ISSN　0386-5878
土木研究所資料第 4077 号

土 木 研 究 所 資 料

地すべり防止技術指針及び同解説（提案）

平成１９年９月

独立行政法人土木研究所
土砂管理研究グループ
地 す べ り チ ー ム

土 木 研 究 所 資 料
第 4077号　2007 年 9 月

地すべり防止技術基準及び同解説（提案）

土砂管理研究グループ　地すべりチーム

要　旨

地すべり現象は、地形、地質、地質構造等、地すべりのおかれている環境によって挙動が異なり、事態の進展に対する予測が難しい。このため、地すべり対策に際しては、地すべりの特徴を的確に把握し、臨機応変に効果的な対策を実施する必要がある。

地すべり災害を防止するためには、適切な調査、計画、設計、施工のほか、緊急時の調査や工事実施後の点検・観測が必要となる。本資料は、地すべり防止計画を策定するに際しての標準的な手法と留意点を示すものである。

キーワード：地すべり、災害、地すべり防止計画

【　目　次　】

第１章　総説
１．１．指針の目的と内容　・・・・・・　1
１．２．指針の適用　・・・・・・　1
１．３．指針の構成　・・・・・・　2

第２章　調査
２．１．総説　・・・・・・　3
２．２．予備調査　・・・・・・　4
２．２．１．予備調査の概要及び目的　・・・・・・　4
２．２．２．文献調査　・・・・・・　4
２．２．３．地形判読調査　・・・・・・　5
２．３．概査　・・・・・・　7
２．３．１．概査の概要及び目的　・・・・・・　7
２．３．２．現地調査　・・・・・・　7
２．４．精査　・・・・・・　10
２．４．１．精査の概要及び目的　・・・・・・　10
２．４．２．地形調査　・・・・・・　12
２．４．３．地質調査　・・・・・・　12
２．４．４．すべり面調査　・・・・・・　17
２．４．５．地表変動調査　・・・・・・　27
２．４．６．地下水調査　・・・・・・　33
２．４．７．土質試験　・・・・・・　43
２．５．解析　・・・・・・　46

第３章　計画
３．１．地すべり防止計画　・・・・・・　51
３．１．１．総説　・・・・・・　51
３．１．２．保全対象の特定　・・・・・・　51
３．１．３．計画安全率の設定　・・・・・・　52
３．１．４．警戒避難対策　・・・・・・　52
３．１．５．環境への配慮　・・・・・・　53
３．２．地すべり防止施設配置計画　・・・・・・　54
３．２．１．総説　・・・・・・　54

3．2．2．斜面安定解析 ・・・・・・ 55
3．2．2．1．土質強度定数 ・・・・・・ 56
3．2．2．2．間隙水圧 ・・・・・・ 57
3．2．3．工法の選定 ・・・・・・ 58
3．2．4．抑制工の計画 ・・・・・・ 60
3．2．5．抑止工の計画 ・・・・・・ 64
3．3．工事に際しての安全対策 ・・・・・・ 65

第4章　緊急時の調査・危機管理基準
4．1．総説 ・・・・・・ 67
4．2．緊急時の調査 ・・・・・・ 67
4．2．1．現地調査 ・・・・・・ 67
4．2．2．地すべり運動の予測 ・・・・・・ 70
4．3．緊急時の管理基準値の設定 ・・・・・・ 79
4．4．応急対策 ・・・・・・ 83

第5章　設計
5．1．総説 ・・・・・・ 87
5．2．抑制工の設計 ・・・・・・ 87
5．2．1．地表水排除工 ・・・・・・ 87
5．2．2．地下水排除工 ・・・・・・ 91
5．2．3．排土工 ・・・・・・101
5．2．4．押え盛土工 ・・・・・・103
5．2．5．河川構造物による侵食防止工 ・・・・・・104
5．3．抑止工の設計 ・・・・・・105
5．3．1．杭工 ・・・・・・105
5．3．2．シャフト工 ・・・・・・110
5．3．3．アンカー工 ・・・・・・112

第6章　工事実施後の地すべり斜面に対する点検・観測
6．1．総説 ・・・・・・119
6．2．点検 ・・・・・・119
6．3．観測 ・・・・・・119
6．4．資料・記録の保管 ・・・・・・120
6．5．地すべり防止計画への反映 ・・・・・・120

第７章　地すべり防止施設の機能維持
７．１．総説　・・・・・121
７．２．点検　・・・・・121
７．３．観測　・・・・・122
７．４．付帯施設　・・・・・122
７．５．資料・記録の保管　・・・・・123
７．６．地すべり防止施設の機能低下判定　・・・・・123
７．７．修繕等　・・・・・124

巻末参考
１．地すべりの発生要因　・・・・・129
１．１．地すべりの素因　・・・・・129
１．２．地すべりの誘因　・・・・・131
１．３．地すべり地形　・・・・・132
１．４．すべり面形状　・・・・・136
１．５．すべり面の構造　・・・・・138
２．地すべり地の地下水　・・・・・139
３．地すべりの分類　・・・・・140
４．「RE・MO・TE^2」について　・・・・・143
４．１．「RE・MO・TE^2」の概要および目的　・・・・・143
４．１．１．「RE・MO・TE^2」の概要　・・・・・143
４．１．２．「RE・MO・TE^2」の目的　・・・・・144
４．２．適用条件　・・・・・145
４．２．１．対象斜面　・・・・・145
４．２．２．計測地点　・・・・・145
４．３．使用装置の構成　・・・・・149
４．４．事前準備　・・・・・158
４．５．計測方法　・・・・・159

第１章　総説

１．１　指針の目的と内容

地すべり防止技術指針（以下、「本指針」）は、地すべり災害を防止するために、調査、計画、緊急時の調査・危機管理、設計、工事実施後の地すべり斜面に対する点検・観測、地すべり防止施設の機能維持を実施していく上の標準的な手法と留意点を示すものである。

なお、本指針における地すべりとは、土地の一部が地下水等に起因してすべる現象又はこれに伴って移動する現象をいう。

本指針の内容は、技術水準の向上などに応じて随時改定を行うものである。

解説

地すべり現象は地形、地質、地質構造等の地すべりのおかれている環境によって異なることから、調査、計画等を実施するにあたっては、対象とする地すべりの特徴を的確に把握し効果的な対策を実施することができるよう、ここに記述した内容を参考として検討を行う必要がある。

すなわち、継続的な調査の結果、新たな情報が得られた場合には、調査、計画等の見直しが必要になることもある。また、地すべりの運動状況の変化に応じて、追加の調査、計画等が必要となる場合もある。断続的に地すべり運動が見られる斜面では、調査により得られた情報をもとに迅速に解析を行いながら、適切な対策等を進めていくべきことを十分に認識しておく必要がある。

１．２　指針の適用

地すべりは地中深いところで発生する自然現象であり、全てを予測することは困難であるため、調査・計画・対策工事の実施にあたっては、地すべり現象に応じて対応することが大切である。

このため、本指針を適用すれば不合理となる場合においては、適用しないことができる。

また、所期の目的を十分に達成する、より適切な手法が存在する場合は、その採用を妨げるものではない。

１．３　指針の構成

本指針では、調査、計画、緊急時の調査・危機管理基準、工事実施後の地すべり斜面に対する点検・観測、地すべり防止施設の機能維持の章立てにより、各段階での標準的な手法と留意点を示した。

地すべり対策実施にあたっての限られた調査では地すべり運動とその特性を十分に把握出来ていない可能性もあるという意識を常に持ちつつ、本指針を参考として調査から維持管理までの地すべり対策事業の全体像を意識し、実務にあたる必要がある。

また、今まさに大きく滑動している、又はその恐れがある地すべりについては、応急緊急的な調査・対策によって一定の安全性を確保した後に、通常の調査、計画に移ることとなるため、緊急時の調査として第４章を章立てている。

解説

本指針の構成は、図１－１に示すとおりである。

地すべり対策の調査から施工後の施設の機能維持に至る一連の内容を、第２章、第３章、そして第５章から第７章に記載した。一方で、今まさに大きく滑動している地すべり、もしくはその恐れのある地すべりに対しては応急緊急的な対応が必要であり、第４章には緊急時の調査並びに危機管理基準に関する事項を記載した。

地すべり対策のための調査は限られたものであるため、地すべりの運動と特性を全て把握した上で対策を行うことは難しいのが現状である。そのため、施工中或いは施工後の観測・監視により、追加の工事が必要となる場合もある。このような背景から、本指針の各章は、第１章から第７章の一方的な流れではなく、必要に応じて地すべり運動の確認を行いながら、必要に応じて前の章に立ち戻ることもある。

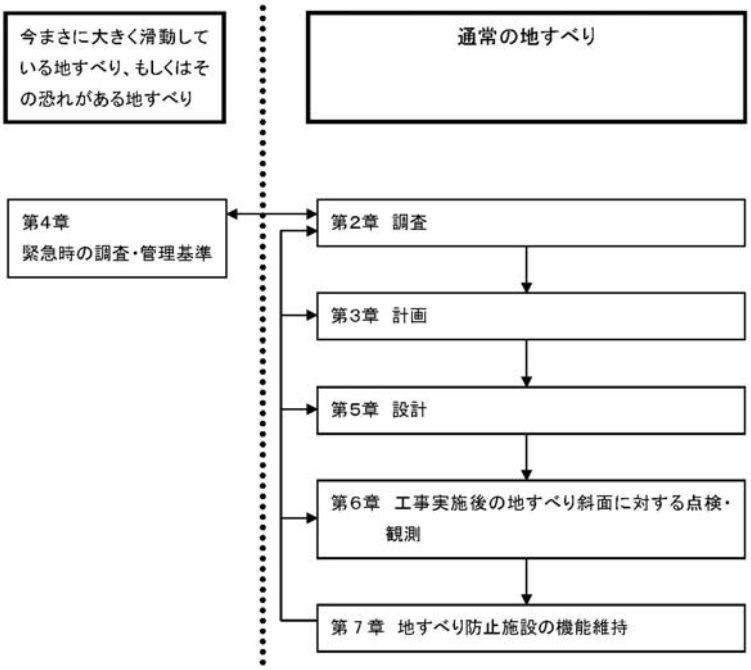


図１－１　本指針の構成

第２章　調査

２．１　総説

地すべり調査は、地すべり防止計画を策定することを目的に実施する。必要に応じて、予備調査、概査及び精査に区分し、実施するものとする。

なお、地すべり防止計画は、地すべりによる災害から、国民の生命、財産及び公共施設等を守ることを目的として作成するものであり、河川砂防技術基準における地すべり防止計画をいう。

解説

地すべり調査で実施される予備調査、概査、精査の概要とそれぞれの関係を図２－１に示す。これら調査結果をもとに解析を行う。

なお、緊急に対策工を施工する場合については、現地踏査によって地すべりの範囲や活動状況を判断し、対策工事量を決定するために必要最小限のすべり面調査、地下水調査などを先行して実施することもある。

また、集水井掘削中の壁面の状況や、地下水排除工からの排水状況など、施工中や施工後の対策工から得られる情報も多く、対策工に緊急を要する場合や、地すべりの発生・運動機構の解明に長期間を要する場合などでは、地すべり調査を兼ねた対策工事を実施することも有効である。

「土砂災害警戒区域等における土砂災害防止対策の推進に関する法律」に基づく基礎調査（以下、基礎調査）は、広範囲を対象とし概ね５年毎に実施されるものであり、ここで述べている予備調査、概査及び精査とは対象範囲、実施時期が異なる。しかしながら、基礎調査は、予備調査、概査、精査と重複する部分もあることから、得られたデータは図２－１に示すように各調査の実施にあたって相互に活用を図る。

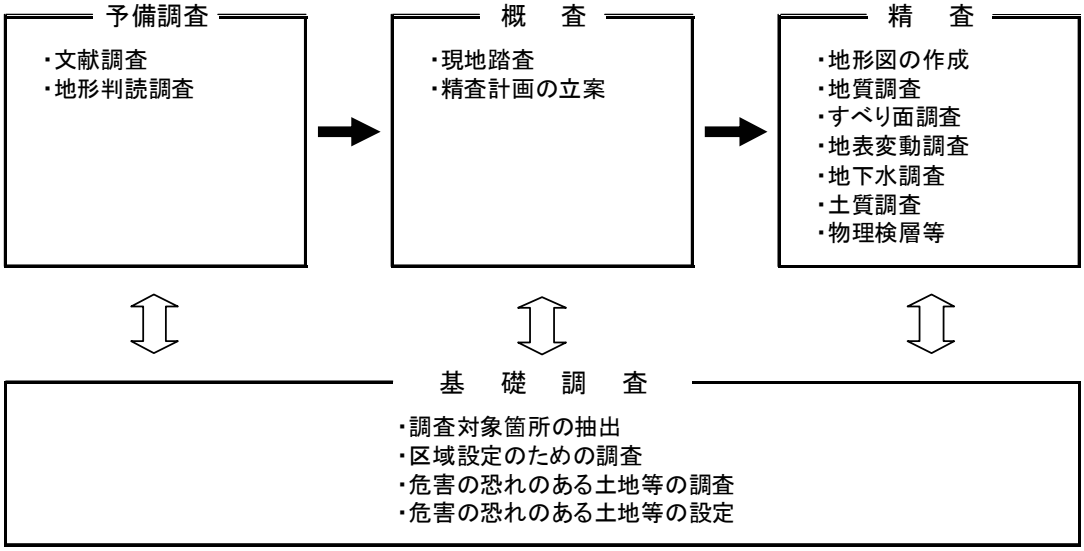


図２－１　地すべり調査の概要[1]に加筆

２．２　予備調査

２．２．１　予備調査の概要及び目的

予備調査は、広域における地すべり地の分布、地質、地下水状況等の概況を把握することを目的に実施する。

予備調査は、文献調査および地形判読調査により行う。

２．２．２　文献調査

文献調査は、地すべり特性を把握することを目的に、対象地域の地形、地質、気象、過去の地すべり履歴および近傍の地すべりの発生に関する情報の収集を行う。

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（巻末参考１．１参照）。したがって、文献調査で得られる地形・地質、気象、過去の地すべり履歴及び近傍の地すべり発生等の情報は、その地域での地すべりの発生及び運動の特性を把握する上で重要な手がかりとなる。

文献調査においては、下記に示すような資料を入手し、その地域の地形・地質、近傍の地すべりの発生記録、発生時の気象状況等の情報を抽出する。

(1) 地形・地質等の地盤条件に関する資料
　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）

(2) 過去の災害履歴、近傍の地すべり発生に関する資料
　1) 既存の工事誌、災害調査報告書、土質（地質）調査報告書
　2) 学会等の研究論文、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
　5) その他（地元住民からの聞き取り）

(3) 気象に関する資料
　1) 気象月報
　2) 各種観測所の観測資料

２．２．３　地形判読調査

地形判読調査は、空中写真および地形図等を用いて、広域における地形・地質上の特徴を知ることを目的に、地すべり地形および地質構造上の特性について調査するものとする。

解説

地形図及び空中写真等を用いて図２－２に示すような地すべり地形（巻末参考１．３参照）や地質構造上の弱線等を判読する。現地踏査では把握できない広域での地すべり地の分布を把握する上で非常に有用な方法である。

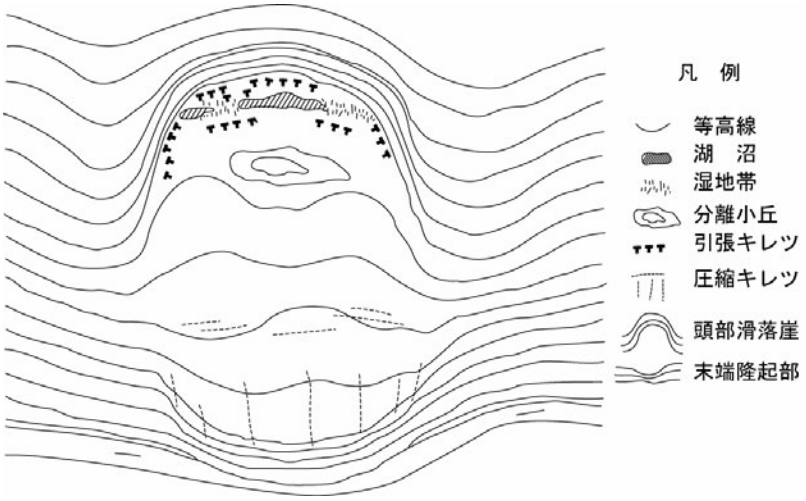


図２－２　地すべり地形模式図[2)]

ただし、過去に移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堆積地や河岸段丘を地すべり地形と見誤る場合があるので、現地踏査を実施して確認する必要がある。また、過去の移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得る場合等がある。

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、比較的入手しやすい。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）温泉余土等の火山性変質岩に属する地区

(2) 地質構造（巻末参考１．１参照）
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）侵食平坦面を下刻する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みられる。
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

２．３　概査

２．３．１　概査の概要及び目的

概査は、対策の緊急性を判断し、必要な場合には応急対策を策定する。また、精査を効率的に行うための精査計画を立案することを目的に、地すべりの範囲や規模、移動状況を確認する。

概査は、現地踏査により行うことを基本とする。

２．３．２　現地踏査

現地踏査は、予備調査結果を踏まえて調査計画や応急対策計画の立案のために行うものであり、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。

現地踏査は、特に、①地すべり範囲及び危険範囲の推定、②地質性状と地質構造、③微地形や大地形による地質構造の推定、④地下水分布の推定、⑤運動形態の推定、⑥誘因の推定、⑦今後の地すべり運動予測、⑧被害の予測に留意して行う。

解説

現地踏査時の留意点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を観察する。これらの観察結果と地すべり地内に発生している亀裂、隆起等の徴候から、地すべりの活動範囲、将来、活動の恐れがある地域、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、運動特性の推定に役立てられる。また、基岩の岩質、地すべり土塊の推定にも役立てられる。

周辺露頭の基盤の性状を調べることによって、基盤の一般的な層序、層位、走向及び傾斜を推定して、その地質構造上の地すべりの特性を推定することも可能である。周辺部の地盤に断層及び破砕帯等が存在する場合は、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が重要である。

(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、主として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（巻末参考１．３参照）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する。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、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（巻末参考１．２参照）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、慎重な検討が必要である。

1）地すべり末端部の河川等による侵食

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）水位の急激な下降時

7）地震、火山活動

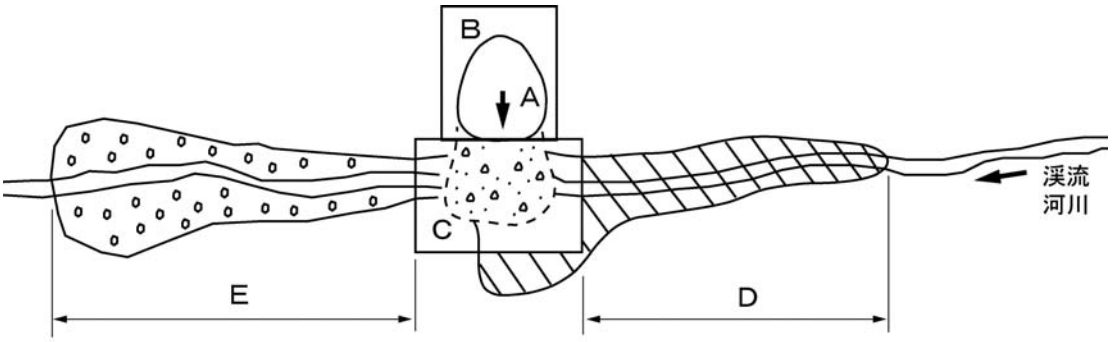
⑺ 今後の地すべり運動予測

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。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。

⑻ 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地すべりの活動が活発化する可能性が高い場合には、その地すべりの被害区域を想定し、この区域に対して、必要な措置（警戒・避難体制の確立等）を早急に講じる必要がある。被害区域は、地すべり周辺の地形をよく把握し、特に地すべりの上部斜面への拡大に注意する必要がある。舟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、降雨等によって活動が活発化する可能性が高いことに留意する必要がある。

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（図２－３参照）。



Ａ：地すべりブロック
Ｂ：Ａの区域と同一の素因を有する斜面
Ｃ：移動土塊の到達範囲
Ｄ：地すべり危険区域以外の湛水域
Ｅ：Ｃより下流の氾濫域

Ａ＋Ｂ　　：地すべり危険箇所
Ａ＋Ｂ＋Ｃ　　：地すべり危険区域
Ａ＋Ｂ＋Ｃ＋Ｄ＋Ｅ：地すべり被害想定区域

図２－３　地すべり被害想定区域の範囲例[3)]

⑼ 応急対策についての検討

現地踏査の結果、地すべりの発生機構、運動機構がほぼ推定され、その活発化や滑落が予測される場合には、地すべり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。

地すべりの発生機構（素因，誘因）及び運動機構（平面範囲、運動型、ブロック区分、移動方向、移動速度等）の概要の推定には、巻末参考の表参－１が参考となる。

２．４　精査

２．４．１　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。

精査は、目的に応じて、①地形調査、②地質調査、③すべり面調査、④地表変動調査、⑤地下水調査、⑥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割し、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２－１に示す。表２－１に示した内容は、予備調査及び概査の結果に基づいてあらかじめ推定し、必要性を十分検討した上で各調査を実施する。精査結果は、地すべり機構解析の元になるデータであり、精査計画立案時点においてどのような解析を実施するか十分に検討しておく必要がある。

表２－１は、標準的な調査項目、内容を示している。過去に調査が行われている場合や応急対策の必要な場合等で調査項目は異なるため、地すべりの状況に応じて調査項目を検討する必要がある。

表２－１　把握すべき内容と精査項目

		精査項目						
		地形調査	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	環境調査
把握すべき内容	① 地形・地質等に基づく地すべりの型（表参－１参照）	○	○					
	② 地質構造上の弱線帯	○	○					
	③ 運動ブロックの分割と各運動ブロックの到達範囲	○			○			
	④ 各運動ブロックの運動状況			○	○			
	⑤ 地すべり土塊の面積および量	○		○				
	⑥ すべり面の形状および位置		○	○				
	⑦ 地下水の分布・流動状況					○		
	⑧ 物性定数・その他		○				○	
	⑨ 地すべり地の自然環境	○						○

１）　運動ブロックの分割

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。精査計画を立案するためには、予備調査及び現地踏査の結果に基づき、いくつかの運動ブロックに分割する必要がある。

運動ブロックの分割は、地形、地質、想定される被害等を考慮して決定する。ブロック分割は、微地形と運動状況により行い､1つの頭部を含む斜面や引張亀裂に囲まれた斜面を1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、大局的にみてブロック分割をしたほうが良い場合もある。また、運動ブロックは精査結果により見直しを行う必要がある。

２）　調査測線の設定

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。

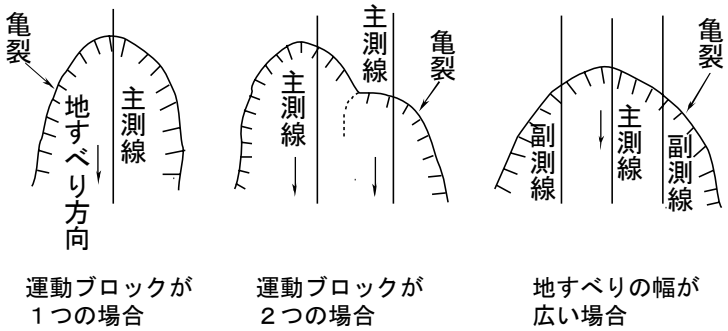


図２－４　調査測線の設定[1)]

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、地表変動及びすべり面等が具体的に確認でき、対策の基本計画及び基本設計を行うのに適した位置及び方向に設定される。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少にならないような位置で運動方向にほぼ平行に設定する必要がある。その際､斜面上部と下部の運動方向が異なる場合は、折線となることもある。

副測線は、特に地質構造及び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置する測線で、原則として主測線と平行に設定する。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程度の間隔で副測線群の設置を検討する。

２．４．２　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ような精度と範囲で作成する。さらに、必要に応じ、対象とす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

地形図には、調査及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。地形図の縮尺は、地すべりの長さが200m以下の場合は1/500程度，200m以上の場合は，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た上で、対象となる地すべりブロック及びその周縁部の範囲について地形図を作成する。図示すべき項目は、家屋、道路、各種構造物、河川（小渓流を含む）、崩壊地、沼地、湧水地点、湿地、亀裂、滑落崖、水田、畑などである。

対象とする地すべり周辺の地形や上部斜面の状況を把握するため、周辺部の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と良い。

作成された地形図は以後の地すべり対策の基本資料となり、調査計画から対策計画まで一貫して利用されるため、その範囲・精度については慎重に決定する必要がある。また、空中写真等で作成された地形図は正確な地形が現れない場合も多いことに留意する必要がある。近年ではレーザープロファイラーによる地形図作成が行われ、微地形が容易に判読できた事例もある。

２．４．３　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、地すべりの移動範囲を規制する抵抗部、支持力の大きな地層

また、地質調査では、主にボーリング調査が行われる。必要に応じて広域的な調査として弾性波探査等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。

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、オールコア採取を原則とし、調査後にボーリング孔を利用して、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・縦型伸縮計による調査、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、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な場合には、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２－５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、横断図、すべり面等高線、地下水位等高線等の作成に資するようにその配置を決定する必要がある。

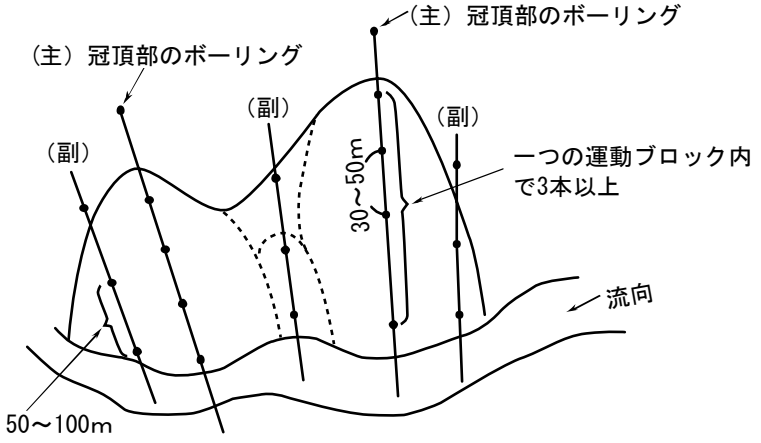


図２－５　ブロック毎の測線沿いのボーリングの配置[4]を一部修正

(2) 結果の整理

ボーリング調査の結果の整理においては、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。

ボーリング柱状図の主要な点は、コアによる地質、土質の観察と掘削時の状況記事、堀進中及び

最終の孔内水位（図２－３０参照）、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、土質及びすべり面の観察は、経験豊富な技術者が行うものとする。すべり面及び地すべり土塊の性状の記録としてコア写真（カラー）を撮影する。コア写真は、正常な色が出るように3色または5色の標準色調板を貼布して撮影する。図２－６にボーリング柱状図の例を示す。

ボーリング調査結果は、「地質調査資料整理要領（案）」[5)]により整理、データベース化される。柱状図様式は「地すべり調査用ボーリング柱状図作成要領（案）」[6)]を参考に作成することができる。

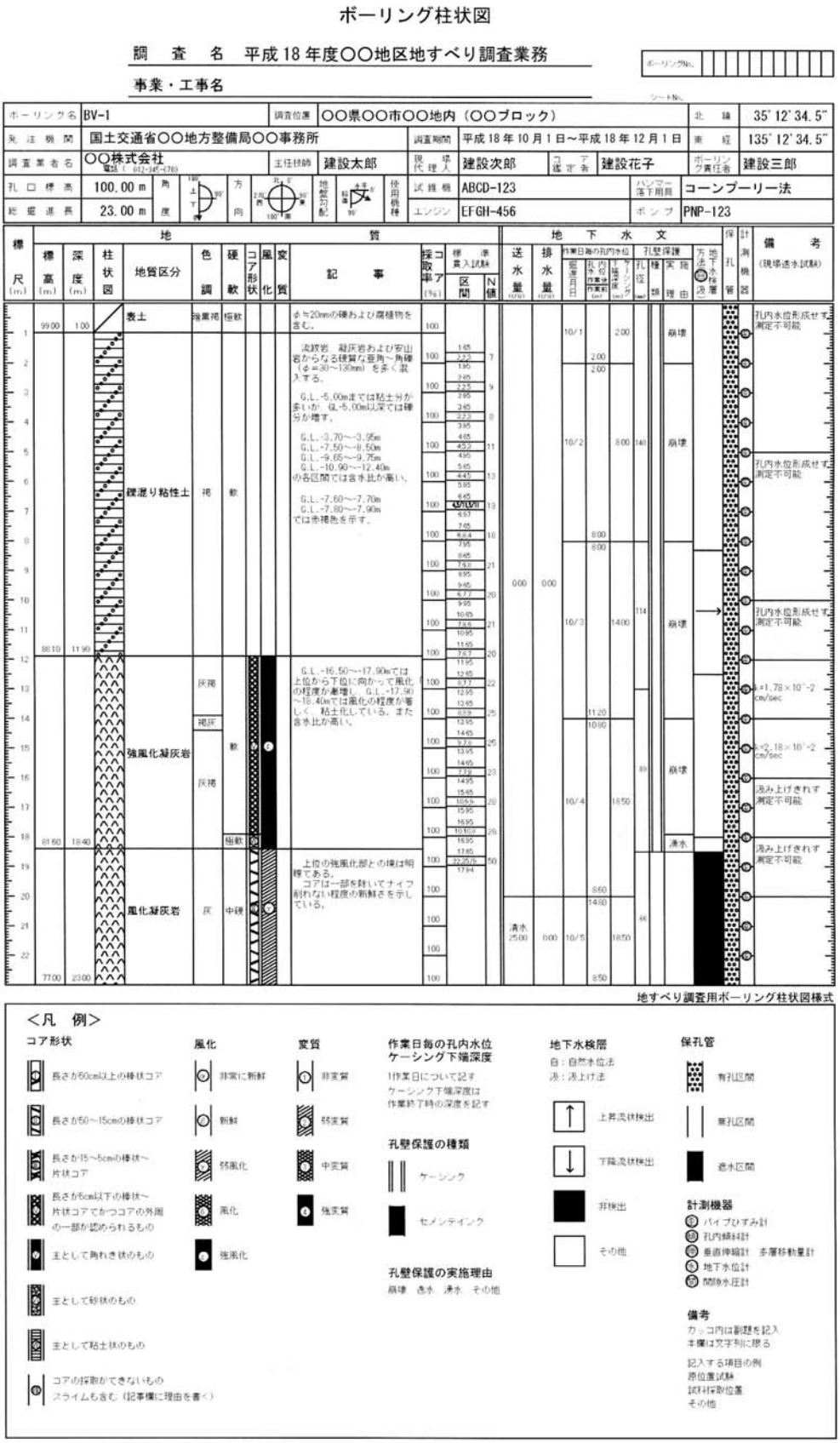


図２－６　ボーリング柱状図の記載例[6]に加筆

(3) 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２－２に示す各種試験が行われる。

表２－２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２－２　ボーリング孔内で実施される試験[7]を一部修正

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
	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

２）　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は強い。
(2) 岩石は風化すると、その弾性波速度は遅くなり、風化が激しいほど速度は遅くなる。

(3) 破砕程度が激しいほど、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。

３） 自然放射能探査

地山を構成している岩石類には、ウランやトリチ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、地山内に断層や破砕帯が存在する可能性が高いと推察するものである。

４） 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。

２．４．４ 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、縦型伸縮計、多層移動量計、クリープウェル等）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、縦型伸縮計、多層移動量計、クリープウェルによる方法があり、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

地質調査によるすべり面判定では、一般に以下の方法が行われている。

(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２－７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。

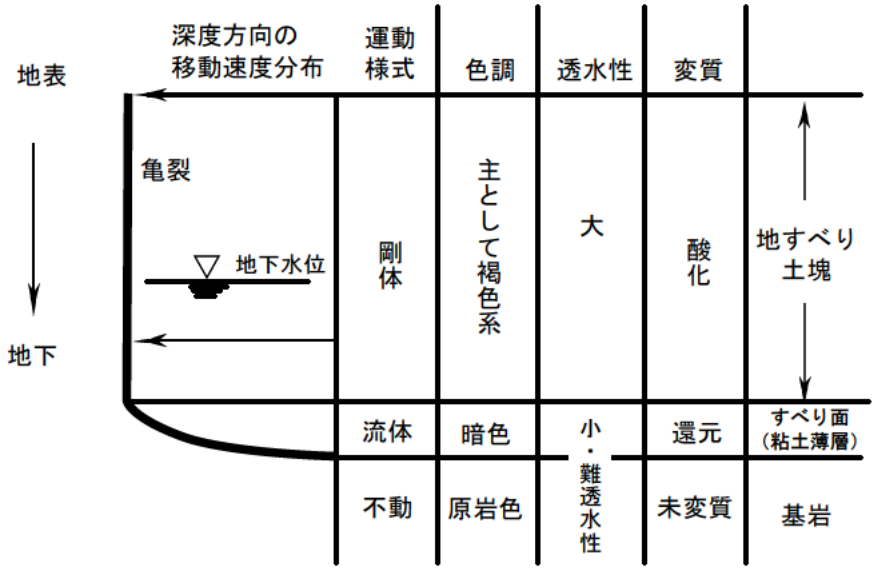


図２－７　地すべり斜面の構成[8]を一部修正

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[9]。

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砕部の存在
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）　すべり面測桿による判定

ボーリング孔内に短いパイプを挿入しておき、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パイプを下げるとこの位置で停止するのですべり面を確認できる。

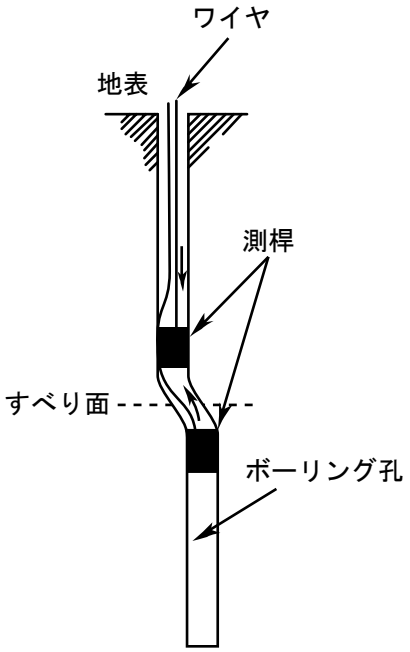


図２－８　すべり面測桿によるすべり面の判定[8]を一部修正

３）　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りを測定できることであるが、その寿命は1～2年程度である。パイプ歪計は、普通1mの塩ビ管等のパイプ毎に1対（2枚のストレインゲージ）ないし2対のゲージをパイプ外周の180度反対位置に貼り、ケージの歪を計測するものである。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個所につき直角に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、孔壁とパイプの間の空隙はセメントミルク等（最近はアクリル系の薬液による重合剤が効果をあげている）を用いて完全に充填することが必要である。なお、ゲージの測定は原則として7日に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。

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。計測の結果は、変動累積図に整理し、表２－３に示す判定基準等によってすべり面と判断する。ただし、測定値の変動が顕著であっても、累積傾向のないものはすべり面と判定できない。逆に、ひずみ量が小さく変動c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。

図２－９に最深部からの歪量の累積値を時系列で表示した図の例を示す。

表２－３　パイプ歪計観測結果による地すべり判定基準[2)]を一部修正

変動種別	累積変動値（μ/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 回　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 回　帰	な　　し	異　　常	すべり面なし 地すべり以外の要因

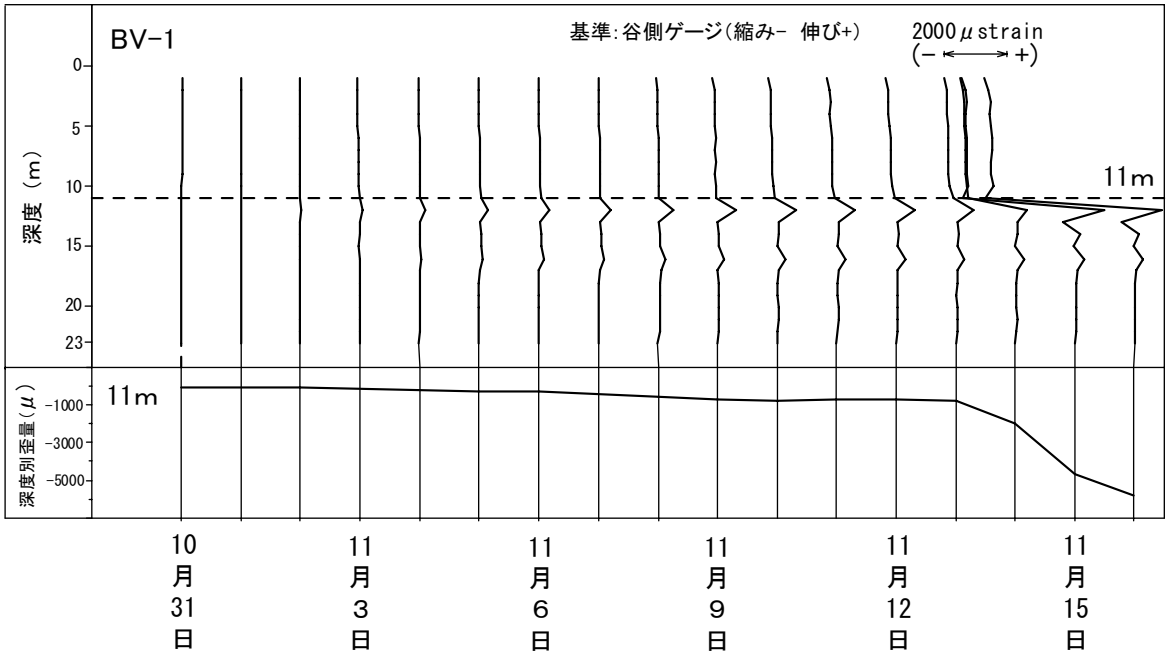


図２－９　パイプ歪計による歪変動累積図の例

４）　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、ガイド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。孔曲りが激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２－１０に挿入型孔内傾斜計の概要を、図２－１１に計測結果の表示例を示す。

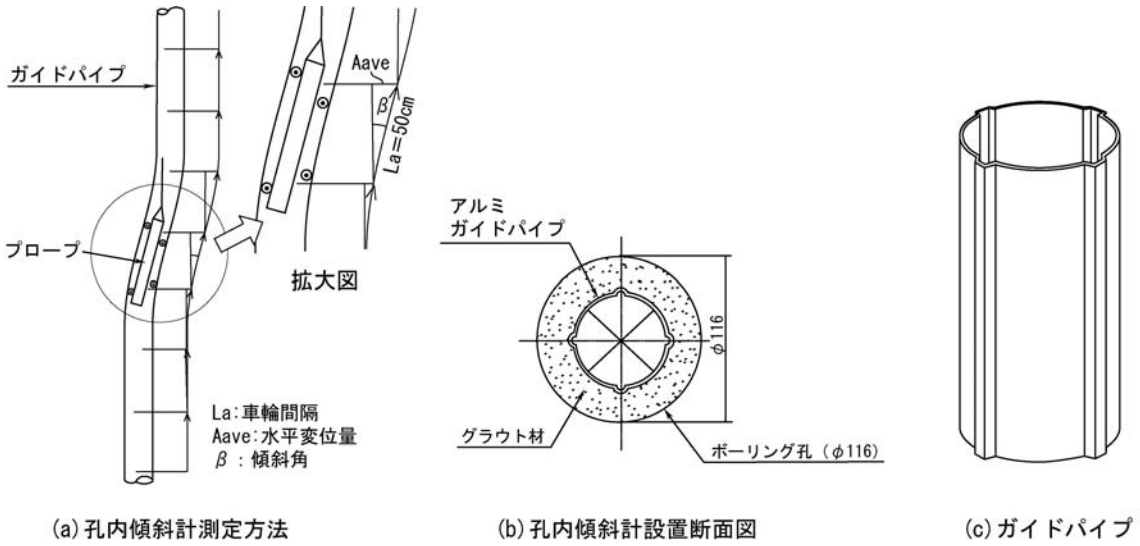


図２－１０　挿入型孔内傾斜計の概要図[10]に加筆

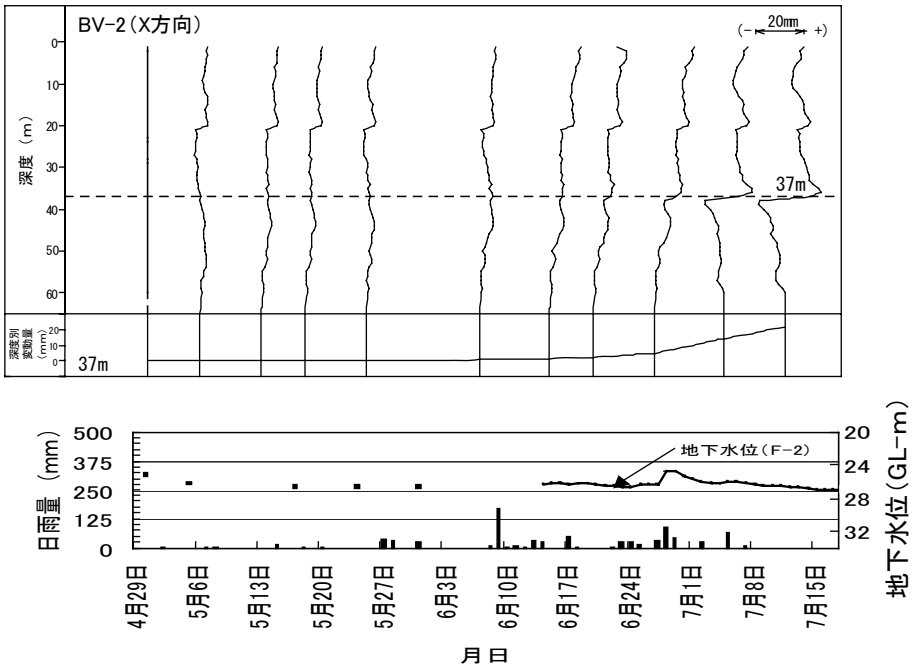


図２－１１　孔内傾斜計による変動累積図の例

測定結果は、孔底からの傾斜量の積分で表現され、その曲りが著しくかつ歪が累積する位置をすべり面と判定する。計測に当たっては、センサ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部を一定時間保持した後に計測を行う必要がある。

孔内傾斜計は、孔内のすべり面深度に孔内傾斜計を固定し、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２－１２にその設置の概要を示す。

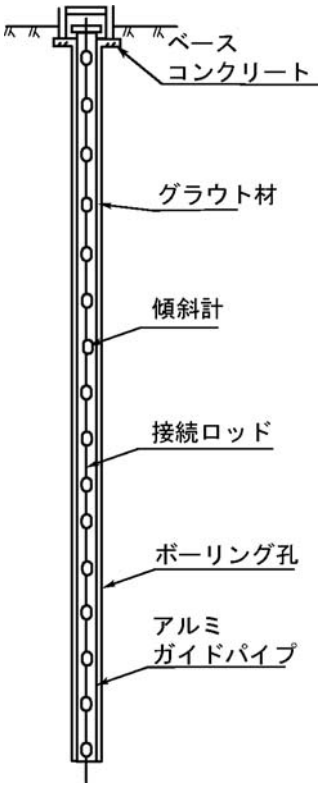
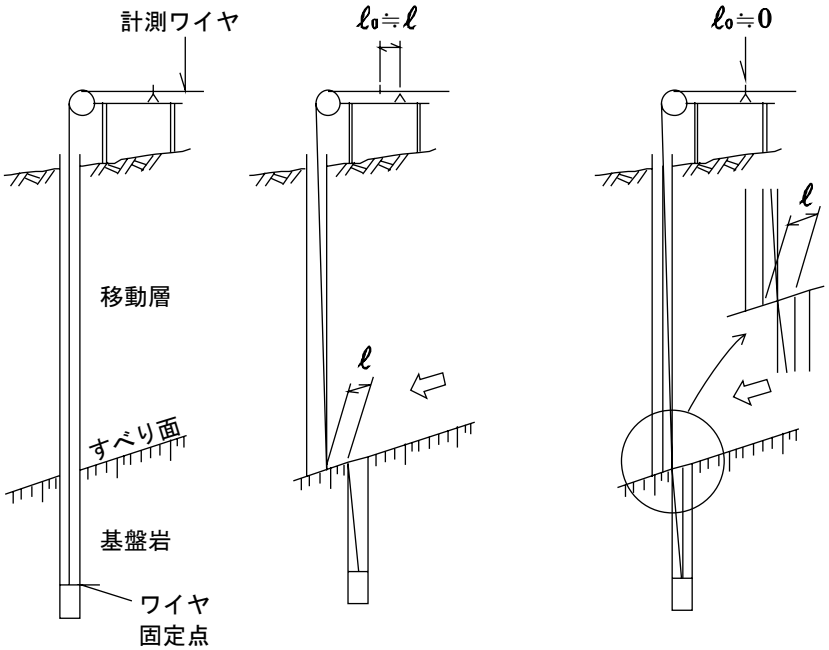


図２－１２　設置型孔内傾斜計の設置全体図[１０）を一部修正]

５）　縦型伸縮計による判定

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、すべり面をはさ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。図２－１３にその概要を示す。また、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。



（a）すべり面のずれ量とワイヤの引き込み量　　（b）初期無感帯

(a)すべり面のずれ量とワイヤの引き込み量　　(b)初期無感帯

図２－１３　縦型伸縮計の概要図[10)]

６）　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２－１４）。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。

図２－１５にその地上計測部の構造を示す。

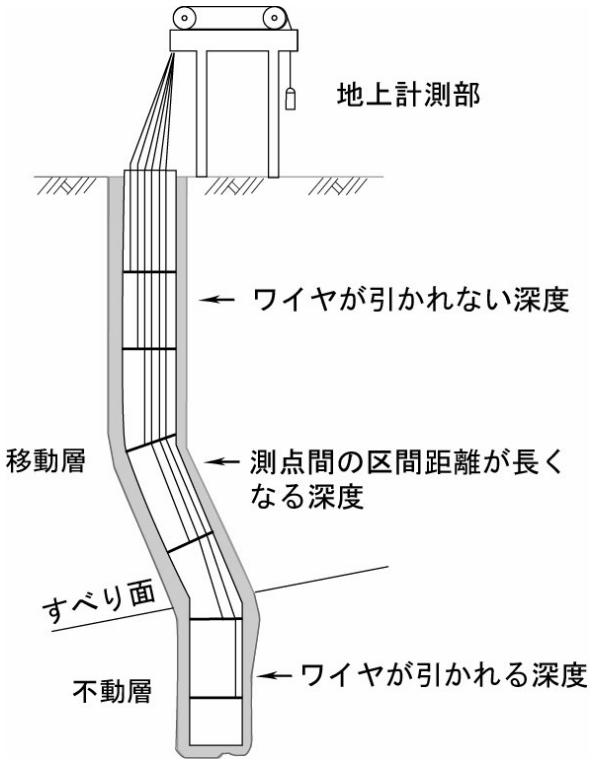


図２－１４　多層移動量計の概要図[11)]

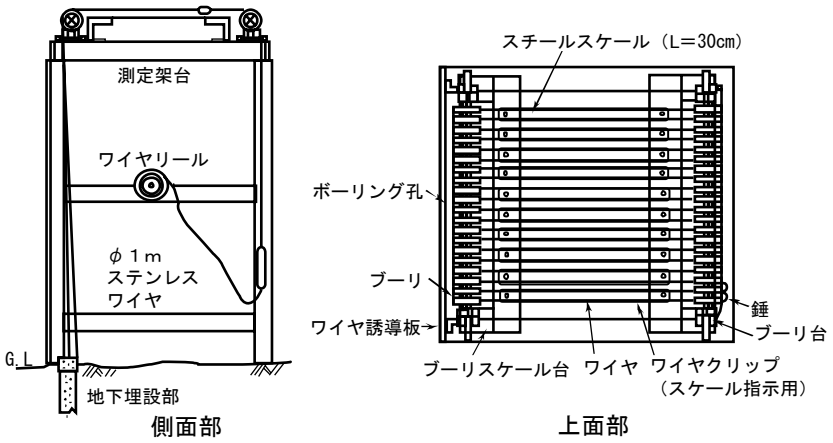


図２－１５　多層移動量計計測部[11)]

７）　クリープウェルによる判定

地すべり地において、基盤岩までライナープレート製の井戸を掘り、施工後、鉛直方向のボルト締めを解放すると、井戸は高さ 10～50cm ごとのライナープレートのリングで積み重ねられた形になる。このライナープレート中にすべり面が存在する場合、ある深度でリングのズレが生じ、すべり面深度及び移動量を特定することができる。クリープウェルを用いた場合、すべり面の観察や土質試験に用いる不攪乱試料の採取が可能となる。図２－１６にその概要を示す。

クリープウェルを設置する際には、掘削面（壁面）の観察を行い、写真と展開図で記録しておくとともに、必要に応じて、土質試験に用いる試料採取を行う。クリープウェルを活用して、揚水試験等の地下水調査を行うことも有効である。

クリープウェルの直径は、坑内作業の安全性を考慮して、集水井と同等とする。

また、一連の調査実施後に、クリープウェルを地下水排除工として活用することも有効である。

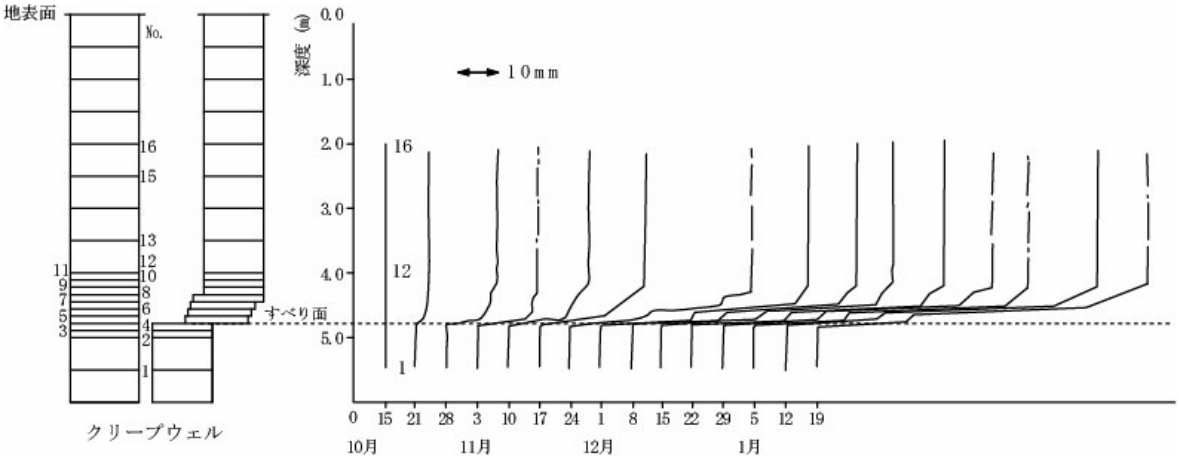


図２－１６　クリープウェルの概要図[10)]

８）　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２－４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２－４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２－４　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	10 cm 程度
縦型伸縮計	（測定不能）			200cm 程度
多層移動量計	1.0m	30m 程度		200cm 程度
クリープウェル	0.1～0.5m	20m 程度	10.0mm	100cm 程度

２．４．５　地表変動調査

精査時に行う地表変動調査は、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２－１７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

　1) 地上測量

　2) GPS 測量等

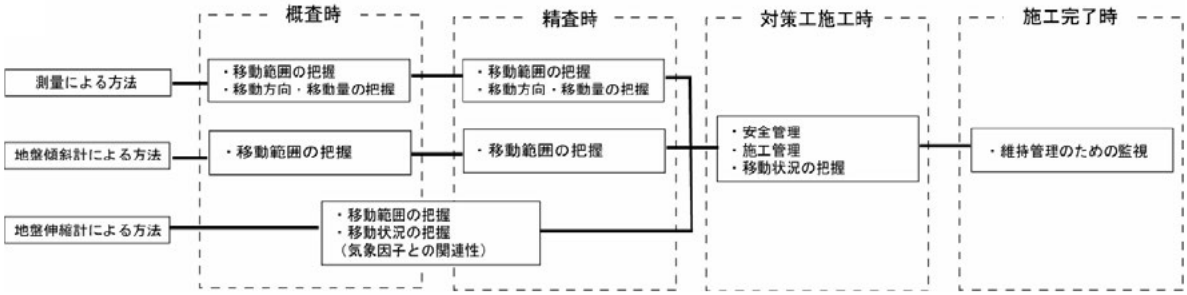


図２－１７　地表変動調査の目的と方法

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。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２－１８に地盤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。

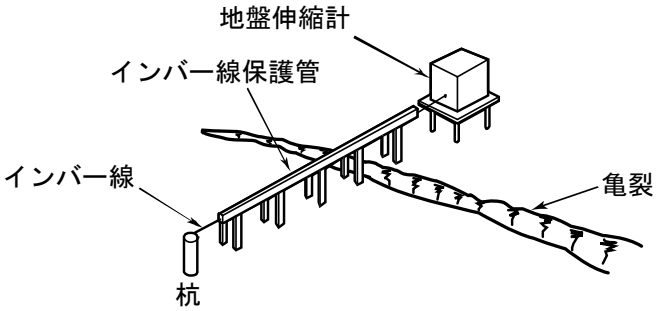


図２－１８　地盤伸縮計設置概略図[1)]

調査の結果は、縦軸に累積地盤伸縮量、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整理する。図２－１９に測定結果のとりまとめの例を示す。表２－５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。

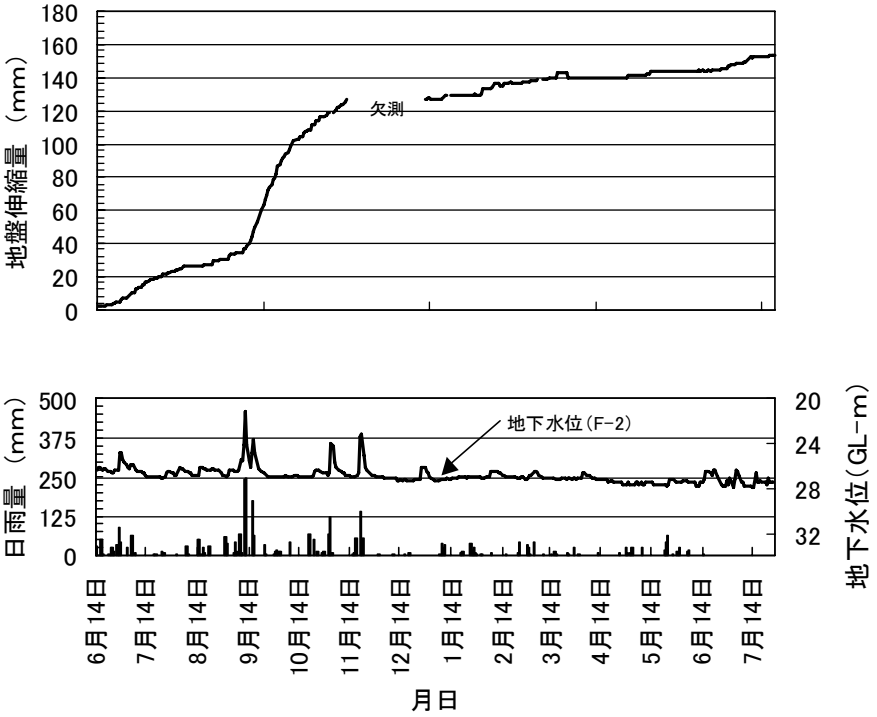


図２－１９　地盤伸縮計測定結果の整理例

表２－５　地盤伸縮計観測結果による地すべり判定基準[2]を一部修正

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	局部的な地盤変動・その他

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、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。また、必要に応じて運動ブロックの両側にも設置する。地盤傾斜計を設置する台は、まず地表上を約20cm程度掘削し、図２－２０に示すような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、これを設置台とする。この設置台は計器格納用の木箱で覆っておく必要がある。傾斜計には、水管式、サーボ式、差動トランス式などがある。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、傾斜計は主軸（分度板のついた軸）をＮ、Ｅ側として設置する。

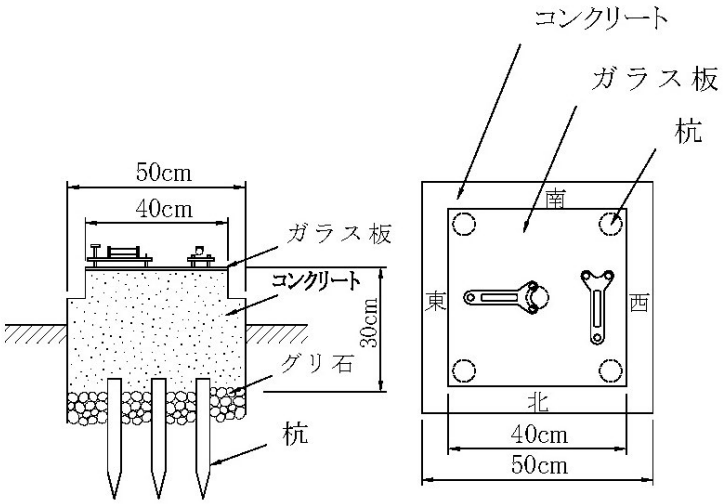


図２－２０　地盤傾斜計設置例[12]に加筆

調査の結果は、縦軸に傾斜累積量、日傾斜変動量、横軸に期日をとり、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。図２－２１に測定結果のとりまとめの例を示す。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２－６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。

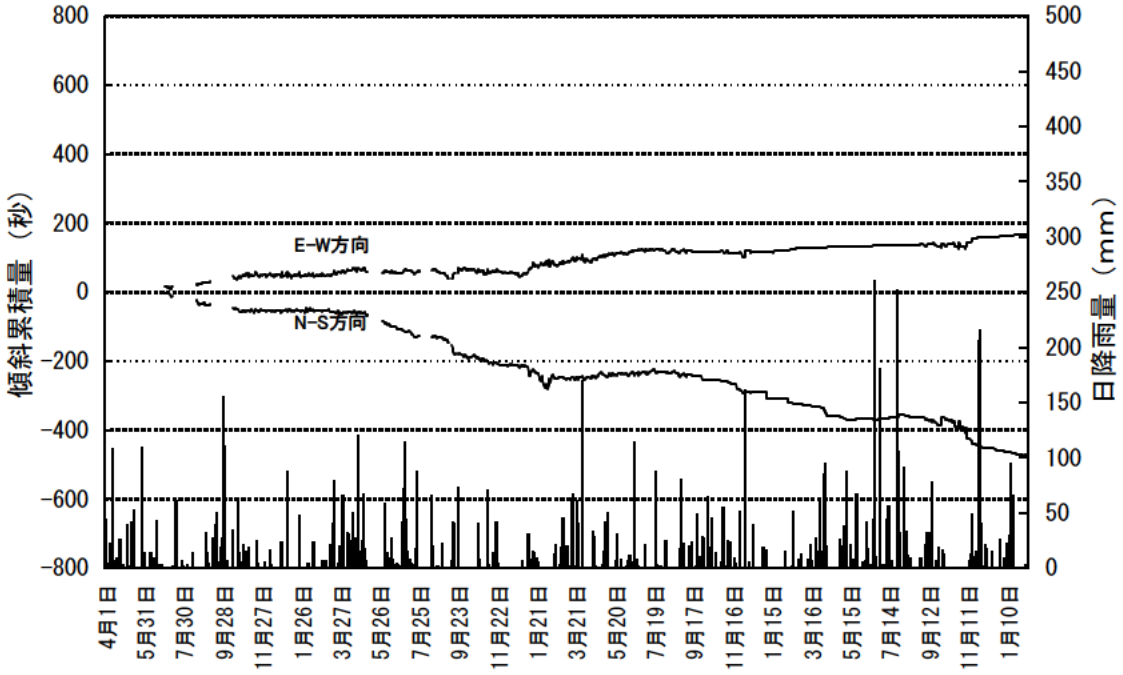


図２－２１　地盤傾斜計測定結果

表２－６　地盤傾斜計観測結果による地すべり判定基準[2)]を一部修正

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	局部的な地盤変動・その他

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実施される。

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移動杭測量、三角測量、空中写真による測量等がある。

図２－２２に移動杭測量の結果を示す。図２－２２により地すべり運動の分布と運動方向が確認できる。

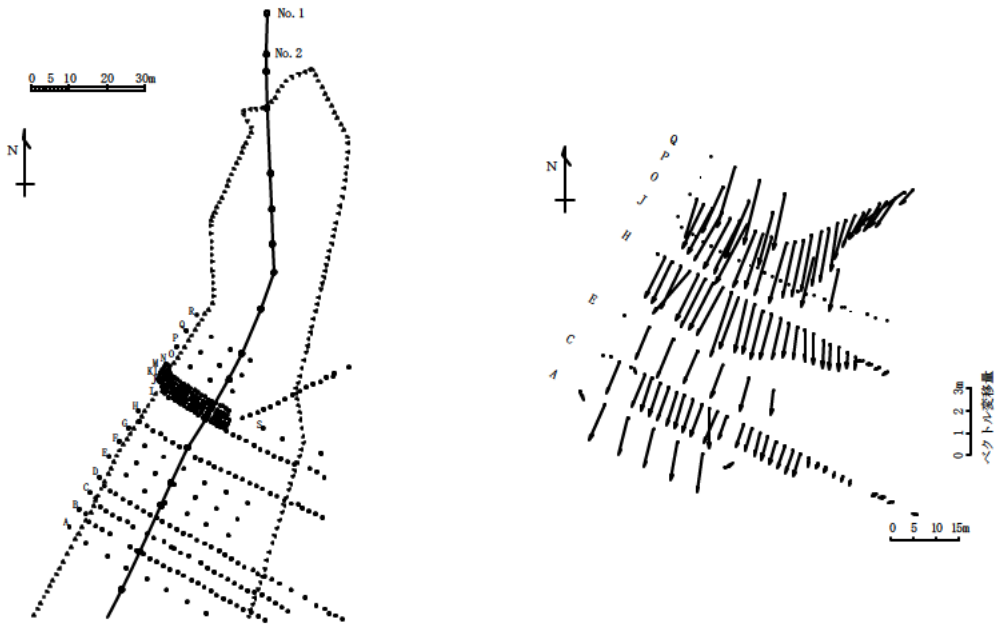


図２－２２　移動杭測定結果[1)]

４）　GPS 測量による調査

GPS測量は、主として地すべり運動方向が不明瞭な場合、広範な地すべり地で移動量観測を行う必要がある場合等に行うものである。

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２－２３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である。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。

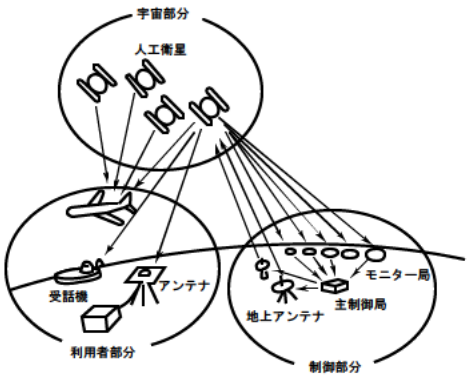


図２－２３　GPS 測量概念図[13)]

５）　その他の計測機器による調査

(1) 光ファイバーセンサによる調査

光ファイバーを通過する光は、温度・ひずみ・曲げ等によって特性（光の強さ・周波数・波長等）が変化するため、光ファイバー自体がセンサとしての機能を有する。光ファイバーセンサーは、電源が不要、落雷や電磁波に強いなど、野外計測に適しているため、斜面監視への適用に関する研究が進められている。現在は、電気式計測機器に変わるものとして、変位計・傾斜計・水位計・方位計・温度計などが実用化されている。地すべりの計測に関しては、地盤伸縮計・地盤傾斜計・パイプ歪計・水圧式水位計などが開発されつつある。また、1 本の光ファイバーで多点計測が可能という利点を生かし、地すべりの面的な活動状況把握手法についても検討[14)] が進められている。

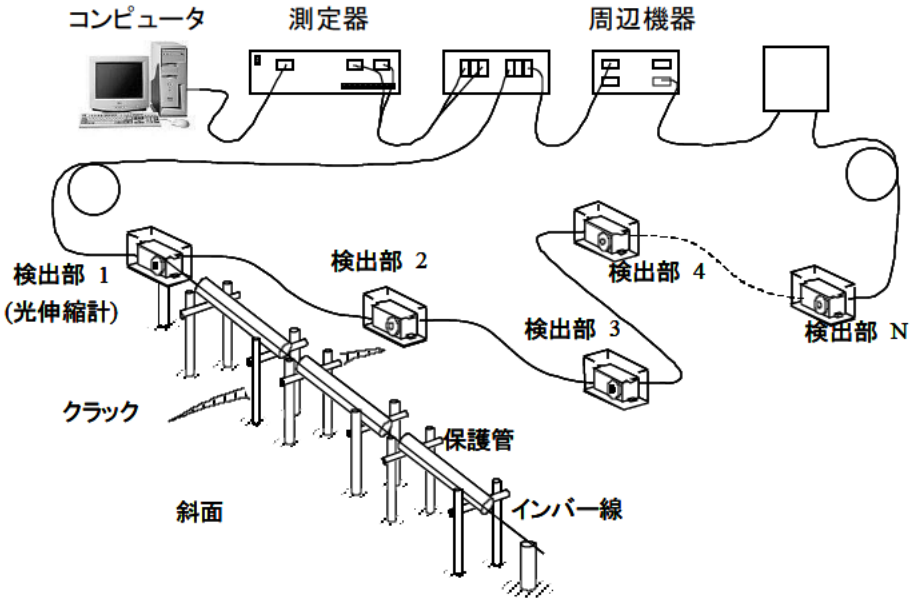


図２－２４　光ファイバーを活用した地盤変位計による観測[15)]

(2) レーザースキャナによる調査

地すべり発生時に地形図を取得したい場合や、地すべり地内への立ち入りが困難な場合での動態観測には、地上 3D レーザースキャナを用いた測量が実用化されつつある。

この方法は、トータルステーション等の光波測量と計測原理は同じであるが、機械内部のミラーを回転させることによってレーザーの向きを変え、1 秒間に数千点以上を高速にスキャニングできるよう設計されている。このデータを用いた地形図の作成や、ある基準点データの差分から移動量を算出することもできる。

また、地すべりの移動観測については、ターゲットを設置したノンプリズム光波測量も有効である。

なお、これらの方法による計測誤差は、計測距離約 100m の場合で数 cm オーダーとなる場合があることに留意する必要がある。

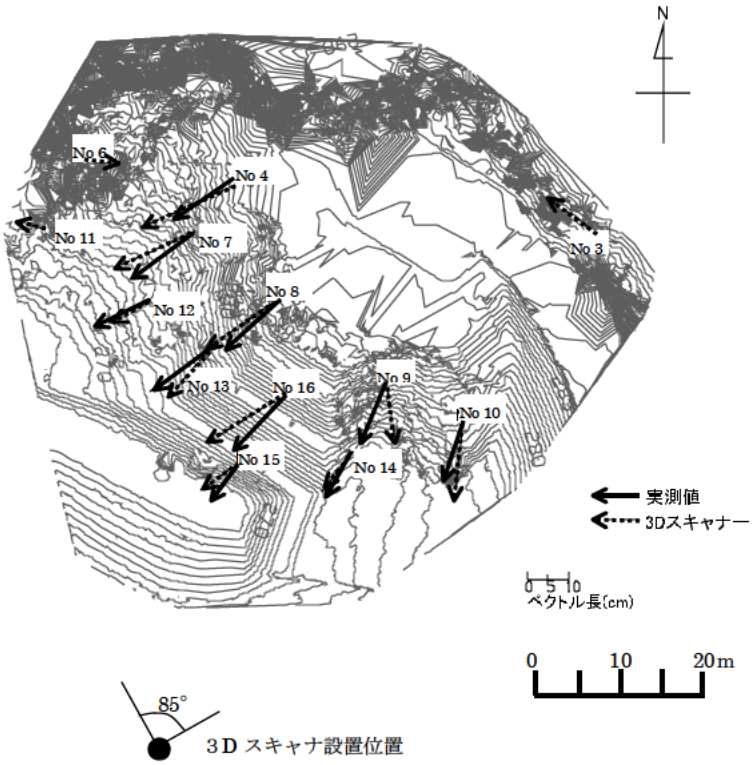


図２－２５　レーザースキャナによる移動量測定例[16)]

２．４．６　地下水調査

地下水調査は、斜面の安定解析や対策工の検討の基礎資料を得ることを目的に、地すべり地への地下水の供給経路、地すべり地内における地下水の分布・流動傾向、すべり面に作用する間隙水圧等を調査する。

地下水調査は、目的に応じて、地下水位観測、間隙水圧観測、ボーリング掘進中の水位変動測定、地下水検層、地下水温度検層、孔内流向・流速測定、地下水追跡調査、電気探査、地温探査、水質探査、簡易揚水試験等を行う。

解説

地下水調査には、表２－７に示すものがあり、目的に応じて必要な調査を行う。

表２－７　地下水調査の目的と種類[1)を一部修正]

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

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（図２－２６）と水圧式（図２－２７）の水位計がある。

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、計器の摩擦が大きかったりすると、水面変化にうまく追随しない場合がある。特に、地下水位の変化速度は河川等と比べて緩やかであることから、この水面追随機構の維持に注意が必要である。同一のボーリング孔内に錘とフロートの両方を入れることは摩擦を大きくする原因になるので、ボーリング孔のすぐ横に錘用の孔を掘り、フロートと錘は別に設置する必要がある。

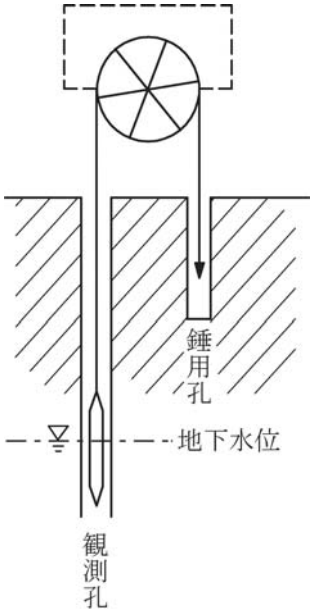


図２－２６　フロート式水位計[13)]

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。

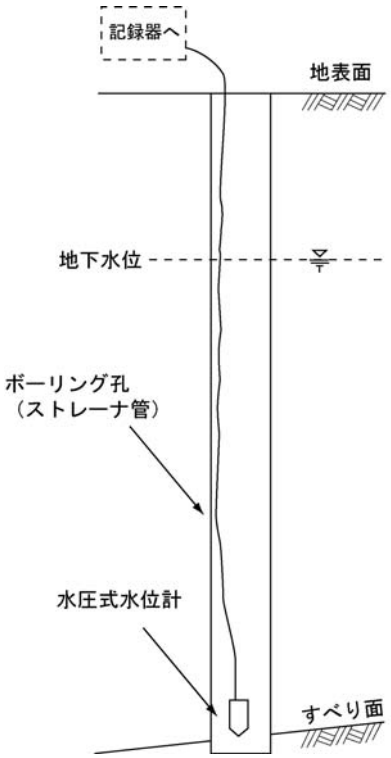


図２－２７　水圧式水位計

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、目盛りのついたテープ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測定する方法には、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測定専用孔（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。

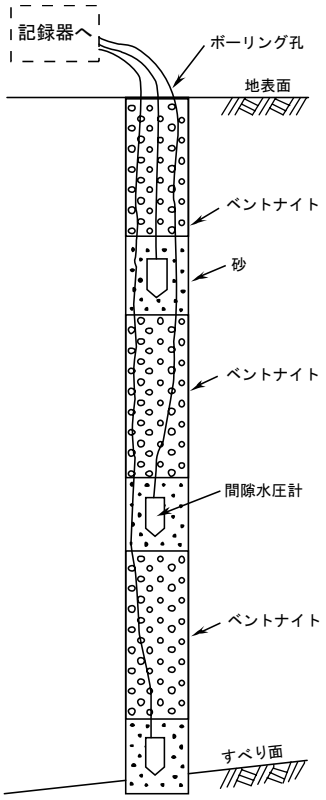


図２－２８　埋設型間隙水圧計（複数深度で計測する場合）

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２－２８）。

図２－２９に間隙水圧の測定例を示す。

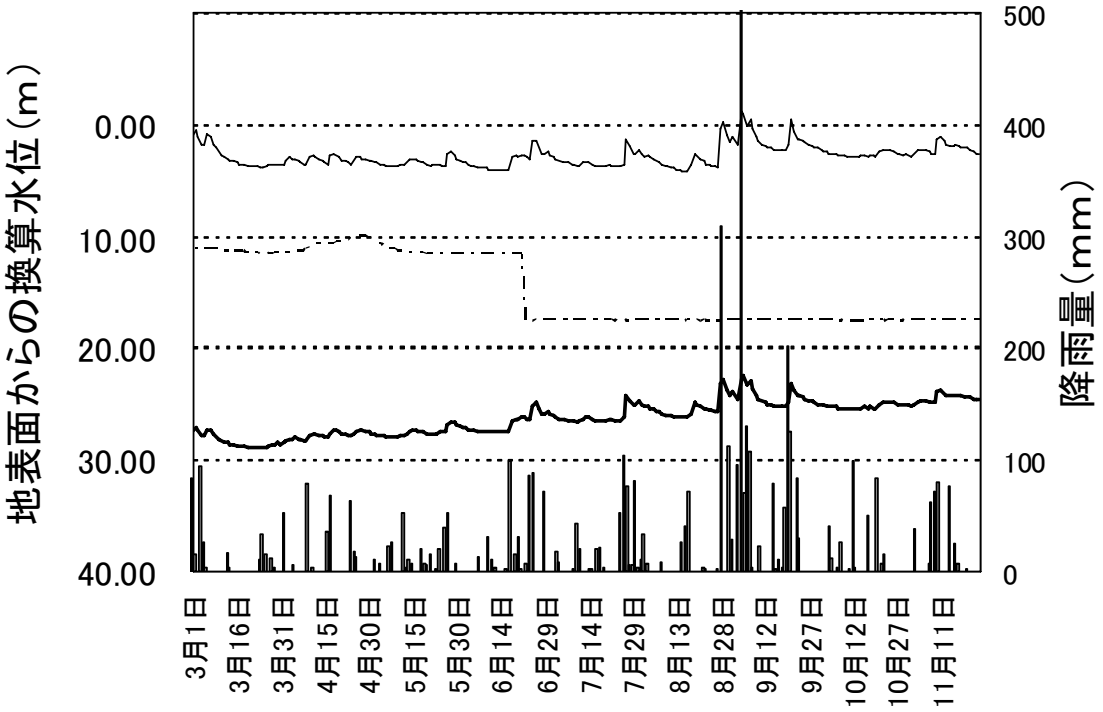


図２－２９　間隙水圧の測定例

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) ボーリング掘進中の水位変動

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場合が多く見られる。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、ボーリング掘進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、ボーリング掘進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。図２－３０に、ボーリング掘進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 4.00～7.00mには地下水帯が分布していると推定できる。

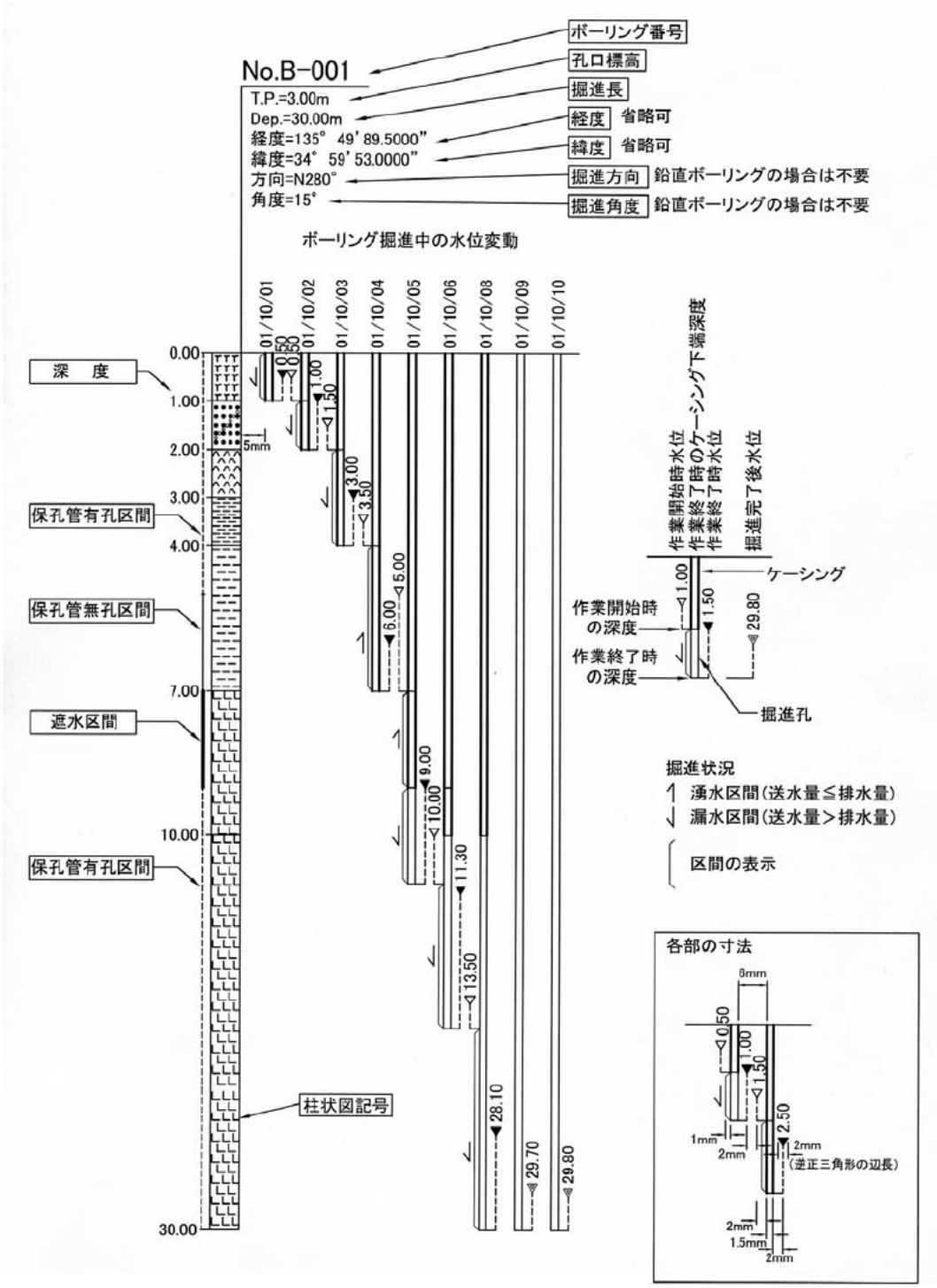


図２－３０　ボーリング掘進中の水位変動の記載例[6] を一部修正

(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分などの時間間隔で孔内水の電気抵抗値を測定する。

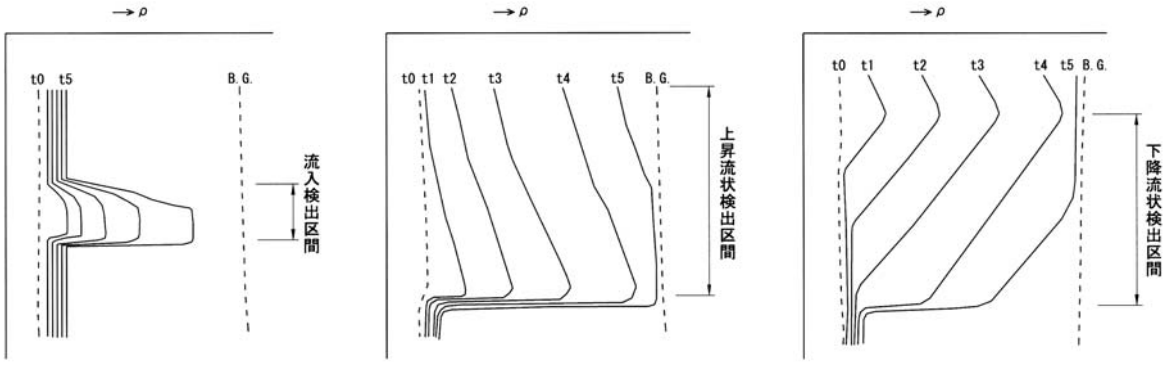
ボーリング孔が不透水層をつき抜けてしまった場合には、すべり面下に水位が降下するために真の地下水位、流動層が検出できない場合があり、このような場合が予想されるときには、ボーリング掘進の段階毎に地下水検層を行うこともある。また、孔内水位を人為的に変化させることによって、自然状態では潜在的であった流動層を把握することも可能である。

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２－８、図２－３１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２－３２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、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。

一般には、塩分を置換した比抵抗値での流動層調査方法が用いられるが、これ以外に溶存酸素を測定する方法が実用化されている[17]。また、センサに電気伝導度計や光ファイバーなどを用いた計測方法も提案されている[18]。

表２－８　地下水検層結果の判定区分[6]

地下水検層結果	図模様	備　　考
流 入 検 出	→	図 2-31 (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 2-31 (b)に示す変化が認められる区間
下降流状検出	↓	図 2-31 (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



(a)流入検出　　(b)上昇流状検出　　(c)下降流状検出

図２－３１　地下水検層結果の判定[6)]

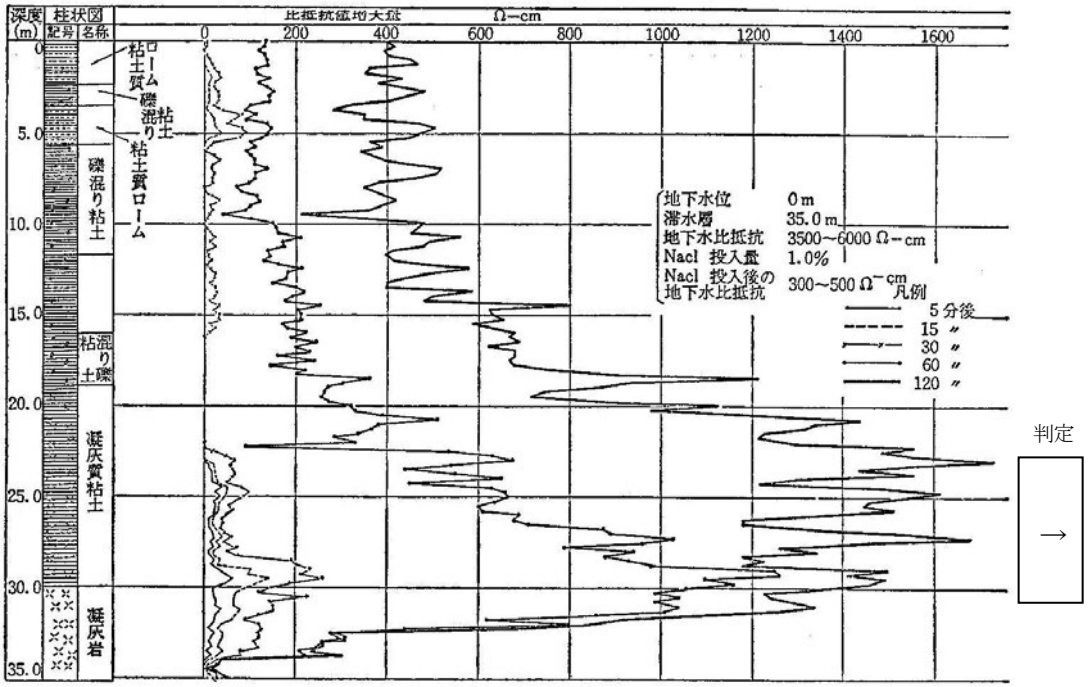


図２－３２　地下水検層測定結果[2)]

(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、ボーリング掘削時に3～5m毎程度の裸孔部を設け、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汲上量を求め、一定水位に達した後に汲み上げを中止し、時間～水位回復曲線を求める。この回復曲線から深度毎の透水係数を算出する。

地下水解析を行う際には、地盤の透水係数が重要となる。また、地下水検層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があるため、簡易揚水試験を行うことが望ましい。

(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２－３３に多点温度検層装置の概要を示す。

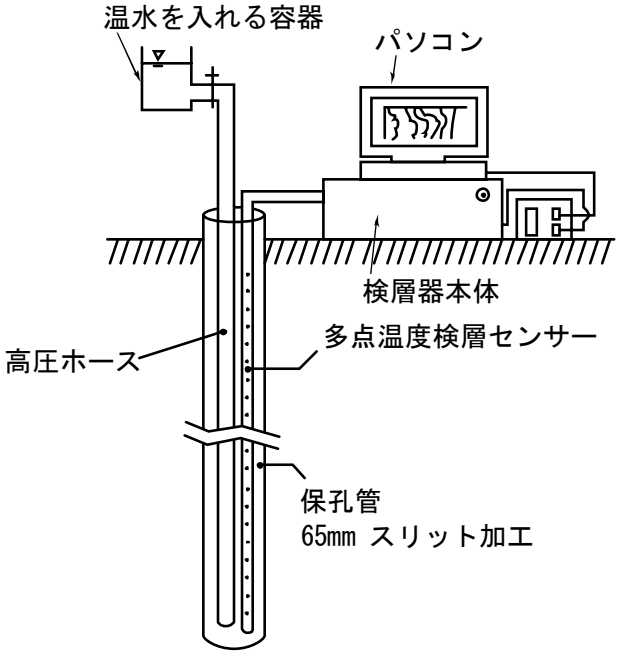


図２－３３　多点温度検層装置概要図[19)]

(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[20)]が、①・②の方法については、流速が遅い場合に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、渓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、湧水個所、井戸、渓流において行うが、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（図２－３４参照）。

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。

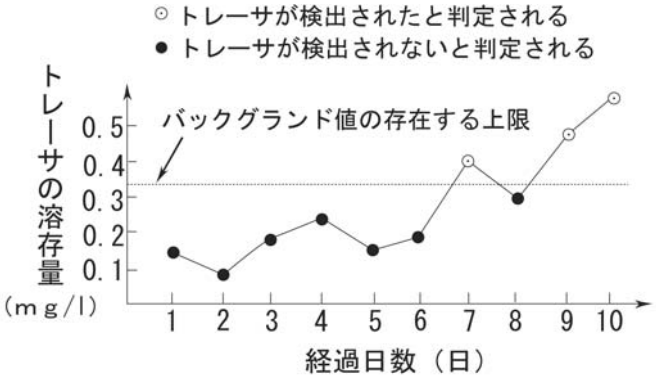


図２－３４　トレーサの検出結果図[1)]

(7) 電気探査

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、破砕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℃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℃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、破砕帯を流れるものと、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、渓流など）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_3、Cl、SO_4、SiO_2、Ca、Mg、Na、K等国土調査法に基づく水質調査作業規定準則に従って行われることが多い。

２．４．７　土質試験

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部、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良い。

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、「３．２．２．１　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水平載荷試験、標準貫入試験等がある。

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。

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，φ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。

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）　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。

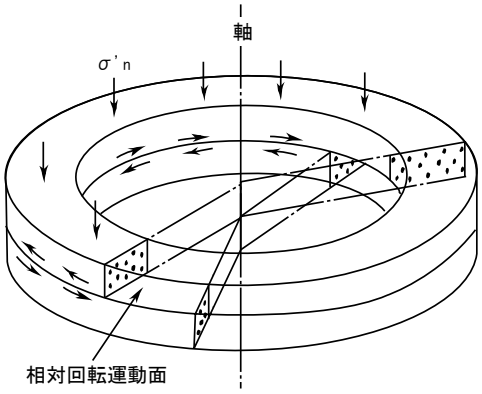


図２－３５　リングせん断試験器[21)]

５）　試料種類・強度別の試験機選定

表２－９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２－９　試料種類・強度別の試験機選定[22, 23]

試料＼強度	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
$\overline{CU}$：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：少なくてよい

２．５　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、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２－１０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２－１０　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		○	○	○	○	○	○	○	○

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、後述する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・梅雨期等の多雨時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、これら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行い、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。

また、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

特に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・地質構造との関連性を考察する。

(5)　地下水

特に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。

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２－３６）。

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。この場合、地盤傾斜計等によって推定された潜在的な地すべりの範囲も破線で記入する。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。

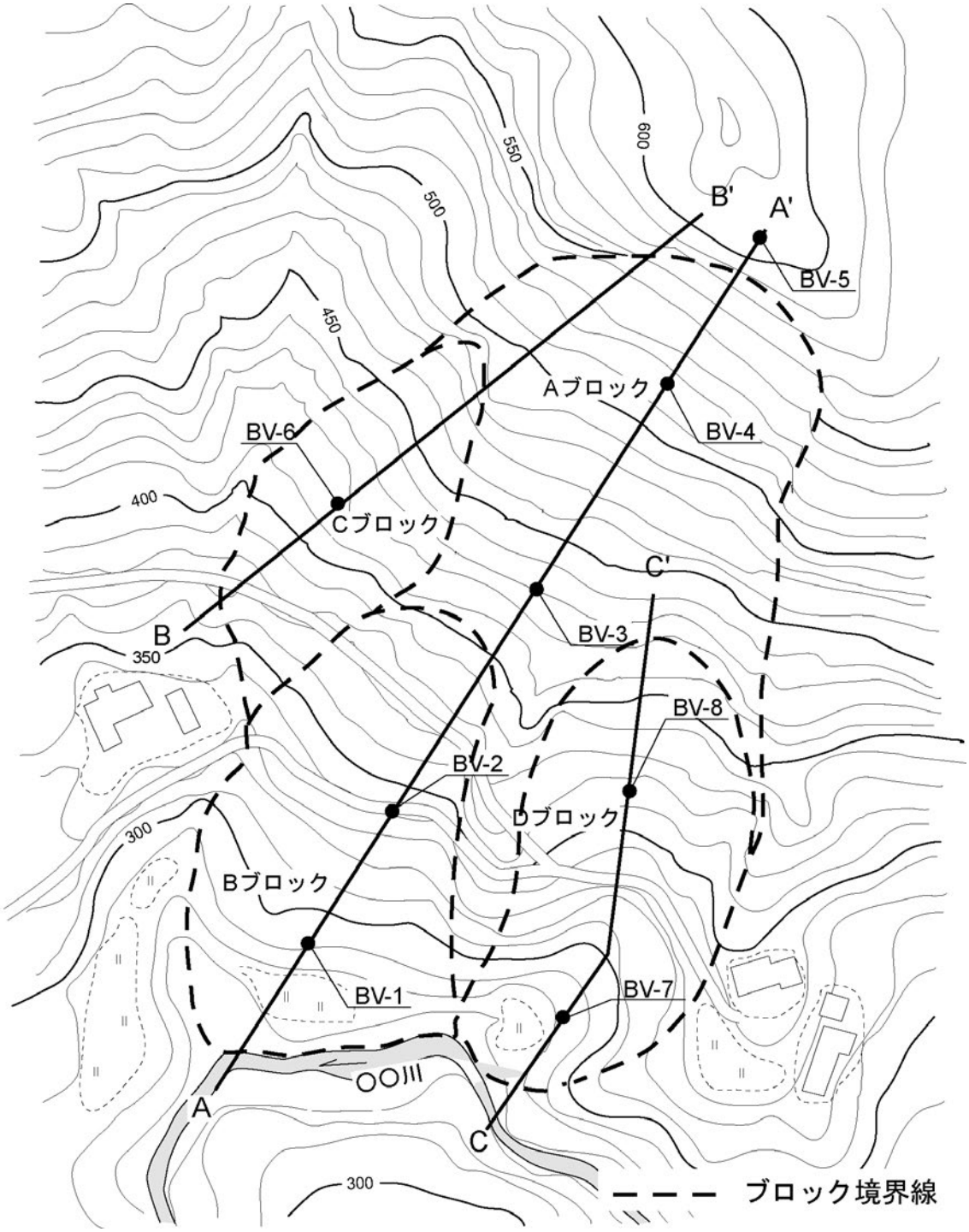


図２－３６　地すべり運動ブロック図の例

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形がわかっていればこれを記入し、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、基岩の層準と傾斜、基岩と崩積土の区別、土質、断層、破砕帯の分布等を記入する（図２－３７）。

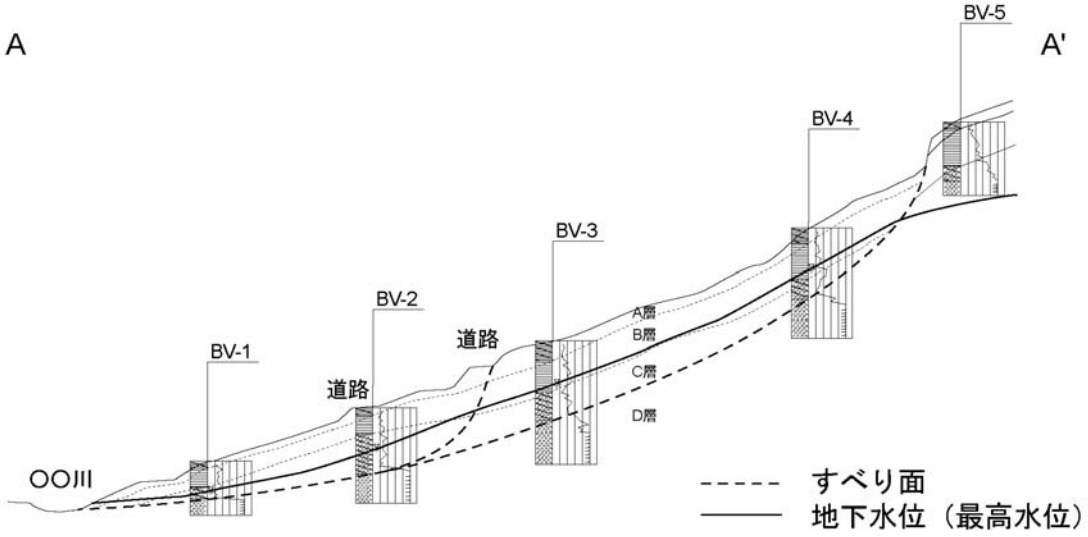


図２－３７　主測線地質断面図の一例

参考文献

1) （社）日本河川協会：建設省河川砂防技術基準（案）同解説調査編，山海堂，pp.199～218，1997.

2) 藤原明敏：地すべりの解析と防止対策，理工図書，222p，1979.

3) 全国地すべりがけ崩れ対策協議会：地すべり対策事業の手引き，全国治水砂防協会，360p，2000.

4) 渡正亮，酒井淳行：地すべり地の概査と調査の考え方，土木研究所資料第1003号，70p，1975.

5) （財）日本建設情報総合センター：地質資料整理要領（案），大成出版社，374p，2003.

6) 小山内信智，石井靖雄，綱木亮介：地すべり調査用ボーリング柱状図作成要領（案），土木研究所資料第3868号，22p，2002.

7) （社）全国地質調査業協会連合会：新版ボーリングポケットブック，オーム社，pp.212，1993.

8) 渡正亮、小橋澄治：地すべり・斜面崩壊の予知と対策，山海堂，p66,85，1987.

9) 佐渡耕一郎，吉松弘行，藤田寿雄：ファジイ理論によるすべり面の判定手法，地すべり，Vol.31，No.3，pp1～8．1994.

10) 地すべり観測便覧編集委員会：いつでも，どこでもすぐに役立つ　地すべり観測便覧，（社）地すべり対策技術協会，529p，1996.

11) 池谷浩，吉松弘行，南哲行，寺田秀樹，大野宏之：現場技術者のための砂防・地すべり・がけ崩れ・雪崩防止工事ポケットブック，山海堂，380p，2001.

12) 渡正亮：地すべり調査における地盤傾斜計の利用方法について，地すべり，Vol.7，No.4，pp.27～32，1970.

13) 綱木亮介：Ⅲ．調査技術全般，地すべり防止技術研修テキスト上巻，（社）地すべり対策技術協会，2000.

14) 吉田克美，井良沢道也，市ノ瀬榮彦，田村隆雅，月岡浩，島津藤夫：光ファイバーセンサを用いた調査・計測方法に関する検討（その１），第40回日本地すべり学会研究発表会講演集，pp.287～290，2001.

15) 樋口佳意、長友聖二、山本彰、高嶋徹：光ファイバリング干渉計を用いた地盤変位測定，第38回地盤工学研究発表会講演集，No.121，2003.

16) 淺野広樹，石井靖雄，綱木亮介：3D レーザースキャナによる地すべり移動量計測の検討，第40回日本地すべり学会研究発表会講演集，pp.279～282，2001.

17) 柳原幸希，綱木亮介，吉田克美：溶存酸素を用いた地下水検層，地すべり，Vol. 36，No. 4，pp40～47，1997.

18) 綱木亮介，吉田克美，山崎宣悦，窪田昌作：光ファイバ温度分布計測技術の地下水温度検層への応用，第36回日本地すべり学会研究発表会講演集，pp.189～192，1997.

19) 竹内篤雄：温度測定による流動地下水調査法，古今書院，480p，1996.

20) 土質調査法改定編集委員会：地盤調査法，（社）地盤工学会，pp.334～342，1995.

21) Bishop, A. W. et al: A New Ring Shear Apparatus and its Application to the Measurement of Residual Strength, Geotechnique, Vol.21, No.4, pp 273～328, 1971.

22) 建設省:地すべり面の土質強度決定手法に関する研究,第42回建設省技術研究会報告,pp.155,1988.

23) 中村浩之、白石吉信、清水清文：地すべり粘土のセン断強度試験結果を用いた斜面安定度の評価，土木技術資料，Vol.22，No.8，pp.31～35，1980.

第３章 計画

３．１　地すべり防止計画

３．１．１　総説

地すべり防止計画は、地すべり調査結果を踏まえ、地すべり防止施設の整備によるハード対策と警戒避難体制の整備等によるソフト対策を組み合わせた総合的な対策となるよう計画する。
計画の策定にあたっては、周辺環境や関連する諸法令、地域計画等との整合を図る。

解説

地すべり防止工事の対象となる地すべりは、一般に規模が大きく、複数の運動ブロックから構成されることが多いため、工事完了までに相当な年数を要する場合が多い。一方、地すべり斜面には多くの人家、公共施設等が位置することから、地すべり活動が活発化した場合には、的確な警戒避難等ソフト対策の実施が不可欠である。そのため、常に警戒避難体制が確保されるようソフト対策の実施についても考慮し、地すべり防止計画を策定する。

地すべり防止計画は、事前に実施される地すべり調査、解析結果を踏まえて、それぞれの地すべりの現象(地形、地質、規模、滑動状況等)、保全対象の重要度、事業の緊急性、事業効果等を勘案した計画規模、内容とする。

なお、計画の策定にあたっては、周辺環境や関連する諸法令、地域計画等との整合をはかる必要がある。

３．１．２　保全対象の特定

地すべり防止計画の保全対象を、対象とする地すべりの規模や発生・運動機構等を考慮して特定する。

地すべり防止計画で対象とする被害の形態は、

①地すべり斜面上の人命、人家、道路、田畑、公共施設等への被害
②地すべり斜面より下方に位置する人命、人家、道路、田畑、公共施設等への地すべりの移動に伴う被害
③天然ダム部上流域の浸水被害
④天然ダムの決壊による下流域の土石流、洪水被害

とする。

解説

地すべり現象は一般に緩慢な動きを呈するものが多いが、中には突発的に移動、滑落に至る地すべりも見られる。したがって、対象とする地すべり近傍での事例等を参考にして、地すべりの移動範囲を設定し、被害の及ぶ範囲を設定する必要がある（２．３．２ (8)参照)。

保全対象の重要性は、施設等の利用状況、代替施設の有無によっても異なる。例えば、道路の場合、通行量、代替ルートの有無によっても異なる。地すべりは山地部で発生することが多く、このような場合、代替ルートがあっても迂回に多くの時間を要する場合がある。

３．１．３　計画安全率の設定

地すべり防止計画では、地すべり運動ブロック毎に計画安全率（P.Fs）を定める。

一般的な地すべり防止工事としては、現在の滑動状況に応じて現況安全率を 0.95～1.00 に仮定し、地すべり発生・運動機構や保全対象の重要度、想定される被害の程度等を総合的に考慮して計画安全率（P.Fs）を 1.10～1.20 に設定する。

また、応急対策などで当面の安全確保を図る場合であっても計画安全率（P.Fs）1.05 以上を設定するものとする。

なお、ここで述べている安全率は、地すべり防止工事の量を決定するために用いられるものであり、工事後の斜面の安定性を示すものではないことに留意する。

解説

上記の計画安全率の設定方法は、既往の切土、盛土による地すべりの発生事例から、地すべり発生前の安全率を 1.00 と仮定した場合に、5～10%程度の安全率の低下によって地すべりが活発化したという事例[1)]やすべり面が地すべり運動に伴って強度低下を起こすこと、また、運動の進行に伴って土塊が破砕され透水性が高まると予想されることに基づき、従来より各地の地すべり防止工事において経験的に定められてきた計画安全率を参考にしている。また、それらの計画安全率は、安定解析式として簡便法を用い、土質強度定数を後述する逆算法（３．２．２．１参照）によって求めた経験値であることに留意する必要がある。

３．１．４　警戒避難対策

地すべりの警戒避難対策としては、地すべりの発生・運動機構に応じて警戒避難の参考となる管理基準（４．３参照）を定める。その上で、地盤伸縮計、地盤傾斜計等の監視機器を設置し、関係機関への適切な連絡体制を整備する。

解説

地すべりによる被害を防止していくためには、地すべり防止工事の実施と併せて、人的被害を防止するため、警戒避難対策が必要である。地すべりは一般に崩壊と比較して移動が緩慢であることから、斜面変状の発生状況や計測機器による移動量の計測結果に基づき警戒避難がなされてきている。そのため、地すべりの警戒避難は、地すべり移動観測の結果に基づいて実施することが望ましい。地すべりの移動特性は地すべりの地形、地質、すべり面形状等によって異なることから、事前の調査・解析結果や近傍の地すべり事例を参考に検討を行い、地すべりの移動特性に応じて警戒避難のための基準を定める。さらに、警戒避難に資するため、地盤伸縮計、地盤傾斜計等の監視機器を設置し、迅速なデータ収集を図り、関係機関への適切な連絡体制の整備につとめる。地すべりの警戒避難対策の実施にあたっては次の点に留意する必要がある。

(1) 警戒避難の対象範囲を把握していること
- 地すべり移動状況の監視体制
- 地すべりの範囲と到達範囲

(2) 警戒避難すべきタイミングを明確にすること

・警戒避難基準値の設定

(3) 警戒避難にかかる情報の伝達体制を明確にすること

３．１．５　環境への配慮

地すべり防止施設整備においては、防災上必要な効果を得るために、環境に何らかの影響を及ぼすことは避けられないが、可能な限りその影響を軽微なものとする。

解説

地すべり運動の活発化は、斜面の環境に影響を与えることから、斜面環境の保全という観点からも地すべり運動を停止させる必要がある。地すべり防止工は地すべり土塊の滑落を防止し、地すべり斜面上に生息する動植物の生息場所の保全という効果を有するが、一方で、地すべり防止工は地すべり運動を停止させるものの斜面環境を一変させる恐れもある。例えば、大規模な排土工、押え盛土工は斜面上に分布する植生等を取り除くことになる。また、地下水排除工は地すべり地の地下水条件を変化させ湿地や沼を消滅させることによって、湿潤性植物等に影響を及ぼすことも考えられる。

防災上必要な効果を得るための施設整備においては、環境に何らかの影響を及ぼすことは避けられないが、可能な限りその影響を軽微なものとするとともに、施設整備後に回復する環境要因についてはできる限り自然環境の再生を促すような計画、構造、施工方法を採用する等の配慮を行う必要がある。また、施設の形状、配置においても、景観、生態系に十分配慮する必要がある。

地すべり防止施設の整備が影響を及ぼす環境を自然環境・景観、生活環境としてとらえた時の、環境への配慮の留意点を挙げると次のとおりである。これらは、調査、工事、維持管理の各段階において、適宜配慮する必要がある。

(1) 自然環境・景観

・大規模な排土工、押え盛土工は、斜面環境を大きく改変する。対策の工種を検討するにあたっては、自然環境の再生に対する配慮を行う視点も加味し、工種の選定と緑化の推進を行うことも必要と考えられる。

・抑止工等に伴うのり面工は自然環境と景観に配慮して早期の緑化に努めること。

・工事に伴う樹木の伐採、工事に伴う泥水の発生等地すべり防止工事中の環境への影響を十分考慮する必要がある。

(2) 生活環境

・地すべり地は、急峻な山地部にあっては貴重な生活の場でもあることに留意する必要がある。

・地すべり地は地下水が豊富であることが多く、地域住民が地下水を利用している場合が多い。地下水排除工はこれらの地下水利用に対して影響を与える恐れがあることから、事前に十分な調査が必要である。

・また、一方で、地下水排除工からの地下水は、農業用水、消雪用水、飲料水等地域住民の新たな水利用を可能にする事例もあることから、地下水の利用の可能性、地域の需要を十分に調査する必要がある[2)]。

３．２　地すべり防止施設配置計画

３．２．１　総説

地すべり防止施設配置計画は、地すべり防止計画（３．１参照）に基づき、地すべりの規模及び発生・運動機構、保全対象の重要度、想定される被害の程度等を考慮し、地すべり災害が防止されるよう策定する。

事前の調査では、必ずしも地すべりの全容が判明しない場合もあるため、その後の情報による計画の見直しを行う。

また、地すべり防止工事の施工中及び施工後は、実施した工事の効果が計画どおり発揮されているか確認し、必要に応じて計画を見直す。

解説

地すべり防止施設配置計画は、地すべり災害が防止されるよう、地すべり防止計画（３．１参照）に基づき、地すべりの規模及び発生・運動機構、保全対象の重要度、想定される被害の程度等を考慮し、工法の特性を十分検討した上で、工法、施工位置、数量及び施工順位等の計画を策定する。

地すべりは多くの場合、相互に関連しながら活動する複数の運動ブロックから構成されている。地すべり防止施設の配置は、防止計画に基づき必要に応じて運動ブロックの範囲、ブロックの相互関係や安定度、保全対象の位置や重要性に応じて各ブロックの対策の優先度を設定して個別に安定性を向上させた後、対象とする地すべり地全体の安定性を向上させるよう計画する。なお、事前の調査では必ずしも地すべりの全容が判明しない場合もあり、その後の調査によっては、計画の見直しが生じる場合もある。

地すべり防止工事の施工中及び施工後は、実施した工法の効果が計画どおり発揮されているか確認する必要がある。工事の効果判定は、移動量等の地すべり現象により評価することが望ましい。ただし、地すべり現象は、一般に緩慢でかつ異常気象（豪雨、長雨、融雪等）によって間欠的に活動する場合が多いため地すべり現象がみられなくなった後の効果判定にあたっては、特に細心の注意を払うことが望ましい。地すべり防止工事終了時の判断にあたっては、必要に応じて工事完了後も数年間程度観測を継続して地すべりによる異常な動きのないことを確認する。

３．２．２　斜面安定解析

地すべり防止施設配置計画においては、地すべりの運動ブロック毎に運動方向に沿った断面における斜面安定解析を行い、その結果に基づき、所定の計画安全率（P.Fs）を確保するように防止工事の工法及び規模を決定する。

解説

安定解析の方法には、応力の極限平衡により安定性を論ずる極限平衡法と土の応力と歪みの関係を考慮した応力解析法がある。

極限平衡法では、分割法（スライス法）が広く知られており、スライス間力など仮定条件の相違により、簡便法（Fellenius 法）、Bishop 法、Janbu 法、Morgenstern-Price 法等の各種の方法[3)，4)]が提案されている。また、極限平衡法では主測線上の断面を用いて行う 2 次元安定解析のほか、地すべりブロック全体を取り扱う 3 次元安定解析手法も提案されている。3 次元安定解析法としては、Hovland 法[5)]、3 次元簡易 Janbu 法[6)]等が提案されている。また、複数の測線に沿った 2 次元断面の安定解析に各断面間の幅を考慮して重み付けをし、簡易に 3 次元的な評価をする方法[7)]も提案されている。

応力解析法では、対象とする地すべりの不連続面の取り扱い方によって、有限要素法、個別要素法、剛性ばねモデル等の手法[8)]がある。

安定解析は、地すべり地の特性（平面形、すべり面形、移動状況等）に応じて、上記の手法の中から適切な解析手法を選択して実施することが望ましい。これまでは 2 次元の簡便法が多く用いられ、計画安全率も簡便法を用いた場合のこれまでの実績から設定されている。

以下に、簡便法を例示する。

簡便法はフェレニウス法やスウェーデン式分割法とも呼ばれる手法と形が同じ式であり、本来は円弧すべりに対して用いられ、円弧すべりの回転中心に関する回転モーメントと抵抗モーメントの比によって安全率を求めるものである。しかしながら、非円弧すべりに対しても同じ計算式を適用し、力の釣り合いのみを考慮した使われ方がされている。

$$Fs = \frac{\Sigma(N-U)\cdot\tan\phi' + c'\Sigma l}{\Sigma T} \quad \cdots \quad （式３－１）$$

Fs：安全率

N：分割片の重力による法線力（kN/m）　$= W\cdot\cos\theta$

T：分割片の重力による切線力（kN/m）　$= W\cdot\sin\theta$

U：分割片に働く間隙水圧（kN/m）

l：分割片のすべり面長（m）

c'：すべり面の粘着力（kN/m^2）

ϕ'：すべり面の内部摩擦角（°）

W：分割片の重量（kN/m）

θ：すべり面の分割片部における傾斜角（°）

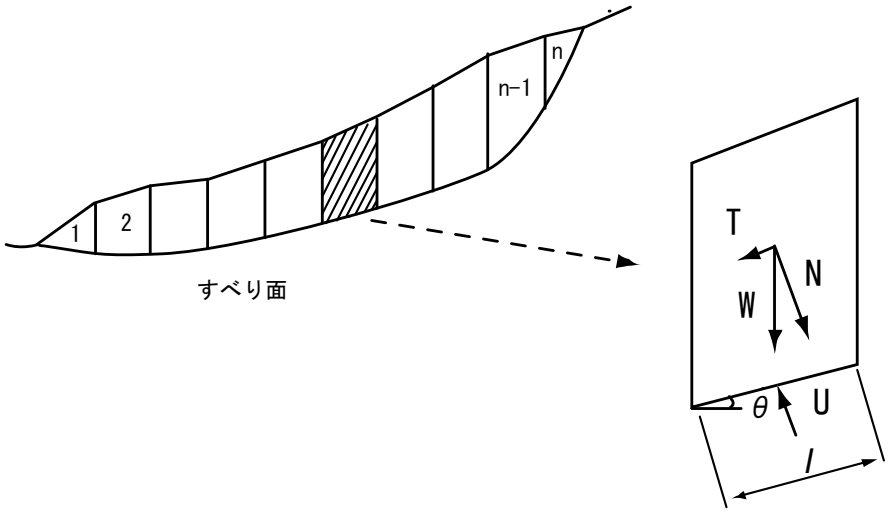


図３－１　簡便法の模式図

３．２．２．１　土質強度定数

斜面安定解析に用いる土質強度定数（すべり面の粘着力：c’、すべり面の内部摩擦角：φ’）は、地すべりの形態及び土質条件に応じて、すべり面粘土をサンプリングして土質試験を行う方法や、地すべりの滑動状態により現状の安全率を推定して土質強度定数を逆算する方法（逆算法）等、最適な手法により設定する。

解説

土質強度定数を設定する方法には、①すべり面粘土をサンプリングして土質試験を行う方法、②地すべりの活動状態により現状の安全率を推定して土質強度定数を逆算する方法（逆算法）等がある。

簡便法を用いて安定計算を行う場合には、精査によりすべり面深度、単位体積重量、間隙水圧が明らかとなっていれば、次の（１）～（３）の手順によって粘着力（c’）、内部摩擦角（φ’）が求められる。

（１）現状の安全率の設定

現状安全率は、地すべりの移動状況に応じて設定（３．１．３参照）

（２）粘着力（c’）の推定

粘着力（c’）は、土質試験あるいは対象とする地すべりの最大層厚をもとに、表３－１を参考にして推定されることが多い。地すべりの最大鉛直層厚が25m以上の場合には、c’は25kN／m^{2}とすることが一般的であるが、c’のみならずそれに対応するφ’も含めて総合的に判断するなどその妥当性を検討して慎重に定めることが望ましい。また、鉛直最大層厚が 5m以下のものについては別途検討が必要。

（３）内部摩擦角（φ’）の逆算

（１）、（２）で設定した値を安定解析式（式３－１）に代入することにより、内部摩擦角（φ’）が逆算される。

（１）～（３）の手順によって求められた粘着力（c’）、内部摩擦角（φ’）

を安定解析式に代入し、計画安全率の達成に必要な防止工事の内容を検討する。

なお、土塊の単位体積重量は 18kN／m^3を用いるが、シラスや巨石が多く、間隙の大きい地層や熱水変質を受けた地層では土質試験を実施して決定することが望ましい。

表３－１　最大鉛直層厚と粘着力

地すべり土塊の最大鉛直層厚 (m)	粘着力　c’　(kN/m^2)
5	5
10	10
15	15
20	20
25	25

３．２．２．２　間隙水圧

斜面安定解析に用いる間隙水圧は、すべり面における間隙水圧を計測する手法のうち最も適切な手法によって測定された値を用いる。

間隙水圧は直接間隙水圧計等により測定することが望ましいが、これによりがたい場合は、ボーリング孔内の地下水位をもって代えるものとする。

解説

ボーリング孔内の地下水位は、全孔ストレーナを用いた場合、複数の滞水層が存在する場合には不正確な水位を示し、透水性の悪い土質を有する場合には、地下水位の変化に遅れを生じる場合がある。したがって、間隙水圧は直接間隙水圧計等により測定することが望ましい。

しかしながらこれによりがたい場合は、ボーリング孔内の地下水位をもって代えるものとする。この場合にあっても、部分ストレーナ孔の採用によって、複数の地下水帯が分布している場合や逸水層がある場合でもすべり面に作用する地下水帯の水位変動をとらえられるよう、地すべりの水文地質構造にあわせて適切な地下水位観測孔を設置する必要がある。

災害直後にあって十分な地下水観測データが得られていない場合にあっては、ボーリング掘進中の水位変動や短期間の水位観測結果により安定解析を実施し、防止工の計画を立案するが、十分な観測データが得られた時点で適宜防止計画の見直しを実施する必要がある。

一般に既往観測地下水位の最高値を用いて安定解析を行う。ただし、地すべりが滑動した時の地下水位が明らかである場合はその滑動時の地下水位を用いて、逆算法により土質強度定数を求める。

なお、フェレニウス法では、すべり面が急な場合に（N－U）＜0 となることがある。その場合には、（N－U）＝0 として計算する。

３．２．３　工法の選定

地すべり防止施設配置計画は、地すべり防止計画にもとづき、地すべりの規模及び発生・運動機構、保全対象の重要度、想定される被害の程度、工法の経済性等を勘案し、抑制工と抑止工を単独もしくはこれらを適切に組み合わせて策定する。

工法の選定にあたっては、次の点に留意する。

1）抑制工と抑止工の持つそれぞれの特性を合理的に組み合わせ、適切な位置に配置した計画とする。

2）地すべり運動が活発に継続している場合には原則として抑止工を先行せず、抑制工によって運動が低減、停止してから抑止工を導入する。

3）施工時のみならず維持管理も含めたトータルコストを考慮する

解説

地すべり防止工は、対策工の持つ機能の違いから、抑制工と抑止工に大別される。

抑制工・・・地すべり地の地形、地下水の状態などの自然条件を変化させることによって、滑動力、抵抗力のバランスを改善し、地すべり運動を停止または緩和させる工法

抑止工・・・構造物のもつ抵抗力を付加する事により、地すべり運動の一部または全部を停止させる工法

これまで一般的に用いられてきた地すべり防止工を分類すると図３－２のとおりである。

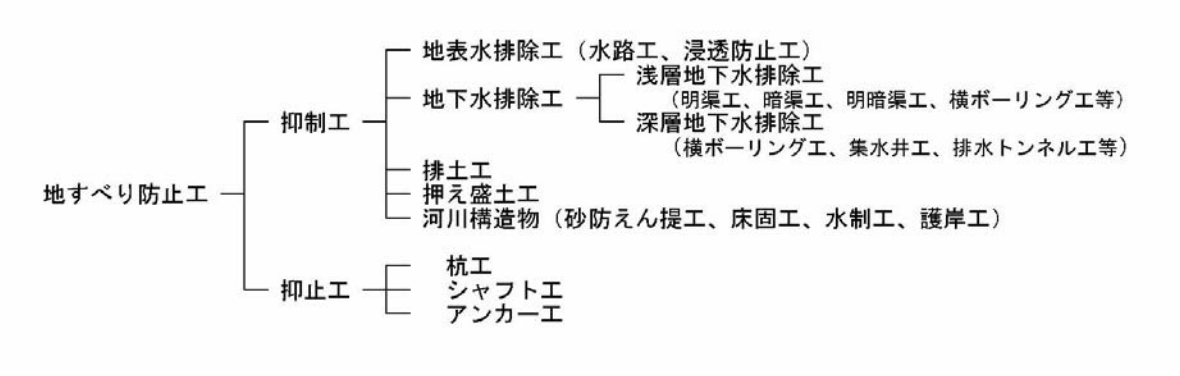


図３－２　地すべり防止工の分類

地すべり防止工は素因・誘因を勘案し、特に降雨（融雪水）や地下水と地すべり運動との関連性、地形・地質、地すべりの規模、運動形態、運動速度、保全対象、経済性（施工時のみならず維持管理も含めたトータルコスト）及び優先順位等を十分に考慮して採用する工法を選定する。原則的には、詳細な調査によって対象とする地すべりの特徴を明らかにしたうえで、対策工の計画を立てるべきである。

地すべりの特性は各現場によって異なるため、対策工の計画立案手法を一律に論じることはできないが、以下に、地すべりの誘因、滑動力の低減・抵抗力の付加、地すべりの活動状況、

地すべりの規模、対策工の施工位置に着目した場合の防止工計画時の留意点を述べる。

1) 地すべりの誘因（誘因の除去）

地すべりの誘因を除去することは一般に最も効果的な防止対策となる。

自然発生する多くの地すべりの誘因は、豪雨・長雨・融雪等によって地下水の供給量が増加することにあるといっても過言ではない。そのため、地表水排除工や地下水排除工は第一に考慮すべき重要な工法である。

一方、人為的な行為が誘因となる場合は、応急対策としては誘因となった事象を復元することが効果的な対策工となる。例えば、切土や盛土が誘因となった場合にはその影響をできるだけ除去すべく元に戻すことが有効である。

2) 滑動力の低減、抵抗力の付加

地すべりの滑動力（安定解析式の分母）を低減する代表的な工種は、地すべり頭部で実施される排土工が挙げられる。この工種は速効性があり有効であるが、排土斜面の上部に不安定斜面や別の地すべりブロックのないことを慎重に確認する必要がある。

一方、抵抗力（安定解析式の分子）を付加する代表的な工種は、押え盛土工や杭工である。前者は地すべりの末端部で実施され、効果的な工種の一つである。アンカー工も多用される工法である。

3) 地すべりの活動状況

移動速度の大きな地すべりの場合には抑止工の施工は不可能で施工した場合でも破壊することがある。そのため、まず切土、盛土等の人為的誘因を除去、地表水排除工や横ボーリング工等の地下水排除工等の抑制工を施工し、移動速度を低減させた上で必要に応じ抑止工を計画する。

4) 地すべりの規模

地下水排除工を例にとってみると、地すべりの規模が小さい場合、地表からの横ボーリング工において、すべり面を貫いて施工することはさほど困難ではない。しかしながら、規模が大きくなるにしたがってボーリングの延長も大きくなるため、すべり面付近の地下水を排除する効率は悪くなる。そのため、集水井工や、時には排水トンネル工等が効率的かつ経済的な工種となる。

同様に、抑止工をとってみても、地すべりの規模が大きくなれば杭工の採用は難しくなり、アンカー工やシャフト工を選択することになる。

5) 対策工の施工位置

地すべりの頭部は引張り領域となり、亀裂や間隙が多いため、地下水排除工や地表水排除工を配置すると効果的である。さらに、地すべり地外からの地下水の流入を防止するための地下水排除工もしばしば施工される。また、排土工も地すべりの頭部で施工される。

一方、地すべりの末端部は圧縮領域となっているため、押え盛土工や抑止工の適地となる。

３．２．４　抑制工の計画

抑制工は、地すべり地の地形、地下水の状態などを変化させることによって、滑動力と抵抗力のバランスを改善し、地すべり運動を停止または緩和させるように、維持管理も含めたトータルコストも考慮し、以下の工種を合理的に組み合わせて適切に配置するよう計画する。

解説

抑制工には、以下の工種がある。

○地表水を排除するもの：「水路工」・「浸透防止工」

○浅層地下水（地表に近い地層内を流動する地下水）を排除するもの
　：「暗渠工」・「明暗渠工」・「横ボーリング工」

○深層地下水（すべり面に近い深部の地下水）を排除するもの
　：「横ボーリング工」・「集水井工」・「排水トンネル工」

○地すべり頭部の土塊を排除するもの：「排土工」

○地すべり末端部に排水性の良い土塊を盛土するもの：「押え盛土工」

○渓岸を保護し地すべり末端部の安定を図るためのもの：「河川構造物等による侵食防止工」

１）　地表水排除工

地表水排除工は、降雨の浸透や湧水、沼、水路等からの再浸透を防止し、地下水の上昇を抑制させるものである。地表水排除工には、水路工や浸透防止工があり、地すべりの状況に応じ早急に施工できる工法を選定する。そして、水路工は地すべり地の地形に沿って計画し、大きな土工等は避けるものとする。また、地すべり地へ流入する地表水を排除する場合は、地すべりの亀裂や滑落崖から離れた安定な地すべり地域の周縁部に計画する。

地表水排除工の効果は、現時点で、必ずしも定量的に表現することはできないが、地すべり対策工として実施することが望ましい。降水量と地すべり運動が密接に関連している場合には特に有効な工法である。

(1) 水路工

水路工は、地すべり地域内の降雨を速やかに集水して地域外に排除、及び地域外からの流入水を排除するために設置される。

水路工は集水路工と排水路工に区分される。

①集水路工

集水路は、斜面における降雨・地表水をすみやかに集めるために通常斜面を横切って設置する。集水路工は、比較的幅が広く、浅いものとし、排水路に連結させる。

②排水路工

排水路は、集めた水をすみやかに地すべり地外に排除するために用いられるため、流出計算によってその断面が決定されなければならない。排水路は谷地形を呈する位置に設け、排水路は原則として20～30m間隔に帯工を設け、排水路の末端・水路の合流点等には床止めや集水桝を設置する。

⑵ 浸透防止工

浸透防止工は、亀裂の発生箇所に対して粘土、セメントの充填やビニル布の被覆等を行う工法である。沼、水路等の漏水防止工としては、不透水性の材料による被覆、沼の開削、水路の付け替え及び改良などを計画する。

２） 地下水排除工

地下水排除工によって、地すべり地域内に流入あるいは浸透する地下水及び地域内に分布する地下水を排除し、地すべり土塊内部の間隙水圧（地下水位）を低下させる。地下水排除工は、地表に近い地層内を流動する地下水を対象とする浅層地下水排除工とすべり面に近い深部の地下水を対象とする深層地下水排除工に大別される。

地下水位の計画低下高は、対策工の種類、地すべり地の地形、地質、土質、地下水の賦存条件によって異なるため、地下水位解析結果や類似箇所での地下水位低下実績等を参考に検討を行い、決定する。地下水位解析や類似箇所での実績等が得難い場合は、目安として次の値を参考としても良い。ただし、ここに示す値は、地すべり地内に地下水排除施設を適切に配置した場合の経験的な値であり、期待できる地下水位低下高の最大値と考えるべきである。したがって、施工後に継続観測を行い、目標とする地下水位低下がみられない場合には、工法を再検討し、増工等を検討する。

横ボーリング工	3m
集水井工	5m
排水トンネル工	8m

⑴ 浅層地下水排除工

①暗渠工

暗渠工は、浅層部に分布する地下水を排除するため、または降水による浸透水を速やかに排除するために設置される。特に、透水係数の小さい土層中の豊富な地下水を排除する場合には、積極的に計画する。排除可能な地下水深度は地表から2m程度である。

②明暗渠工

明暗渠工は、地表水の流入、浸透を防ぐとともに、地表から浅い深度に浸透した地下水を排除するために設置される。浅層地下水は地表水の浸透により形成されるため、地表の凹部、谷部に暗渠工と地表排水路工とを組み合わせた構造とする。

③横ボーリング工

横ボーリング工は、明暗渠工等では排除できない浅い地層の地下水を排除するもので、地形的に施工可能な場合に計画する。地下水の解析結果に基づいて横ボーリング工の径、長さ、角度等を計画することが望ましいが、横ボーリング工の先端間隔は一般に 5～10mとし、地下水の豊富な地区に集中的に計画される。

⑵ 深層地下水排除工

①横ボーリング工

深層地下水排除工として計画される横ボーリング工は、すべり面付近に分布する深層地

下水や断層、破砕帯に沿った地下水を排除するために設置される。地すべりブロックの深層地下水の存在、地下水位等を確認した上で帯水層に向けて計画する。横ボーリング工の先端間隔は一般に5～10mとし、予想されるすべり面を貫いて5～10mの余掘を行うように計画されることが多い。

②集水井工

集水井工は、深層地下水を排除するために設置される。特に、深い位置で集中的に地下水を集水しようとする場合や横ボーリング工ではその延長が50m程度より長くなる場合に計画する。

集水井は、集水井壁面からの湧水を期待するのではなく、集水ボーリングによる地下水脈からの大量の集水を期待する。

集水井の深さは、活動中の地すべりでは、すべり面深度より 2m以上浅く計画し、井筒と排水ボーリングの安定を図るのが一般的である。停止中の地すべりの場合はすべり面を貫いて安定な地盤に集水井の井筒基礎を設置することもある。

集水井の位置及び規模は、集水効果、施工時の安全性、維持管理等を考慮して決定する。特に、集水井から地表への排水が自然排水となるようにその配置、工法を検討する。集水井から地表へ直接排水できない場合は中継井戸を計画する。いずれの場合も排水ボーリングは、地すべりによって切断されないように、原則として地すべりブロックを横切らない配置とする。

集水井工は、地下水が層状あるいは脈状に賦存している地すべり地域内で集中的な地下水排除を必要とする場合に用いられるが、地下水の分布が多層構造の場合には、深さ方向に2段以上の集水ボーリングを行う必要がある。

地質が軟弱で湧水が多量にある場合は掘削が困難であるため、他の工法が採用される。また、移動の激しい箇所では、側圧の増加によって井筒にひずみが発生し、破壊の原因となることがある。したがって、施工後の維持管理上ばかりでなく、施工中の災害防止の観点からもできるだけこのような箇所での施工は避けることが望ましい。そのため、集水井工の位置の決定に当たっては、調査ボーリングによって地質及び基盤を確認することを原則とする。

2 基以上の集水井を設ける場合には、集水ボーリングの施工延長、集水井による地下水位低下の影響範囲及び現地の地下水の状況などを考慮して位置及び数量を決定する。

③排水トンネル工

排水トンネル工は、集水井工や横ボーリング工では深層地下水の排除が困難な場合に計画される。

排水トンネル工は、トンネル内からの集水ボーリングによって、すべり面付近の深層地下水を排除することを目的として施工される。また、地すべり面下を通る底設トンネルと地すべり地周辺部に設ける周縁トンネルに大別される。地すべり土塊内でのトンネル掘削は原則として行わず、一般にすべり面から排水トンネル径の2倍以上離して計画する。

集水ボーリングは、トンネル内のボーリング室から上向きまたは横向きボーリングにより実施する。

３）　排土工

排土工は､地すべり頭部の土塊を排除し､地すべりの滑動力を低減させるために実施される。排土工を計画する場合には、その上方斜面の潜在的な地すべりを誘発することがないように、事前に十分な調査・検討を行うことが必要である。上方斜面に地すべりが分布する場合には、本工法の計画は避けるべきである。

排土量については、地すべりの規模、すべり面の位置を正確に把握し、安定計算によって決定する。排土後には、のり面及び排土跡地の緑化等により、自然環境の回復に努める。

地すべりの移動量が大きく、地すべり地内および地すべり下方斜面への作業員の立ち入りに危険を伴う場合や急傾斜地で作業に危険を伴う場合などには、無人化施工技術の導入を検討する。

排土工は、土砂運搬や土砂処理、概成後の切土面の維持管理などに費用を要するほか、用地買収等に時間を要する場合がある。反面、横ボーリング工、集水井工等、地下水排除工のように、施工後の集排水孔へのスライム付着をはじめとする機能低下の問題が少ない工法である。よって、施工性、土砂処理、用地、機能低下リスク、維持管理費等を含めたトータルコストを比較した上で有利と判断される場合には、積極的に採用すべき工法である。

４）　押え盛土工

押え盛土工は、末端部に排水性の良い土塊を盛土し、地すべり滑動力に抵抗する力を増加させるために設置される。盛土部及びその周辺斜面で新たな地すべりの誘発がないことを確認して地すべり末端部に計画する。盛土位置が河川や渓流の河床部であることが多いので、河道付け替えや護岸工を必要とする場合がある。

押え盛土工は、排土工と併用すると効果的であるので、通常これらを組み合わせて計画することが多い。また、盛土背面の地下水位の上昇を考慮して、地下水排除工を併用することが望ましい。

盛土量については、安定計算によって算出する。盛土部は緑化して自然環境や景観の回復に努める。また、排土工で述べたように、作業員の安全を確保できる施工方法とする。

５）　河川構造物等による侵食防止工

河川構造物等による侵食防止工は、流水による河床低下や渓岸侵食が地すべり土塊の安定を損なわせ、地すべり発生の誘因となる場合に、渓岸の保護と地すべり末端部の安定を図るために計画する。

地すべり防止工としての河川構造物には、砂防えん堤、床固工、護岸工、水制工等がある。また、河川の付替えが計画されることもある。

地すべり地域の直下流部に砂防えん堤、床固工を設けると、その堆砂によって地すべり末端部の崩壊や侵食が防止され、押え盛土工と同様の効果が期待できる。

砂防えん堤、床固工等を設置する場合は、原則として地すべり地域直下流部で、地すべりの影響のない安定した基盤に設ける。地すべり地域内に一連の砂防えん提または床固工を計画する場合には、その直下流で地すべりの影響のない地点にも構造物を計画することがある。

３．２．５　抑止工の計画

抑止工は、構造物のもつ抵抗力を付加することにより、地すべり運動の一部または全部を停止させるように、維持管理も含めたトータルコストも考慮し、以下の工種を単独もしくは合理的に組み合わせて適切に配置するよう計画する。

解説

抑止工には、以下の工種がある。

○鋼管や鉄筋コンクリート等のせん断抵抗力や曲げ抵抗力により、地すべり移動土塊の滑動力に対して直接抵抗するもの：「杭工」、「シャフト工」

○テンドン（鋼材等）の引張強さを利用して斜面を安定化させるもの：「アンカー工」

１）　杭工

杭工とは、鋼管杭等をすべり面を貫いて不動土塊まで挿入することによって、せん断抵抗力や曲げ抵抗力を付加し、地すべり移動土塊の滑動力に対し、直接抵抗する工法である。

杭工は一般に複数の鋼管杭を地すべりの移動方向に対して直角方向に列状に配置し、地すべり滑動力に一体となって対抗させる工法である。したがって、地すべり活動が活発で１㎜/day以上の動きがある、または予想される場合には、計画される杭が同時に施工されない限り、杭の働きは個別的なものとなって効果が期待できないので、応急対策工事や抑制工によって地すべり活動が概ね停止したのを確認した上で施工を行う。

計画位置は、原則として地すべり運動ブロックの中央部より下部とし、杭の根入れ部となる基盤が強固で地盤反力が期待できる場所を選定する。

２）　シャフト工

シャフト工では、立坑に鉄筋コンクリートを充填し、シャフトの抵抗力で地すべりの滑動力に対抗するものである。地すべりの滑動力が大きく、杭工では所定の計画安全率（P･Fs）の確保が困難な場合で、基礎地盤が良好な場合に計画する。

シャフト工は、径2.5～6.5mの立坑を不動土塊まで掘り、これに鉄筋コンクリートを充填したシャフトをもって杭に変える工法である。地盤等の条件により大口径の機械削孔を行うことが困難な場合や、曲げ杭では地すべりの滑動力に抵抗できない場合にシャフト工を用いる。立坑掘削中の施工の安全管理に留意する必要がある。また、掘削中の排水処理を十分に行うために、事前に地下水や湧水に対する調査、検討を十分に行う必要がある。

３）　アンカー工

アンカー工では、斜面から不動地盤にテンドン（鋼材等）を挿入し、基盤内に定着させた鋼材の引張強さを利用して斜面を安定化させるものである。地すべり対策工として使用されるアンカー工には、すべり面に対する垂直応力をアンカー工により増加させることによってせん断抵抗力を増加させようとする効果（締め付け効果）を期待するものと、地すべり土塊が、滑落しようとした時にアンカー工のすべり面の接線方向の引張り力によって地すべり土塊を引き止めようとする効果（引き止め効果）を利用するものがある。アンカー工は、引き止め効果ある

いは締め付け効果が最も効果的に発揮される地点に計画する。

アンカー工は、高強度の鋼材を引張材として地盤に定着させ、引張材の頭部に作用した荷重を定着地盤に伝達し、群体としての反力構造物と地山とを一体化することにより地すべりを安定化させる工法である。地すべり地が急勾配で、杭工、シャフト工では十分な地盤反力が得られない場合や緊急性が高く早期に効果の発揮が望まれる場合等に、適切な位置に計画する。

３．３　工事に際しての安全対策

地すべりの滑動状況に応じて、施工中に地盤伸縮計等による移動状況を監視する。変位量や降雨量等に基づく安全管理基準の設定、頭部排土工や押え盛土工における無人化施工機械の導入等、工事に際しての安全対策について検討する。

参考文献

1) 渡正亮, 小橋澄治：地すべり・斜面崩壊の予知と対策, 山海堂, pp41, pp115-117, 1987.

2) （社）地すべり対策技術協会：地すべり対策により生じた地下水利用のための手引き, 106p, 1997.

3) 土質工学会：土質工学ハンドブック, pp223～263, 1982.

4) 土質工学会：斜面安定解析入門, 189p、1989.

5) Hovland, H. J.：Three-dimensional slope stability analysis method, ASCE, Vol.103, No.GT9, pp.971～986, 1977.

6) 鵜飼恵三, 細堀建司：簡易 Bishop 法、簡易 Janbu 法および Spencer 法の三次元への拡張, 土木学会論文集, No.394/Ⅲ-9, pp.21～26, 1988.

7) Lambe, T. W. & Whitman, R. V. ：Soil Mechanics, john Wiley & Sons. Inc. , 570 p, 1969.

8) 例えば、（社）地盤工学会：切土法面の調査・設計から施工まで、pp102～111, 1998.

第４章　緊急時の調査・危機管理基準

４．１　総説

地すべりにより斜面やのり面に変状が確認された場合は、以下の対応を検討する。
①変状範囲と地すべり移動方向の確認
②移動量、変位量等の計測
③発生機構（素因・誘因）の推定
④移動土塊の挙動の予測
⑤拡大の可能性の検討
⑥影響範囲の推定
⑦危機管理基準値の設定

解説

ここでは、地すべりにより変状が発生した場合に、危機管理に役立つ技術を示す。

なお、危機管理は災害対策基本法、土砂災害警戒区域等における土砂災害防止対策の推進に関する法律により、警戒、避難等がおこなわれる。

上記①～⑦は、対応項目をほぼ時系列で挙げているが、非常時には併行して対応がなされる必要がある。

特に⑥、⑦は人命に関わる対応項目であることから、迅速かつ安全側の判断が必要。

また、現地での調査・応急対策の実施にあたっては、作業者の安全を確保した上で実施する。

４．２　緊急時の調査

４．２．１　現地調査

現地調査により、「変状範囲の確認」、「移動量、変位量等の計測」を行う。

変状範囲の確認は、変状の認められる範囲よりも広い範囲で行うものとする。

移動量、変位量等の計測は、地盤伸縮計等により、滑動状況に応じた適切な測定間隔で行うものとし、必要に応じ、変位量が大きくなった場合や危険度の高まりにより近づけなくなった場合を想定した計測手法を検討しておくものとする。

解説

１）　変状範囲の確認

斜面に変状が確認された場合には、第一に変状の生じている範囲と地すべりの移動方向を確認する必要がある。これらの状況をもとに「③発生機構の推定」、「④移動土塊の挙動の予測」、「⑤拡大の可能性の検討」がなされるため、正確かつ詳細な調査が必要である。調査は、変状の認められる範囲だけでなく、変状範囲を包括する大規模な地すべり地を見逃さないよう、背後斜面や隣接斜面の確認を十分行う。また、調査の実施にあたっては、調査者の安全の確保を最優先するべきである。

調査時の着眼点は次のとおりである。

(1) 地形

マクロな地形を概観し、既存の地すべり、崩壊地の分布状況を調査する。さらに、ミクロに変状範囲の微地形を確認し、地すべり範囲の推定に役立てる。

予め地形図より周辺域の大地形等を把握しておくとともに、変状の生じた斜面の対岸や上空等から斜面全体を遠望するとよい。

(2) 地質、地質構造

地質図を入手するとともに、露頭より地質、地質構造を調査し、地すべり範囲、移動土塊の性状等の推定に役立てる。

(3) 構造物や斜面の変状の分布

構造物の変状は容易に発見可能であるが、斜面（地山）の変状は発見できない場合もある。しかし、急激な移動の場合には、斜面（地山）にも何らかの変状が認められることが多いため、詳細な調査により変状範囲を明らかにし、地すべり範囲の推定に役立てる。

一般に、崩壊の上部や側部斜面は不安定となっているため、詳細な調査が必要である。また、地すべりの活動に起因して末端部で崩壊した可能性もあるため、上部斜面の地形との関連性を確認することも重要である。

(4) 湧水

地すべり地では、しばしば豊富な湧水が認められる。すべり面が不透水層となっている場合には、末端部のすべり面の露頭からの湧水がしばしば認められる。湧水位置を調査することにより、地すべり範囲の推定に役立てる。

２）　移動量、変位量等の計測

地表面の変状が明瞭でない場合には、地盤伸縮計等を用いて引張り、圧縮の変位量を計測することによって移動範囲を確認する必要がある。通常、地盤伸縮計は、引張亀裂をまたいで移動土塊側と不動地側にかけて設置される。しかし、頭部の変状範囲が認められない場合や、移動範囲の拡大が懸念される場合には、上方斜面にまで地盤伸縮計を設置する必要がある。このような場合図４－１に示すように、遷急線や遷緩線を目安とし、幾つかの地盤伸縮計を連続して設置する。

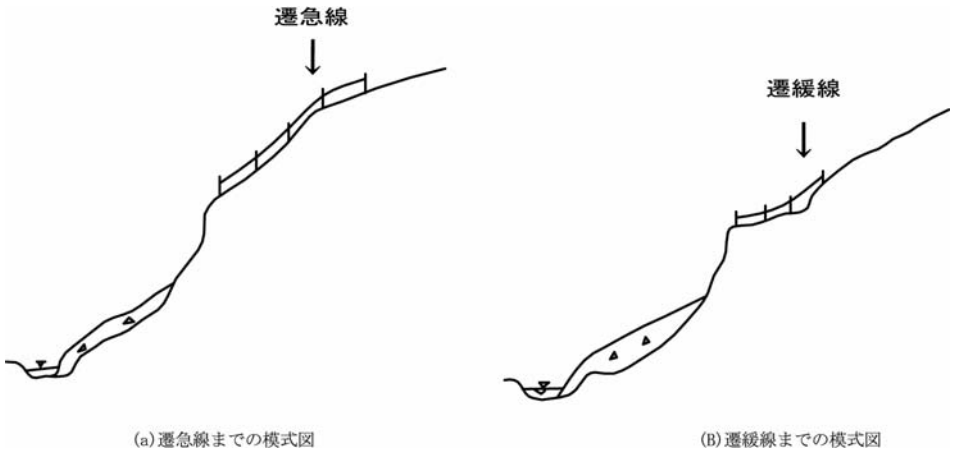


図４－１　地盤伸縮計の設置範囲[1)]

地盤伸縮計は、斜面の変状を計測し移動範囲を確認するだけではなく、「④移動土塊の挙動の予測」に用いることや、「⑦危機管理基準値の設定」及び応急対策工事の計画、実施における警戒避難への適用、工事中の安全管理の基準としての活用が可能な計測機器である。

地盤伸縮計は滑動状況に応じて、測定間隔を10分間隔等に短く設定できることが望ましく、警報器付きにすることで迅速な警戒避難に役立てることができる。また、斜面への立ち入りが規制される場合にもデータを取得できるように自動計測タイプの機器を用いる必要がある。

地盤伸縮計設置の注意事項として、変位量が大きく測定不能に陥ることが予想される場合には、バネ等を用いて反力を得るタイプの機器を選定するなどの工夫が必要である。また、地盤伸縮計が測定不能になった場合や、危険度が高まり地すべりに近づけなくなった場合を想定して、測量機器による斜面監視を検討する必要がある。

測量機器による監視では、光波やレーザーを用いた高精度の測距儀を用いることが多く、これらは、光波やレーザーを対象物に照射し、その往復時間より距離を求める方法がとられている。光波による測量では、反射プリズムを用いることで一定の精度が確保されるが、移動速度が速い地すべりや急崖部のように反射プリズムの設置が困難となる場合がある。このような危険度の高い斜面では、対象物に直接レーザーを照射するノンプリズム測量が有効であるが、プリズムを設置しないため、同一点が計測できないことによる視準誤差が大きくなり、夜間には計測できなくなる場合もある。

土木研究所地すべりチームでは、これらの課題を解消するため、民間との共同研究により、遠隔から安全に設置できるターゲットとその設置・計測手法「RE・MO・TE^2（リモート2：Remote Monitoring Technology2）」を開発、立ち入りが危険な斜面の挙動をより精度よく計測する方法を考案した。

「RE・MO・TE^2」は、再帰反射性塗料を封入したカプセルをクロスボウの矢先に取り付け、斜面に向かって発射、塗布するものであり、実験では距離300mにおいて±50cmの命中精度が確認できた。一連の作業が斜面から十分離れた地点で行えるため、安全に観測作業を行うことが可能である。なお、巻末参考４に「RE・MO・TE^{2}計測マニュアルを添付した。

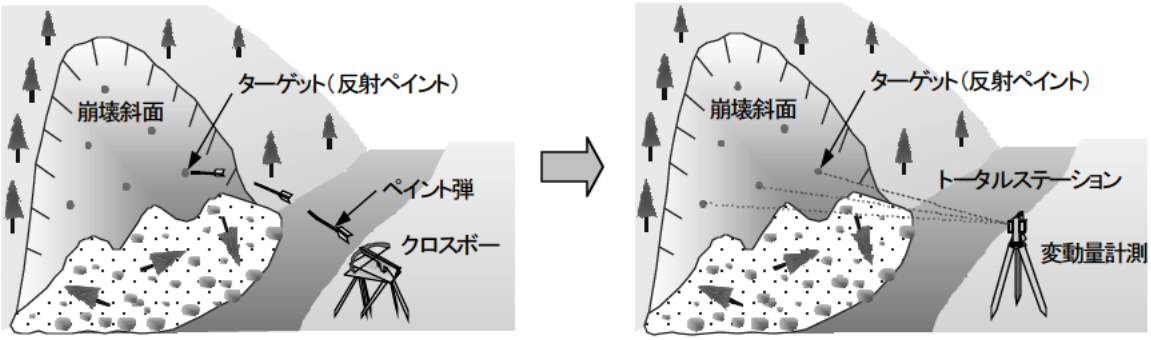


図４－２　ターゲットの遠隔設置による計測手法「RE・MO・TE^2」の概要

地盤に亀裂が発生した場合の簡易な計測手法として、応急的には、ぬき板による移動量（水平、鉛直変位）の計測（図４－３）や亀裂等を挟んだピンの間隔の測定等も実施される。これらは計測機器調達までの応急対応である場合や、多数地点のデータが必要な際に実施されることが多い。その他、移動杭による計測（横断見通し測量、光波測距）により移動状況の把握がなされることも多い。また、CCTV カメラ等によって、斜面や河川の状況を監視することも有効である。

計測地点の選定にあたっては、的確に移動状況を把握できるよう検討する必要がある。また、地すべり範囲の把握、移動状況の把握という観点からは、できるだけ多くの計測データを取得することが望ましい。なお、既に地盤伸縮計、孔内傾斜計、縦型伸縮計等の計測機器が設置されている場合には、それらの機器に加えて、変状の拡大や新たな亀裂が発生した場合には、計測機器を新設する。

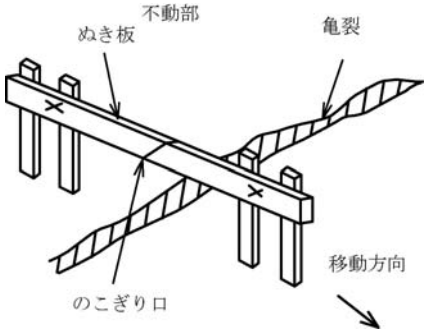


図４－３　ぬき板による計測例[1)]

４．２．２　地すべり運動の予測

「地すべり発生機構（素因・誘因）を推定」し、「移動土塊の挙動の予測」を行うとともに、「拡大の可能性の検討」、「影響範囲の推定」を行う。

解説

１）　発生機構（素因・誘因）の推定

地すべりの発生機構（素因・誘因）の推定は今後の地すべり運動の予測を行う上で極めて重要である。斜面の地形、地質、地質構造等の素因を把握し、移動が拡大する可能性について検討を行うとともに、斜面が移動した誘因を推定して、警戒避難体制の整備や応急対策を検討する。検討にあたっての着眼点は次のとおりである。

(1)地形

(2)地質、地質構造

(3)降雨（地下水位）状況

(4)人為的な活動（切土、盛土等）

(1)、(2)は、地すべりの素因に関わる事項である。素因の把握は重要ではあるが、災害直後には、必ずしも把握できない場合もある。

(3)、(4)は、地すべりの誘因に関わる事項である。誘因としては、降雨、融雪水、地すべ

り末端部の侵食、地震等の自然要因と切土、盛土、貯水池の建設等の人為的要因が考えられる。応急対策工は、誘因となった要因を取り除くような工法が効果的であることから、誘因の把握は極めて重要である。

２）　移動土塊の挙動の予測

地すべりの変状や地形状況等から、今後の移動土塊の挙動を予測する。

可塑性の大きい地盤ほど、亀裂発生から滑落までの時間が長い傾向にあり、また、すべり面の形が弧状または舟底型で､末端隆起を伴う場合にも滑落しにくい傾向がある｡その逆に、すべり面が末端開放型のものや規模の小さいものは滑落しやすく、降雨も即効的に影響する場合が多い。

地すべりの変状や地形状況等からみた将来の移動土塊の挙動には、一般に次の傾向が見られる。

(1)滑落した地すべりの場合

滑落した後の移動土塊の安定度は相対的に高い。

滑落崖の比高は大きくなりがちであるため､上方斜面が不安定化する恐れがある。

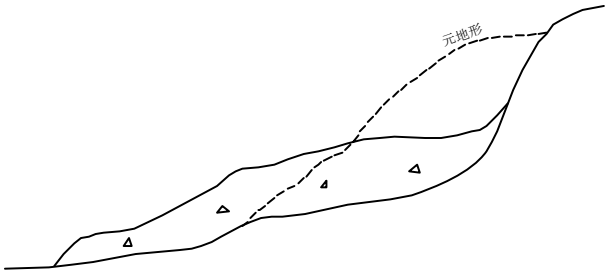


図４－４[1)]

(2)末端部に隆起を伴う場合

すべり面が水平に近いか逆勾配になっていると推定される。移動量の増加とともに移動土塊の末端部が抵抗体となるため、移動は収束に向かうことが多い。

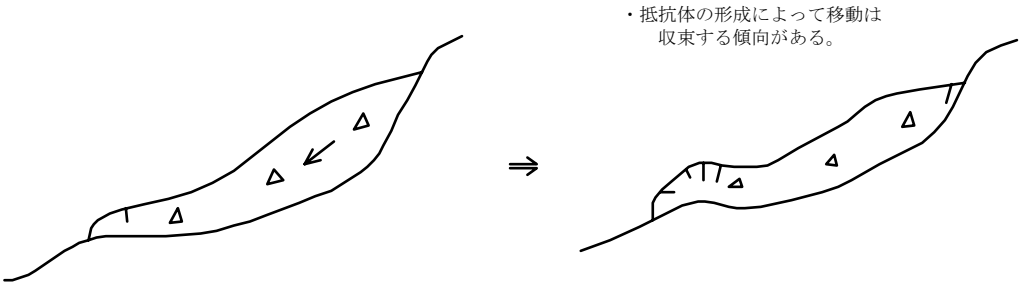


図４－５[1)]

(3)末端部の勾配が緩い場合

(2)と同様の理由から、移動は収束に向かうことが多い。

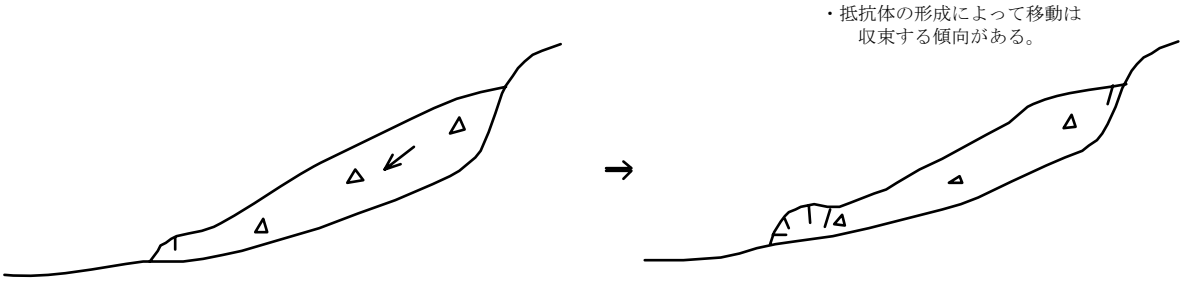


図４－６[1)]

(4)末端部の勾配が急な場合

末端部の崩壊が継続し、移動に対する抵抗体が形成されにくいため、容易に停止しない。

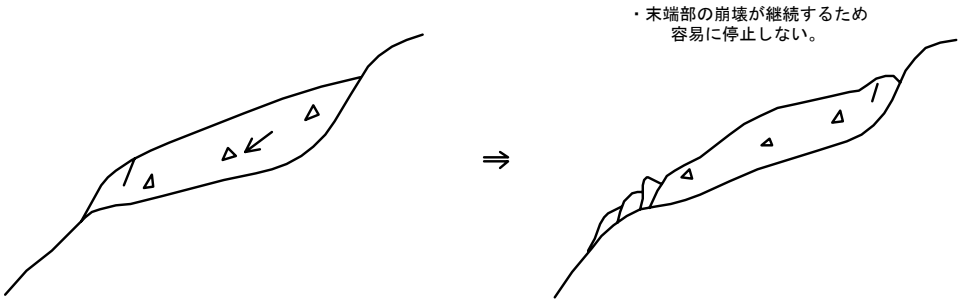


図４－７[1)]

ただし、これらはいずれも、一般的な傾向を述べたものであり、個々の現場の特性に応じて、慎重に判断する必要がある。特に地下水が豊富な場所では、土塊の土石流化の恐れもあり、注意が必要である。

また、一般に滑落の直前には移動速度が急激に増加する傾向があるので、これを観測することによって事前に滑落時期を予測できる場合がある。斜面に異常が発見された場合には、その引張亀裂の最上部のものについてその伸びを測定し、滑落時期を計算するか、警報器を取付けて観測を行うとよい。

亀裂（引張亀裂）をまたいで地盤伸縮計を設置して移動速度を測定し、斜面の滑落時期を予測する手法として、斉藤によるクリープ破壊予測法[2)]、福囿による移動速度の逆数による予測法[3)]等が提案されている。地すべりが崩落した場合に社会的な影響の大きい地すべりについては、これらの手法を用いて、滑落の予測をおこなうことが望ましい。しかしながら、正確な予測ができるケースは限られることに留意する必要がある。

地すべり頭部に設置された地盤伸縮計の観測結果を基に、滑落予測を行った事例について、以下に紹介する。対象とした地すべりでは、5月頃から変位量の増加が認められ、相次ぐ台風の襲来により、8月10日0時15分頃滑落が発生した。

図４－８～図４－１０に、斉藤式、福囿式による滑落予測結果を示す。一般にはこれらの手法による比較を通じて、当該地すべり滑落予測と適合性の高いと思われるものを選択することが望ましい。

なお、滑落予測を実施する間隔は、滑動状況に応じて短くしていく必要がある。

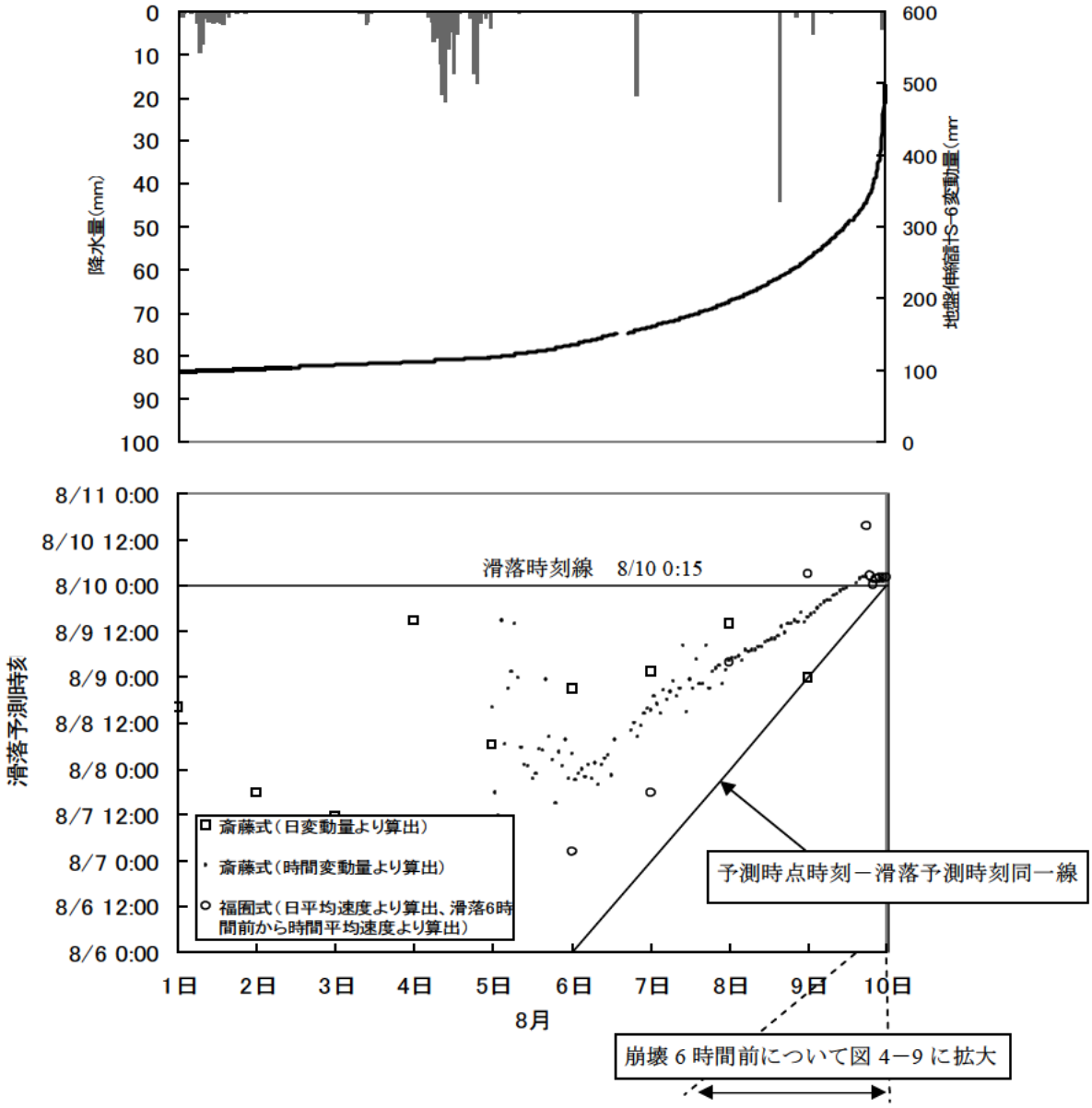


図４－８　斉藤式・福囿式による滑落予測結果（8 月 1 日～8 月 10 日まで）

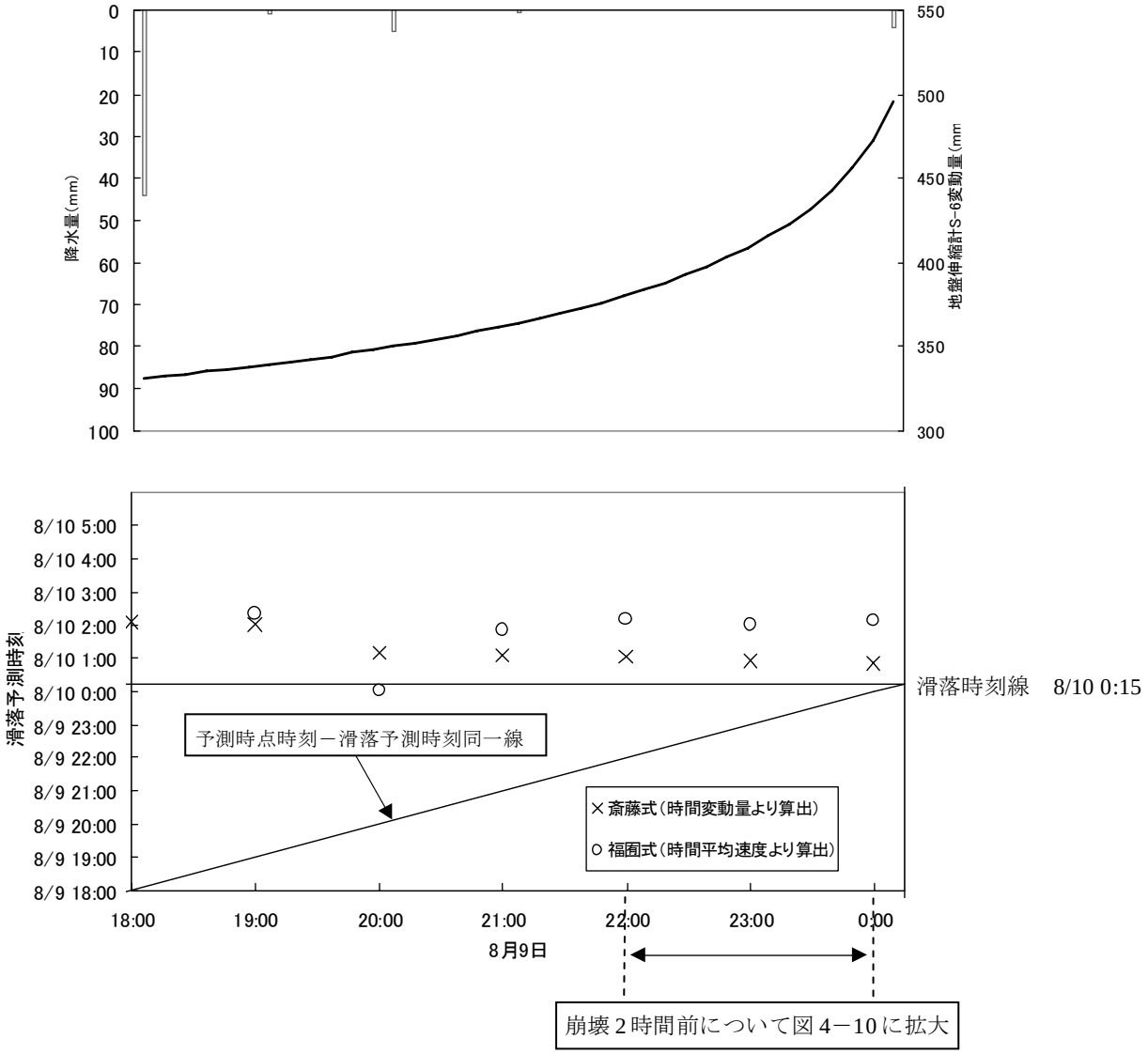


図４－９　滑落６時間前における、斉藤式、福囿式による滑落予測結果
（時間あたりの変動から予測）

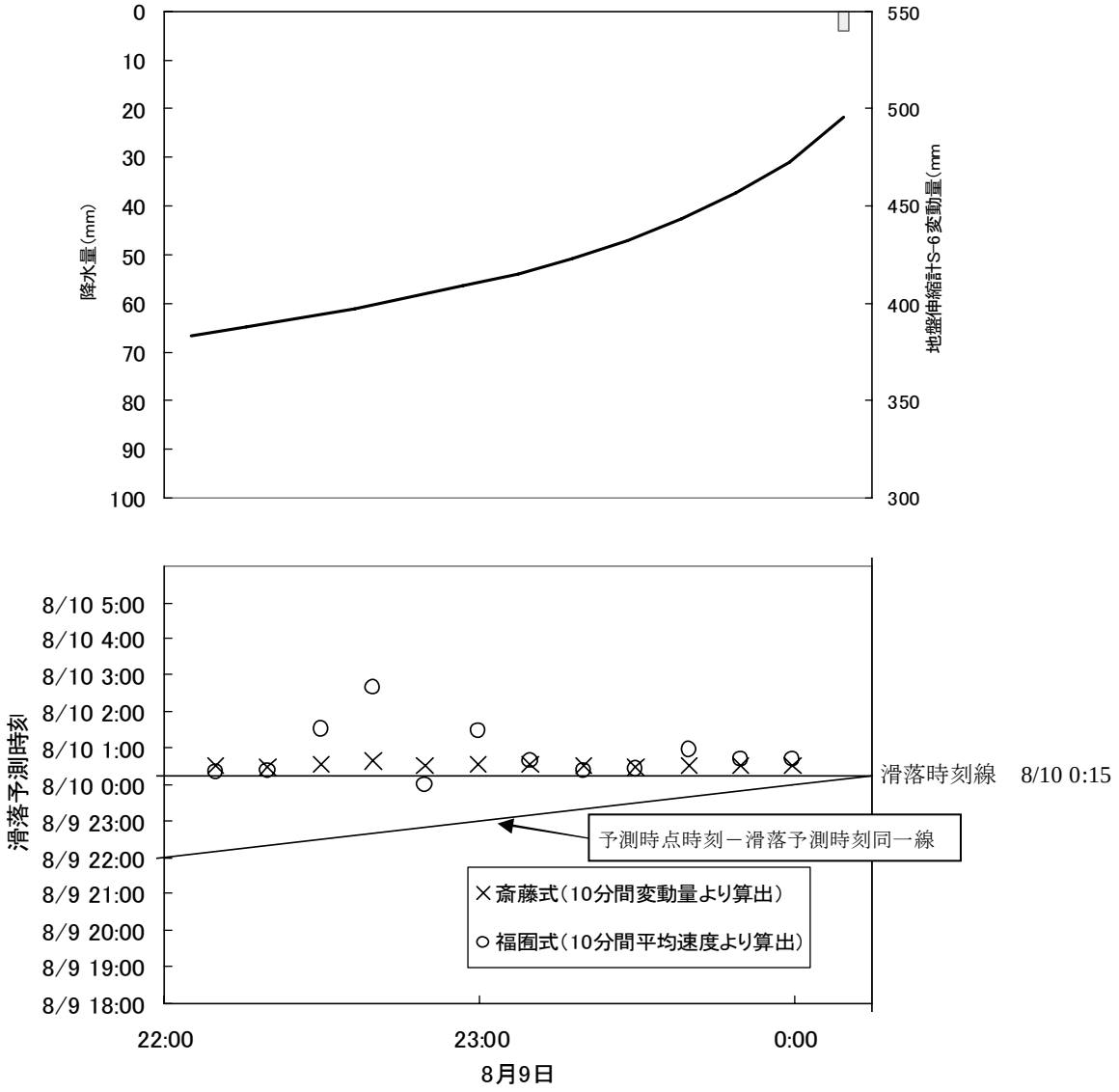


図４－１０　滑落2時間前における、斉藤式、福囿式による滑落予測結果
（10分あたりの変動から予測）

【参考　各予測法の解説】

①福囿による移動速度の逆数による予測法

福囿は、実験結果より表面の移動速度と加速度が両対数グラフ上で直線関係にあることを見いだし、横軸に時間をとり縦軸に移動速度の逆数をとって、移動速度の逆数値から推定した直線と横軸との交点が崩壊発生時刻として予測する手法を提案している。図４－８の観測結果に対して、福囿による移動速度の逆数による方法を適用した結果を図４－１１に示す。図４－１１において、移動速度の逆数値から推定した直線が横軸と交わる時刻が滑落予想時刻となる。

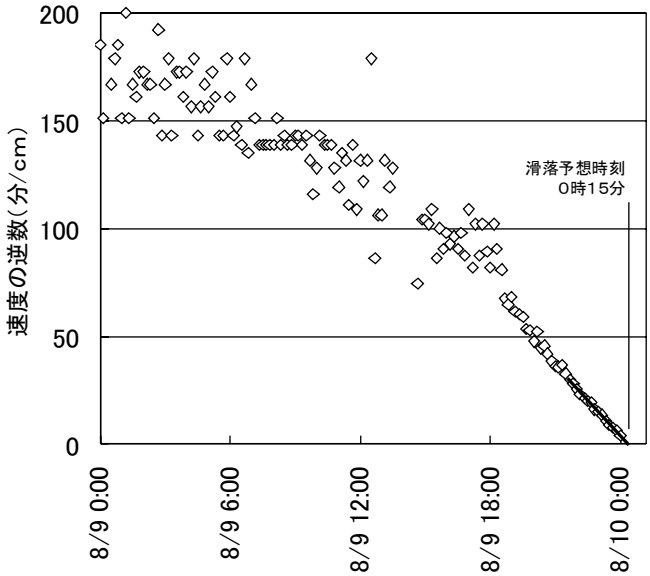


図４－１１　福囿による移動速度の逆数による滑落時刻の予測

②斉藤による予測法

斉藤[4)]は現場測定と実験によって、図４－１２のような歪速度と斜面の破壊までの時間との関係を得ている。図中の縦軸は崩壊までの時間（分）を表し、横軸は歪速度を表す。

斉藤は、二次クリープからの概略の崩壊予測式として次式を導いている。クリープ破壊時間は、実際の崩壊まで余裕時間として使用できることが示されている。

$$\log_{10} tr = 2.33 - 0.916 \cdot \log_{10} \dot{\varepsilon} \pm 0.59 \quad \cdots \quad （式４－１）$$

tr ：クリープ破壊時間

$\dot{\varepsilon}$ ：ひずみ速度（10^{-4}/分）

2 地点に打設された杭間に対してひずみ速度は次式により求められる。

$$\dot{\varepsilon} = (\Delta l / l) / \Delta t \quad \cdots \quad （式４－２）$$

l ：杭間の距離(mm)

Δl：Δt で変化した移動量(mm)

Δt：Δl の移動に要した時間(分)

ひずみ速度は式４－２により地盤伸縮計により得られた変位量から求められ、滑落までの予想時刻は式４－１により求められる。

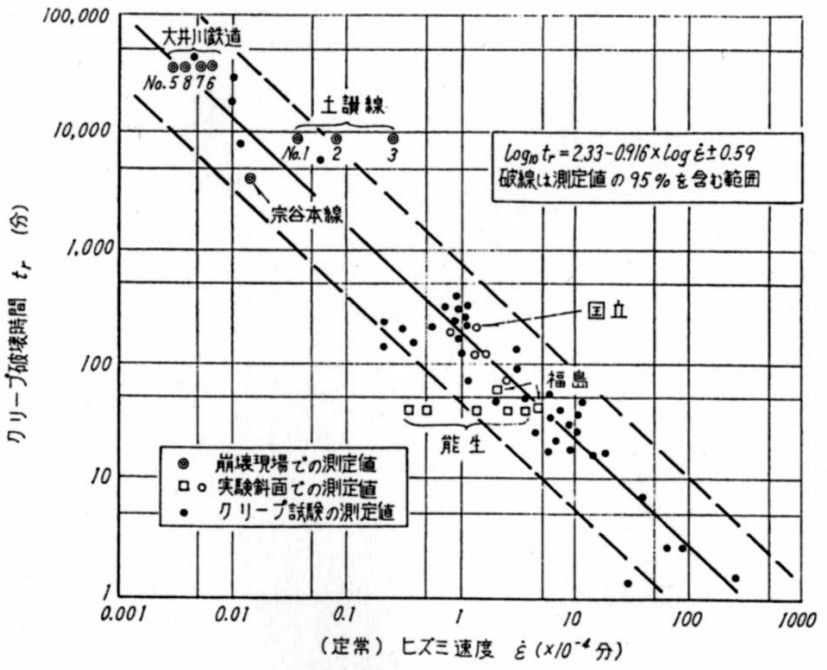


図４－１２　斜面崩壊の実測結果[2)]

③3 次クリープ領域における予測方法

斉藤[4)]は三次クリープ領域における予測方法も提案している。

３）　拡大の可能性の検討

地すべりが拡大した場合には、甚大な被害となる危険性があることから、拡大の可能性について十分に検討をしておく必要がある。次の点に留意して拡大する可能性のある範囲を明らかにし、必要に応じて地盤伸縮計等の計器を設置することが望ましい。

(1)地形

地すべり地形の有無、遷急線・遷緩線の分布、尾根や沢の分布、末端部の地形

(2)地質、地質構造

断層の分布、流れ盤構造等

(3)その他

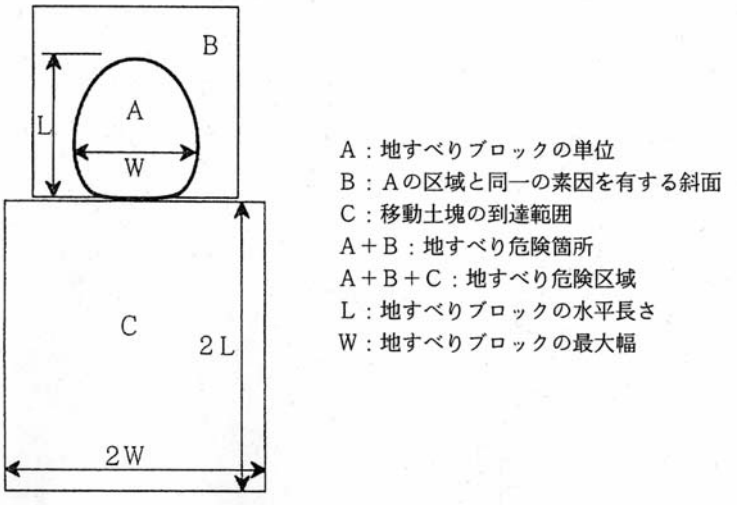
変状の分布位置、変状の種類（亀裂、隆起等）、変位量の変化、湧水の分布、植生状況

４）　影響範囲の推定

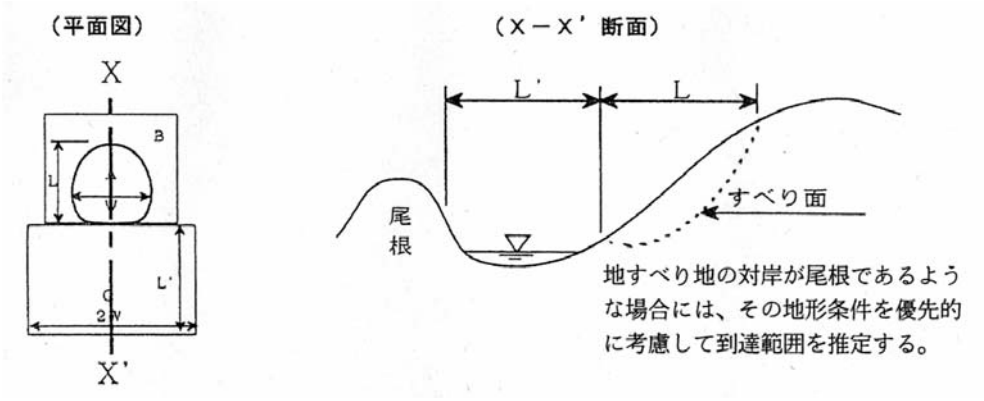
移動する可能性の高い範囲が明らかとなった場合には、地すべり土塊の移動到達範囲を的確に推定する必要がある。既往の災害事例における地すべりの移動到達範囲は、地すべり舌端部より地すべり長さ、幅の2倍程度の距離内にあるものが95%程度あるとされている[5)]。このため、警戒避難の基礎資料としては、図４－１３に示されるように、地すべりブロックの長さの2倍、幅の2倍程度の範囲を影響範囲として設定することが望ましい。

しかしながら、全ての現象がこの範囲に納まる訳ではない。影響範囲の想定に関しては、対象とする地すべり周辺地域での既往の災害事例を参考に、地すべり下方の地形や地すべ

りの移動特性を考慮して慎重に検討する必要がある。また、天然ダムの恐れがある場合には、適切な警戒避難対策の基礎資料として、天然ダムの上流及び下流域の被害影響範囲を推定する必要がある（２．３．２（８）参照）。



(a) 地すべり危険地域の範囲



(b) 移動土塊の到達範囲が地形条件によって制約される事例

図４－１３　地すべり土塊の到達範囲[6)]

４．３　緊急時の管理基準値の設定

地すべりの活動状況に応じた警戒避難体制をとる参考として、地盤伸縮計等の計測値（変位量）等に基づいた危機管理基準値を設定する。

解説

表４－１～４－３は、既往の管理基準値の設定事例をとりまとめたものである。基準値は地すべりの移動特性、地すべりの影響範囲によって異なるため、一律に定めることはできないが、地盤伸縮計の移動量が 1㎜／日オーダーで「注意」、10㎜／日オーダーで「警戒」、数～10㎜／時間オーダーで「避難」、「立ち入り禁止」とする事例が多い[7)]。体制の判断にあたっては、単に計測値で判断するだけではなく、変位量に累積性があるかどうかという点も重要である。また、地すべりによっては、急激に移動速度を増加させるものもあるため、近傍での災害事例を参考にするなど慎重に設定する必要がある。

警戒体制の解除にあたっては、基準値をそのまま適用するのではなく、より安全側の判断が求められる。例えば、解除時には、応急対策によってある程度の安全度が確保されたり、あるいは、さらなる変状が発生していないことを確認したりするなど慎重に判断する必要がある。

表４－１　管理基準値一覧表[7]に加筆

（ａ）地すべり指定地等

地すべり名	地盤伸縮計による管理基準値				その他管理基準値	備　考
	注　意	警　戒	避　難	立入禁止		
A-1		4mm/h または 20mm/D			降雨量	基準値を超えた場合、踏査の実施
A-2	1mm/D	10mm/D	2mm/h*2h 4mm/h	10mm/h 専	地盤傾斜計（参考値） パイプ歪計（参考値）	
A-3	1mm/D	10mm/D	4mm/h*2h	10mm/h 専	地盤傾斜計（参考値） パイプ歪計（参考値）	
A-4	1mm/D	10mm/D	2mm/h*2h 4mm/h	10mm/h 専		
A-5	1mm/D	10mm/D	2mm/h*2h 4mm/h	10mm/h 専	地盤傾斜計（参考値）	
A-6	1mm/D	10mm/D	2mm/h*2h 4mm/h	10mm/h 専	地盤傾斜計（参考値） パイプ歪計（参考値）	
A-7	1mm/D*7D	12- 17mm/D	2mm/h*2h 4mm/h		多層移動量計による 基準値	
A-8	1mm/D	10mm/D	2mm/h*2h 4mm/h	10mm/h 専		
A-9			2-4mm/h		降雨量	
A-10			4mm/h		降雨量	
A-11			1) 2mm/h 2) 4mm/h			1)以下で末端部押え盛土工可能 2)以下で頭部排土、水抜き工可能 2)以上で避難
A-12			2mm/h			基準値を超えた場合、踏査を実施、協議の上、避難・交通止
A-13	10mm/D	2mm/h	4mm/h		降雨量	4mm/hを超えた場合、警報を発令
A-14			4mm/h 20mm/D		降雨量	基準値を超えた場合、踏査、計器のチェック、必要に応じ避難
A-15			1mm/D		降雨量	対策工施工中の基準値-作業中止 深礎工近辺の移動計で1mm/D

h:時　D:日　M:月　*△:△の期間継続　専:専門家の判断
基準値が複数の場合、どちらか一方に該当した段階で適用

表４－２　管理基準値一覧表[7]に加筆

（ｂ）貯水池等

貯水池名	地盤伸縮計による管理基準値		その他 管理基準値	備　　考
	注　意	湛水中止		
B-1	1mm/D*3D（引張り） 0.6mm/D*3D（圧縮）	3mm/3D 専	地盤傾斜計、巡視	試験湛水中の管理基準値
B-2	0.4mm/D		地盤傾斜計、巡視	〃
B-3	1.2mm/3D	専	地盤傾斜計、巡視 地中傾斜計	〃
B-4		2mm/h 10mm/D	巡視	試験湛水中の管理基準値 対処・対策を検討
B-5			地盤傾斜計	試験湛水中の管理基準値
B-6	0.4mm/D*3D	1mm/D 専	地盤傾斜計、巡視	〃
B-7	4mm/h			ダムに隣接する地すべりの基準値
B-8	1mm/D	専	地盤傾斜計 地中変位計	試験湛水中の管理基準値
B-9	0.4mm/D*3D	1mm/D	地盤傾斜計、巡視	〃

h:時　D:日　M:月　*△:△の期間継続　専:専門家の判断
基準値が複数の場合、どちらか一方に該当した段階で適用

表４－３　管理基準値一覧表[7]に加筆

（ｃ）道路等

路線名	地盤伸縮計による管理基準値				その他 管理基準値	備　　考
	注　意	警　戒	対策工	交通止め		
C-1				20mm/D 4mm/h 2mm/h*2h	傾斜計、加速度計など	トンネル掘削中の管理基準値 基準値を超えた場合、交通止め
C-2					地中変位計	
C-3		3mm/h		4mm/h		
C-4		20mm/D		4mm/h	降雨量	
C-5	0.02mm/D 0.5mm/M	0.1mm/D 2mm/M	1mm/D 10mm/M			
C-6	0.02mm/D	0.1mm/D	1mm/D			
C-7				2mm/h		現地確認の上、1時間後に異常が なければ解除する
C-8				2mm/h		現地確認の上、1時間後に異常が なければ解除する 夜間は、通行止め
C-9				2mm/h		〃
C-10				4mm/h		現地確認の上、対応を検討
C-11				2mm/h 10mm/D	降雨量	交通止め、対策工の施工中止 4mm/h以上の場合は対岸も交通止め
C-12				10mm/D		対策工施工中の管理基準値 基準を超えた場合は、工事中止
C-13		4mm/D		A:2mm/h 10mm/D B:4mm/h 20mm/D	降雨量	対策工施工中の管理基準値 Aを超えた場合、地すべり末端の工事 地中での工事の中止 Bを超えた場合、すべての工事の中止
C-14				10mm/D		対策工施工中の管理基準値 基準を超えた場合は、工事中止

h:時　D:日　M:月　*△:△の期間継続　専:専門家の判断
基準値が複数の場合、どちらか一方に該当した段階で適用

４．４　応急対策

地すべり運動が活発となり、地すべり周辺の住宅、家屋、公共施設等に影響を及ぼす恐れが大きい時には、住民の警戒避難体制の整備と同時に地すべり運動の緩和を目的として応急対策をとる。このとき、当面の安全確保を図る場合であっても、計画安全率（P.Fs）1.05 以上を設定するものとする。

応急対策の工種選定にあたっては、地すべりの滑動状況と作業の安全を考慮する。

解説

地すべりの移動を緩和させるためには、地すべりの誘因を除去することが効果的である。しかしながら、地形条件や地すべりの移動状況から、必ずしも誘因を除去する対策がとれない場合もある。したがって、地すべりの誘因を除去することを第一としながらも、地すべりの移動状況、作業の安全性を考慮しながら採用可能な工種を選定する必要がある。

応急対策として多用される工種は、浸透防止工、横ボーリング工、排土工、押え盛土工が挙げられる。

以下に応急対策実施時の留意点を述べる。

(1)応急地表水排除工

水路による応急排水や水路の付け替え、地すべり周縁への水路工の設置による地すべり地内に流入する地表水の遮断を図ったり、シート等による亀裂の被覆、湧水の排水、池沼の開削排水等により地すべりへの地表水の浸透防止を図る。

(2)応急地下水排除工

地すべり側面部や滑落崖背後の地すべり地外の安定した場所から地すべり周縁亀裂下を狙った横ボーリング工を実施する。地すべり内に立ち入りが可能な場合には、地すべり地内での横ボーリング工や大口径ボーリングによる立坑からのポンプ排水も有効である。

(3)応急排土工

応急排土工の実施にあたっては、地すべり頭部排土予定地の上部斜面の安定性および潜在性の地すべりの有無を慎重に検討する必要がある。

排土工の施工にあたっては、地すべりの移動状況によっては立ち入りが危険な場合もあることから、無人化機械の導入についても検討する。

(4)応急押え盛土工

押え盛土工には、恒久対策後に除去する一時的な押え盛土工と恒久的な押え盛土工がある。地すべりの末端が河川に達する場合には、いずれの場合も洪水等による侵食対策を十分に検討する必要がある。また、盛土によって背後斜面の地下水位を上昇させないように、盛土材には透水性の良い材料を用いる。

押え盛土工の施工にあたっては、地すべりの移動状況によっては立ち入りが危険な場合もあることから、無人化機械の導入についても検討する。

(5)天然ダムへの対応

天然ダム上流域の浸水被害、天然ダムの決壊による被害が予想される場合には、早急に移動土塊の除去または流路の開削をする必要がある。この場合、掘削による移動土塊の再移動の危険性や、天然ダムを形成した地すべり斜面の上部がさらに移動にする恐れが無いか、注意を払う必要がある。これら移動の恐れがある場合には、地盤伸

縮計を設置し、移動状況を監視しながらの施工とならざるを得ない。予想される土塊の移動タイプ（崩壊、地すべり）を考慮した上で、無人化機械の導入による施工も検討する必要がある。

形成された天然ダムより下流側に砂防えん堤がある場合には、貯砂容量を確認した上で、必要に応じて堆積土砂の除去を行うことも有効である。この場合、天然ダムの下流には、土石流センサーを設置する等、堆積土砂除去作業中の安全管理にも配慮する必要がある。天然ダム決壊の可能性の判断は容易ではないが、天然ダム上流の流域面積、河床勾配、天然ダムのせき止め延長、構成材料等から総合的に判断する必要がある。

(6)応急対策工の規模

既往の地すべり事例では、安全率を5%程度下げると地すべりが移動、もしくは5%程度上げると活動中の地すべりが停止するとの報告がある[1)]。

参考文献

1) 綱木亮介：斜面変状時の対応と留意点，「地すべり防止工事士」登録更新特別研修テキスト，（社）地すべり対策技術協会，51p，1999

2) 斉藤迪孝：斜面崩壊時期の予知，地すべり，Vol.2，No.2，pp.7～12，1966.

3) 福囿輝旗:表面移動速度の逆数を用いた降雨による斜面崩壊発生時刻の予測法,地すべり，Vol.22，No.2，pp.8～13，1985.

4) 斉藤迪孝:第三次クリープによる斜面崩壊時期の予知，地すべり，Vol.4，No.3，pp.2～8，1968.

5) 綱木亮介，中村浩之，小島伸一：地すべり土塊の到達危険範囲の推定、シンポジウム「地すべり災害発生危険箇所の把握に関する諸問題」論文集，地すべり学，1990.

6) 全国地すべりがけ崩れ対策協議会:地すべり対策事業の手引き,全国治水砂防協会,360p，2000.

7) 建設省土木研究所新潟試験所：地すべり管理基準値の実態調査報告書，土木研究所資料，第3184号，1993.

第５章　設計

５．１　総説

地すべり防止施設は、地すべり防止施設計画に基づき、適切な機能と安全性を有するよう設計する。

地すべり防止施設の設計にあたっては、長期間にわたる機能保持のためできるだけ耐久性のある材料を使用することや、経時的な変化による安全率の低下を防止することに留意するとともに、施工時のみならず維持管理も含めたトータルコストも考慮して十分な検討を行う。

また、施工時に得られたデータをもとに随時設計を見直して、所要の効果が発揮されるようにする。

５．２　抑制工の設計

５．２．１　地表水排除工

地表水排除工の設計にあたっては、ある程度の変形に対して機能を維持できるように柔軟な構造とすることや、修理の容易さなどを考慮する。

解説

１）　水路工

水路工は、地すべり斜面内の凹地に樹枝状に配置する集水路と、これを排水する排水路からなり、図５－１のように配置する。また、必要に応じて地すべりブロック外の地表水が地すべりブロック内に流入しないよう対策を行う。

水路工の設計においては、以下の点に留意する。

(1) 水路は、地すべり斜面の地表水の集水と凹地に集まる水の再浸透を防ぐため堀込水路とする（図５－２）。水路のルートは、地すべり斜面の掘削を最小限に留めるように選定する。

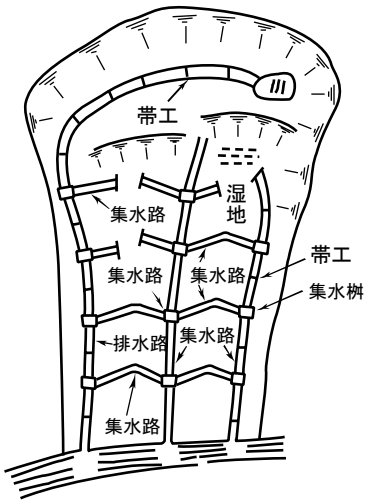


図５－１　地表排水路網

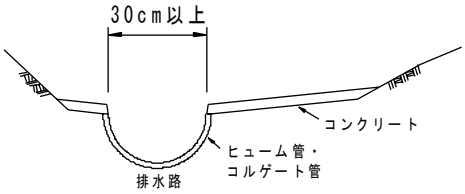


図５－２　地表排水路

(2) 集水路及び小規模な排水路の幅は、維持管理を考慮してなるべく幅の広い浅い形状となるようにし、少なくとも30cm以上とする。

(3) 水路は、底張りを行って流水の再浸透を防ぎ、支線との合流点や屈曲部、勾配の変化点では集水桝を設け、水路の肩は表流水が流れ込みやすいようにコンクリートあるいはアスファルト等で被覆する。

(4) 幹線水路では、計画最大高水流量を求め水路の通水断面を決める。なお、計画対象降水量は超過確率1/50程度の規模とすることが多い。この他、水路断面は、土砂等の堆積による断面の減少を考慮して、20%以上の余裕を見込んでおく必要がある

(5) 集水桝が落差工となるような場合は、落差高、流量、越流水深を考慮して標準的に式５－１によって、桝の大きさを決める（図５－３）。

$$L = k(h_1 + t) \quad \cdots \quad \text{（式５－１）}$$

L：桝の内のり（m）
k：2.5～3.0
t：上流水路の水深（m）
h_1：上下流水路床間の落差（m）
h_2：ますの水辱深さ（m）
（0.2～0.5m）

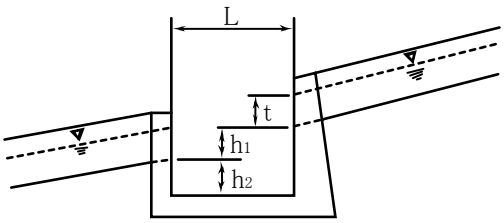


図５－３　集水桝側面図

(6) 地下水位の高い所に設ける水路は、原則として暗渠を併用した明暗渠工とする。

(7) 図５－４には、集水桝と落差工の標準図を示した。集水桝あるいは落差工は、20 ～50m毎に設ける。

(8) 水路の材料としては、鉄筋コンクリートU形溝、半円ヒューム管、コルゲート管、プラスチック管がある。地すべりや地表面の動きにより水路の変形が予想される場合には、屈とう性を有するなど、地表面の動きに追随しやすい材料を選定する。

(9) 雑草の水路への倒れ込みが懸念される場所では、水路の両側1m程度をコンクリート等で被覆することにより雑草の水路への倒れ込みを少なくすることも有効である。

(10) 地すべり運動に伴う地盤の隆起、沈下等によって、水路のジョイント部が開いたり、水路が破壊されて漏水することがあるので、定期的な点検と修復が必要である。

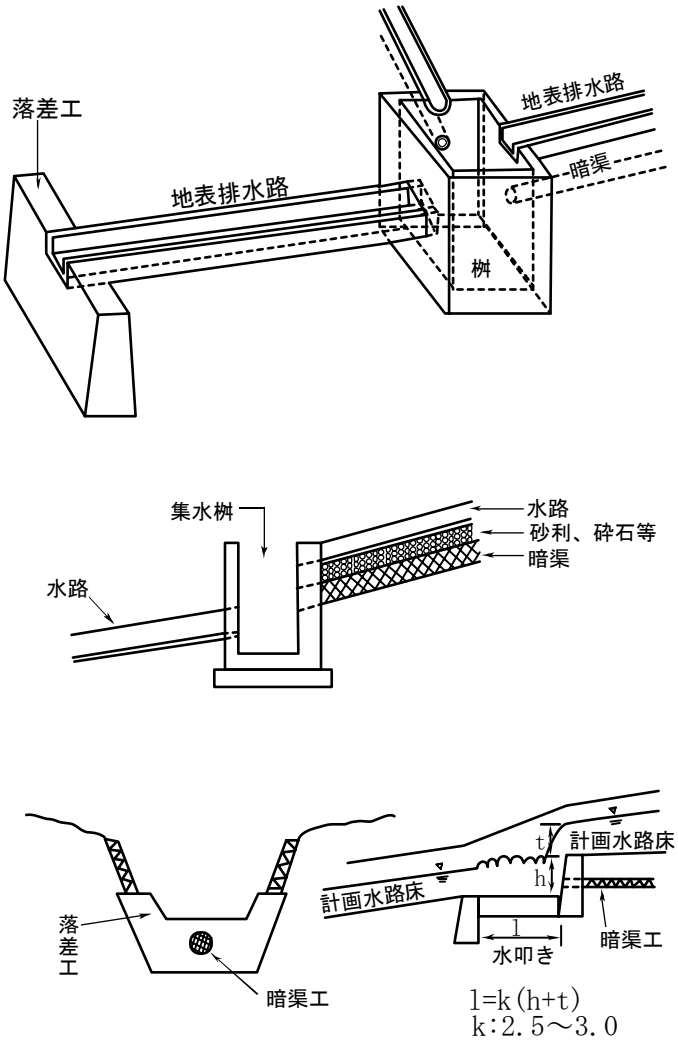


図５－４　集水桝と落差工標準図

２）　浸透防止工

主な浸透防止工には、以下に示すものがある。

(1) 充填工法

亀裂に粘土やコンクリートを詰めるもので、応急対策に適している。

(2) ビニールシート被覆工法

亀裂をビニールシートで被覆するもので、応急対策に適している。

(3) 漏水防止工法

沼地で漏水がある場合は、底部をアスファルト等の不透水性の材料で被覆する。

５．２．２　地下水排除工

地下水排除工の設計にあたっては、斜面の安定のために必要な地下水位高、地すべりの状況、施設の安全性及び維持管理の容易さなどを考慮する。

解説

１）　浅層地下水排除工

１－１）　暗渠工

暗渠工の設計においては、以下の点に留意する。

(1) 暗渠の配置は、土質、地下水の状況を勘案して決定する。

(2) １本の暗渠の長さは20m程度の直線とし、目詰まりや集水した地下水が再浸透しないように集水桝を設け、地表排水路に排水を行う。

(3) 暗渠の深さは 2m程度とし、底には漏水防止のために防水シートを敷設する。また、暗渠管の周囲には土砂の吸い出しを防止するため吸い出し防止材を敷設する（図５－５）。

(4) 暗渠管周囲は、浅層地下水の集水を良くするためにフィルター材を詰める（図５－５）。

(5) 地表水も集水しようとする場合は、地表まで栗石または砕石等を詰める。

(6) 暗渠の材料は、ある程度の地盤変動にも耐えられるものとし、蛇篭や多孔管を用いる。なお、勾配が急な場合は、図５－６に示すように杭等で固定する。

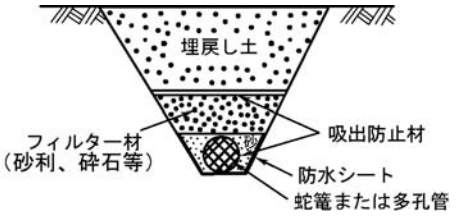


図５－５　暗渠工

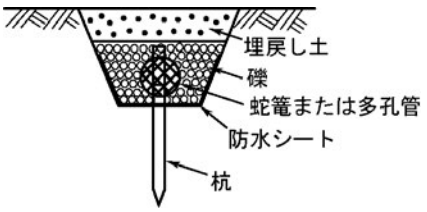


図５－６　蛇篭暗渠

１－２）　明暗渠工

明暗渠工（図５－７）の設計においては、以下の点に留意する。

(1) 明暗渠は、1 本の長さが長すぎると、集水した水が再浸透する可能性がある。このため、その長さは、現地の状況を考慮して決める。

(2) 一般に、図５－８に示すように集水した地下水は、20m程度の間隔で設けた集水桝あるいは落差工を利用して、地表の水路へ導いて排水する。

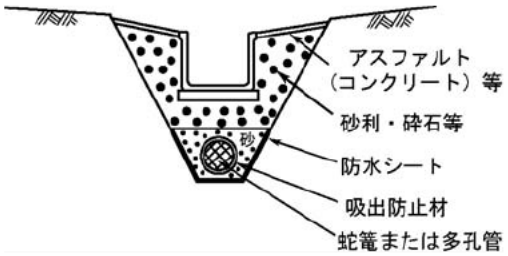


図５－７　明暗渠工

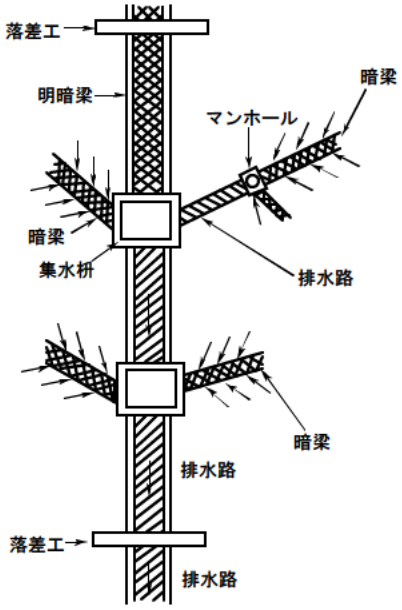


図５－８　集水した地下水の処理

１－３）　横ボーリング工

図５－９には、横ボーリング工の概念図を示した。図中に示されるように地下水検層結果等に基づき、地下水の流動層の位置を考慮して横ボーリング工を配置する。

横ボーリング工の設計においては、以下の点に留意する。

(1) 横ボーリングは一般に浅層地下水の集中している部分に設け、ボーリング先端での間隔は 5～10mとなるように放射状あるいは平行に設計する（図５－１０）。また、横ボーリング工は、すべり面を貫いて 5～10mの余掘りを行うように計画する。

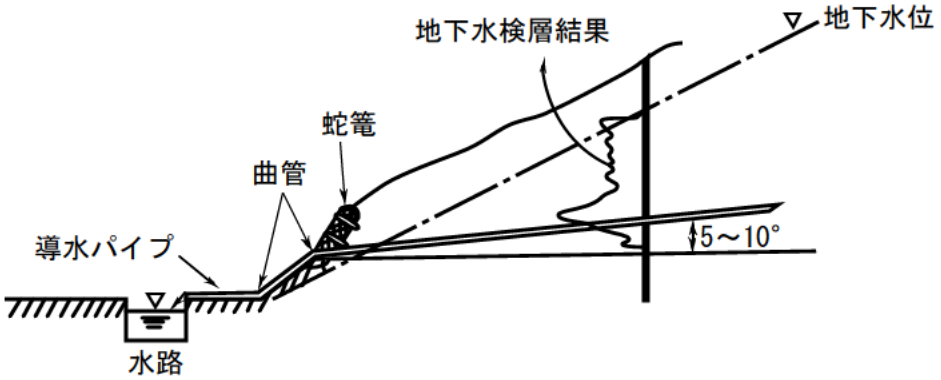


図５－９　横ボーリング工

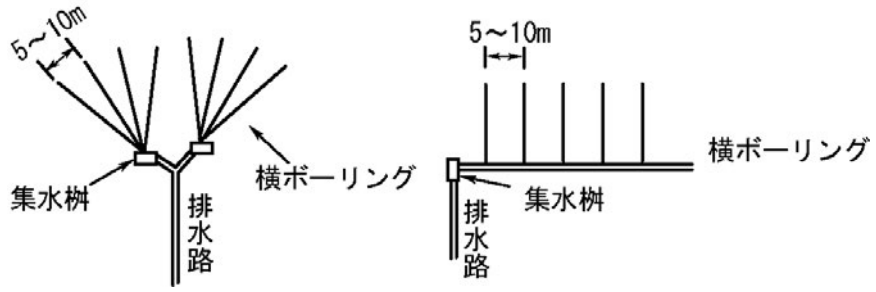


図５－１０　横ボーリングの配置

(2) 集水した地下水は、集水桝や排水路に導き、速やかに地すべり地外へ排水する。
(3) ボーリング孔口は、安定した地盤に設け、排水による孔口の崩壊を防止するために保護工を設置する（図５－１１）。
(4) ボーリング掘進勾配は、集水した地下水が自然流下するように概ね仰角 5～10°とし、掘削孔径は 66mm 以上とする。
(5) 地すべり斜面の土質が粘質土で透水係数が小さい場合は、ボーリング孔径を大きくする。
(6) 集水管には、内径 40mm 以上の管を用い、帯水層区間はストレーナ加工を行う。ストレーナは、円形またはスリット状とする。また、集水管の継ぎ手は、ソケット継ぎ手または突き合わせ継ぎ手とし、継ぎ手長さは内径の 1.5 倍程度を標準とする。図５－１２には、円形ストレーナの例を示した。
(7) 横ボーリングからの排水量を定期的に確認し、目詰まり等により機能の低下が認められるときは孔内洗浄を行う。（５．４．１参照）

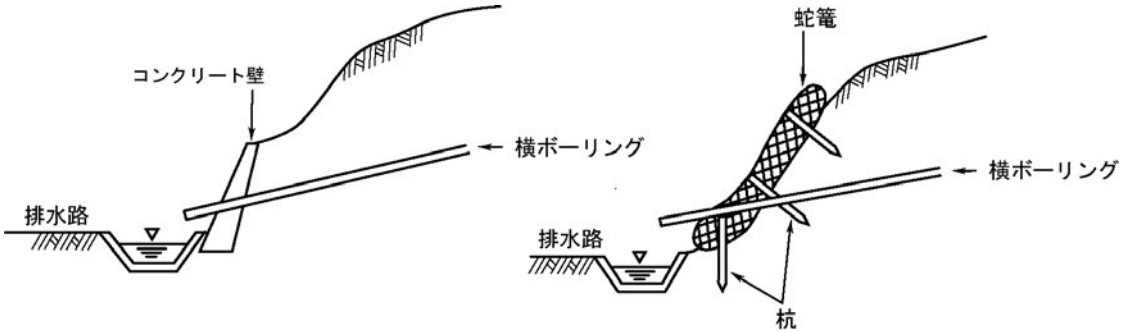


図５－１１　横ボーリング孔口保護工

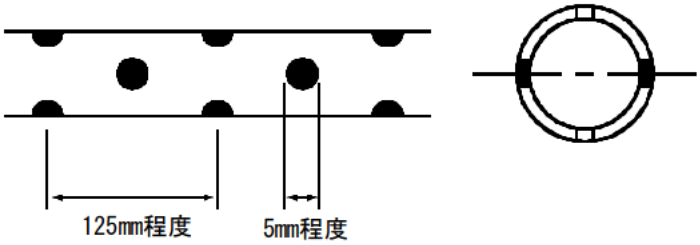


図５－１２　集水管のストレーナの例

２）　深層地下水排除工

２－１）　横ボーリング工

設計の留意点は、１－３）と同様であるが、深層地下水の排除にあたっては、次の点に留意する必要がある。

(1) 横ボーリングの長さは、帯水層の地下水排除では50m程度とし、最終掘進孔径は66mm以上とする。

(2) ボーリングの掘進角度は、原則として帯水層に向かって斜め上向き 5～10° とする。なお、ボーリングの方向は十分検討し、また孔曲りのないように注意して施工し、集水した地下水が集水管から漏水しないようにする。

(3) 被圧地下水を排除する場合は、斜め下向きにボーリングを行い、自噴により排水させることもある。

２－２）　集水井工

集水井は施工が容易でかつ比較的安定した地盤に設置し、帯水層に向けて集水管を配置する（図５－１３）。したがって、集水井施工位置は、調査ボーリングによって地質及び基盤の状態を確認し決定する。

地下水が広範囲に賦存し２基以上の集水井を設置する場合は、集水ボーリング長及び集水井による地下水位の低下範囲、地下水の賦存状況等を考慮して適切に配置する。集水井工における地下水の集水は、集水管からであり、集水井壁面からの集水は期待しない。

集水井施工時は、地すべり斜面の地質及び土質状態、すべり面の位置及びすべり面の状態等を直接観察することができる機会でもある。また、不攪乱試料を採取することも可能であることことに留意し、単に工事をするだけではなく調査への活用も望まれる。

地すべり土塊は風化が著しく脆弱な場合が多く、集水井の掘削、集水井内でのボーリング作業においては、施工の安全管理にも十分留意する。

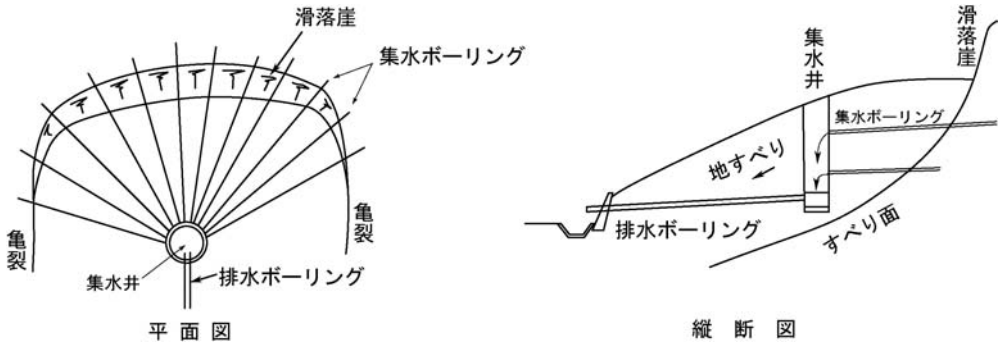


図５－１３　集水井工

(1) 集水井の深さ

集水井の深さは、原則として移動中の地すべり斜面内では底部を 2m以上すべり面より浅くし、停止している地すべり斜面及び地すべり斜面外では基盤に 2～3m程度貫入させる。これは、移動中の地すべり斜面内では、集水井底部をすべり面下に貫入させると、移動に伴いすべり面付近で集水井が破壊されるためである。また、停止している地すべり斜面では、一般にすべり面深度が不明であり、悪影響を及ぼす帯水層の特定も難しいことから、集水井の集水効果を高めるために底部を基盤の中まで貫入させる。

この他、移動中の地すべり斜面では、集水井の施工が長期間にわたる場合、土質の変化や土圧の増大等により施工が困難になることがあるので、できるだけ施工期間の短縮を図る必要もある。

(2) 集水井の構造

集水井の形状は円筒形であり、その内径は3.5～4.0mが標準である。ただし、土質が礫及び転石混じり土砂、硬岩、破砕岩等で、集水ボーリングの削孔が困難な場合には適宜内径を大きく設計する。いずれの場合も、施工時の安全に十分配慮する必要がある。

集水井は、集水及び排水管の維持管理のために原則として中空とする。なお、施工後、地すべりの移動が著しく、集水井が破壊する恐れが生じた場合は、応急対策として、栗石・玉石等を集水井内に充填し集水井の維持を図る。

集水井の底部は底張コンクリートを厚さ50cm程度施工することによって、地すべり層、または基盤への地下水の供給を絶ち、地すべり活動を助長しないようにする。

集水井の材料は、一般に鋼（ライナープレート）、鉄筋コンクリートが用いられるが、施工位置への材料搬入の容易さや、施工から維持管理までのトータルコストを考慮して定める。一般に施工場所は山間部であり、大型機械による材料運搬が困難な場合が多く、また、同一地点で多量の材料を使用することが少ない。このような場合には、軽量で施工性の良い材料が用いられる。

集水井の頂部は、部外者等が集水井に立ち入らないよう、地表面より井筒の頂部を 1m程度出し、天蓋を設けるとともに防護柵を設置する。また、集水井内にはタラップを設ける。

1)鋼構造（ライナープレート）集水井の設計

集水井外周面に作用する荷重は、原則として土圧のみとし、水圧は考慮しない。土圧は主働土圧とし、原則として地すべり運動に伴い発生する土圧は考慮しない。しかしながら、実際の地すべり挙動は複雑であるため、必要に応じて地すべり運動に伴い発生する土圧を考慮した計算手法を用いることもある。また、集水井の変形が予想される場合は、ラテラルストラットやバーチカルスティフナーを用いて集水井を補強する。この他、偏土圧が予想される場合は、それを考慮した設計を行う。

座屈に対して安全な部材の断面（板厚）決定は、集水井外周面に作用する最大土圧 P_{tmax} を用いて次式によって決定する。

$$q_A = \frac{3 \cdot E \cdot I}{f \cdot R^3} \quad 〉 \quad P_{t\max} \quad ・・・ \quad （式５－２）$$

q_A：集水井外周面の許容外圧（kN/m^2）

E：ヤング率（kN/m^2）

I：ライナープレート、コルゲート深さ１ｍ当たりの断面二次モーメント（m^4/m）

ただし、集水孔、ボルト孔等を考慮して有効断面二次モーメントは $0.8I_o$（I_o：集水孔、ボルト孔等がない場合の断面二次モーメント）とする。

f：安全率（1.5～2.0）

R：集水井半径（m）

P_{tmax}：集水井外周面に作用する最大土圧

式５－２は、鋼板の波形の影響を考え、ポアソン比を零とした場合の外圧を受ける薄肉円筒における単位長さあたりの座屈の式である。これを満足しない場合は、ライナープレート、コルゲートの水平継ぎ目、または、内側にH型鋼による補強リングをはめ込んで補強する。なお、補強リングの断面及び間隔は、補強リングの間隔を単位長さに換算して決定する（図５－１４）。

なお、土圧等の設計条件が明確な場合は、部材の断面を土圧の分布に応じて変化させることができる。

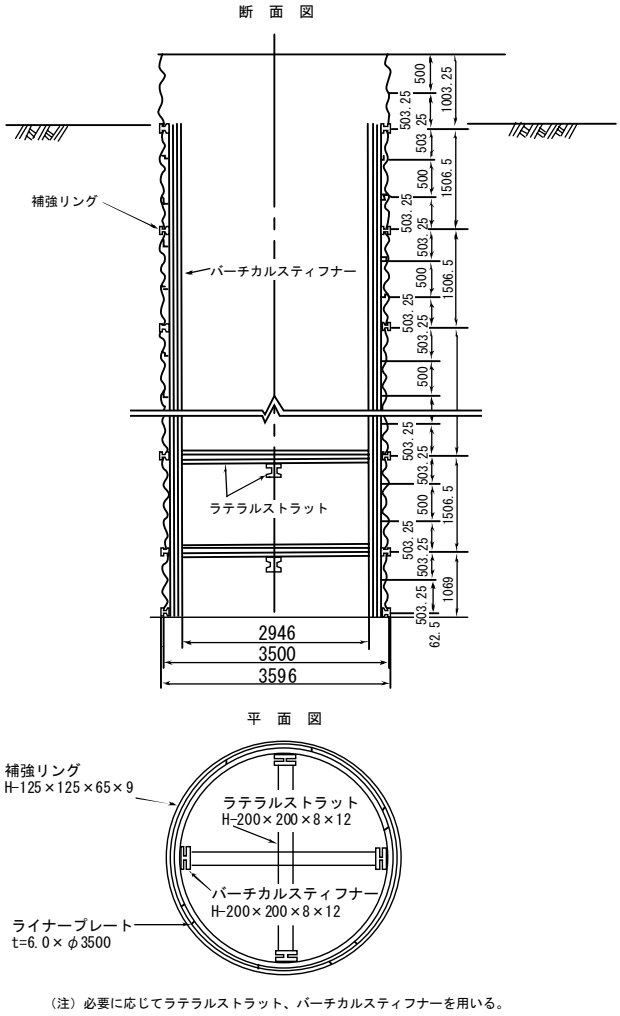


図５－１４　ライナープレートによる集水井の例（単位：mm）

集水井外周面に作用する最大土圧算定式には、周囲の土のアーチアクション（円弧作用）を考慮して求めるテルツァギーの式やランキンの土圧式がある。しかしながら、一般に、土圧は深さ 15m程度以上では増加しないものとし、静止土圧の三角形分布とする式５－３及び式５－４が多く用いられている（図５－１５）。

$P_h = k \cdot \gamma \cdot h$　　h＜15m・・・　（式５－３）

$P_h = 15 \cdot k \cdot \gamma$　　h≧15m・・・　（式５－４）

P_h ：土圧（kN/m^2）

k ：静止土圧係数（砂質土、粘性土にかかわらず 0.5 とする）

γ ：土層の単位体積重量（kN/m^3）

h ：地表面からの深さ（m）

なお、h＝15m以深においても土圧が増加すると判断される場合は式５－３を準用する場合がある。

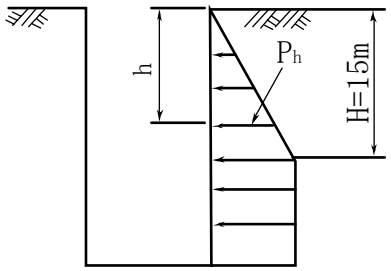


図５－１５　集水井外周面に作用する土圧

2) 鉄筋コンクリート集水井の設計

この集水井は、以下に示す場合などに用いられる。

ｱ) 一般に地質が砂質地盤等の比較的均質な地盤であり、集水井が自重により容易に沈下する場合

ｲ) 地盤が、多量の地下水のためにボイリング（噴泥現象）を起こしやすい砂質の場合

ｳ) 地盤が、ヒービング（被圧地下水により被覆層が押し上げられる現象）を起こしやすい軟粘質土の場合

(3) 排水ボーリング

集水井からの恒常的な排水は、原則として排水ボーリングからの自然排水とする。機械排水は、故障した場合に地下水排除が不能となり地すべりを再移動させる恐れがあり、また、通常の維持管理に多額の費用が必要である。

排水ボーリングの長さは、最大で80m程度の場合が多い。排水管は、内径80～100㎜を標準とし、鋼管を使用するが、排水する地下水が多く見込める場合は、適宜孔径を大きくするか複数の排水ボーリングを施工する。

排水ボーリングの長さが長くなったり、排水ボーリングの施工が困難な場合は、70～80m離れた位置に中継井戸を設け排水ボーリングを連結する。また、排水ボーリングの流末は、地すべりブロック内に設置し、水路で地すべり地外に導く。なお、流末孔口は蛇篭や擁壁等を用いてのり面の保護を行う。

(4) 集水ボーリング

集水ボーリングは、帯水層毎に 1～数段、放射状に施工し、浅層地下水の排除も同時に行う。1 本の集水ボーリング長は、50mを標準とするが、集水ボーリングを滑落崖直下のすべり面を切って基盤内に掘進する場合は、80～100mの長さになる場合もある。

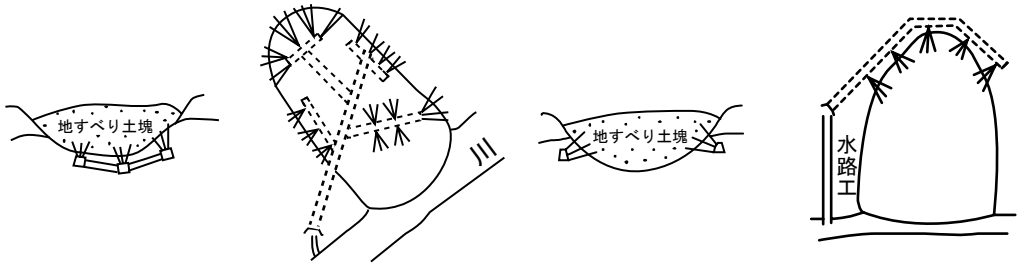
集水ボーリングの位置、方向、間隔、本数等については、地質や地下水調査の結果に基づいて決定するが、施工中の集水状況によって、方向、間隔、本数等を変更する。なお、集水管には、内径40㎜以上の硬質塩ビ管を用い、横ボーリングの集水管と同様にストレーナを設ける。

２－３）　排水トンネル工

排水トンネル工は、地すべりの規模が大きく移動層が厚い場合や、移動速度が大きい場合等に用いる。これは、集水井工では、深層地下水排除を目的とした場合にその深さが大きくなり、また移動速度が大きい地すべりの場合には施工が困難になるためである。

排水トンネルは原則として地すべり土塊内には設置せず安定した基盤岩内に設置（図５－１６）し、すべり面強さに悪影響を及ぼす地下水の排除は、トンネルからの集水ボーリングや集水井との連結等により行う。

排水トンネル工の設計においては、以下の点に留意する。



(a) 底設排水トンネル　　(b) 周縁排水トンネル

図５－１６　排水トンネル工

(1) 排水トンネルの配置

基盤岩内の排水トンネル天端からすべり面までの距離は、地盤の緩み範囲を考慮して、トンネル径の２倍以上とする。また、排水トンネルの配置は、地すべりに影響を与える地下水脈の分布を考慮し、特に地下水の集まりやすい滑落崖直下と地すべり両側面部からの排水を考慮して配置する。この他、排水トンネル坑口は、できるだけ地盤の堅固な場所に設ける。

(2) 排水トンネルの縦断勾配

排水トンネルの縦断勾配は、集水した地下水を自然排水するため、坑口に向かって俯角をつける。なお、その勾配は、一般に 15/1000 以下とする。

(3) 排水トンネルの断面及び構造

排水トンネルの断面形状には、使用する材料によって馬蹄形、円形、半円形、台形及び矩形等がある（図５－１７）。トンネルは、集水施設を含めた維持管理のため原則として中空とし、耐久性を考慮して覆工を設ける。また、トンネルの断面は、施工を含めた維持管理時の作業性も考慮し施工から維持管理までのトータルコストを考慮して定める。

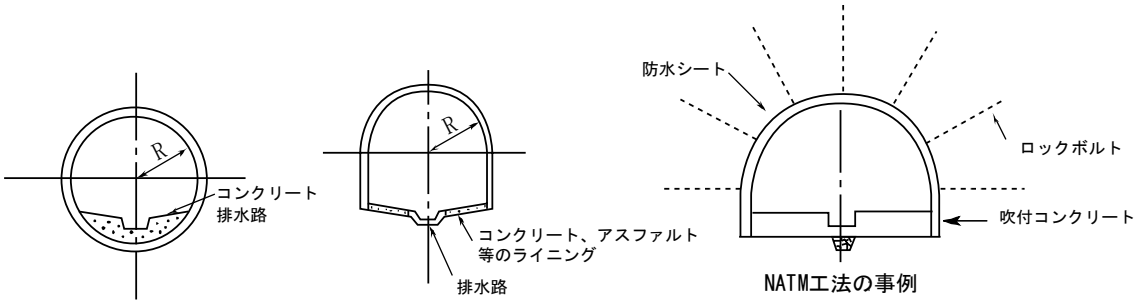


図５－１７　排水トンネルの断面形状の事例

覆工の材料には、コンクリート、ライナープレート、コルゲート等を用いる。

(4) 非常時の脱出用坑口

排水トンネルの奥行きが1000ｍを越える場合は、安全管理のために、非常時に脱出できる斜坑や立坑等を設ける必要がある。

(5) 集水

排水トンネルによる集水は、原則として集水ボーリングによるものとする。集水ボーリングは、帯水層に向けてトンネル内から横あるいは上向きで放射状に計画する。ボーリングの角度は、帯水層までの距離、ボーリングの全長、帯水層を横切る区間長等を勘案し決める。

また、急な角度のボーリングを実施する場合は、必要に応じてトンネルの断面を大きくしたボーリング室を設ける。集水ボーリングの長さ及び集水管については、「１－３及び２－１　横ボーリング工」の項を参照されたい。

(6) 排水

排水トンネルの底部は、集水ボーリングによって集水された地下水が再び地盤に浸透しないように、原則として水路工と同様な構造とする。また、排水トンネルの覆工にライナープレートやコルゲート等を使用する場合には、底部のジョイントの破損やボルトの緩み等により漏水する可能性が大きいので、底部はコンクリート等による水路とし、排水工としての機能を保持する。

(7) 排水トンネルに作用する土圧

排水トンネルに作用する土圧の大きさは、地質、トンネル断面の大きさ、施工法、覆工の種類、施工時期及び地山の性状等を考慮して定める。

表５－１に参考値を示す。

表５－１　テルツァギーの支保工に作用する土荷重の表[1)]

岩盤の状態	土荷重の高さ(m)	摘　　要
①堅固でおかされていないもの	0	はだ落ちや山はねのある場合は軽易な支保工を要する。
②堅固で層状または片岩状のもの	0～0.5B	軽易な支保工を用いる。荷重は場所ごとに不規則に変化する。
③大塊状で普通程度の節理のあるもの	0～0.25B	
④普通程度に塊状で割目のあるもの	0.25B～0.35（$B+H_t$）	側圧はない。
⑤はなはだしく小塊で割れ目の多いもの	(0.35～1.10)　（$B+H_t$）	側圧は小さいか、またはない
⑥完全に破砕されているが、化学的には風化していないもの	1.10（$B+H_t$）	相当の側圧、漏水によりトンネル下部が軟弱となるときは、支保工下部に通し土台をするか、円形支保工とする必要がある。

(1)この表は、土被り 1.5（$B+H_t$）以上の場合の鋼アーチ支保工天端に作用する土荷重を示す。

B：トンネル掘削断面の幅(m)

H_t：トンネル掘削断面の高さ(m)

(2)この表は、トンネル天端が地下水位以下にあるものとする。ただし、永久的に地下水位以上にある場合は、④～⑥の各値は 50%減としてよい。

(8) トンネル支保工の材料

トンネル支保工には、木材や鋼材を用いる。一般に、木材は堅固な岩盤の場合や短期間で中埋めを施す場合に使用し、鋼材は土圧が加わる箇所や覆工をするまでの期間が長い場合に使用する。最近では、吹付コンクリートとロックボルトを用いる NATM 工法が用いられている。

２－４）　その他の工法

その他の工法として、大口径ボーリングによる集排水工法がある。この工法は、直径 300～600mm のスリット付き鋼管を横ボーリング工や集水井工の集水管として用いるものである。スリットの目詰まりや集水管の破断が予想される場合に使用されることがある。

５．２．３　排土工

排土工は地すべり頭部域を中心に斜面の安定を図るよう設計するものとし、斜面安定解析により排土量、排土すべき位置、切土のり面勾配、直高等を決定する。

排土工の設計にあたっては、排土予定地の上部斜面の安定性及び潜在性の地すべりの有無を事前に十分調査し、排土により背後斜面の安定性を低下させ、地すべりが誘発されることが無いよう、本工法の採用の可否も含めて十分な検討を行うとともに、排土後ののり面保護について検討する。

解説

以下に、排土工設計時の留意点を示す。

(1) 切土のり面

図５－１８には、排土工と切土のり面の概念図を示す。切土のり面の勾配及び直高は、地質条件等によりのり面の安定性を事前に調査検討して定める。これは、切土したのり面が時間の経過とともに次第に不安定化し、表層崩壊を起こす恐れがあるためである。

軟岩等の場合の切土のり面勾配は１：0.5～1：1.2 程度、小段幅は直高 7m毎に 1.0～2.0m程度とする場合が多い。

また、砂質土等の場合の直高 5～10mの切土のり面勾配は１：1.0～1：1.5 程度、小段幅は直高 5～10m毎に 1.0～2.0m程度とする場合が多い。

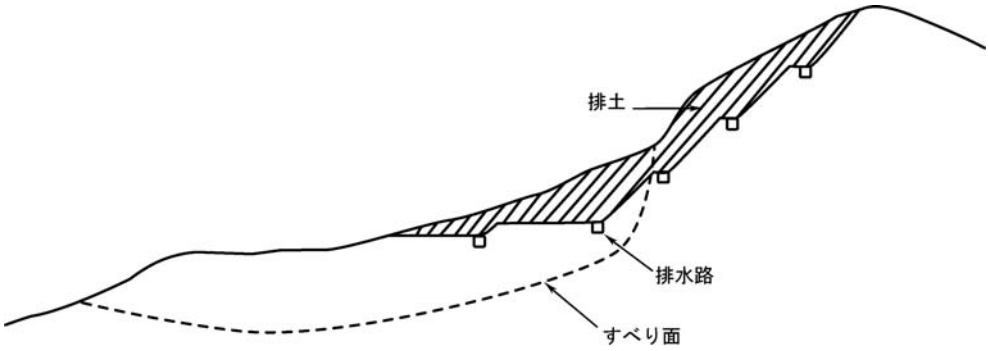


図５－１８　排土工と切土のり面

(2) 背後斜面安定性の検討

排土を行う場合には、排土予定地の上部斜面の安定性及び潜在性の地すべりの有無を事前に十分調査する必要がある。これは、排土により背後斜面の安定性を低下させ、さらに地すべりを誘発させる可能性があるためである。上部斜面の潜在性地すべりが存在する場合は、この地すべりの排土や抑止工等が必要になるため、本工法の可否も含めて十分な検討が必要である。

(3) 排土後ののり面保護

排土後ののり面は、一般に降雨等によって軟弱化しやすく斜面崩壊を起こしやすい。このため、排土後ののり面には、地形に応じた表面排水路と小段を設け、集排水路を設置し、水はけを良くする。

また、のり面の侵食や風化を防止するために、植生や構造物でのり面を被覆する。植生の導入が不適なのり面や植生だけでは安定が期待できないのり面は、石張工、ブロック張工、枠工等を併用して保護する必要がある。

５．２．４　押え盛土工

押え盛土工は、地すべり斜面の末端部に盛土を行うことにより、地すべり滑動力に抵抗する力を付加させるよう設計するものとし、斜面安定解析により所定の抵抗力が得られるように盛土量、盛土の位置を決定する。

押え盛土工の設計にあたっては、基礎地盤の調査結果をもとに盛土部基盤の安定性について検討するとともに、盛土背後地の地下水位処理に十分注意し、さらに、盛土のり面及びのり尻の保護について検討する。

解説

図５－１９には、押え盛土工の概念図を示した。

地すべり斜面は、攪乱され軟弱な場合が多いため、盛土の底部破壊が起こる可能性がある。また、盛土部の下方斜面が不安定であったり潜在性の地すべりがある場合には、これを誘発する可能性がある。これらのことから、押え盛土の設計に際しては、基礎地盤の調査結果をもとに盛土部基盤の安定性について検討する必要がある。

また、押え盛土の盛土高、のり面勾配は盛土材料及び盛土基礎地盤の土質特性をもとに定める。一般に、盛土のり面の平均勾配は１：1.5～1：2.0 とし、盛土の直高 5m毎に 1.0～2.0m程度の小段を設けることが多い。なお、小段には水路を設ける必要がある。

地すべり斜面末端部には、一般に湧水が見られる場合や横ボーリング等の施設が設置されている場合があるため、盛土によりこれらの排水を阻害しないようにする必要がある。また、盛土位置に浅層地下水の帯水層がある場合は、押え盛土やその荷重によって地下水の出口が塞がれ、背後斜面の地下水位の上昇により、斜面が不安定化する恐れがあるため、盛土背後地の地下水処理には十分注意する必要がある。

押え盛土のり面は、降雨等によって崩壊や洗掘を受けやすいため、のり面保護工等により保護する必要がある。のり面保護工には、植生工、蛇篭工、枠工等を用い、コンクリート張工等の剛な構造物はできるだけ用いない方が望ましい。ただし、ダム湛水池内に設ける水没のり面保護工には、石張工及びブロック張工等を用いる場合もある。

のり尻には、原則としてのり止め擁壁として、ふとん籠、鉄筋コンクリート枠擁壁、消波根固ブロック擁壁等を設置する。この他、コンクリート重力擁壁を用いる場合は、基礎掘削等により地すべりを誘発しないように十分注意する必要がある。盛土部は表面侵食の防止、自然環境・景観に配慮して緑化につとめる。

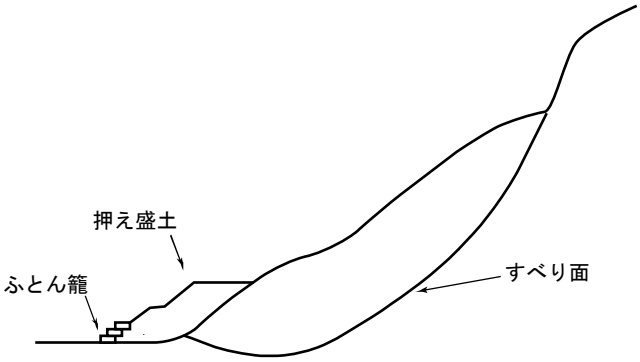


図５－１９　押え盛土工

５．２．５　河川構造物による侵食防止工

河川構造物による侵食防止工は、地すべり斜面末端部が流水等により侵食されることが原因となって渓岸崩壊が発生し、地すべり運動が活発化することを防ぐよう設計する。

解説

地すべり斜面末端部が流水等により侵食されると、これが原因となって渓岸崩壊が発生し、地すべり運動が活発化する場合がある。このため、地すべり斜面末端部の侵食防止として河川構造物による侵食防止工が用いられる。

なお、地すべり斜面直下流部に砂防えん堤や床固工を設けた場合、その堆砂によって地すべり斜面末端部の崩壊や侵食防止、押え盛土効果が期待できる。以下に、その設計の際に留意すべき点を示す。

(1) 施工時の掘削等は最小限とし、地すべりの安定性を損なわないものとする。
(2) 地すべり斜面内の地下水位が、施設設置により上昇しないように、必要に応じて地下水排除施設を設ける。
(3) 移動中の地すべり地内に河川構造物を設ける場合は、柔軟な構造で流水等の影響に対して安全なものとする。
(4) 活発に移動中の地すべりの場合は、掘削のない構造物とするか、あるいは下流の安全な位置に砂防えん提を設け、堆積した土砂に押え盛土工としての効果を期待する。

５．３　抑止工の設計

５．３．１　杭工

杭工は、対象となる地すべり地の地形及び地質等を考慮し、所定の抑止力が得られるよう設計する。

杭工の設計にあたっては、杭に所定の抑止力を作用させた場合の内部応力に対する杭の安定性を検討するとともに、杭より上部の移動層における受働破壊、基礎地盤の破壊、杭間土塊の中抜けが生じないように検討する。

解説

１）杭工の機能と分類

地すべりの抑止杭は、その機能から次のように分類できる。

(1) 曲げ杭

曲げ杭は、地すべりの滑動時に地すべり土塊が変形し、杭にせん断力と曲げ応力が発生する条件を想定して設計するものである。曲げ杭には、「くさび杭」と「抑え杭」がある。

① くさび杭

移動土塊と一体となって移動した杭がすべり面の上下でたわむときに発生するせん断力、曲げ応力を考慮して、地すべりの滑動力がすべり面位置に集中荷重として作用するものとして、設計する杭をいう。

②抑え杭

杭の谷側の地盤反力が期待できない場合に、杭を片持ち梁と見なし、地すべりの滑動力が移動層中の杭に分布荷重または集中荷重として作用するものとして、設計するものをいう。抑え杭は地すべりの末端部や頭部付近に杭を設置する場合に用いられる。

(2) せん断杭

せん断杭は、地すべりの滑動時に地すべり土塊が変形しない（杭に曲げ応力が発生しない）条件を想定して、地すべりの滑動力がすべり面に集中荷重として作用するものとし、せん断力のみを考慮して設計するものである。

２）杭工の適用条件

杭工の採用にあたっては、その適用条件を十分に考慮する必要がある。過去の実績では移動層厚が 20m 以内であることが多く、適用条件としては、軟弱な地盤には採用しないこと、多くの亀裂により移動層が小塊に分断されていないこと、地すべり活動が休止している時期の施工であること等が挙げられる。

また、設計上は、杭体を弾性体と見なし、抑え杭以外では、杭周辺の地盤反力を常に期待できること等を前提条件としていることに十分留意する必要がある。

せん断杭の採用にあたっては、杭の曲げ破壊の危険性が無いことを慎重に検討する必要がある。せん断杭は斜面内の浅い地すべりにより傾倒する事例が見られる。

３）杭工の水平負担力

杭工は、対象とする地すべり地の地形及び地質等を考慮し、所定の計画安全率が得られるよう設計する。

杭の効果を算定する式として、Hennes 式、White 式及び土研式等があり、これらの式によって求められる抑止効果は、杭が剛体で無限の強度を有するとした場合に生ずる杭周辺での地すべり土塊の破壊強度としている。しかし、実際には、杭自体の強度を無限にとることはできないので、上式で算定された応力を１本の杭で受け持つことは出来ない。したがって、施工可能な強度を基準として、地すべり抑止に必要な単位幅あたりの応力に足る杭の本数を算出する。

杭の施工は、削孔した鉛直孔に杭を挿入し、グラウトするのが一般的であるが、地すべり対策の応急処置として、鋼管杭及びＨ型鋼杭等の打込杭が用いられることもある。しかし、打込杭は礫の多い土層などでは所定の位置までの施工が困難であり、基岩中への打込み深度は極めて限られている。また、基岩を破砕するため風化が促進されること等のマイナス面もある。このため、恒久対策として打込杭を設計することは避ける。

所定の計画安全率を得るために、単位幅当りの杭が負担する抑止力 Pr（kN/m）は、簡便法を用いた場合、次式により求められる。

$$P.Fs = \frac{\Sigma(W \cdot \cos\theta - U) \cdot \tan\phi' + c' \cdot \Sigma l + P_r}{\Sigma W \cdot \sin\theta} \quad \cdots \quad （式５－５）$$

$$P_r = P.Fs \cdot \Sigma W \cdot \sin\theta - \Sigma(W \cdot \cos\theta - U) \cdot \tan\phi' - c' \cdot \Sigma l \quad \cdots \quad （式５－６）$$

P_r：単位幅あたりの杭の抑止力（kN/m）

$P.Fs$：計画安全率

W：分割片の重量（kN/m）

U：分割片に働く間隙水圧（kN/m）

l：分割片のすべり面長（m）

θ：すべり面の分割片部における傾斜角（°）

ϕ'：すべり面の内部摩擦角（°）

c'：すべり面の粘着力（kN/m^2）

抑制工を併用する場合には、式５－６の右辺の U、W、l を抑制工法ごとの効果量に応じて変化させ、杭工に必要な抑止力を求める。

４）杭の設置位置

杭の設置位置は、原則として地すべり運動ブロックの中央部より下部のすべり面の勾配が比較的緩やかであって、地すべり土塊の圧縮部である必要があり、さらに移動層の厚さの比較的厚く、受動破壊の起こらない位置とする。

防止工事の対象となる範囲が地すべり運動ブロックの上端部に限られている場合には、杭の設置位置をすべり面勾配の比較的急な引張部とすることもある。この場合、杭の下方斜面の土塊がすべり落ちて地盤反力が期待できない条件にて設計を行う必要がある。

圧縮部に設置する杭の位置は、地すべり運動ブロックの末端より、各分割片ごとの滑動力T_iと抵抗力R_iとを比較して、$\Sigma R_i > \Sigma T_i$（圧縮部）と$\Sigma R_i < \Sigma T_i$（引張部）の境界を求め、この境界よりも下方で十分に背面土圧の期待できる位置に選定することを原則とする（図５－２０）。

$$T_i = W_i \cdot \sin\theta_i \quad \cdots \quad （式５－７）$$

$$R_i = (W_i \cdot \cos\theta_i - U_i) \cdot \tan\phi' + c' \cdot l_i \quad \cdots \quad （式５－８）$$

T_i：各分割片ごとの滑動力（kN/m）
R_i：各分割片ごとの抵抗力（kN/m）
W_i：分割片の重量（kN/m）
U_i：分割片に働く間隙水圧（kN/m）
l_i：分割片のすべり面延長（m）
θ_i：すべり面の分割片部における傾斜角（°）
ϕ'：すべり面の内部摩擦角（°）
c'：すべり面の粘着力（kN/m^2）

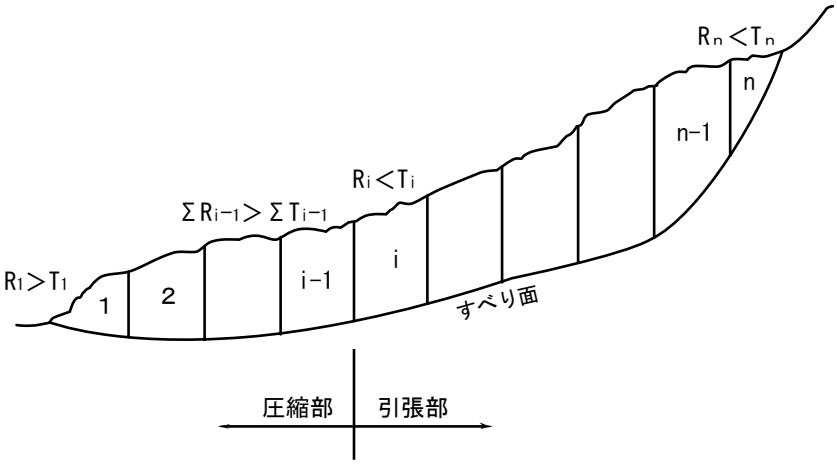


図５－２０　圧縮部に設置する杭の位置[1)]

ただし、地すべり斜面の上部から下部まで地盤伸縮計を連続的に設置し、各点の伸縮挙動の計測結果により、圧縮部か引張部かを判定する方法が最も正確である。

また、杭の下端位置の決め方として、地すべり末端部に杭を施工する場合には、杭の上部に受動破壊による新しいすべりが発生しないよう配慮する必要がある（図５－２１）。このためには、$P.Fs'$（式５－１０）≧$P.Fs$（式５－９）を満足することが必要である。

$$P.Fs = \frac{\Sigma\{(W_{ab} \cdot \cos\theta - U_{ab}) \cdot \tan\phi' + c' \cdot l_{ab}\} + P_r}{\Sigma W_{ab} \cdot \sin\theta} \quad \cdots \quad （式５－９）$$

$P.Fs$：杭設置後の元のすべり面に対する安全率
P_r：単位幅あたりの杭の抑止力（kN/m）
W_{ab}：すべり面ａｂにおける分割片の重量（kN/m）

l_{ab}：すべり面ａｂにおける分割片のすべり面長（m）
U_{ab}：すべり面ａｂにおける分割片に働く間隙水圧（kN/m）
θ：すべり面ａｂの分割片部における傾斜角（°）
ϕ'：すべり面ａｂの内部摩擦角（°）
c'：すべり面ａｂの粘着力（kN/m^2）

$$P.Fs' = \frac{\Sigma\left\{\left(W_{ax}\cdot\cos\theta_{ax} - U_{ax}\right)\cdot\tan\phi_{ax}' + c_{ax}'\cdot l_{ax}\right\} + \Sigma\left\{\left(W_{xy}\cdot\cos\theta_{xy} - U_{xy}\right)\cdot\tan\phi_{xy}' + c_{xy}'\cdot l_{xy}\right\}}{\Sigma W_{ax}\cdot\sin\theta_{ax} + \Sigma W_{xy}\cdot\sin\theta_{xy}}$$

・・・　（式５－１０）

$P.Fs'$：杭設置後の想定すべり面ａｘｙに対する安全率
W_{ax}：すべり面ａｘにおける分割片の重量（kN/m）
W_{xy}：すべり面ｘｙにおける分割片の重量（kN/m）
l_{ax}：すべり面ａｘにおける分割片のすべり面長（m）
l_{xy}：すべり面ｘｙにおける分割片のすべり面長（m）
U_{ax}：すべり面ａｘにおける分割片に働く間隙水圧（kN/m）
U_{xy}：すべり面ｘｙにおける分割片に働く間隙水圧（kN/m）
θ_{ax}：すべり面ａｘの分割片部における傾斜角（°）
θ_{xy}：すべり面ｘｙの分割片部における傾斜角（°）
c_{ax}'：すべり面ａｘの粘着力（kN/m^2）
c_{xy}'：すべり面ｘｙの粘着力（kN/m^2）
ϕ_{ax}'：すべり面ａｘの内部摩擦角（°）
ϕ_{xy}'：すべり面ｘｙの内部摩擦角（°）

$$\alpha = 45° - \frac{\phi_{xy}'}{2}$$

・・・　（式５－１１）

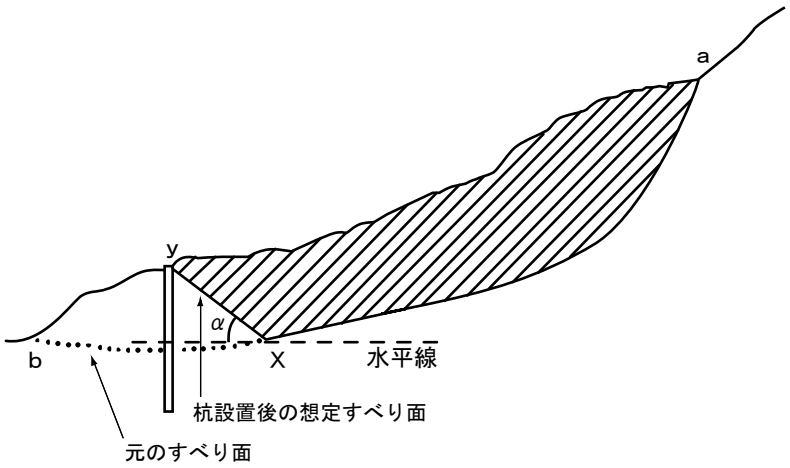


図５－２１　杭の上部の受動破壊[1)]

５）杭に対する設計外力の考え方

杭の設計にあたっては、原則として曲げ応力及びせん断応力に対する検討を行うものとする[1)]。地すべり防止工事の保全対象となる構造物または土地が地すべり運動ブロックの引張部のみに限られている場合には、杭の施工位置を地すべりブロックの引張部であっても保全対象に近接した地点に設置することもある。この場合には、杭背面の地盤反力は期待できず、杭の上方斜面からの地すべりの滑動力をすべて受け持つ形となるので、これに対応できる抑え杭の設計としなければならない。

６）杭材の種類と強度

杭に使用する鋼材の強度は、設計強度を満足するものでなければならない。杭材の強度は杭に作用する荷重に応じて長期許容応力度、短期許容応力度を用いる。抑制工を併用する場合には、原則として短期許容応力度を用いる。

設計強度としては、表５－２の数値を参考とする。なお、鋼管杭に使用する部材はJIS A 5525、JIS G 3444、JIS G 5201、JIS G 3106、JIS G 3101を参照のこと。

表５－２　杭の設計強度[1)]を一部修正

区　分	短期許容応力度 N/mm^2		長期許容応力度 N/mm^2	
	せん断	曲　げ	せん断	曲　げ
STK400 及び同等品	118	206	78	137
SM490 及び同等品	162	279	108	186

７）杭の配置

杭は、地すべりの運動方向に対して概ね直角で、等間隔になるよう配置する。

杭の間隔は、採用した杭の設計条件を考慮して検討する。ただし、土塊の性状によっては、削孔による地盤の緩みや土塊の中抜けが生じる恐れがあるので、表５－３の間隔を標準とし、杭の直径の８倍以内を目安とする。

なお、杭の施工による基盤の破損を避けるため、孔壁間の距離は、1m以上確保する必要がある。計算上、孔壁間の距離が1m未満となる場合は、杭配列を千鳥配列とする。

表５－３　杭の間隔[2)]を一部修正

杭設置位置の移動層の厚さ	杭の間隔
0～10m	2.0 m以下
10～20 m	3.0 m以下
20 m以上	4.0 m以下

８）基礎への根入れ

杭の基礎部への根入れ長さは、杭に加わる土圧による基礎部破壊を起こさないよう決定する。根入れ長さは、採用した杭の設計条件を考慮して検討するものとする。

孔壁と杭との間は､間詰めを行うことにより杭と基礎地盤との一体化を図る必要がある。そのため、孔壁と杭の間にグラウトパイプを挿入し、モルタルグラウトを行って基礎部の亀裂の充填及び孔壁と杭間の間詰めを行う。

５．３．２　シャフト工

シャフト工は、対象となる地すべり地の地形及び地質等を考慮し、所定の抑止力が得られるよう設計する。

シャフト工の設計にあたっては、シャフトに所定の抑止力を作用させた場合の内部応力に対するシャフトの安定性を検討するとともに、シャフトより上部の移動層における受働破壊、基礎地盤の破壊、シャフト間土塊の中抜けが生じないように検討する。

解説

シャフト工（図５－２２）は、対象となる地すべり地の地形及び地質等を考慮し、所定の抑止力が得られるよう設計する。

シャフトの設計にあたっては、すべり面等の地下構造を十分調査し、できるだけ堅固な地盤に設置する。

シャフト工が単位幅の地すべり土塊に対して負担すべき荷重は、杭の場合と同様に求める。

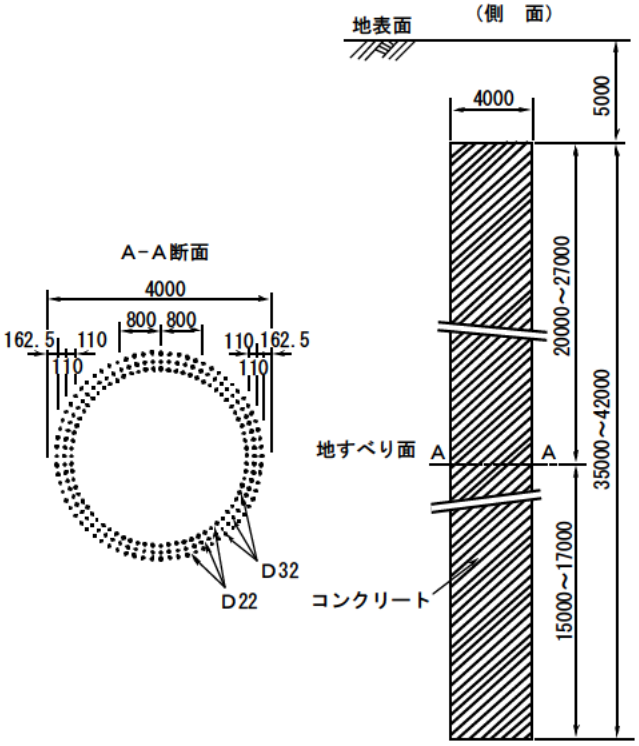


図５－２２　シャフト工の例（単位：mm）

シャフト工のような大口径構造物を曲げ杭として設計するか、力を受けても変形しない剛体杭として設計するのかの判定は、一般に次式により行っている。

$\beta l \leqq 2$ の場合は剛体杭として設計する。

$\beta l > 2$ の場合は曲げ杭として設計する。

$$\beta = \sqrt[4]{\frac{K \cdot d}{4 \cdot E \cdot I}} \quad \cdots \quad （式５－１２）$$

K：根入れ部地盤の横方向地盤係数（kN/m^3）

d：シャフトの外径（m）

l：すべり面からのシャフトの根入れ長（m）

E：シャフトの弾性係数（kN/m^2）

I：シャフトの断面二次モーメント（m^4）

シャフトの中詰めには一般に鉄筋コンクリートを用いる。

シャフト工の間隔は、1 本のシャフト工の抑止力を計画安全率を得るために必要な単位幅当たりの抑止力で除して求めるが、中抜けや基礎破壊を起こさないような間隔としなければならない。

５．３．３．アンカー工

アンカー工は、対象となる地すべり地の地形及び地質等を考慮し、所定の抑止力が得られるよう設計するものとし、その引張力に対するアンカーの安定性を確保するとともに、定着地盤および構造物（受圧板等）の安定が保たれるよう設計する。

解説

(1) 概説

アンカー工は基本的に以下に挙げる 3 つの構成要素により成り立っている（図５－２３）。

1) アンカー頭部（反力構造物を含む）
2) 引張部
3) アンカー定着部（アンカー体及び定着地盤）

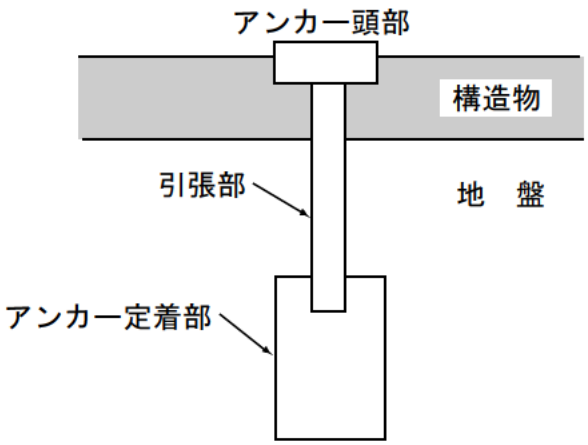


図５－２３　アンカー工の構成要素

地すべり対策として用いられるアンカー工は、アンカー頭部に作用した荷重を、引張部を介して定着地盤に伝達することにより、地すべり土塊と不動土塊とを一体化させて安定化を図るものである。

アンカー工は、対象とする地すべり地の地形及び地質等を考慮し、所定の抑止力が得られるよう設計するものとし、その引張力に対するアンカーの安定性を確保するとともに、定着地盤及び構造物（受圧板等）の安定が保たれるよう設計する。

アンカー工の設置位置、定着地盤の位置、アンカーの配置、アンカーの傾角（アンカー打設方向と水平面のなす角）及び構造物の規模及び構造等は、地すべり地の地形、地質及び移動状況を考慮し慎重に決定する。

アンカー工には次の効果がある。

1）締め付け効果

すべり面に対する垂直応力を増加させることによって、せん断抵抗力を増加させようとするものである（図５－２４）。締め付け効果を期待できる条件としては、移動土塊が緊張力をかけたとき大きな圧縮、圧密変形をしないということが必要である。したがって移動土塊が粘性土や崩積土あるいは亀裂に富んだ風化岩盤で構成されるような場合には締め付け効果を期待することは困難である。また、すべり面深度が深い場合にも効果を期待することは難しい。

2）引き止め効果

地すべり土塊がすべり面に沿って移動しようとした時に、アンカーのすべり面の接線方向の分力によって、地すべり土塊を引き止めようとするものである（図５－２４）。鋼材の引張抵抗力を十分発揮させ、滑動力の大きな地すべりに対して用いられたり、杭工が困難な地すべりで利用される。

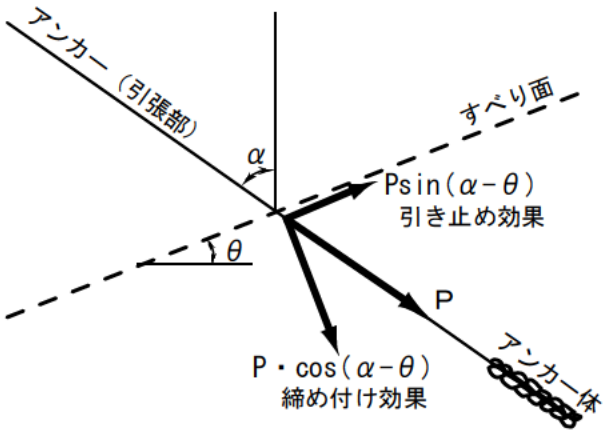


図５－２４　アンカーの機能

地すべりの防止を目的とするアンカー工は、地すべり末端部に「引き止め機能」を期待して設置されることが多い。設計の際には、アンカーの傾角、すべり面の勾配・深さ等を考慮して、これらの機能の中から最適なものを選択することが必要である。これら両方の効果を設計に反映させる場合もある。

(2) 必要アンカー力の算定

地すべり対策工として使用されるアンカーには、①締め付け効果を利用するもの、②引き止め効果を利用するものがある。アンカー工の設計における必要アンカー力の算定は、機能別に次式により求める。

① 締め付け効果を利用した必要アンカー力の算定

$$P.Fs = \frac{\{\Sigma(W \cdot \cos\theta - U) + P \cdot \cos(\alpha - \theta)\}\tan\phi' + c' \cdot \Sigma l}{\Sigma W \cdot \sin\theta} \quad \cdots \quad （式５－１３）$$

② 引き止め効果を利用した必要アンカー力の算定

$$P.Fs = \frac{\Sigma(W \cdot \cos\theta - U) \cdot \tan\phi' + c' \cdot \Sigma l + P \cdot \sin(\alpha - \theta)}{\Sigma W \cdot \sin\theta} \quad \cdot\cdot\cdot \quad （式５－１４）$$

$P.Fs$：計画安全率

W：分割片の重量（kN/m）

U：分割片に働く間隙水圧（kN/m）

P：必要アンカー力（kN/m）

ϕ'：内部摩擦角（°）

c'：粘着力（kN/m^2）

l：分割片のすべり面長（m）

θ：アンカー打設位置におけるすべり面の傾斜角（°）
（図５－２４参照）

α：アンカー打設角（°）
（図５－２４参照）

(3) アンカーの配置

アンカーは、反力構造物とその周辺地盤及び定着地盤の安定と近接構造物への影響を考慮して配置する。アンカーの定着位置及びアンカーの方向や間隔は、設計段階の初期に予め想定しておかなければならない。

1) アンカー工の計画位置

すべり面勾配が急な地すべり頭部など、アンカーとすべり面の交わる角度が直角に近い場合には、アンカーの抑止効果が小さくなり、アンカーがせん断されることもある。アンカーの計画位置には十分留意し、原則として地すべり頭部は避けるものとする。

2) 近接構造物への影響

アンカー打設位置の近傍に地中埋設物、トンネル及び杭等がある場合は、それらの構造物にアンカー工の影響が及ばないよう十分考慮して検討する必要がある。アンカーの打設方向は、地すべり移動方向と一致させる必要がある。

3) アンカーの傾角

アンカーの傾角は、力学的有利性だけから決定されるものではなく、地形、地質及び施工条件等を考慮して決定するが、アンカー施工上の問題（残留スライム及びグラウト材のブリージング）から原則として水平面より -5°～+5° の範囲は避ける。

4) アンカーの設置間隔

アンカーの設置間隔は、設計アンカー力、アンカー体の径及び定着長等のアンカー諸元を考慮して決定する。

(4) アンカーの設計

設計アンカー力の算定、アンカーの長さ等の設計は「グラウンドアンカー設計・施工指針・同解説」[3)]を参照して行うものとする。

(5) 防食

アンカー工は、原則として確実な防食処理のなされた永久アンカー（図５－２５）とす

る。アンカーの防食は、施工時及び施工完了後の腐食環境を十分考慮し、その構造の検討を行わなければならない。また、最も不利となる腐食条件を設定し、防食の対策を講ずる必要がある。

1) アンカー体の防食

アンカー体の防食は、一定の厚みと強度を有する防食機能のある素材で覆い、その内部を防食機能のあるグラウト材等で充填することを標準とする。

2) 引張部の防食

引張部の防食は、テンドンを一定の厚みと強度を有する素材によって被覆し、さらに、テンドンとシースの間に防食用材料（防錆油）を充填することを標準とする。再緊張を必要とするアンカーの場合には、テンドンの伸びを拘束しない防食用材料を選定しなければならない。

3) アンカー頭部の防食

アンカー頭部の防食は、保護キャップと防食用材料（防錆油）の組み合わせを標準とする。また、再緊張の必要性に応じて適切な防食方法を選定する。

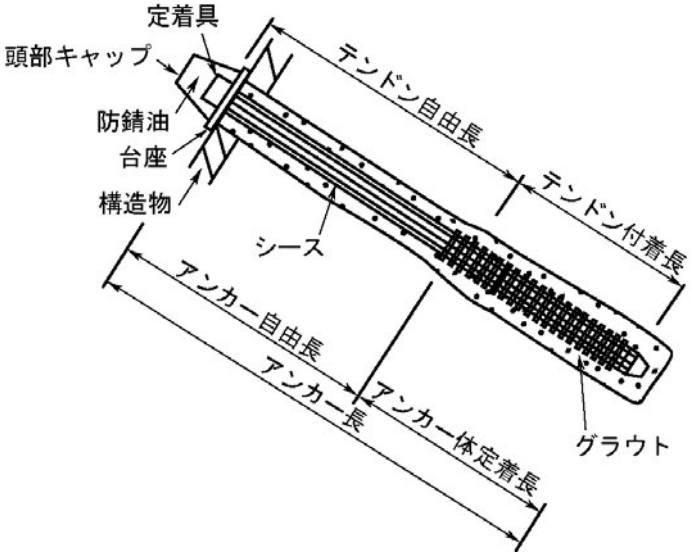


図５－２５　永久アンカーの例

(6) 受圧板

地すべり対策として用いられるアンカー工では、受圧板設置のために切土のり面が形成される。この切土の際には地すべり運動を活発化させないように事前に十分な検討が必要である。

受圧板は、アンカーの引張力に十分耐えるように設計する。受圧板は、アンカー工を定着させるために斜面等に設置される構造物である。反力構造物である受圧板には、様々な型の独立受圧板とのり枠工等による連続受圧板があるが、斜面の状況、アンカーの諸元、施工性、経済性、維持管理及び景観等を十分考慮して選定し、斜面状況に応じた設計を行う。地すべりの場合、切土の少ない独立受圧板を用いることが多い。

1）受圧板への作用力

受圧板への作用力は、基本的に設計アンカー力（T）とその反力としての地盤反力とし、受圧板に使用するコンクリート及び鉄筋の許容応力度は、「コンクリート標準示方書（土木学会）」[4)]によるものとする。

2）断面力の算定

断面力の算定は、原則として梁モデルにて行うものとし、地盤反力を等分布荷重として扱うか、アンカー力を集中荷重として扱うかは、背面地盤の状況を十分考慮して決定する。

3）受圧板設置斜面の緑化

受圧板を設置するために形成された切土のり面の侵食防止、自然環境・景観の保全のため斜面の緑化に努める。

参考文献

1）（社）日本河川協会，建設省河川砂防技術基準（案）同解説設計編Ⅱ，pp.55,59，山海堂，1997.

2）「地すべり鋼管杭設計要領」，（社）地すべり対策技術協会，215p，2003.

3）（社）地盤工学会：グラウンドアンカー設計・施工指針・同解説，（社）地盤工学会，219p，2001.

4）（社）土木学会：コンクリート標準示方書［構造性能照査編］，丸善，pp.243，2002.

第６章　工事実施後の地すべり斜面に対する点検・観測

６．１　総説

地すべりの発生・運動機構は複雑であり、地すべり防止工事実施後の地すべり斜面であっても地すべり滑動が活発化することがある。

そのため、地すべり防止工事実施後の地すべり斜面に対しては、地すべり災害に至る可能性のある要因を早期に発見するために、点検・観測を実施することとする。

６．２　点検

地すべり防止工事実施後の地すべり斜面に対しては、定期点検と異常時点検を行うものとする。

定期点検は、年1回程度、地すべりによる斜面変状や湧水の状況の変化等について、視認可能な範囲を現地踏査により実施する。

異常時点検は、地震や豪雨等の後に定期点検と同様、目視により実施する

解説

点検には、定期点検と異常時点検がある。異常時点検実施の判断にあたっては、地すべり施設の変状等について住民等からの情報提供が重要である。なお概成した地すべり地においては計測機器等が撤去、または機能を喪失しているため目視を中心に点検をおこなう場合が多い。

定期点検は、年1回程度、次の項目について、視認可能な範囲を現地踏査により点検する。

1）地すべりによる斜面変状（亀裂、段差、抑止構造物や道路等の変形等）の状況

2）湧水の状況の変化

予め、亀裂、段差、抑止構造物や道路等の変形等を捉えやすくするために、必要に応じてコンクリート舗装等で観測帯を設置することが望ましい。

なお、点検の実施にあたり、地域住民にその監視を委ねる巡視員制度が設けられ効果を上げている事例がある。

６．３　観測

地すべり防止工事実施後の地すべり斜面のうち、保全対象の多い地すべりなどでは、目視による点検の他に地すべり斜面の安定状況を各々監視するために、必要に応じて地すべり地内外に計器を設置して観測する。

また、点検の結果、地すべりによる斜面の変状が認められた場合には、速やかに地表面の移動量や傾斜量の観測を実施し、地すべりの移動状態を把握する。

解説

地表面の移動量の観測には、地盤伸縮計、移動杭測量、ＧＰＳ測量等を用いる。表６－１に、地すべり斜面の観測に用いる計器を示す。

表６－１　地すべり斜面の計器観測の対象と手法

観測対象		計測機器及び手法	計測値
地すべり斜面	地表	地盤伸縮計	地表移動量 クラック開口量
		移動杭測量	地表移動量
		ＧＰＳ測量	地表移動量
		地盤傾斜計	地盤傾斜量
	地中	パイプひずみ計	地中ひずみ量
		孔内傾斜計	地中移動量
		縦型伸縮計	移動量
		間隙水圧計	間隙水圧
		地下水位計	地下水位
		アンカー荷重計	緊張力

６．４　資料・記録の保管

地すべり斜面の点検・観測は、斜面に関する履歴や点検等の情報を記入した斜面カルテ等をもとに実施する。また点検・観測結果に関する資料・記録は、利用しやすいように整理し保管する。

６．５　地すべり防止計画への反映

地すべり斜面の点検・観測の結果、地すべり災害に至る可能性のある要因が発見されるなど、必要な場合には、地すべり防止計画を見直し、地すべり災害を防止するための対策を検討する。

第７章　地すべり防止施設の機能維持

７．１　総説

地すべり防止工事実施後の地すべり斜面の安定を保持するために、施工した地すべり防止施設の機能維持を行うものとする。

７．２　点検

地すべり防止施設に対しては、定期点検と異常時点検を行う。

定期点検は、年1回程度、地表排水路の状況、地下水排除施設の状況、排土・押え盛土斜面の状況、河川構造物等の侵食防止施設の状況について、視認可能な範囲を現地踏査により点検する。

異常時点検は、地震や豪雨等の後に定期点検と同様、目視により実施する。

解説

点検には、定期点検と異常時点検がある。定期点検は、年1回程度、以下の事項について、視認可能な範囲を現地踏査により点検する。異常時点検は、必要に応じて、地震や豪雨等の後に定期点検と同様、目視により実施する。

1）地表排水路の状況（目地の開き、割れ等の損傷、土砂等の堆積による閉塞、集水桝の破損、変形、土砂等の堆積状況）

2）地下水排除施設の状況

a）集水井

・集水井本体の破損変形、腐食の状況、湛水の有無

・集水管孔口の腐食、閉塞、集水の状況

・排水管出口の腐食、閉塞、排水の状況

・付帯施設（天蓋、立ち入り防護柵、昇降階段）の破損、変形、腐食の状況

・集水井周辺の変状（崩壊、亀裂、陥没等）

b）横ボーリング

・孔口保護施設の破損変形状況

・集水管孔口の腐食、閉塞状況

c）排水トンネル

・排水トンネル内部の亀裂や歪みの状況

・排水路の破損、変形、土砂等の堆積状況

・集水管孔口の腐食、閉塞状況

3）排土、押え盛土斜面の状況

・斜面からの湧水の有無

・斜面の崩落等の有無

4）河川構造物等の侵食防止施設の状況

・河川構造物の変状の有無

5)アンカー工の状況

・アンカー頭部の状況（破断、腐食、頭部キャップの脱落）

・アンカー工受圧板の変状（亀裂、変形）

７．３　観測

保全対象の多い地すべりなどにおける地すべり防止施設については、点検の他に地すべり防止施設の機能低下を監視するために、必要に応じて地すべり防止施設に計器を設置して観測する。

解説

表７－１には、地すべり防止施設の観測に用いる計器を示した。点検の結果、地すべりによる斜面の変状が認められた場合には、地表面の移動量や傾斜量の観測を実施し、地すべりの移動状態を把握する（６章の６．３　観測を参照）。

集水井、横ボーリング等の地下水排除施設の機能低下判定は、地下水排除施設による地下水位低下量と低下範囲、地下水排除施設からの排水量の各変化をもとに行う。そのため、間隙水圧や地下水位と排水量のデータを取得する必要がある。

表７－１　地すべり防止施設の計器観測の対象と手法

観測対象		計測機器及び手法	計測値
防止施設	地表排水路	排水量計	排水量
	横ボーリング	〃	〃
	集水井	〃	〃
	杭	孔内傾斜計	杭の変形量
	アンカー	センターホール型荷重計	受圧板の荷重

７．４　付帯施設

地すべり防止施設には、必要に応じ点検及び安全のために、集水井における昇降階段や天蓋や立ち入り防護柵、排水トンネルの坑口における扉等の付帯施設を設置する。

解説

地すべり防止施設には、必要に応じて点検及び安全のために付帯施設を設置する。

(1) 集水井の付帯施設

集水井の維持管理のため、以下に示す付帯施設を設置する。

1) 集水井内部に昇降階段（または梯子）を設置し、底部まで降りられるようにする。なお、直高約5m毎に踊り場を設ける。
2) 集水井頂部には、転落防止のためと木の葉等が集水井内部に入らないように、出入り口を設けた鉄筋コンクリート製等の天蓋を設置する。
3) 周囲には、部外者の立ち入りを防止するために、施錠できる出入り口を設けた立ち入り防護柵を設置する。なお、積雪地帯では、積雪の荷重に耐えられる構造とする。

(2) 排水トンネルの付帯施設

トンネル内への部外者の立ち入りを防止するために、坑口に施錠できる扉を設ける。また、長大なトンネルでは、換気方法も検討する。

７．５　資料・記録の保管

地すべり防止施設の点検・観測は、地すべり斜面における施設配置図や施設設置年次、施設の構造等を明記した施設台帳等をもとに実施する。また点検・観測結果に関する資料・記録は、利用しやすいように整理し保管する。

７．６　地すべり防止施設の機能低下判定

地下水排除施設の機能低下判定は、地下水排除施設効果範囲内（集水管設置範囲）の地下水位と地下水排除施設排水量の対応関係を年毎に比較する等により行う。

解説

地下水排除施設の機能低下判定のためには、図７－１に示すようなｈ－Ｑ曲線を年毎に作成し、同じ地下水位時における年毎の排水量を比較するとよい。その結果、排水量が減少している場合は、集水管の目詰まりにより施設の機能低下が生じていると考えられる。また、観測計器が設置されていない地すべりでは、目視点検により地すべり防止施設の機能低下が生じていないかを調査する。

機能低下判定の結果、機能低下が生じていると判定された場合は、地すべり防止施設の維持修繕工事を実施することが望ましい。

また、移動観測の結果、地すべり移動が認められた場合は早急に対策を講じる必要がある。

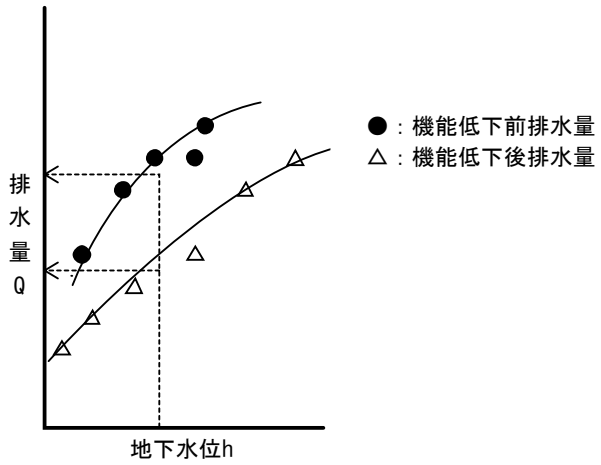


図７－１　地下水位ｈ－排水量Ｑの関係による機能低下判定

７．７　修繕等

点検・観測の結果により、必要に応じて、地すべり防止施設の修繕や、新たな地すべり防止施設の追加を検討する。

解説

地すべり防止施設に対しては、必要に応じて修繕や施設の追加を行う。点検・観測の結果、修繕のみでは地すべりの再移動を阻止できないと判断される場合には、再調査を行い新たな地すべり防止施設の追加を検討する。

１）　抑制施設の維持修繕

(1) 水路

水路の機能低下を防ぐために定期的に点検し、以下の維持修繕を実施する。

1) 水路の閉塞を防止するために、水路内に堆積した土砂、雑草の除去を行う。
2) 水路からの漏水や跳水を防止するために、目地や蓋の破損を修繕する。
3) 地盤の沈下等による水路破損箇所を修繕する。

(2) 横ボーリング

一般に、横ボーリング等の地下水排除施設からの集水量は、施設設置後の時間の経過とともに減少する傾向がある。この理由は、地下水排除工の効果によるものと、機能低下によるものがある。後者の主な理由は、集水管へのスライム等の付着による目詰まりである。

横ボーリングが機能低下を生じていることが判明した場合や、点検の結果、施設が破損していた場合は、以下の維持修繕を実施する。なお、横ボーリング孔口は、草木の繁茂によりその位置が不明になることがあるため、点検を容易にするため現地にポール等で位置を明示することが望ましい。

1）集水管にスライム等が付着した場合は、除去するために集水管の洗浄を実施する。
2）孔口保護施設に破損変形が認められた場合は修繕する。
3）集水桝に破損変形や土砂等の堆積物が認められた場合は修繕や除去を行い、集水された地下水を水路等に導き、速やかに地すべり地外に流下させる。
4）集水管の腐食や破損が激しい場合は、新たに横ボーリングを実施する。

(3) 集水井

集水井が機能（地下水の排除）低下を生じていることが判明した場合や、点検の結果、施設が破損していた場合は、以下の維持修繕を実施する。なお、集水井内部の維持修繕作業は、酸欠やガス中毒になる危険性があるため、換気と酸素や有毒ガス濃度の常時計測をしながら行う。

1）集水井本体は井筒とその補強材で構成されており、井筒の維持が地下水集水機能の維持・回復工事の可否を左右する。したがって、井筒及びその補強材に変形、亀裂、腐食等が認められた場合は、直ちに補強する。補強が不可能な場合は、井筒の破壊を防止するために栗石や玉石を井筒内部に充填し、集水井の機能を維持する。
2）集水管が地すべりにより切断された場合は再施工する。
3）集水管にスライム等が付着した場合は、除去するために集水管の洗浄を実施する。
4）排水管が地すべりにより切断された場合は、集水井内への地下水湛水を防止するために直ちにポンプ排水を行い、排水管を再度設置する。
5）付帯施設は、集水井の維持管理及び安全管理のための施設であり、昇降階段（または梯子）、天蓋、立ち入り防護柵に変形や腐食が認められた場合は、直ちに修繕する。

(4) 排水トンネル

排水トンネルが機能（深層地下水の排除）の低下を生じていることが判明した場合や、点検の結果、施設が破損していた場合は、以下の維持修繕を実施する。なお、トンネル内部の維持修繕においては、酸欠やガス中毒になる危険性があるため、換気や酸素マスク等の使用により安全を確保する。

1）排水トンネル内部に亀裂や歪み等を発見した場合は直ちに補強し、補強が不可能な場合はトンネルの破壊を防止するために栗石や玉石をトンネル内部に充填し、排水トンネルの機能を維持する。
2）排水路に土砂等が堆積した場合は、それを除去し排水の維持に努める。
3）集水管にスライム等が付着した場合は、集水管の洗浄を実施する。

地下水排除施設の集水管の目詰まり及び洗浄について以下に示す。

a) 集水管の目詰まり[1)]

小型カメラを用いた集水管内部の調査によれば、集水管の目詰まりの主な原因は、集水管へのスライム付着である。また、スライムの付着は、集水管孔口付近から始まり徐々に奥に進行する場合が多いことが推定される。

スライムの主成分の多くは酸化第二鉄であること、スライム中に鉄細菌が存在することなどが明らかになっている。また、集水管にスライムが付着する可能性がある地下水排除

施設は、地下水中の全鉄含有量が1mg/*l*以上の場合であり、4mg/*l*以上になると多量に付着すると判断できる。

b)集水管の洗浄

目詰まりした集水管の機能を回復させるために、集水管内部を20MPa程度の高圧力水の噴射により洗浄する。

(5) 排土、押え盛土斜面

排土、押え盛土を実施した斜面では、以下の維持修繕を実施する。

1) 斜面に多量の湧水が認められた場合は、横ボーリング孔口や斜面の土砂が洗い流されないようにフトン籠の設置を行い、その湧水を処理する。
2) 斜面に崩落等が発生した場合は、フトン籠等の柔軟性及び透水性のある施設を設置しその拡大防止をはかる。

(6) 河川構造物等の侵食防止施設

河川構造物等に変状が認められた場合は、必要に応じて、構造物の補強等、機能を維持するための適切な処置を行う。

２） 抑止施設の維持修繕

(1) 杭工、シャフト工

杭工及びシャフト工（深礎工）が設置されている箇所では、それらが設計どおり効果を発揮しているかを確認するために、杭工及びシャフト工の変形量や杭周辺の地すべり移動層の移動量を観測することが望ましい。なお、杭工及びシャフト工の変形は、予めそれらの中に孔内傾斜計のガイドパイプを設置しておくことで、また、杭工及びシャフト工の頭部変位は、移動杭測量により各々観測することができる。

点検・観測時期は、地すべりが豪雨時や融雪期に発生することが多いことから、これらの時期の前後に行うのがよい。

杭工及びシャフト工は土中構造物であり、既設のものを維持修繕することは困難である。点検・観測により杭工やシャフト工の破壊が認められた場合は、安定解析を実施し、地すべり防止施設の追加を検討する。

(2) アンカー工

施行されたアンカー工が、その機能を十分発揮しているか否かを確認するために、定期的に点検・観測を行うことが望ましい。

アンカーが健全であるかどうかは、以下に示す方法で調査する。

1) アンカー頭部の腐食状況やコンクリートのひび割れ等を定期的に点検する。

　アンカー頭部は損傷を受けないように防護する必要があり、損傷を受けた場合は補修を行うか、新規のアンカーを打設するなど適切な処置を講じる必要がある。

2) アンカー緊張力の変化を観測する。

　アンカー体定着長及びアンカー自由長部は、地盤内に埋設されているため、その状態を目視により確認することはできない。そこで、荷重計をアンカー頭部に設

置しアンカーの緊張力の計測を行い、緊張力の変化よりアンカーの状況を把握する。

観測頻度は、以下の条件を考慮して定める。

1）保全対象物への影響度

2）定着地盤の強度及び性状

また、観測頻度は一般に工事完了直後は高く、荷重の変化が認められなくなった後は低くする。なお、維持管理記録は、保存しておく必要がある。

点検・観測によりアンカー緊張力の低下が認められた場合は、アンカーの補修・補強で対応が可能であるか否かを斜面安定解析等により検討し、必要に応じてアンカーの追加施工を検討する。

参考文献

1) 花岡正明，丸山清輝，小嶋伸一（2005）：地すべり地の地表水・地下水排除施設の点検方法の検討，土木研究所資料第3967号，p.7，2005.

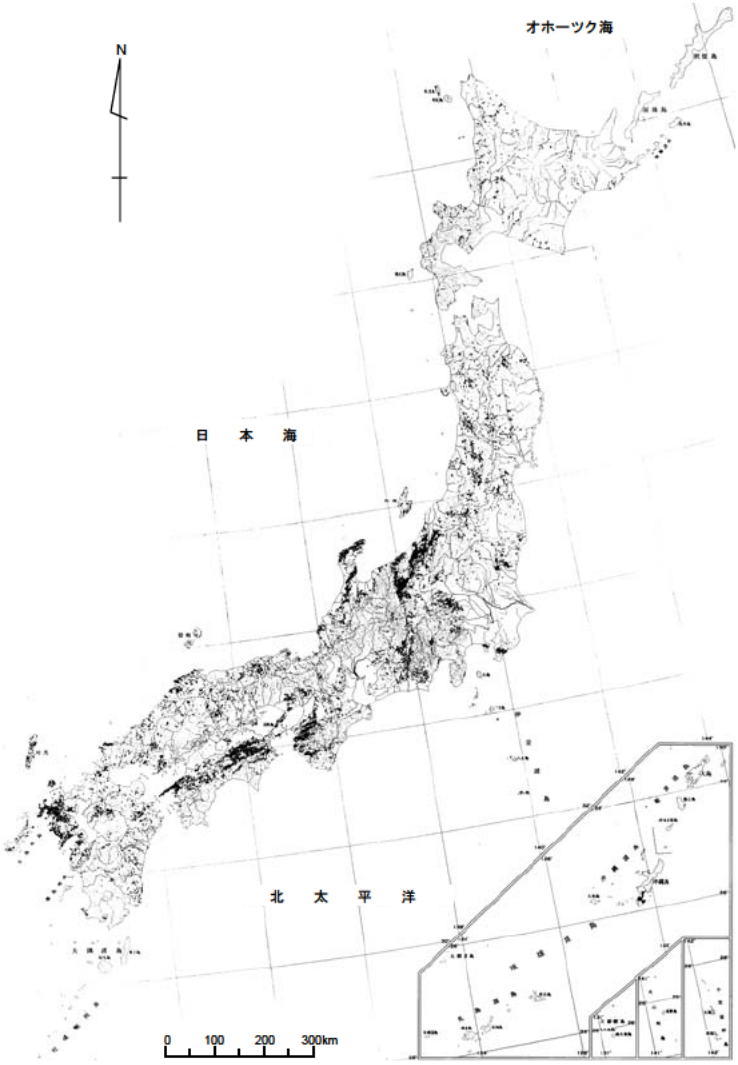
巻末参考

１　地すべりの発生要因

地すべりは、ある特定の地質と地質構造をもつ地域に多く発生し、移動を繰り返すことによって「地すべり地形」と呼ばれる独特の地形を呈する。

１．１　地すべりの素因

図参－１は、わが国における地すべりの分布である。地すべりの分布は、わが国全土に及んでいる。特に地すべりが多く発生しているのは、新潟、長野を中心とする本州の日本海沿岸に分布する新第三紀層グリーンタフ地帯と、中央構造線に沿った四国中央部から紀伊半島の紀ノ川、天竜川に連なる変成岩地帯である。



図参－１　地すべりの分布[1)]

地すべりは、固結度の低い泥岩、凝灰岩等の分布する新第三紀層地帯や、岩石の破砕・変成帯で多く発生している。地すべりを起こしやすい地域をあげると次のとおりである。

(1) 新第三紀層の泥岩、凝灰岩の分布地域

(2) 古第三紀層の頁岩、凝灰岩の分布する地域で特に地質構造線付近

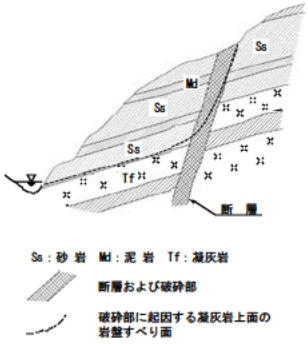
(3) 中古生層で、特に結晶片岩の中で緑色片岩や黒色片岩分布地域や、その近傍の変成した頁岩、粘板岩、輝緑凝灰岩の分布する地域

(4) 火山砕屑物の多い地域

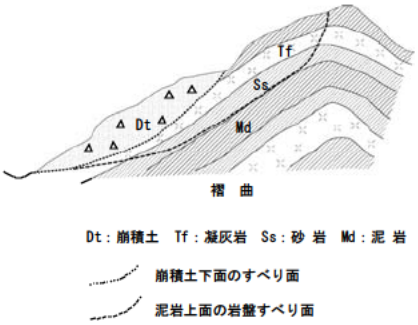
(5) 熱水変質を受けた地域

(6) 貫入作用等により構造的破砕・変成を受けた地域

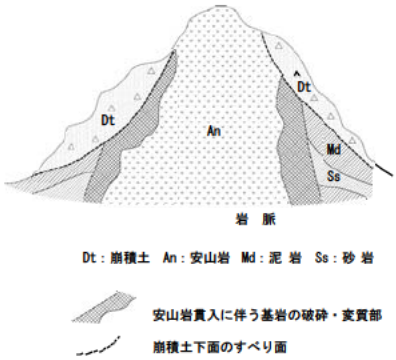
また、地すべりを起こしやすい地質構造には、中央構造線、糸魚川－静岡構造線、日高構造線等の構造線の周辺、断層（図参－２(a)）、破砕帯や非常に明瞭な褶曲軸、背斜軸（図参－２(b)）、ドーム構造、貫入構造（図参－２(c)）、キャップロック（図参－２(d)）等がある。また、受け盤斜面であっても、受け盤上の崖錐堆積物が地すべりを起こしているものもある。



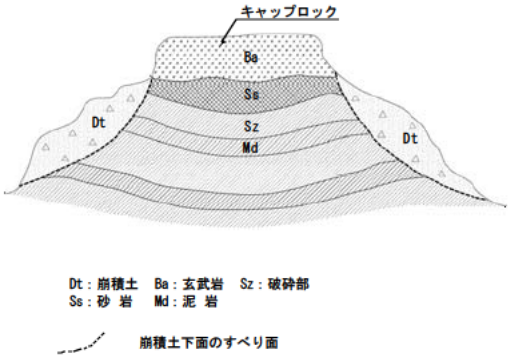
(a)　単斜構造（流れ盤）、断層に起因する地すべりのモデル



(b)　褶曲（背斜構造）に起因する地すべりのモデル



(c)　安山岩貫入に起因する地すべりのモデル



(d)　餅板状キャップロックに起因する地すべりのモデル

図参－２　地質構造に起因する地すべりのモデル[2)]

１．２　地すべりの誘因

地すべりの発生誘因には、以下に示すものがある。

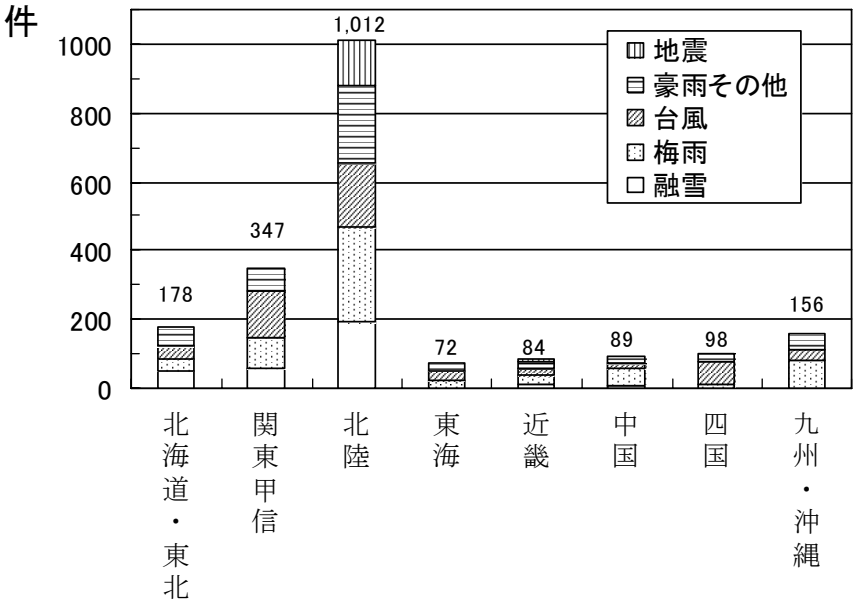
(1) 自然的誘因

1) 降雨等によるもの（長雨、集中豪雨、融雪等）

2) 地震等によるもの（火山活動、地震による地下水系の変化等）

「1) 降雨によるもの」には、雨や融雪水が斜面に浸透し、地下水が増加することによってすべり面の間隙水圧が高まり地すべりを発生させる場合や、豪雨等により地すべり斜面末端部で崩壊を起こし、これが誘因となって斜面安定のバランスを失わせる場合がある。

図参－３には、平成７年～16年の誘因別地すべり発生件数を地域別に示した。新第三紀層の分布する北陸地方では、地すべりが梅雨や融雪等により多く発生している。また、中古生層が分布する四国地方では、台風に伴う豪雨により発生する地すべりの割合が多い。



図参－３　Ｈ７～１６の誘因別地すべり発生件数[3] の一部を修正加筆

「2) 地震等によるもの」では、地震によって規模の大きな崩壊が数多く発生していることが知られている。著名なものとして、1751年5月の高田地震による名立崩れ、1847年5月の善光寺地震による虚空蔵山崩れ、1858年飛越地震による鳶崩れ等がある。また、1995年に発生した兵庫県南部地震では、仁川地区、西岡本地区で地すべりが発生した。これらはいずれも明瞭な地すべり地形を呈する箇所で発生したものではなかった。地すべり地形を呈する斜面では、地震直後に一時的に斜面の一部にわずかの移動が見られた事例があるが、地すべり斜面に及ぼす地震力の影響は明らかではない。

地震による地すべり・崩壊の発生は、地震のマグニチュード、震央からの距離、活断層からの距離が重要な因子と考えられている。2004年新潟県中越地震においては、地すべり・崩壊発生箇所は推計震度6以上の範囲に分布する傾向が認められ、特に6強以上に多く分

布する傾向が認められた[4)]。また、地すべり・崩壊の発生する箇所は水平方向最大加速度よりも上下方向最大速度との相関が高いことが指摘されている[4)]。

(2) 人為的誘因

1) 土工等（切盛土、トンネル掘削等や水路等からの漏水）によるもの

2) 斜面の水没によるもの（ダム湛水）

「1) 土工等によるもの」では、宅地や道路建設等に伴う斜面の切土、盛土等により地すべりが発生する場合がある。これは、切土や盛土を行うことにより斜面内の応力状態が変化するためであり、切土ではせん断強さの低下が、また、盛土では滑動力の増加がそれぞれ生じる。また、切土及び盛土は、以前には地すべりの見られていない一般の安定した斜面に対しても安定性に及ぼす影響が大きく、初生的な岩盤地すべりを発生させる場合がある。このことから、大規模な土工を計画する際には、地すべり地形を呈する斜面に限らず事前の綿密な調査が必要である。この他、トンネルの掘削によって地すべりを誘発する場合がある。これは、掘削により周辺地盤の緩みが原因で、地盤の沈下等による斜面内の応力状態の変化、地下水流動経路の形成、地盤の劣化等が進むためと考えられる。

「2) 斜面の水没によるもの」では、ダム建設後の湛水に起因して地すべりが発生する場合がある。この場合の地すべり発生原因として、以下のことが考えられている[5)]。

a) 地すべり土塊の水没による浮力の発生

b) 水没による地すべり土塊内の地下水位の上昇

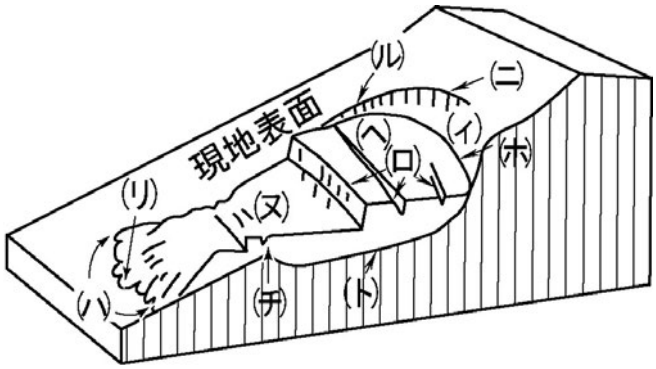
c) 貯水位の急速な下降による残留間隙水圧の発生

d) 水際斜面の侵食・崩壊による受動部分の押え荷重の減少

１．３　地すべり地形

地すべりは、移動と停止を繰り返す場合が多いため、これに伴って独特の地形を呈するようになる。この地形は地すべり地形と呼ばれている。

図参－４には、すべり面形状が舟底型（１．４参照）の場合の地すべり地形と各部の名称を示した。なお、この地すべり地形と類似し見誤りやすい地形として、河岸及び海岸段丘、溶岩台地、火砕流堆積地等があるので、注意する必要がある。



(イ)滑落崖（主亀裂）　(ロ)二次亀裂　(ハ)舌端部
(ニ)冠頂部　(ホ)頂天　(ヘ)頭部　(ト)すべり面　(チ)脚部
(リ)尖端　(ヌ)末端部　(ル)側面

図参－４　地すべり各部の名称[6]の一部を修正

以下に、地すべり地形の特徴を示す。

(1) 馬蹄形または四角形の急斜面の下部に台地状または緩傾斜面が続き、その下部が再び急傾斜部を有する一連の地形から成る斜面で、下部で隆起や押し出しが認められる。

(2) 地形図では、一般の山腹斜面は等高線がほぼ等間隔で平行であるのに対して、地すべり地形では上部の等高線間隔が急に縮まり（滑落崖）、中部では逆に広がり（頭部）、末端部では再び縮まるという一連の地形が認められる（図参－６(c)参照）。

(3) 頭部や末端部は、移動によって地表が乱れており、小さな凸部や凹地が点在することが多い。滑落崖下や頭部付近では沈下が生じるため、陥没地、池、沼等が分布する。

(4) 地すべり地の両側部は、地すべりの移動により攪乱されるため、沢状になっていることが多い。凸部や凹地が点在することが多い。

(5) 沢や河川の異常な曲がり、河幅が狭くなっている等の状況が認められる。

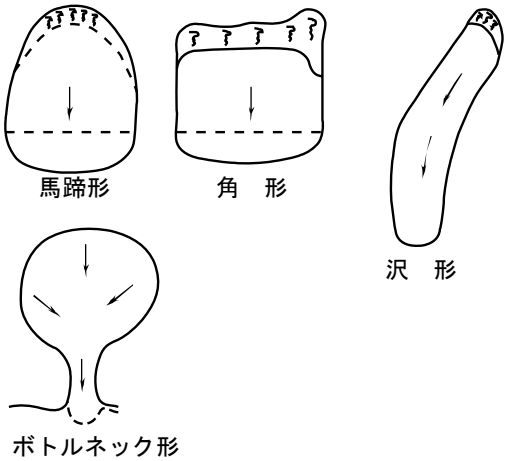
図参－５には、地すべり地の平面形を示した。地すべり地の平面形には、馬蹄形、角形、沢形、ボトルネック形がある。

馬蹄形は、わが国の地すべりの中の40％強を占めているといわれている。この形は、斜面中央の土層厚が両側より厚い場合にできる[7]。

角形の地すべりは、斜面中央土層厚が両側と同じ場合にできる。一般に、この形は地すべり全体の10～15％を占めるといわれている[7]。

沢形は、馬蹄形や角形地すべりの上方斜面が更に2次、3次の地すべりを起こした場合に現れる。一般に、この形は地すべりを繰り返した後に現れる形であり、すべり面の深さは浅い[6]。

ボトルネック形は、盆地状の斜面に地すべりが発生した場合に現れ、斜面下部には比較的堅固な岩盤等がある場合が多い[7]。



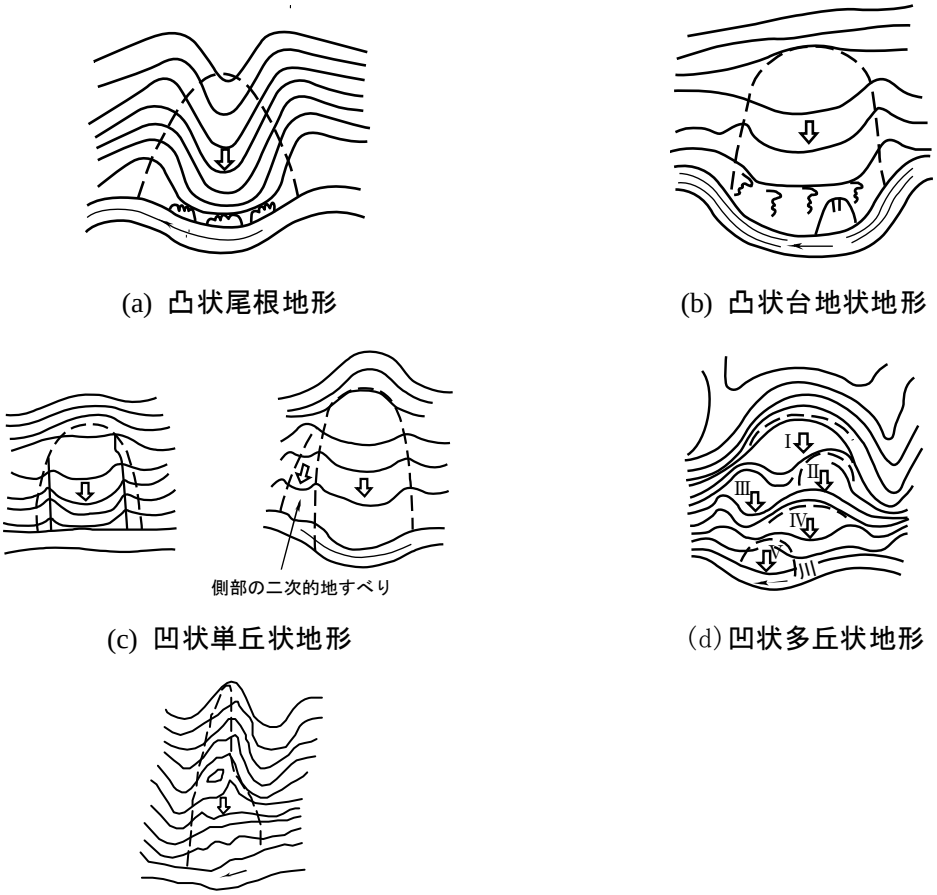
図参－５　地すべりの平面形[7]

地すべり地形の特徴が良く現れているか否かは、その地すべりの移動履歴を物語るものであると同時に、今後の地すべり運動を予測する有力な資料の一つとなる。地すべり地形は、数ヶ月前や数年前に移動した地すべりでは明瞭であるが、数十年あるいは数百年前に移動したものは、その後の斜面侵食によって不明瞭となる。また、移動量の大きかった地すべりは長い間その移動の痕跡を残すが、移動の小さかったものは侵食により短期間で移動の痕跡が認めにくくなる。

地すべり地形は、移動が停止して長時間を経ると、侵食により滑落崖は緩くなり、台地部は削り取られその特徴を失っていく。また、地すべり地形は、移動を繰り返すことによっても変化し、冠頂部から上部の斜面で新たに地すべりを起こす場合もある。冠頂部が上部に後退し尾根部まで及んだ場合は、周辺部に比べて急に尾根が低く見える地形となる。

また、移動量が大きく移動の回数も多くなるにつれ、全体的に一様な緩斜面を呈するようになり、地すべりの頭部の判断が困難な場合もある。図参－６に地すべり地形の変遷過程に沿って分類された地形[6]を示す

地すべり地形は、規模が大きく移動量も大きいものは、1/10,000程度の地形図で判読できる場合もあるが、規模が小さくなると1/3,000～1/1,000でも判読できず、踏査や斜めの空中写真等によって判読できるものもある。



(a)から(e)に向かって地すべりが進化する

図参－６　地すべり地形の変遷過程に沿って分類された地すべり地形[6)]

１．４　すべり面形状

地すべり斜面におけるすべり面の縦断面形状は、一般に新鮮な岩盤の中で起こる地すべりでは直線的な折れ線形状をなし、移動層が風化岩になると折れ線の変化部では曲線状を呈し、礫混じり土砂や粘土になると曲線状や弧状を呈すようになる。そのため、すべり面形状の分類を模式的に示すと次のようになる。

(1) 椅子型すべり面

図参－７(a)は、椅子型すべり面を示したものである。この型は、岩盤やこれに近い性状を持つ地すべりの場合は(ｲ)の折れ線状になり、礫混じり土砂や粘質土の場合は(ﾛ)の曲線状になる。

(2) 舟底型すべり面

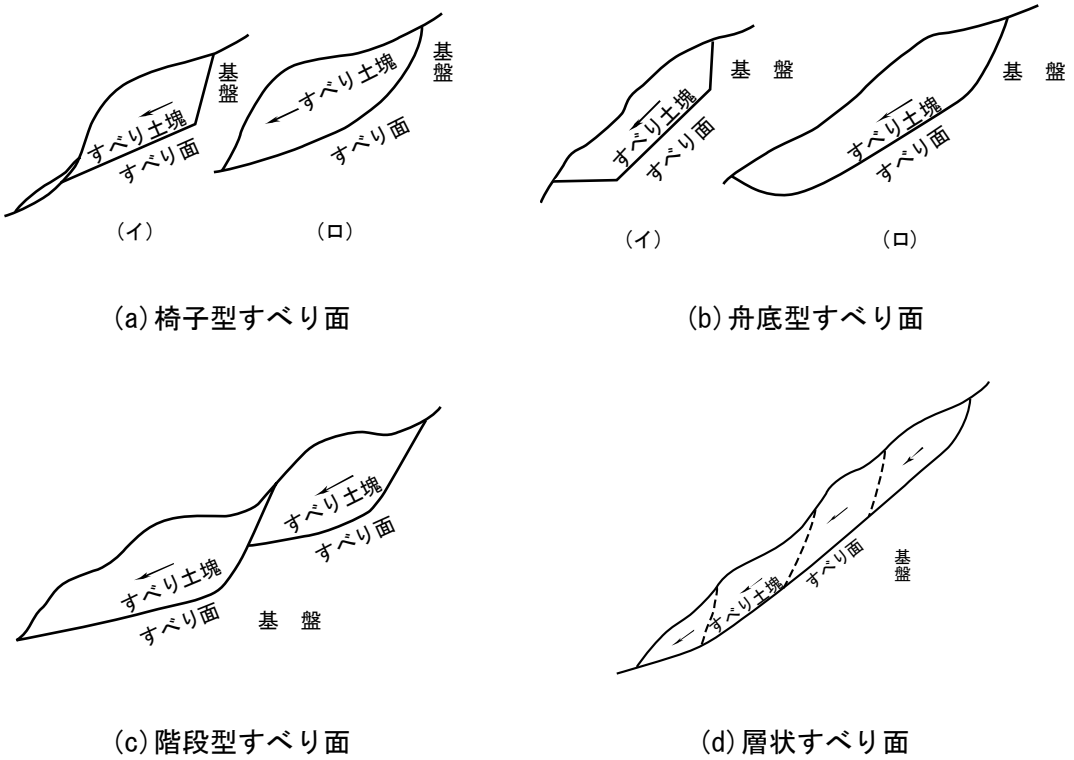
図参－７(b)は、舟底型すべり面を示したものである。この型の場合、地すべり斜面下部に圧縮による隆起部が認められる。移動層が岩盤に近い性状の場合は、(ｲ)の舟底のようなすべり面形状を呈するが、移動層が土砂の場合は(ﾛ)の2つの曲線が1つの直線を挟んだようなすべり面形状を呈する。

(3) 階段型すべり面

図参－７(c)は、階段型地すべり面を示したものである。この型は、椅子型や舟底型すべり面の地すべりが発生した後、更に上部斜面が新たに不安定化し、そのすべり面が下部地すべりのすべり面と階段状に連続した場合にできる。このすべり面形状は、初生的な地すべりでは少なく、地すべり地形は階段状を呈する。

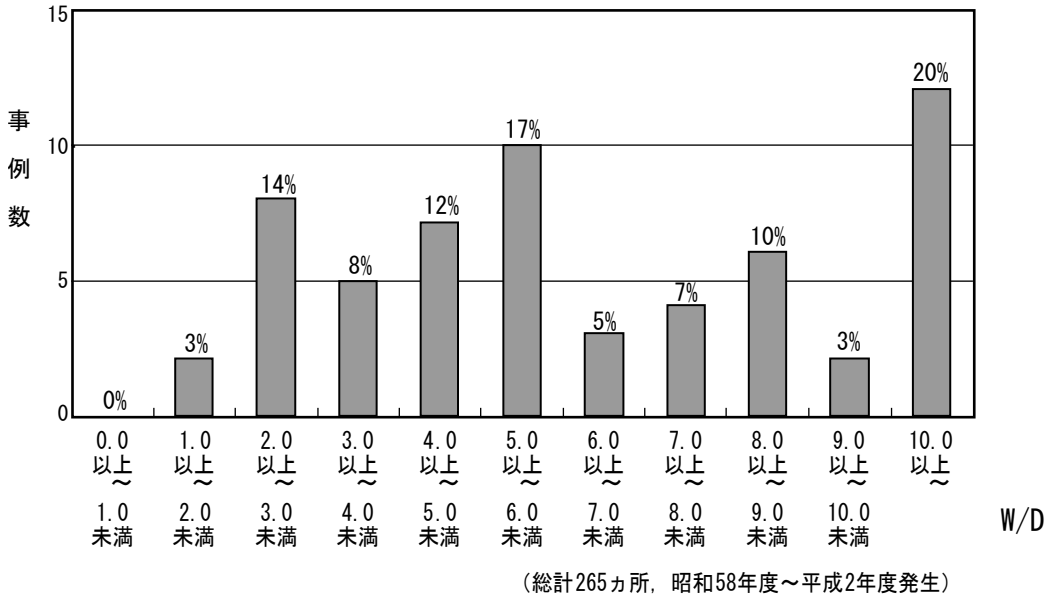
(4) 層状すべり面

図参－７(d)は、層状すべり面を示したものである。この型は、地すべりの上部斜面に下部地すべりのすべり面と連続する地層面に新たな地すべりが発生した場合にできる。地表面地形は、すべり面形状と異なり凹凸や落差に富んだものが多い。また、この型は、初生地すべりにはなく、再移動を繰り返した地すべりに多い。



図参－７　すべり面形状の模式図[6)]

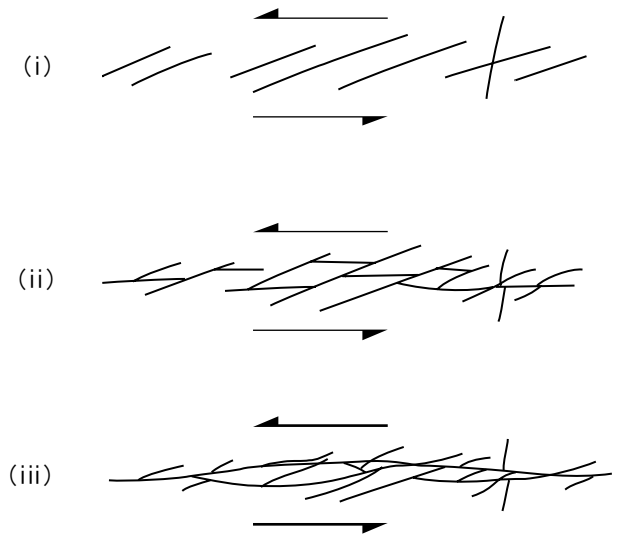
図参－８は、地すべり幅（W）とすべり面深度（D）との比であるW／Dの頻度分布を示したものである。W／Dは5.0～6.0が多くなっており、平均値は7程度である。



図参－８　地すべり幅とすべり面深度との関係[8)]

１．５　すべり面の構造

図参－９は、粘土を用いたせん断試験によってすべり面が発達していく過程を示したものである。すべり面は、段階（ｉ）から段階（ⅲ）へと段階的に発生し、せん断亀裂が徐々に連続して形成される。したがって、すべり面は、初生地すべりではせん断ゾーンとして存在し、移動量が増すことにより面として存在するようになることが推測される。



図参－９　すべり面の発達過程[9]の一部を修正

２　地すべり地の地下水

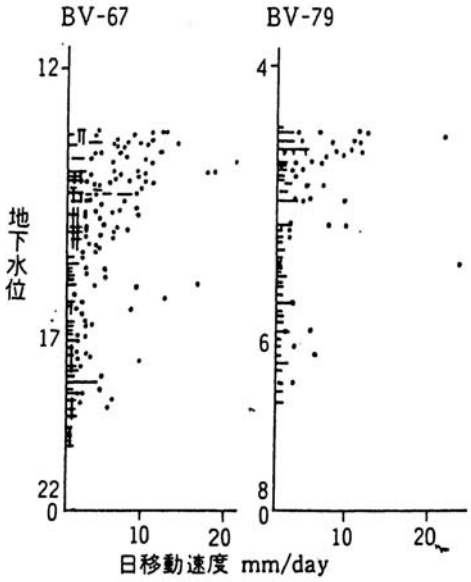
(1) 地すべり地の地下水分布と流路

地すべり地において、頭部で斜面の上方から地表水の流下が見られないにも関わらず、湿地や沼等が存在し、末端部では点的に湧水が認められる等の現象は、土塊の透水性及び地下水供給量の不均一に起因している。土塊の透水性が一様でないので、地下水の地すべり地内への流入経路を的確に把握することは困難な事が多い[10]が、地すべり土塊頭部及び側部には多量の地下水が涵養されやすい。

(2) 地下水と地すべり運動

豪雨や融雪時に地すべりが多発することは周知の事実であり、斜面の地下水位の上昇が地すべり発生の大きな原因となっている。

図参－１０は、滝坂地すべり（福島県）の日移動量と地下水位との相関図を示したものである。なお、滝坂地すべりは、新第三紀緑色凝灰岩地域に発生している大規模な地すべりである。日移動量は、地下水位が上昇すると大きくなる傾向がある。地下水位と地すべり移動量の相関図を作成することにより、集水井工等の地下水排除工により地すべり運動を防止するために低下させるべき地下水位低下量を検討することができる。



図参－１０　日移動量と地下水位との関係[7]

３　地すべりの分類

わが国における地すべりの分類は、早くから種々の立場で試みられている。
小出は、地質・分布の規則性により以下のように分類[11)]しており、広く用いられている。

(1) 第三紀層地すべり
(2) 破砕帯地すべり
(3) 温泉地すべり

また、渡は、地すべり土塊を構成している物質をもとに、以下のように分類[6)]している。

(1) 岩盤地すべり
(2) 風化岩地すべり
(3) 崩積土地すべり
(4) 粘質土地すべり

表参－１は、渡が作成した地すべりの形分類と地すべりの特徴を示した一覧表である。この表には、分類された地すべり別に地形、地質、運動、主要な対策工、原因等について示されており、対策工との結びつきを考えている点が大きな特徴である。

渡の分類を用いた場合、表参－１より運動速度、運動の継続性等の運動特性、主な原因、主要な対策工等を概略に推定することができる。

表参－１（１）　渡による地すべりの形分類[6]を一部修正

特徴＼分類	岩盤地すべり	風化岩地すべり	崩積土地すべり	粘質土地すべり
平面形	馬蹄形、角形	馬蹄形、角形	馬蹄形、角形、沢形、ボトルネック形	沢形、ボトルネック形
微地形	凸状尾根地形	凸状台地状地形	凹状多丘状台地形 凹状単丘状地形	凹状緩傾斜面地形
すべり面形	椅子型、舟型	椅子型、舟型	階段型、層状	階段型、層状
主な土塊の性質（頭部）	岩盤または弱風化岩	風化岩（亀裂が多い）	巨れきまたはれき混じり土砂	れき混じり土砂
〃（末端部）	風化岩	巨れき混じり土砂	れき混じり土砂、一部粘土化	粘土またはれき混じり粘土
運動速度	2cm/day以上	1.0～2.0cm/day程度	0.5～1.0cm/day	0.5cm/day以下
運動の継続性	短時間突発的	ある程度断続的（数10～数100年に1度）	断続的（5～20年に1回程度）	断続的（1～5年に1回程度）
すべり面の形状	平面すべり（椅子型）	平面すべり（頭部と末端がやや円弧状）	円弧と直線状、末端が流動化	頭部が円弧状だが大部分は流動状
ブロック化	大抵1ブロック	末端、側面に二次的地すべり発生	頭部がいくつかに分割され2～3ブロックになる。	全体が多くのブロックに分かれ、相互に関連し合って運動
予知の難易	非常に困難、綿密な踏査と精査を必要とする。	1/3,000～1/5,000地形図で予知できるし、空中写真の利用も可能	1/5,000～1/10,000地形図でも確認できる。地元での聞込みも有用。	地元での聞込みによって予知できるし、非常に容易に確認できる。
一般的な斜面形	一般に台地部があるが不明瞭である。凸形斜面に多く、鞍部から発生する。	明瞭な段落ち、帯状の陥没地と台地を有す。大きく見れば凹形だが、主要部は凸形	滑落崖を形成し、その下に沼、湿地等の凹地あり、頭部に幾つかの残丘あり、凹形斜面に多い。	頭部に不明瞭な台地を残し大部分は一様な緩斜面、沢状の斜面である。

表参－１（２）　渡による地すべりの分類[6]を一部修正

分類 特徴	岩盤地すべり	風化岩地すべり	崩積土地すべり	粘質土地すべり
斜面安定時の平均的な安全率とそれに対する人為作用との関係	大抵の場合 *F*s＞1.10、 一時的にある程度の切土、盛土も可能	*F*s=1.05～1.10、 一時的に5%程度の安全率を低下させることは可能	*F*s=1.03～1.05、 一時的には3%程度安全率を低下させても安定している。	切土、盛土は不可能、少量の土工でも運動を再発する。
主要な対策工	深層地下水排除工、排土工、抑止工	深層地下水排除工、排土工、地表水排除工、抑止工	頭部での深層地下水排除工、地表水排除工、河川構造物	頭部での集水井工、末端での浅層地下水、地表水排除工、河川構造物
対策工の効果	即効的で安定化可能	即効的であるが、異常天然現象時に再発の恐れがある。	対策工施工後1～3年を要す。末端部の安定化が困難。	遅効性で対策工施工後数年を要し、完全な安定化は困難
主な原因	大規模な土工、斜面の一部の水没、地震、豪雨	集中豪雨、異常な融雪や河岸決壊、地震、中規模の土工、その他	異常な霖雨、融雪、台風、集中豪雨、土工、等	霖雨、融雪、河川侵食、積雪、小規模な土工
主な地質と構造	断層、破砕帯の影響を受けるものが多い。	結晶片岩地帯、新第三紀層に広く分布する。断層、破砕帯の影響あり。	結晶片岩地帯、新第三紀層に広く分布	新第三紀層に最も多く、御荷鉾破砕帯等の構造線沿いにも一部見られる。

４　「RE・MO・TE^2（リモート2)」について

土木研究所と民間企業による共同研究において開発した、遠隔から斜面変位を計測する手法の概要について、RE・MO・TE^{2}の計測マニュアル[13]より抜粋して紹介する。

詳細については、マニュアルを参照されたい。

４．１　「RE・MO・TE^2（リモート2)」の概要および目的

４．１．１　「RE・MO・TE^2（リモート2)」の概要

「RE・MO・TE2（リモート２：Remote Monitoring Tedhnology2)」とは、地すべり地末端等の崩壊斜面に遠隔からクロスボウによりペイント弾を射出し、目標地点に命中付着させることで生成したターゲットをノンプリズム型トータルステーションにより視準することで斜面の変動を精度良く計測する技術である。

解説

遠隔から斜面を監視する手法の一つに、ノンプリズム型トータルステーションによる計測が挙げられる。通常、ノンプリズム型トータルステーションによる観測ではターゲットを使用しないため、同一点が視認できないことによる視準誤差が生じやすくなる。本計測手法の概要を図参－１１に示す。本計測手法は、遠隔からターゲットを設置し、そのターゲットを視準することで変位計測の精度を向上させるものである。

以下、本計測手法の特徴を示す。

① 再崩落の恐れがある斜面に対し、遠隔から測量用ターゲットを設置できる。計測にはノンプリズム型トータルステーションを用いる。ターゲット設置から計測までの一連の作業が斜面から離れた地点で安全に実施できる。

② ターゲットには、ガラスビーズを混入した再帰反射性塗料を使用しているため、レーザーの反射強度を測定することで、ターゲットの位置を特定することができ、夜間計測も可能となる。

③ ターゲットは、クロスボウの矢先にペイントカプセルとして取り付けられ、斜面に向かって発射、斜面に塗布される。

④ クロスボウの照準は、発射位置から設置目標までの斜距離と見通し角の計測を行い、仰角設定早見図から仰角を算定する。水平方向の照準は、クロスボウに取り付けられた示準器によって合わせる。仰角、水平角ともに、発射架台により制御を行う。

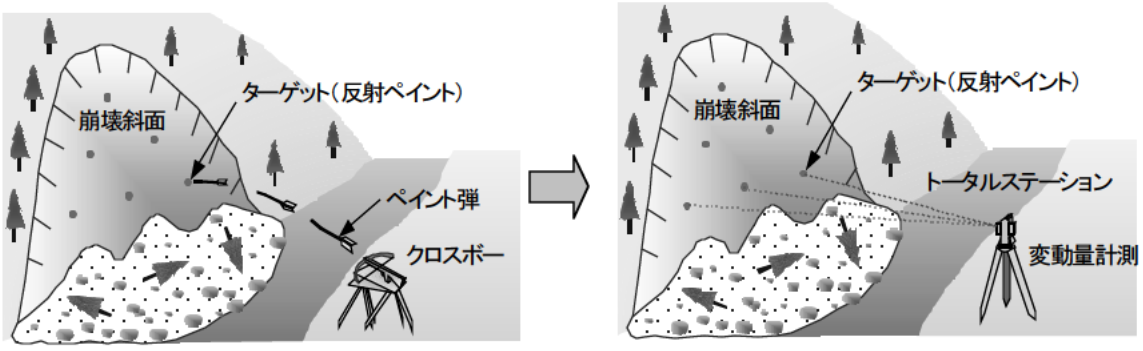
⑤ 実験では距離300mにおいて±50cmの命中精度が確認できた。

⑥ 斜面に生成されたターゲットを視準することで、ノンプリズム型トータルステーションによる計測精度を向上できる。

なお、本計測手法は、土木研究所と民間企業３社による共同研究において開発した手法であり、「地すべり地末端の崩落斜面における地盤変位計測方法」として特許出願中である。

＜共同研究者＞

- 独立行政法人土木研究所
- 株式会社興和
- 株式会社パスコ
- 株式会社レイディック



図参－１１　「RE・MO・TE^2」の概要[12)]

４．１．２　「RE・MO・TE^2」の目的

崩壊斜面における人命救助、崩落土砂の撤去、応急工事等の作業の安全確保に資するため、危険な斜面に立ち入ることなく、遠隔から速やかに地盤変位を監視することを目的とする。

解説

地すべり末端部の崩落土砂の一部は、背後の地すべり土塊の押えとなり、崩壊の拡大を抑制していることがある。しかしながら、人命救助、道路の通行確保、河道閉塞の解消等のため、応急処置として、一時的に崩落土砂を除去しなければならない場合がある。このような二次災害の恐れがある斜面では、調査観測のための立ち入りにも危険を伴うため、遠隔から変動量を計測する方法を採用する必要がある。

４．２　適用条件

４．２．１　対象斜面

クロスボウによりターゲットを設置する対象斜面は、地すべり地末端や背後に露出する岩盤等を対象とし、観測目的や観測期間に応じて計測地点を選定する。

ターゲット設置位置は、斜面変動の観測点となることから、変動が初期に現れると予想される地点や、変動した場合に危険が大きい地点を選定する。また、ペイントが付着しやすく、かつ流失しにくい岩盤等が望ましい。

解説

計測を行うためには、斜面にターゲットとなるペイントが付着することが条件となる。ペイントカプセルは、対象斜面に命中した際の衝撃で破裂し、ペイントが飛散する仕組みになっている。このため、斜面に矢が突き刺さったり、命中の衝撃で表層が崩れるような地点は不適であり、土砂をはじめ、固結度の低い岩盤や風化が進んだ岩盤等では、ペイントが付着しない可能性がある。また、長期間の観測が予想される場合、短期間で落下する可能性のある転石や、応急緊急工事で除去される斜面はターゲット設置地点として不適当である。

本計測手法は、測量器械とターゲット間の斜距離の変化により斜面の変動を把握するため、測量器械の配置点やターゲット設置地点は、斜面の変動方向を考慮した上で決定する必要がある。また、設置距離が 100m 以上になると、ターゲット設置後の位置確認が難しくなるため、できるだけ斜面を特定しやすい特徴的な地点にターゲットを設置することが望ましい。

４．２．２　計測地点

ターゲットの発射および計測作業の実施に際しては、二次災害が発生しないよう、作業者の安全を十分確保しなければならない。

解説

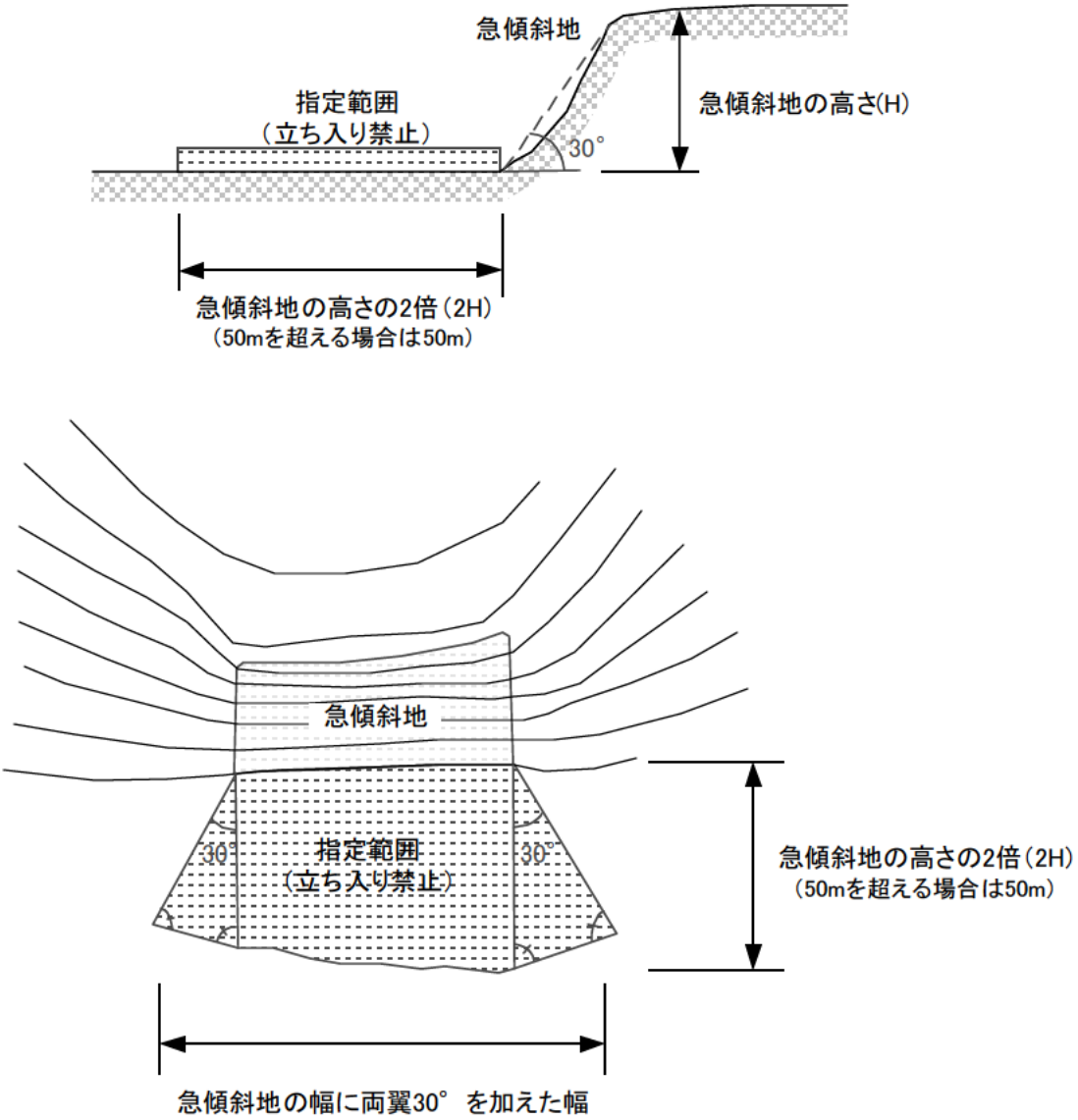
クロスボウの発射地点及び観測地点の選定にあたっては、原則として以下に指定する範囲を避ける。また、クロスボウの発射等やむを得ずこの範囲内に立ち入る場合は、避難路を確保しつつ、範囲外に置いた監視員と常に無線通話が可能な措置をとる必要がある。

なお、現地の地形状況により、明らかに土砂等が到達しないと認められる区域は除くものとする。

(1)　急傾斜地を対象とする場合（図参－１２参照）

崩壊の恐れのある急傾斜地（傾斜度が 30 度以上である土地の区域であって、高さが 5m 以上のもの）においては、斜面の長さ方向に急傾斜地の高さの 2 倍（50m を超える場合は

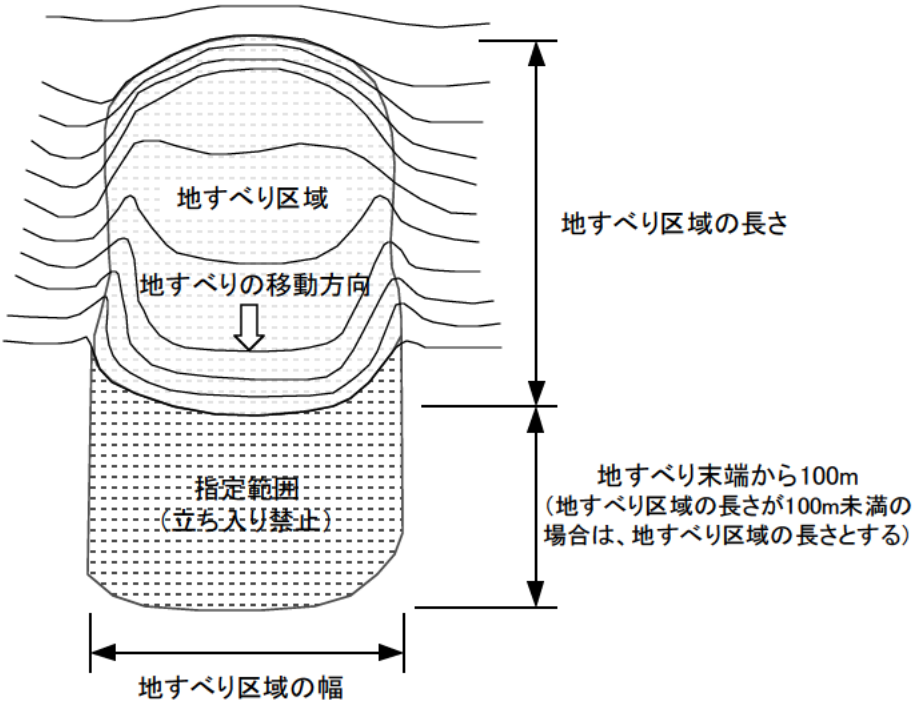
50m）以内、および斜面の幅方向に急傾斜地の下端両側からそれぞれ外側に 30 度の角度をもつ直線で囲まれた範囲。



図参－１２　急傾斜地における立ち入り禁止指定範囲

(2)　地すべりを対象とする場合（図参－１３参照）

地すべりの恐れのある斜面の移動方向で、地すべり区域末端から 100m 以内の範囲。



図参－１３　地すべり地における立ち入り禁止指定範囲

（範囲設定の根拠）

急傾斜地については、土砂災害警戒区域等における土砂災害防止対策の推進に関する法律（平成 12 年 5 月 8 日法律第 57 号）（以下、土砂災害防止法）、同施行令（平成 13 年 3 月 28 日政令第 84 号）第二条の土砂災害警戒区域の指定の基準に、崩壊土砂の横方向への広がり 30°を追加した。

一方、地すべりについては同基準が時速 4m で移動する地すべりを想定しているため、同基準をそのまま適用すると相当安全側になる。そこで、地すべりの移動を確認してからでも十分避難可能な距離として 100m と設定した。

（参考：土砂災害防止法施行令）

第二条　法第六条第一項 の政令で定める基準は、次の各号に掲げる土砂災害の発生原因となる自然現象の区分に応じ、当該各号に定める土地の区域であることとする。

一　急傾斜地の崩壊　次に掲げる土地の区域

イ　急傾斜地（傾斜度が三十度以上である土地の区域であって、高さが五メートル以上のものに限る。以下同じ。）

ロ　次に掲げる土地の区域のうちイの急傾斜地の上端と下端の右端の点を通る鉛直面と左端の点を通る鉛直面で挟まれる土地の区域

（1）　イの急傾斜地の上端に隣接する急傾斜地以外の土地の区域であって、当該上端からの水平距離が十メートル以内のもの

（2）　イの急傾斜地の下端に隣接する急傾斜地以外の土地の区域であって、当該下端からの水平距離が当該急傾斜地の高さに相当する距離の二倍（当該距離の二倍が五十メートルを超える場合にあっては、五十メートル）以内のもの（急傾斜地の崩壊が発生した場合において、地形の状況により明らかに土石等が到達しないと認められる土地の区域を除く。）

二　土石流　（省略）

三　地滑り　次に掲げる土地の区域

イ　地滑り区域（地滑りしている区域又は地滑りするおそれのある区域をいう。以下同じ。）

ロ　イの地滑り区域に隣接する一定の土地の区域であって、当該地滑り区域及び当該一定の土地の区域を投影した水平面上において、当該一定の土地の区域の投影が、当該地滑り区域の境界線の投影（以下この号において「境界線投影」という。）のうち当該境界線投影と地滑り方向（当該地滑り区域に係る地滑り地塊が滑る場合に当該水平面上において当該地滑り地塊の投影が移動する方向をいう。以下この号及び次条第三号ロにおいて同じ。）に平行な当該水平面上の二本の直線との接点を結ぶ部分で地滑り方向にあるもの（同号ロにおいて「特定境界線投影」という。）を、当該境界線投影に接する地滑り方向と直交する当該水平面上の二本の直線間の距離（当該距離が二百五十メートルを超える場合にあっては、二百五十メートル）だけ当該水平面上において地滑り方向に平行に移動したときにできる軌跡に一致する土地の区域（地滑りが発生した場合において、地形の状況により明らかに地滑り地塊の滑りに伴って生じた土石等が到達しないと認められる土地の区域を除く。）

４．３　使用装置の構成

使用装置は、発射装置およびペイントカプセル、照準・設置後確認のための機器および資料、計測器械（トータルステーション）からなる。

解説

(1)　発射装置およびペイントカプセル

構成は以下からなる。

① クロスボウ

② 矢

③ ペイントカプセル

④ 発射架台

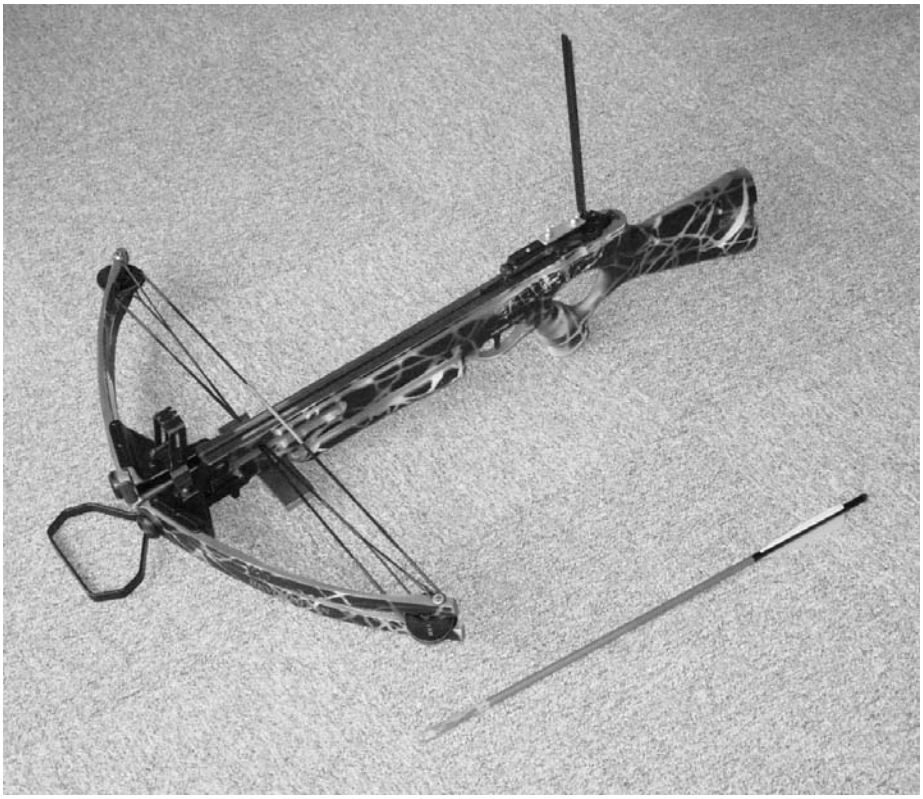
① クロスボウ

クロスボウは資格や許認可が不要であり、18 歳以上であれば誰でも扱うことができる。また、特殊な技能を必要とせず、初心者でも取り扱いが容易である。

本計測手法で用いるクロスボウの仕様を以下に示す。

品　名	：	クロスボウ
メーカー	：	バーネット社（BARNETT）
形　式	：	レボリューション（REVOLUTION）
弓の強さ	：	150 ポンド（667N、68ｋｇ）（カタログ値）
矢の初速	：	104　ｍ／ｓ　（カタログ値）
全　長	：	93.5　ｃｍ
全　幅	：	71.0　ｃｍ
重　量	：	3.45　ｋｇ

クロスボウの全体写真を写真参－１に示す。



写真参－１　クロスボウ全体写真

② 矢

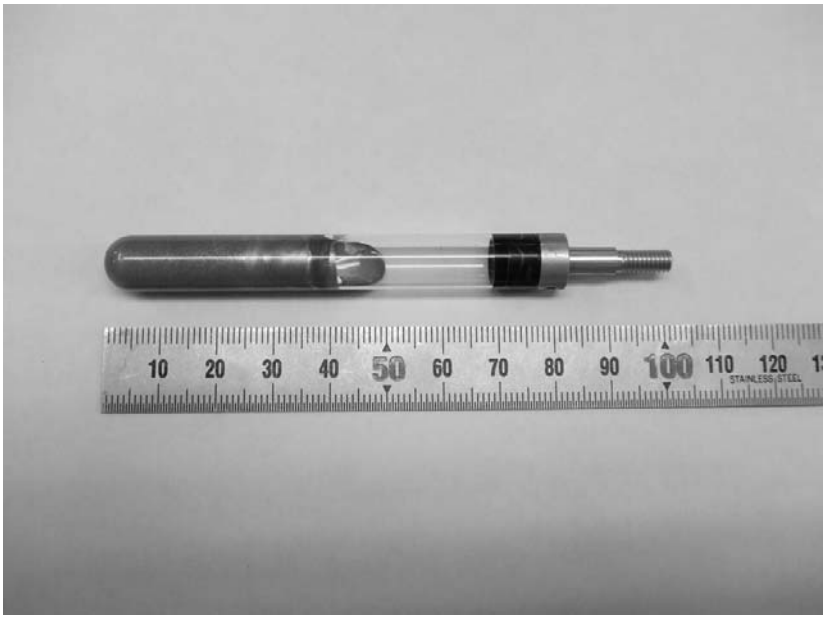
上記クロスボウに適合する、長さ 20 インチの矢を用いる。

本計測手法では、ホートン社製の AP050（アルミニウム製）を用いている。

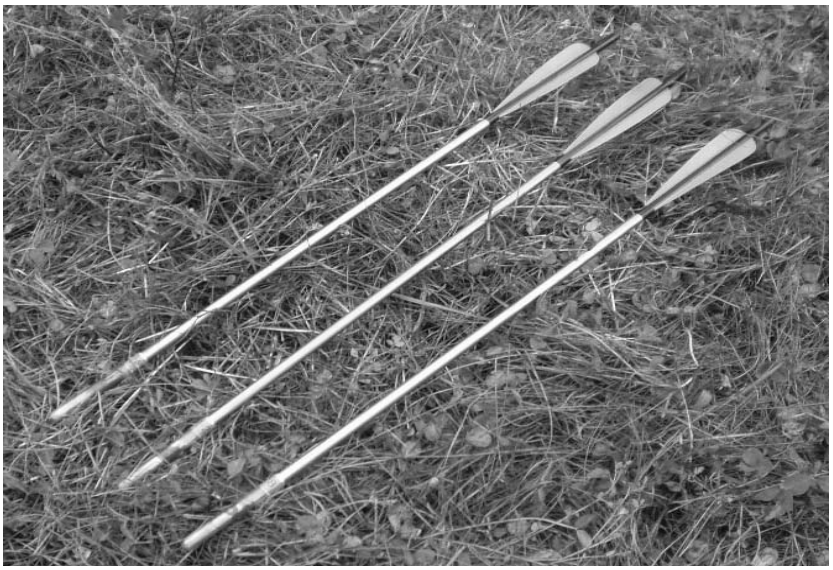
③ ペイントカプセル

ペイントカプセルは、ガラス製のカプセル内にペイントを封入したものであり（写真参－２）、ネジによって矢先に取り付ける（写真参－３）。カプセルは保管時にペイントが乾燥しないよう密閉構造としている。

ペイントは視認性の高いピンク色の再帰反射性塗料を用いており、標準で 2ml（最大 3ml）充填される。なお、再帰反射性とは、塗膜表面にあるガラスビーズの入射光に対し、反射光が平行に戻る特性のことをいう。



写真参－２　ペイント入りカプセル



写真参－３　矢先への取り付け状況

④　発射架台

発射架台は、クロスボウの姿勢を安定させるとともに、照準を合わせるため、クロスボウの仰角や水平角の調整・固定を行うための装置である。

発射架台は、バーネット社製レボリューション型クロスボウ専用の架台であり、その仕様を以下に示す。

・架台部分

架台材質	：	アルミニュウム（A5052P）
架台全長	：	75　ｃｍ
架台全幅	：	20　ｃｍ
架台高	：	40.5　ｃｍ
架台重量	：	26.84ｋｇ
鉛直調整角	：	45 度
水平調整角	：	30 度

・三脚部分

三脚形式	：	アルミ三脚（TS-165T）
三脚脚頭	：	平面、35㎜
三脚ヒンジ	：	クランプ式
三脚伸縮長	：	全伸寸法　1660㎜　、　全縮寸法　1000㎜
三脚重量	：	4.4　ｋｇ（1 台）
三脚台数	：	2 台（三脚重量 8.8ｋｇ）

・　クロスボウ

重　量	：	3.45　ｋｇ（本体）
総重量	：	架台 26.84ｋｇ＋三脚 8.8ｋｇ＋クロスボウ 3.45ｋｇ＝39.09ｋｇ

発射架台にクロスボウを取り付けた全体写真を写真参－４に示す。

写真参－４　発射架台の全体写真

⑤　搬送・運搬用資材

本計測は緊急時において使用されることを想定しているため、資材は速やかに現場まで搬入されなければならない。このため、空輸便（クロスボウに関する空輸制限はない）や宅配便が利用できる寸法・重量となるように専用の収納運搬容器を製作した。

収納運搬容器の仕様を表参－２に示す。

表参－２　収納運搬容器の仕様

収納物		クロスボウ	設置架台上部	設置架台下部	三　脚
収納容器材質		アルミニュウム（t=1.5）	アルミニュウム（t=1.5）	アルミニュウム（t=1.5）	アルミニュウム（t=1.5）
重量（kg）	収納容器重量	6.90	7.82	5.36	6.34
	収納物重量	3.24	14.68	12.16	4.40
	総重量	11.12	22.50	17.52	10.74
寸法（mm）	全長	883	823	723	1083
	全幅	503	523	303	273
	全高	124	201	208	213
	全長＋全幅＋全高	1510	1547	1234	1569
収納容器個数（個）		1	1	1	2

(2)　照準・設置後確認のための機器および資料

ターゲット発射地点から設置地点までの見通し角や斜距離の計測並びにターゲット設置後の位置確認を行うために、以下の機器および資料を用いる。

①　角度計

②　レーザー距離計

③　仰角設定早見図

④　双眼鏡

①　角度計

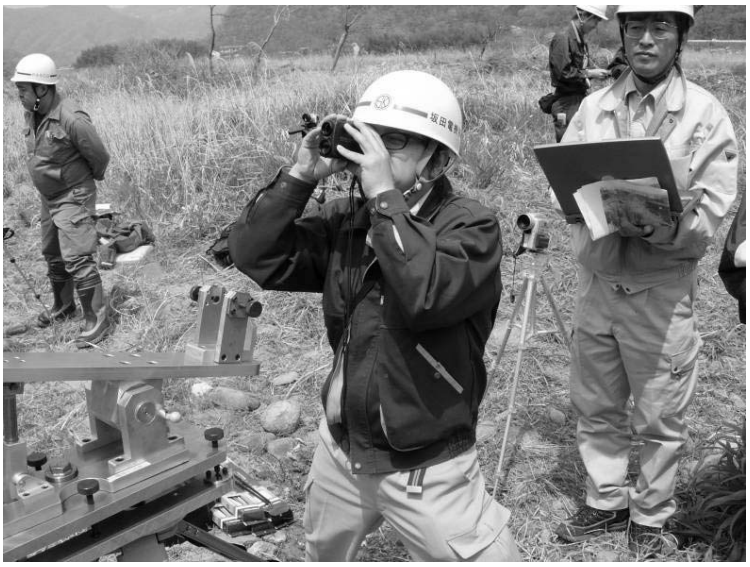
0.1 度の精度を有するデジタル傾斜計（写真参－５）を用いる。ターゲット発射地点において、設置地点までの見通し角を求める。デジタル傾斜計を筒に固定し、視野の狭くなった筒内から斜面を視認することで（写真参－６）、計測角度の誤差を低減させる仕組みとなっている。

写真参－５　デジタル傾斜計

写真参－６　角度計による計測状況

②　レーザー距離計

角度計と同様、ターゲット発射地点において計測を行う。レーザー距離計により、発射地点から設置地点までの斜距離をメートル単位で計測する（写真参－７）。



写真参－７　レーザー距離計による斜距離の計測

③　仰角設定早見図

①②で得られた見通し角および斜距離より、クロスボウの発射角度を決定する。早見図（写真参－８）は、矢の軌道計算および過去の実験を基にして作成したものである。

写真参－８　仰角設定早見図による仰角の算出

④　双眼鏡

発射前後の斜面の状況を確認するために用いる。肉眼では設置されたターゲットの確認を行うことが困難なため、双眼鏡を用いてターゲットの付着位置や付着状況の確認を行う。

(3)　計測器械

計測器械は、ノンプリズム型トータルステーションを用いる（写真参－９）。計測精度を確保するためには、長距離の計測が可能であること、機器固有の誤差が少ないこと、設置されたターゲットの位置を特定しやすいこと等が条件となる。このことから、計測は、以下の性能を有する器械を推奨する。

①　距離 500m 程度の計測が可能であること

②　レーザー距離精度が 3mm+2ppm（ノンプリズムモード）以上であること

③　反射光強度の表示があること

写真参－９　トータルステーションによる計測

４．４　事前準備

本計測手法が適用可能であるか、事前に現場に関する情報を収集するとともに、資材の準備並びに作業人員の確保を行い、速やかに作業に移行できる体制を整える必要がある。現場状況の確認は、原則として現地視察により行う。

解説

(1)　現場状況の確認

以下の現場情報について事前に確認する必要がある。

①　対象斜面の地質

対象斜面がターゲットとなるペイントが付着しやすい地質であるか否かを確認する。ターゲット設置地点は、地すべり活動や崩壊の前兆を捉えることのできる地点でなければならない。たとえペイントの付着しやすい岩盤であっても、斜面の変動を捉えることのできない地点は、計測箇所として不適当である。

②　ターゲット設置区間の見通し、仰角、斜距離

ターゲット発射位置は、対象斜面との間に視認性が確保されるとともに、矢の軌道を妨げる障害物が無いことが必須条件である。測量器械による計測地点の選定も含め現地確認を行う必要がある。

また、設置区間の見通し角および斜距離を算出し、仰角設定早見図にてターゲットの設置が可能か否か確認する。できるだけ現地で設置箇所を選定の上、角度計やレーザー距離計を用いた実測により確認することが望ましい。

(2)　図面および現場写真の入手

実作業段階では、速やかに作業を行う必要がある。このため、予め平面図や設置斜面の写真を入手し、事前にターゲットの設置位置や設置の順番を検討しておく。現場では、複数の作業員が作業を分担することになる。このため、ターゲットの設置位置や設置順番については、着手前に作業員に周知しておくと、現場での意思統一が図られ、作業がスムーズとなる。

(3)　資材の準備

速やかに現場作業に着手できるよう、資材の準備および作業人員の手配を行う。資材は不足がないように十分確認し、積み込みまたは発送を行う。矢およびペイントカプセルは、無駄矢の発生も考慮して多めに準備する。また、弦の予備も準備する。

なお、現場までの搬入にレンタカーを利用する場合には、ワンボックスカーやバンなど、荷台容積の大きな車種を選定する必要がある。

４．５　計測方法

計測作業は、二次災害を防ぐため、崩壊地等、危険な斜面内に立ち入らないことを前提に実施するものであり、計測用ターゲットは、クロスボウの発射により生成される。

測量器械を固定し、ターゲットまでの斜距離を計測することによって、斜面の変動を把握する。計測に使用する器械は、ノンプリズム型トータルステーションを用いる。

解説

計測フローチャートを図参－１４に示す。計測方法と留意事項を以下に示す。

①クロスボウによるターゲット設置

斜面の計測位置を決定し､ターゲットとなるペイント弾をクロスボウにより投擲し、斜面中に計測用ターゲットを設置する。設置に関する留意事項は次のとおりである。

- ターゲット発射位置は安全に作業が実施できる場所を選定する。また、早見図や早見表を用い、対象斜面へのターゲット設置が可能な距離・角度であることを事前に確認する。
- ターゲット設置位置は、斜面変動観測点となることから、変動が初期に現れると想定される地点や、変動した場合に影響が大きい地点を対象とすることを原則とする。
- ターゲット設置位置は、塗料が付着しやすくかつ流失しにくい岩盤が好ましい。
- 生成されるターゲット径は 5cm 程度であり､計測位置から 100m 以上遠方になると視認が難しくなることから、できるだけ特定しやすい特徴的な地点に設置することが望ましい。
- ターゲット設置面は、器械計測点から正対する位置が望ましい。
- ターゲットの数量は崩落規模により異なるが、面的観測を目的とするため、5 ヶ所以上設置する。
- 設置作業を速やかに行うため、ターゲットの設置位置や設置順番は事前に検討しておき、着手前に作業員に周知する。また、現場では風等の影響により、照準通りに矢が的中しないことがある。このため、極力無駄矢を生じないよう、ターゲットの設置順番は設置が簡単な地点（例えば手前側）から行い、軌道計算とのズレを早期に把握する。

②ターゲット設置確認

ターゲットが確実に設置されているか確認する。留意点は次のとおりである。

- ターゲットが連続して数日間計測可能な位置であるかどうか確認する。設置地点が岩盤中の浮石にあたり地すべり変動に関係なく落下する可能性がある場合や、

緊急対策により撤去される不安定岩塊等である場合などは、ターゲットとして不適である。

- 設置されたターゲットが、できる限り１器械点から計測可能な位置であることを確認する。
- 器械点とターゲット間の斜距離の変化により斜面の変動を把握することを原則とするため、想定される変動方向を考慮して、斜面変動を的確に把握できる地点に設置されているかを確認する。
- ターゲットが設置された岩盤面が器械点からみて著しく傾いている場合、斜面変動を的確に把握できない可能性があることから、器械計測点からみて正対しているかどうか確認する。
- 適切なターゲットが不足する場合はさらにターゲットを設置する。

③計測位置選点・設置

器械設置点を選定し、器械を設置する。留意点は次のとおりである。

- 器械設置点は、計測ターゲット全点を見通すことが可能な地点とする。
- 計測距離は精度上、250m 程度までを目安とする。
- 計測ターゲットと器械間の斜距離の変化が、斜面変動を直接的に表す地点に器械を配置することが理想である。
- 上記事項に配慮すると､器械点は斜面に正対した位置になるのが一般的であるが、計測期間中の作業安全性が保証される位置・距離の確保が必要である。
- 器械設置点は再現性を保つため、ポイント（鋲）を設置するか、あるいは杭を堅固に打設する。
- 計測する際、三脚の位置が極力動かないよう脚杭を打設する。
- 三脚は計測用三脚を使用し、確実に固定するとともに日照等による影響が小さくなるように工夫する。

④反射光強度表示の有無の確認

使用するノンプリズム型トータルステーションが、レーザ（プリズム）距離計測の際、反射光強度が表示される器械であるかどうかを確認する。

反射光強度の表示が有る　→　⑤へ進む

反射光強度の表示が無い　→　⑥へ進む

⑤ターゲットポイント確認（反射光強度最大箇所設定）

計測位置に器械を設置し、計測ターゲットにおける測定ポイントをトータルステーションにより確認する。測定ポイントとしては、反射光強度が最大となる箇所に設定する。測定ポイントの選出手順は次のとおりである。

・ スコープにより計測ターゲットの中心点付近を捉え、反射強度を計測する。
・ 測点ポイントを水平・垂直方向にずらしながら、最大反射強度で計測できるポイントの位置を選出する。
・ 反射光強度が最大のポイントを計測ポイントの初期値として設定する。
・ 同等の反射光強度のポイントが複数ある場合は、目印を設定しやすい方を選定する。

⑥ターゲットポイント確認（目視により設定）

計測位置に器械を設置し、計測ターゲットにおける測定ポイントをトータルステーションにより確認する。測定ポイントとしては、特徴的な箇所に設定する。測定ポイントの選出手順は次のとおりである。

・ スコープにより計測ターゲットの中心点付近を捉える。
・ 塗料が確認できたら、ノンプリズムモードで複数回計測し、安定した数値が計測されるか確認する。
・ 測定ポイント周辺についても水平・垂直方向にずらして計測し、選定ポイントがモニタリング用として最適であるか確認する。

⑦基準方向の設定（水平角･鉛直角･斜距離）

・ 連続計測中に器械が移動した場合の再現性を確保するため、初期値として設定した計測ポイントの基準方向となる基準点（バック点）と目標物を設定する。
・ 基準点（バック点）と目標物を基準に、各計測ポイントの水平角・鉛直角・斜距離を計測する。

⑧ターゲットポイント計測（連続観測）

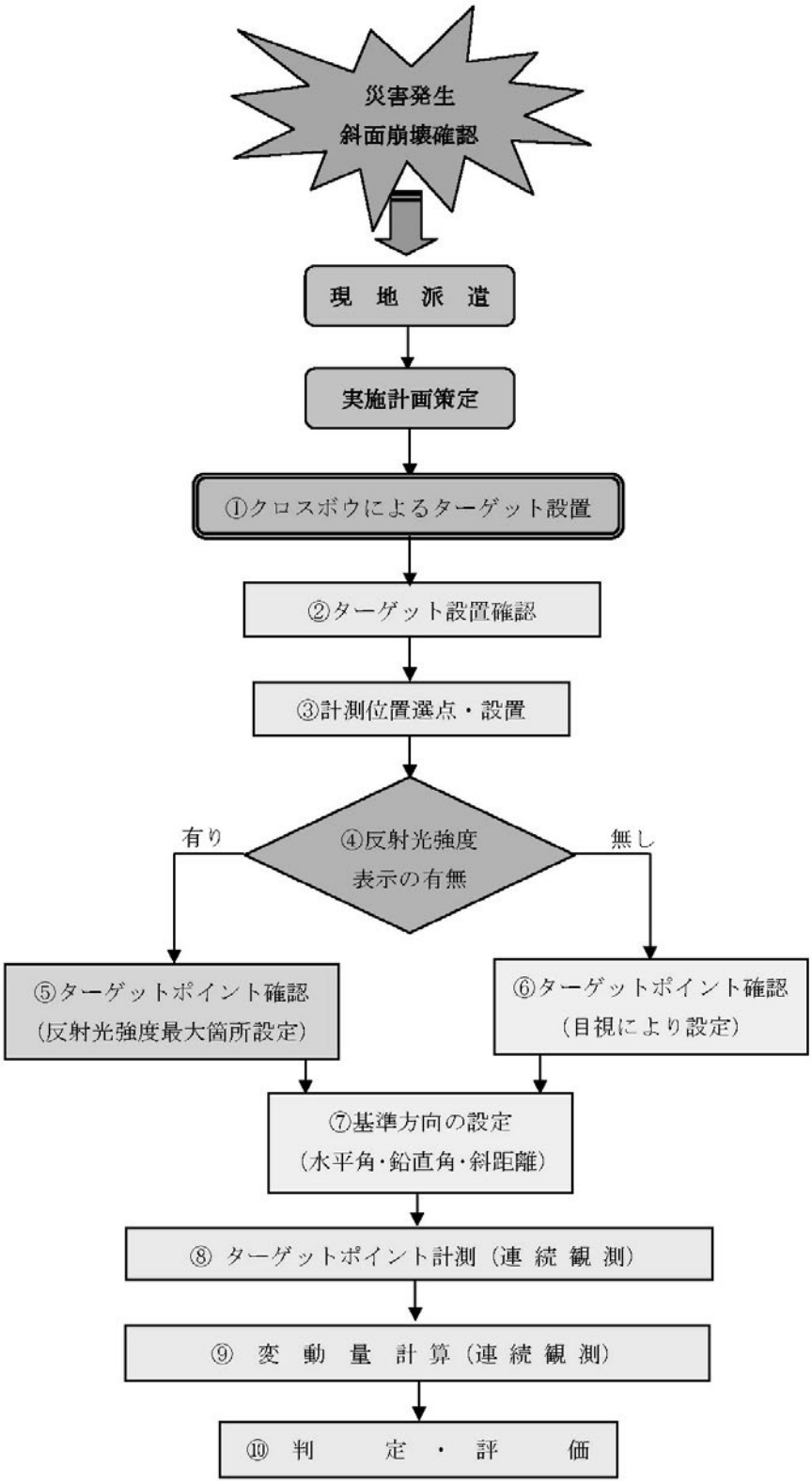
・ 初期値として設定した計測ポイントの斜距離を計測する。
・ 計測は、時系列の観測データが重要となるため、観測日時を記録する。
・ 計測の際は、距離観測に必要な気象要素（天候・風向・風力・気温・気圧）を観測し、距離補正を行う。必要に応じ観測者・手簿者等を記録する。
・ 計測時間（計測間隔）は、関係機関と協議のうえ決定する。

⑨変動量計算（連続観測）

・ 計測記録を基に、変動量を計算する。
・ 計算結果は、変動状況が判断し易いようにグラフ化する。

⑩判定・評価

・ 変動量計算結果を基に、関係機関が協議し判定・評価する。



図参－１４　「RE・MO・TE2」計測フロー

参考文献

1) 国土地理院：日本国勢地図，1990.

2) 藤原明敏：地すべりの解析と防止対策，理工図書，pp.17，1979.

3) （財）砂防・地すべり技術センター：土砂災害の実態， pp.9～14，2002.

4) 石井靖雄、野村康裕、藤澤和範、西本晴男、鈴木常正：平成16年（2004年）新潟県中越地震により発生した地すべりの特徴,第44回日本地すべり学会研究発表会,pp.15～18,2005.

5) （財）国土開発技術センター：貯水池周辺の地すべり調査と対策，山海堂，pp.73，1995.

6) 渡正亮,酒井淳行:地すべり地の概査と調査の考え方,土木研究所資料第1003号,70p,1975.

7) 渡正亮、小橋澄治：地すべり・斜面崩壊の予知と対策，山海堂，260p，1987.

8) 吉松弘行：地すべりの発生機構とその形成機構，基礎工，Vol.21，No.3，pp.2～10， 1993.

9) Skempton, A. W. : The strength along Structural Discontinuities in Stiff Clays, Proc. Geotechnical Conf., Oslo, Vol.2, pp.29～46, 1967.

10) 藤田壽雄：Ⅰ.研修ガイダンスのための地すべり概論,地すべり防止技術研修テキスト　上巻，pp.46，2000.

11) 小出博：日本の地すべりーその予知と対策ー、東洋経済新聞社、259p，1955.

12) 樋口佳意、藤澤和範、藤平大、小原嬢子：地すべり地末端の崩壊斜面における地盤変位の遠隔計測支援技術の開発，土木技術資料，Vol.49,No.3.pp.58～63，2007

13) 独立行政法人土木研究所：地すべり地末端の崩壊斜面における地盤変位の計測手法マニュアル，土木研究所資料，2007