロックの把握精度の向上が期待される。図-2.3.8は、農林水産省関東農政局が平成29年度から行った、航空レーザ測量による1 mDEMから作成した傾斜分布図（白色から黒色になるほど傾斜が急）と空中写真を用いた杉林に覆われた地すべり斜面でのブロック判読結果を比較したものである。1 mDEMから作成した傾斜分布図は数mの段差等、細かい地形の起伏を判読可能で、より小さな地すべりブロックも判読されている。

なお、航空レーザ測量については、国や地方公共団体等で公開されたデータを入手できることもある。

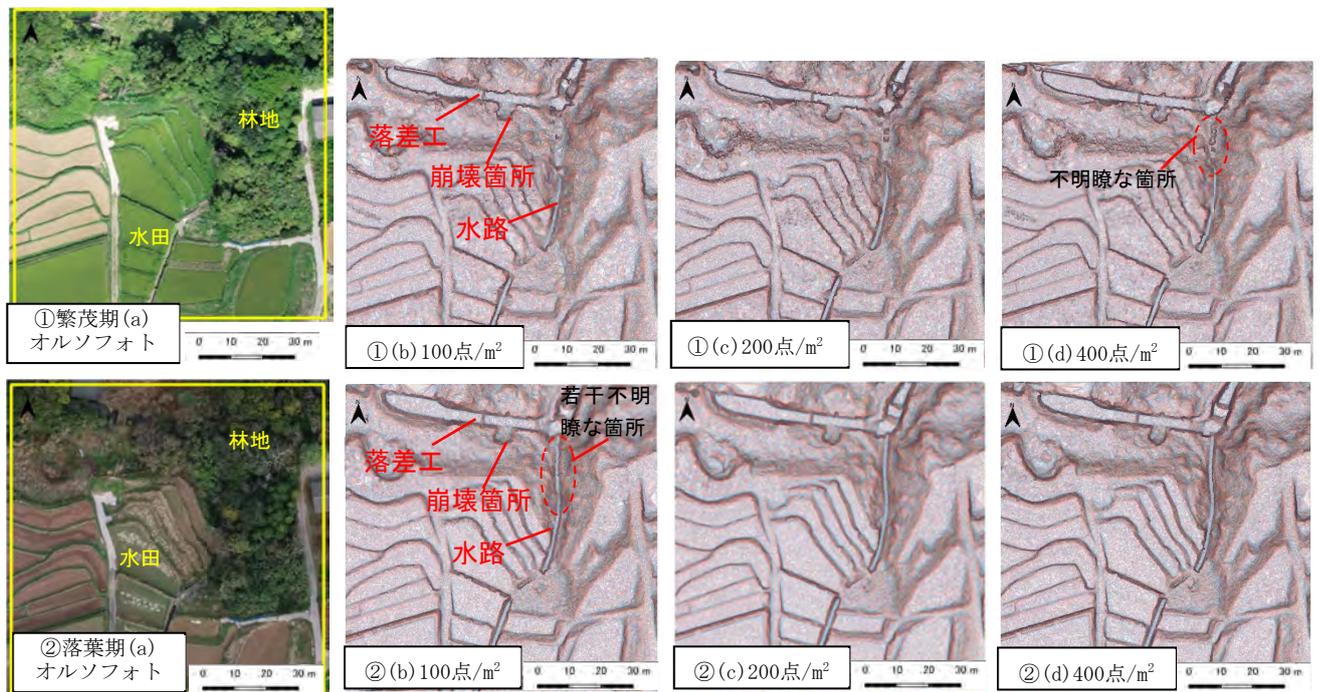


図-2.3.7 オルソフォト(a)と照射点密度 ((b)100点/m², (c)200点/m², (d)400点/m²) ごとの地形表現図

*1 千葉ら(2007): 地形表現手法の諸問題と赤色立体地形図、地図45.1、pp.27～36

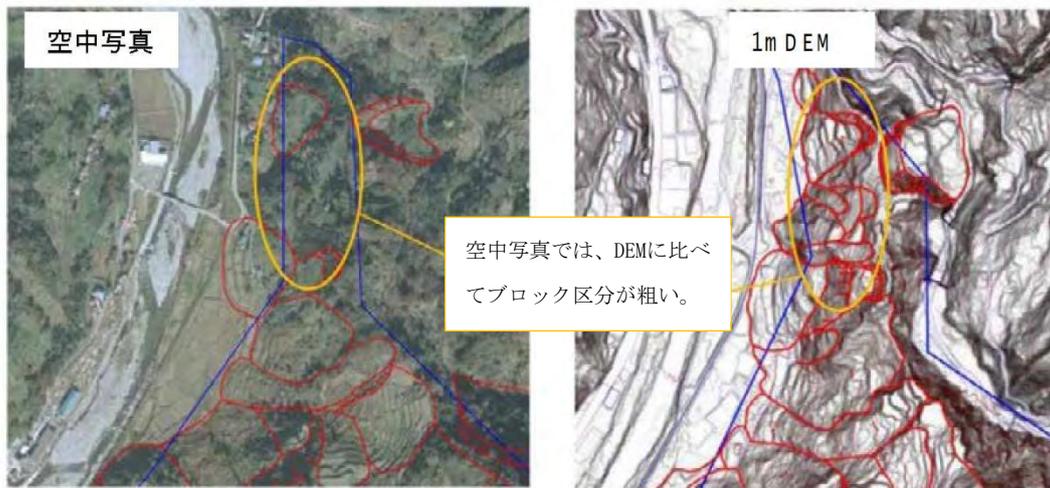


図-2.3.8 空中写真(左)と1mDEM傾斜分布図(右)の比較(杉林のため地形判読結果に差異)

3.3.5 現地踏査

地形図や空中写真から判読した事項を確認するとともに、さらに詳細な地形変状等を調査するために現地踏査を行う。また、過去の移動履歴についても聞き取りによる調査を行う。踏査は、空中写真や地形図を基に概略の地すべり地域を把握した上で、その周囲を含めて十分な範囲で実施する。

なお、地すべり地形の概況を現地把握するためには、河川・溪流の対岸等から遠望目視により観察するとよい。また、現地踏査の時期は植生被覆が少なく、地形的特徴を把握しやすい晩秋から早春が望ましい。

現地踏査で把握すべき事項は以下のようなものがある。

- ① 地すべりブロック区分の確認
- ② 地すべりブロック相互の新旧関係及び地すべりブロックと河岸段丘等との新旧関係
- ③ クラック、段差、隆起、陥没、植生の乱れ、針葉樹の幹の曲り等地すべりに伴う変状の詳細
- ④ 構造物の変状確認
- ⑤ 地すべりブロックの移動方向
- ⑥ 崩土の流出方向・流出範囲の確認
- ⑦ 溪流、沼沢湿地、湧水、ため池等の状況、湿性植物の有無
- ⑧ 河川・溪流等による地すべりブロックの侵食状況確認
- ⑨ 既存の災害箇所(災害復旧事業箇所等)の位置

4. 地すべり被害調査

(基準書 第2章、2.3(3)関連)

4.1 調査の目的

地すべり被害調査の目的は、以下のとおりである。

- ① 地すべり地域における保全すべき物件の分布と被害状況を明らかにし、地すべり対策工事として重点を置くべき地すべりブロックを定める基礎資料を得る。
- ② 保全すべき物件に応じ、安定解析における目標安全率及び対策工法を定める基礎資料を得る。

4.2 調査の内容

4.2.1 地域現況調査

対象地域内の農地、農業用施設等の現況について調査を行う。調査項目は下記を標準とする。

- ① 地域農業の概況（農家戸数、1戸当たり耕地面積、主要作物等）
- ② 土地利用状況
- ③ 土地所有状況
- ④ 水利用状況
- ⑤ 農業用施設の状況
- ⑥ 公共施設、家屋等の状況

4.2.2 被害実態の調査

地すべり被害調査は以下に掲げる項目について、過去に生じた被害、現在生じている被害及び将来発生が予想される被害について調査を行う。

- ① 農地又は農用地（水田、普通畑、樹園地、その他）
- ② 農業用施設（ため池、頭首工、用排水路、農道、集出荷施設、畜舎等、その他）
- ③ 家屋（人家、その他）
- ④ 作物
- ⑤ 交通・運搬施設（道路、鉄道、港湾、その他）
- ⑥ 要配慮者利用施設（社会福祉施設、学校、医療施設、その他）
- ⑦ その他の公共施設（官公署、工場、発電所、送電線、水道施設、その他）
- ⑧ 林地、その他
- ⑨ その他（墓地、記念碑等）

なお、調査結果については結果を図・表にまとめ、現況の被害状況が明らかになるようにしておくことが必要である。

5. 地質調査

(基準書 第2章、2.3(4)関連)

5.1 調査の目的

地すべりとは、地下水等の助長作用に伴い、斜面内部のせん断強度が低下して破壊が発生し、結果的に斜面物質がすべり面に沿って下方へ移動していく現象といえる。地質調査は、この斜面物質を地層、土砂、岩石という單元ごとに区分してその分布、性状等を調査し、地すべりが発生している斜面の構成要件を明らかにしようとする最も基礎的な調査である。

地質調査の目的を具体的に示すと以下のとおりである。

- ① 斜面を構成する地層の区分を行い、その性状、分布及び構造を明らかにする。また、地層の走向、傾斜と地すべりの方向との関係を明らかにする。
- ② 斜面の強度を低下させ、地下水の流動経路となる亀裂系の分布やこれらの亀裂発生の原因となった褶曲・断層等の構造を明らかにする（特に断層や破碎帯は地下水の主要な供給源、流動経路となっていることが多い）。
- ③ すべり面の位置や性状を明らかにする。

5.2 調査方法の選定

地質調査を行って明らかになった情報を地すべり防止対策計画における以下の項目の基礎資料として用いる。

- ① 地すべり機構の解析
- ② 安定解析の際のすべり面形状の推定及び土の強度定数（粘着力、せん断抵抗角）の設定
- ③ 地表水排除工・地下水排除工の位置及び規模の決定、杭工・アンカー工の根入れ部の決定、対策工法の決定

なお、地質調査の各調査手法は大きく分けて平面的調査（地表地質踏査等）と鉛直的調査（ボーリング調査、各種孔内試験、試掘調査、電気探査、弾性波探査等）に分けられるが、この両者を適宜組合せて斜面全体の実態を明らかにするよう努めることが必要である。また、その際には、個々の調査手法の現場への適・不適及び適用限界に留意し、地すべりの特性に応じた調査方法を選択する。

調査方法の一般的な選定区分を、表-2.5.1に示す。

表-2.5.1 調査方法の選定区分

選定区分	調査方法	明らかにされる情報・数値の概要
通常実施	地表地質踏査	地表地質踏査は、地すべりにより生じた地表変状や地質分布、地下水状況等を把握し、周辺環境を確認するため、現地にて情報収集を行うものである。踏査は、空中写真や地形図を基に概略の地すべり地域を把握した上で、その周囲を含めて十分な範囲で実施する。地下水状況は、湧水点や表流水の状況等から、推測することができる場合がある。
	ボーリング調査 (JGS 1222) (JGS 1223) (JGS 3211)	ボーリング調査は、ボーリングマシン等により小口径の縦穴等の掘削を行って地すべり移動層及び不動地盤層のコア（岩芯）等を採用し、肉眼観察により土質、地質、層序、すべり面、岩石の風化・破砕状況等を調査するとともに、掘削中の孔内水位の変化や掘削用水の排水状況等により地層の透水性・帯水性を把握するために行う。 ボーリングコアの柱状図の記載は、一般的内容に加え、地すべり特有の情報（破砕度、コア重量、硬軟、相対稠度等）に着目して実施する。掘進中の孔内水位の変化も記録する。破砕度はすべり面の特定、コア重量は安定解析での単位体積重量の設定、硬軟及び相対稠度は移動土塊と不動地盤との識別等に活用することができる。
必要に応じ実施	電気探査 (垂直探査、二次元探査)	電気探査は、一般的に地表から地下に電流を流し地盤内に発生する電位の場所による変化を計測し、その変化を解析することにより、地盤の比抵抗分布を把握する比抵抗法を用いて実施する。垂直探査では、1つの測点を中心に電極間隔を広げて測定を行うことで、測点における地質性状（硬軟、空隙率等）や地下水位の深度方向の変化を推定することができる。二次元探査は探査測線上で様々な電極組合わせて測定を行い、測線地下の比抵抗分布を断面図として把握できる。
	標準貫入試験 (JIS A 1219)	サウンディングの一つで、ボーリングと一体で行い、N値を求める代表的な調査方法である。N値から土・岩盤の強度や密度等を推測することが可能である。地すべりの安定計算や対策工設計に反映される。
	電気検層 (JGS 1121)	土・岩石の電氣的性質を調べる検層のうち、自然電位や比抵抗を測定する物理検層である。地すべり地域内の帯水層、破砕・変質帯等の評価を行う。
特殊条件下で実施	比抵抗トモグラフィ	ボーリング孔や坑道を利用して対象地盤を取り囲むように電極を配置し、逆解析による比抵抗分布を求めることにより、地表からの探査よりも対象地盤の詳細な構造を視覚的に捉える調査方法である。
	弾性波探査（屈折法弾性波探査）	弾性波探査は、弾性波が地層を伝播する速度を測定し、地層の分布特性を明らかにするものである。地すべり調査では、特に広大な地すべり地域における地層の分布状況を推察する場合に有効である。ただし、弾性波探査は、地表から順に地層が硬くなることを前提にしており、地層間に挟まれた軟弱層は把握できない。
	孔内載荷試験 (JGS 1531) (JGS 3531) (JGS 3532)	挿入する圧力セルにより、地盤の変形係数や降伏圧力を求める試験である。杭工の設計に際し水平方向地盤反力係数を算定するのに用いる。

試掘調査	実際に調査員が立ち入ることができる程度の坑を掘って、壁面の観察や土質・岩石試験等のための試料採取を行う調査である。集水井、排水トンネル等の事業実施途上において行う方法や、これらの工事が無い場合は、別途試掘坑、トレンチ、調査用トンネル等を設けることもある。
サウンディング (標準貫入試験以外)	サウンディングは、土層の貫入、回転、引抜等の抵抗を基に、土の強度、密度等を把握することを目的とする。標準貫入試験以外に、抵抗体を貫入するスクリュウウェイト貫入試験(JIS A 1221)や簡易動的コーン貫入試験(JGS 1433)等が一般的である。 硬軟又は締め具合を判定するとともに、地質構造(崩積土と岩盤の境界、地盤の強度変化等)を把握することができる。換算N値(砂質土)の把握、一軸圧縮強さの推定(粘性土)が可能である。
粘土鉱物分析	すべり面粘土の鉱物組成を把握する。特に膨潤性の粘土鉱物(スメクタイト、モンモリロナイト等)は、すべり面形成の要因となり得る。

注) 表中でJISとしたものは「日本産業規格」、JGSとしたものは「地盤工学会基準」であり、それぞれ「地盤材料試験の方法と解説(第一回改訂版)」(2020)(地盤工学会編)、「地盤調査の方法と解説」(2013)(地盤工学会編)を参照する。

5.3 調査内容

5.3.1 地表地質踏査

地表地質踏査に当たっては、まず地すべり地域を含む周辺について縮尺1/25,000~1/10,000の精度で既存資料及び露頭調査により地質図作成を行い、地すべり地域周辺の地質構造、地層、岩質等を明らかにした上で地すべり地域内の地表地質踏査を行う。

地すべり地域の踏査に当たっては、地すべりの地質的条件、地すべりブロック又はすべり面粘土の母岩及びそれらの性質、裂か系の分布等について特に留意し、縮尺1/2,000程度の地形図の精度で行う。

これらの調査結果は地すべり地形図に記入し、地質図や地質断面図を作成するが、具体的に表現される事項は次のとおりである。

- ① 基岩の露頭分布、岩石の種類と風化の程度
- ② 各種堆積物の分布(段丘堆積物、扇状地堆積物、沖積層、崖錐堆積物等)
- ③ 崩土の分布性状(すべり面粘土の露出があるときはその性状も含む)
- ④ 地層の走向・傾斜(さらに結晶片岩が対象の場合は、リニエーション*1の方向)
- ⑤ 背斜軸、向斜軸、断層等
- ⑥ その他の亀裂等の分布
- ⑦ 湧水、表流水の分布

なお、場合によっては踏査に併用してトレンチ調査等の簡易試掘調査を実施する。たとえば亀裂の追跡、すべり面粘土の確認、湧水地点の観測等にその効果が大きい。

*1 線構造ともいう。層面片理面上における劈開面の交線でちりめんじわ又は条線として示される。この場合、劈開は層面片理面に平行な縞状構造と斜交するので、劈開面上には平行縞模様が現れる。

5.3.2 ボーリング調査

(1) ボーリング調査の区分

ボーリング調査は、調査の目的により次の区分とする。

- ① 土や岩の試料の採取による地質構造の調査
- ② ボーリング孔を用いる孔内試験等のための掘削

調査目的別の掘削手法の概要を、表-2.5.2に示す。

ボーリング孔を用いた孔内試験等の適用孔径例を、表-2.5.3に示す。

表-2.5.2 調査目的別の掘削手法の概要

調査の目的	掘削手法	掘削孔径 φ (mm)	掘削流体	適 用
崩土・風化岩・新鮮岩の程度区分を目的とする場合	シングル・コアチューブ清水掘削 ダブル・コアチューブ清水掘削	66以上	清水	岩盤部分
	シングル・コアチューブ無水掘削	66以上	—	崩土部分において、無水掘削によりコアの採取を行う場合があるが、コアが乱れるため積極的な採用は避けることが望ましい。地下水関係調査孔として用いる場合は無水掘削は適さないため、清水掘削で拡孔する必要がある。
すべり面の判定・すべり面粘土の試料採取を目的とする場合	コアパック法	66以上	泥水～清水	岩盤に向くが崩土層も可能である。添加剤使用、孔径拡大（φ86mm以上）により、コア採取率向上が期待できる。
	泡ボーリング	86・116	界面活性剤 +圧搾空気	軟弱粘土～岩盤まで適用可 砂礫層・破砕帯・軟弱粘土等通常の方法でコア採取が難しいとされている地質に適用できる。特徴は、使用水量がわずかであるため、水の得にくい場所でも有利であり、軟弱層の掘進で崩壊しにくい、スライム排除能力に優れている等の利点がある。経費はやや高い。四重管サンプラーにより比較的乱さない試料採取が可能である。
	ロータリー式二重管サンプラー (JGS 1222)	66・76・ 86・116	泥水～清水	通常掘削と併用し、すべり面が想定される部分に用いる。N値4～15程度の粘性土に適する。
	ロータリー式三重管サンプラー (JGS 1223)	66・76・ 86・116	泥水～清水	通常掘削と併用し、すべり面が想定される部分に用いる。粘性土ではN値4以上、砂質土ではN値10以上を対象とする。
孔内試験等のための掘削	ノンコア送水掘削	66以上	清水～泥水	掘削孔径・掘削流体はボーリング孔の使用目的に応じて適宜選択する。
	ロータリーパーカッション掘削	90・115・ 135・146	泥水	打撃破砕と切削破砕により掘削する。掘削速度は速い。一般的にコア採取は困難であるが、コア採取が可能なツールも開発されている。

表-2.5.3 ボーリング孔を用いた孔内試験等の適用孔径の例

調査項目	調査手法	適用孔径例 φ (mm)	掘削手法 等の条件	適用
地質調査	標準貫入試験	66以上	—	N値を求める代表的な調査方法。N値から土・岩盤の強度や密度等を推測することが可能である。地すべりの安定計算や対策工設計に反映される。
	電気検層	66以上	—	土・岩石の電気的性質を調べる検層のうち、自然電位や比抵抗を測定する物理検層。地すべりの内の帯水層、破碎・変質帯等の評価を行う。
	孔内載荷試験	66・76・86	—	挿入する圧力セルにより、地盤の変形係数や降伏圧力を求める。杭工の設計に際し水平方向地盤反力係数を算定するのに用いる。
地下水調査	地下水位	66以上	原則として清水掘削による	簡易に地下水全体の賦存状態を把握できることから、一般的に用いられる基本的な調査である。ただし、地下水位からすべり面にかかる間隙水圧を想定する場合は、ボーリングの調査結果を含めた総合的な判断が必要である。採水や観測孔の維持管理等の必要に応じて、86mm以上の孔径にすることもある。
	間隙水圧計	66・76・86程度	〃	すべり面付近の地下水の間隙水圧を、直接的に測定する。すべり面に作用する間隙水圧は、安定計算等に用いる。
	地下水検層	66以上	〃	ボーリング孔内の地下水に対して、塩水や温水を注入し電気抵抗又は温度等を連続的に測定し、その値の変化の傾向から地下水の流動部を鉛直的に把握する。地下水排除工の全体計画検討や設置深度に反映する。
	簡易揚水試験	66以上	〃	掘進中に一定の区間ごとに孔内水を汲み上げて揚水量、水位の回復状況を測定し、各区間の地下水量及び透水係数を求める。地下水排除工の全体計画検討や設置深度に反映する。
	湧水圧試験	66・76・86程度	〃	掘進中に一定区間ごとに、孔内水位が一定になるように水を注入し、地盤の透水係数を把握する。地すべりの浸透流解析等で用いる。
	地中移動量調査	パイプひずみ計	66・76・86程度	—
鉛直方向伸縮計 (多段型)		66	—	すべり面を貫通したボーリング孔(保孔管)に設置したワイヤーの伸縮量により移動量を計測する。
孔内傾斜計		通常86以上	—	ガイドパイプを、ボーリング孔に挿入・固定し、そこに傾斜計測器(プローブ)を挿入することで、すべり面の位置、移動量、移動方向等を把握する。

(2) 適用上の留意点

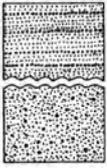
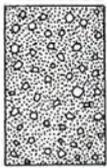
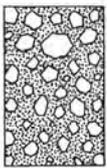
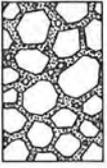
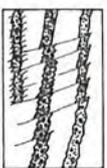
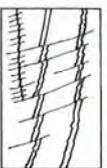
ボーリング調査は、地表地質踏査及びその他の地質調査と関連して行うことにより効果を発揮する。主として垂直ボーリングにより地層の状態、岩質、基盤の深さ、鏡肌の存在、すべり面粘土等を調査するが、地層や断層の方向又は地形条件によっては、斜方向、水平方向のボーリングも併用する。

ボーリング調査では、下記の事項に十分留意する。

- ① ボーリングは、地すべりブロックの主測線に沿って配置することを原則とする。
- ② 地すべりブロックの厚さあるいは基盤の深さを確認するボーリングでは、すべり面又は想定される基盤に達してから、全体的な地形地質を考慮して、確認のため、原則としてさらに数m（5mを標準として）掘削する。
- ③ すべり面の判定は、鏡肌の存在、すべり面粘土の有無、破碎度区分^{*1}等を手がかりとし、良質なボーリングコアの採取により、この精度を高めることができる（図-2.5.1、図-2.5.2）。ただし、ボーリングコアだけでは判定が困難な場合が多く、他の調査結果と併せて判定する必要がある。
- ④ あらかじめすべり面の位置が推定される場合は、その部分のみロータリー式二重管サンプラー又はロータリー式三重管サンプラー（表-2.5.2）を用いる等の配慮が必要である。
- ⑤ すべり面の確認に当たっては、すべり面が1面とは限らず、思いもかけない深部にすべり面が存在することもあり、推定すべり面の2倍程度の深さのボーリングを少なくとも1孔は実施することが望ましい。特に結晶片岩地帯の破碎帯地すべり等においては思いがけないほど深い岩盤の中にすべり面が分布する場合があるので注意を要する。
- ⑥ その他ボーリング孔を利用して各種の調査を行う場合にも孔径及び掘削手法の検討が不可欠である。
- ⑦ 掘進中の逸水（孔内水位の低下）、湧水（孔内水位の上昇）を柱状図に記載するほか、掘進作業の前後（たとえば1日の作業終了時及び翌朝の作業開始前）で地下水位を測定し、地下水位を掘削深度と併せて記録しておく、多重地下水位の把握等に役立つことが多い。
- ⑧ コアによるすべり面確認を目的とする場合はオールコアとし、標準貫入試験を併用する場合は別孔で実施するのが望ましい。
- ⑨ ボーリング柱状図の作成に当たっては、調査の目的に応じた柱状図を選定し、調査結果を的確に柱状図表現することが必要である^{*2}。ボーリングに合わせて柱状図の種類は、岩盤ボーリング柱状図、土質ボーリング柱状図（オールコアボーリング用）、土質ボーリング柱状図（標準貫入試験用）、地すべりボーリング柱状図（オールコアボーリング用）、地すべりボーリング柱状図（標準貫入試験用）がある。

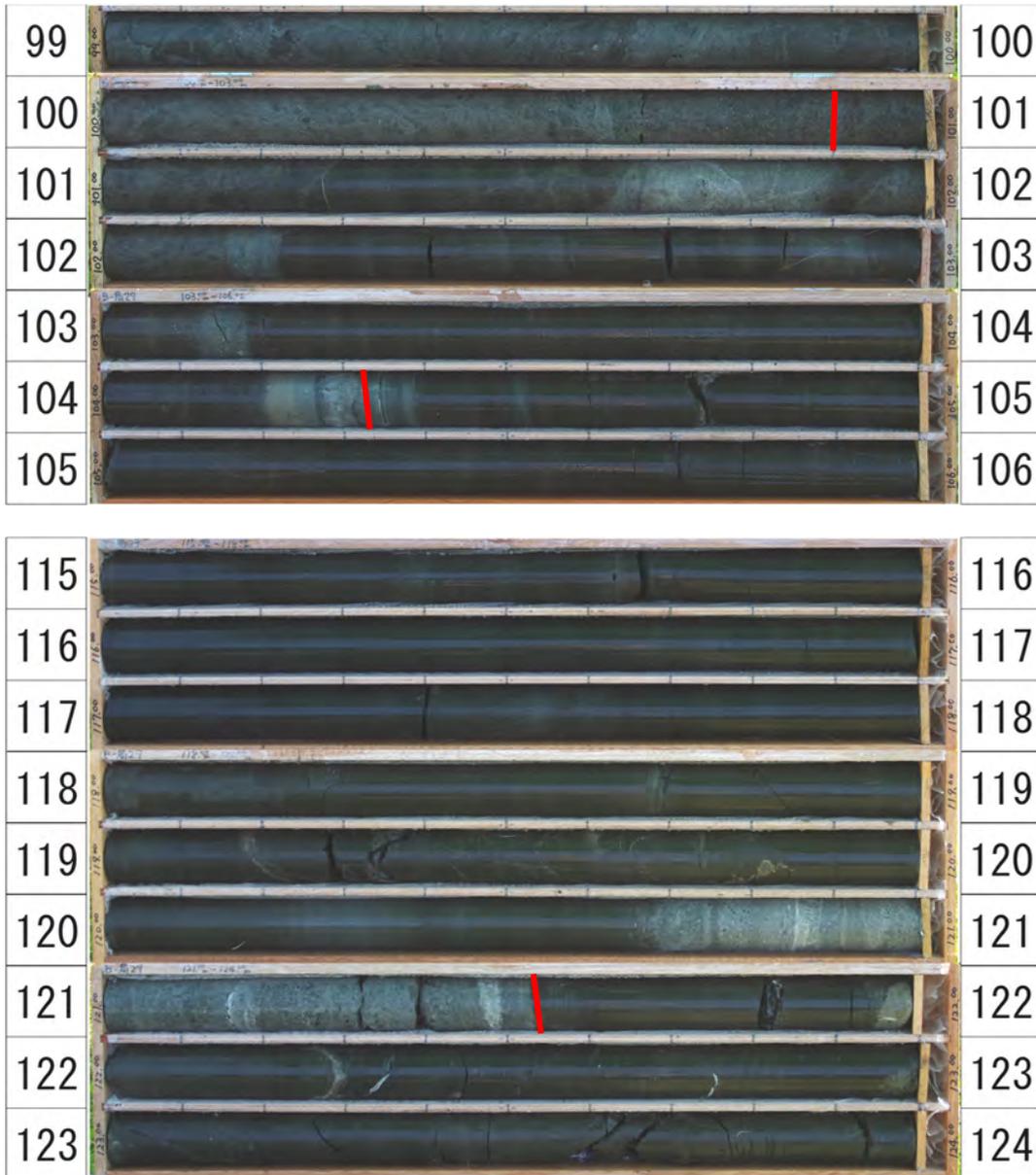
*1 国土交通省水管理保全局：河川砂防技術基準 調査編第15章 pp.69～70（2012）

*2 （一社）全国地質調査業協会連合会 社会基盤情報標準化委員：ボーリング柱状図作成及びボーリングコア取扱い・保管要領（案）・同解説（2015）

破砕の状態	破砕区分	コア岩盤状況
粘土～砂状	 Cl	構成物質は粘土～砂 連続的な粒度分布 複合面構造を場合によっては有す 
角礫岩	 Cr4	構成物質は2～5mm角礫が40%未満 連続的な粒度分布 複合面構造なし（無構造） 
	 Cr3	構成物質は3～15mm角礫が70～40% 不連続な粒度分布 複合面構造なし（無構造） 
	 Cr2	構成物質は15mm以上の角礫が70%以上 不連続な粒度分布 複合面構造なし（無構造） 
開口割れ目を細粒物が充填	 Cr1b	開口割れ目を細粒物が充填 不連続な粒度分布 複合面構造なし（無構造） 
開口割れ目	 Cr1a	開口割れ目 不連続な粒度分布 複合面構造なし（無構造） 

※上記コアは、高品質なコアを採取するために、掘削孔径を86mmとし掘削管理値（1日当たりの掘進量、1時間当たりの掘進速度、送水量、給圧）を設定し、破砕帯用ビットを用いて掘削したものである。

図-2.5.1 地すべり移動体の破砕度区分とコアの対比の事例（高瀬地区（高知県））



※赤印はすべり面深度。

※上記コアは、高品質なコアを採取するために、掘削孔径を86mmとし特殊軟岩ダイヤモンドビットを用いて掘削されたものである。



すべり面 GL-100.90m

特に鏡肌が明瞭で弱い擦痕を伴う。せん断面の傾斜角度は 30 度、擦痕方向は面の最大傾斜方向に対して時計回りに60 度斜交する（下盤）。

図-2.5.2 良質なボーリングコアの事例（庄内あさひ地区（山形県））

5.3.3 標準貫入試験

(1) 試験方法

原位置試験によりN値を求める代表的な調査手法である。

試験方法は、日本産業規格の「標準貫入試験方法」(JIS A 1219)として定められているので、「地盤調査の方法と解説」(地盤工学会編)を参照する。

(2) 適用上の留意点

- ① N値は、質量が63.5(±0.5)kgのドライブハンマーを76(±1)cm自由落下させ、標準貫入試験用サンプラーを30cm打込むのに要する打撃回数である。
- ② N値は、崩土と基岩の境界判定の参考及び崩土の全応力表示の強度定数の推定に用いる。
- ③ 岩盤地すべりには適さない。

5.3.4 電気探査(比抵抗法)*1、*2

(1) 電気探査の原理(概要)

大地に電流を流すことにより、地中には地中の比抵抗の分布と周辺との地形に対応した電位分布が生じる。電気探査は、この電位分布を地表面上で測定したデータから地下の比抵抗分布を解析し、地表地質踏査やボーリング等のほかの地質調査結果と併せることにより、地質構造を推定する調査手法である。本手法は地下水の滞水状態の把握に優れ、地下水排除計画、ボーリング位置の選定のためのスクリーニングにも利用されている。

ここで、等方性電導体の電気抵抗(単位:Ω)は、電導体の大きさによって変化するが、このときの比例定数を比抵抗(単位:Ωm)と呼ぶ。比抵抗は電流の流れにくさを表す物質定数で、比抵抗が小さいほど電流は流れやすい。地層及び岩石の比抵抗は、含まれる鉱物の種類、鉱物粒子間隙の大きさ、鉱物粒子間隙の中の水の量やイオン濃度及び温度によって変化する。このため、同種の地層や岩石であってもとりうる比抵抗の幅が広く、比抵抗の値から地層や岩石の種類は一義的に決まらないことに注意が必要である。

(2) 調査方法

さまざまな電極配置において測定された比抵抗は、その電極配置周辺の地下の平均的な比抵抗を表しており、見かけ比抵抗と呼ばれる。見かけ比抵抗 ρ_a は送信電流 I (単位:A)と測定電位(単位:V)から次式によって求める。

$$\rho_a = \frac{GV}{I} \dots\dots\dots (2.5.1)$$

ここで G は電極間隔 a と電極配置によって決まる係数で、電極配置係数と呼ばれる。

垂直探査では、測点を中心に電極間隔 a を順次拡大して測点の深度方向の見かけ比抵抗 ρ_a を測定する。測定結果は、両対数方眼紙の横軸に a を、縦軸に ρ_a をプロットして ρ_a - a 曲線を作成する。

二次元探査では、測線上に等間隔に電極を設置し、これらの電極は多芯ケーブルを介して測定器に接続する。測定器側の電極切替え装置を用いて、電流を流す電極と電位を測定する電極を順次選択しながら多数の測定を行う。また、地下深部の探査精度を補うため、ボーリング孔等を利用

*1 竹内(1999):地盤調査手法の現状と課題、農業土木学会誌67.11、pp.1151~1155

*2 中里ら(1999):電気探査法の技術動向とその適用性の評価、農業土木学会誌67.11、pp.1169~1176

(社)物理探査学会:新版物理探査適用の手引き-土木物理探査マニュアル2008-、(社)物理探査学会、pp.122~199(2008)を引用(一部変更)

して地中に電極を配置して送受信の組合せを増やす比抵抗トモグラフィが用いられることもある。

いずれの探査法においても電極近傍の分極現象を防ぐため、送信電流は交替直流を用いるのが基本である。

(3) 解析方法

垂直探査では ρ_a - a 曲線をもとに、標準曲線法あるいはリニアフィルタ法等によって一次元解析を行う。標準曲線法は、測定結果と標準曲線（補助曲線）を比較し、水平成層構造の第1層から順に比抵抗値と層厚を決定していく方法である。リニアフィルタ法は、水平成層構造をなす比抵抗構造のモデルに対する電位の理論値を計算して、測定値と理論値との残差が小さくなるようにモデルを繰返し修正する方法であり、コンピュータを用いて解析を行う。

二次元探査の解析は、現地の測定状況をコンピュータ上に再現させ、測線断面内の比抵抗分布モデルを計算値が測定値に一致するように繰返し修正する逆解析法をとる。比抵抗分布モデルをカラー画像化した比抵抗断面図を成果図として表示する。

(4) 適用上の問題点

垂直探査の解析は水平成層構造を、二次元探査は地形・地下構造が二次元的である（測線に直交する方向には変化しない）ことを前提としている。したがって、測線の側方で地形・地下構造が著しく変化する場合には副測線を設け、両者の結果を比較検討するか、電極を面的に配置する三次元探査*1を適用する必要がある。測線の近くに送電線、鉄道、鋼製構造物等があるとノイズや異常測定の原因となるので、これらに近接しないように測線を計画する。二次元探査では、解析断面の底部、測線の両端部では解析精度が低下するため、探査範囲を対象より広く設定する必要がある。

図-2.5.3に代表的な岩石等の比抵抗を示す。同じ岩石でも桁違いの値を示したり、異なる岩石が同じ値を示したりする。これは、個々の岩石が受けた圧密、変成、変質等の影響による。そのため、比抵抗の違いを知ることで、地下の物理、化学的環境を知ることもできる場合がある。

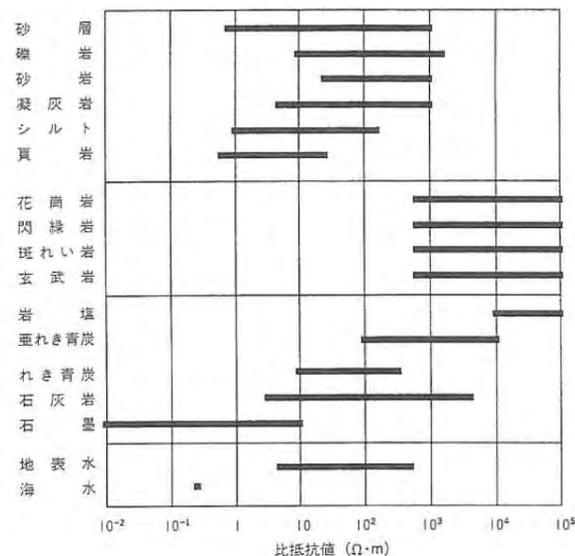


図-2.5.3 岩石等の比抵抗*2

*1 (社)物理探査学会：新版物理探査適用の手引き-土木物理探査マニュアル2008-、(社)物理探査学会、pp. 19～65（一部変更）、(2008)

*2 (公社)物理探査学会：物理探査ハンドブック増補改訂版、(公社)物理探査学会、p. 1040、(2016)

5.3.5 弾性波探査（屈折法弾性波探査）*1

(1) 屈折法弾性波探査の原理（概要）

地表付近での発破等によって人工的に弾性波（P波又はS波）を発生させ、地下の速度の異なる地層境界で屈折して戻ってきた屈折波を、地表に設置した測定装置で観測し、地下の速度構造を求める探査法である。（図-2.5.4）

地中を伝播する弾性波には、実体波としてP波とS波があり、屈折法ではP波の初動を利用した測定方法が一般的である。一方、S波探査は、土質地盤を対象に、比較的浅部の速度構造を求める場合に実施されることがある。なお、弾性波探査には、弾性波の反射波を用いる浅層反射法、表面波の分散現象を利用しS波速度構造を推定する表面波探査等があり、必要に応じて利用される。

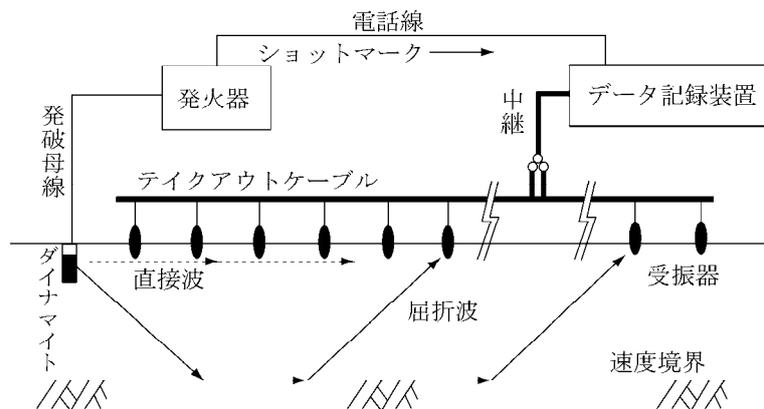


図-2.5.4 屈折法弾性波探査の概念図

(2) 調査方法

- ① 探査深度に応じた最大受振距離を決定し、十分に長い測線長を計画する。最大受振距離が十分取れない場合は、遠隔起振点を設けることが望ましい。
- ② 受振点の間隔は、探査深度が浅い場合は5m、深い場合は10mにすることが多い。起振点は、一般に30mから60m間隔に設置し、起伏の激しい地形の変換点等にも設けると、解析精度が向上する。S波弾性波探査では、受振点間隔並びに起振点間隔とも、これよりも短く設定する。
- ③ 起振方法は、一般的にダイナマイト（爆薬）を使用する。
- ④ 測定では、各展開の測定直後にデータの品質をチェックし、必要があれば再測定を行う。
- ⑤ 速度逆転層がある場合や深部の解析精度を向上させるためには、ボーリング孔等を利用して地中に起振点、受振点を設け、地表から行う探査よりも多くの起振-受振点間のデータを取得する弾性波トモグラフィ探査を行う。

(3) 解析方法

- ① データ整理は、受振点及び起振点の位置と起振点の深度等について行う。
- ② 走時曲線の作成は解析の基本であるから、読み違いやプロット間違いがないように、十分なチェックと調整を行う。作成された走時曲線は、必要な精度以内で、往復走時の一致、原点走時の一致、走時曲線の平行性等の条件を満たすようにする。

*1 （社）物理探査学会：物理探査適用の手引き-土木物理探査マニュアル2008-、（社）物理探査学会、pp. 17～18（2008）を引用（一部変更）

- ③ 走時曲線の識別を行い、適切に調整された走時曲線から、所定の解析法を用いて手順に沿った解析を行って、測線下の速度層解析断面を作成する（図-2.5.5）。
- ④ 解析は一般に「萩原の方法」とその拡張法で行う。
- ⑤ ④以外の解析法として、解析領域を小領域に分割し、小領域ごとの弾性波速度を観測データに合うように繰り返し修正し、地下の弾性波速度分布を得る逆解析法がある。弾性波トモグラフィ探査の解析は本法で行うが、地表からの屈折法弾性波探査についても適用される場合がある。
- (4) 適用上の問題点
- ① 屈折法は、地盤の深部ほど弾性波速度が速くなるという層状の速度構造を想定して解析される。しかし、火山岩分布域や一部の新第三紀以降の堆積岩、深層風化や破砕を受けた軟質岩上に緻密な溶岩等の硬質岩が分布する地域等では、適用が困難な場合がある。
- ② 下位ほど弾性波速度が速くなる層状の速度構造であっても、下位の速度層が薄い場合はブラインド層となって、屈折波が初動として地表に現れず、同層が検出されないことがある。
- ③ 測線に平行又は鋭角に高速度層が分布する場合は、測線に直交する測線を追加する等して、解析精度を高める必要がある。

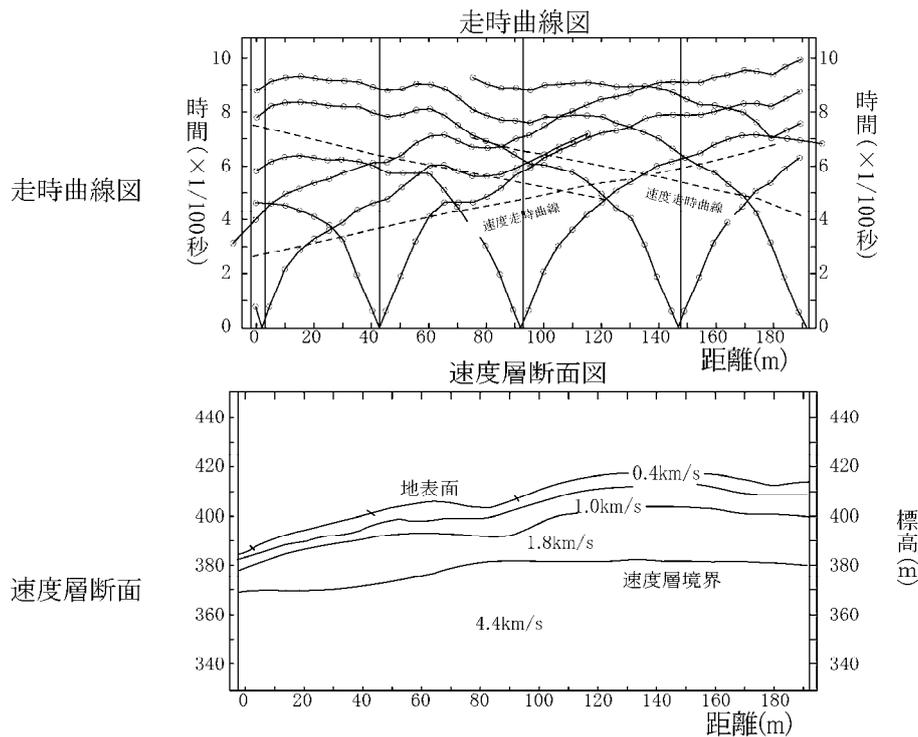


図-2.5.5 屈折法弾性波探査の成果図

5.3.6 電気検層

土・岩石の電気的性質を調べる検層のうち、自然電位や比抵抗を測定する物理検層である。試験方法は、地盤工学会基準の「地盤の電気検層方法」(JGS 1121)として定められている。

地表での電気探査と同様、ボーリング孔内に挿入した電極により比抵抗値の差若しくは自然電位の変化を利用して地下地質を推定する。電気検層には、電極配置や測定原理等により多くの方法が

あり、代表的な方法として、ノルマル検層、マイクロ検層及び自然電位検層がある（図-2.5.6、図-2.5.7）。検層は裸孔中で行い、用いるゾンデには電流電極(M)と電極間隔の異なる複数の電位電極(A)が配置され、電極間隔はノルマル検層で25～100cm程度、マイクロ検層で2.5～5cm程度である。

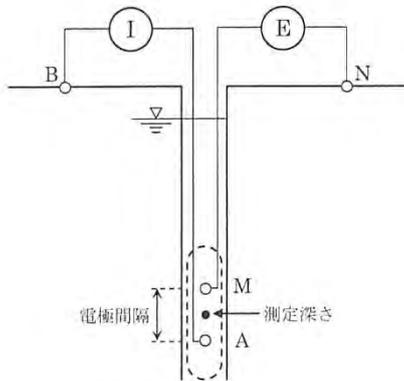


図-2.5.6 ノルマル検層電極配置*1

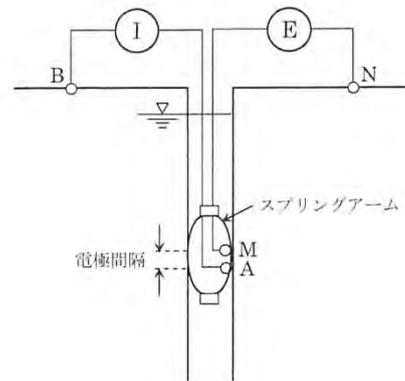


図-2.5.7 マイクロ検層電極配置*1

5.3.7 孔内载荷試験

ボーリング孔内に挿入した圧力セルにより、孔壁面を一様な圧力で载荷して、圧力と孔壁の変形の関係から地質の変形特性を判定する手法や、等変位载荷方式で加圧して、地盤の変形係数や降伏圧力を求める方法がある。杭工の設計に際し水平方向地盤反力係数を算定するのに用いる。

試験方法は、地盤工学会基準の「地盤の指標値を求めるためのプレッシャーメータ試験方法」(JGS 3531)、「地盤の物性を評価するためのプレッシャーメータ試験方法」(JGS 3531)、「ボアホールジャッキ方法」(JGS 3532)として定められている。载荷圧は一般に10～20MPaまでかけられるものを使用する。

図-2.5.8に試験の状況を模式的に示す。

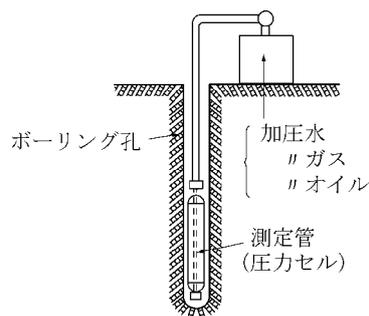


図-2.5.8 孔内载荷試験模式図

5.3.8 試掘調査

試掘調査は、地下の地質構造を直接目視できる唯一の方法として極めて有効であるが、経費が高いため、ボーリング等では十分な成果が得られないとき及び特にすべり面粘土のサンプリングや原位力学試験を行う必要があるときに用いる。

*1 (公社)地盤工学会：地盤調査の方法と解説、丸善出版株式会社、p.108、(2013)

試掘坑を、集水井として利用する場合は、集水ボーリングを施工することを考慮して直径は3.5mを標準とし、ライナープレート等で壁面を保護する。

試掘に際しては、地層の状態を観察し、展開図にまとめる。調査事項は次のとおりである。

- ① 土又は岩石の粒度・色・乾湿状態・風化の状態
- ② すべり面の有無・深さ・分布・形・性質
- ③ 間隙・亀裂の分布・大きさ・形
- ④ 地下水の湧出状況及び水量
- ⑤ 試料の採取

5.3.9 サウンディング

サウンディング調査は、土層の貫入、回転、引抜等の抵抗を基に、土の強度、密度等を把握することを目的に実施する。

当調査は、原位置試験に属するもので、乱れの少ない試料採取及び室内土質試験が困難な砂質土や粘性土の場合、また、地盤性状を連続的に把握したい場合等に用いられる。地盤の深さ方向における抵抗の値から、地盤の強さ、変形特性、密度等の深さ分布を直接推定する。

地すべりの調査では、一般的に標準貫入試験を用いることが多く、ほかにスクリーウエイト貫入試験、簡易貫入試験等が実施されている。

日本産業規格の「スクリーウエイト貫入試験方法」(JIS A 1221)や地盤工学会基準の「簡易動的コーン貫入試験」(JGS 1433)等により試験方法が定められているので、「地盤調査の方法と解説」(地盤工学会編)を参照する。

5.3.10 粘土鉱物分析

地すべりが生ずるような岩石やすべり面粘土中には各種の粘土鉱物が含まれている。これらの粘土鉱物は、その岩石やすべり面粘土の力学性や物理性に大きな影響を与えている。たとえば、ベントナイトの主成分であるモンモリロナイト(スメクタイトと総称される一群の粘土鉱物の一員)は、著しい吸水膨張性ゆえに岩石の風化、ひいては地すべりの発生を促進する。また、すべり面粘土に含まれる場合は、その含有量の増加に伴いすべり面粘土の完全軟化強度及び残留強度が低下することが知られている。

これらの粘土鉱物の分析法としてはX線回折法、示差熱分析法等が用いられる。

X線回折法は主に試料中に含まれる粘土鉱物等の種類を分析する定性的な調査に用いる。その原理としては、鉱物にX線を照射した場合、鉱物結晶の種類によって回折されるX線の角度が異なることを利用している。1試料(2～3グラム程度)で、比較的簡便に各粘土鉱物の存否を分析できる点に特徴がある。なお、定性的なX線回折法では、膨張性のモンモリロナイトを含むスメクタイト族粘土鉱物の存否が分析されるが、モンモリロナイトの分離・定量には所定の前処理が必要であることに留意する。

一方、示差熱分析法は、粘土鉱物を加熱していった際の脱水・結晶変化に伴う吸熱・発熱ピークを測定することによって粘土鉱物の種類及び含有量を分析する。試料はやはり数グラム程度でよいが、X線回折法に比べやや手間がかかる。