

# 1. 調 査 編

# 目 次

## 調査編

第1章 総 説.....	1
1.1 調査の目的.....	1
第2章 予備調査.....	2
2.1 予備調査の目的.....	2
2.2 文献調査.....	2
2.3 地形判読調査.....	3
第3章 概査.....	6
3.1 概査の目的.....	6
3.2 現地踏査.....	6
3.3 調査計画の立案.....	8
第4章 精査.....	9
4.1 精査の概要及び目的.....	9
4.1.1 運動ブロックの分割.....	10
4.1.2 調査測線の設定.....	10
4.2 地形調査.....	12
4.3 地質調査.....	13
4.3.1 ボーリング調査.....	13
4.3.2 ボーリング孔を利用した調査.....	19
4.4 すべり面調査.....	21
4.5 地表変動調査.....	30
4.6 地下水調査.....	36
4.7 土質調査.....	48
4.7.1 物理試験.....	48
4.7.2 一面せん断試験.....	48
4.7.3 三軸圧縮試験.....	49
4.7.4 リングせん断試験.....	49
4.7.5 試料種類・強度別の試験機選定.....	50
第5章 解析.....	51
5.1 地すべり機構解析.....	52
5.2 地すべり運動ブロック図.....	53
5.3 地すべり断面図.....	54

# 第1章 総 説

## 1.1 調査の目的

地すべり調査は、素因、誘因、規模、運動を明らかにして地すべり機構を解析することを目的とし、地すべり防止工の種類、組合せ、位置、数量を定めるための基礎資料となるものである。

### 《解 説》

地すべりの解析や対策工の計画・設計を経済的かつ効果的に行うためには、十分な調査を実施し、対象とする地すべりの特性や発生機構を見極めることが必要である。特に突発的に発生し、迅速に何らかの応急対策が要求される場合には、以下に示される調査項目の一部あるいはほとんどが省かれることもあり得るが、予算的・時間的な範囲の中でできる限り必要とされる調査を実施することが望ましい。地すべり調査は、必要に応じて予備調査、概査、精査に区分し、実施するものとする。

地すべり調査は、図 1-1のように分類される。

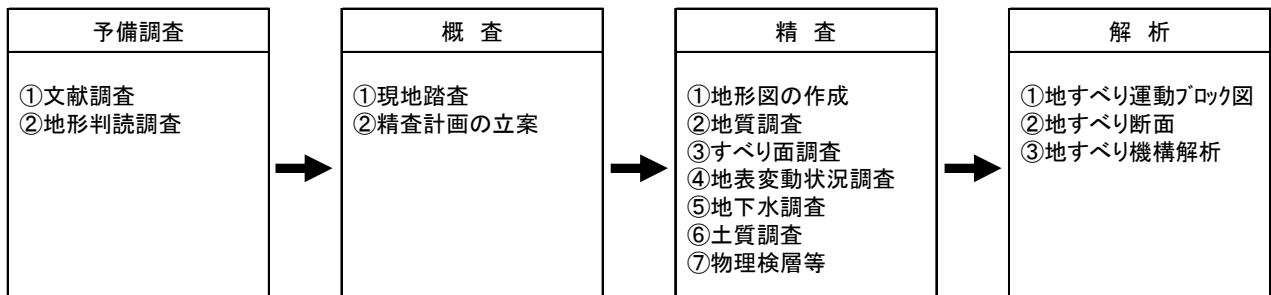


図 1-1 地すべり調査のフローチャート

## 第2章 予備調査

### 2.1 予備調査の目的

予備調査は、広域における地すべり地の予察を行い、あるいは対象とする地すべり地の概況を把握するために行うものとする。

#### 《解 説》

予備調査は、ある地域に地すべりの兆候が現れ、その対策を検討する場合や、構造物の建設、改良工事等に伴って地すべりの発生が予想される場合に行われ、文献調査、地形判読調査がある。

### 2.2 文献調査

文献調査は、地すべりの特性を把握するために、その地域の地形・地質、気象、過去の地すべり歴、近傍の地すべりの発生について調査するものとする。

#### 《解 説》

地すべりは、特定の地形・地質の地域に多発しやすく、また、同様な地形・地質の地域では類似した形態の地すべりが発生しやすい。したがって、その地域の地形・地質に関する文献、情報を事前に調査し、また、近傍の地すべりの発生記録、発生時の気象状況を調査することによって、その地域での地すべりの発生及び運動の特性について有用な情報を得ることができる。

#### [参考] 文献調査における資料

地形・地質等の地盤条件に関する資料としては以下のものがある。

- ① 地形図
- ② 空中写真
- ③ 地質図
- ④ 地形分類図、土地条件図
- ⑤ その他、既存の土質（地質）調査報告書など

過去の災害履歴に関する資料としては以下のものがある。

- ① 既存の工事誌、災害調査報告書、土質（地質）調査報告書
- ② 学会等で発刊される研究論文、報告書

- ③ 集落分布、土地利用状況に関する資料
- ④ 地誌、新聞

気象に関する資料としては以下のものがある。

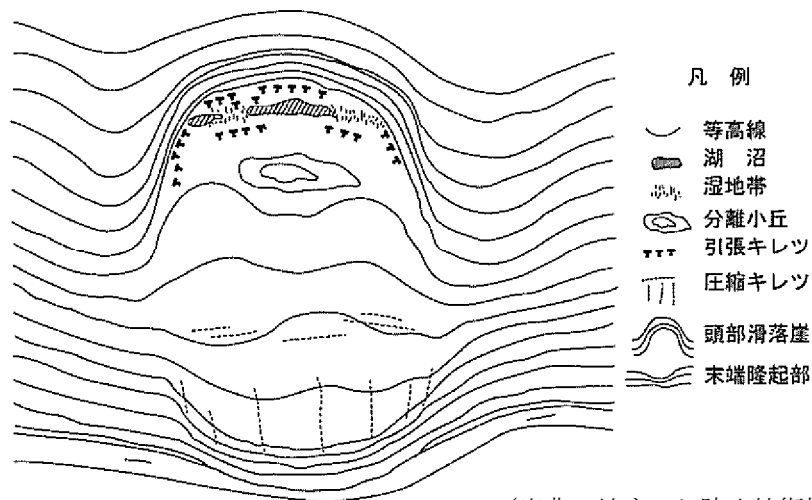
- ① 各種観測所の観測資料（気象庁、山梨県雨量・水位情報、国土交通省水門水質データベース等）

## 2.3 地形判読調査

地形判読調査は、地すべり地の予察や現地踏査では把握できない広域における地形、地質上の特徴を知るために、空中写真・地形図等を用いて、地すべり地形や地質構造上の特性について調査するものとする。

### 《解説》

空中写真等を用いて、図 2-1に示すような地すべり地形や地質構造上の特性、弱線等を調査する方法は、広域での地すべり地の分布を把握する上で非常に有用かつ手間の省ける方法である。



(出典：地すべり防止技術指針及び同解説)

図 2-1 地すべり地形模式図

ただし、過去に滑動を繰り返すことによって形成された地すべり地形は、判読しやすい地形の一つであるが、溶岩台地末端の火砕流やある種の河岸段丘を地すべり地形と見誤る場合があるので、後で現地踏査を実施して確認する必要がある。

また、過去の変動量が少なく地形図上で判読し難い岩盤地すべりでも、地質構造上の弱線の存在から

予知しうる場合等がある。

地形判読に用いる地形図は、国土地理院発行の1/25,000のものが全国整備されており、入手しやすい。また、最近では数値地図による3次元的な表現方法も容易にできるようになり、広域的な概査に有効である。さらに、市町村においても1/10,000の地形図が整備されているところがあり、特に山地については森林基本図（1/5,000）なども作られている。

地すべり地形の抽出は、地質、地質構造に注意しながら実施される。次の地域では地すべりの発生事例が多いことから、地形判読時に注意を要する。

### （１）地質

- 1)新第三紀層泥岩・凝灰岩
- 2)破砕帯に沿って分布する結晶片岩（緑色片岩、黒色片岩）、粘板岩
- 3)緑色岩類
- 4)蛇紋岩
- 5)温泉余土等の火山変質岩に属する地区

### （２）地質構造

- 1)破砕帯を伴う断層周辺の地区、地質構造線沿いの地区
- 2)流れ盤斜面の地区
- 3)新第三紀層の砂岩、泥岩などにおける褶曲の背斜軸、向斜軸周辺の地区
- 4)火成岩と貫入岩の境界と周辺の地区
- 5)キャップロック（玄武岩、安山岩、火山砕屑物等）を持った地区

地形判読時には、次の地形に注意して抽出を行う。

### （３）地形

- 1)侵食平坦地を下刻するV字谷斜面に属する地区
- 2)崩壊による厚い堆積物が存在する地区や埋没谷地区
- 3)山腹に小凹地があり、斜面下方でやや盛り上がっている地形や、河川等の押し出された地形、もしくは上流の河川等が途絶える地形などの集水地形に属する地区
- 4)地すべり発生の可能性が高い岩種の水衝部斜面、または水衝部が硬い岩の場合は、その両面の斜面に属する地区
- 5)河川の曲流部で、凸地に侵食が発生している地区
- 6)千枚田、棚田となっている地区

#### (4) 微地形

- 1)等高線が乱れている。等高線間隔が上部で縮まり、中部で拡がり、末端部で再度縮まる。
- 2)斜面上部で馬蹄形もしくは、四角等の滑落崖を呈し、中部は平坦な緩傾斜地となっている。また、分離小丘が存在する場合もある。
- 3)凹地、陥没地、亀裂等が存在する。また、山地や山頂には帯状の陥没があることもある。
- 4)池、沼、湿地の規則的な配列が見られる。
- 5)地すべり側面は、沢状、もしくは、亀裂となっている。
- 6)地すべり背後の尾根は、陥没地形となっていることが多い。
- 7)斜面の末端は急傾斜となり、隆起や押し出しが見られる地区。
- 8)道路、鉄道の曲がり、構造物の変位が見られる地区。
- 9)沢や河川の異常な曲がり。川幅が狭くなっている地区。

## 第3章 概査

### 3.1 概査の目的

概査は、地すべりの緊急性を判断し、また精査を効率よく行うために、精査に先立って実施するものとする。

#### 《解説》

概査は、主として現地踏査によって行い、その成果に基づいて必要に応じて精査の計画、応急対策の計画を行う。

### 3.2 現地踏査

現地踏査は、文献調査および地形判読調査の結果の確認と調査計画や応急対策計画の立案のために、現地を踏査して地すべりの発生・運動機構とその影響について概略把握を行うものとする。

#### 《解説》

現地踏査の際に行うべきことは次のとおりである。

#### (1) 地すべり範囲及び危険範囲の推定

地すべり地周辺の地形図を入手し、対岸の高所等からの遠望によって、地すべり地及び周辺の地形から地すべり地形を観察し、これらの観察結果と地すべり地内に発生している各種の徴候から、地すべりの活動地域、将来活動のおそれのある地域、被害の及ぶ範囲、保全対象等を推定する。

#### (2) 地質調査（地質性状と地質構造）

地すべり土塊を構成している物質の種類、粒度、礫等の岩質・形状や粘土等の色調を調べることによって、その地すべりの新旧、今後の運動特性、安定度等を推定できる。また、基岩の岩質、地すべり土塊およびすべり面の構成物質等も推定できる。加えて、周辺露頭の基盤の性状を調べることによって、この地域の基盤の一般的な層序、層位、走向、傾斜を推定して、その地すべりの特性を推定することもできる。さらに、周辺部の地盤に断層、破碎帯等が発見された場合は、その分布を追跡して、その地すべり地に関係しているか否かについて検討することも必要である。

#### (3) 地形調査（微地形や大地形による地質構造の推定）

地形調査では主に地表の微地形や大地形を観察することによって地質構造の推定を行うとともに地すべり地形を確認する。



#### (4) 地下水の分布の把握

地すべり地内外の池、沼、湿地及び湧水点について調査し、池、沼の場合は水位、湧水点では湧水量がそれぞれ降雨とどのような関係を持っているかを調べることによって、その水が浅い地下水水位に起因するものか、あるいは深い地下水に起因するものかを推定することができる。

#### (5) 運動形態（各種の徴候による）の推定

主として微地形、主クラックや側方クラック、末端クラックや道路、家屋及び石垣等の構造物の変状、幹の曲がり等の植生異常を調査して、地すべりの運動形態や方向を推定する。

#### (6) 誘因の推定

地すべり発生当時の気象や運動形態等を検討して誘因を推定する。次のようなものが誘因である場合が多いが、単一の誘因によるものではなく、複数の誘因により発生することもあるため、十分な検討が必要である。

- ① 地すべり末端部の河川による侵食
- ② 長期間の降雨または融雪
- ③ 台風等の豪雨
- ④ 地すべり末端部の切土、地すべり頭部への盛土
- ⑤ 地表水、地下水処理の不備
- ⑥ 湛水（貯水池周辺の地すべりの場合）
  - a) 最初の湛水時（水位上昇時）
  - b) 水位の急激な降下時
- ⑦ 地震、火山活動

#### (7) 今後の地すべり運動予測

今後の運動について踏査のみで予測することはかなり困難であるが、一般的に岩盤・風化岩地すべりで、ほぼ一様なすべり面勾配を持つ地すべりでは滑落の可能性が大きい。また、末端が河床より高い位置にある場合は崩壊の危険性がより大きい。

#### (8) 地すべり運動の活発化に伴う被害区域と被災の予測

前項までの調査において活発化する可能性が大きい場合は、その被害区域を想定し、これに対する必要な措置（避難・警戒体制の確立等）を早急に講じる必要がある。被害区域については、地すべりの拡大を考慮して地すべり周辺の地形をよく踏査し、特に地すべり地の上部斜面での地すべり発生に注意する。船底型地すべりや椅子型地すべりでは末端部で二次的な地すべりが発生する可能性があり、この場合、土塊が薄く地すべりの規模が小さい場合が多いため、降雨等によ

って活発化する可能性が非常に大きいので、その被災区域での防災体制は万全を期する必要がある。

また、地すべり土塊が滑落した場合に土石流化する可能性の有無とその影響範囲、天然ダムの可能性の有無、天然ダムの決壊に伴う被害発生範囲の予測を行う必要がある。

### (9) 応急対策についての検討

踏査の結果、地すべりの発生ならびに運動機構がほぼ推定され、その活発化が予測される場合には、これに対する監視体制や避難体制、応急対策を検討する必要がある。また、必要に応じて、リアルタイムで地すべりの挙動を監視できる計器の配置等の緊急調査計画を立案する。

## 3.3 調査計画の立案

調査計画の立案においては、文献調査、地形判読調査及び現地踏査の結果に基づいて推定した地すべり機構を確認するために、必要な調査項目・数量を計画する。

### 《解 説》

調査計画を立案するためには、運動ブロックを分割し、調査測線を設定する。また、的確な調査計画の立案のためには、以下の項目について推定しておくことが必要である。

#### (1) 地形・地質に基づく、地すべりの型分類の推定

地すべり地は、地形・地質等の特徴により、岩盤地すべり、風化岩地すべり、崩壊土地すべり、粘質土地すべりに分類される。

型分類ごとの地すべりの特徴は、表2（総論編・P12）に示すとおりである。

#### (2) 地すべり範囲の推定

#### (3) 地すべり土塊の厚さの推定

#### (4) 地すべり運動ブロックの分割とそれぞれのブロックにおける運動形態の推定

#### (5) 地すべり（運動ブロックの）運動方向の推定

#### (6) 地下水分布の推定

#### (7) 地質構造上の弱線帯の推定

#### (8) 地すべり土塊の到達範囲の推定と拡大範囲の予想

## 第4章 精査

### 4.1 精査の概要及び目的

精査は、予備調査、概査の結果を確認し、地すべりの発生・運動機構を解明するものとする。  
 精査では、予備調査及び概査の補足を行う他、目的に応じて、①地質調査、②すべり面調査、③地表変動調査、④地下水調査、⑤土質試験等を行う。

#### 《解 説》

解析は通常、運動ブロック毎になされることから、精査計画を立案するためには、まず、地すべり地域をいくつかの運動ブロックに分類し、調査測線を設定する必要がある。

精査時に把握すべき内容と調査項目を表 4-1に示す。同表に示した内容は、予備調査及び概査の結果に基づいては、目的に応じて、地形図の作成、地質調査、地表変動状況調査、すべり面調査、地下水調査、土質調査が行われる。

表 4-1 把握すべき内容と精査内容

		把握すべき内容	調査項目													
			文献調査	地形判読	地形図の作成	現地踏査	地質調査		すべり面調査	地表変動調査	地下水調査	土質試験				
							ボーリング調査	物理探査								
通常の地すべり	予備調査	机上調査による地すべり地の分布、地質、地下水状況等の概況	○	○												
	概査	現地踏査により、精査計画の立案	○	○	○	○					△					
	精査	運動ブロックの分割	○	○	○	○	△	△	△	○						
		すべり面の形状及び位置					○	○	△	△						
		各運動ブロックの運動状況								○	○					
		土質定数等の工学的特性										○	△			

#### 4.1.1 運動ブロックの分割

運動ブロックの分割は、現地踏査の結果に基づいて行うものとする。

##### 《解説》

地すべり防止計画は、一体となって移動している運動ブロック毎に決定される。したがって、解析は通常、運動ブロック毎になされる。

運動ブロックの分割は、地質、地形、被害等を考慮して決定する。ブロックを分割する方法は、微地形と運動状況によるものとし、一つの頭部を含む斜面や引張り亀裂に囲まれた斜面を一つの単位とする。

ここでいう運動ブロックの分割は、防止計画の策定に用いられるものである。細かく分割しすぎると防止計画立案の際の検討が困難なものになる恐れがあり、大局的に見てブロック分割をした方がよい場合もある。

#### 4.1.2 調査測線の設定

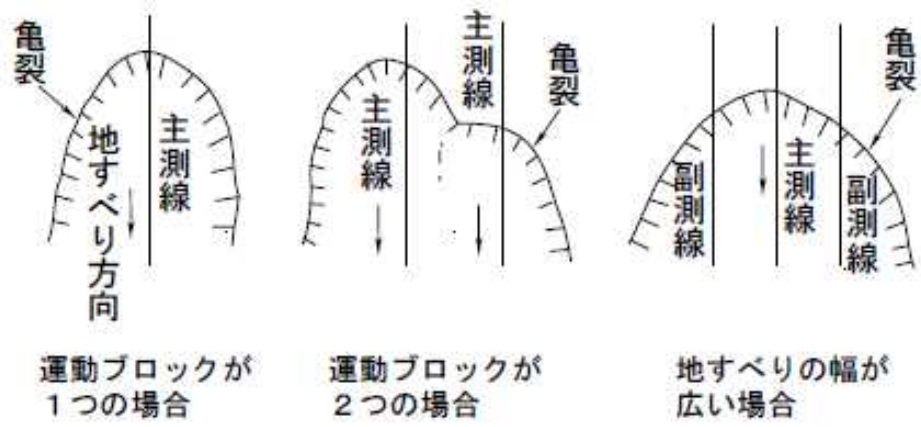
調査測線は、現地踏査の結果に基づき、地すべりの運動方向、地すべりの幅等に応じて設定する。

##### 《解説》

調査測線は、地質調査、地下水調査等の実施位置を決定する基本となる測線であり、地すべりブロック毎に設定される。地すべりの幅が広い場合には、調査測線を複数設定する場合がある。

主測線は、地すべり運動ブロックの地質、地質構造、地下水分布、地表変動、すべり面等が具体的に確認でき、安定計算を行って、対策の基本計画、基本設計を行うのに適した位置および方向に設定するものとする。主測線の断面は二次元の安定解析に用いられるものであり、調査測線は対策が過小にならないような位置で運動方向にほぼ平行に設置する必要がある。その際、斜面上部と下部の運動方向が異なる場合は、折れ線となることもある。また、横断方向のすべり面形状が非対称と推定される場合は、すべり面の深さが最深となる位置とする。

副測線は、特に地質構造、地下水分布等の横断的もしくは平面的な状況を把握するため補助的に調査する必要のある場合に設定する測線で、原則として主測線に平行に設定するものとする。地すべりブロックの幅が100m程度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の設置を検討する。



(出典：地すべり防止技術指針及び同解説)

図 4-1 調査測線の設定

## 4.2 地形調査

地形調査においては、地すべり対策の基礎資料となる地形図を作成するものとする。  
地形図には、調査及び対策のために必要な事項を記入する。また、地形図の作成にあたっては、地すべり運動ブロックの分割ができる様な精度と範囲で作成する。さらに、必要に応じ、対象となる地すべり周辺の地形や過去の地すべり地も含めた広範囲な地形図を作成しておく。

### 《解 説》

地形図の作成範囲は、地すべりブロックを含めた地すべり地全域を対象とする。地形図は、調査および対策のために必要な事物を記入し、地形的にも、地すべり運動ブロックの分割ができるような精度と範囲で作成するものとする。地形図の縮尺は、原則として地すべりの長さが200m以下の場合には1/500程度、200m以上の場合には、地すべり全体を示すものが1/1,000～1/3,000程度、部分を示すものが1/500程度とする。特に面積の大きい場合は、上述より小縮尺で全域を作成し、対象となる地すべりブロック及びその周縁部については上述の縮尺で作成する。図示すべき項目は、民家、道路、各種構造物、河川（小溪流を含む）、崩壊地、沼地、湧水地点、湿地、亀裂、滑落崖、水田、畑などである。

なお、周辺部の過去の地すべり地も含めた広範囲にわたる地形図を別に作成しておくとい。

### 4.3 地質調査

地質調査は、地質、土質、すべり面等の状況を把握することを目的に実施する。  
地質調査はボーリング調査を基本とし、必要に応じて弾性波探査、電気探査、自然放射能探査等を行う。

#### 《解説》

地質調査においては、次の項目を明確にする必要がある。

- (1) 地すべり変動に関係すると思われる脆弱な地層、すべり面の分布
- (2) 主要な抵抗部となったり、地すべり移動範囲を規制する抵抗部、支持力の大きな地層

地質調査では、ボーリング調査の他、必要に応じて、広域的な調査として、弾性波探査、自然放射能探査が併用されることがある。さらに、地質調査の結果に基づき再度現地踏査を実施し、地すべり地の地質構造や地質を確認することに加えてすべり面の深度・形状を推定することが必要である。

#### 4.3.1 ボーリング調査

ボーリング調査は、地中から深度順に直接サンプルを採取し、地すべりのすべり面や地質及び地質構造を明らかにするために実施する。ボーリング調査においては、オールコアボーリング採取または標準貫入試験の併用とする。

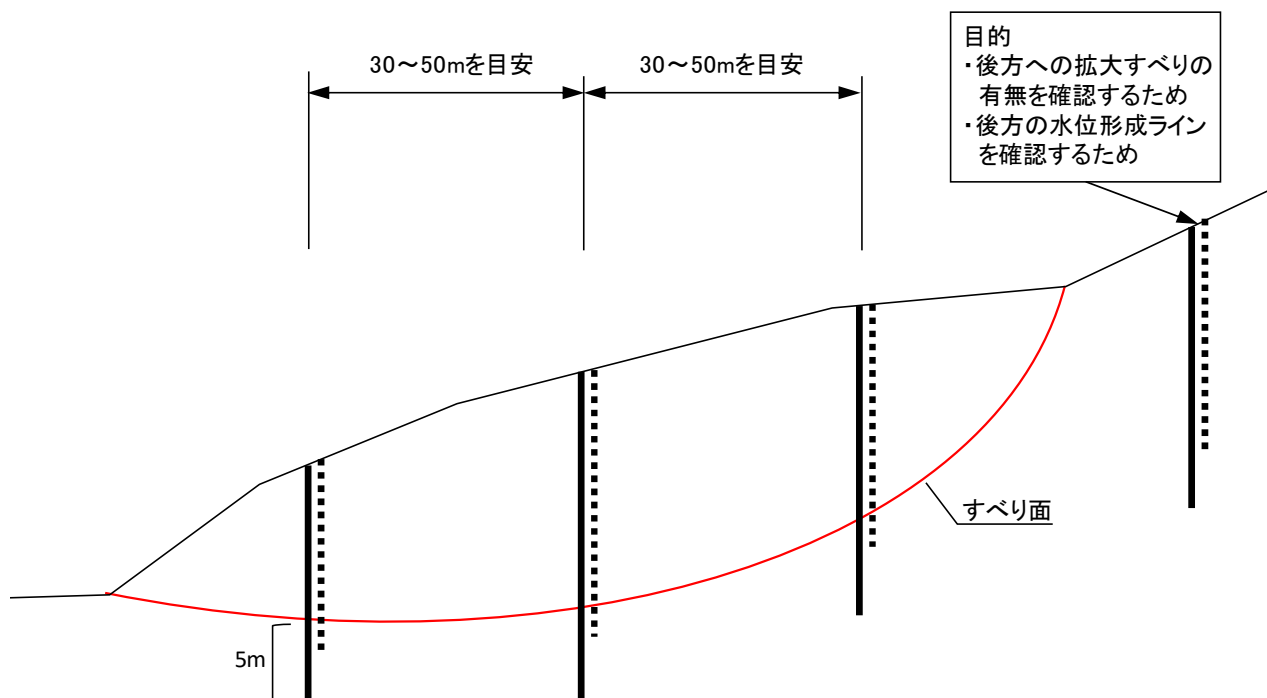
#### 《解説》

ボーリング調査は、地すべり移動層及び不動層の地質性状を確認することを主な目的とし、すべり面の位置・性状の確認が重要である。しかし、ボーリング調査によるすべり面の確認は難しい場合が多い。一方、不動層となる岩盤は、風化から弱風化・未風化へと風化度が変化していく地層が多い。基岩層となり得る硬質な深度を確認するために標準貫入試験から得られるN値を参考にするケースも多い。また、地すべり対策工事を設計する際に、基岩盤の性状を確認するためにもN値は有用な指標となる。

ボーリング調査を計画する際には、その目的によって仕様を検討する必要がある。

図 4-2に地すべりブロックにおけるボーリング及び調査種の配置概略断面図を示す。この図に示す様に、ボーリング箇所毎にパイプ歪計観測孔と地下水位観測孔を別々に設置しつつ、オールコアボーリングと標準貫入試験を実施できるのが理想であるが、調査における費用対効果等の面から実際には歪計と水位計を1孔で併用する調査孔仕上げとする箇所が一般的である。ボーリング掘削中に漏水により孔内水位が形成されない場合や、近隣に既往調査孔がなく情報が乏しい場合、複雑な水文地質が予想される場合等、状況に応じて仕様を検討する必要がある。

概略調査で先行して、2本程度を主測線上で実施し、コアを採取し、パイプひずみ計・水位観測を最低1年実施する。



**実線:** ノンコアボーリング(標準貫入試験あり、岩盤部はコア取り)、パイプ歪計観測専用孔  
基岩盤を5m以上確認して掘り止め

**破線:** オールコアボーリング(標準貫入試験なし)、水位観測専用孔  
すべり面または基岩盤を貫いて掘り止め

図 4-2 ボーリング及び調査種の配置概略断面図

また、ボーリング調査後に調査孔を利用して、次の調査を行うことが多いため、孔径については十分に検討することが必要である。

- 1) すべり面調査 (パイプ歪計・孔内傾斜計・地中伸縮計による調査、孔壁の観察)
- 2) 地下水調査 (地下水位観測、地下水追跡、間隙水圧測定、地温測定、簡易揚水試験、地下水検層、その他の検層)

#### (1) ボーリング調査測線の配置と長さ

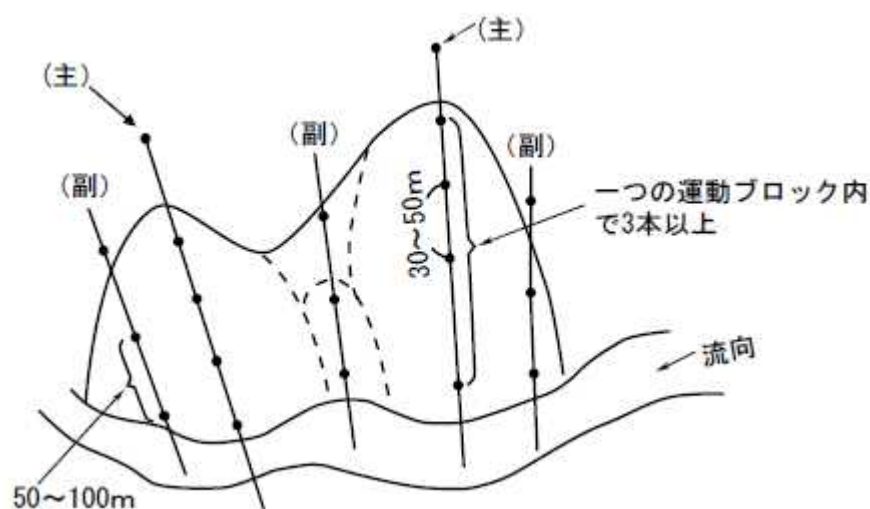
ボーリングは、地すべりの運動方向に設定した主測線に沿って、30~50m程度の間隔で、運動



ブロック内で3本以上及びブロック外の上部斜面内に少なくとも1本以上の計4本以上行うことを原則とする。地すべりブロックの面積が小さい場合には、地すべり地の地質を把握するのに最適な位置に2本以上配置する。また、副測線でも50～100m間隔程度で必要に応じて行う。さらに、基盤内に断層・破碎帯が分布していたり、地質構造が複雑であったり、すべり面の形状が複雑な場合には、別途補足のボーリングを行う必要がある。1本のボーリングの長さは、基盤を確認するのに十分な長さとする。地すべりによっては、地すべり土塊内の岩塊を基盤と見誤る場合もあることから、少なくとも1本は深い深度まで掘削する事が望ましい。

地すべりブロックの層厚が推定不可能な場合は、原則として1本当たりの長さを地すべりブロック幅の1/3程度と仮定し、掘進結果を参考にして長さを調整する。

図 4-3には、複数のブロックからなる地すべりにおける測線及びボーリング配置の例を示しているが、規模の小さな地すべりの場合、主測線のみにおいてボーリングを実施することが多い。また、規模の大きな地すべりの場合、精査は例えば1年間といった短期間で終わることは少なく、ボーリング調査結果をふまえて機構解析が行われ、精査計画を修正していく。したがって、必ずしも当初計画どおりの位置でボーリングを実施しないこともある。ボーリング位置は断面図、横断面図、すべり面等高線、地下水位等高線の作成に資するようにその配置を決定する必要がある。



(出典：地すべり防止技術指針及び同解説)

図 4-3 ブロック毎の測線沿いのボーリングの配置

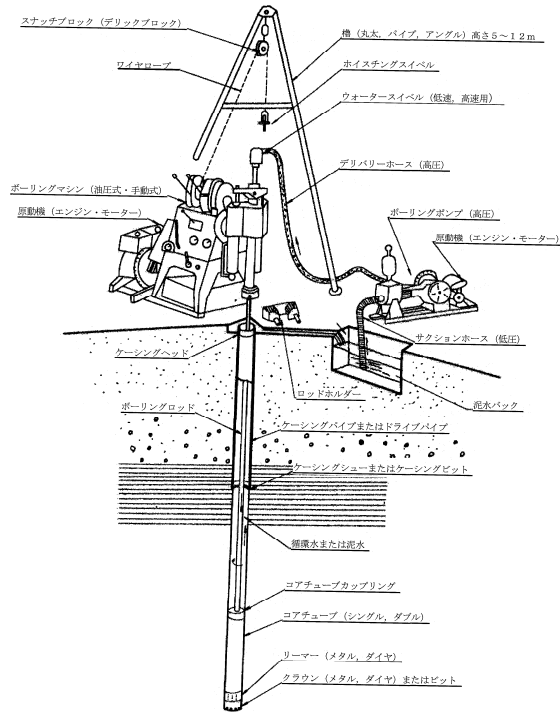


図 4-4 ボーリング設置概略図

表 4-2 標準的な垂直ボーリング長さ

推定される地すべり土塊の厚さ (垂直方向)	ボーリング深度	調査ボーリング相互間の間隔 (主測線上)	調査ボーリング相互間の間隔 (副測線上)
15m以下	20m以上	20m以内	40m以内
15~20m	25m以上	30m以内	60m以内
25m	30m以上	50m以内	100m以内

## (2) 結果の整理

ボーリング調査の結果は、地すべり地の地質、土質やすべり面を検討する上で必要な項目について観察した所見をボーリング柱状図にとりまとめるものとする。

### 《解説》

ボーリング柱状図の最も主要な点は、コアによる地質、土質の観察と、掘削時の状況記事、掘進中および最終の孔内水位、コア採取率である。また、岩盤中における調査では、風化の程度、亀裂の角度、層理面・片理面の角度、亀裂の量等の状況も観察し、その垂直的な分布についても記載する。地

質、土質の観察は、経験の深い技術者が行うものとする。コア写真はカラーとし、正常な色が出るように撮影する。また3色、または5色標準色調板を貼布して撮影する。図 4-5にボーリング柱状図の例を示す。

# 地すべりボーリング柱状図 (標準貫入試験)

調査名 ○○地区地すべり孔内傾斜計設置観測業務

事業名または工事名 国道○○号線バイパス○○建設工事

調査目的及び調査対象 道路 地すべり・斜面崩壊

ボーリング名	R26B-2		調査位置	○○県○○市○○町3-2-1			北緯	37° 39' 06.223"			
発注機関	国土交通省○○地方整備局○○事務所○○課			調査期間	平成26年12月12日～平成26年12月19日				東経	140° 11' 39.460"	
調査業者名	○地質(株) 電話 012-345-6789			主任技師	地質 一部 第54321号	現場 地質 次郎 第54322号	コア 地質 三郎 第54323号	ボーリング 地質 四郎 第54324号	代理人 第54322号		
孔口標高	T.P. 525.29m		方位		地盤勾配		試験機		XXX-1		
総削孔長	22.00m		角度 100° 上 Y 0° 下 0°		方位 135° 東 150° 南		使用機種		エンジン EPQI-677		
							ポンプ		FMD-7		

標尺 (m)	標高 (m)	深さ (m)	土質 (標準貫入試験による)	色	風化の程度	硬さ	傾斜	相対密度	傾斜・相対密度	記述	標準貫入試験				位置	室内試験	作業日ごとの孔内水位			孔壁保護	地下水検層方法	保	閉水	孔底					
											A	B	C	D			閉水日	閉水時間	閉水深度										
0	525.29	0.00	青灰色土層 硬粘土							【青土】 硬粘土。含水量を測定するが 不足。含水量は、約0.5-2.0m の範囲で測定する。 【注】 本所に不凍層である。 約1-2cmの凍結層。シルト状の 硬粘土。含水量は約20-30% と推定される。 【注】 本所に不凍層である。 約1-2cmの凍結層。シルト状の 硬粘土。含水量は約20-30% と推定される。 【注】 本所に不凍層である。 約1-2cmの凍結層。シルト状の 硬粘土。含水量は約20-30% と推定される。	0	100	200		14				12/12	4.00									
1			シルト質砂 粘								1	10	20																
2			青灰色土層 硬粘土							【黄褐色土】 シルト質の硬粘土。含水量は 約20-30%と推定される。 【注】 本所に不凍層である。 約1-2cmの凍結層。シルト状の 硬粘土。含水量は約20-30% と推定される。 【注】 本所に不凍層である。 約1-2cmの凍結層。シルト状の 硬粘土。含水量は約20-30% と推定される。	2	12	24		15														
3			シルト質砂 粘								3	15	30																
4			青灰色土層 硬粘土								4	18	36																
5			黄褐色土 硬粘土								5	20	40																
6			黄褐色土 硬粘土								6	22	44																
7			シルト質砂 粘								7	24	48																
8			黄褐色土 硬粘土								8	26	52																
9			黄褐色土 硬粘土								9	28	56																
10			黄褐色土 硬粘土								10	30	60																
11			黄褐色土 硬粘土								11	32	64																
12			黄褐色土 硬粘土								12	34	68																
13			黄褐色土 硬粘土								13	36	72																
14			黄褐色土 硬粘土								14	38	76																
15			黄褐色土 硬粘土								15	40	80																
16			黄褐色土 硬粘土								16	42	84																
17			黄褐色土 硬粘土								17	44	88																
18			黄褐色土 硬粘土								18	46	92																
19			黄褐色土 硬粘土								19	48	96																
20			黄褐色土 硬粘土								20	50	100																
21			黄褐色土 硬粘土								21	52	104																
22			黄褐色土 硬粘土								22	54	108																

図 4-5 ボーリング柱状図の記載例

#### 4.3.2 ボーリング孔を利用した調査

ボーリング掘進中においては、ケーシング未挿入の孔壁（裸孔状態の区間）を利用する等により表 4-3に示す各種試験が行われる。

表 4-3に示した試験は、地すべりの地盤特性の定量的な評価に用いられ、抑止工の設計、浸透流解析、応力歪み解析（FEM等）にも役立てられる。

表 4-3 ボーリング孔内で実施される試験

孔底地盤を利用する現位置試験	動的現位置試験	標準貫入試験、大型貫入試験、(N ベーン試験)
	静的現位置試験	深層載荷試験、ベーン試験、(孔内リングせん断試験)
孔壁地盤を利用する現位置試験	静的現位置試験	孔内水平載荷試験、(自己推進型動的プレッシャメータ試験) (孔内せん断試験、周面摩擦測定試験、孔内コーン貫入試験)
	すべり面調査	パイプ歪計計測、孔内傾斜計計測、縦型伸縮計計測、多層移動量計計測
その他の現位置試験		(地中応力測定試験、推進抵抗測定型サウンディング)
孔壁観察		孔内カメラ
物理検層	速度検層	P 波検層、PS 検層
	電気検層	比抵抗検層、自然電位検層
	放射能検層	自然放射能検層、密度検層、中性子検層
	その他	孔径検層、温度検層、ジオトモグラフィ、孔曲がり測定
地下水調査	水位・水圧測定	孔内水位測定、間隙水圧測定
	現場透水試験	オーガー法、チューブ法、ピエゾメータ法
	揚水試験	単井法、観測井法、簡易揚水試験
	岩盤地下水試験	湧水圧試験 (JFT)、ルジオンテスト
	その他	地下水検層、水質調査、流向流速調査

(出典：地すべり防止技術指針及び同解説)

##### (1) 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。

弾性波探査の方法には次のようなものがある。

- 1) 屈折法
- 2) 浅層反射法
- 3) 常時微動法

弾性波速度と地質には以下のような関係があることが知られている。

- 1) 一般に弾性波速度が速いほど圧縮強度は大きく、特に同じ種類の岩石ではこの傾向が強い。
- 2) 岩石は風化すると、その弾性波速度は遅くなり、風化が著しいほど速度は遅くなる。
- 3) 破碎程度が激しいほど、弾性波速度は遅くなる。
- 4) 固結程度が低いほど、弾性波速度は遅くなる。

地すべりの調査技術として弾性波探査が用いられる場合には、そのほとんどがP波を用いた屈折法探査である。弾性波探査で求められる弾性波速度値は、地質やN値、一軸圧縮強度等の工学的諸量との相性が良いことから、すべり面の推定や対策工の選定、設計のための資料などとして用いられている。

## (2) 自然放射能探査

地山を構成している岩石類には、ウランやトリウム系統等の放射性元素が含まれていて、これらは崩壊の過程で不活性気体のラドンやトロンが生成される。これらの不活性気体もまた放射性元素であるが、地下の断層や亀裂帯を通過して地上に散逸する。これらの放出する放射性元素を地表で計測し、その量が多い箇所は、地山内に断層や破碎帯が存在する可能性が高いと推察するものである。

## (3) 電気探査

電気探査には2つの方法があり、人為的に地盤に電流を流して地盤内の電気的特性の変化によって発生する電位の変化を計測する比抵抗法と、地盤内に発生している自然電位を計測する自然電位法がある。地すべり調査では、一般的に比抵抗法が用いられるが、地層の変化、あるいは同一地層においても、含水・非含水によって電気的特性が変化することから、電気探査結果からのみで地層の状態を知ることは困難であり、ボーリング結果等と併用して電気探査結果を評価する必要がある。

## 4.4 すべり面調査

すべり面調査においては、すべり面の判定を行うものとする。

すべり面の判定は、ボーリング調査と機器（パイプ歪計、孔内傾斜計、地中伸縮計、多層移動量計、すべり面測桿等）による計測等の結果を用いて総合的に行う。

### 《解説》

すべり面調査の方法には、ボーリング調査による方法に加えて、計測機器による方法がある。計測機器による方法には、パイプ歪計、孔内傾斜計、地中伸縮計、多層移動量計、すべり面測桿による方法があり、すべり面の判定にあたっては地質調査による方法と計測機器による方法の結果を用いて総合的に行う必要がある。なお、パイプ周囲の間詰めの不良により計測の精度を損なうことが多いので、計測機器によるすべり面調査に用いるボーリング孔を地下水位観測孔として併用しないことが望ましい。

### （１）ボーリング調査による判定

#### ① ボーリング掘進中の判定

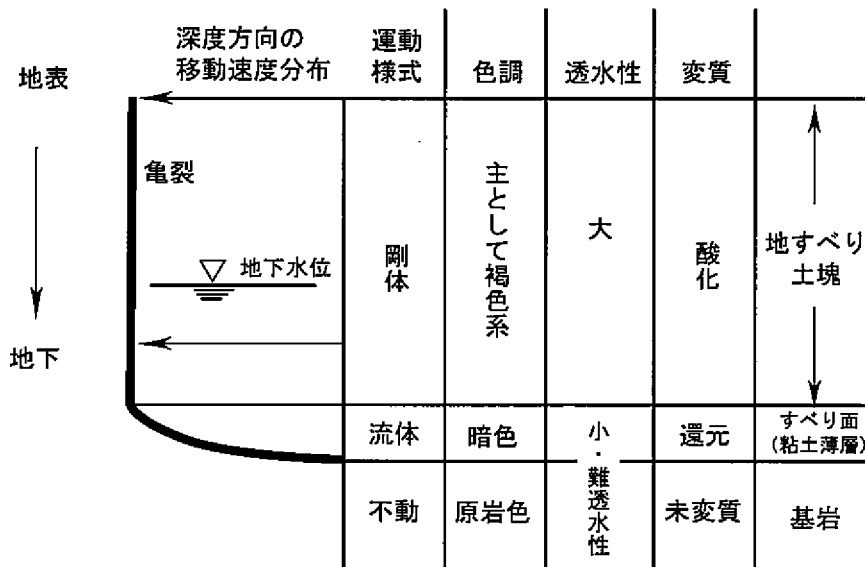
地すべり移動の活発な地域では、掘進中に孔曲がりが発生し、掘進毎に同一深度で抵抗を感じたり、半月形のコアが採取されたりすることによって、すべり面の位置が確認できることがある。

#### ② ボーリングコア観察による判定

ボーリングコアの観察によってすべり面の位置を推定する。ボーリングコアの観察にあたっては、色調、亀裂の形状・量、風化状況、粘土層等について観察を行い、総合的にすべり面を判定する。

すべり面付近は移動に伴って破砕されていることが多い。時には、鏡肌（スリッケンサイド）や条痕、コアへの木片の混入が見られることもあり、このようなコアの状況に着目する必要がある。

地すべり土塊の鉛直方向の構成を図 4-6 に模式的に示す。すべり面は粘土化し、透水性が小さく、暗色を呈する一方、移動層は透水性が大きく褐色系の色調を呈することが多い。ただし、地下水の分布状況、地すべり土塊内の位置（頭部、末端部等）によっても異なることに留意する必要がある。



(出典：地すべり防止技術指針及び同解説)

図 4-6 地すべり斜面の構成

コアの観察によりすべり面を判定する際の留意点としては、次の項目が挙げられる。

- 1) 軟弱粘土層の存在
- 2) 崩積土の下面
- 3) 風化岩あるいは岩盤上部
- 4) 異種の岩石などの境界部
- 5) 岩盤中の軟弱挟み層あるいは破碎部の存在
- 6) 堆積岩中における堆積構造の乱れの存在
- 7) 地すべり規模、形態とすべり面深度の相関

また、ボーリング孔壁の観察結果（孔壁写真、展開図等）がある場合には、コアと同様の観点ですべり面判定に活用する。

## (2) 計測機器による判定

### ① パイプ歪計による判定

パイプ歪計によるすべり面の計測方法の特徴は、ボーリング孔全長にわたってその曲がり測定できることである。パイプ歪計は、普通1mの塩ビ管等のパイプに1対（2枚のストレイン

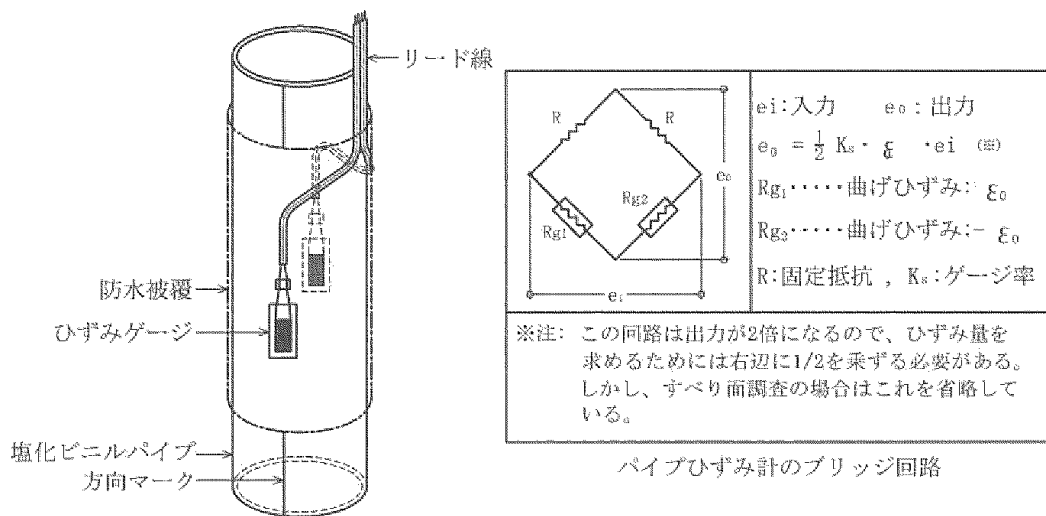


ゲージ) ないし2対のゲージを1方向に貼り、コードをパイプの外側に通したものをを用いる。ゲージの方向は、地すべり運動の方向に一致させるのが原則であるが、運動方向が不明の場合は1箇所につき直角に2方向に計4枚のゲージを貼布したものをを用いる。

また、パイプ歪計をボーリング孔に設置するとき、孔壁とパイプの間隙は砂等を用いて完全に充填することが必要である。ゲージの測定は原則として週に1回とするが、地すべりの動きにより測定間隔を縮めたり延ばしたりしてもよい。データロガーを設置して、連続的データを収集することも可能である。

解析に用いる測定値は、パイプ歪計設置後1週間後のものから利用することを原則とする。さらに、パイプ歪計は設置時にその測定値が $-2000 \sim 2000 \times 10^{-6}$ のものを正常とし、他は不良品であるので測定から除外する。

計測の結果は、歪変動累積図に整理し、表 4-4に示す判定基準によってすべり面と判断する。ただし、累積傾向のないものはいかに測定値の変動が著しくても、すべり面と判定できない。逆に、ひずみ量が小さい変動であっても、累積性のある深度はすべり面の可能性が高く、継続観測が必要である。



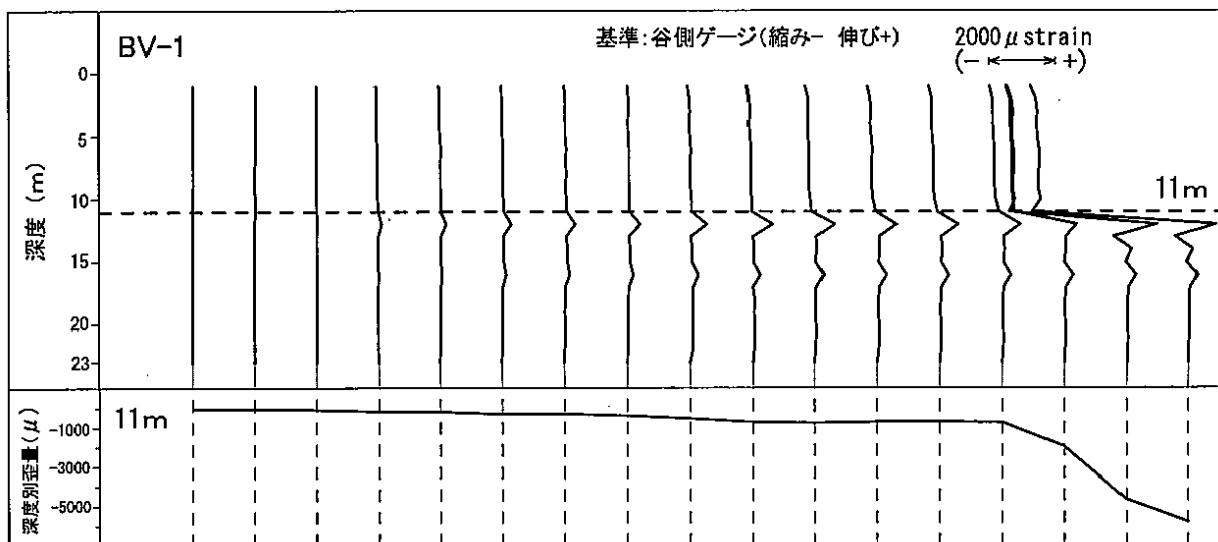
(出典: 地すべり観測便覧)

図 4-7 パイプ歪計の構造

表 4-4 パイプ歪計観測結果による地すべり判定基準

変動種別	累積変動値 ( $\mu$ /月)	変動形態		すべり面存在 の地形・地質 的可能性	総合判定	
		累積傾向	変動状態		変動判定	滑動性ほか
変動 A	5,000 以上	顕著	累積	あり	確定	顕著に活動している岩盤～崩積土すべり
" B	1,000 以上	やや顕著	累積	あり	準確定	緩慢に活動しているクリープ型地すべり
" C	100 以上	ややあり	累積 断続 攪乱 復帰	あり	潜在	すべり面存在有無を断定できないため、継続観測が必要
" D	1,000 以上 (短期間)	なし	断続 攪乱 復帰	なし	異常	すべり面なし 地すべり以外の要因

(出典：地すべり防止技術指針及び同解説)



(出典：地すべり防止技術指針及び同解説)

図 4-8 パイプ歪計による歪変動累積図の例

② 孔内傾斜計による判定

孔内傾斜計は、ボーリング孔内に傾斜計測用のガイドパイプを挿入・設置し、これに沿って傾斜計を挿入して上下に移動させ、ガイドパイプの傾斜角を測定する方法である。孔曲がりが著しくなると計器を挿入できなくなることが欠点であるが、ほぼ連続的にボーリング孔の曲がりによる形状の変化を追跡することが可能である。図 4-9に挿入型孔内傾斜計の概要を、図 4-10に計測結果の表示例を示す。

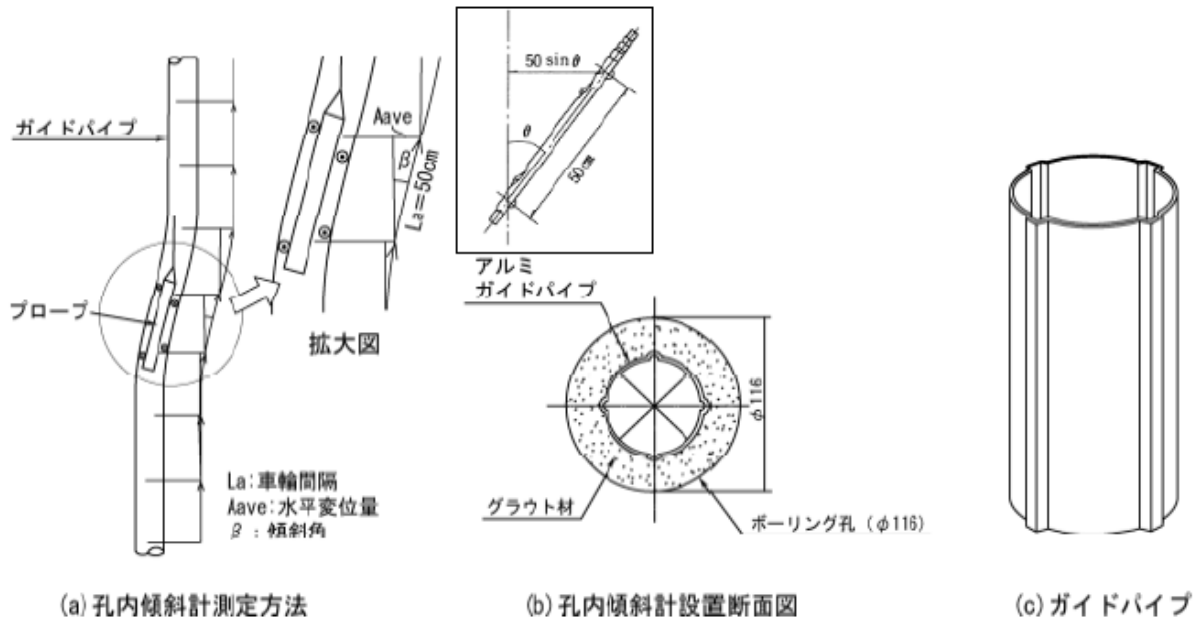


図 4-9 挿入型孔内傾斜計の概要 (出典：地すべり防止技術指針及び同解説)

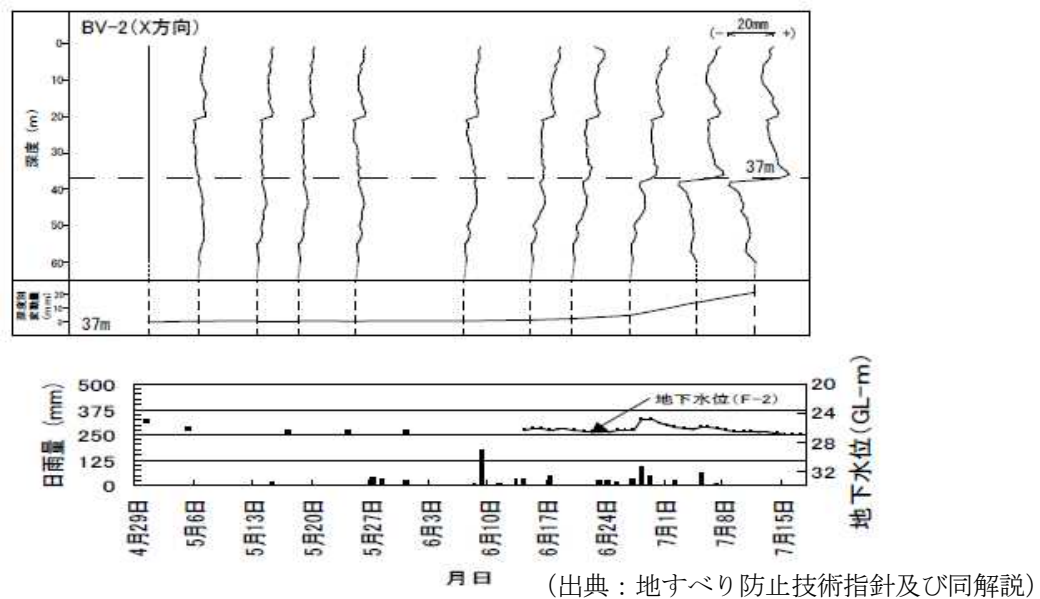
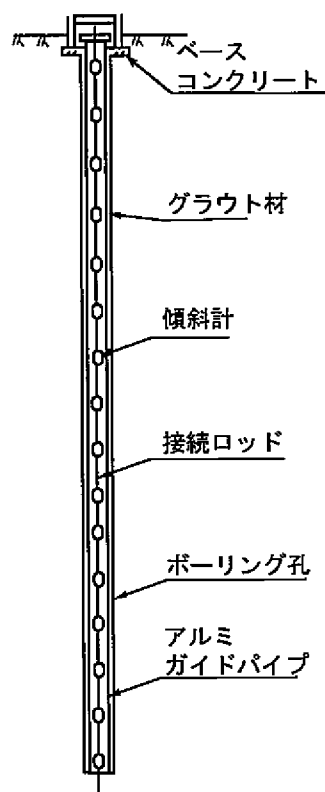


図 4-10 孔内傾斜計による変動累積図の例

測定結果は、孔底からの傾斜量の積分で表現され、その曲がり著しくかつ歪みが累積する位置をすべり面と判定する。計測にあたっては、センサー部が温度による影響を受ける恐れがあるので、温度変化の少ない地中内部にセンサー部を一定時間保持した後に計測を行う必要がある。

本体の車輪の部分で最大変位方向に向くようにケーシングを設置する。上向き車輪を最大変位側に向けてケーシングに挿入したときの検出値がA（あるいはA+）、本体を180°回転し、下向き車輪を最大変位側に向けたときの検出値がB（あるいはA-）として示される。

また、孔内の必要深度の位置（主としてすべり面）にセンサーを固定し、当該位置での傾斜や変形を測定する設置型のタイプも用いられている。図 4-11にその設置型傾斜計の概要を示す。



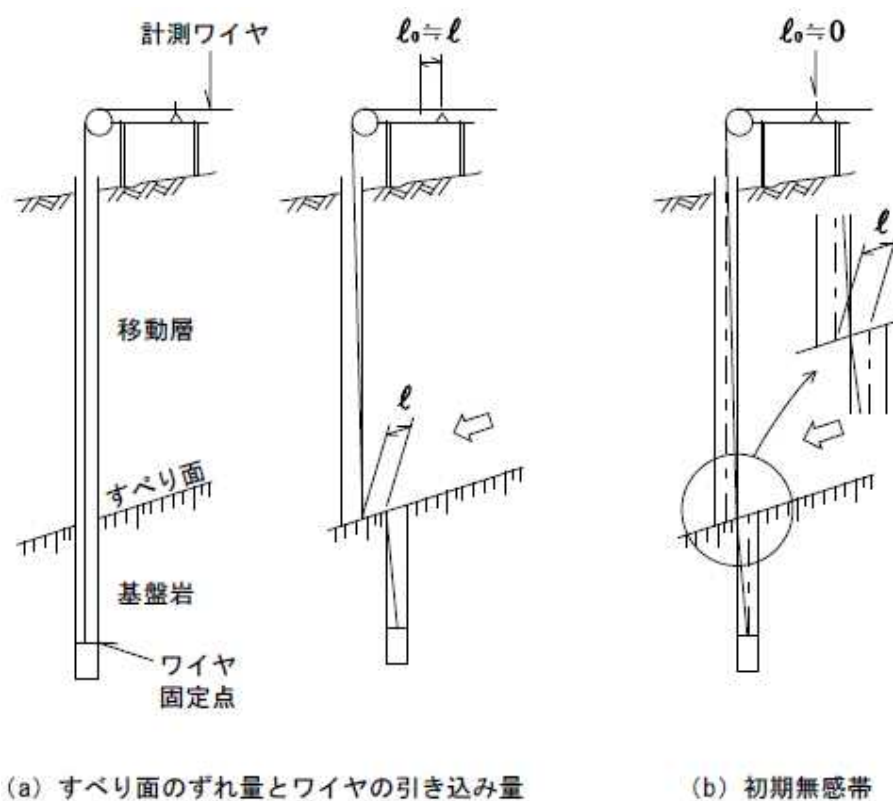
(出典：地すべり防止技術指針及び同解説)

図 4-11 設置型孔内傾斜計の設置全体図

### ③ 地中（孔内）伸縮計による判定

本方法は、基本的には地すべり移動量の測定に用いられる地盤伸縮計をボーリング孔内に鉛直方向に1本もしくは複数設置したものであり、すべり面を挟む上下の層の変位を直接測定する

ものである。ボーリング孔底にワイヤの先端部を固定し、それを地上に導いて、このワイヤの伸縮量を地上で測定する。地すべり頭部においては沈下のため圧縮傾向を示すことがある。にその概要を示す。積雪により地表変動調査が困難な場合は、地盤伸縮計の代用とすることがある。

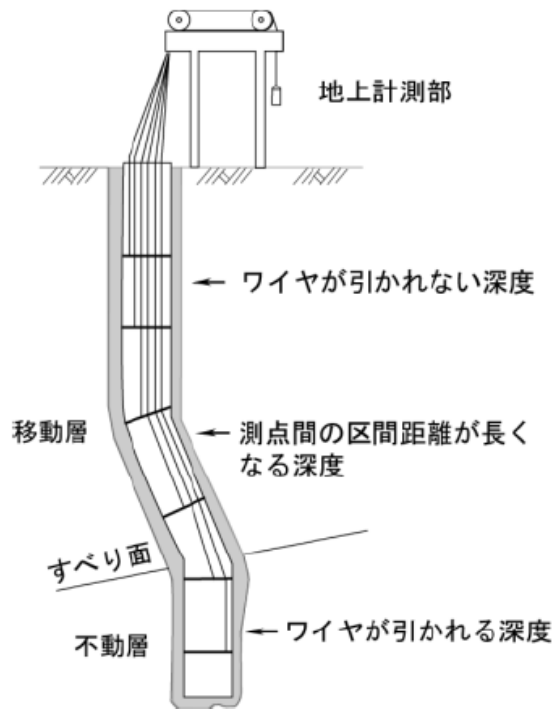


(出典：地すべり防止技術指針及び同解説)

図 4-12 地中伸縮計の概要図

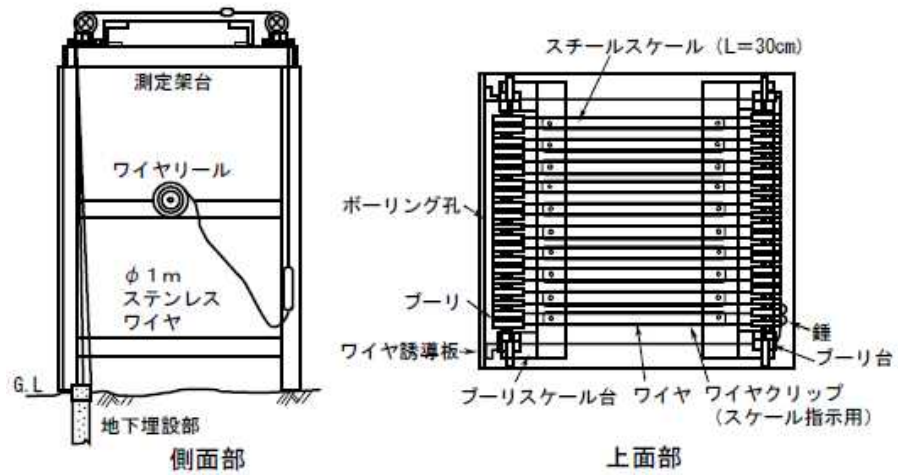
#### ④ 多層移動量計による判定

多層移動量計によるすべり面の計測方法は、すべり面深度が不明な場合、多くのすべり面が存在する場合、大変位を示す場合等に用いられる。この手法は、地すべり土塊内に鉛直に設置された塩ビ管内の任意の複数深度にワイヤを固定して、地上部へと導かれたワイヤの伸縮量を計測するものである。地上部はおよそ高さ1.0m、幅0.5m、長さ0.5mの大きさの測定台に、滑車ごとステンレスのメジャーが設置されている。各深度から導かれたワイヤはこの測定台を通過し、重りあるいはバネによって一定の荷重で引っ張られており、各深度のワイヤの伸びが直接測定できるようになっている(図 4-13)。測定結果は、横軸に日付を記載し、縦軸に深度ごとの累積伸縮量が記録された時間累積図が作成され、すべり面の位置判定がなされる。



(出典：地すべり防止技術指針及び同解説)

図 4-13 多層移動量計の概要図

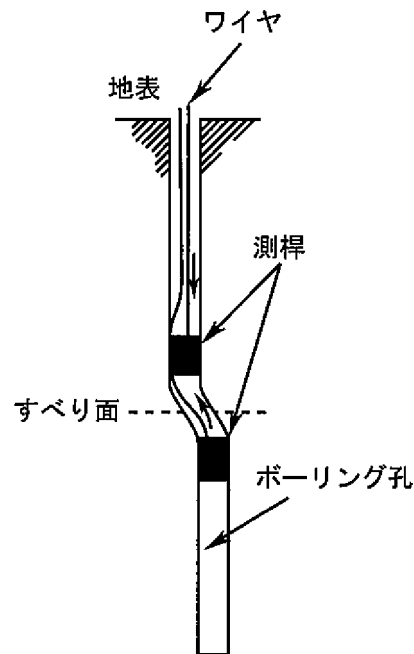


(出典：地すべり防止技術指針及び同解説)

図 4-14 多層移動量計計測部

## (2) すべり面測桿による判定

ボーリング孔内に、直径 2～3cm 程度、長さ 50cm～200cm 程度の測定管をワイヤで孔底に挿入しておき、一定期間後にこのパイプを引き上げると孔曲がりをした深度で止まる。さらに孔口より同種の測定管を下げると挿入できなくなるので、すべり面の位置が確認できる。



(出典：地すべり防止技術指針及び同解説)

図 4-15 すべり面測桿によるすべり面の判定

## (3) 計測機器類の特徴

これまで紹介した計測機器の性能を表 4-5 に示す。すべり面調査においては、すべり面の位置（深度）及び変位量の把握がなされる。「すべり面の位置（深度）、測定間隔」欄には、計測間隔の最小値を記載した。「測定範囲」欄には実際に測定可能な深度の最大値を記載した。また、すべり面における変位量は、精度と最大の測定範囲を示した。いずれも標準的な値であり、製品によって異なる。現地への機器の設置にあたっては、各製品の仕様を確認しておく必要がある。表 4-5 に各計測機器の一般的な性能を示したが、計測精度の良いもの、測定範囲が大きいものが良い計測機器ということではない。すべり面調査では、連続計測の可否、設置の容易さ、耐久性、積雪による影響等を考慮し、現場の状況に応じて適切な計測器を選択して、継続的に観測を行うことが重要である。

表 4-5 計測機器類の特徴

	計測項目			
	すべり面の位置(深度)		すべり面における変位量	
	測定間隔	測定範囲	精度	測定範囲
パイプ歪計	1.0m	50m程度	(間接的には可能)	
孔内傾斜計	0.5m	50m程度	1.0mm	3~10cm程度
地中伸縮計	(測定不能)			200cm程度
多層移動量計	1.0m	30m程度		200cm程度
すべり面測桿		制限なし	(測定不能)	

#### 4.5 地表変動調査

地表変動調査は、地すべり発生・運動機構を把握することを目的に、地盤伸縮計、地盤傾斜計、地上測量、GPS測量等により、地表に発生した亀裂、陥没、隆起等の変動を計測することにより行う。

#### 《解説》

一般的な地表変動調査の方法としては次のものがあり、その目的は図 4-16に示すとおりである。

- ① 地盤伸縮計による方法
- ② 地盤傾斜計による方法
- ③ 測量による方法
  - ・地上測量
  - ・GPS測量等

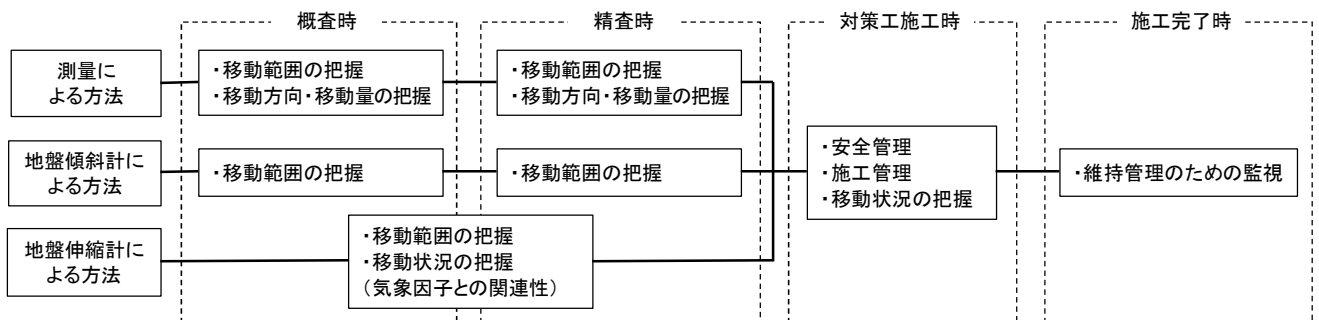


図 4-16 地表移動調査の目的と方法



調査目的は、概査時、精査時、対策工施工時、施工完了時、施工完了後の各段階で異なる。特に精査時と施工完了後では大きく異なる。精査時は、地すべり機構の把握を目的とするのに対して、施工完了後は地すべり地及び対策工の維持管理が主目的となる。

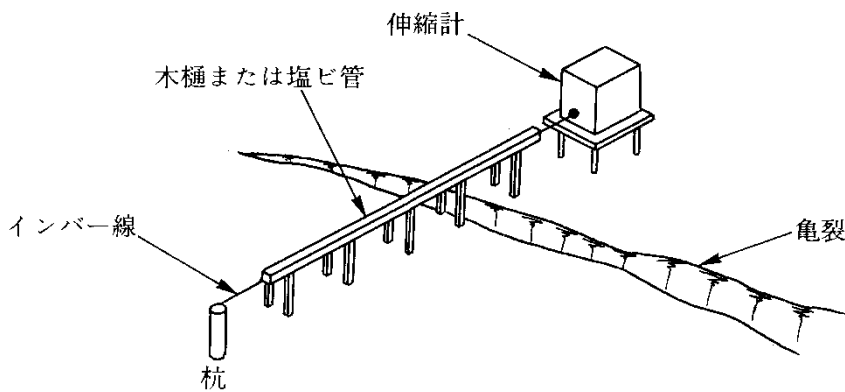
### (1) 地盤伸縮計による調査

地盤伸縮計は、地すべりによる亀裂や段差をはさむ区間の伸縮量を測定する計器である。計器は、各調査測線に沿って地すべりの運動方向に設置することが望ましい。

#### 《解説》

地盤伸縮計の観測値は、連続的に自記記録される。次項の地盤傾斜計の場合も同様であるが、観測期間は融雪、梅雨、台風期等をカバーするように計測し、降雨等に対する地すべりの移動特性が把握できるよう、1年以上の長期観測を継続して実施することが望ましい。

図 4-17に地表面伸縮計の設置方法を示す。このうちインバー線の固定杭は、固定するのに十分な断面を有する材料とし、1m以上打込みを行う。設置スパンは原則として15m程度以下とする。また、草木の接触や温度変化によるインバー線の伸縮を極力防止するため、塩ビ管等で保護する必要がある。この際、保護管がインバー線に接触しないよう注意する必要がある。地すべり頭部の位置が不明である場合や地すべり全体の移動状況を把握するために、地盤伸縮計を主測線に沿い連続的に設置することもある。

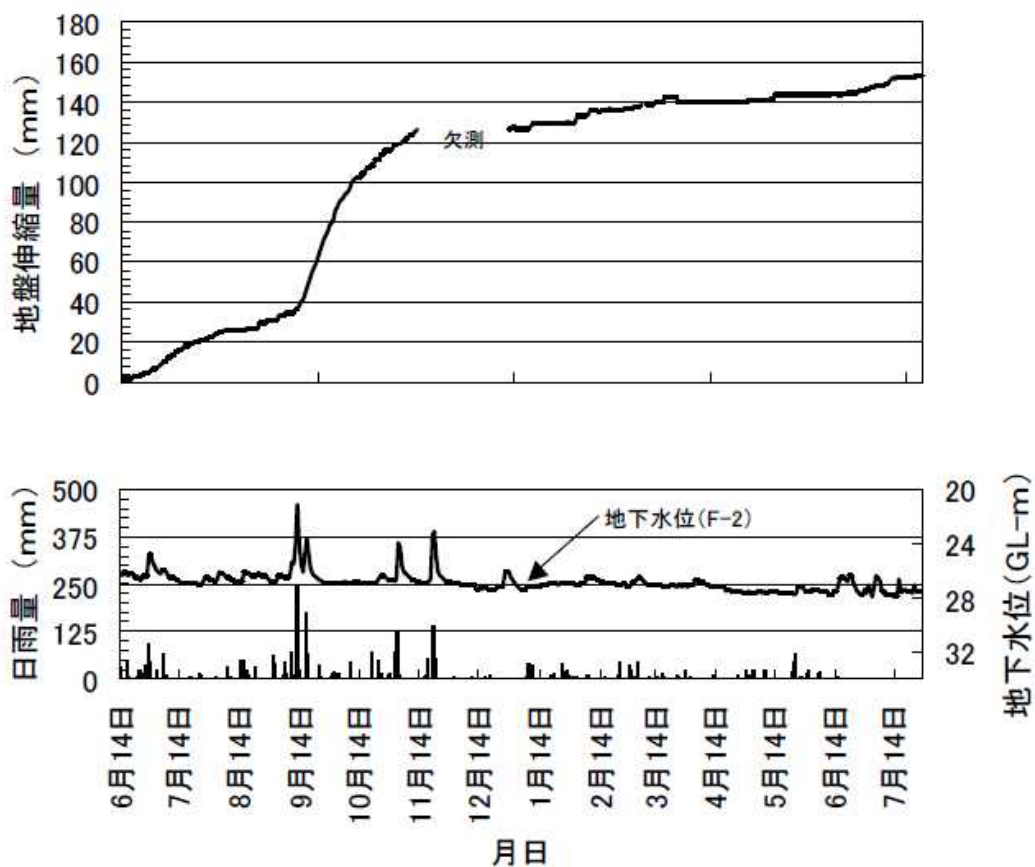


(出典：地すべり防止技術指針及び同解説)

図 4-17 地盤伸縮計設置概略図

調査の結果は、縦軸に累積歪量、横軸に日時をとり、降水量または地下水位と対照できる図にまとめるものとする。図 4-18表 4-6 地盤伸縮計観測結果による地すべり判定基準に測定結果の取りま

とめの例を示す。表 4-6に示した判定基準等と比較できるように、データを整理する方法も有効である。



(出典：地すべり防止技術指針及び同解説)

図 4-18 地盤伸縮計測定結果の整理例

表 4-6 地盤伸縮計観測結果による地すべり判定基準

変動種別	日変位量 (mm)	累積変位量 (mm/月)	一定方向へ の累積傾向	総合判定	
				変動判定	活動性ほか
変動 A	1以上	10以上	顕著	確定	活発に運動中、 表層・深層すべり
〃 B	0.1~1	2~10	やや顕著	準確定	緩慢に運動中、粘質土・ 崩積土すべり
〃 C	0.02~0.1	0.5~2	ややあり	潜在	継続観測が必要
〃 D	0.1以上	なし (断続変動)	なし	異常	局所的な地盤変動・ その他

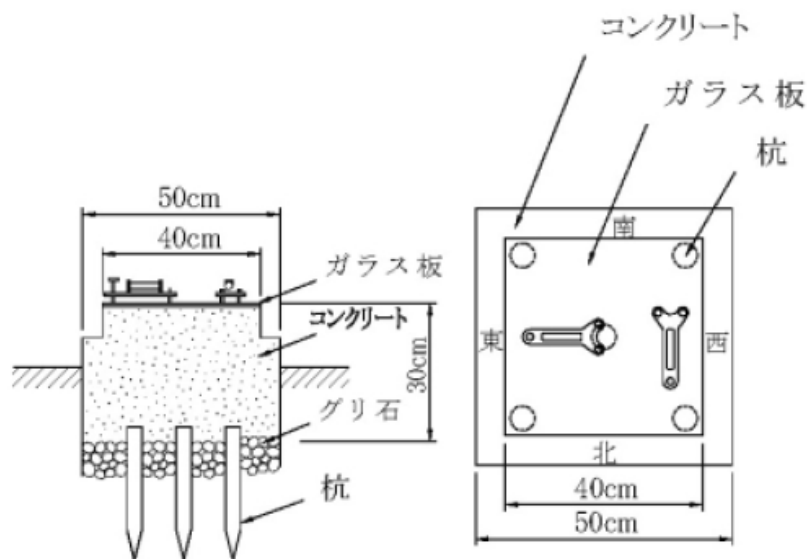
(出典：地すべり防止技術指針及び同解説)

## (2) 地盤傾斜計による調査

地盤傾斜計は、地すべり地内のほか、調査主測線沿いの運動ブロックの上方斜面にも設置して、地すべりの拡大の可能性を検討するために行うもので、必要に応じて運動ブロックの両側にも設置するものとする。

### 《解 説》

地盤傾斜計を設置する台は、まず地表上を約20cm掘削し、長さ1.0m、未口10cmの木杭、または、長さ1.0m、辺長5cmの等辺山形鋼を約80cm打ち込み、頭部にコンクリートブロックを打設し、表面にガラス板を張って水平に仕上げ設置台とする（図 4-19参照）。この設置台は計器格納用の木箱で覆っておく必要があり、傾斜計としては水管式のものの方が簡便である。水管式では測定は2本の傾斜計をN-S、E-Wの2方向に直交させて行い、主軸（分度板の付いた軸）をN、E側として設定する。

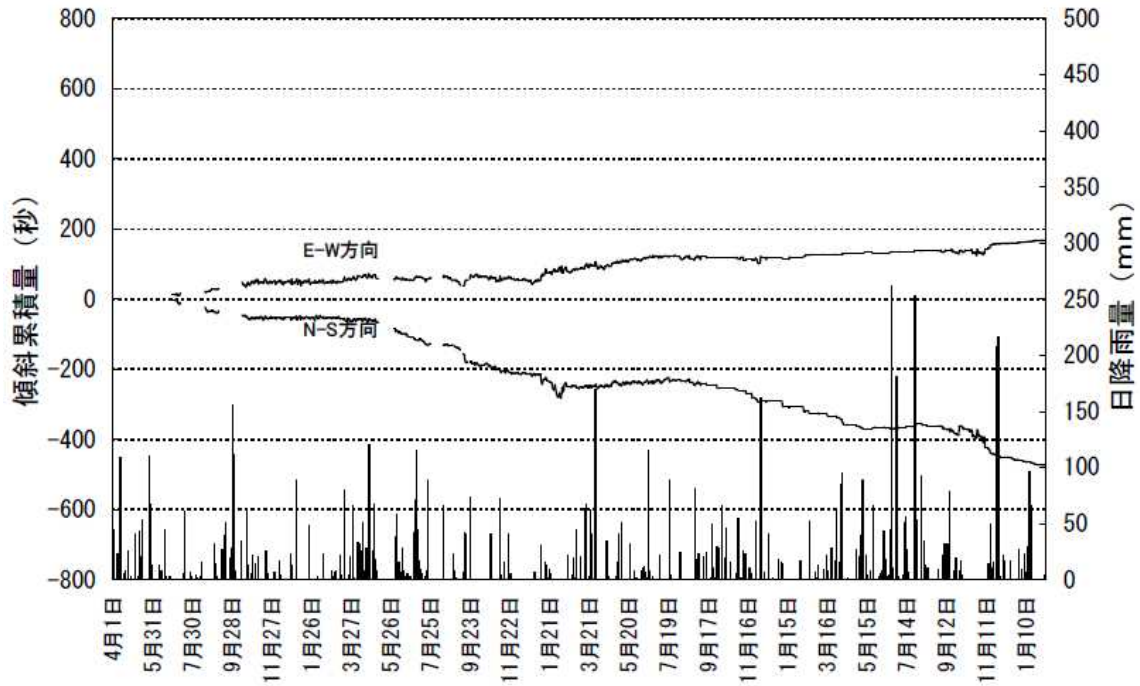


(出典：地すべり防止技術指針及び同解説)

図 4-19 地盤傾斜計設置例

地盤傾斜計の観測は、1日～7日に1回とする。活動中の地すべり、拳動を把握する場合には連日、活動の予測を行う場合には3日～7日に1回の観測とし、必要期間継続観測を行う。調査の結果は、縦軸に傾斜累積量、日傾斜変動量、横軸に期日を取り、降雨量や地下水位と対照できる図に整理し、傾斜累積速度、日平均傾斜変動量を計算する。に測定結果のとりまとめ例を示す。地すべり運動発生の有無は主としてその累積性にあり、その活動状況は変動量により把握される。表 4-7に示す判定基準等

により、地すべりの変動状況を判断する。



(出典：地すべり防止技術指針及び同解説)

図 4-20 地盤傾斜計測定結果

表 4-7 地盤傾斜計観測結果による地すべり判定基準

変動種別	日平均変動量 (秒)	累積変動値 (秒/月)	傾斜量の集積傾向有無	傾斜運動方向と地形との相関性	総合判定	
					変動判定	活動性ほか
変動 A	5 以上	100 以上	顕 著	あ り	確 定	活発に運動中
〃 B	1~5	20~100	やや顕著	あ り	準 確 定	緩慢に運動中
〃 C	1 以下	20 以下	ややあり	あ り	潜 在	継続観測が必要
〃 D	3 以上	な し (断続変動)	な し	な し	異 常	局所的な地盤変動・その他

(出典：地すべり防止技術指針及び同解説)

### (3) 地上測量による調査

地上測量による調査は、主として地すべりの運動方向が不明瞭な場合や、運動の激しい場合に用いるものとする。地上測量による調査には、地すべり運動地域外の固定点を基準とする横断見通し測量やトラバース測量、空中写真による測量等がある。

#### 《解説》

一般には、地すべり地以外の固定点を基準とする見通し測量が多く用いられる。地形的に見通しの悪い地すべり地では、トラバース測量を行うが、精度を向上させるために、結合トラバースとなるよう基準点を配置することが望ましい。

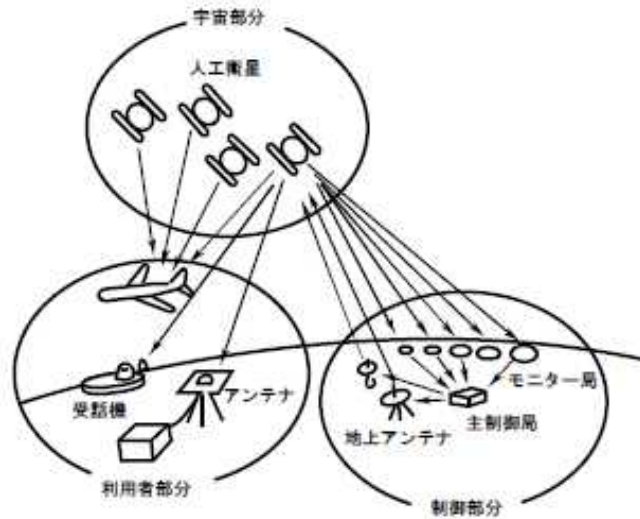
また、最近の空中写真測量の発達により、運動の活発な地すべり地では、一定期間ごとに写真を撮り、これを利用して測量する方法も開発されつつある。

### (4) GPS測量による調査

GPS測量による調査は、主として地すべり運動方向や範囲が不明瞭な場合や、運動の激しい場合に用いるものとし、特に地すべり運動地外の固定点を確保することが困難である場合等に行うものとする。

#### 《解説》

この方法は、複数の人工衛星を用いて観測点の3次元座標を自動的に測量するシステムで、図 4-21 に示すとおり、宇宙部分、利用者部分、制御部分からなり、観測点間の見通しを必要としないことや、天候の影響が少なく、夜間観測が可能なこと、長時間の連続観測ができることなどの利点がある。測量の誤差は、人工衛星の個数等にもよるが、約±5～10mmある。但し、衛星の数が少ない場合や、天空の見通し状況が悪い条件下では計測精度が低下する。GPS測量は、一回ごとの測定誤差が大であっても、連続観測を行うことで傾向を把握することができる。



(出典：地すべり防止技術指針及び同解説)

図 4-21 GPS 測量概念図

#### 4.6 地下水調査

地下水調査は、斜面の安定解析を行い、また対策工の検討を行う基礎資料を得るために、地すべり地の地下水の供給経路、地すべり地内における分布、性質、流動傾向および間隙水圧等を調査するものとする。

##### 《解説》

地下水調査には表 4-8に示すものがあり、目的に応じて必要な調査を行う。

表 4-8 地下水調査の目的と種類

目的	調査項目
すべり面に作用する間隙水圧の把握	間隙水圧測定、地下水位測定
地山の地下水位変動と降雨との相関等の検討	間隙水圧測定、地下水位測定
地山の地下水流動層の把握	地下水検層、簡易揚水試験
地山の地下水流動層経路の把握	地下水追跡、水質分析
地山の地下水分布の把握	電気探査、地温探査、水温調査、水質分析
地山の透水性の把握	透水試験、簡易揚水試験

(出典：地すべり防止技術指針及び同解説)

地すべり工事に伴い、周辺の地下水状況に影響が懸念される場合は、地下水利用状況を現地調査及びヒアリング等を行って調査し、対策工検討の資料とする。

## (1) 間隙水圧調査

### ① 地下水位観測

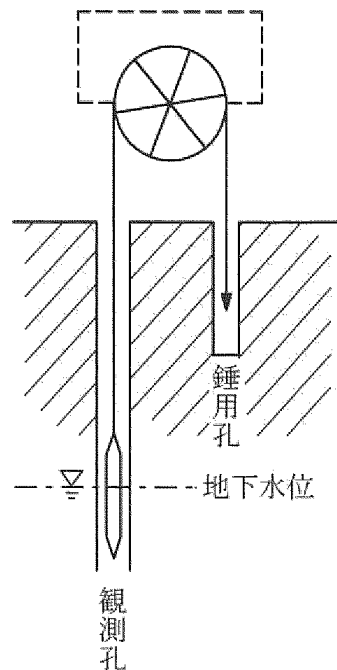
地下水位観測は、調査ボーリング孔の水位を測定し、降雨と地下水変動との相関やすべり面に作用する間隙水圧を把握するため実施されるもので、主測線沿いのボーリング孔では継続して観測する必要がある。

連続的に地下水位を測る場合には自記水位計が用いられる。自記水位計には、フロート式と水圧式があるが、現在は一般的に後者が用いられる。

フロート式は、フロートと孔壁の間に摩擦を生じたり、錘とフロートとの間のバランスが悪かったり、器械の摩擦が大きかったりすると、水面変化にうまく追従しない場合がある。特に、地下水位の変化の速度は河川等と比べて緩やかであることから、この水面追従機構の維持には注意すべきである。

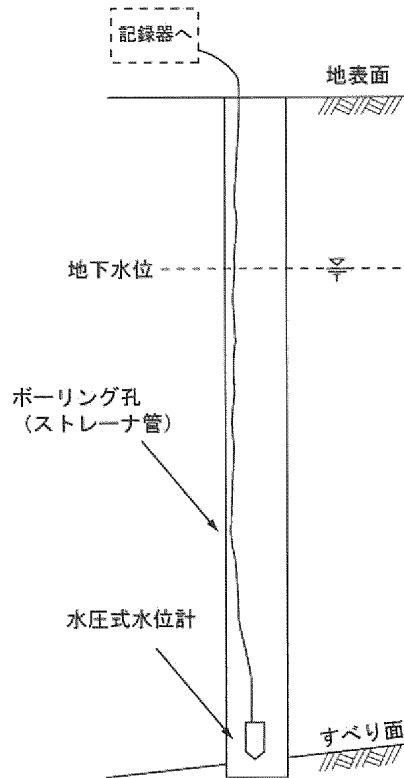
水圧式は、地下水位観測孔の孔底に近い深度に水圧式水位計を設置し、水位計からの電気信号はケーブルをとおして地上部に設置された記録計に保存される。しかしながら、この計測手法も孔底での泥土の堆積、計器の老朽化といった問題があり、定期的な点検が必要である。

対策工の設計や効果判定には、最高・最低水位やその継続時間が目安となる。これを正しく評価するためには、自記記録を行って、連続的なデータを収集することが望ましい。



(出典：地すべり防止技術指針及び同解説)

図 4-22 フロート式水位計



(出典：地すべり防止技術指針及び同解説)

図 4-23 水圧式水位計

また、簡単な方法として、触針式水位計による方法がある。触針式水位計は、目盛りのついたコードの先に電気接点を設け、接点が水面に達すれば電気回路を形成して電流が流れるので、これを電流計で測ったり、ランプが点灯するようにしてその水面の深度を正確に測定する方法である。

ボーリング掘進中は、複数の地下水帯を貫通する可能性があるため、孔内水位とともに湧水、逸水、ボーリング循環水の色等を記録する必要がある。ボーリング終了後にも、孔内の地下水を長期間観測し、地下水位を把握することが必要である。

地下水観測を行う観測孔には、全孔ストレーナ孔と部分ストレーナ孔があり、複数の地下水帯がある場合には、全孔ストレーナ孔による観測水位は正確な水位を示さないことから、部分ストレーナ孔等により計測することが望ましい。

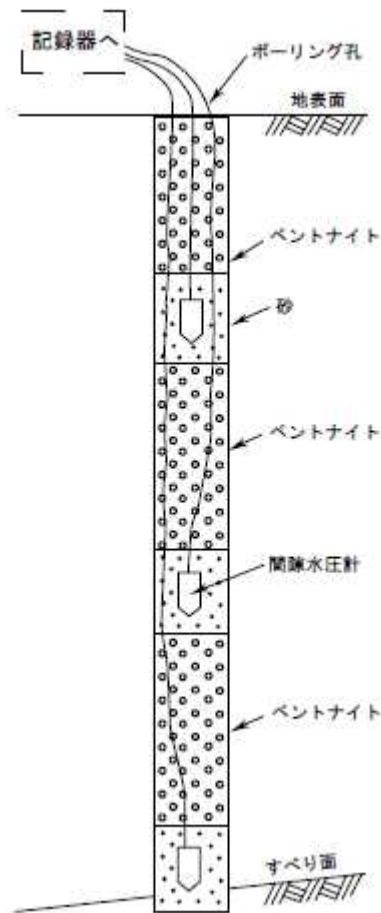
地下水位観測の結果は、当日の降雨量及び地表変動量との対照図として整理し、地すべり移動との相関性の有無の検討や地すべり対策工を検討する際の基礎資料とする。



## ② 間隙水圧測定

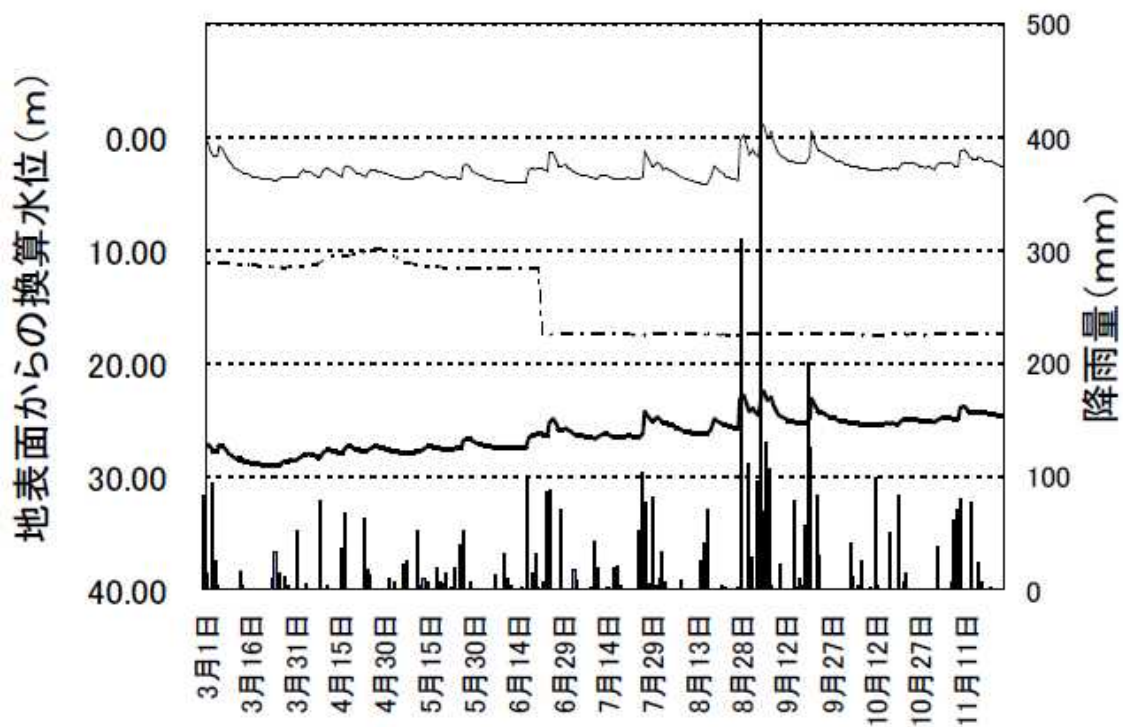
すべり面付近の間隙水圧を観測する方法には、直接的に間隙水圧計により測定する方法と、すべり面付近のみにストレーナ加工を施した地下水位専用孔（部分ストレーナ孔）で間隙水圧の測定を行う方法がある。いずれの方法を用いるにしても、事前のすべり面と流動層の把握が重要である。また、地すべり地内の地下水文状況が複雑である場合、複数深度における被圧地下水帯の間隙水圧を計測することが必要となる（図 4-24）。

図 4-25に間隙水圧の測定例を示す。



(出典：地すべり防止技術指針及び同解説)

図 4-24 埋設型間隙水圧計（複数深度で計測する場合）



(出典：地すべり防止技術指針及び同解説)

図 4-25 間隙水圧の測定例

(2) 地下水分布調査

ボーリング孔を利用する調査として①～⑤、面的な調査として⑥～⑨に示す方法がある。

① ボーリング掘削中の水位変動（試錐日報）

地すべり地では、ボーリング調査中に孔壁崩壊や押し出しなどを生じる可能性が高く、掘進深度までケーシングを挿入するケースが多く見られる。この場合、掘進先端部分のみの地下水文状況を把握することができ、ボーリング掘削中の水位変動から地下水文状況を評価することができる。

ケーシング挿入深度、ボーリング掘削前後の水位差などを解析することによって、被圧地下水帯や透水層・漏水層などの判断を行うことができる。に、ボーリング掘削中の水位変動の整理例を示す。この図によれば、10月5日の作業開始前の水位は10月4日の作業終了時の水位よりも高い水位となった。このことより、深度4.0～7.0mには地下水帯が分布していると推定できる。

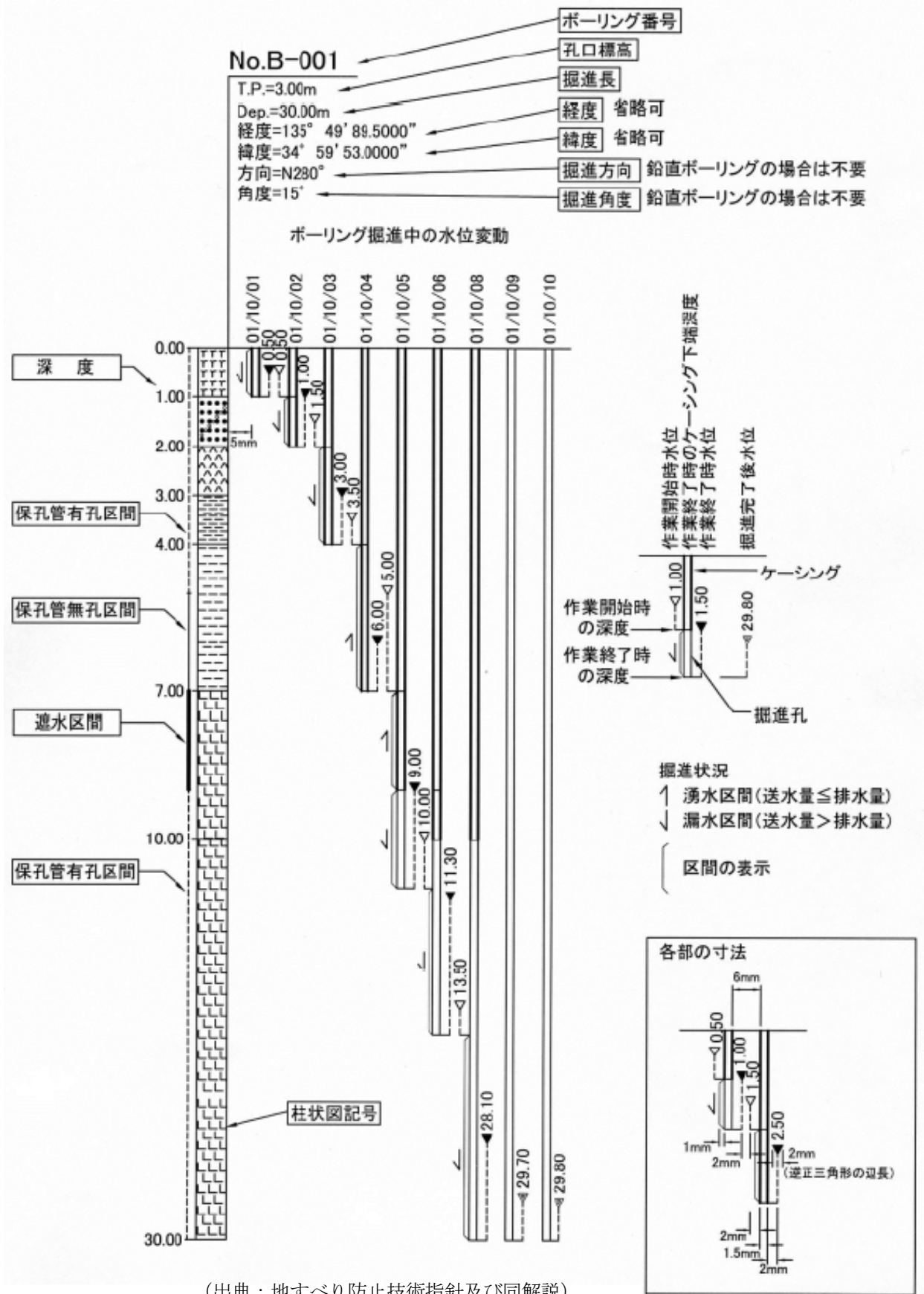


図 4-26 ボーリング掘削中の水位変動 (試錐日報) の記載例

## ② 地下水検層

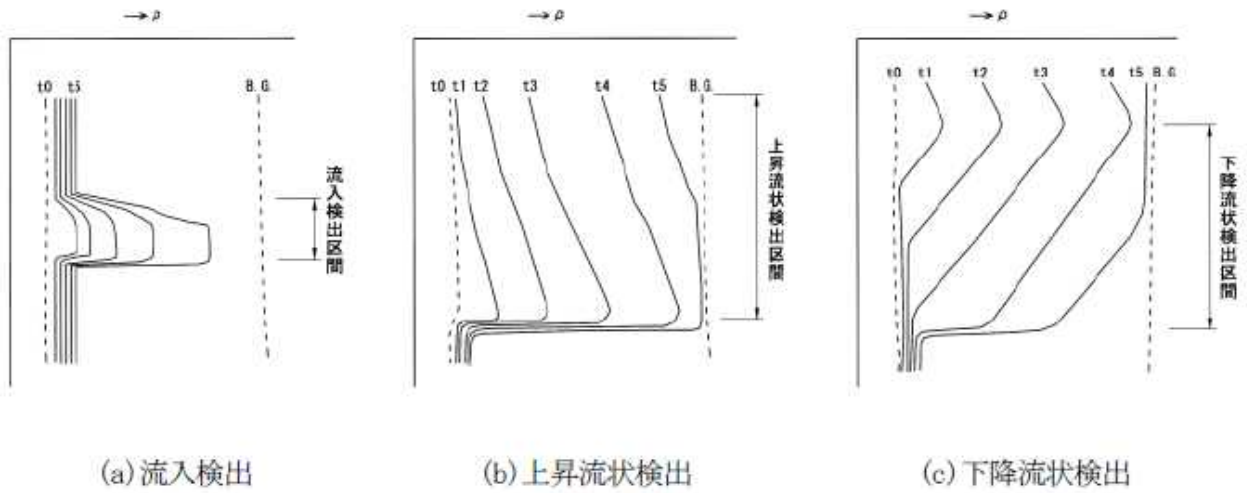
地下水検層は、調査ボーリング孔の孔内水を利用して、地下水の流動層の位置及び流動状況を調査ボーリング孔に沿って調査、解析するものである。測定手順は、あらかじめボーリング孔内水の電気抵抗値を測定し、この値の約1/10程度の電気抵抗値になるように食塩等の電解物質を孔内に均一に注入する。地下水の流動面では、食塩水は流動地下水により希釈され抵抗値が増加することから、これを時間の経過にしたがって測定することにより流動層の確認を行う。計測部は電極を25cm毎に付けたコードの多極式と、電極が先端部のみについた単極式のものがある。これをボーリング孔内に挿入し、静置した状態で食塩水投入後、10、20、30、60、120、180分の時間間隔で孔内水の電気抵抗値を測定することを原則とする。バックグラウンド程度まで希釈が進んだ場合は測定を中止してよい。また、試験区間長が長く一度で測定できない場合は、区間を分割して実施する。

ボーリング孔が不透水層を突き抜けてしまった場合には、すべり面下に水位が降下するために真の地下水位、流動層が検出できない場合があり、このような場合が予想されるときには、ボーリング掘進の段階毎に地下水検層を行うこともある。また、孔内水位を人為的に変化させることによって、自然状態では潜在的であった流動層を把握することも可能である。

結果は、食塩投入直後または10分後を基準として、時間毎の抵抗値の変化を地質柱状図に対比させて記入し、地下水流動層の位置及び地層との関連を検討する。また、地層断面図にこの結果を記入しておけば、地下水の流動経路が更に明確になる。地下水検層結果は、表 4-9、図 4-27をもとに「流入検出」、「上昇流状検出」、「下降流状検出」、「非検出」、「その他」のいずれかの判定を行う。図 4-28に地下水検層及びその判定例を図示する。地下水流動層は地下水検層結果のみならず、ボーリング掘進中の水位変動、簡易揚水試験結果、ボーリングコアの性状をもとに総合的に判定する必要がある。

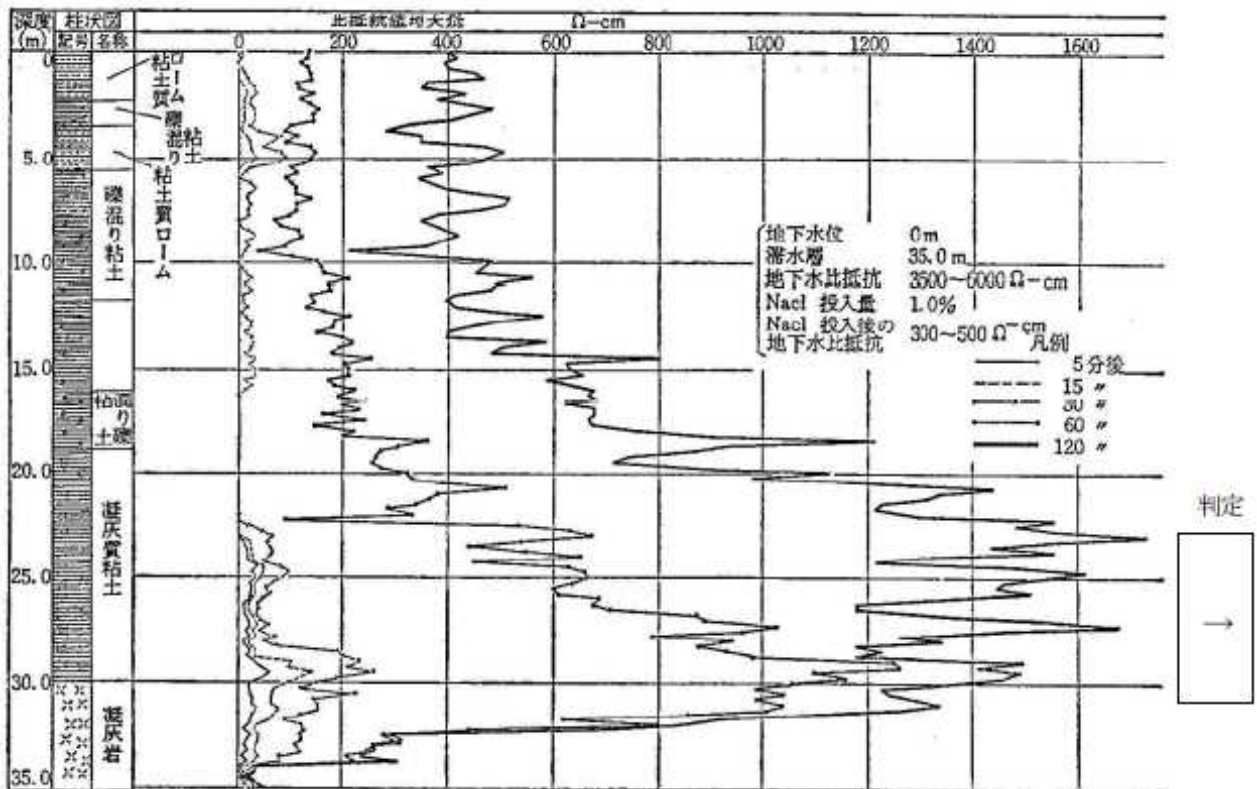
表 4-9 地下水検層結果の判定区分

地下水検層結果	図模様	備考
流入検出	→	図4-26(a)に示すように地下水の流入が認められる区間
上昇流状検出	↑	図4-26(b)に示す変化が認められる区間
下降流状検出	↓	図4-26(c)に示す変化が認められる区間
非検出		比抵抗値にほとんど変化が認められない区間
その他		流入検出、上昇流状検出、下降流状検出、非検出以外の区間



(出典：地すべり防止技術指針及び同解説)

図 4-27 地下水検層結果の判定



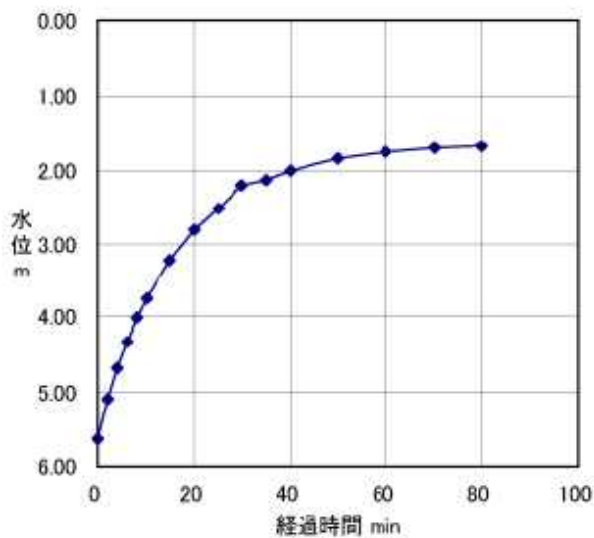
(出典：地すべり防止技術指針及び同解説)

図 4-28 地下水検層測定結果

### ③ 簡易揚水試験

簡易揚水試験は、調査ボーリングの孔内水位を利用して、地下水流動層及び地盤の透水係数を求めるものである。

調査方法は、ボーリング掘削にあたって3～5m毎程度に、ポンプもしくは簡易な採水器により孔内水を一定水位になるまで汲み上げて、その汲上量を求めるものである。一定水位に達した後汲み上げを中止し、時間～水位回復曲線を求める。この回復曲線にヤコブ式を適用して、深度区間毎の土層の透水係数を算出する。地下水検層試験で良好な結果が得られない場合にも、簡易揚水試験では良好な結果が得られることもあるので、簡易揚水試験を行っておくことが望ましい。



試験区間 6.00～9.00m  
 試験前水位=1.65m  
 揚水水位=5.00m  
 揚水量=1.14ℓ/min=19.0cm<sup>3</sup>/sec  
 帯水層厚(m)=300cm  
 水位回復量(ΔS)=346.735cm

$$\begin{aligned} \text{透水係数 (K)} &= \frac{0.183 \times Q}{\Delta S \times m} \cdot \log \frac{t'}{t} \\ &= \frac{0.183 \times 19.0}{346.735 \times 300} \\ &= 3.3 \times 10^{-5} \text{ cm/sec} \\ &= 3.3 \times 10^{-7} \text{ m/s} \end{aligned}$$

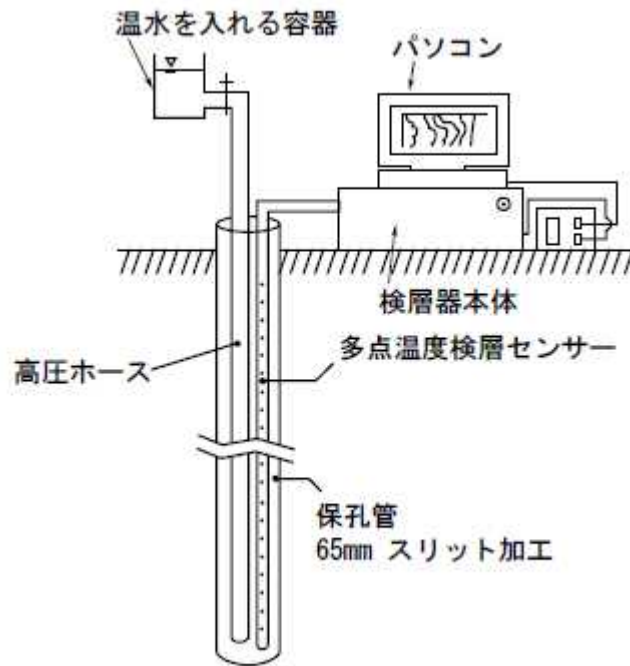
図 4-29 時間－水位回復曲線と透水係数の算出方法

### ④ 地下水温度検層

地下水温度検層は、ボーリング孔内水を温水に置換し、地下水流入に伴う温度変化によって、地下水流動層の位置及び流動状況を調査、解析するものである。

現在、多点に計測できるセンサ・計測システムが開発され、短時間で計測・解析が可能である。

図 4-30に多点温度検層装置の概要を示す。



(出典：地すべり防止技術指針及び同解説)

図 4-30 多点温度検層装置概要図

#### ⑤ 孔内流向・流速測定

地下水の流向や流速を調査する方法として、①プロペラの付いた流向・流速計を用い、直接計測する方法、②地下水内を流動する不純物（トレーサ）を孔内カメラによる目視で追跡し、速度・方向を調査する方法、③各種トレーサ物質について機械的に計測する方法、などが提案されている。流速が遅い場合、①・②の方法は水流の乱れにより計測が困難であることから、③の方法が用いられている。

#### ⑥ 地下水追跡調査

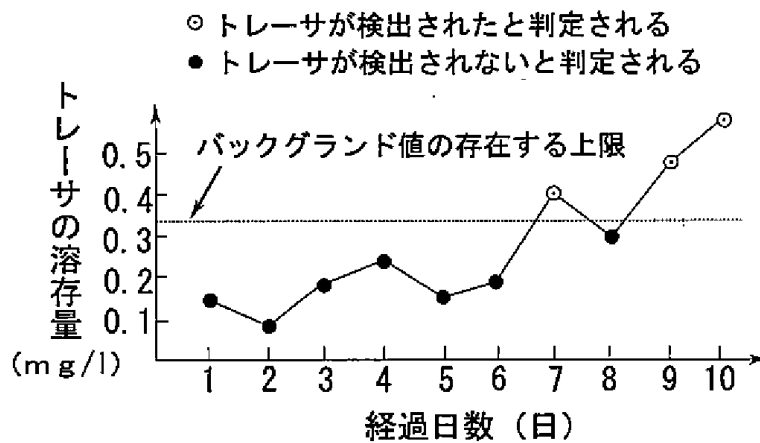
地下水追跡は、調査ボーリング孔等を利用して地下水中に水溶性の色素、食塩をはじめ無機薬品等のトレーサを投入し、これを湧水、ボーリング孔、井戸、溪流等で検出することにより、流下経路（流動方向）を推定するために実施するもので、検出は事前に測定した各採水位置のバックグラウンド値と比較することによって行われる。

トレーサ投入地点は斜面上部に選び、確実に流出させるため多量の水を注入して、その水頭で浸透を容易にさせる必要がある。採水は関係する地域の全域にわたりできる限り多くのボーリング孔、湧水箇所、井戸、溪流において行うが、ボーリング孔による場合、透水層が水面下にあるときはトレーサの拡散が遅く、地下水流動層まで達するのが遅れたり、濃度が薄くなり不明とな

る場合も考えられるので、地下水検層の結果を参照し、透水層の位置で採水するのが望ましい。そのため、任意の深度で採取できる採水器具を使用するとよい。トレーサ投入後の採水は、第1日目は投入後それぞれ0.5, 1, 2, 4, 8時間後、第2日目以後は毎日1回とし、最低20日間は実施する。個々の採水点におけるトレーサの検出結果と検出時間を平面図上にプロットすれば、地下水の流動経路がはっきりする。なお、トレーサは無害のものを使用し、調査実施前に少なくとも1週間程度1日1回のバックグラウンド濃度を測定し、その分散値を超えるような値をもって検出したものとする。

近年、人体に無害で土中に吸着されにくい溶存酸素をトレーサとする方法が開発され、成果をあげている。

地下水追跡調査により、トレーサ投入孔と採水孔との距離及び検出時間から透水係数を推定し、地下水排除工の設計の基礎資料とすることもできる。



(出典：地すべり防止技術指針及び同解説)

図 4-31 トレーサの検出結果図

#### ⑦ 地下水追跡調査

電気探査は、広域的な地下水分布状況を把握する目的で実施されることが多く、一般には比抵抗法が用いられることが多い。

地盤の比抵抗は、岩石や土の組成、破碎帯及び亀裂に伴う間隙率、飽和度、地下水の比抵抗、風化及び変質に伴う粘土鉱物含有量などによって変化する。したがって電気探査を行うことによって地すべり土塊の特性を明らかにできる場合もある。



## ⑧ 地温探査

地すべり地で湧水地点及び排水ボーリング孔の排水温度を長期間測定すると、水温は年間を通して±2°C程度安定した値を示すが、一方で地表面の温度は1m深で±10~13°Cの大きな変化を示すことが多い。すなわち、地表面と流動地下水の存在する地温との間には温度差があり、これを調査することによって地下水脈の存在位置を推定するものである。

1m深の地温の計測はサーミスタ温度計を鉄棒で空けられた孔の孔底の地中に差し込み、温度計部が地温と同化した5~10分後に測定を行う。

## ⑨ 水質調査

陸水の水質によって地すべり地に分布している地下水を分類し、その性質を比較・検討することにより、地下水の流動経路や表流水と地下水の関係を推定するものである。一般に地下水は降雨が浸透して短期間に湧出してくる浅層地下水と長期間地中に滞留している深層地下水に分かれる。

浅層地下水は、その滞留時間が短いためその水質組成が陸水のそれと近似しており、主として移動層厚の薄い地すべりや崩壊地、大規模な地すべりの末端や道路切土斜面などによく見られる。深層地下水には、基盤岩内の亀裂、断層、破碎帯を流れるものと、基盤岩の表面の地形に沿って流れるものに区分できる。後者は浅層地下水と前者の中間的な性質を持ち、両者の混合したものと考えてよい。

調査は、地すべり及びその周辺の地下水の露頭（湧水、井戸、ボーリング孔、池沼、溪流など）からそれぞれ1リットル程度採水して、それぞれの性質を水質試験によって確認し、地下水の流路を推定する。一般に試験項目は、水温、pH、EC、BOD、HCO<sub>3</sub>、Cl、SO<sub>4</sub>、SiO<sub>2</sub>、Ca、Mg、Na、K 等国土調査法に基づく水質調査作業規定基準則に従って行われることが多いが、地すべり工事が周辺の水利用に与える影響を評価する場合には、各種環境基準の評価に必要な項目を追加する。

## 4.7 土質調査

土質試験においては、すべり面強度あるいは対策工設計に必要な地盤強度を把握する。  
すべり面強度の把握のためには、目的に応じて、一面せん断試験・三軸圧縮試験・リングせん断試験等の土質・岩石試験を行う。  
対策工設計に必要な地盤強度の把握のためには、孔内水平載荷試験、標準貫入試験等を行う。

### 《解説》

試験試料はボーリングコアを用いる場合が多いが、地すべりの滑落崖や末端、集水井や排水トンネル等の施工によってすべり面の露頭が見出された場合にも実施しておくといよい。

せん断強度には、ピーク強度、完全軟化強度、残留強度があるが、これらのうちどの値を実際の地すべりの安定解析に適用すべきかについては、調査研究がなされてはいるものの明確な答えは得られていない。また、すべり面全体におけるせん断強度のバラツキも想定される。そのため、「計画編1.2.2 土質強度定数」で述べるとおり、いわゆる逆算法が用いられている場合が多い。土質強度定数によっては、地下水排除工の効果の評価が大きく異なることになるため、土質試験によるせん断強度定数は参考値に留める場合が多い。

対策工の設計に必要な強度を把握する調査には、地盤反力係数を求めるための孔内載荷試験、標準貫入試験等がある。

### 4.7.1 物理試験

物理試験は、土の物理的性質を調査するために実施されるもので、地すべり調査では主としてすべり面について含水比試験、粒度試験、液性・塑性限界試験、湿潤密度試験などが実施されている。また、物理試験は力学試験に比べて短時間で結果を得ることができるため、ボーリングコアを用いた深度方向の物性値を、柱状図と対比して表示することによって、すべり面を判定できることもある。

### 4.7.2 一面せん断試験

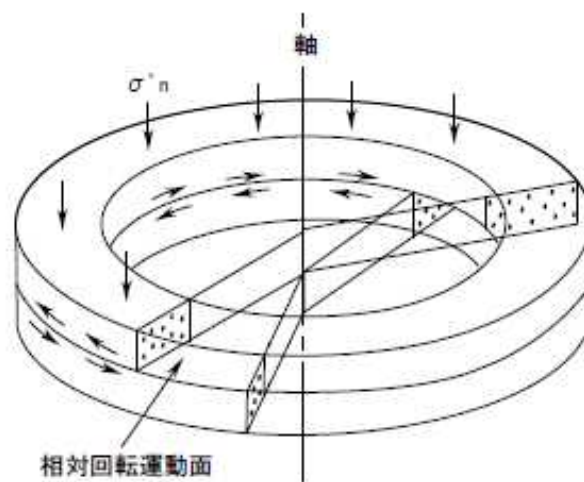
すべり面粘土の一面せん断試験は、上下に分かれたせん断箱に供試体を納め、垂直応力を載荷した状態で、せん断箱の一方を他方に対して直線的に水平移動させてせん断する試験で、数個の供試体に対して異なる圧密応力下で試験を行えば、強度定数  $c$ 、 $\phi$  を求めることができる。残留強度を求めるための繰り返し一面せん断試験機も提案され、実用化されている。

#### 4.7.3 三軸圧縮試験

三軸圧縮試験の供試体は、直径3.5～5.0cm、高さ8.0～12.5cmの円筒形で、圧縮することで間接的にせん断強度を求める試験であり、供試体に作用する応力や間隙水圧を制御することができる。しかし、供試体高さの15%程度しか圧縮することができず、残留強度の計測ができないなどの欠点もある。

#### 4.7.4 リングせん断試験

すべり面粘土のリングせん断試験の供試体は、中空リング状になっており、内径6.0～10.0cm、外径10.0～20.0cm、高さ1.0～2.0cmのものが多い。この試験の特徴として、せん断がリングの円周方向に進行するため、無限大のせん断変位を与えることができ、大変位が生じたすべり面粘土の強度特性（残留強度）の再現性が高いとされている。



(出典：地すべり防止技術指針及び同解説)

図 4-32 リングせん断試験器

#### 4.7.5 試料種類・強度別の試験機選定

表 4-10は、試験試料に応じた強度別の試験機選定について示している。

ピーク強度は、不攪乱試料を用いて三軸圧縮試験で求める場合が多いが、繰返し一面せん断試験、リングせん断試験においても求めることは可能である。完全軟化強度は、スラリー試料を用いた三軸圧縮試験により求める場合が多いが、スラリー試料または不攪乱試料を用いた繰返し一面せん断試験、リングせん断試験でも求めることは可能である。残留強度は、三軸圧縮試験では測定不可能であり、繰返し一面せん断試験、リングせん断試験のいずれかを用いて計測する必要がある。また、すべり面を含んだ試料は、すべり面の強度状態を、より現実的に再現できるものであるが、試験機へのセットが困難であるという難点がある。

これらについては、地すべりの活動状況などから判断し実施する。

表 4-10 試料種類・強度別の試験機選定

強度 試料	ピーク強度	完全軟化強度	残留強度	せん断試験法
不攪乱	○、 $\overline{CU}$	×	×	三軸圧縮
	△、 $CD$ 、III	△、 $CD$ 、II	○、 $CD$ 、I	繰返し一面せん断
	△、 $CD$ 、III	△、 $CD$ 、II	○、 $CD$ 、I	リングせん断
スラリー	×	○、 $\overline{CU}$	×	三軸圧縮
	×	△、 $CD$ 、III	○、 $CD$ 、I	繰返し一面せん断
	×	△、 $CD$ 、III	○、 $CD$ 、I	リングせん断
プレカット	×	×	×	三軸圧縮
	×	×	○、 $CD$ 、II	繰返し一面せん断
	×	×	○、 $CD$ 、II	リングせん断
含すべり面	△、 $\overline{CU}$ 、あるいは $CD$			三軸圧縮
	○、 $CD$ 、II			繰返し一面せん断
	○、 $CD$ 、II			リングせん断

測定強度

○：利用可能

△：場合によっては利用可能

×：利用不可能

試験条件

$CU$ ：圧密非排水

(間隙水圧測定)

$CD$ ：圧密排水

せん断変位量

I：かなり大きくする

II：大きくする

III：少なくてもよい

## 第5章 解析

予備調査、概査及び精査の結果に基づき、地すべり発生の素因、誘因、地すべりブロックの範囲・規模、すべり面形状・位置、地下水の状況等の地すべり発生・運動機構について考察し、地すべり運動ブロック図と地すべり断面図を作成する。

《解説》

解析においては、表 5-1に示す調査の結果に基づいて地すべりの機構解析を行い、地すべり運動ブロック図と地すべり断面図を作成する。

表 5-1 解析項目と利用する調査

		利用する調査							
		予備調査	現地踏査	地形図の作成	地質調査	すべり面調査	地表変動調査	地下水調査	土質試験
解析項目	地すべり運動ブロック図の作成								
	地すべり運動ブロック図	○	○	○			○		
	土地利用・構造物等	○	○						
	地すべり地形の特徴		○	○					
	各種調査観測位置と結果				○	○	○	○	
	すべり面等高線図		○	○	○	○	○		
	地すべり断面図の作成								
	地質断面図	○	○		○				
	地下水位分布		○					○	
	土地利用・構造物等	○	○						
	地すべり断面形状の特徴		○	○	○	○			
	各種調査観測位置と結果				○	○	○	○	
	地すべりの機構解析	○	○	○	○	○	○	○	○

(出典：地すべり防止技術指針及び同解説)

## 5.1 地すべり機構解析

地すべりの機構解析は、調査結果を対策計画に反映させるために、地すべり調査結果を総合的に解析し、地すべり発生の素因、地すべり発生の誘因、地すべりブロックの範囲・規模、すべり面形状・位置、地下水について考察し、地すべり運動ブロック図、地すべり断面図を作成する。また、対策計画についての考え方を述べるとともに、各調査結果を添付するものとする。

### (1) 地すべり発生の素因

一般に地すべり地は地すべりを発生しやすい素因を有し、人為的誘因による地すべりであってもその発生要因はほとんどの場合自然的要因に起因することが多い。具体的な素因としては、地形・地質（土質）、地質構造、地下水の状態等が挙げられる。

### (2) 地すべり発生の誘因

前述した地すべり発生の素因を有する地区で、集中豪雨・梅雨期等の多雨期ならびに融雪等による出水や地震及びその他種々の自然環境の変化（河川による末端洗掘・地すべり地内における地表・地下水の流路変化・閉塞等）があった場合、これが誘因となって地すべりが発生する。

一方、前述の素因を有する地区で、地すべり頭部における盛土（頭部載荷）や末端部における切土（末端抵抗の削減）や斜面の水没等が行われた場合、これが人為的誘因となって地すべりが発生する。また、火山地帯では火山ガス等による温泉変質作用により発生することがある。

### (3) 地すべりブロックの範囲、規模

特に地表変動調査の結果を中心として、全体の地すべり範囲の決定ならびに変動形態によってブロック区分を精査し、それらの運動方向と移動状況を降水量等との関連を考慮して考察する。

また、各ブロックの面積及び土量を考察する。各調査結果に基づいて、これらのブロックの今後の移動の可能性やその範囲を考察する。

### (4) すべり面形状、位置

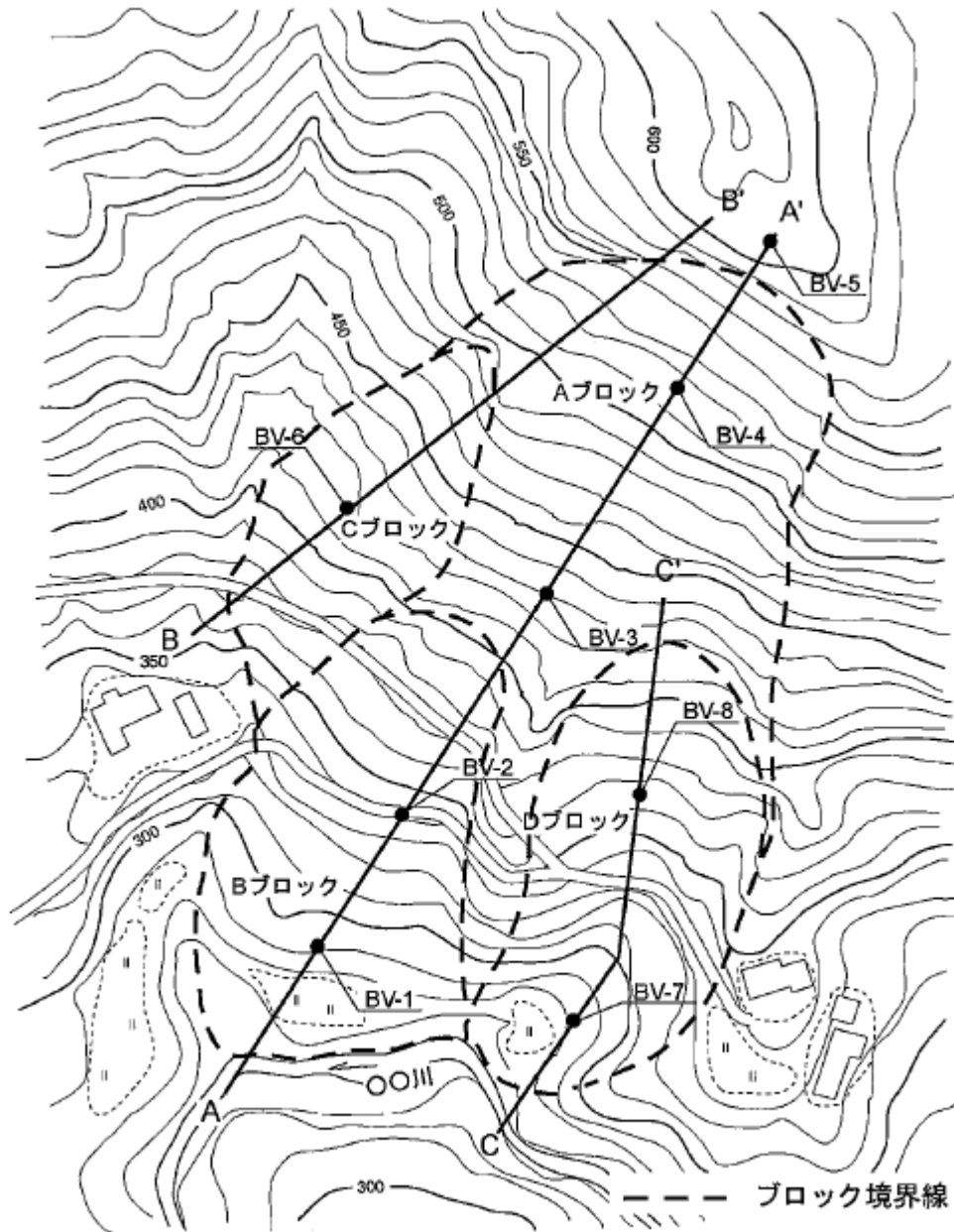
すべり面調査の結果を中心として、すべり面の形状とその位置（深度）、地質・地質構造との相関性を考察する。

### (5) 地下水調査結果

地下水調査の結果を中心として、地下水分布・地下水位の変化状況・地下水の流動方向・水質区分等と地すべり滑動との相関性を検討する。

## 5.2 地すべり運動ブロック図

地すべり運動ブロック図は解析の基本資料とし、地形図上に運動ブロックを記入する(図 5-1)。作成方法として、地形図上に予備調査、概査及び精査の結果から得られた地すべり運動ブロックを破線等で記入する。また、必要に応じてすべり面分布を示すすべり面等高線図を作成することもある。対策計画を検討した後では、対策工と主要諸元も合わせて記入する。



(出典：地すべり防止技術指針及び同解説)

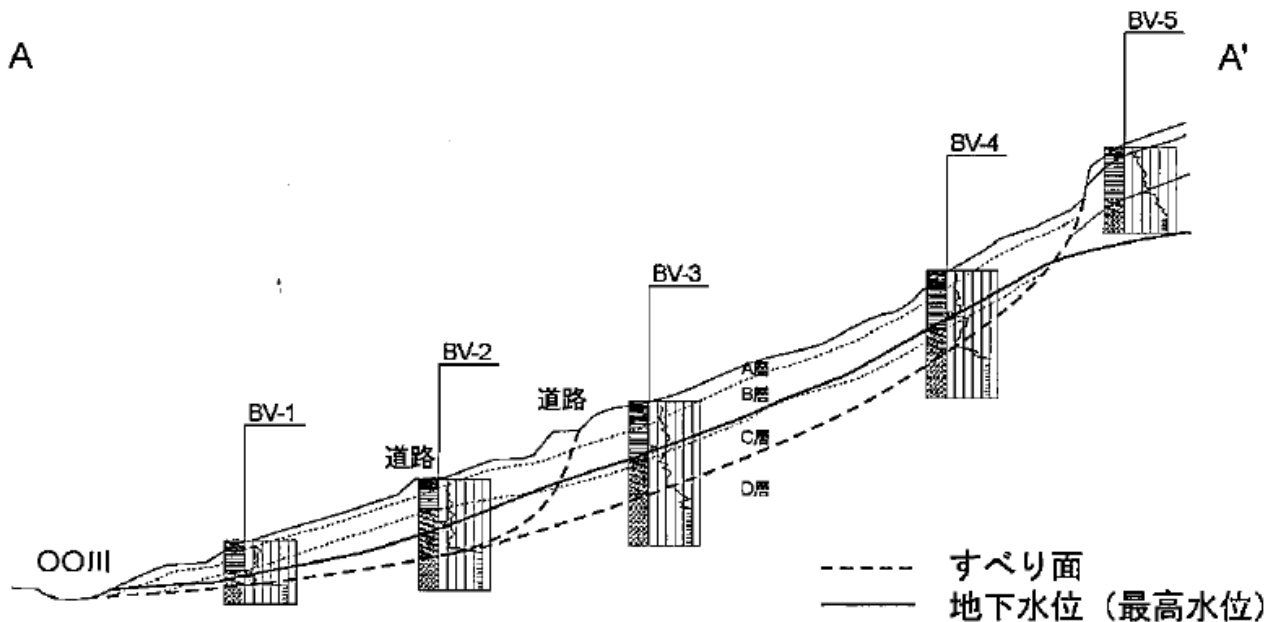
図 5-1 地すべり運動ブロック図の例

### 5.3 地すべり断面図

地すべり断面図は、地質断面図上に調査結果を記入する。

作成方法としては、原則として地すべり運動方向に一致する主測線に沿った地すべりの地質断面図を作成し、推定されたすべり面や地下水位、亀裂の位置等を記入する。地質断面図は、ボーリング、その他の調査結果を十分検討した上で記載する。また、必要に応じて副測線や地すべりの横断測線についても断面図を作成する。

本図には、地すべり発生前の断面図がこれを記入し、併せて地下水検層の結果より判定された帯水層の位置、ボーリング孔毎に観測された最高水位・最低水位等も記入する。縦断面図は、測線に沿って縮尺 1/200 または 1/500 程度（縦・横同一縮尺）のものを作成し、地表面傾斜の変化点、亀裂、段差、池沼、凹地、台地、調査ボーリング地点、各種計測器の位置及び表土、基岩の層順と傾斜、基岩と崩積土の区分、土質、断層、破碎帯の分布等を記入する（図 5-2）。



(出典：地すべり防止技術指針及び同解説)

図 5-2 主測線地質断面図の一例