

公益社団法人 国土緑化推進機構

「緑と水の森林ファンド事業助成」

地すべり対策技術の現状と今後のあり方に関する調査研究

(平成 25 年版 治山技術基準 解説 地すべり防止編 手引き)

平成 27 年度報告書

【手引き】

平成 28 年 6 月

公益社団法人 森林保全・管理技術研究所

はじめに

1 手引きの目的

近年、我が国の公共事業等における設計手法は、世界貿易機構（WTO）の協定の遵守、コスト縮減の推進等の観点から、性能規定による設計に対応した基準類の検討・整備が進められている。特に港湾施設などを中心に性能規定を本格的に取り入れた技術基準書の改訂が進んでいる。

そのような中で、治山分野においては治山技術基準の総則・山地治山編が平成 21 年に、林道技術基準が平成 23 年に、地すべり防止編が平成 25 年にそれぞれ改訂され、性能規定化への路線に沿った技術基準の見直しの初期段階がほぼ完了した。

そのような性能規定型の基準書改訂が進む中、都道府県等の実務担当者からは実務や会計検査等に対応するための技術的な説明が削除され技術基準書として十分機能していないとの指摘もあることから「平成 25 年版 治山技術基準 解説 地すべり防止編 手引き」を策定したところである。

この手引きは、森林保全・管理技術研究会おける「地すべり対策技術の現状と今後のあり方に関する調査研究」委員会（委員長 土屋 智）が治山技術者の参考となるよう取りまとめたものである。

2 対象者

- ① 地すべり対策に関する調査・設計・測量を行うコンサルタント等の初級職員
- ② 森林管理局署、都道府県職員、市町村職員で、地すべり対策事業に携わる初級職員
- ③ その他治山技術基準に基づいて地すべり対策に関する調査・設計・測量を行う者

目 次

第1章 事業の定義及び目的	1
第1節 総説	1
第2章 地すべり調査解析	5
第1節 総説	5
第2節 予備調査	8
第3節 現地踏査	10
第4節 地形測量	14
第5節 土質・地質調査	16
第6節 地下水調査	42
第7節 地表移動量調査	53
第8節 地中変動量調査	58
第9節 気象調査	63
第10節 機構解析	67
第3章 地すべり防止工事計画	86
第1節 計画の基本理念	86
第2節 計画規模	86
第3節 計画の基本理念	87
第4節 地すべり防止工の種類	89
第4章 地すべり防止工の設計	92
第1節 総則	92
第2節 測量	93
第3節 抑制工の設計	97
第4節 抑止工	143
第5章 地すべり防止効果の検証	175
第1節 総説	175
第2節 調査の種類	175
第3節 施工効果の検証	177

第1章 事業の定義及び目的

第1節 総説

〔解説〕 p3

1 地すべり防止事業

地すべり防止事業は、地すべりに起因する被害の防止又は軽減を図るものであり、個々の地すべりブロックの抑制又は抑止対策のみならず、関連する複数の地すべりや被害が想定される区域での対策、周辺環境への配慮、ソフト対策等を含めて実施するものである。また、地すべり等防止法に基づいて行う地すべり防止工事に関する事業については、本編を適用するとともに、森林法に基づく保安施設事業に係るものについても、地すべりのいくつかの性質を備えた現象に該当する場合にあっては、本編を準用する。

2 地すべり防止事業の進め方

地すべり防止事業の実施に当たっては、事業効果を勘案しながら、地すべりの特性、規模及び保全対象の重要度に応じて地すべり防止工等を施工し、地すべりによる被害の防止又は軽減を図る必要がある。また、地すべり機構や防止工の効果等については未解明な部分もあり、当初の計画のまま事業を進めても目標が達せられない場合がある。したがって、事業の各段階においては、新しい知見を取り入れながら計画を見直すとともに、工事後の対策効果の検証等 についても十分考慮することが望ましい。

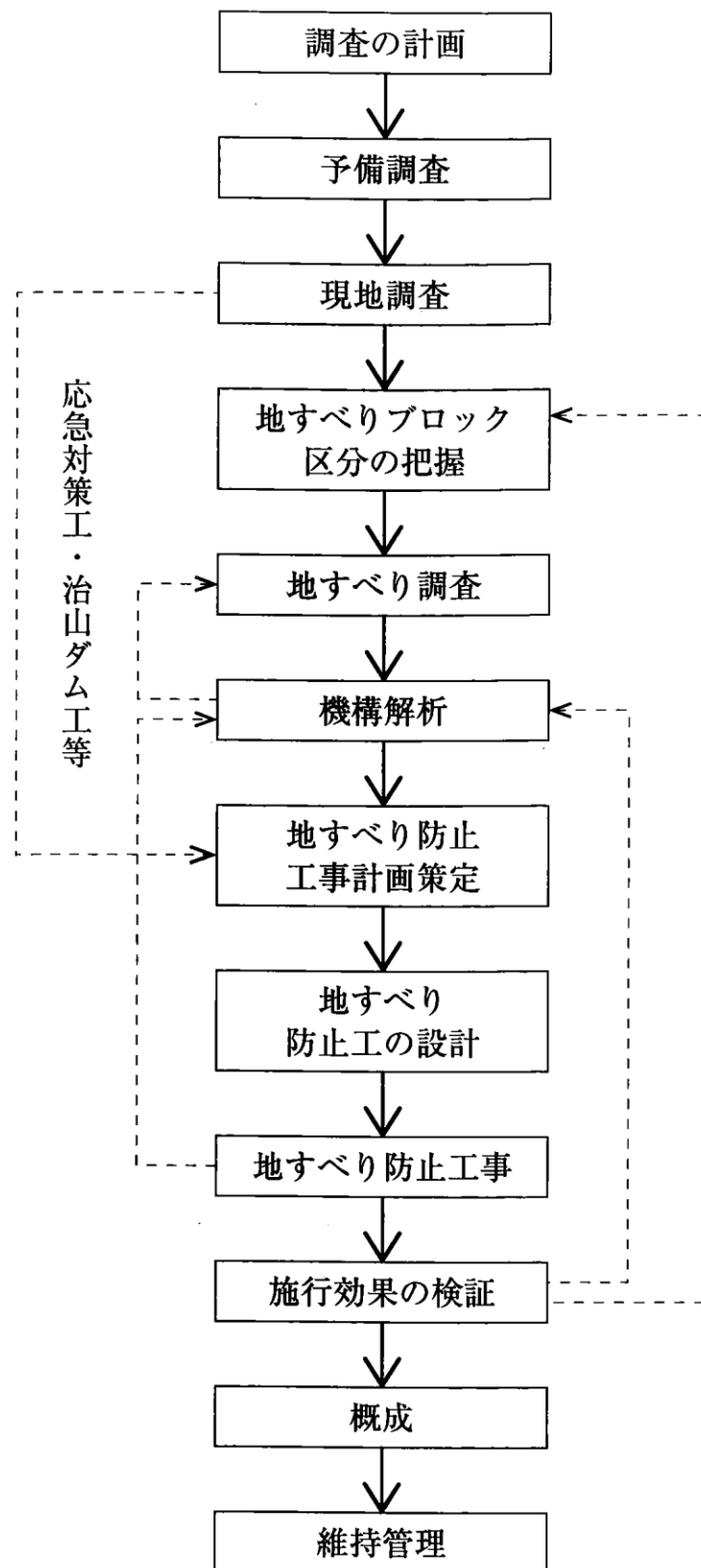


図 1-1 地すべり防止事業のフロー

〔参考〕 p5

1 地すべりの定義

治山技術基準における地すべりとは、地すべり等防止法(昭和 33 年法律第 30 号)に定める「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。」である。

2 地すべりの分類

地すべりの分類には、一般に地質によるものと、運動形態によるものがある。

(1) 地質による分類 (小出博、日本の地すべり、1955)

地質による分類は種々あるが、その代表的なものは次のとおり。

① 第三紀層地すべり

第三紀層は、一般に固結度が低く、水を含みやすい。中でも泥岩、頁岩等の多くは、含水率が高く、新たに水を含めば軟弱になり、乾燥・湿潤の繰り返しにより、速やかに粘土化するといった岩質的特徴を示す。東北、北陸、山陰、北九州 等の日本海側の丘陵山地に分布する地すべりの大部分は、第三紀層地すべりである。

② 破碎帯地すべり

破碎帯地すべりは、地殻の運動で岩石がひずみを受け、ブロック化、粘土化しやすくなっている地帯に起こる地すべりで、火成岩、古生層及び中生層に起こるものであり、糸魚川—静岡構造及び中央構造線沿いに分布する地すべりが破碎帯 地すべりである。

③ 温泉地すべり

温泉地すべりは、温泉作用や硫化作用等、後火山作用といわれる地質現象により岩石が特殊な変質を受け、いわゆる温泉余土になったところに起こる地すべりで、鳴子、箱根、別府等の温泉地帯に発生している地すべりが温泉地すべりである。

(2) 運動形態による分類 運動形態は、表 1-1 のように分類することができる。

表 1-1 運動形態による分類

対策を考える上で具体的に 必要な調査項目	地すべりのタイプ
①移動速度又はすべり層の有無	崩壊性、地すべり性
②移動土塊の攪乱の度合	崩壊型、地塊型
③移動の規則性	継続的、間歇的
④移動の顕在性	活動性、休眠性、潜在性
⑤移動速度及びせん断形式	飴動型ないし粘稠型、流動型
⑥すべり面形状	板状型ないし層すべり型、 円弧すべり型、複合すべり型
⑦力の釣り合い条件	主働的、受働的、退行性、進行性
⑧基岩の走向傾斜との対比	走向型、斜向型、流れ盤型、受け盤型
⑨発生の主副	一次、二次
⑩発達形式	幼年形、青年形、壮年形、老年形
⑪水文地質条件	自由地下水型、被圧地下水型
⑫材料物質の種類	岩石すべり、土砂すべり、混合すべり

〔解説〕の補足説明

1 地すべりと崩壊の違いについて

『本編でいう「地すべり防止事業」は、表 1-2 に示された「地すべり」に起因する被害の防止又は軽減を図るものである。』

地すべりと崩壊の違いを補足表 1-1 に示す。

補足表 1-1 「地すべり」と「崩壊」の違い

項 目	地 す べ り	崩 壊
地 質	特定の地質又は地質構造の所に多く発生する。	地質との関係は少ない。
土 質	主として粘性土をすべり面として滑動する。	砂質土（マサ、ヨナ、シラスなど）の中でも多く起こる。
地 形	5°～20°の緩傾斜地に発生し、とくに上部に台地状の地形をもつ場合が多い。 地すべり地形顕著	20°以上の急傾斜地の0次谷、谷頭部に多く発生する。
活 動 状 況	継続性、再発性、時間依存性大	突発性があり、時間依存性小
移 動 速 度	0.01mm/day～10mm/dayのものが多く、一般に速度は小さい。	10mm/day以上で、速度は極めて大きい。
土 塊	土塊の乱れは少なく、原形を保ちつつ動く場合が多い。	土塊はかく乱される。
誘 因	地下水による影響が大きい。	降雨、とくに降雨強度に影響される。
規 模	1～100haで規模が大きい。	面積的規模が小さい。
徴 候	発生前に亀裂の発生、陥没、隆起、地下水の変動などが生ずる。	発生前の徴候が少なく、突発的に滑落してしまう。

（渡ら1971の表を駒村が改変1992）

また、地すべりは地すべりの滑動が開始し、地すべりブロックの範囲が決まってから対策を行う事後対策であるのに対して、崩壊は崩壊の発生前に対策を行う事前対策が基本となる。このように対策の考え方が地すべりと崩壊では異なっている。

2 技術基準の適用範囲

地震地すべりについても本技術基準を適用される。

3 訂正

- （1）〔解説〕の図 1-1 の“施行効果の検証”は“施工効果の検証”の誤りである。
- （2）〔参考〕の“糸魚川—静岡構造”は“糸魚川—静岡構造線”の誤りである。

第2章 地すべり調査解析

第1節 総説

〔解説〕 p7

1 地すべり調査

地すべり防止事業を合理的かつ効率的に行うためには、地すべりの実態を把握するだけでなく、周辺地域の立地特性等を踏まえて地すべり防止計画を策定する。そのため、事前に予備調査や現地踏査を行い、調査目的を明確にした上で現地に見合った詳細な調査種を選定する。調査で得られた結果については、機構解明等に十分な情報であるか検証し、不足する情報があれば再調査等を実施する。

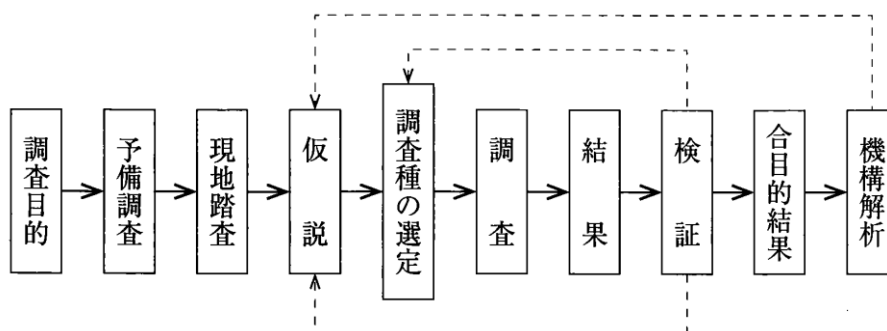


図2-1 調査の進め方

また、事業の中では工種・工法の計画や地すべり防止工の効果を検証する目的で調査が実施される。

2 機構解析

機構解析は、地すべり調査結果等を総合し、地すべりの範囲や形状を特定するとともに、地すべり要因を明らかにして、発生機構や移動特性を解明するものである。

機構解析で実施される安定計算では、地質特性やすべり面形状、地下水賦存状態等を明確にし、地すべりの発生過程と整合が図られるようにする。

〔解説〕の補足説明

1 地すべり調査の流れ

地すべり調査の流れを補足図2-1に示した。

地すべり調査は、地すべり地及び周辺地域の実態把握を目的とした実態調査と、地すべりの移動機構の把握を目的とした機構調査があり、「地すべり防止工をどのような位置に、どのような工法で、どの程度の規模で行い、それから期待される効果はどのようなものか。」を判明させることを目的としている。

実態調査は、予備調査（第2節）、現地踏査（第3節）、地形調査（第4節）、地表移動量調査（第7節）に分かれる。

予備調査は、既存の資料・文献等により調査地の自然環境、地すべりが及ぼす社会的影響、地域を網羅する法的規制、防災等に関する既存の施設等を概括的、総体的に把握するめに実施するものである。予備調査は、地すべり調査の最初に取り掛かる調査であるため、その成否がその後の調査等に

及ぼす影響が大きい。そのため、資料・文献等の収集に当たっては、精度の高いものを選定することに留意しなければならない。予備調査では、調査地とその周辺の空中写真を入手し、判読により地すべり地分布図や地形分類図等を作成しておくとは不可欠である。

現地踏査では、予備調査でまとめた資料を参考に、地すべり地現地において地すべりによる地表変状、地質、地下水等の状況を把握する。その後、地すべり地の地形測量を実施し、平面図に滑落崖、地変状等を記載する。地表移動量調査により、地すべりの移動の範囲、状況を把握する。

この実態調査により、地すべりブロック区分の把握を行い、これに基づき機構調査を行う。

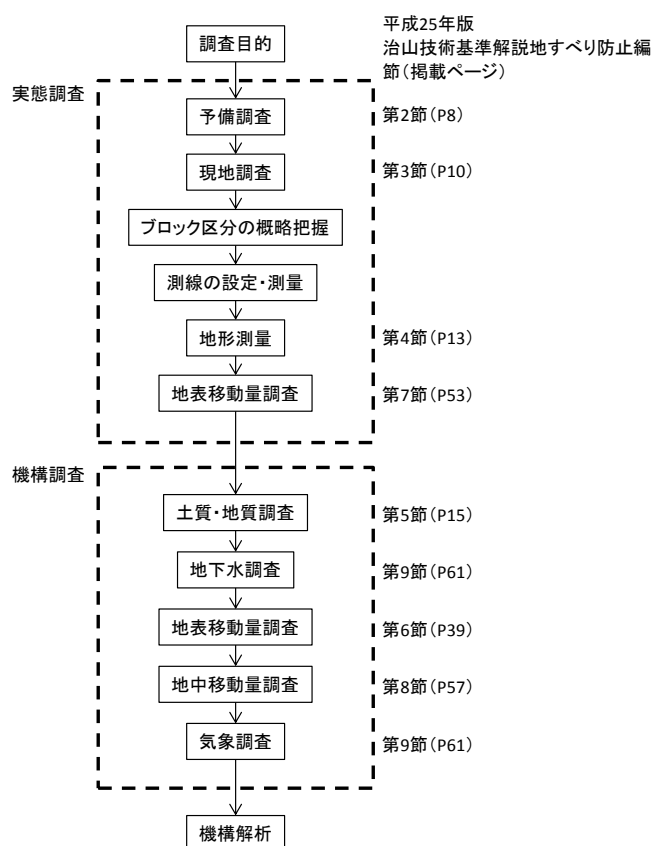
機構調査は、土質・地質調査（第5節）、地下水調査（第6節）、地表移動量調査（第7節）、地中変動量調査（第8節）、気象調査（第9節）に分かれる。

地下水調査や地中変動量調査は、土質・地質調査で実施されるボーリング孔を用いるが、地表移動量調査や気象調査はその制限がないため、平行して実施することが可能である。

調査を計画するに当たっては、「予備調査」及び「現地踏査」が終了した段階で、地すべりの規模、移動範囲、移動時期、緊急性等に関して仮説を立てて、地すべり調査の種類を決める。地すべり調査の種類は、上記仮説を肯定又は否定することが可能で、十分な妥当性を有し、かつ効果の高いものとする。さらに、効率的な調査とするためには、地すべり調査の実施中であっても、必要に応じて調査計画の見直しを行うものとする。

各種地すべり調査の実施後、その結果に基づき検証、照合を行って、目的とした結果が実証されているか否かを確認し、確認し得ない場合は、フィードバックして再検討、再調査を行い、目的に合致する調査を行うものとする。

目的にあった調査を実施後、機構解析を行う。また、機構解析の結果を仮説にフィードバックし、必要に応じて仮説の見直し等を行う。



補足図2-1 地すべり調査の流れ

2 地すべりブロック区分の把握

地すべりブロックの区分の把握は、予備調査の段階から行い、その後の各段階の調査結果をフィードバックし、修正を行うものとする。

予備調査の段階では、既存資料地形図、空中写真、微地形表現図等により、地すべり範囲を事前に想定し、概略的に地すべりブロック区分の把握を行う。概略的に把握した地すべりの範囲に対し、現地踏査を行い、滑落崖・亀裂の連続性等から地すべりの影響範囲を確認し、地ブロックの区分の仮決定を行う。

3 測線の設定

地すべりブロック区分を把握した後、ブロックごとに測線を設ける。測線は、主測線と副測線に分けられる。

主測線：主測線は、各種詳細調査の測線網の基準線であり、安定解析の基準線になる場合もあるので、当該ブロックを代表する位置に設けることが必要である。主測線の設定は、地すべり機構の解明の成否あるいは精度に関り、結果として防止工事の経費等に大きく影響することがあるので、測線の位置、方向及び長さの決定に当たっては、十分に検討しなければならない。

主測線の位置は次のようにする。

- (1) 主測線の位置及び方向は、予備調査及び現地踏査で把握した移動範囲及び移動方向に基づき、原則として、地すべりブロックの中心部に移動方向に平行に設ける。また、測線は原則として直線とするが、斜面の上部と下部の動きの方向が大きく異なる場合は折れ線とすることができる。
- (2) 主測線の長さは、最上部の亀裂、最下部の盛り上がりまたはすべり面の末端等、安定解析に欠かせない地点を含めて十分に余裕を持った長さとする。
- (3) 主測線の基準点は、後日照査が可能なように原則として不動点に設けるものとする。

副測線：副測線は、地すべりブロックが大きいか、または複雑で主測線のみでは十分な調査成果が得られない場合に設けるものである。

副測線は、縦断副測線と横断副測線とする。

(1) 縦断副測線

縦断副測線は、一般的に主測線と平行に設けるものであり、その基準点等は主測線に準ずる。

なお、縦断副測線は、三次元安定解析等の測線として用いられる場合があるので、測線の位置、方向及び長さ決定に当たっては十分に検討しなければならない。

(2) 横断副測線

横断副測線は、主測線を補助するものとして、地すべりの形態が立体的に把握できる位置に主測線に直角方向になるように設ける。また、長さは地すべりの幅を把握に十分なものとする。

第2節 予備調査

2-1 総説

〔解説〕 p8

予備調査は、主として文献等による調査ではあるが、初期段階で行うことが多く、予備調査の成否がその後の調査等に影響を及ぼすため、資料・文献等の収集に当たっては、精度の高いものを選定するよう努める。

2-2 調査の種類

〔解説〕 p8

予備調査の標準的な種類は、次のとおりである。

- 1 地形地質調査：第2編山地治山事業第2章第2節地形調査 2-2「予備調査」、第3節土質・地質調査 3-2「予備調査」を準用する。
- 2 環境調査：第2編山地治山事業第2章第10節「環境調査」、第6節「気象調査」を準用する。3 社会特性調査：山地治山事業第2章第11節「社会特性調査」を準用する。

〔参考〕 p9

日本に分布する地すべりの多くは、再活動地すべりであることが多く、地形図から等高線の形態によりこうした地すべりの範囲を読みとることができる場合がある。また、空中写真を立体視して地形の判読や植生の被覆状況、地質構造等を判読することもできる。

〔解説〕の補足説明

1 空中写真

航空機から真下に向かって一部オーバーラップするように撮影された空中写真をペアで見ることによって立体視できる空中写真判読は、地すべり地形の全体を把握するに有効な方法である。

2 微地形表現図

また、最近では空中写真以外に航空レーザ測量から作成した微地形表現図を用いて地すべり地形を把握している。

公的機関によって計測された航空レーザ測量の結果は一部公表されている。地すべり調査に有効に活用できるように事前に調査しておくといよい。

3 環境調査

地すべりは、地形、地質、その他の自然条件によって各々特徴がある。環境調査は、主に既往の資料によってこれらの自然環境を調査するが、現地踏査やその後の各種調査の方向づけを決定する上で重要なものである。特に、地すべりは地形な特徴が明確な場合が多いことから、空中写真及び既存の地形図を重点的に活用することが望ましい。新しい地すべりは既存の空中写真等が利用できない場合

が多いので、このような場合には空中写真の撮影、レーザ測量を行うなど検討する必要がある。

また、植生調査においては、地すべり独特の植生があるので、既往の植生調査の報告書等を参考に
する必要がある。

なお、自然環境調査を行うに当たっては、次の資料等を活用するものとする。

- (1) 地形：地形図、空中写真、衛星写真、微地形表現図
- (2) 地質：地質図及び解説書
- (3) 水文：気象資料、水文調査の資料
- (4) 植生：林相図、土地利用図、森林調査簿及び植生調査の報告書等

4 社会的特性調査

社会的特性調査は、地すべり履歴等から地すべりが発生した場合の被害区域を想定し、当該地すべり地及び周辺地域が社会的にどのような位置付けにあるか、災害が発生した場合にどの程度の被害が引き起こされるか、現在や将来における影響の度合等を調査するものである。

保全対象については、地すべり地内及び地すべりによって発生する土石流等の地すべり防止区域指定範囲における到達区域における土地利用状況・田・畑等の耕作区分面積、戸数・人口・生産所得・公民館等の公共施設、道路・鉄道・橋梁・鉄塔等運輸通信施設・水利用状況等を調査して整理する。

5 訂正

【解説】の“社会特性調査：山地治山事業第2章第11節「社会特性調査」”は“第2編山地治山事業、第11節「社会的特性調査」”で統一する。

2-3 取りまとめ

【解説】 p9

予備調査を取りまとめるに当たっては、数値の羅列にとどめることなく、常に数値のもつ意味合いを洞察する姿勢を堅持しつつ、資料、文献等の分析に努める。また、各調査の種類毎にその後の調査等において必要となる事項は何であることを示し、地すべりの活動と関連づけて取りまとめる。

第3節 現地踏査

3-1 総説

〔解説〕 p10

現地踏査は、地すべりによる現地の概況を把握し、その結果を、保全対象や周辺環境等を踏まえた調査の計画や応急対策工の計画に活用する。現地においては、ブロック区分や相互の関係、移動方向等の機構解明につながる情報が得られるよう努める。

〔解説〕の補足説明

地形・地質調査の目的は、予備調査等の結果を基に地すべりの滑落崖、亀裂等の地形的特徴及び岩石、地層の種類、断層等の地質特性を観察し、地すべりの範囲、移動携帯及び移動方向等地すべりの実態を把握するとともに、地すべりブロックの把握を行うために実施するものである。

3-2 踏査

〔解説〕 p10

現地踏査は、地すべりによる現地の概況を把握し、その結果を、保全対象や周辺環境等を踏まえた調査の計画や応急対策工の計画に活用する。現地においては、ブロック区分や相互の関係、移動方向等の機構解明につながる情報が得られるよう努める。

〔参考〕 p11

1 地すべり地形の特徴

地すべりにより形成される地形は、以下に示すような特徴を有する。

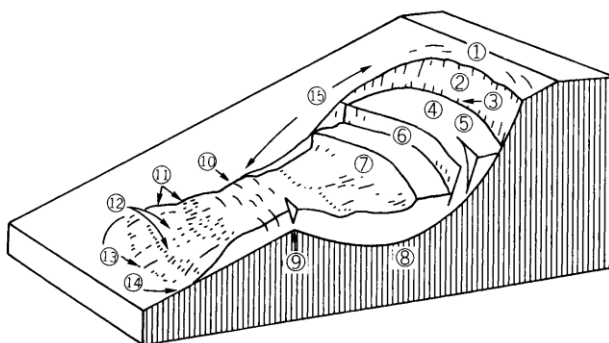


図2-2 地すべり各部の名称 (D.J.Varnes原図)

(出典) 地すべり工学 ―理論と実践― (嶺山海堂 H元.3)

①冠頭部 (Crown)、②一次滑落崖 (Main Scrap)、③頂点 (Top)：移動土塊が一次滑落崖と接するもっとも高い地点、④頭部 (Head)：一次滑落崖に接する上部土塊部分、⑤横断 (引張り) 亀裂 (Transverse Crack)、⑥二次滑落崖 (Minor Scrap)：これをはさんで上下小ブロックに区分される。⑦縦断断層帯 (Longitudinal Fault Zone)：これにより地すべりブロックがさらに左右いくつかの細ブロックに分割されることもある。⑧破壊面 (Surface of Rupture)、⑨脚部 (Foot)：破壊面ともとの地表面とが交わる線で、埋もれている場合もある。⑩：横断亀裂 (圧縮亀裂)、⑪横断鼻梁 (Transverse Ridge)：隆起部、⑫放射状亀裂、⑬舌尖 (Tip)：舌端部の先端、⑭舌端部 (Toe)、⑮右側壁 (Right Flank)

2 地すべり地の植生

地すべり地内にある立木は、次のような特徴が見られることがある。立枯れ、幹割れ、根元曲り、浮出、傾倒 (方向：山側、谷側、等高線沿い、斜向、背分け、放射状、不規則) また、地すべりの跡には沼や湿地が生じることがあり、そのため、沼や湿地特有の植生が侵入する。一般に沼、湿原、湿地等に多く出現する植物は表 2-1 のとおりである。

表 2-1 湿地帯の植物

植物の分類	性 質	種 類
水性植物	根が底土に付かないもの：浮遊植物	ウキグサ
	根が底土に付くもの 体の一部分が水面にあるもの：沈水植物 葉が水面に浮かぶもの：浮葉植物 体の大部分が空中にあるもの：抽水植物	クロモ、エビモ ヒシ、カガブタ ヨシ、ガマ
湿性植物	低湿地、常時水を湛えているところ：抽水植物 陸化に伴いヨシ⇒オギ⇒ススキの優占種へ移行	ガマ、マコモ、 ウキヤガラ、 フトイ
湿地に強い 木本類	ヤナギ類、ヤチダモ、ハルニレ、トチノキ、サワグルミ、シオジ、カツラ等	

3 簡易水質調査

現地調査においては、必要に応じて、携帯用測定器で水温、水位、水量、pH、RpH、溶存酸素及び電気伝導度等を測定することとする。

〔解説〕の補足説明

- 1 踏査の範囲は、少なくとも地すべり区域の 2～4 倍以上の範囲とする。地すべり区域の把握には、

航空レーザ測量から作成した微地形表現図等が有効である。

- 2 地すべりの移動方向は必ずしも斜面の最大傾斜方向とは限らない。特に、横断形状が不对称の場合は、亀裂等の状況を基に慎重に決める必要がる。

3 地形調査

地形調査では次の事項を詳細に調べる。

- (1) 災害跡地、滑落崖、二次堆積地の位置、範囲（長さ、幅、面積）
- (2) 陥没、隆起、地溝状地形、小崩壊地の位置、規模（長さ、幅、面積、高さ又は深さ等）
- (3) 亀裂、段差地形の分布、長さ、落差及び方向等

亀裂についてはさらに次の事項を留意して調査する。

位置：頭部・中腹部・側部・脚部

新旧規模：新旧・開口・隠ぺい・段差

平面形状：直線状・弓状（山側に向かって凸・谷側に向かって凸）

等高線に対して：横断・縦断・斜交

亀裂面傾斜：鉛直・傾斜

配列：雁行・平行・放射状・不規則

原因別：引張り・せん断・圧縮

- (4) 構造物の変形

4 地質調査

地形図、地質図及び空中写真を参考にして現地で地質露頭を探し次の事項を調査する。

- (1) 地質構造、地質時代、岩石の成因、産状、層序等のマクロ的調査
- (2) 表土、風化土層、粘土層の分布、層厚
- (3) 岩石、地層の種類及び分布
- (4) 地層及び節理の走向傾斜、褶曲の状態、風化の度合い及び挟在粘土の有無
- (5) 断層・破碎帯の幅、方向、傾斜、破碎の程度、リニアメントの成因
- (6) 火山地域、温泉地帯においては、変質や噴気孔

5 植生調査

植生調査は、地すべり地特有の植生の種類、分布及びその生態を調査し、地すべりの移動状況、湿地帯の分布等を把握するとともに、地すべりブロックの把握を行うための基礎資料とするものとする。

地すべり特有の植生について、次の事項を調査する。

- (1) 立木の調査

地すべり地内にある立木は、異常が認められることが多いので特に留意する。

- (2) 草本及び灌木の調査

地すべり地内には湿地帯があり、湿地帯特有の植生が分布している場合が多い。すなわち、地すべりの跡には沼や湿地が多く生じ、地すべり地に特有な植生として、沼には水性植物、沼が乾燥した跡には湿地植物、地すべりの不動期間が長くなれば湿性の木本が侵入する。

6 水文調査

水文調査は、地表水文及び地下水文諸量を地表からできる範囲で調査するものとする。

水文調査は、水文地質として取り扱われるものを中心として行い、地下水露頭（沼、沢、湿地、湧水、井戸、溪流水、伏流水、透水層・不透水層の分布、性状）等を調査する。

7 地すべりの「左右」について

地すべりの「左右」は、一般的に地すべりの頭部から末端に向かって右側を「右側」、左側を「左側」とする。

3－3 取りまとめ

【解説】 p12

現地踏査の成果は、地すべり現象に特有な地表における地形、地物を地形図に表示し、踏査地点の記録写真とともに整理する。

また、その後の各段階でも利用されるため、事業に必要な情報についても取りまとめる。

第4節 地形測量

4－1 総説

〔解説〕 p13

地形測量は、地すべり地形特有の不動地、滑落崖、亀裂、沼、凹地、隆起地帯、断層等の位置・方向、湧水点及び保全対象等を測量し地形図に示すものである。

これら地表に表れた現象は、地すべりの形態、範囲、移動方向等を知る上で最も重要なものである。測量範囲は、地すべりの影響範囲を含め、余裕を持って設定する。

4－2 地上測量

〔解説〕 p13

地上測量は、目的に応じた適切な測量方法と測量機器により、地すべり地及びその周辺の地形を測量する。

測量に当たっては、地すべり地外の不動地に基準点を設け、地すべりの移動後も旧位置が照査できるようにするとともに、諸調査の測線の基準となることも考慮する。

なお、測量方法は、第2編山地治山事業第5章第1節「測量」に準ずる。

4－3 航空レーザ計測

〔解説〕 p14

航空レーザ測量は、小型飛行機やヘリコプタ等に搭載されたレーザ光測距装置からパルスレーザ光を照射し、その反射光から地形形状を計測するものである。

機体の位置情報等とあわせて解析することで、三次元座標が求められる。

主として、地すべりが広範囲に及ぶときや現地の立ち入りが困難な場合に用いられ、地上測量に比べると効率的な作業が可能となる。

〔解説〕の補足説明

国土地理院では、航空レーザ測量による標高データ（5 mメッシュ）を無料でダウンロードできるサービスを提供している。地すべり調査に有効に活用できるように事前に調査しておくといよい。

最新の技術である UAV（=Unmanned Aerial Vehicle：無人航空機）を活用した事例がある。

UAV を用いた地すべり調査の有効性としては以下がある。

- ・地上からの現地調査に比べ面的に地形変状を確認することが可能
- ・地形変状確認に合わせて、広域に画像撮影、地形データ取得が可能
- ・航空レーザ測量に比べ低コストで実施可能

4－4 取りまとめ

〔解説〕 p14

平面図には、測量した地形的特徴及び保全対象の関係を記載する。

また、縮尺は、地すべりブロックの面積、保全対象の重要度・位置等を考慮して適切に 設定する。

なお、測量の成果に基づく平面図には、それまでに判明した調査の基本的事項及びその他重要事項を記載しておく。

第5節 土質・地質調査

5－1 総説

〔解説〕 p15

土質・地質は地すべりの素因として重要な要素をなすものである。一般に地すべり地の土質、地質は複雑でありかつ変化に富んでいる。したがって調査の目的、対象範囲、重要度等を勘案して、その要求される精度に応じて各種の方法を選択する。調査の主な種類は次のとおりである。

- 1 物理探査
- 2 ボーリング調査
- 3 物理検層
- 4 サウンディング調査
- 5 土質・岩石試験
- 6 試掘観察調査

〔解説〕の補足説明

1 測線の設定について

地すべりブロックごとに測線を設ける。測線は、主測線と副測線に分けられる。

主測線：主測線は、各種詳細調査の測線網の基準線であり、安定解析の基準線になる場合もあるので、当該ブロックを代表する位置に設けることが必要である。主測線の設定は、地すべり機構の解明の成否あるいは精度に関り、結果として防止工事の経費等に大きく影響することがあるので、測線の位置、方向及び長さの決定に当たっては、十分に検討しなければならない。

主測線の位置は次のようにする。

- (1) 主測線の位置及び方向は、予備調査及び現地踏査で把握した移動範囲及び移動方向に基づき、原則として、地すべりブロックの中心部に移動方向に平行に設ける。また、測線は原則として直線とするが、斜面の上部と下部の動きの方向が大きく異なる場合は折れ線とすることができる。
- (2) 主測線の長さは、最上部の亀裂、最下部の盛り上がりまたはすべり面の末端等、安定解析に欠かせない地点を含めて十分に余裕を持った長さとする。
- (3) 主測線の基準点は、後日照査が可能なように原則として不動点に設けるものとする。

副測線：副測線は、地すべりブロックが大きい、または複雑で主測線のみでは十分な調査成果が得られない場合に設けるものである。

副測線は、縦断副測線と横断副測線とする。

(1) 縦断副測線

縦断副測線は、一般的に主測線と平行に設けるものであり、その基準点等は主測線に準ずる。なお、縦断副測線は、三次元安定解析等の測線として用いられる場合があるので、測線の位置、方向及び長さ決定に当たっては十分に検討しなければならない。

(2) 横断副測線

横断副測線は、主測線を補助するものとして、地すべりの形態が立体的に把握できる位置に主

測線に直角方向になるように設ける。また、長さは地すべりの幅を把握に十分なものとする。

5－2 物理探査

5－2－1 総説

〔解説〕 p15

物理探査は、地下の岩石、地層の厚さ・分布・構造及び地下水の状態等、物理現象を仲介として地表から間接的に地盤の中の物理的性質と状態を調査するものである。

物理探査の主な種類は次のとおりであり、現地の状況に応じて選択する。

- 1 弾性波探査
- 2 電気探査

〔参考〕 p16

地すべり調査では、上記の2つの方法以外に以下の方法も用いられることがある。

1 地温探査

地盤の相対的な温度差を利用して、地下水流動層の分布を把握ものであり、地すべりの調査では一般に地下1mの地点で地温を計測する。

2 自然放射能探査

亀裂や破碎帯から放出される自然放射線（主として γ 線）を測定・分析し、 γ 線の分布の状況を把握するものである。

3 電磁探査

自然電磁場における電場と磁場の測定結果から地下の比抵抗分布を求めるMT法、人工送信源を用いてMT法と同様の測定を行うCSAMT法、電磁応答を時間の関数として扱うTEM法がある。

各種探査方法と特徴は、次のとおりである。

表 2-2 各種探査方法と特徴

方法	長所	短所
弾性波探査	○探査可能深度が大きい。 ○地中の断層、岩脈等の特殊構造の位置をよく検出する。	○低速度帯、高速度帯の傾斜角の判定が困難である。 ○測線に平行あるいは斜交する異常速度帯による影響の判別が困難である。 ○地下水賦存状況に鈍感（ただし低速度層が飽和していると速度が速くなり解析誤差を生ずる）。 ○地すべり面、軟弱層等の挟み層の判定が困難。
電気探査	○脈状構造等の水平方向での異常媒質に対して敏感である。 ○含水状態、含粘土鉱物量の違いに敏感で地下水調査に向く。 ○比抵抗の異方性パターンから地質構造についてある程度の推定が可能である。	○探査可能深度が弾性波探査に比してはるかに小さい。 ○地表地形条件に影響される度合いが弾性波探査よりも大きい。 ○水平方向での異常媒質に強く影響され、測点位置及び電極系の展開方向に対する吟味を要する。 ○比抵抗が漸増又は漸減するような層序の場合には解析誤差が大きい。
地温探査	○他の調査法に比べ地下水脈の位置をより正確に把握できる。 ○水脈の位置を知ることができ、集水井の位置やボーリング暗きょの掘削方向を知るのに有効である。	○浅層地温と地下水温との温度差を利用した調査法であるため、両者が等しい温度を示すときにはこの調査法は不適である。 ○比較的浅層の地下水分布に限定される。
自然放射能探査	○地質学的特徴を指標に、表層地質の区分、地質境界の検出、風化の進行や移行状態等が解析できる。 ○伏在裂かでの開口部・破碎部の存在位置、状態の時間的変化を把握することができる。	○表土の粒度、地被、接地条件等に強く影響される。 ○surveymeterは簡便・低コストではあるが、誤差が大きく、γ線強度に含まれる複雑な地質条件や人為条件を取り除けない。 ○バックグラウンド（閾値）のとり方を十分検討する必要がある、また、解析基準が必ずしも明らかでない。
電磁探査	○広域的な地層、岩相の分布の推定に向いている。 ○地層境界部、断層等の地質構造における比抵抗異常体の検出能に優れている。	○高比抵抗を示す比抵抗異常の調査は電気探査に劣る。

〔解説〕の補足説明

1 物理探査の種類と目的

物理探査の種類ごとに測定対象となる物理現象や目的、特徴を補足表 2-1 にまとめた。

補足表 2－1 物理探査の種類と目的

調査目的	方 法	情報としての物理量	物理現象の種類	目的または特徴
地層の構造及び分布の把握	弾 性 波 探 査	弾 性 波 伝 播 速 度	人 工	弾性波速度を測定し、風化土層、基盤層、破碎帯の位置及び亀裂状況等を把握する。
	電気探査	比 抵 抗 誘 電 率 透 磁 率 分 極 率	人工・自然	地層の比抵抗を測定し、得られる地層の見掛け比抵抗分布を解析することにより地下の地質構造を推定する。また比抵抗異常、異方性パターンから地層の脈状構造等を把握する。
	自然放射能探査	放 射 能	自 然	地表面での自然の放射線の測定により、断層、温泉源の検出等に有効である。
	電磁探査	電 場 磁 場 比 抵 抗	自然(MT) 人工 (CSAMT)	電場と磁場の測定により、地層、岩相分布の推定、比抵抗異常の境界、断層等の把握に用いられる。
地下水状況の把握	地温探査	温 度	自 然	地中や地表面の温度を測定することにより地下の浅いところに存在する流動性の地下水を把握する。
	電気探査	比 抵 抗 誘 電 率 透 磁 率 分 極 率	人 工 自 然	解析の結果得られる比抵抗値とボーリング調査、他の物理探査等の調査結果と併せて、地層の風化度、亀裂状況及び地層の含水状態を推定する。
	弾 性 波 探 査	弾 性 波 伝 播 速 度	人 工	解析の結果得られる P 波速度とボーリング調査、他の物理探査等の調査結果と併せて、破碎帯、低速度層帯の含水状態を推定する。

2 人工送信源

人工送信源とは、人工的に電波を発生させる信号源のことで、自然発生的な信号源と区別した表現である。

CSAMT 法は、Controlled Source Audio-frequency MagnetoTellurics の略称で、人工的に発生した可聴周波数帯（数 Hz～数 kHz）の電波を用いた電磁探査法である。この方法は、送信機を使用し人工的な信号源から電磁波を発射して大地の電磁気的な応答を測定する能動的手法である。

5-2-2 弾性波探査

〔解説〕 p18

1 弾性波探査の特徴

弾性波探査は、地盤を構成する岩石の種類、地盤の間隙率、間隙水等の物性値の違いにより弾性波速度が異なることを利用し、弾性波速度層区分を行うものである。ボーリング調査等による地層区分と弾性波速度とを対比して、線的又は面的に地層の連続性、地質構造の把握を行うことができる。

弾性波には地盤内部を伝達する実体波と、地表面を伝播し深さとともに急速に減衰する表面波があり、地すべり調査の場合、実体波のP波を用いることが多い。

2 弾性波探査の種類

地すべり調査における弾性波探査では、主として屈折法と反射法が用いられる。

(1) 屈折法

屈折法は、屈折波を利用して各地層中の弾性波速度を算定し、定量的な構造解析を行うものである。地すべり調査は一般的にこの方法による。

弾性波速度が異なる地層間で屈折して地盤を伝播する状況を地表に設けた測定装置で観測し、得られる走時曲線を解析することにより、風化土層、基盤面及び破碎帯等を推定する。

(2) 反射法

反射法は、弾性波の地層境界面での反射波を利用して弾性波の到達時間だけで地層境界面の相対的・半定量的な深度を解析する方法である。地すべり調査では、比較的細かな地下の地質状況の変化を把握することができる浅層反射法が用いられる。

3 取りまとめ

測定結果は、横軸に距離、縦軸に時間をとった走時曲線や速度層断面図に取りまとめる。ボーリング調査等の他調査結果との対比から崩積土層・風化層・基盤層、破碎帯・低速度層帯を推定する。

〔参考〕 p20

1 主な岩石の弾性波速度

主な岩石と弾性波伝播速度との関係は図2-3のとおりである。

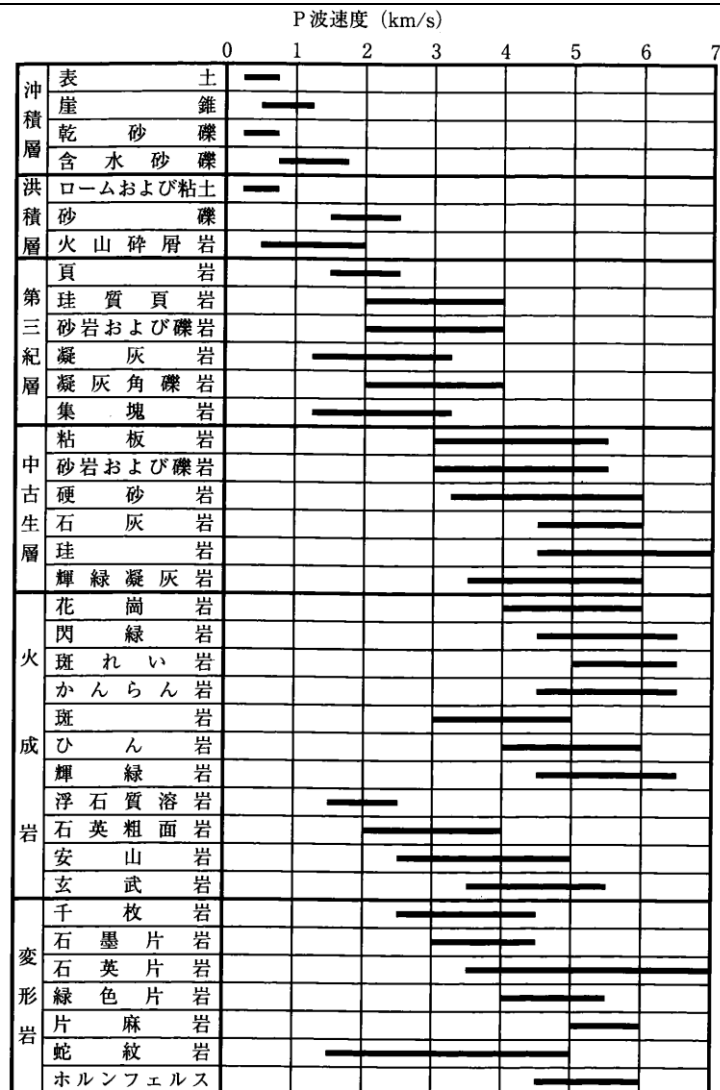


図 2-3 主な岩石と弾性波伝播速度
(出典) 地盤調査法 地盤工学会

2 弾性波トモグラフィ

弾性波トモグラフィとは、医学分野で用いられている X 線 CT の手法を弾性波探査（特にボーリング孔一孔間、地表—ボーリング孔間、調査横坑—坑間）に応用し、より詳細な弾性波速度分布断面を求めるために行うものである。

弾性波トモグラフィを実際の地すべり地に適用する場合、次のようなことを念頭に行われる。

- (1) 地すべり地において起振源から受振点の距離が離れるほど解析精度が落ちる。
- (2) 地質の性質や構造が非常に複雑である場合が多く、弾性波動の伝播は単純な経路を伝わるわけではないので、地すべりブロックの位置を決定する上で精度が悪くなる。
- (3) 表面付近は、表土、崖錐等の分布が不規則であり、地表面で波動を観測する場合、その影響を強く受け、場合によっては、地すべりブロックがそれに埋没する。

〔解説〕の補足説明

1 弾性波探査の測線の設定

弾性波探査の測線は、地すべりの移動方向に設ける方法と、地層の走向傾斜の方向に設ける方法がある。前者は地すべり地の風化土層、風化の程度等を把握する場合に、後者は地質の層序、断層、破

砕帯等を把握する場合に用いられる。踏査等で地質の概況がつかめないような面積が大きい地すべりの場合は、測線を格子状に設けることがある。

（１）格子状測線の間隔

格子状に測線を設ける場合には解析する目的によって効果的な測線間隔を決定する必要がある。測線間隔が狭ければ薄層が把握できるが、層がはっきりしない場合は狭い測線間隔は無意味である。したがって測線の間隔は地層の変化が急な場合は目的層深度の 60%程度、変化の緩い場合は 90%程度を標準とし、地層の走向、断層及び破碎帯等地質構造の方向に平行測線の間隔は密に、これに直交する間隔は疎にとるようにする。

（２）測線長

弾性波探査の測線長は、探査目的深度の少なくとも 6 から 7 倍以上、15 倍以内とする。

（３）受信器間隔

受信器の間隔は 5-10m の範囲で、探査目的、目的深度、目標精度及び地形条件等を考慮して決定する。

（４）解析

測定結果は横軸に距離、縦軸に時間をとった走時曲線や速度層断面図に取りまとめる。ボーリング調査等の他調査結果との対比から崩積土層、風化層、基盤層、破碎帯、低速度層を推定する。

5-2-3 電気探査

〔解説〕 p21

1 電気探査の特徴

電気探査は、一般的に地表から地下に電流を流し地盤内に発生する電位の変化を計測し、その変化を解析することにより、地盤の比抵抗分布を把握する比抵抗法を用いる。

地盤内の比抵抗は、地盤を構成する岩石や鉱物の種類、地盤の間隙率・飽和度・間隙水の比抵抗等により数 Ωm ～数千 Ωm の範囲で異なった比抵抗値を示すことから、地層の連続性や地層の脈状構造及び地下水状況の把握等を行うことができる。

2 比抵抗法

比抵抗法は大地の 2 極間に人工的に電流を流し、この電流電極の間に他の 2 極電位電極を接地し、その間の電位を測定し大地の見かけ比抵抗を求める方法で、電極の接地抵抗の影響を受けることなく、電極間隔と探査深度との間に存在するある種の関係から地下構造の探査に適用できる。

比抵抗法にはいくつかの方法があるが、一般的にはウェンナー (Wenner) 法が用いられる。

$$\rho_a = 2\pi a \frac{V}{I} \quad \langle 2-5-1 \rangle$$

ここで、 ρ_a ：大地の見かけ比抵抗、 a ：電極間隔、 I ： C_1 C_2 間に流した電流、 V ： P_1 P_2 間に生じた電位差

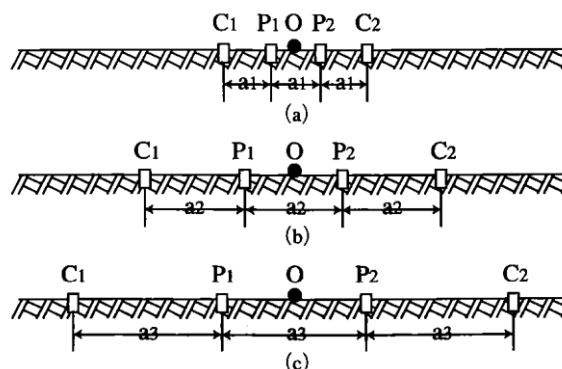


図 2-4 Wenner 法による垂直探査

3 取りまとめ

測定結果は比抵抗分布図に取りまとめる。ボーリング調査等の他調査結果との対比から地質構造や滞水状態について推定する。

〔参考〕 p22

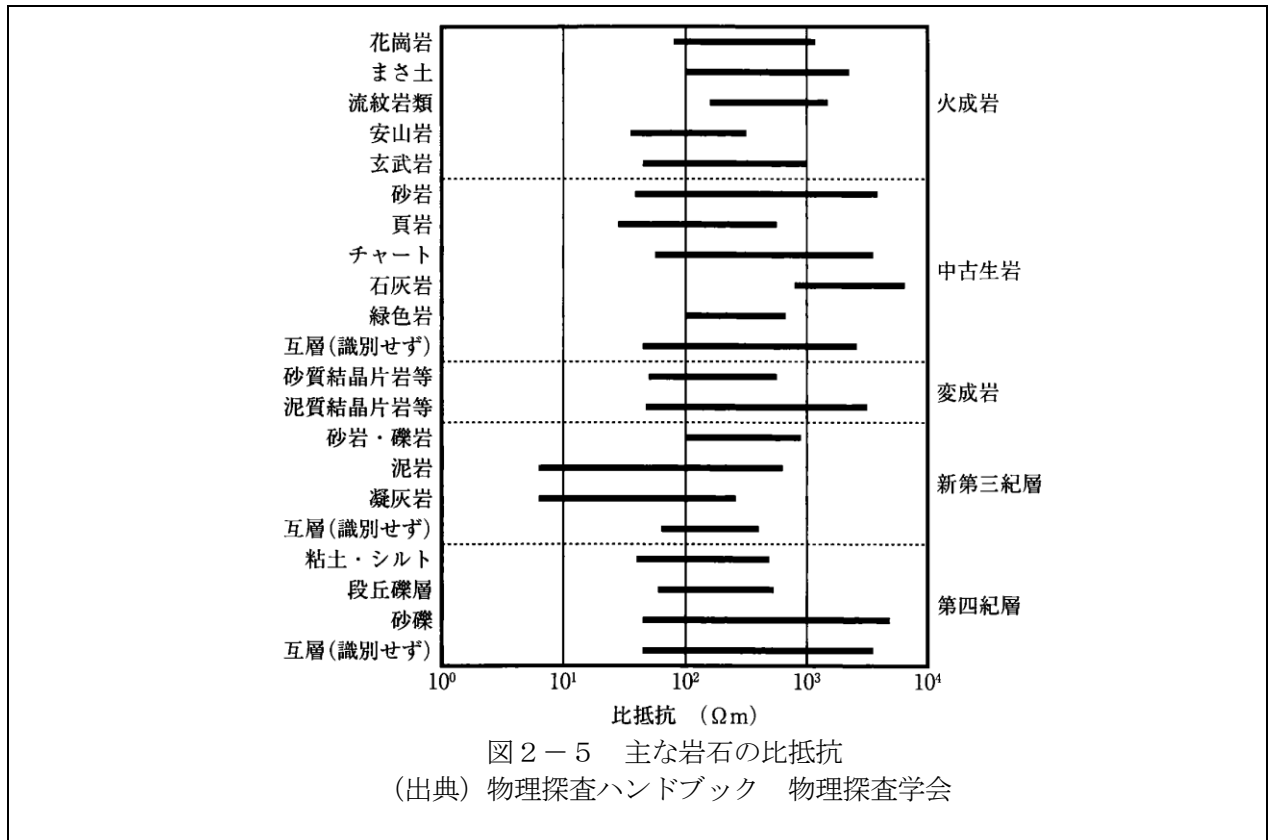
1 高密度電気探査

高密度電気探査は、多チャンネルの比抵抗測定器を用いて測線沿いに等間隔に多数点の電極を設置し、調査測線上において、短時間で大量の地盤の比抵抗データを高密度に自動測定し、高密度解析により地盤の真の比抵抗分布断面を求める探査方法である。

高密度電気探査は、センサーをあらかじめ地山に密着固定するので比抵抗法に比べ測定精度がよいこと、有限要素法 (FEM)、逆解析等の手法を用いて解析するので解析者の個人差が抑えられ解析精度がよいこと、電算化で比抵抗断面図の作成が容易であること等の利点を有する。

2 主な岩石の比抵抗

主な岩石の比抵抗は、図 2-5 のとおりである。



〔解説〕の補足説明

1 比抵抗法

比抵抗値は、含水によって大きく異なるので、岩石の一般的な比抵抗値よりもオーダー的に値が低く、水平方向にその傾向が続けばその深度に相当量の地下水が賦存している可能性があり、地下水検層結果と合わせて解析すればすべり面付近の地下水流動層を追跡することも可能である。

なお、地表面付近に乾燥した転石や礫がある場合には、異常に高い比抵抗値を示すので、解析にあたってはそのことに留意する必要がある。さらに、地形によって比抵抗曲線が異なるのでそれも考慮して解析する必要がある。

2 電気探査の方法

電気探査の方法には水平電気探査と垂直電気探査がある。地すべり調査では、測点ごとに垂直電気探査を行い、測線に沿って移動していくことにより両者を合わせた探査を行う。

(1) 垂直電気探査

垂直電気探査は、図 2-4 のようにウェンナー法は測定点 o に対し測定線上に電流電極 C1、C2 極と電位電極 P1、P2 極を対称的に配列し電極相互の間隔を等間隔にして対称を保ちながら順次拡大し、見掛け比抵抗を測定する方法である。

(2) 水平電気探査

水平電気探査は、電極系全体を一定の間隔に保ったまま、設定された測線上を一般に等間隔ずつ横に移動させ、この測線に沿う地表下一定の深さの見掛け比抵抗を測定し、その変化から水平

方向の地下の状態を調査する方法である。

脈状、レンズ状ないしは塊状をなして介在する異常地質、断層、とくに地下水の多いところは比抵抗に異常があることから地下水脈等を推定することができ、比較的浅い地質構造等の解明に用いる。

(3) 高密度電気探査

高密度電気探査は、多チャンネルの比抵抗測定器を用いて測線沿いに等間隔に多数点の電極を設置し、調査測線上において、短時間で大量の地盤の比抵抗データを高密度に自動測定し、高密度解析によって地盤の真の比抵抗分布断面を求める探査方法である。

高密度電気探査は、センサーをあらかじめ地山に密着固定するので比抵抗法に比べ測定精度がよいこと、有限要素法（FEM）、逆解析等の手法を用いて解析するので解析者による個人差が抑えられること、電算化で比抵抗断面の作成が容易であること等の利点を有する。

4 電気探査の測線の設定

電気探査の測線は、調査範囲を地すべりの移動方向又は地質構造とくに地層の走向方向に一辺を持った格子状に設けることを標準とし、格子状の測線の間隔は目的とする地質構造等を明らかにし得る程度とする。

5 測点及び電極間隔

探査測点の間隔は、各測線上において5～10m、最大20m以内を標準とし、各測点での電極間隔を基盤面深度の2.0～3.0倍にとり最大電極間隔までを10段階程度の電極間隔に区分する。

5-3 ボーリング調査

5-3-1 総説

〔解説〕 p24

- 1 ボーリング調査は、ボーリングマシン等により小口径の縦穴等の掘削を行って地すべり移動層及び不動基盤層のコア（岩芯）等を採取し、肉眼観察により土質、地質、層序、すべり面、岩石の風化・破碎状況等を調査するとともに、掘削中の孔内水位の変化や掘削用水の排水状況等により地層の透水性・帯水性を把握するために行うものである。通常は、ロータリーボーリングを標準とする。
- 2 ロータリーボーリングの区分は、次のとおり。
 - (1) オールコアボーリング
 - (2) ノンコアボーリング
- 3 適切な安定解析及び地すべり防止工事計画の策定には、すべり面の位置を的確に把握することが重要であり、ボーリング調査は点的調査ではあるが、地下の状況を直接的に把握することができるため、調査の基幹をなすものである。

現地踏査において地形・地質調査を入念に行い、その結果を踏まえて調査計画をたてて、効果的な調査となるよう留意する。
- 4 ボーリング調査孔は、引き続き調査孔を利用して行う地中移動量調査等の各種の調査等が、効果的に行われるように配置や深さを決定する。

なお、調査によっては専用孔が望ましい場合もあるため、調査に応じた精度や目的等を勘案し、適切な配置とする。
- 5 地すべり防止工事に必要な地盤情報を得る目的で、必要に応じてチェックボーリングを行う。

チェックボーリングは、杭工、集水井工等の設計を行う場合に、地すべり面及び地下水の状況等を確認して規模、数量等を確定するため、地すべり調査解析で調査されていない箇所について補足的、細部的に行う。
- 6 取りまとめ ボーリング調査の結果は、地質柱状図に取りまとめる。次いで現地調査で作成した地形図、地質図及び物理探査の結果等を加えて総合的に検討し、地質構造に関する断面図や平面図を作成する。

また、試錐日報解析図を作成し、ボーリング掘削区間ごとの地層の透水性を判定する。

〔参考〕 p25

- 1 地質柱状図様式、試錐日報解析図の例
 - (1) 地質柱状図の記載事項
 - ① 地質柱状図には、次の該当事項を記載する。

地区名、調査年度、調査地点番号、担当技術者名、ボーリング機械工名、柱状記号、地質・土質名、色調、硬軟、コア採取率、RQD、孔内水位、送水・排水量、湧水・漏水の位置とその量、パイプひずみ計等孔内観測機器設置位置、土質資料、採取位置、観察事項、その他必要事項
 - ② 観察事項の内容は、次のとおり。

移動層の性状、含まれる礫種、礫径、礫質、円磨度、含有率等、含水量（乾いた、湿った、飽和した）、すべり面粘土の産状、基岩層の亀裂・破碎・風化状況、孔内変状（崩壊、孔曲り、ガスの存在、地温の急変等）
 - (2) 試錐日報解析図の記載事項と解析
 - ① 試錐日報解析図は、ボーリング掘削作業中の次のデータを基に作成する。
 - ア 毎日の掘削作業前と後の孔内水位
 - イ 掘削作業中の漏水、湧水の位置とその程度及び掘削区間毎の送水掘り、無水掘りの別

ウ ケーシング、ベントナイトの使用状況（使用・不使用の別、区間、時期等）、前夜及び当日の天候

② 解析は、掘削区間毎に行い、地層の透水性、帯水性を判定する。

ボーリング柱状図

調査名 _____

事業・工事名 _____

ボーリングNo. _____

ボーリング名		調査位置		北緯	
発注機関		調査期間		東経	
調査報告名		調査者		ボーリング責任者	
電話 ()		主査技師		コ-ア鑑定者	
孔口標高		方位		ボーリング機	
掘削長さ		掘削方向		ポンプ	
				ポンプ	

深さ (m)	地層区分	色	硬さ	コ-ア 採取	風化	実質	記事	掘削 区間	試 験 区 間	排水 量 (t/分)	作業日毎の孔内水位 ケーシング下端深度 (作業開始に記す ケーシング下端深度は 作業終了時の深度を記す)	孔壁保護の種類 ケーシング セメンチング	地下水検層 自：自然水位法 液：液上げ法	保孔管 有孔区間 無孔区間 止水区間	計測機器 ① バイパス計 ② 孔内傾斜計 ③ 垂直度計、多層移動量計 ④ 地下水位計 ⑤ 観測水注計	備考 キ-コ-内は図解を記入 本欄は文字列に限定 記入する図解の例 単位、試料採取位置 その他	
																	深さ (m)
1																	
2																	
3																	
4																	
5																	
6																	
7																	
8																	
9																	
10																	
11																	
12																	
13																	
14																	
15																	
16																	
17																	
18																	
19																	
20																	
21																	
22																	
23																	
24																	
25																	
26																	
27																	
28																	
29																	
30																	

＜凡 例＞

コ-ア形状

① 長さ60cm以上の棒状コ-ア

② 長さ50～15cmの棒状コ-ア

③ 長さ15～5cmの棒状コ-ア

④ 長さ5cm以下の棒状コ-ア

⑤ 主として角れ状のもの

⑥ 主として砂状のもの

⑦ 主として粘土状のもの

⑧ コ-アの採取ができないもの

⑨ スライムを含む(記事欄に理由を書く)

風化

① 非常に新鮮

② 新鮮

③ 弱風化

④ 風化

⑤ 強風化

実質

① 非常質

② 硬実質

③ 中実質

④ 強実質

作業日毎の孔内水位
ケーシング下端深度
(作業開始に記す
ケーシング下端深度は
作業終了時の深度を記す)

孔壁保護の種類
ケーシング
セメンチング

孔壁保護の実施理由
腐蝕、漏水、湧水、その他

地下水検層
自：自然水位法
液：液上げ法

流入検出
上昇検出
下降検出
湧出
その他

保孔管
有孔区間
無孔区間
止水区間

計測機器
① バイパス計
② 孔内傾斜計
③ 垂直度計、多層移動量計
④ 地下水位計
⑤ 観測水注計

備考
キ-コ-内は図解を記入
本欄は文字列に限定
記入する図解の例
単位、試料採取位置
その他

地すべり調査用ボーリング柱状図様式

図 2-6 地すべりボーリング柱状図様式の例
(出典) 土木研究所資料 第 3868 号

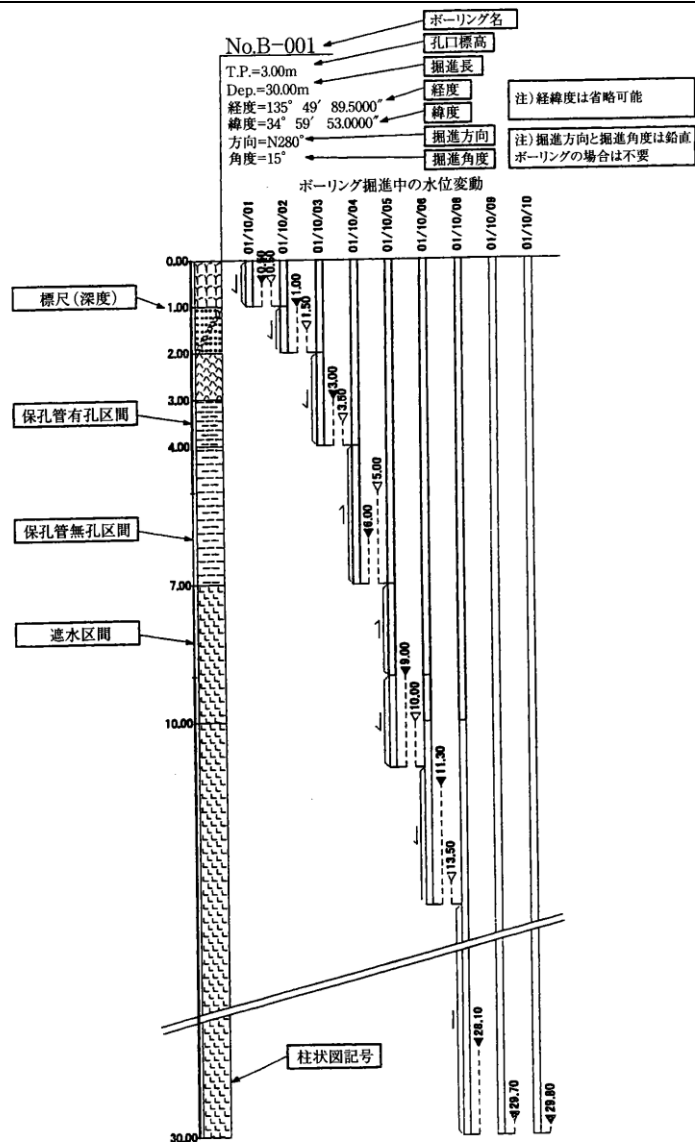


図 2-7 試錐日報解析図の例

2 物理検層

ボーリング孔を利用して行われる調査の中に物理検層がある。物理検層は、地すべり層区分（すべり面判定、風化度判定、潜在すべり面の検出等）、地すべりの原因となる地下水を包蔵する帯水層の検出、地すべり機構に密接に関わる地質構造の把握、岩盤物性の測定等を目的として行う。地すべり調査では、速度検層や電気検層がよく用いられる。

表 2-3 物理検層の調査目的

調査目的	検 層
地すべり層区分	電気検層・速度検層
帯水層の検出	電気検層
岩盤物性の把握	速度検層

3 ボアホールテレビュア

ボアホールテレビュアは、超音波を用いてボーリング孔壁の音響インピーダンスを測定し、地層の硬軟、風化状況、亀裂状態等から、すべり面の判定、地質構造や岩盤物性の把握を行うものである。

音波は、異なる媒質の境界面で反射する性質を有し、その強度は媒質間の音響インピーダンス（媒質の密度と音波速度の積）の差や反射面の滑らかさに応じて変化する。硬質な地層では反射強度が大きく、軟質な地層では反射強度が小さくなり、亀裂部では反射波がほとんどない。ボアホールテレビュアは、これらの反射強度と走時データを利用し、光学式では画像化しにくい地すべり地の孔壁を可視化し、粘土含有量が高いすべり面や音響インピーダンスに差のある層理構造、亀裂等を検出する。

測定した反射強度と走時を、その値の大きさにより濃淡表示した孔壁展開画像を作成し、すべり面の判定及び不連続面の構造解析を行う。

なお、超音波は空気中での減衰が著しいため、孔内水がある区間でしか実施できない。また、良好な記録を得るためには、掘削による孔壁の乱れを少なくし、測定器を孔の中心に保持する。

【解説】の補足説明

1 ボーリング調査

オールコアボーリングに当たっては、地すべり地の地質状況を詳細に観察するために必要な空間のコアを採取するとともに、コアを乱したり変質させないように留意しなければならない。このため、コアバレル、コアリングビット等は地質条件に適応するものを使用し、ビット回転数、給進圧、送水量等を適切に調整しながら掘進しなければならない。また、無理な無水掘を行ってはならない。

ノンコアボーリングは地中観測機器の設置や地下水調査、各種孔内試験の実施などを主要目的とし、コア採取を必要としない場合に行う。

2 チェックボーリング

チェックボーリングは、アンカー工に、地すべり面及び地下水の状況等を確認して規模、数量等を確定するため、地すべり調査解析で調査されていない箇所について補足的、細部的に行う。

3 物理検層

【電気検層】

電気検層法には、比抵抗検層法と自然電位法（SP法）が用いられる。

電気検層は、ボーリング孔内の孔壁周辺における地層の電気比抵抗と孔内に発生している電気化学的自然電位を測定する方法である。電気検層は、地層の孔隙率、飽和度を求め、深度変化曲線から地層の厚さや連続性、地層対比、帯水層の検出、難透水層の判定等を目的として実施される。

（1）比抵抗法

比抵抗法には、ノルマル検層、ラテラル検層、マイクロ検層等があるが、見掛け比抵抗曲線が地層の中心を軸に対称形をなし、地層との対比が容易なことから、通常ノルマル検層法が用いられる。

電極間隔は、一般にボーリング孔径の0.8-3.0倍の範囲で2種類以上の電極間隔を組み合わせたものが多く用いられる。

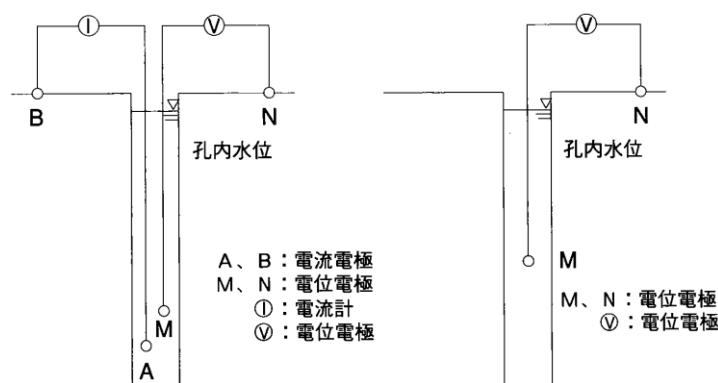
電極間隔より小さな層厚では反転現象を示し、比抵抗が隣接する地層より大きくても比抵抗値は小さい値を示す。また、泥水を用いるため、他の検層法を用いる場合や地下水位を測定する場合には十

分孔内洗浄を行う必要がある。

(2) SP 法

SP 法は、図 2-13 のように、孔井内電極 M と地上の電極 N 間の電位差を測定して地下水の流動や電気化学的賦不平衡に伴う自然電位を把握するために行うもので、比抵抗法と同時に自然電位を連続的に測定することがある。

孔井内の泥水と地表水との間に塩分濃度の差があると、イオン拡散により電位差が生ずるまた、泥水と表面が負に帯電している泥岩との接触面では電荷濃度のアンバランスから起電力が生ずる。このような自然電位を測定することによって、地表水の比抵抗や塩分濃度、あるいは地下水流動層を求めることがある。



(1) 比抵抗法（ノルマル法）の電極配置 (2) SP法の電極配置

補足図 2 - 2 電気検層の電極配置

【速度検層】

速度検層は、ボーリング孔を利用して弾性波が地盤中を伝播する速度を求めるもので、弾性波速度は地層の密度や弾性定数によって決まるため、地層の硬軟、風化の状況、亀裂の状況などを推定することができる。弾性波速度の変化から、移動層、せん断帯、基盤層からなる地すべり特有の構造を推定することができる。

また、弾性波速度から、変形解析を行う場合に必要となるヤング率やポアソン比等の各種弾性定数を求めることができる。

速度検層には主として次の方法がある

(1) PS 検層

PS 検層はボーリング孔を利用し、ボーリング孔内と地表又は他のボーリング孔内の間の P 波、S 波速度を測定し、地層別の速度を決定する。

(2) サスペンション PS 検層

サスペンション PS 検層は、振源及び受振器が組み込まれた測定器をボーリング孔内に降下させ、双極子振源により起振し、孔壁の P 波、S 波速度を連続的に求める。

(3) 音波検層

音波検層は、振源及び受振器が組み込まれた測定器をボーリング孔内に降下させ、振源から高周波の音波を発振し、地層の弾性波速度を測定する。

軟岩条件では S 波速度を求めることが困難であるが、PS 検層のように孔壁に圧着する必要がなく、高周波の音波を用いるため、分解能が非常に高い。

【測定結果の整理及び解析】

観測された波形から P 波、S 波の判別を行い、それぞれの初動到達時間を読みとって走時曲線を作成し、走時曲線から弾性波速度を決定する。弾性波速度は、地すべり層区分の判定のための資料とするほか、数値解析に必要な物性値（ポアソン比、ヤング率等）を求める。

得られた結果は、孔壁周辺の地層の物理量（比抵抗、弾性波速度、密度など）を表し、他の機構調査結果、ボーリングコアや地盤状況と密接に関連する。このため、その他の調査結果と十分に対比、照合し、地すべり層区分（すべり面の判定、風化度の判定、潜在すべり面の検出など）や帯水層の検出、岩盤物性の測定に役立てるものとする。

4 訂正

P25【参考】の次の項目の誤りを訂正する。

1 地質柱状図様式、試錐日報解析図の例

（1）地質柱状図の記載事項

① 地質柱状図には、次の該当事項を記載する。

“ボーリング機械工名”は“ボーリング機械名”の誤りである。

“土質資料、採取位置”は“土質試料採取位置”の誤りである。

5-3-2 ボーリングの位置、深度等

〔解説〕 p30

ボーリング調査は、点的ではあるが地質等の実視ができるものであり、調査目的を満足させる位置を選定する。ただし、本数、深度は、必要性を十分吟味し最小限度にする。

1 位置

ボーリング調査の位置は、現地踏査や地形測量の結果を踏まえ、地すべりの範囲、地層の連続性、破碎帯の位置、地下水の連続性及びすべり面等を判断できる地点に設ける。

2 口径

口径は、呼称径 66mm を標準とする。ただし、ボーリング孔を使用する調査等や、より正確な判断を必要とする場合等は、それ以上の口径を用いることがある。

3 方向・角度

掘進角度は、鉛直下方を標準とするが、基盤層の走向傾斜や表土層の確認のみの場合、傾斜面又は地表面に直角としボーリング深度を浅くするなど、調査目的に応じて方向・角度を変えることがある。

4 深度

ボーリング深度は、ボーリングの目的を満足する深さとしなければならない、機構解析に必要なボーリングの深さは、すべり面及び基盤層を確認できる深度とする。

〔解説〕の補足説明

1 ボーリングの位置

ボーリング調査の位置は通常、実態調査の結果で設定される調査測線上に設ける。必要な場合には測線からはずれた位置にも調査を行う。ボーリング調査の位置は、現地踏査の結果を踏まえ、地すべりの範囲、地層の連続性、破碎帯の位置、地下水の連続性及びすべり面等を判断できる地点とする。

ボーリング調査の位置は、大規模な地すべりや露頭が付近にない等適切な地点がつかめない場合は、物理探査などの格子状に設定された調査測線の交点または測線上に設け、それらの結果との整合性をとるものとする。また、地すべりブロック内外の地質状況がある程度連続的に把握するために、主測測線上に3本以上、地すべりブロックの外側（不動点）に少なくとも1本を設置することが望ましい。ボーリング地点の間隔は30～50mを基本とし、地すべりの大きさ等に応じて調整するものとする。

2 ボーリングの深度

ボーリングの深度は、ボーリングの目的を満たす深さとしなければならない、機構調査におけるボーリングの深さは原則としてすべり面及び基盤層を確認できる深度とする。

特に、現地踏査等によって基盤層の分布形態や性状が確認できている場合を除いて、基盤面を判定するために、少なくとも地すべりブロックの代表地点においては十分な深さ（すべり面や基盤層を確認できる深度）まで掘削することが望ましい。

基盤層の判定は、地すべり地とその周辺の露頭で確認された基盤岩の岩相、走向傾斜、節理系とコアの性状が一致する等の条件を基に、不動層であることを慎重に検証するものとする。移動層中に直径数メートルを超える巨石が混入されていたり、極めて硬質の岩盤の下にすべり面が形成されていることもあるので十分な注意が必要である。

ボーリング調査を計画するときに問題になるのが、ボーリングの計画深度をどう設定するかである。そのため、地すべりブロックの幅や長さとしべり面深度との一般的関係（長さの幅の $1/7 \sim 1/10$ 、長さのなど）を計画時の目安とすることができる。

ボーリング調査の結果は、地質柱状図、地質断面図、試錐日報解析図等にまとめられる。これらが予備調査、踏査で作成した地形図、地質図、地質断面図等及び物理探査の結果を加えて総合的に検討し、地質構造に関する断面図、平面図の作成に用いられる。

5-4 サウンディング調査

5-4-1 総説

〔解説〕 p31

サウンディング調査は、原位置試験に属するもので、乱れの少ない試料採取（サンプリング）及び室内土質試験が困難な砂質土や軟らかい粘性土の場合、また、地盤性状を連続的に把握したい場合等に用いられる。サウンディング調査は、地盤の深さ方向における抵抗の値から、地盤の強さ、変形特性、密度等の深さ分布を直接推定するために行う。

地すべりの調査では、一般に標準貫入試験を用いることが多いが、表層地盤の調査や補足的な地質の確認等については、第2編山地治山事業第2章第3節「サウンディング調査」に準じたものを実施する。

5-4-2 標準貫入試験

〔解説〕 p31

試験方法は、日本工業規格（JIS A 1219-2001）による。

この方法は、ボーリング孔内で実施される代表的な試験で、調査により得られるN値は、様々な土質定数に換算され設計に用いられている。

また、他の各種サウンディングから得られた測定値も、標準貫入試験のN値に換算して用いることが多い。

〔参考〕 p31

1 標準貫入試験から判別、推定しうる事項

表2-4 標準貫入試験による調査結果から判明する事項

区 分	判別、推定事項
調査結果一覧図から 総合判定される事項	土質構成、深さ方向の強度変化 支持層の位置（地表からの深さと層構造） 軟弱層の有無（圧密沈下計算の対象となる土層の厚さ）、 透水性、液状化対象層の有無
N値から直接推定さ れる事項	砂 質 地 盤 相対密度、せん断抵抗角 即時沈下量、土留め擁壁等の許容支持力 水平地盤反力係数、杭の極限先端支持力、杭の極限 周面摩擦力、せん断波速度、変形係数、液状化強度
	粘 土 地 盤 コンシステンシー、一軸圧縮強さ（粘着力） 水平地盤反力係数、せん断波速度、変形係数

2 標準貫入試験等により求めたN値から水平地盤反力係数を求める実験式

N値から水平地盤反力係数（ k_h ）を求める実験式が提案されており、代表例を以下に示す。

（1）港研式

$$k_h = 200N \text{ (tf/m}^3\text{)} \rightarrow k_h = 2000 \text{ N (kN/m}^3\text{)} \quad \langle 2-5-2 \rangle$$

(2) 地すべり地での孔内水平載荷試験データ(林野庁と長野県)の収集結果による式

$$k_h = 691 N^{1.441} (\text{tf/m}^3) \rightarrow k_h = 1550 N^{1.441} (\text{kN/m}^3) \quad \langle 2-5-3 \rangle$$

N値 300 相当程度までこの関係が保たれる。

3 地盤反力試験

地盤状態が不確実な場合や構造物の重要度に応じて、N値からの推定式ではなく直接地盤反力試験を実施することもある。

地盤反力試験には、鉛直載荷試験と水平載荷試験がある。

鉛直載荷試験は、構造物の自重等垂直方向の荷重に対して基礎地盤の安定性を判定するために行う。方法は一般的に JIS A1215 による平板載荷試験を行う。

水平載荷試験は、杭工等の計画地点の杭周面の地盤反力を求めるために行い、方法にはボーリング孔内載荷試験等がある。

〔解説〕の補足説明

標準貫入試験方法の日本工業規格が 2013 年に改定され、JIS A 1219-2013 となった。

主な改正された点は次のとおりである。

- (1) 設計に用いる N 値と用いない N 値の定義が行われた。設計用地盤定数に採用する N 値を求めるには、同規格の「附属書 A」に示した標準貫入試験仕様を用いなければならないと定めた。
- (2) 礫質土及び軟岩ではソリッドコーンの使用が求められた
- (3) 試験装置の情報及び試験前後の点検について詳細な報告を行う

5-5 土質・岩石試験

5-5-1 総説

〔解説〕 p33

1 土質試験

土質試験は、土の分類や諸性質を知るために地盤から採取した土試料について行う各種試験の総称である。一般的には地盤の安定や変形の解析、基礎構造物の設計・施工等に必要な基礎的データを収集するために行われる。

なお、地すべりの安定解析に用いるため、すべり面の残留せん断強さを求める試験が実施されることがある。

2 岩石試験

岩石試験は、各種地すべり防止工の安定性や施工法を検討し、構造物の形式、形状、寸法や配置を決定するうえで必要な岩盤性状を把握するために行われる。

3 試験方法

土質試験の試験方法は、日本工業規格及び地盤工学会基準等に定める試験法により実施する。

〔参考〕 p34

1 土質試験の種類 土質試験の種類は、以下に示すものが一般に用いられる。

表 2-5 物理試験の種類

試験の種類	試験の目的及び適用	求める物理量	摘要
①土粒子の密度試験	粒度試験に必要	土粒子の密度 ρ_s	JIS A 1202
②土の粒度試験 ア ふるい分け イ 比重計による分析	粒度分布を求める。	粒度分布 均等係数 U_c	JIS A 1204
③土の含水比試験	含水比を求める	含水比 w	JIS A 1203
④土の湿潤密度試験	粘着性の土に対して求める。	湿潤密度 ρ_t 乾燥密度 ρ_d	JIS A 1225
⑤コンシステンシー ア 液性限界 イ 塑性限界	土の分類、土の性質の予備的試験	液性限界 塑性限界	JIS A 1205 JIS A 1205

表 2-6 力学試験の種類

性質	試験の種類	用いる試料	求められる値
締め固めの性質	突き固めによる土の締め固め試験 JIS A 1210	乱した	最適含水比 最大乾燥密度
	CBR 試験 JIS A 1211	乱した (乱さない)	CBR 値 (設計 CBR、修正 CBR)
土の圧縮性	土の圧密試験 JIS A1217、1227	乱さない	圧密降伏応力、圧縮指数、 体積圧縮係数、圧密係数
土の強さ	土の一面せん断試験 JGS 0560、0561	乱さない	せん断抵抗角 粘着力
	土の三軸圧縮試験 JGS 0520～0524	乱さない	せん断抵抗角 粘着力
	土の一軸圧縮試験 JIS A 1216	乱さない	一軸圧縮強さ 変形係数
土の透水性	土の透水試験 JIS A 1218	乱した (乱さない)	透水係数

JIS：日本工業規格 JGS：地盤工学会規準

表 2-7 残留せん断強さを計測するための試験

試験の種類	試験の概要	得られる値
すべり面せん断試験 (定体積一面せん断試験)	不攪乱採取したすべり面試料のすべり面と試験時せん断面とを一致させて行なう一面せん断試験。用いる試料は乱さないすべり面試料	原位置強度（≒残留強度）、ピーク強度、完全軟化強度
繰り返し一面せん断試験 (定体積一面せん断試験)	残留強度実現に必要な長大変位をせん断方向の前後に連続する繰り返しせん断によって実現した一面せん断試験。用いる試料は乱したすべり面粘土	ピーク強度、完全軟化強度、残留強度
リングせん断試験 (定体積/定圧一面せん断試験)	ドーナツ型供試体に回転変位を与え、残留強さを計測に必要な長大変位を実現した一面せん断試験。用いる試料は乱したすべり面粘土の粒度調整試料	完全軟化強度、残留強度

2 岩石試験の種類

岩石試験の種類は、以下に示すものが一般に用いられる。

表 2－8 岩の物理的性質を求める試験

性質	試験の種類	求められる値
岩石物性	密度試験	自然含水状態の密度 乾燥密度、湿潤密度 吸水率、有効間隙率
	含水量試験 JIS A 1203	含水比
	超音波速度試験	P波速度、S波速度、動ポアソン比、 動弾性係数
岩石の結合度合 (耐久性試験)	浸水崩壊度試験	スレーキング指数
	スレーキング試験	吸水量増加率、スレーキング率、耐 スレーキング指数
	凍結融解試験 JIS A 6204	重量損失百分率曲線

表 2－9 岩の力学的性質を求める試験

性質	試験の種類	求められる値
せん断強さ	圧縮強度試験 JIS M 0302	圧縮強度
	三軸圧縮試験	粘着力、せん断抵抗角
	直接せん断試験	粘着力、せん断抵抗角
引張強さ	引張試験 JIS M 0303	引張強度

3 地すべり調査で用いられる土質試験

(1) 粘土鉱物の把握のための試験

膨潤性粘土鉱物であるスメクタイト（モンモリロナイト等）やハロイサイトは、地すべり活動の指標となることから、以下の方法で分析されることがある。

- ① 試薬反応試験
- ② X線回折試験

(2) 地質年代を推定するための試験

地すべりの発生年代や地すべり履歴を把握するために、以下の方法を標準として年代測定のための試験を行うことがある。

- ① ^{14}C 年代測定法
- ② 火山灰編年法による年代測定

〔解説〕の補足説明

1 X線回折試験

X線回折試験は、露頭、ボーリングコア等から採取した地すべり粘土に特定波長のX線を照射し、その回折角度から粘土鉱物を同定し地すべり粘土の特性を把握するために行うものである。

補足表 2-2 主要粘土鉱物の物理特性

粘土鉱物	形状	径	厚さ	比表面積 (m^2/g)
モンモリロナイト	薄い板状を呈す	$0.1\sim 1\ \mu$	$30\ \text{\AA}$	800
イ ラ イ ト	板状をなす	$0.04\sim 0.2\ \mu$	$200\sim 300\ \text{\AA}$	80
ハ ロ イ サイト	ねじれた端部を持つ板状、又はチューブ状をなす	(チューブ状の場合)	$0.02\ \mu$	
カ オ リ ナ イ ト	最も一定した形を持ち、六角形の板状をなす	$0.3\sim 4\ \mu$	$0.05\sim 2\ \mu$	15

(注) *クロライト： $80\text{m}^2/\text{g}$

第三紀層地すべりのすべり面付近には、膨潤性粘土鉱物であるスメクタイト（モンモリロナイト等）の集積が見られることが多い。これを確認するため、粉末不定方位試料や水簾処理による定方位試料に対してエチレングリコール処理による回折試験が用いられている。

変成岩からなる地すべりのすべり面付近には、クロライトが検出されるが、スメクタイトの回折ピークと重なるため、加熱処理や塩酸処理を行って回折試験を行うこともある。

2 年代測定

(1) ^{14}C 年代測定法

^{14}C 年代測定法は、露頭、ボーリング及び集水井掘削中等に現れた炭化木、木片、腐植土を採取して ^{14}C の含有量を測定し、年代を特定するものである。

放射性同位元素による試験は、過去の地すべり移動、崩壊土の由来と分布等を知るために、 ^{14}C による年代測定を行うものである。

液体シンチレーションカウンターで β 線を計測する場合、試料として炭化木や木片は少なくとも乾燥重量で 20g 以上、腐植土は乾燥重量で 100 g 以上必要である。このときの測定限界は 4 万年 BP (Before Present の略) である。しかし、加速器質量分析計では 0.2-2mg の微量でも計測可能で、6 万年が測定限界である。

試料採取時に素手で触らない（軍手などの繊維が不可するの也不可）。採取後はアルミホイルにくるんでポリ袋等にいれ採取場所・日時・性状等を記載しておく。

(2) 火山灰編年法による年代測定

火山灰編年法による年代測定は、年代が決定されている降下火山灰の堆積状況等から地すべり発生年代の上限を推定するものである。

火山灰の同定は、粒度分析や有色鉱物の量比、一次鉱物の組成及び火山ガラスの屈折率を測定して行うのが一般的である。

代表的な降下火山灰（テフラ）としては DKP：大山・倉吉（50,000 BP、Ag-Kp：鹿沼軽石（32,000 FT 年前）、AT：始良 Tn（24,500 BP）、Ah：アカホヤ（6,300 BP）がある。

試料の採取位置が分かるようにスケッチ、地図に記載する。

3 訂正

解説の表 2-5 の⑤コンシステンシーの適用欄に“JIS A 1205”が2つあるが、1つでよい。

5-5-2 試料の採取

〔解説〕 p37

土質・岩石試験を行う場合の試料の採取は、試験の目的に合わせ採取場所を決定する。

試料の採取は、可能な限り原位置の自然状態を正確に表すことができるよう乱さない試料を用いるのが望ましい。なお、試験の種類によっては乱した試料でもよい場合もある。

〔参考〕 p37

乱さない試料の採取方法は、次のとおりであるが、採取場所、試験の種類及び目的に応じて選択する。

- 1 ブロックサンプリング
- 2 ボーリングコア及び標準貫入試験による試料の採取
- 3 ボーリング孔を利用したサンプラーによる試料の採取

なお、2及び3による方法には多くの種類があるがそれぞれ適応土性と特徴があるので、最適のものを選択する。また、サンプラーの適応土性と特徴について表 2-10 に示す。

表 2-10 主なサンプラーの適応性と特徴

サンプラーの種類		構造	地 盤 の 種 類																	
			粘性土			砂質土			砂 礫		岩 盤									
			軟質	中くらい	硬質	ゆるい	中くらい	密な	ゆるい	密な	軟岩	中硬岩	硬岩							
														N 値 の 目 安						
														0 ～ 4	4 ～ 8	8 以上	10 以下	10 ～ 30	30 以上	30 以下
固定ピストン式シ ウォールサンプラー	エクステンシ ョンロッド式	単管	◎	○		○														
	水圧式	〃	◎	◎		○														
ロータリー式二重管サンプラー		二重管		◎	○															
ロータリー式三重管サンプラー		三重管		◎	◎	○	◎	◎		○										
ロータリー式スリーブ内蔵二重管 サンプラー		二重管		○	○			○			◎	◎	◎							
ブロックサンプリング		—	◎	◎	◎	○	○	◎		○	○									

◎：最適 ○：適

(出典) 地盤調査法 地盤工学会

5－6 試掘観察調査

〔解説〕 p38

試掘観察調査は、ボーリング調査等が直径の小さいコアや試料により判断しなければならないこと、また、地表に持ち上げる場合の諸外力により原位置との相違が生ずるおそれがあることから、実際に調査員が観察できる程度の坑を掘って、壁面の観察や土質・岩石試験等のための試料採取を行うものである。

調査は、集水井、排水トンネル等の事業実施途上において行う方法があるが、これらの工事が無い場合は、別途観測井戸、調査用トンネル等を設けることもある。この場合、試掘孔の断面の大きさは、作業の安全性や調査内容を考慮して適切に決定する。

5－7 取りまとめ

〔解説〕 p39

1 土質・地質調査の結果は、調査目的に応じて図表等に整理するとともに、計画や設計の基礎資料となるように取りまとめる。

2 各種調査結果は、総合的に解析し整合性を図るとともに、地質図や地質断面図等に取りまとめる。

第6節 地下水調査

6－1 総説

〔解説〕 p39

調査種は、次を標準とし、適切な調査の種類や数量を計画し調査するとともに、調査結果によっては再度見直し、必要に応じて調査を追加していく。

- 1 地下水位調査
- 2 間隙水压調査
- 3 地下水検層
- 4 地下水追跡調査
- 5 簡易揚水試験
- 6 揚水試験
- 7 水質調査
- 8 地下水流出量調査

地すべりにおいて地下水は、地すべり地内の岩石の風化を促進し、土のせん断強さを低下させるとともに、すべり面付近の間隙水压を増加させてせん断抵抗力の低下を招く。このため、地すべり地を中心とした地下水の量、分布及び水压を把握することは、地すべり機構の解明に重要である。

地すべり地内の地下水の分布は、平面的にも垂直的にも偏りがあり複雑なため、多角的な調査を行い総合的に判断する。

〔参考〕 p40

地下水の形態地下水の形態は、貯留されている形態により地層水と裂か水に分類され、また、被圧の有無等によって自由地下水、不圧地下水、被圧地下水、有圧地下水及び宙水とに分類される。

1 地層水

地層水は、地層や土壌を構成する粒子間の間隙を満たしている地下水をいう。

2 裂か水

裂か水は、岩石や地層中の割れ目、節理、空洞等を満たしている地下水をいう。

3 自由地下水

自由地下水は、水面が大気と接しており、この水面上では水压が大気圧と等しい地層水をいう。地下水の貯留量の増減によって自由地下水面は変動し、帯水層の容積は自由に変化する。

4 不圧地下水

裂か(断層、節理などの断裂、洞窟)水で、その上端が裂かを通じて大気と接している地下水をいう。

5 被圧地下水

被圧地下水は、上面が粘土層やシルト層等の不透水層又は難透水層で覆われていて水面は存在せず、帯水層上面に圧力が作用している地層水をいい、パイプ等をその層に挿入すると自噴することもある。

6 有圧地下水 圧力を持っている裂か水をいう。

7 宙水

地域的な広がりをもつ地下水面と地表面との間（土壌帯）に、粘土層等の不透水層が局所的にレンズ状に介在するとその上に自由地下水の本体と分離した形で局所的に自由地下水が形成されているものをいう。

6－2 地下水位調査

〔解説〕 p41

1 地下水位調査

地下水位調査は、井戸やボーリング孔を用いて簡易に地下水全体の賦存状態を把握できるもので、一般的に用いられる基本的な調査である。

ただし、地下水位からすべり面にかかる間隙水圧を想定する場合は、必ずしもその水位がその地下水層の圧力水頭を示さないことがあるため、他の調査結果を含めた総合的な判断をする。

2 データ整理

地下水位調査の結果は、変動図に整理するとともに、移動量調査や降水量調査等の結果と対比させ、地下水位と地すべり移動の関係がわかるように取りまとめる。

〔参考〕 p42

地下水位の測定方法は、一般的に次による。

1 水圧式

水中に圧力式水位計を設け、水圧から水位を測定するもの。

2 触針式（手動式）

コードの先端に電気接点を設け、地下水面に到達した時点で電流が流れることにより深さを測定できるようにしたもの。

3 フロート式

地下水面にフロートを浮かし、その昇降をワイヤーを介して地上の記録計で記録するもの。

6－3 間隙水圧調査

〔解説〕 p42

すべり面に作用する間隙水圧は、安定解析等に用いられる重要な因子の一つである。間隙水圧調査は、すべり面が判明している場合に、すべり面付近の地下水の間隙水圧を直接的に測定するものである。

1 間隙水圧計の設置

地すべりにおける間隙水圧の測定は、すべり面付近を測定し、この部分の水圧が測定可能なように、事前にボーリング孔内のすべり面や地下水帯の位置を十分確認しておく。測定方法には、間隙水圧計を埋設して直接水圧を測定する方法とすべり面付近のみをストレーナ加工し、その上下を遮水した水位観測専用孔で水位を観測する方法がある。

2 測定・データ整理

測定は、自記記録計ないしは自動観測システム等により行い、変動図に整理する。

〔参考〕 p43

地下水位と地すべりとの関係

地下水位とは、地下水がある状態でもっている圧力水頭と位置水頭の合計を高さで表わしたものをいい、次の式で表わされる。

$$h = P / \gamma_w + Z \quad \langle 2-6-1 \rangle$$

ここで、

h : 地下水位

P : 地下水圧

Z : 基準面からの高さ

γ_w : 水の単位体積重量

また、地すべりのすべり面充填物のせん断強さ (τ) と垂直応力 (σ) との関係は次の式で表わされる。

$$\tau = c + (\sigma - u) \tan \phi \quad \langle 2-6-2 \rangle$$

ここで、

c : 粘着力

ϕ : せん断抵抗角 (粘土の場合では含水量によって著しく変化することがあり、 c' 、 ϕ' とダッシュをつけ、有効応力による粘着力、せん断抵抗角と呼んで区別することがある。)

u : 間隙水圧

上式中の間隙水圧は、すべり面に連続する地下水の水位に基づく水圧 (揚圧力) とダイレタンスーによる過剰間隙水圧の両方からなるが、地すべり防止工事として行う排水工法の対象となるのは、主として前者、すなわち地下水に基づく水圧である。

地下水位調査は、この揚圧力 u を知ることを目的として行うものである。

〔解説〕の補足説明

1 間隙水圧観測方法

地すべり地で行われている間隙水圧観測の方法は間隙水圧計のみである。代用として部分ストレナ孔を用いる方法がある。ただし、部分ストレナ孔は地下水位観測の一種であるため、ボーリング孔のスケール効果によって水圧を過小に測定されている。

スケール効果とは、ボーリング孔の内径の大小によって水圧変化に伴い地下水量が変化し、水圧を過小に評価する現象である。それを補うために、ボーリング孔内にインナーパッカーを設置する事例が長崎県で実施されている。

(1) 埋設型間隙水圧計

すべり面付近の地下水帯に埋設した水圧計により間隙水圧を直接測る方法である。測定原理により、カサブランデ式、圧気式および電気式に分けられる。

一般的に多く使われている電気型間隙水圧計の原理は次のとおりである。

電気式間隙水圧計は、水圧のみが測定できる構造を有し、先端は地下水を取り込むポーラスなフィルターと、地下水の間隙圧によって変化する受圧要素及び電気信号に変換する部分からなる。電気信号がコードで地上に設置された指示計に伝達され、指示計には水圧として表示される。

電気式間隙水圧計の設置には、押し込む方法と埋め戻す方法の2種類がある。

埋設型間隙水圧計は、間隙水圧を直接計測できる利点があり、良好なデータが得られると考えられる。しかし、深いすべり面への設置やメンテナンス等には技術を要するという指摘もある。

(2) 部分ストレーナ孔

ボーリング孔に設置する保孔管の観測した帯水層の部分のみにストレーナ加工して観測を行う方法である。

部分ストレーナ孔による観測は、複数の帯水層がある場合や逸水層がある場合でも、目的とする深度にストレーナ区間を限定することで、地すべりのすべり面付近の間隙水圧を観測できる利点がある。

2 埋設型間隙水圧計と部分ストレーナ孔の利点、不利点及び留意事項

(1) 埋設型間隙水圧計

利点としては、間隙水圧を直接測ることができ、良好なデータが得られることである。しかし、埋設後の確認や点検ができない、回収できないという不利点がある。このためには、設置前にセンサー部分の破損がないかどうかを点検する必要がある。また、地すべり移動による連結管の切断や設置時における気泡の混入、電気回路のショートなどで誤動作が起こる場合があるので注意が必要である。

(2) 部分ストレーナ孔

利点としては、すべり面の間隙水圧を正確に観測することである。そのため、部分ストレーナ孔を設置できるのは、既往調査によってすべり面の深度が明らかな場合や、すべり面の地質的特徴が明らかで、コア観察ですべり面が特定できる場合である。また、他の帯水層からの水の回り込みや漏水を防止する工夫が必要で、設置が難しい。

観測孔設置後は、目詰まりを防止するため孔内洗浄を十分に行う。計画した部分ストレーナ孔が正しく設置されているかを確認する。また、間詰めに際しては、間詰材と保孔管に巻くフィルター材は地下水の流動性とフィルター効果に基づいて素材を選定する必要がある。

6-4 地下水検層

【解説】 p44

地下水検層は、ボーリング孔内の地下水に対して、指標となる電気抵抗又は温度等を連続的に測定し、その値の変化の傾向から地下水の動態を鉛直的に把握するものである。

測定には、流動状況等を判断して適切な調査方法を選択する。

〔参考〕 p43

1 電気抵抗を測定する方法

検層方法には、ボーリング孔内の状況により、自然水位検層、汲み上げ検層及びステップ検層等の方法がある。

(1) 自然水位検層（食塩水検層）

ボーリング孔内に、食塩等の電解質を投入し溶解させて、孔内水の電気抵抗をあらかじめ下げておき、地下水流動層から流入する地下水との置換希釈による抵抗値の変動を垂直的に測定することにより、地下水の流動状況を把握するものである。なお、塩分濃度が高い地層では、真水を入れその抵抗値の減少を測定する場合もある。

(2) 汲み上げ検層

流動性に乏しい地下水層を確認するためには、強制的に孔内水を汲み上げて孔内水位を下げ、動水勾配を急にして地下水検層を行うものである。

(3) ステップ検層

地下水検層は、孔内水が存在するのが条件であり、不透水層を破ると孔内水が逸水する場合に、ボーリングの掘進と平行して一定の掘削区間ごとに孔内を洗浄し地下水検層を行うものである。

2 温度を測定する方法

温度計を用いて、孔内水の温度を深度ごとに測定し、地下水の流動による温度変化により地下水の流動状況を垂直的に把握するものである。

測定方法には、ボーリング掘削後孔内が泥水で満たされているときの温度変化を測定するもの、孔内に温水（冷水）を注入することにより強制的に孔内温度をかく乱して温度勾配の変化をみるもの、及び自噴中の温度分布と静止状態での温度分布を調べるもの（主として温泉性での熱水貯留層の特性を調べる。）がある。

〔解説〕の補足説明

1 汲み上げ検層

汲み上げ検層は、孔内水を強制的に汲み上げることによって孔内水位を下げ、ボーリング孔内の圧力水頭を地下水帯の圧力水頭以下に低下させることによって、ボーリング孔内への地下水の流入を促して検層する手法である。

2 地下水検層における測定とデータの整理

(1) 測定

測定には誘電率（伝道度）計を用いる。最初にバックグラウンドを把握するために、孔内水位の測定を行い、続いて各深さでの水抵抗値を測定する。次に、食塩水を投入して攪拌溶解させ、その直後から適切な時間間隔で各深さでの電気抵抗値を測定する。

(2) データの整理

地下水検層の結果をもとに、置換希釈した地下水流動層がわかるように、各深さごとの比抵抗値の時間変化解析図に整理する。

3 地下水検層の手順

電気抵抗を測定する方法において、自然水位検層から汲上げ検層への流れは次のとおりである。

- (1) バックグラウンド値の測定
- (2) 食塩の投入
- (3) 自然水位のまま所定の経過時間ごとの水比抵抗を測定
- (4) 食塩再投入
- (5) 孔内水を汲上げながら経過時間ごとの水比抵抗測定

4 地下水検層の留意点

電気抵抗を測定する方法による地下水検層において、次の点について留意する必要がある。

- (1) 電解質をボーリング孔に投入する場合には、攪拌等によりすみやかに均一な溶液状態にする必要がある。
- (2) 地下水の流れが緩慢な場合には、ボーリング孔の下方ほど電解質溶液の濃度が大きくなることがある。
- (3) 地盤の地下水位がボーリング孔の水位より低い場合は、地下水が流入しにくくなる。このような場合には、孔内水を汲み上げ、ボーリング孔の水位を低下させながら実施することもある。

6－5 地下水追跡調査

〔解説〕 p45

地すべり調査における地下水追跡調査は、トレーサーにより地下水の供給源、供給経路、流速等、地下水の流動動態を把握するために行う。

1 測定

上流の地下水賦存が確認できる位置からトレーサーを投入した後、地下水が流達すると想定される位置で一定時間ごとに地下水を採水し、トレーサーの溶存濃度を調べる。

2 トレーサーの種類

調査に用いるトレーサーは、水に良く溶け安定した物質で、土粒子等に吸着されず、検出が容易で毒性がないこと等の条件を備えたものを使用する。一般的には、食塩を用いるが、蛍光染料等を用いることもある。

3 データ整理

調査の結果は、バックグラウンドを超える値が検出された場合をもってトレーサー検出とし、これより地下水の流路及び流速を推定し、図表に取りまとめる。

6-6 簡易揚水試験

〔解説〕 p46

簡易揚水試験は、掘進中のボーリング孔において、一定の区間ごとに孔内水を汲み上げて揚水量、水位の回復状況を測定し、各区間ごとの地下水量及び透水係数を求めるために行う。

1 測定

試験は、一定のボーリング掘削区間長（標準 3m）ごとにボーリング掘進を止めて、試験区間より上部はケーシングパイプにより遮水する。次に、孔内水を一定水位になるまで汲み上げ、その汲み上げ量を測定する。さらに、汲み上げ停止後の孔内水位の回復を測定する。

2 データ整理

簡易揚水試験の結果から水位回復曲線を作成して、各区間の透水係数を求めて、地質 柱状図に揚水量と透水係数を表示する。

〔参考〕 p46

回復法による透水係数の算定は、時間と水位との測定記録から次式を用いて行う。

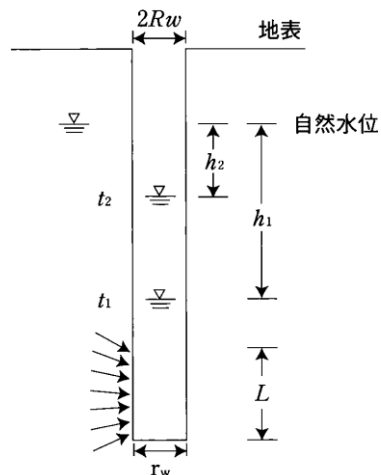


図 2-8 簡易揚水試験

$$k = \frac{(2.3)^2 R w^2}{2L (t_2 - t_1)} \log \left(\frac{L}{r_w} \right) \log \left(\frac{h_1}{h_2} \right)$$

〈2-6-3〉

ここで、

k : 透水係数

R_w : ケーシングの内径半径

t_1 : 測定開始時間

t_2 : 測定終了時間

h_1 : 測定開始水位（自然水位から）

h_2 : 測定終了水位（自然水位から）

L : 先端試験区間長

r_w : 先端試験区間の外径半径

6－7 揚水試験

〔解説〕 p48

揚水試験は、対象とする地下水層に対して揚水孔と観測孔を設け、揚水孔から孔内水を汲み上げたときの揚水量と揚水孔・観測孔それぞれの水位の変動から、地下水量、透水係数等の水理学的定数と異方性、排水に伴う影響半径等を求めるものである。

特に、数多くの地下水排除工を計画する場合に、その配置、規模等を決定するための基礎資料を得ることができる。

1 測定

対象とする地下水層に当たる区間にストレーナ加工を施した揚水孔を設置し、揚水ポンプにより揚水を行う。揚水孔及び周囲に配置した観測孔の水位を測定しながら計画揚水量で揚水し、各水位が平衡状態に達したら揚水を停止し、水位が回復するまで水位の測定を実施する。

2 データ整理

揚水試験の結果を水位変化図、地下水面等値線図等に取りまとめるとともに、透水係数等を算出する。

〔参考〕 p49

1 揚水試験の解析

揚水試験の解析方法は数多くあるが、Thiem(ティーム)の式は次のとおりである。境界面がなく単独井の場合の式が基本形である。

(1) 境界面がない場合の式(基本形)

① 自由地下水

$$Q = \pi k (H^2 - h_w^2) / \ln(R/r_w) \quad \langle 2-6-4 \rangle$$
$$\pi k (H^2 - h^2) = Q \cdot \ln(R/r)$$

ここで、

Q：完全井の揚水量

k：透水係数

H：原水位高

h_w ：井戸水位高

h：井戸中心から r 離れた任意の点 P(x, y)での水位高

R：影響半径

r_w ：井戸半径

r：井戸中心からの距離

② 被圧地下水

$$Q = 2\pi T (H - h_w) / \ln(R/r_w) \quad \langle 2-6-5 \rangle$$
$$2\pi T (H - h) = Q \cdot \ln(R/r)$$

ここで、

T：透水量係数 $= kb_w$

b_w ：被圧帯水厚

地すべり地の場合、被圧地下水が一般的である。

(2) 境界面が一つの場合

① 片側不透水壁の場合

ア 自由地下水

$$Q = \pi k (H^2 - h_w^2) / \ln(R^2 / 2a_1 r_w) \quad \langle 2-6-6 \rangle$$
$$2\pi k (H^2 - h^2) = Q \cdot [\ln(R/d_1) + \ln(R/d_2)]$$

ここで、

a_1 : 実井中心から不透水壁までの距離

d_1 : $[x^2 + y^2]^{1/2} \dots \dots \dots$ 実井からの距

d_2 : $[x^2 + (2a_1 - y)^2]^{1/2} \dots \dots \dots$ 虚井からの距離

イ 被圧地下水

$$Q = 2\pi T (H - h_w) / \ln(R^2 / 2a_1 r_w) \quad \langle 2-6-7 \rangle$$
$$2\pi T (H - h) = Q \cdot [\ln(R/d_1) + \ln(R/d_2)]$$

② 片側が涵養壁の場合

ア 自由地下水

$$Q = \pi k (H^2 - h_w^2) / \ln(2a_1 / r_w) \quad \langle 2-6-8 \rangle$$
$$\pi k (H^2 - h^2) = Q \cdot \ln(d_2 / d_1)$$

イ 被圧地下水

$$Q = 2\pi T (H - W) / \ln(2a_1 / r_w) \quad \langle 2-6-9 \rangle$$
$$2\pi T (H - h) = Q \cdot \ln(d_2 / d_1)$$

この他、群井の場合や互いに直交、又は平行する二つの境界面の式などが提案されている。

2 井戸公式等に用いる用語

原水位高：被圧地下水では任意の基準面、また、自由地下水では不透水層から測った水位面の高さ。

井戸水位（井水位）：井戸壁水位での位置高。井戸内水位とは必ずしも一致しない。

境界面：涵養壁や不透水壁等、地下水文的な不連続面。

涵養壁：そこでの水位高が揚水によって変わらないとする位置。地すべりによる冠頭部亀裂（滑落崖）又は側壁の列状亀裂等は、雨水の浸透によりそこでの水位が容易に上昇する。地すべり防止工事計画としては、そこでの水位が変わらないとするのが安全側であり、排水計画に当たってはそこを涵養壁とする。

不透水壁：地下水文の連続性を区切る境界面。例えば、岩盤地すべりにより生じた頭部 陥没帯の下流側の壁等、そこからの地下水の出入りが無いとする面の位置。

完全井：帯水層を貫通している井戸。

不完全井：帯水層を貫通していない井戸。

複合井：ある半径の円周上に複数本の井戸を配置した場合、それらの井戸と等価な1本の井戸。

群井：同一の影響半径R内に介在する井戸群。群井の重ね合わせはRの範囲内に限られる。

6－8 水質調査

〔解説〕 p51

水質調査は、湧水、井戸及びボーリング孔等の孔内水の化学的特性を調査し、地下水経路の違いやその水質特性を把握するために行うものである。調査方法は、現場で実施可能な現地測定と採水した試料で定性・定量分析を行う室内試験があり、現地状況に合わせて、調査方法、調査項目を選択する。

1 現地測定

現地で簡易な計測器を用いて行う方法であり、項目は限られるが数多くの地点を調査でき、時間経過による水質の変化を避けることができる。一般的に行われる調査項目は、水温、pH（水素イオン濃度）等の基本的な要素のほかに、溶存イオンの総量に関連する電気伝導度や溶存酸素等がある。

2 室内試験

採水した試料を用いて水質分析(JIS K 0101、JIS K 0102 等)を行い、精度が高い詳細な水質特性を調査する。一般的に行われる分析項目は、pH、電気伝導度、主要イオン（下記）、ケイ素の量等である。

主要陽イオン：ナトリウムイオン、カリウムイオン、カルシウムイオン、マグネシウムイオン等

主要陰イオン：塩素イオン、硫酸イオン、アルカリ度（炭酸水素イオン）等

〔解説〕の補足説明

1 留意点

地下水の水質特性を把握する場合には、降雨や融雪期の影響を受けないように、原則として天気の安定した時期に調査を行うものとする。

2 地すべり防止工への影響

強酸性の地下水、表流水が存在する火山地帯では地すべり防止工に影響を与えることがあるので、その影響度を把握するために水質調査を行う。

3 データの整理

水質調査の結果は、次の項目を明記し、図表に整理しておく。

- (1) 採取個所、採水方法
- (2) 採水日時、天候
- (3) 水質の測定、分析方法

6－9 地下水流出量調査

〔解説〕 p52

地すべり地内からの地下水の流出を把握するために、湧水、井戸、ボーリング孔等からの流出量を調査するものである。

地下水流出量の測定法には、次の3つの方法がある。

- 1 容器による測定方法
量水枡又は量水箱を使用して、時間あたりの水量を手動で測定する。
- 2 量水堰による測定方法
ノッチをつけた量水堰を作り、水位を自記水位計等で測定して流量公式（JISB 8302 等）により流出量に換算する。
- 3 流量計による測定方法
パーシャルフリューム（JIS B 7553）、堰型、転倒ます型の流量計又は電磁流量計により測定する。

6－10 取りまとめ

〔解説〕 p53

地下水調査の結果は、地下水圧や地下水の平面的、垂直的な分布を把握するための重要な基礎資料であり、平面図、地質断面図等に整理するとともに、すべり面に働く地下水圧や地下水の状況についても考察を行う。

第7節 地表移動量調査

7-1 総説

〔解説〕 p53

地表移動量調査は、地中変動量調査と合わせて移動量、移動方向、移動速度を把握し、地すべりブロック区分の確定の資料とする。

調査種は、次を標準とし、現地の状況に応じて選択する。また、必要な場合には、地上及び地中の自動測定システムとを組み合わせ、自動観測化する。

- 1 標識観測
- 2 地表伸縮計
- 3 地盤傾斜計

7-2 標識観測

〔解説〕 p54

標識観測には、簡易変位板、標柱・標識観測があり、現地状況等に応じて適切なものを実施する。観測結果は、平面図、移動量測定図等に取りまとめる。

1 簡易変位板

簡易変位板は、地すべり亀裂等を挟んで杭を設置し、その両端に切れ目の入った貫板を固定することで、このずれ量を測定するものである。

2 標柱・標識観測

標柱・標識観測は、地すべり移動方向が不明瞭な場合や、移動が激しい場合に用い、標柱や標識を設置し、測量等により地すべりの移動実態を把握する。

観測には種々の測量方法があり、調査の目的に合ったものを選択する。

〔参考〕 p55

標柱・標識観測の方法

地すべり調査では、次の方法が一般に用いられる。

1 見通し線測量と高低測量

地すべり地を挟んだ両不動地に基準点を設け、それらを結ぶ見通し線上に測標を設定し、見通し線からの変位を測量する。測量には、トータルステーションや光波測距儀等を用いる。

2 三角測量等による方法

標柱又は標識を不動地点2箇所以上の測点から三角測量等により測量し、移動量を把握するものである。

3 空中写真

地すべり地内外に測標を設定して空中写真を撮影し、一定期間後に再撮影したもの又は図化した地形図との比較により移動量を把握する。この場合、空中写真の縮尺は、地すべり移動の激しい場合は3000分の1～5000分の1、移動の少ない場合は500分の1～1000分の1（ヘリコプターによる撮影）とする場合が多い。

4 GPS測量

一般に、静的干渉測位法と呼ばれる方法が用いられる。これは、地すべり地外と地すべり地内に設置したGPS受信機で4個以上の衛星からの電波を受信し、その位相差から受信機器の相対位置を高精度に求める測量方法である。

〔解説〕の補足説明

- ・GPS測量の精度は、約100万分の1で距離10kmで誤差1cmであるが、山間部で誤差1cmを確保することは難しい。時系列観測でトレンドをとると精度は向上するが、年に数回スタティック観測する程度では誤差1cmを確保するのは難しい場合がある。特にZ軸方向の誤差は大きくなる傾向がある。
- ・GPS測量では、仰角15°以上の衛星を利用するため、観測地点の上空視界が確保されている必要がある。支柱高さは一般的には1～2m程度であるが、上空視界が確保できない場合は、高くする。ただし、支柱が高くなると支柱自体の変形による誤差が大きくなる点に留意しなければならない。
- ・設置後、GPSアンテナの上空視界を保つように樹木の伐採等、維持管理をする必要がある。

7-3 地表伸縮計

〔解説〕p56

- 1 計器は、顕在化した亀裂等を対象に設置し、地すべりの移動方向に平行にインバー線等を張るよう努める。
- 2 地すべりブロック全体の動きを捉える場合、長大な斜面の場合等には、連続して数基の地表伸縮計を設置することがある。
- 3 記録には、自記式のほか自動観測等で使用される電子式の記録計も用いられるため、目的等を勘案して選択する。

〔解説〕の補足説明

1 データ整理方法

- ・観測結果は、横軸に時間、縦軸に累積移動量を取り整理する。同グラフには降水量あるいは観測地点周辺の地下水位を併記し対照できるようにする。

2 判定方法

標準的な判定基準として藤原（1936）や地すべり観測便覧を参考にできる。

参考文献：藤原明敏：地すべり調査と解析（谷口敏雄 監修）、理工図書、1976

地すべり観測便覧編集委員会：地すべり観測便覧、地すべり対策技術協会、2012

3 留意点

- ・不動点と移動点の距離は最大15m程度までとする。
- ・ブロック側部に設置する場合には極力、移動方向と平行に設置する。

- ・地すべり頭部に設置する場合は、沈下方向の移動の影響を強く受けるため、伸縮計に記録される移動量は真の移動量より大きくなる可能性がある。

7-4 地盤傾斜計

【解説】 p56

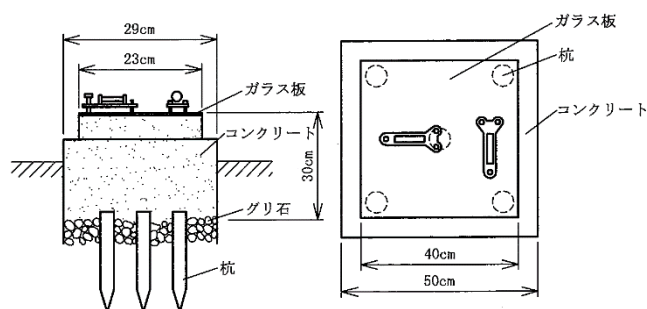
- 1 地盤傾斜計には、手動観測による水管式傾斜と自動観測で使用する電子式センサによる地盤傾斜計があり、調査の目的に合ったものを選択する。
- 2 水管式傾斜計は計曲率半径の大きい水準器を用いた高感度な測定器で、2本の水準器をT字型に直交させることにより傾斜量を合成し、その地点における傾斜方向と傾斜量を求める。
- 3 水管式傾斜計は、地表に移動の徴候が出現しないようなわずかな動きを把握することができるため、極めて動きの少ない地すべりの範囲を決定する場合や、一旦地すべりが停止した後、再び移動の徴候を把握するときなどに用いる。

【解説】の補足説明

1 設置方法

水管式傾斜計は地盤の乾燥や湿潤、凍上などによる変化の影響を受けやすいため、コンクリート基礎台の上に設置する。

コンクリート基礎台は地表から 20cm 程度掘削し、砕石を敷き、杭を打ち、コンクリートを打設する。コンクリート表面にはガラス板を張り水平とする。水管式傾斜計では、水準器を南北と東西の 2 方向にさせ、主軸は北側、東側として設置する。



補足図 2-2 地盤傾斜計の設置例（渡、1970）

電子センサ式傾斜計については、各メーカーにより設置方法が定められているためそれらを参照する。なお、センサは気温の影響を受けるため、温度変化を極力抑える工夫が必要である。

2 設置位置

地盤傾斜計は 1 ブロックあたり 1～3 箇所程度配置する。ブロックが細分化されておらず、塊として移動する場所を選定する。急崖や大木の側では地すべり以外の変動が観測されることになるため避ける。

水管式傾斜計は高感度なため、一般的な天然現象や地盤変動の固有周期等をノイズとして捉えてしまうことがある。このため、調査地域の傾斜変動のバックグラウンドを測定し、地すべりによる変動の判定基準とするため、地すべり地周辺の不動地にも 1 箇所設置する。

3 データ整理方法

観測結果は、縦軸に累積変動量、横軸に時間を取り整理する。同グラフには降水量あるいは観測地点周辺の地下水位を併記し対照できるようにする。また、変動方向を把握するために 2 方向の傾斜計の観測結果を合成して、累積変動量方向図としてとりまとめる。

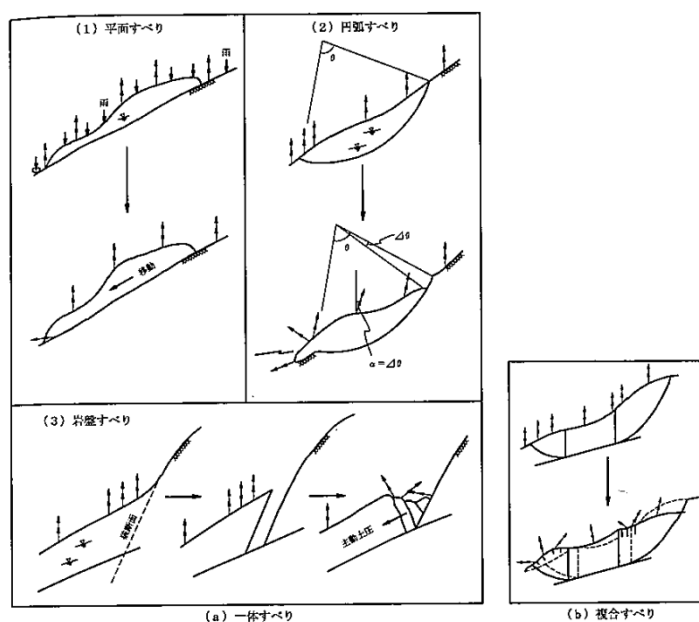
4 判定方法

傾斜変動の傾向は、すべり面の形状とブロック内の位置によって異なるため、観測結果の判定はこれらを十分に考慮して検討する必要がある。

標準的な判定基準として藤原（1936）や地すべり観測便覧を参考にできる。

参考文献：藤原明敏：地すべり調査と解析（谷口敏雄 監修）、理工図書、1976

地すべり観測便覧編集委員会：地すべり観測便覧、地すべり対策技術協会、2012



補足図 2-3 すべり面形と地表物の傾き（高速道路調査会）

5 留意点

地すべり活動による地表傾斜の変動は、植生や表土層の締り具合や含水等の地表の状態、地表面すべり面の位置や亀裂の分布、移動土塊や岩塊の性状や分布等の内部構造などの影響により、運動していく過程で複雑な現象となるため、判定が難しい場合がある。

7－5 取りまとめ

〔解説〕 p57

地表移動量調査は、地すべりの移動方向、範囲等を把握するために行うものであることから、その後の作業であるブロック区分の把握や調査種の選定等に資するように取りまとめる。

その際、既存の平面図等に移動量、移動方向等を図示し、地中変動量調査と関連付けができるようにする。

第8節 地中変動量調査

8－1 総説

〔解説〕 p57

調査種は、次を標準とし、現地の状況に応じて選択する。

- 1 パイプひずみ計
- 2 孔内傾斜計
- 3 地中伸縮計
- 4 多層移動量計

地中変動量調査は、ボーリング孔内に生ずる変状を計測して地すべり活動を調査するものであり、すべり面の位置、移動量（移動時期・速度）、移動方向、移動層の変動等、地すべり機構の解明に重要な資料を得ることが可能である。

また、施工効果判定や維持管理の資料を得るためには、一定期間継続して調査を実施する。

〔参考〕 p58

すべり面測かん

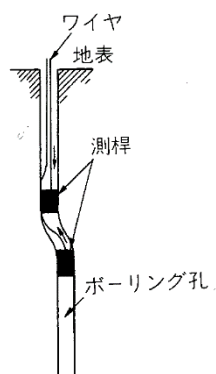
すべり面測かんは、ボーリング孔内に測かんを吊るしておき、一定期間ごとに測かんを引き上げ、地すべり活動により屈曲している場合、測かんが止まることにより、すべり面の位置を確認するものである。また、孔口から測かんを挿入することもある。

この方法は、地中の変動量を定量的に把握することはできないが、簡単かつ確実であるため、他の調査種の補助として使用することが多い。

〔解説〕の補足説明

測かんの長さを変えることにより、屈曲の程度を判断することができる。一般には 0.5～2.0m の長さのものが用いられる。

なお、複数のすべり面が想定される場合は、深さを変えて複数の測かんを設置することがある。



補足図 2－4 すべり面測かんによる観測（渡・小橋、1987）

8-2 パイプひずみ計

〔解説〕 p58

パイプひずみ計は、パイプのたわみの変化を一定間隔で貼り付けたひずみゲージにより計測する。通常は、パイプの外側に 1.0m 間隔を標準として 1 対のひずみゲージを貼り付け（1 方向 2 ゲージ式）、地すべりの移動方向に合わせてボーリング孔に挿入する。なお、地すべりの移動方向が明確でない場合には、直交する 2 方向にそれぞれ 1 対のひずみゲージを貼り付ける（2 方向 4 ゲージ式）ことにより、ベクトル解析して移動方向を特定する。

〔解説〕の補足説明

1 設置方法

パイプひずみ計観測と水位観測案を併用する場合は、パイプと孔壁との空間は砂で確実に充填する。砂は水締めしながら充填すると良い。パイプひずみ計専用孔とする場合は、セメントミルクを充填する。セメントミルクと比較し、砂詰めは地山との密着性に問題があり、観測値のノイズが大きくなるため、出来ればパイプひずみ計専用孔とすることが望ましい。

設置に当たっては、パイプのたわみが地すべり移動方向（谷側）に凸となる場合に、プラスのひずみが観測されるように設置する。

調査深度が深くなる場合には、ひずみゲージからのリード線の本数が増えるため、ボーリング孔の孔径を大きくするなどの対応が必要である。また、2 方向 4 ゲージの場合は、さらにリード線が増える。自重によりパイプのたわみも懸念されるため、一般的にはゲージ間隔が 1m の場合、30m 程度までが標準である。

2 データ整理方法

観測結果は、最深部から歪量を積分した値を時系列で表示したひずみ柱状図や、深さごとのひずみ量の時系列変化を整理した深度別ひずみ累積図を作成する。これらのグラフには柱状図や地下水位、降水量を併記し、対比できるようにする。

3 判定方法

地すべり性の変動は累積性を示すため、突発的なものや回帰性があるものは非地すべり性と考えられる。

標準的な判定基準として藤原（1936）や地すべり観測便覧を参考にできる。

参考文献：藤原明敏：地すべり調査と解析（谷口敏雄 監修）、理工図書、1976

地すべり観測便覧編集委員会：地すべり観測便覧、地すべり対策技術協会、2012

4 留意点

パイプひずみ計は、地盤環境によって異なるが、観測期間が長くなるとリード線の被覆が劣化し、絶縁が低下して精度が悪くなるため、寿命は 1～3 年程度である。

パイプひずみ計の観測記録がゲージ異常によるものか否かを判定する方法としてすべり面測かんを用いて、パイプの曲げを調査する場合がある。

8-3 孔内傾斜計

〔解説〕 p59

孔内傾斜計は、直交した2方向に案内溝をもつガイドパイプを、ボーリング孔に挿入・固定し、そこに計測器（プローブ）を挿入することで、ガイドパイプの傾斜を連続的に測定し、すべり面の位置、移動量、移動方向等を調べるものである。

測定は、一般に 50cm 程度の間隔で行い、2方向の変位から地すべりの移動方向を求める。

なお、孔内傾斜計は高感度であるが、ガイドパイプ変位が大きくなる（5～10cm 程度）と、挿入が困難になる。

〔参考〕 p59

設置型孔内傾斜計

連続的に同深度で傾斜を測定することができるように、地中に傾斜センサを埋設して使用することもある。

〔解説〕の補足説明

1 設置方法

ボーリング孔の削孔径は、孔底で最低φ86mmを確保する。ボーリングの深度は、不動層に十分に根入れできるように設定する。極力、孔曲がりしないように適切な掘進条件とツールスを用いてボーリングを行う。

ガイドパイプをボーリング孔に挿入後、孔壁との空隙にグラウトを行って固定する。深度が 50m 以上となる場合にはグラウトホースを多段で設置し、孔底に近いホースから順に注入する。その際には次のホースの先端まで充填剤が上昇してきたのを確認し、次のホースに移る。孔口から充填剤があふれ、泥水と完全に入れ代わったことを確認して注入する。漏水や孔壁の崩壊が著しい場合には確実にグラウトするためにパッカーの使用を検討する。グラウト後は1週間程度の養生期間を設ける。

深度が深いガイドパイプでは、孔曲がり等の影響で挿入時にねじれが発生する可能性がある。そのため、案内溝の方向と地すべり移動方向とのずれを、ガイドパイプ方位測定器を用いて測定し、観測結果の補正を行う。

ガイドパイプの材質は、アルミ、ステンレス、樹脂があり、アルミパイプが用いられることが多い。ステンレスや樹脂製パイプは腐食環境下で使用する。

2 測定・データ整理

測定は、孔内傾斜計プローブをガイドパイプの案内溝に合わせて挿入し、鉛直に対する傾斜を、直交する2方向に対して、深度 50cm ごとに正逆2回計測する。地すべりの移動方向が明瞭な場合は、1方向のみの計測を行う場合がある。

測定に当たっては、温度変化により測定誤差を少なくするため、孔内傾斜計を孔底に十分な時間静置してから測定する必要がある。

計測した傾斜角は、「たわみ」などに変換してすべり面の位置及び移動方向が明確に判断できるようにとりまとめ、2方向の変位を合成し、地すべりの移動方向を求める。

孔内傾斜計プローブは、精密機械のため取扱いに注意するとともに、整備点検を十分に行う必要がある。プローブを挿入する際は、ゆっくりと降下させる。

3 留意点

観測孔とプローブ、あるいはプローブとケーブルの組み合わせを変更すると、測定値の誤差が大きくなる。計測器を変更する場合には、変更時点を初期値とする。

ガイドパイプは変形や損傷がない限り測定が可能であるため、対策工事完了後の効果判定や維持管理のための計測に適している。ただし、案内溝は測定を繰り返すと次第に摩耗することから留意する必要がある。また、プローブについては耐用年数が限られているため、適宜、点検、校正等を行う。

8－4 地中伸縮計

〔解説〕 p60

地中伸縮計は、すべり面を貫通したボーリング孔（保孔管）に設置したワイヤーの伸縮量により移動量を計測するもので、ワイヤーが切断されない限り計測を行うことができるため、移動の大きな地すべりに適している。

地中伸縮計は、ボーリング孔以外でも集水井等に設けることがある。

〔解説〕の補足説明

1 設置方法

地中伸縮計はすべり面下の基盤まで十分掘削したボーリング孔の孔底に、ワイヤーの先端をグラウトにより固定する。

ワイヤーは、動きやすいように保孔管の中を通し、保孔管と孔壁との空隙は砂又はグラウトにより充填する。

2 測定・データ整理

ワイヤーの伸縮量を計測し、移動量として図表に整理する。

3 留意点

地中伸縮計は、地すべりの移動量が大きく、パイプひずみ計や孔内傾斜計では測定不能となる場合に使用する。

地中伸縮計は、地表の沈下や保孔管のひずみにより、ワイヤーの引き込み量がすべり面での移動量と一致しない場合があるので注意を要する。また、地すべりが動き始めてからワイヤーが引き込まれるまで、遊びの区間があるので、注意を要する。

8－5 多層移動量計

〔解説〕 p60

多層移動量計は、すべり面が不明な場合やすべり面が多数ある場合に、すべり面の位置、移動量、移動層の変位を把握するため、多数のワイヤーを深さ方向に一定間隔（標準で 1m 程度）で固定して、各深度ごとの移動量を計測するものである。

上部の沈下量の修正ができ、測点間の移動量も測定できる。

〔解説〕の補足説明

1 設置方法

多層移動計は、深度毎のワイヤーが塩ビパイプに保護されており、ワイヤーは塩ビパイプの接続部に固定された誘導盤をとおして地上部に導かれている。

塩ビパイプは 1m 毎に、同一方向に合わせながらブリキ板をビスで確実に固定し、孔底まで挿入する。パイプ接続の際にはワイヤーが交差しないように注意する。塩ビパイプの最下端には固定用のアンカー体に取り付けられており、セメントペーストを注入して孔底に固定する。

地上部では、ワイヤー深度毎にステンレス定規上を通し、先端を錘やバネにより緊張させる。その際、余ったワイヤーは移動量が大きい場合を想定して切断しない方がよい。

2 測定・データ整理

ワイヤーの伸縮量を計測し、各層の移動量の把握及びすべり面の位置が判定できるように図表に整理する。

3 留意点

多層移動量計は移動量が大きな地すべりで、すべり面が不明あるいは多数ある場合に用いられる。

地表の沈下により、ワイヤーの引き込み量が移動量と一致しない場合がある。その場合には、地盤沈下の影響を除くため、1つ上の深度の観測値を引いて、その測点のみの変動量を算出する方法がある。

また、地すべりが動き始めてからワイヤーが引き込まれるまで、遊びの区間があるので、注意を要する。

8－6 取りまとめ

〔解説〕 p61

地中変動量調査の結果は、地すべりのすべり面形状や移動状況を把握するための重要な基礎資料であり、地下水調査等の結果と対比しながら時系列的に図表に整理するとともに、すべり面の位置や移動状況について取りまとめる。

第9節 気象調査

9－1 総説

〔解説〕 p61

気象調査は、地すべり地及びその周辺において、降水量や積雪量を調査することにより、地すべり移動と降雨、積雪との関連を解析する基礎資料を得るために行う。また、気温等を観測して、融雪量を推定することもある。

調査種は、次を標準とし、現地の状況に応じて選択する。

- 1 降水量調査
- 2 積雪量調査

なお、現地での観測を実施できない場合は、最寄の気象観測所の観測データを利用することがあるが、必要に応じて、適正な方法で観測データを補正する。

〔参考〕 p62

一般気象調査

地すべり防止工の計画、設計で、必要に応じて気温、湿度、風速、風向、日射量、日照時間等の一般的な気象データを継続観測し基礎資料とする場合がある。

〔解説〕の補足説明

流域平均雨量の算出方法として、算術平均法やティーセン法がある。算術平均法は、流域内の各雨量観測所の観測値を単純平均する方法である。ティーセン法は、各観測所の支配面積に相当する重み付けをして平均雨量を計算する方法である。これらの方法は、降雨に対する地形の影響が大きい山地などでは誤差が大きくなる可能性がある。

気温は、おおよそ $-0.6^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ の標高補正を行う。

9－2 降水量調査

〔解説〕 p62

降水量調査は、雨量計により現地の降水量を測定し、降雨と地すべり移動の関係を明らかにする調査である。使用する雨量計は、自記記録計又は自動観測システムに接続した転倒ます式雨量計を標準とする。

〔解説〕の補足説明

積雪地帯においては、冬季の降雪量を降水量として測定するためには、雨量計に融雪装置を付けたものを用いる。融雪装置は、ヒーター式、温水式、溢水式がある。いずれも加熱するため100V電源が必要となる。また、降雪の捕捉率を向上させるため、ナイフアー（風よけ）を取り付ける。

設置場所は、建物や樹木等の障害物がない開けた平坦な場所を選定する。また、地面からの跳ね返りがないような高さとする。

9-3 積雪量調査

〔解説〕 p63

積雪量調査は、積雪深を現地で観測することを標準とする。

積雪は、場所により密度が異なるので、本来は水量に換算した積雪水量を測定するが、積雪水量を直接測定することは困難であるため、積雪深を指標とした調査を行う。

積雪深の継続観測には、次の2つの方法がある。

1 雪尺による方法

現地に立てた雪尺の目盛りを読むことにより積雪深を測定する。

2 積雪深計による方法

超音波式や光センサーを利用した積雪深計を設置し連続的に観測する。

〔参考〕 p63

融雪量調査

地すべり活動の誘因として融雪がある。この量を把握するため、以下の方法が用いられる。

1 積雪水量変化

積雪水量変化は、積雪水量の時間変化から融雪量を推定するもので、融雪量のほかに、雪内の含水量の増減、降水・降雪量を加味して求める。

2 融雪水流出法

融雪水流出法は、雪が融けて流出した流量から融雪量を見積もるものである。この方法としては、ライシメーター法、流域流出法がある。

3 デグリーディ法

デグリーディ法は、積算気温法ともいい、時間平均（例えば1日や1時間）の気温と基準温度との差を一定期間について積算し、その相関から融雪量を簡便に求めることができる。

〔解説〕の補足説明

1 観測位置

積雪は、地形や森林の状況により異なるので、観測箇所は、平坦で開空度が高い場所を選ぶ必要がある。

2 積雪深計

超音波式の積雪深計では、気温によって超音波速度が変化し、積雪深の計測値に影響がするため、気温を同時に測定し、補正する。

3 融雪量調査

融雪量調査には以下の方法がある。

（1）雪面低下法

積雪表面の低下量と消雪した層の乾き密度の積から融雪量を求める方法である。

融雪期には積雪層の沈降圧縮が無視できるほど小さくなる。また、雪面からの蒸発・凝結量も小さいので、融雪期の雪面の低下は融雪によるものが主となる。さらに融雪期には、積雪の密度が $0.5 \sim 0.55 \text{ (g/cm}^3\text{)}$ と一定となるため、雪面低下法は融雪量の計測に適している。

積雪の単位体積当たりの重さ（氷＋水）を濡れ密度、氷だけの単位体積当たりの重さを乾き密度といい、濡れ密度に「1-重量含水率」を乗じると乾き密度が求まる。

（２）融雪パン法

融雪水が底から抜けるように工夫した容器に雪を入れて雪面近くに埋めておき、その重量変化を容器の底面積で割って融雪量を算定する方法である。

数時間程度の融雪量を求める方法として活用されるが、容器による日射の吸収や雪との比熱の違いによる融雪環境の変化等により誤差が大きくなりやすいため、長期間の観測には適さない。

（３）スノーサンプラー法

スノーサンプラーで積雪水量を測定しておき、その時間変化から融雪量を求める方法である。断面観測やスノーサーベイで全積雪量の変化を測定する方法と、表面から積雪層内のある目印（例えば氷板）までの水量の時間変化から融雪量を測定する方法である。

調査箇所は、断面観測の場合、地表面が平らな箇所で均一に積雪のあるところを選定する。スノーサーベイの場合、周辺の複数点で測定し平均をとる。また、次の測定予定場所を荒らさないことが大切である。

（４）ライシメータ法

積雪中層、積雪下面あるいは地中に集水容器（ライシメータ）を敷設し、融雪水量を雨量計または流量計で測定する方法である。

ライシメータ法は、融雪のほか、積雪に降った降水も観測できるため、地表面に到達する水量を観測できる有効な方法である。

ライシメータ法では、融雪水がライシメータに有効に捕捉されるように工夫する必要がある。積雪層内では、不透水の氷板が形成されることで、地中と同じように水ミチが形成される。そのため、積雪深が深くなるほどライシメータによる捕捉率が低下するため、ライシメータを大きくする必要がある。ライシメータの１辺の長さは最大積雪深程度とする。ただし、ライシメータの大きさは、山間部での平坦地を確保できる場所や流量計の容量にも制限される点に留意する必要がある。

（５）流域流出量法

流域末端での河川流量の観測から、流域の融雪量を推定するものである。融雪の浸透に対して河川流出には遅れが生じるため、長期間の融雪量を見積もるのに適している。

融雪期の流量は、通常の流量と比べオーダーが異なるため、最大流量を測定できる測定法を用いる必要がある。

４ 融雪量推定法

熱収支に基づいた融雪量の推定法は以下の方法がある。

（１）熱収支法

熱収支法は、気温、湿度、風速、日射等から、熱収支を試算し、融雪熱量から融雪量を推定する方法である。本方法は、多数のセンサを必要とし、観測所も広い面積が必要となる。

(2) デグリーディ法 (Degree-Day 法)

ある期間における融雪量と日平均気温から基準温度を引いた正の積算値との関係から融雪量を求める方法である。この両者の関係には地域に特有の関係があり、その係数を融雪係数と呼ぶ。基準温度は融雪が発生する温度で、 0°C 又は -3°C とすることが多い。

本方法は簡便な方法で地域性を反映できることから、これまでに様々な式が提案されている。

9-4 取りまとめ

【解説】 p63

気象調査の成果は、年降水量、雨量分布図、最大日雨量、最大時間雨量、連続降雨量、降雪量、最大積雪量等のデータを取りまとめ、図表に整理する。

また、気象調査の結果は、地すべりの誘因を把握するための重要な基礎資料であり、地すべり移動との関連について考察を行う。

第10節 機構解析

10-1 総説

〔解説〕 p64

機構解析は、地すべり調査の結果等を活用して、地すべりの土質条件、発生機構及び移動特性を明らかにし、地すべり防止計画策定のための基礎資料として取りまとめるものである。

機構解析では、次の事項を解明する。

- 1 すべり面の判定
- 2 ブロック区分の確定
- 3 発生機構の解明
- 4 安定解析に用いる諸元の設定

10-2 測線の設定

10-2-1 総説

〔解説〕 p64

測線の設定は、機構解析及び設計・施工等の成否に重要な影響を及ぼすので、慎重に設定する。

〔解説〕の補足説明

地すべりの主測線は、地すべりの縦断方向に設ける。

必要に応じ、主測線に基本的に平行な副測線と、直角方向の横断測線を、各々1～複数本、設定する。

10-2-2 測線の設定

〔解説〕 p65

1 測線の設定

測線は、安定解析等の基準線として利用するほか、現地調査における各種調査の測線網の基準線にすることもあるため、地すべりブロックを代表する位置に設ける。

二次元及び近似三次元の安定解析を行う場合は、測線の設定が解析結果に大きく影響するため、測線の位置、方向及び長さの決定に当たっては、慎重に決定する。

2 測線の設置

(1) 測線の位置及び方向は、現地調査で把握した移動範囲及び移動方向に基づき、地すべりブロックの中心部に移動方向と平行に設ける。なお、斜面で移動方向が変化の場合は、折れ線として設定する。

(2) 測線の長さは、地すべりブロックを縦断し十分に余裕を持った長さとする。

(3) 測線の基準点は、後日照査が可能なように不動地点に設ける。

3 副測線の設定

地すべりの機構や地下水分布等を立体的に把握する場合、地すべりの規模や形態により測線を複数設定する。

副測線を三次元安定解析等の測線として用いる場合は、測線の位置、方向及び長さの決定に当たっては、十分に検討する。

〔解説〕の補足説明

1 主測線

主測線の設定は、結果として防止工事の経費などに大きく影響するので、位置、方向、長さは、慎重に決定する。

(1) 主測線の位置

主測線の位置は、地すべりブロックの中心線に設けることを基本とする。ただし、地すべりの最深部が中心線に位置しない場合には、主測線を最深部に設けた方が望ましい。

(2) 主測線の長さ

測線長は十分に余裕を持ったものとする。

地すべり頭部側は、背後から供給される地下水状況の確認に供するため、十分な長さを確保する。

末端部でも十分な長さを確保する。特に地すべり防止工として押え盛土工を採用する可能性のある場合や、末端横断河川の形状が影響する場合など、すべり面の末端形状が重要となる場合は、必須である。

2 副測線の設定

副測線は、地すべりブロックが大きい、または複雑（非対称）で、主測線のみでは十分な調査成果が得られない場合に設ける。

(1) 縦断副測線

縦断副測線は一般的に主測線と平行に設ける。地すべりブロックの立体的な形状が変則的な場合（例えば、移動土塊の最深部がブロック中心線から外れる場合や、地形傾斜方向と地すべり移動方向が異なる場合など）や、地質・地下水構造が複雑な場合などにも、副測線を設けるべきである。

(2) 横断副測線

横断副測線は、主測線を補助するものとして、地すべりの形態が立体的に把握できる位置に設ける。

方向は、基本的には主測線に直角方向とするが、地形傾斜方向や保全対象を考慮して、慎重に決定する。

長さは、地すべりの側壁や地すべりの範囲の把握に十分なものとする。

3 測線の測量

測線の設定及び測線の設置に基づき、測線測量を行って測線を確定させる。

測線測量は、地すべり活動による亀裂・隆起・滑落崖等の地形変状を正確に表すことができるように行わなければならない。

10-3 すべり面の判定

〔解説〕 p66

すべり面の形状は、安定解析や工種・工法の選定・配置、地すべり防止工の効果に重大な影響を及ぼすため、地すべりが三次元現象であることを念頭に、立体形状をできるだけ正確に把握することが重要である。

判定に当たっては、現地踏査等で得られた知見や地表変動量調査の結果から、地表部のすべり面位置を確定し、その他の現地調査や地中移動量調査、地下水調査等の結果を総合的に判断してすべり面の位置を決定する。

すべり面は、立体形状が分かるよう縦断面図、横断面図、等高線図等に取りまとめる。

〔解説〕の補足説明

1 すべり面の判定順序

すべり面の判定にあたっては、まず、現地踏査などで得られた知見や地表変動量調査の結果から、地表部のすべり面位置を確定する。

次に、地中移動量調査、オールコアボーリング（粘土化、破砕、風化の程度など）、地下水調査（被圧水、地下水流動層、不透水層の存在など）の結果を総合的に判断して、すべり面の位置を決定する。

なお、地表の移動方向・移動量や、地すべり地形から、すべり面の深度や形状を推定できる場合もある。

2 計器の特性を把握した上でのすべり面判定

計測機器の特性なども十分に把握しておく必要がある。

例えば、パイプひずみ計で得られるひずみ値の正負は、ひずみゲージがすべり面の直上にある場合と直下にある場合で異なるので、それによりすべり面の位置が特定できることがある。

3 補充調査について

適切な地すべり断面が得られない場合には、追加の調査を検討することも必要である。

また、時間経過に伴う知見の増加や変化により、当初決定したすべり面に誤りが認められた場合には、すべり面の判断を訂正する場合もあるが、地すべり防止工計画や保全対象なども考慮して、慎重に判断する。

10-4 地すべりブロック区分の確定

〔解説〕 p66

地すべりのブロック区分は、現地調査において把握した地すべり範囲と各種調査結果を総合的に勘案し、すべり面の形状、変状の状態や移動特性等から、最終的にブロック区分を確定するものである。このブロック区分は、安定解析や地すべり防止工事計画の基本単位となる。区分された地すべりブロックについては、各ブロック毎に区分の根拠・理由、移動状況、拡大の可能性、隣接ブロックとの関係、保全対象に対する影響等について明らかにする。

〔解説〕の補足説明

- ・ 地すべりブロック区分の留意点

地すべりブロック区分に際しては、地表で確認した地すべり地形・変動状況や、移動方向・量との整合性を十分に検討する。

また、地質及び地下水構造や、次項に示す地すべり発生機構とも、整合がとれるものとする必要がある。

ただし、実際には、どこまでを一つのブロックとみるか、難しい場合も多い。例えば、ブロックの上部と下部で移動状況が異なる場合、地すべり本体と押出し域に分かれる場合、異なるブロックが同じように動く場合、並列する地すべりの場合の境界の決定の仕方、などである。

このような場合には、地すべりブロックの挙動、地すべり防止工計画、保全対象などを勘案して、慎重に決定する。

特に、上下あるいは左右に隣接する地すべりブロックが、相互に影響を及ぼしているブロックなのか、あるいは無関係のブロックなのかは、地すべり防止工の計画に際して非常に重要となるので、慎重に検討する。

10-5 地すべり発生機構の解明

〔解説〕 p67

地すべり発生機構の解明は、現地調査に基づき滑動の原因となる素因や誘因を究明し、それらと地すべりの移動の関係を解明するものである。地すべり発生機構の解明は、地すべり防止工事計画を立案する上で重要な事項である。

1 地すべりの素因

地すべりの素因とは、地すべりが発生する場所に備わっている発生原因であり、具体的には地形、地質、地質構造、地下水文条件等である。

素因を明らかにすることで、地すべりブロックやすべり面形状を検証することが可能となるとともに、地すべり活動が活発化する可能性の大小についても検討することができる。

地すべりブロック外でも同様の素因を有する区域については、地すべりが拡大する可能性を考慮する。

拡大の可能性が高い場合は、排土工や押え盛土工等の地すべり防止工の組合せに制限が生じるほか、地すべり拡大防止のための計画も考慮する。

2 地すべり発生の誘因

地すべり発生の誘因とは、地すべりが発生するきっかけとなる現象や行為である。

誘因は、自然現象が原因となる場合と人為が原因となる場合に分かれる。

自然的誘因としては、一般的に降雨や融雪に伴う地下水圧の上昇が挙げられるが、その他にも地すべり末端が小規模崩壊や河川の洗掘等で削られることによるもの、積雪荷重や地震によるもの等がある。

人為的誘因としては、斜面の切土や盛土、トンネル掘削等の土工によるもの、ダム湛水によるもの等が挙げられる。

上記の主な誘因を明らかにして、適切な工種・工法の組合せや施工順序を検討する。

〔参考〕 p68

安定解析式を用いてすべり面せん断強さパラメータを逆算する場合には、適切な安全率を与える

が、安全率の検証が可能となるのは、地すべりがすべり始める臨界状態、すなわち安全率 $F_s=1.0$ の場合だけであるので、臨界状態における地下水圧分布を観測データから把握することが望ましい。

〔解説〕の補足説明

・発生機構解明の留意点

（１）素因

素因を特定する場合、地形、地質、地質構造、地下水など、各々に対して、どこ、どのような性状が素因なのかを、検討する。

（２）誘因

地下水が誘因である場合、どの帯水層のどのような性状が誘因なのか、についても検討する。さらに、素因としての地下水と誘因としての地下水の挙動とを、区別する必要がある。

（３）移動特性

- ・誘因の量的な変動（例えば地下水位の変動）と移動量（移動速度）との応答関係について、把握するように努める。

- ・以下のような特性について把握することは、地すべり防止工計画に際し、重要である。

移動時期 …… 豪雨時、積雪期、融雪期あるいは地震時などといった移動時期を特定することにより、誘因の推定につながり、地すべり防止計画の工種選定に役立たせることができる。

移動形態・傾向・速度 …… 移動形態は継続的か断続的か、累積性は顕著か不明瞭か、移動速度は急激か、ゆっくりか等

場所的な関係 …… 複数のブロックがある場合、例えば、あるブロックが動いてから別なブロックが動く、といった相互の関係が分かれば、地すべり防止計画上の鍵となる地すべりブロックに対して重点的に対処することができる。

- ・地すべり末端の位置が、斜面中腹なのか、谷部まで達しているか（対岸まで押し出している場合も含む）によって、その後の安定度が大きく異なることに注意が必要である。

素因的に考えると、地すべり末端が谷部まで達した場合は、地すべり土塊がそれ以上移動することが困難（すなわち安定）である。

一方、谷部の浸食作用が激しい河川の場合、地すべり末端が谷部まで達すると、末端河川の浸食という誘因が働くので、安定度は徐々に（あるいは急速に）損なわれていく、という面もある。

10-6 安定解析

10-6-1 総説

〔解説〕 p68

安定解析の主な目的は、地すべり防止工の効果を地すべりの安全率等を用いて評価し、地すべり防止工の工種・工法及び規模を決定することである。

安定解析は、移動特性を考慮して解析対象とする移動ブロックを特定し、その移動ブロック毎に安全率を計算しながら行う。

安定解析の手順を図 2-9 に示す。

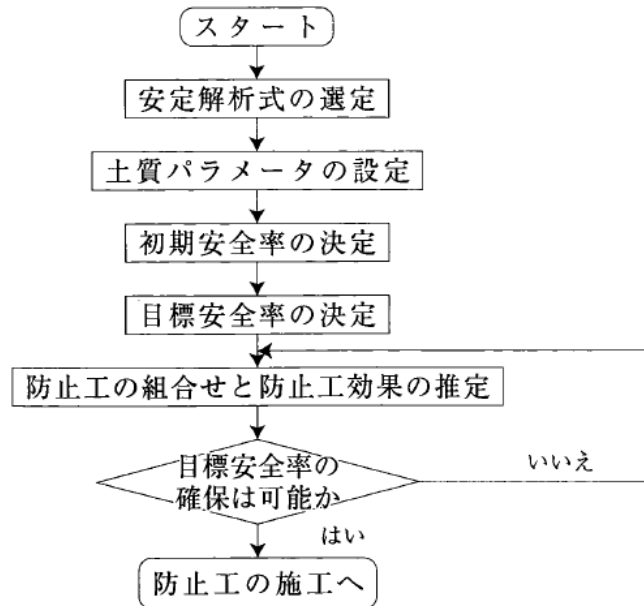
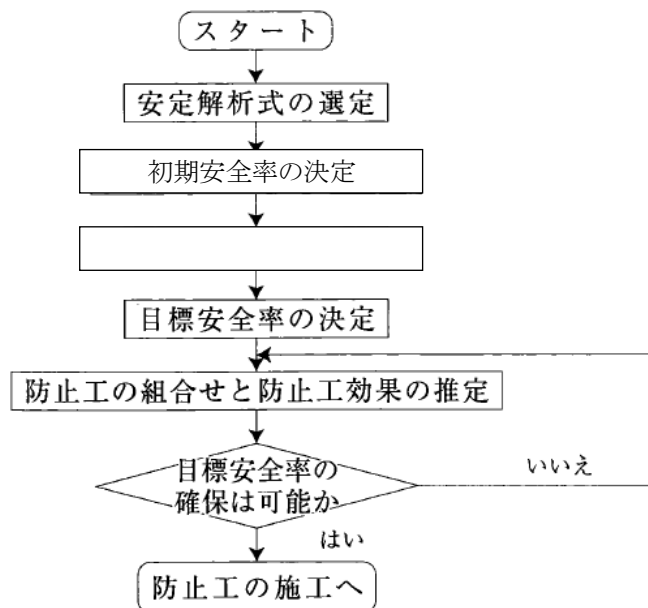


図 2-9 安定解析の流れ

〔解説〕の補足説明

【逆算解析の場合の手順】

逆算解析（10-6-3 [参考]を参照）の場合、以下の手順とする。



10-6-2 安定解析の方法及び種類

〔解説〕 p69

安定解析の方法は、すべり面におけるせん断応力とせん断強さの極限的釣り合いのみを考慮した極限平衡法と、応力-ひずみ関係を取り入れた応力解析法の2つに大別され、地すべりの機構解析及び地すべり防止工事計画に用いる安定解析は、極限平衡法が一般的である。

極限平衡法では、いくつかのスライスに分割して安定計算する分割法が一般的であり、二次元解析と三次元解析の2つの方法がある。

二次元安定解析式の種類は、一般的な式として Bishop (ビショップ) 法、Janbu (ヤンブ) 法等があり、より厳密な式として Morgenstern&Price (モルゲンシュテルン&プライス) 法、Spencer (スペンサー) 法等がある。

安定解析の方法及び種類は地すべりの特性に合わせて選定する。

1 地すべりの規模

地すべりは三次元的な土塊の移動現象であるが、実用的に主断面での斜面の均衡を考えた二次元安定解析が用いられている。しかしながら、地すべり規模が大きい場合や主断面がブロック中央から著しく偏っている場合、地すべりの横断面形状が非対称である場合等は、1つの二次元断面のみで、地すべり全体の安定性や全体の地すべり防止工の効果を適正に評価することが困難となる。このような場合、三次元の安定解析手法を用いることが望ましい。

2 すべり面の形状

二次元安定解析式は非円弧すべりに対応した式と円弧すべりに対応した式に分けることができる。解析に当たっては、すべり面の形状に合った安定解析式を選定する。

(1) 非円弧すべり対応: Janbu (ヤンブ) 法、Morgenstern&Price (モルゲンシュテルン&プライス) 法、非円弧対応 Spencer (スペンサー) 法等

(2) 円弧すべり対応: Bishop (ビショップ) 法、円弧対応 Spence (スペンサー) 法等

3 地下水文条件

一般的に地すべりに作用する地下水はすべり面付近の亀裂帯等を流れているものと考えられ、地下水が有圧地下水又は被圧地下水の場合と判断し、すべり面に作用する水圧のみを考慮する。

〔参考〕 p70

稀なことではあるが、地下水検層等により移動層内全体を地下水が流動すると判断される場合(地下水が自由地下水の場合)においては、すべり面に作用する水圧の他にスライス面に作用する水圧を考慮する。その場合の水圧の与え方には、「全重量及び全間隙水圧を考慮する方法」と「水中重量及び浸透水圧を考慮する方法」がある。

1 被圧(有圧)地下水対応の二次元安定解析式

被圧(有圧)地下水対応の代表的な二次元安定解析式は、次のとおり。

(1) 簡易 Janbu (ヤンブ) 式

非円弧すべり対応の安定解析式は多数提案されているが、代表的な式として簡易 Janbu 式がある。簡易 Janbu 式は実用的な計算精度を持ち、簡易な安定解析式として広く利用されている。

$$F = f_0 \frac{1}{\sum W \tan \alpha + Q} \sum \frac{c' + (W - ub) \tan \phi'}{n_s}$$
$$n_s = \cos^2 \alpha (1 + \tan \alpha \cdot \tan \phi' / F) \quad <2-10-1>$$
$$f_0 \approx \left[50 \frac{d}{L} \right]^{1/3.6}$$

ここで、 f_0 ：修正係数、ただし、 $d/L \leq 0.02$ 以下では $f_0 = 1.0$

Q ：作用する水平力 (kN/m)

W ：スライスの重量

α ：すべり面傾斜角 (°)

c' ：粘着力

b ：細片の幅 (m)

u ：平均間隙水圧

ϕ' ：せん断抵抗角 (°)

L ：舌端部と冠頭部亀裂の深さの点を結んだ直線長

d ： L と L に平行でかつすべり面に接する直線との間の距離

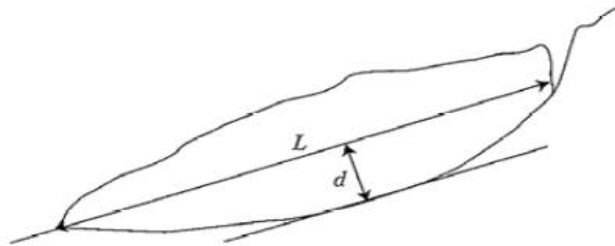


図 2-10 d/L の測り方

(出典)地すべり工学—最新のトピックス— (株山海堂 H7.3)

(2) SHIN-Janbu (シン-ヤンプ) 法

岩盤地すべりにおける陥没帯の形成過程を模式的に示すと図 2-11 のようになる。SHIN-Janbu 法は、岩盤地すべりにおける陥没帯の形成過程の各段階に応じてすべり面のせん断抵抗や陥没帯内の地下水圧の影響が変化することを考慮して、Janbu 式を改良したものであり、その代表的な式として初動すべりの式と一体すべりの式について示す。

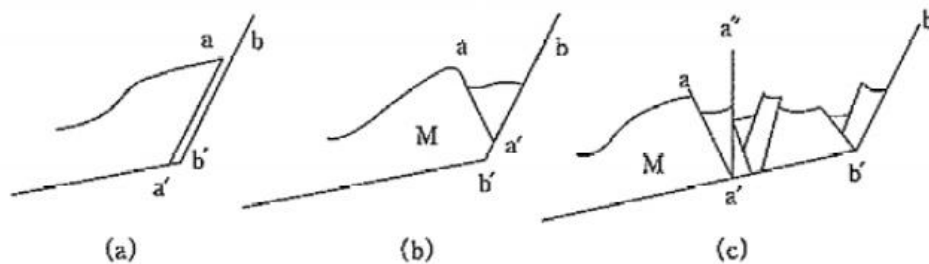


図 2-11 陥没帯の形成過程

(出典) 地すべり工学—最新トピックス— (株山海堂 H7.3)

ア 岩盤初動すべり

初動すべりは陥没帯形成過程の初期段階であり、主滑落崖でのせん断抵抗が十分に発揮されていない状態の安定解析式である。

図 2-12 において、① 面 $a-a'$ に水圧 V が作用する、② 面 $a-a'$ にはせん断抵抗が働かない、③ 細片 n の有効重量は細片 $(n-1)$ と合体させて細片 $(n-1)$ のすべり面に働くこととする。

$$F = f_0 \frac{\sum_{i=1}^{n-1} \left[\frac{c'b + (W - ub) \tan \phi'}{n_{\alpha}} \right] + \frac{W_n' \tan \phi'}{n_{\alpha, n-1}}}{\sum_{i=1}^{n-1} (W \tan \alpha) + W_n' \tan \alpha_{n-1} + Q} \quad <2-10-2>$$

ここで、 W_n ：スライス n の重量 (kN/m²)

W_n' ：スライス n の有効重量 = $W_n - V \cdot \cos \theta$ (kN/m²)

$$V = \frac{1}{2} \gamma_w Z_w^2 / \sin \theta$$

$$Q = V \cdot \sin \theta = \frac{1}{2} \gamma_w Z_w^2$$

γ_w ：水の単位体積重量 (kN/m³)

θ ：亀裂面の水平面に対する傾斜角 (°)

Z_w ：亀裂内水位高 (m)

f_0 ：簡易Janbu式の修正係数

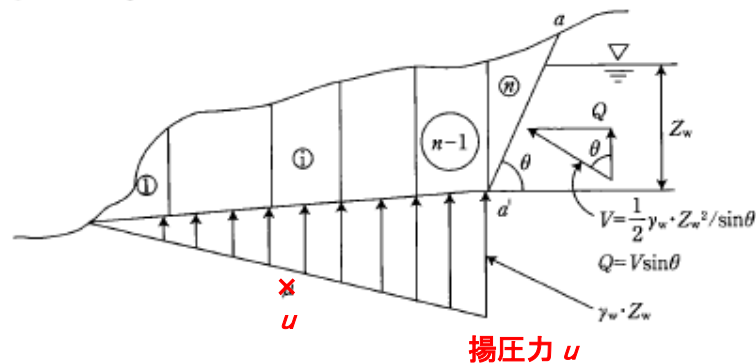


図 2-12 亀裂内水位 Z_w と揚圧力 u 分布

(出典) 地すべり工学—最新トピックス—(株)山海堂 H7.3

イ 一体すべり

図 2-13 において、① 水圧 V は面 $a-a'$ に作用し、② 面 $b-b'$ に沿うすべり面でのせん断抵抗は有効とする。

$$F = f_0 \frac{\sum_{i=1}^n \frac{c'b + (W - ub) \tan \phi'}{n_{\alpha}}}{\sum_{i=1}^n W \tan \alpha + Q + \cancel{E} ?} \quad <2-10-3>$$

ここで、 $W_n = 1/2 \gamma_t (h + h') b + V \cos \theta - 1/2 (\gamma_t - \gamma') Z_w^2 \cot \theta$

W_n ：壁脚部スライスの重量 (kN)

γ_t 、 γ' ：土塊の湿潤、水中の単位体積重量 (kN/m³)

Z_w ：壁脚部尻 a' での水位高 (m)

法である。崩壊性の地すべりで移動層内の地下水がほぼ自由地下水とみなせる場合に適する。

$$F = \sum \frac{c'l + (W - ub) \cos \alpha \tan \phi'}{W \sin \alpha} \quad <2-10-6>$$

(2) 水中重量と浸透水圧を考慮する方法

① 自由地下水対応 Bishop (ビショップ) 式

$$F = \frac{1}{\sum \left\{ W \sin \alpha + P \cos \alpha (\theta - \alpha) \sqrt{1 + \frac{u^2}{4r^2} - \frac{u}{r} \cos \alpha} \right\}} \times \sum \frac{c'b + (W' + \Delta X + P \sin \theta) \tan \phi'}{\cos \alpha + \frac{\sin \alpha \tan \phi'}{F}} \quad <2-10-7>$$

ここで、 W' ：土塊の有効重量 (kN/m)

α ：すべり面傾斜角 (°)

θ ：地下水面傾斜角 (°)

P ：浸透力 ($= \gamma_{wi} \cdot V = \gamma_w \sin \theta \cdot ub$)

ΔX ：細片の両壁に作用するせん断力の差

$X_n - X_{n+1}$ ($\sum \Delta X = 0$)

② 自由地下水対応 Janbu (ヤンブ) 式

$$F = \frac{1}{\sum (W' + \Delta X) \tan \alpha + \sum P (\sin \theta \tan \alpha + \cos \theta) + E_b - E_a} \times \sum \frac{c'b + (W' + \Delta X + P \sin \theta) \tan \phi'}{n_a} \quad <2-10-8>$$

ここで、 α ：すべり面傾斜角 (度)

θ ：地下水面傾斜角 (度)

W' ：土塊の有効重量 (kN/m)

ΔX ：細片の両壁に作用するせん断力の差 ($\sum \Delta X = 0$)

P ：地下水の浸透力 (kN/m)

E_a ：末端部に働く水平外力 (kN/m)

E_b ：冠頭部に働く水平外力 (kN/m)

(3) 全重量と全間隙水圧を考慮する方法

① 自由地下水対応 Bishop 式

$$F = \frac{1}{\sum (W \sin \alpha + \Delta U \cos \alpha)} \sum \left[\frac{c' b + (W - u b) \tan \phi'}{\cos \alpha + \sin \alpha \tan \phi' / F} \right] \quad <2-10-9>$$

ここで、 W ：土塊の重量 (kN/m)

b ：細片の幅 (m)

α ：すべり面傾斜角 (°)

c' ：粘着力

ϕ' ：せん断抵抗角 (°)

u ：すべり面に作用する平均間隙水圧 (kN/m²)

ΔU ：細片両側に作用する水圧の差 (kN/m)

② 自由地下水対応 Janbu 式

$$F = \frac{1}{\sum \{(W - \Delta V) \tan \alpha + \Delta U\} + Q} \sum \frac{c' b + (W - \Delta V - u b) \tan \phi'}{n_\alpha} \quad <2-10-10>$$

$$n_\alpha = \cos^2 \alpha (1 + \tan \alpha \cdot \tan \phi' / F)$$

ここで、 ΔV ：細片両側に作用する鉛直力の差 (kN/m)

3 三次元安定解析式

三次元安定解析式は Hovland (ホフランド) 法が有名であるが、この方法は二次元の Fellenius (フェレニウス) 法を三次元に拡張した方法であり、Fellenius 法の計算誤差に関する問題をそのまま内包している。このため、鵜飼らは Bishop (ビショップ) 法や Janbu (ヤンプ) 法を三次元に拡張した方法を紹介している。

地すべりを三次元的な現象として解析するには、次のような問題について検討する。

(1) 移動土塊の三次元形状を詳細に調べる場合

推定したすべり面の三次元形状が実際と大きく異なる場合には、安定解析の計算誤差が大きくなるので側壁付近を中心に、形状を詳細に調べる。

(2) 三次元安定解析に対応した地すべり防止工の設計を行う場合

排土工や押え盛土工に対する安定解析は可能であるが、例えば、斜めに打設されるアンカー工の引き力をどのように三次元的に取り込むか、1 本毎に長さの違う杭工の負担力をどのように取り込むかなど抑止工や地下水排除工については、設計手法が確立されていないので、慎重に検討する。

4 近似三次元安定解析式

近似的に三次元効果を評価する方法の 1 つに Lamb & Whitman (ラム・フィットマン) らが提案した方法がある。これは複数の縦断面での二次元安全率をもとめ、縦断面の断面積で重み付け平均をとる方法であり、図 2-15 に示すように各二次元安定解析断面での安全率 F と断面積 A を用い、次式をもって近似三次元安全率とすることとしている。三次元安定解析である Leshchinsky (レシュチンスキー) 法との比較で計算精度や手法の有効性が確認されており、排土工や地下水排除工の効果を三次元的に評価することが可能となる。

$$F_{3D} = \frac{A_1 \cdot F_1 + A_2 \cdot F_2 + A_3 \cdot F_3}{A_1 + A_2 + A_3}$$

<2-10-11>

ここに、 F_{3D} ：三次元安全率の近似値

F_1, F_2, F_3 ：二次元解析による安全率

A_1, A_2, A_3 ：同上における断面積

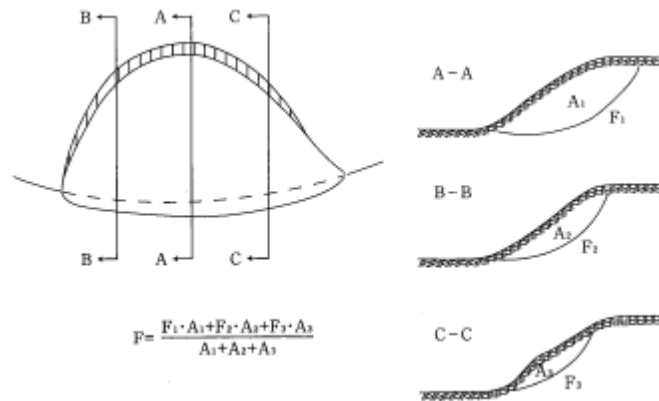


図 2-15 三次元効果の近似的取り扱い
(出典) 地すべり工学—最新のトピックス— (株)山海堂 H 7.3

〔解説〕の補足説明

1 安定解析式の選択

地すべりは、ある特定のすべり面を使って滑動することが多く、盛土破壊等に見られるような円弧型のすべりは皆無と言ってよいほどである。よって、非円弧すべりに対応した Janbu 式が標準の安定解析式である。

2 近似三次元安定解析を実施するときの地すべりブロックの認定

上下あるいは左右に隣接する地すべりブロックが、相互に影響を及ぼしているブロックなのか、あるいは無関係のブロックなのかは、地すべり防止工の計画に際して非常に重要となる。近似三次元安定解析を実施する際、その範囲は、同一のブロックもしくは影響し合っているブロックとする。

10-6-3 強度定数の設定

〔解説〕 p80

安定解析に用いる強度定数には、すべり面粘土の粘着力 c 、せん断抵抗角 ϕ がある。地すべりの安定解析は、有効応力解析を前提としていることから、せん断強さに関する定数も有効応力による粘着力 c' 、せん断抵抗角 ϕ' を用いる。

すべり面の強度定数は、土質試験結果により求めることが望ましいが、現場条件等により土質試験を実施できない場合は、同様の地すべり素因を有する地すべり地で用いられた土質試験値、文献情報、物理試験結果からの推定値等を利用する。

〔参考〕 p81

極限平衡法による安定解析では、一般に先ず安全率を決定してから強度定数を逆算して求める方法（逆算解析）が用いられることが多い。

逆算解析には、 c' 、 ϕ' の設定の仕方により、次の方法がある。

1 ϕ' を設定して c' を逆算する手法

すべり面を含む乱さない試料を採取し、すべり面のせん断強さを直接計測するせん断試験や、乱したすべり面粘土を利用する各種残留強度試験（リングせん断試験、繰り返し一面せん断試験等）により ϕ' を求め、これを安定解析に代入し c' を逆算する手法である。

ここで算出される c' の値には特殊な規制条件や側壁部・末端部での抵抗力等も含まれることになり、土質試験結果より大きめの値となる。しかしながら、防止工効果の推定に当たり、 c' を過大に評価することの影響は ϕ' の誤差による影響に比べて小さい。

2 c' を設定して ϕ' を逆算する手法

すべり面粘土の土質試験結果等から c' を与える方法のほか、中・古生層や結晶片岩地帯での地すべりや、第三紀層地すべりで冠頭部亀裂と末端部押出し現象が見られるものは、すべり面せん断強度は残留強度に低下していると考えてよく、 $c'=0$ と設定することができる。また、すべり面粘土の土質試験結果等を与える方法もある。

ここで算出される ϕ' の値には、特殊な規制条件や側壁部・末端部での抵抗力なども含まれ、土質試験結果より大きめの値となる場合がある。その結果、地すべり防止工の効果を過大に評価する危険があることから、土質試験結果や文献情報等を参照して、得られた ϕ' の検証を行うことが重要である。

3 残留係数法

すべり面に期待される実際の平均せん断強さが、ピークせん断強さと残留せん断強さとの間どの状態にあるかを示す残留係数 R を特定することで現在の平均せん断強さを推定する方法である。残留係数 R は次式で表され、0～1 の間に値をとる。

$$R = \frac{\tau_p - \tau}{\tau_p - \tau_r}$$

ここに、 τ ：平均せん断強さ、 τ_p ：ピーク強度、 τ_r ：残留強度

具体的な推定方法は、現状安全率での $c'-\tan \phi'$ 図（曲線 A）を作成し、さらにピーク強度と残留強度を結ぶ直線（直線 B）を図示し、この曲線 A と直線 B の交点位置の強度を現在の平均せん断強さとするものである。

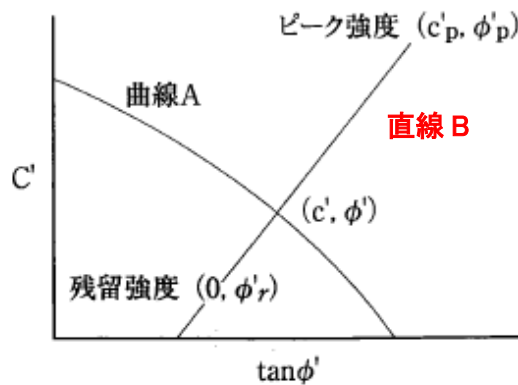


図 2-16 c'-tan φ' 図

既にせん断面が生じているすべり面粘土では、ピーク強度を測定できないことから、完全軟化強度をもって便宜的にピーク強度とみなす。

〔解説〕の補足説明

1 逆算解析を行う意味

盛土等の安定解析では、強度定数を設定して安全率を求める順算解析による安定解析が適用される。これは、盛土は施工管理された人工構造物であり、土質条件が比較的均質なため、土質試験によって精度の良い強度定数を設定できるためである。

一方、地すべりの安定解析は、 c' もしくは ϕ' と安全率を仮定して、どちらか一方の定数を求める逆算解析が広く行われている。これは、盛土とは異なり、自然斜面は地盤条件・地下水位条件が複雑で規模も大きいため、精度良く強度定数を設定するためには、数多くの箇所ですべり試験を行う必要があり、現実的ではないことが多いためである。

また、地すべり調査では、通常、地表・地中変動量調査によって地すべりの変動状況を把握する。この観測結果と順算解析で求めた安全率がかけ離れていることが多々ある。安全率の違いは地すべり対策工の工事費に直結するため、地すべり活動状況と整合した安全率を設定することが重要である。

以上から、土質試験などによって、すべり面の粘着力 c' 、内部摩擦角 ϕ' のうちいずれか（例えば ϕ' ）を決定し、地表・地中変動量調査によって把握した地すべり変動状況に基づいて設定した現状安全率から逆算によってもう一方の土質定数（例えば c' ）を決定するのが、最も実用的と言える。（なお、以下の「4」で述べるように、最初に ϕ' を決定した方が、地すべり防止計画上の問題が少ない）

2 試料採取と試験条件

- ・強度定数を土質試験から求める場合、採取した試料がすべり面全体を代表する試料か、についても検討する必要がある。一般的に、すべり面は、場所によって強度が異なっていることが多いので、試料採取位置と数量に留意しなければならない。
- ・地すべりの発達段階と試験条件とが整合するか、についても検討が必要である。

地すべりは、過圧密粘土の強度がピークせん断強度から残留強度に低下していく過程で発生する、とされている（Skempton, 1964）。例えば、初生的な地すべりの場合はピーク強度を用いるべきであるし（Skempton, 1970）、逆に、末端部に圧縮亀裂や盛り上がりが見られ、側壁亀裂が明瞭に追跡できるような状態では、すでに残留強度にまでせん断強度が低下したものとよい（申、1989）。

3 逆算解析時における現状安全率の推定

地すべり滑動と安全率の関連付けは、本来、臨界安全率 $F=1.0$ の状態だけが可能である。しかしながら、観測期間中に地すべり活動を捉えられない場合 ($F>1.0$)、逆に、地すべりが常時滑動し休止しない場合 ($F<1.0$) では、現状安全率を推定せざるを得ない。

このような場合、地すべりの活動度に応じて、 $0.95\sim 1.0$ の間で現状安全率の推定値が用いられることが多い。

これらの推定値を用いる際には、結果が過大あるいは過小となる危険性を十分に認識し、後日、臨界状態での諸元を得た時には、すみやかに修正する必要がある。

4 強度定数が、過大あるいは過小に推定された場合の問題点

逆算解析に際して設定する強度定数の過大又は過小については、次のような問題点があるので、十分注意する必要がある。

- (1) 鉛直荷重の変化を伴う抑制工法（排水工法、排土工法、盛土工法など）では、逆算解析において粘着力 c' 、内部摩擦角 ϕ' のうちどちらを大きくとるか、小さくとるかによって、工法効果の評価が大きく異なる。

例えば、すべり面の強度が全範囲で残留強度まで低下して $c'=0$ となっている地すべり（再活動型で、抵抗要因もない地すべり）に対し、 $c'>0$ と設定して ϕ' を逆算で求めた場合には、得られる ϕ' は相対的に過小評価されてしまい、期待される抑制効果を小さく見積もることになる。

逆に、すべり面全面で残留強度まで強度低下していない地すべりで、 $c'=0$ として ϕ' を逆算で求めると、 ϕ' が過大に評価されてしまい、抑制効果を過大に見積もることになる。

すなわち、上記のような工法を採用する場合、 ϕ' の誤差が大きく影響するので、一般的に言えば、 ϕ' の誤差を小さくするため、 ϕ' を先に設定した方が望ましい。

- (2) 間隙水圧を過大（あるいは過小）に見積もった場合、せん断強さも過大（あるいは過小）に評価し、抑制工の効果を過大（あるいは過小）評価することになる。
- (3) すべり面せん断強度が残留強度まで低下してしまっていて、 $c'=0$ と設定することができるケースもある。ただしその場合、 ϕ' が大きな値となる。 ϕ' が実際よりも過大となった場合、地下水排除工の効果を過大に見ることになるので、 $c'=0$ の採用には細心の注意が必要である。
- (4) 逆算時の安全率を臨界安全率 ($F=1.0$) 以外の条件で設定する場合、せん断強さ (c' 、 ϕ') に誤差を生ずる恐れが強い。

5 単位体積重量 γ_t

単位体積重量 γ_t は、地すべり滑動力の算定に使用され、地すべり防止工の計画数量などを左右する、重要なパラメータである。

単位体積重量 γ_t の設定は、現場試料を用いた土質試験、文献情報などにより、対象とする地すべり移動土塊の平均的な値となるよう、努めなければならない。

10-6-4 間隙水圧の設定

〔解説〕 p83

安定解析は、強度定数の推定、地すべり防止工の効果推定、施工後の地すべりの安定性の評価等、利用目的に応じて行われる。そのため、安定解析に用いる間隙水圧は、時系列的に変化する中で適切な時点の値を用いる。

安定解析の間隙水圧は、地すべりの移動と相関のあるすべり面付近の地下水帯から得るようになる。ただし、このような間隙水圧が得にくい場合は、便宜的に地下水位から求めることもある。

〔参考〕 p83

1 強度定数の推定における間隙水圧

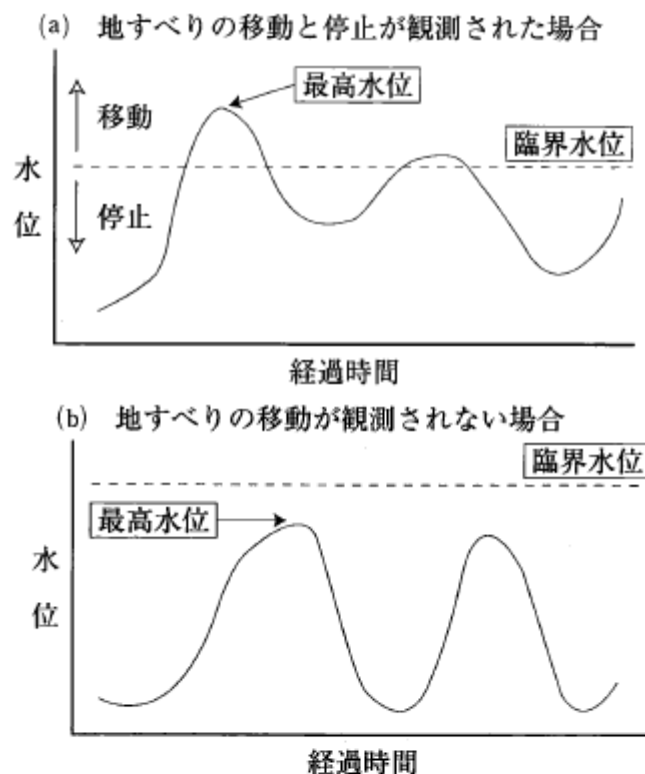
強度定数の推定における間隙水圧は、臨界状態のものを用いることが望ましい。臨界状態が確認できない場合は、観測期間中の最高水位により求めた間隙水圧を用いることもある。

2 地すべり防止工の工種・工法、規模の決定及び効果推定に用いる間隙水圧

地すべり防止工の工種・工法、規模の決定、地すべり防止工の効果推定に用いる間隙水圧は、最も地すべりが活動しやすい状態のものを用いることが望ましく、通常は観測最高水位を用いる。しかしながら、最高水位を観測した時点の降水量等が地すべり発生時より著しく小さい場合には観測された最高水位は最も危険とはいえ、適切な地すべり防止工の計画を立案できないことがある。このような場合は必要に応じて、観測最高水位を補正することがある。

3 地すべり防止工施工後の安定性の評価における間隙水圧

地すべり防止工施工後の安定性を評価する場合に用いる間隙水圧は、観測最高水位、将来予想される最高水位等を考慮して設定する。



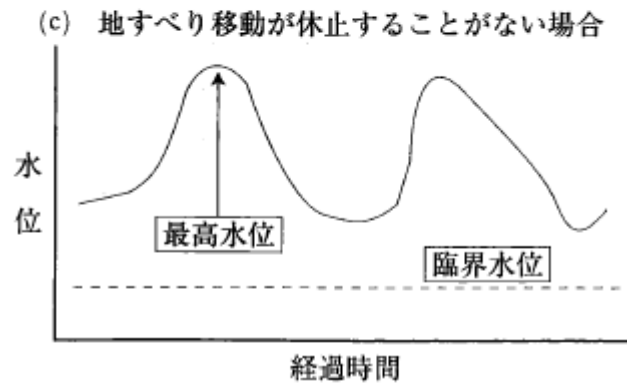


図 2-17 地すべり移動状況と観測水位の関係

4 超過確率水位を用いた安定性の評価

再現期間を考慮した解析上の最高水位（超過確率水位）を求め、これを安定解析に用いる方法である。降雨に対する地下水位モデルを構築することで、計画降雨対応のモデル解析水位を算出し、超過確率水位とする考え方である。

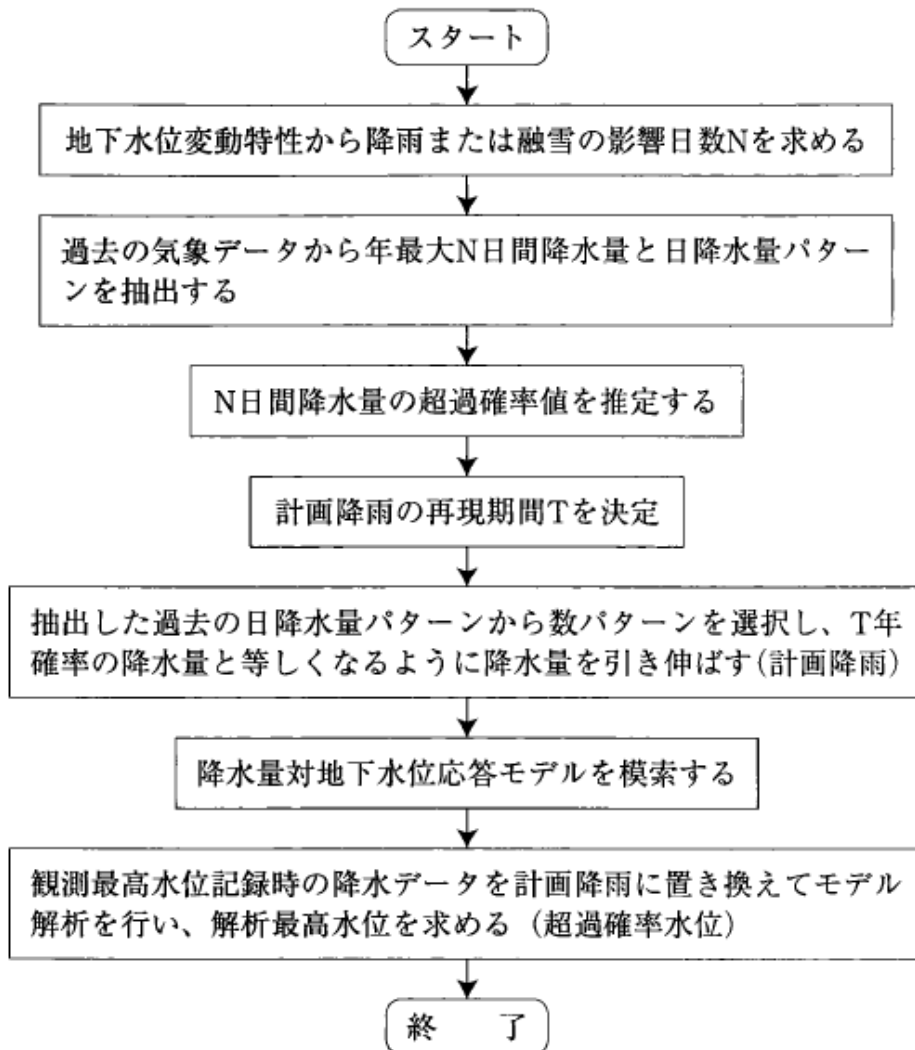


図 2-18 超過確率水位を求めるフロー

〔解説〕の補足説明

1 間隙水圧と孔内水位

すべり面にかかる圧力水頭を測定するための方法としては、間隙水圧計を埋設して直接水圧を測定する方法と、すべり面付近のみをストレーナ加工しその上下を遮水した水位観測専用孔で観測する方法とがある。（第2章6－3項参照）

ただし、間隙水圧が上昇した時、孔内水位が上昇するためには、地下水が観測孔内を満たすまでの時間を要する。すなわち、「孔内水位＝間隙水圧」ではない。よって、地すべりのように、水圧が大きく関係している現象の場合、間隙水圧を直接測った方が望ましい。

2 臨界水位についての留意点

地すべり移動状況と観測水位の関係を継続的に調べると、移動開始時と停止時の臨界水位が異なる場合がある。

その場合は、当該地すべりの移動状況と水位変動状況などを十分に考慮しながら、臨界水位を慎重に決定しなければならないが、一般的には移動開始時の臨界水位を使用する。

3 超過確率水位の求め方についての補足

超過確率水位を求めるにあたって、やむを得ない場合は、次の方法を用いてもよい。

降雨対地下水位モデルを構築できない場合、観測地下水位から直接に超過確率水位を求める方法が考えられている。

観測点ごとの年最高水位を用いた極値解析が望ましいが、一般には観測期間が短いことから、対象地域における高水位の月最高水位を用いて、極値解析する方法が実用的とされている。

10－7 取りまとめ

〔解説〕 p86

機構解析の結果は、機構解析の各項目（ブロック区分、すべり面形、地下水圧分布、強度定数、活動機構）の検討及び安定解析結果についてまとめた上で、最終結果として、地すべりブロックの移動状況、危険度、保全対象の重要度等を総合判断し、地すべり防止工事計画に適用する工種・工法、施工位置及び規模等を的確に判断できるように取りまとめる。

第3章 地すべり防止工事計画

第1節 計画の基本理念

〔解説〕 p87

- 1 地すべり防止工事計画は、地すべり防止工により地すべりの安全率を向上させるとともに、周辺環境への配慮や地すべり防止工の維持、機能確保等も含めた総合的な計画とする。
また、地すべり防止工事計画は、ブロックごとの計画とするが、関連する複数のブロック及び想定被害区域の計画を含む計画とする。
- 2 地すべりの発生に伴って住宅、公共施設、交通機関等が被災し、又は被災する危険が迫っている場合には、応急対策を行う。
応急対策には、地すべり活動の抑制や土砂流出の抑止のための工事と、主として人的被害を予防するための警戒避難等のソフト対策とがある。応急対策工事は、地すべり調査を行う時間的余裕がほとんどないため、専門技術者等による概略の調査結果をもとに計画し施工することが多い。仮設的な工事を除く応急対策工事の効果については、地すべり調査解析の後に再検討し、地すべり防止工事計画に組み入れる。

第2節 計画規模

〔解説〕 p88

- 1 目標安全率
目標安全率は 1.1～1.2 を標準とする。決定に当たっては地すべりの規模、保全対象の重要性、保全対象の被災危険度等を十分考慮する。保全対象の被災危険度は、地すべり地からの距離、地すべり地及び土砂流出域との位置関係から判断する。
地すべり地及び周辺の地形等の関係から、地すべり防止工事が実施できず待ち受け的な対策に頼らざるを得ない場合、工種・工法が限定される等の理由により十分な安全率を確保できない場合、又は目標安全率の達成見込みは十分でも特に重要な保全対象がある場合等は、警戒避難等の対策の検討も必要となるので、関係機関等と十分に連携を図ることが重要である。
- 2 安全率の区分と表示
自然条件の変動及び工事計画の進捗に伴って変化していく地すべりの安全率を次のように区分表示する。

現状安全率 F_s :	誘因の変動や地すべり防止工の施工に伴って地すべりの安全率は変動するが、その時点での安全率である。通常は地すべり防止工施工時期で区分され、その時期の最高水圧に対する安全率を指す。
臨界安全率 F_c :	地すべりが滑動を開始する時（臨界状態）の安全率で、 $F_s = 1.0$ の状態である。
初期安全率 F_0 :	地すべり防止工事計画の出発点の安全率で、最も危険な状態である。地すべり防止工施工前の現状安全率と一致することもある。
計画安全率 F_x :	地すべり防止工の効果の積み重ねにより達成する計画安全率である。（ x は、地すべり防止工の記号）
安全率負担幅 ΔF_x :	1 件の工事による安全率の上昇幅である。
目標安全率 F_p :	地すべり防止工事全体で達成する安全率である（最終の計画安全率）

〔解説〕の補足説明

- ・地すべりの滑動状況と安全率の関連付けが可能となるのは、地すべりが滑動する直前の安全率が $F = 1.0$ （臨界状態）ということのみである。このため、臨界状態での間隙水圧分布を知ることにより妥当な土質強度定数の推定が可能となり、対策工計画策定や対策工効果判定をより適正に実施することができる。
- ・県の技術基準の中には保全対象の重要度に応じた目標安全率が詳細に明示しているものがある。
- ・ $F=1.0$ の状態を“極限平衡状態”と表現している専門書もあるが、これは正しくない。極限平衡法は $F=1.0$ の状態を解析する手法ではなく、 $F \geq 1.0$ の状態を解析する手法であるので、 $F \geq 1.0$ の状態のすべてを“極限平衡状態”と表現することが正しい。専門的に説明すると、“すべり面のせん断強さ÷安全率 F ”が“すべり面のせん断力”と常に釣り合っている”という状態を解析するのが極限平衡法である。

第3節 計画の基本理念

3-1 地すべり防止工事計画の具体的方針

〔解説〕 p89

- 1 地すべり防止工事計画の策定に当たっては、治山事業全体計画がある場合には、地域特性を十分理解した上で、その整備方針、整備計画に沿った計画とする。
なお、治山事業全体計画については、第2編山地治山編第3章第3節「山地治山計画の策定」を参考とする。
- 2 地すべり防止工事計画の策定に当たっては、以下の項目について検討し、工種の組合せ、施工順序及び工事の進捗に伴う安全率の上昇過程を明らかにするとともに、施工や維持管理上の留意点、周辺環境への配慮等も含め総合的な内容とする。
 - (1) 目標安全率 F_p の設定
第2節「計画規模」に基づいて検討する。
 - (2) 初期安全率 F_0 の設定
地すべり防止工事計画の出発点の安全率で、通常、地すべり防止工施工前の観測最高水位に対する安全率を用いる。地すべり防止工施工前の現状安全率と同じ値となることもあるが、道路や河川関連の土工等により地すべりの安定性が低下することが明確な場合や観測最高水位が適切でなく補正する必要がある場合等は、現状安全率より小さな値となる。（第2章第10節10-6-4「間隙水圧の設定」参照）。
 - (3) 工種の選定と組合せの検討
抑制工（安全率に直接寄与するもの）及び抑止工の組み合わせ候補を複数選定する。
 - (4) 各工種の配置の検討
工種ごとの施工適地、施工箇所数、工種間の干渉の有無、施工順序、所要工期等を考慮して、工種配置案を検討する。
 - (5) 各工種の安全率負担幅 ΔF_x の検討
（4）に基づく各工種の安全率の向上効果を算定する。
 - (6) 施工順序と計画安全率 F_x フローの検討
適切な施工順序に基づいて施工した場合の安全率向上過程を算定する。
 - (7) 各工種の仕様・数量の検討
安定解析及び工種ごとの効果評価、構造計算等により仕様・数量を検討する。
 - (8) 工事経費の概算
工種組み合わせ候補ごとに施工経費を概算する。

(9) 検討及び取りまとめ

上記事項を総合的に検討し、効果的かつ適切な工種の組み合わせ、施工順序及び工事の進捗に伴う安全率の向上過程を明らかにする。

3 工事の施工に伴う安全率の変化過程は、わかりやすく表示する。

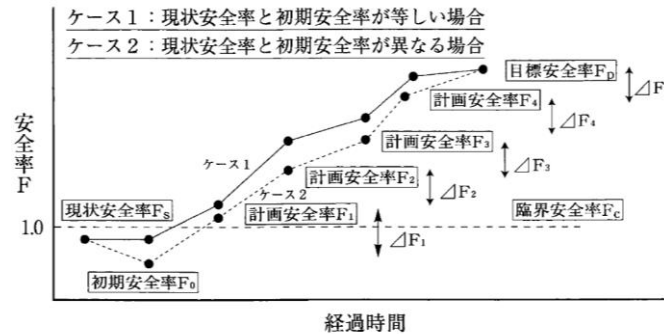


図3-1 地すべり防止工事計画における安全率の推移の例

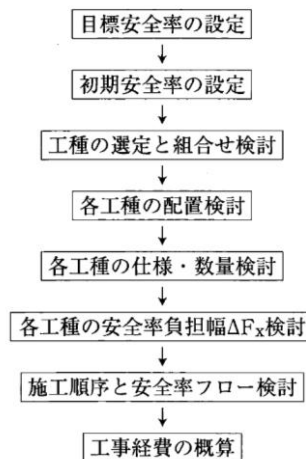


図3-2 地すべり防止工事計画の内容及び作業の流れ

3-2 環境負荷の低減

【解説】 p92

地すべり防止工事計画の策定に当たっては、地域の自然特性等を踏まえ、生態系や自然景観等の自然環境等に配慮する。自然環境調査や現地踏査等で得られた知見を踏まえ、必要な環境負荷低減のための対策を計画する。

【参考】 p92

環境に対する保全行為の概念

開発により損なわれる環境の影響を最小限に抑えるための保全行為に対して、「ミティゲーション」という概念があり、回避、最小化、修正、軽減、代償の5つの段階がある。

事業により想定される環境への負荷は、個々にその事象が異なるため、どのような行為を選択するかは個別に判断するものであるが、場合によっては関係者等との協議が必要となることもある。

ミティゲーションについては、第2 編山地治山事業第3 章 3-2-6「環境の保全・形成への寄与」

第4節 地すべり防止工の種類

4-1 総説

〔解説〕 p93

- 1 地すべり防止工は、地形や地下水等の自然条件を変化させて地すべりの滑動力と抵抗力のバランスを改善する抑制工と、杭やアンカー等の人工的な構造物の抵抗力により直接抑止する抑止工に分かれる。

地すべり防止工事に採用する標準的工種は、次のとおり。

(1) 抑制工

- ① 地表水排除工
 - ア 浸透防止工
 - イ 水路工
 - ウ 流路工
- ② 地下水排除工
 - ア 暗きょ工
 - イ ボーリング暗きょ工
 - ウ 集水井工
 - エ 排水トンネル工
- ③ 排土工
- ④ 押え盛土工
- ⑤ ガス排除工
- ⑥ 治山ダム工等
- ⑦ 土留工

(2) 抑止工

- ① 杭工
- ② シャフト工
- ③ アンカー工

- 2 ここに示す工種は、直接又は間接的に地すべり防止に係わるものであり、地すべり及び崩壊に伴う荒廃山地の緑化工等の山腹工事は、第2 編山地治山事業第5 章「山腹工の設計」に準じて計画する。

- 3 地すべり防止工は、安全率に直接寄与するものと間接寄与するものがある。「直接寄与」とは、安定解析式の項を直接変化させ、安全率を向上させることをいい、「間接寄与」とは、安全率の数値を直接向上させることはできないが、地表水の地下浸透防止、山腹斜面の安定化や山脚の固定により地すべり地の地形変化を防止すること等により安定解析式の項の悪化を抑制する効果があることをいう。

地すべり防止工を大まかに分類整理すると表 3-1 のようになる。なお、間接寄与としている工種であっても、経験的に安全率への直接寄与が認められる例がある等、現地条件等によっては、表の区分と異なる場合がある。

表 3-1 地すべり防止工毎の安全率寄与の区分

安全率 寄与区分	工 種		摘 要
直接寄与	地下水排除工	ボーリング暗きょ工	※
		集水井工	
		排水トンネル工	
		(ディーブウェル)	※ 大口径ボーリングを鉛直方向に掘削し、地下水を水中ポンプ等で汲み上げるにより、地下水位の低下を図る工法。 応急的に地下水排除が可能。 トンネル排水工等と連結して自然排水することも可能。
	排土工		※
	押え盛土工		※
	杭工		
	シャフト工		
間接寄与	地下水排除工	暗きょ工	浅い地すべりの場合に安全率に直接寄与するように設置することが可能。
	地表水排除工	水路工	※
		流路工	※
		浸透防止工	※
	治山ダム工等		
	土留工等		
	ガス排除工		
	杭 工		※ 応急工事として木杭やH鋼などを打設する場合

注：摘要欄の※印は応急工事に採用されることが多い工種

4-2 工種の選定及び組合せ

〔解説〕 p96

地すべり防止工事計画の策定に当たっては、それぞれの工種の特長と適用性をよく理解した上で、工種間の相互補完、相乗効果を考慮して、適切な工種を選定するとともに効果的な組み合わせとする。

主な留意事項は次のとおり。

- 1 地表水排除工は、優先的に採用する。施工は、地すべりの安定を確保した上で行うが、応急対策として地すべり移動中であっても地すべりブロック外等から行う場合もある。
- 2 地表水排除工や暗きょ工は、集中豪雨等の際に地下水圧の急上昇を抑え、地下水排除工の負担を軽減する効果が期待される。
- 3 抑止工は、地すべり滑動の停止が確保された状態で施工する。抑止工は、経済的負担が大きいため、抑制工と併用することを標準とする。
- 4 異なる工種の抑止工を組み合わせる場合、抑止機構の違いから相互効果が発揮されないことがあるため、施工計画位置の移動特性と各抑止工の抑止機構を十分検討した上で決定する。

〔解説〕の補足説明

- ・ 降雨又は融雪による地下水圧の上昇を誘因とする地すべりでは、原則として地下水排除工を採用するものとする。地下水排除工を主な対策工とする場合は、集水機能低下による地すべりの不安定化を避けるため十分な降雨又は融雪による地下水圧の上昇を誘因とする地すべりでは、原則として地下水排除工を採用するものとする。地下水排除工を主な対策工とする場合は、集水機能低下による地すべりの不安定化を避けるため十分な維持管理対策を講じる必要がある。

第4章 地すべり防止工の設計

第1節 総則

〔解説〕 p97

- 1 地すべり防止工の設計は、地すべり防止工事計画に基づいて、効果的かつ経済的なものとなるよう十分検討する。また、周囲で行われている溪間対策や山腹対策との関係についても検討する。
地すべり防止工の位置については、現地状況を確認し計画内容を照査する。
 - (1) 立木、亀裂分布、崩壊地形等の自然条件の確認
 - (2) 既設構造物・電柱等の施工支障物件の有無
 - (3) 施工機械の現地での適合性、搬入の可能性
 - (4) 周囲の自然・社会環境、景観及び地域住民への影響
 - (5) 周辺での他工事の有無と相互の影響
- 2 地すべり防止工の設計に当たっては、地すべり防止工事計画に基づく工法の設置目的（要求性能等）を明確にしておくとともに、その設置目的を満たすことを検証又は照査する。また、設置目的については設計説明書に明記する。

〔参考〕 p97

- 1 設置目的（要求性能等）の設定とその検証
第2編山地治山編第4章 2-1「溪間工設計の基本的考え方」の〔参考〕に準じる。
- 2 構造物の安全性に関わる照査
照査方法については、所要の性能を有していることを、論理的な妥当性のある方法、又は実験等に基づき適切に検証する。本基準には、従来からの照査方法として適合しているものについて示す。
なお、本基準に示す以外の照査方法や技術を用いる場合には、検証方法や結果の妥当性について十分な根拠を示すとともに、必要に応じて第三者機関等で適合性について評価を受ける。

第2節 測量

2-1 測量の範囲

〔解説〕 p98

- 1 地すべり防止工の設計は、地すべり調査解析の成果に基づいて行われる。このため、測量は、地すべり調査解析成果と地すべり防止工事計画との照合が容易に行えるよう必要かつ十分な範囲で行う。
- 2 地すべり防止工のための測量は、地すべり調査解析段階で完了していることが多く、地すべり調査解析に使用した各図面を設計図として使用する場合もある。

〔解説〕の補足説明

1 測量の基準点

地すべり調査解析及び地すべり防止の計画立案は、測線及び測線の基準点等を起点とする測量データをもとに行われている。このため地すべり防止工の設計においても、同様の測線及び測線の基準点等を起点として測量を行い、地すべり調査解析及び地すべり防止の計画との照合を通じて設計を進めることとする。

2 設計のための追加測量

地すべり調査解析及び地すべり防止計画が定まった時点で得られている測量データだけではデータ不足のため、地すべり防止工の設計が行えない場合もある。このようなケースでは、追加の測量を行い、この測量成果を利用して設計図等を作成しなければならない。

2-2 測量の種類

2-2-1 平面測量

〔解説〕 p99

- 1 測量方法については、第2編山地治山事業第5章第1節「測量」に準ずる。
また、平面図には、工種・工法を決定する根拠となった調査測線、調査ボーリング等の位置、及び地すべりブロック区分、湧水点、亀裂等の地すべり防止工の設計に必要な調査成果を詳細かつ正確に記入して、調査資料との照合が容易に行えるようにする。
- 2 作成する図面の縮尺は1/500を標準とし、縦断面図及び横断面図における水平、垂直とも平面図と同一とする。
ただし、地すべりの範囲により縮尺を変更することができる。

2-2-2 縦断測量

〔解説〕 p99～100

- 1 地すべり防止工の設計のための縦断測量は、第2編山地治山事業第5章第1節「測量」に準ずるが、特に、排土工の土量算出のための縦断測量は、対象土量の誤差が施工経費に大きく影響することから適切な測線密度を確保する。
- 2 縦断面図には、杭工の打ち込み深さ、アンカー工の定着層、水抜きボーリングの位置及び延長等を検討するために、表面地形のほかにボーリング柱状図の要点、地層区分、地下水文状況、すべり面、基盤面等、各種調査の成果を記入する。

〔解説〕の補足説明

1 縦断測量の方向

縦断測量における測量方向は、補足図4-1～補足図4-6に示す方向を標準とする。

2 排土工や押え盛土工の縦断測量

排土工や押え盛土工の設計は、測線データだけでは正確な土量算出が困難であるため、土量算出に必要な追加の縦断測量を実施し、設計を進めることとする。（補足図4-1）

3 杭工やアンカー工の縦断測量

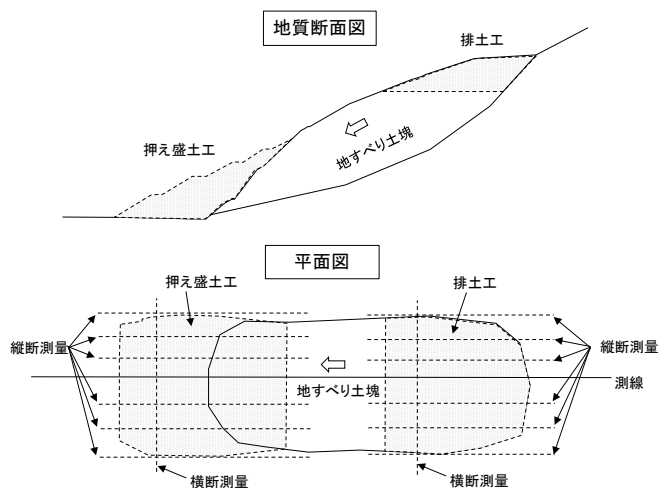
杭工においては施工範囲・打ち込み深さの根拠図を示すために、またアンカー工においては施工範囲・必要となる地質断面図（アンカー工の横断測線）の基点となる測量線として、主測線方向にほぼ直角となる縦断測量を実施し、設計を進めることとする。なおこの縦断面図には、必要時にはボーリング柱状図の要点、地層区分、地下水文状況、すべり面、基盤面等の各種調査結果を記述する。（補足図4-2～補足図4-3）

4 ボーリング暗きょ工等の縦断測量

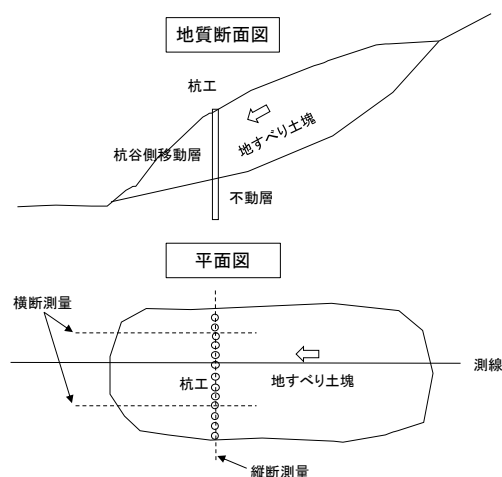
ボーリング暗きょ工の方向・延長・勾配等の根拠図を示すために、必要時には計画に基づき縦断測量を実施して設計を進めることとする。なおこの縦断面図には、必要時にはボーリング柱状図の要点、地層区分、地下水文状況、すべり面、基盤面等の各種調査結果を記述する。（補足図4-4）

5 治山ダム工・流路工（護岸工含む）・水路工・土留工等の縦断測量

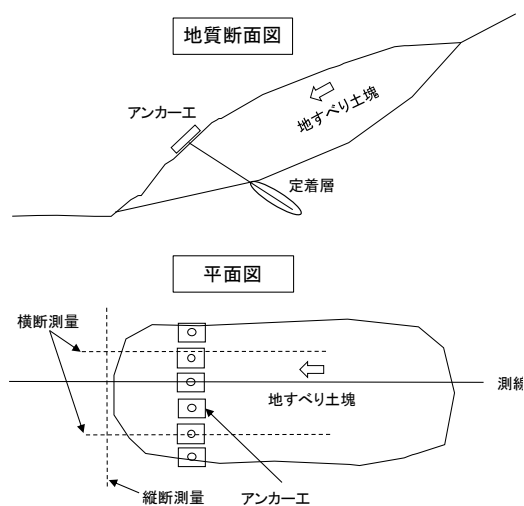
地すべり防止工として、治山ダム工・流路工（護岸工含む）・水路工・土留工等を設計する場合、平面配置・設置高さ・施工数量等を明確にするために、縦断測量を実施し、設計を進めることとする。
（補足図4－5～補足図4－7）



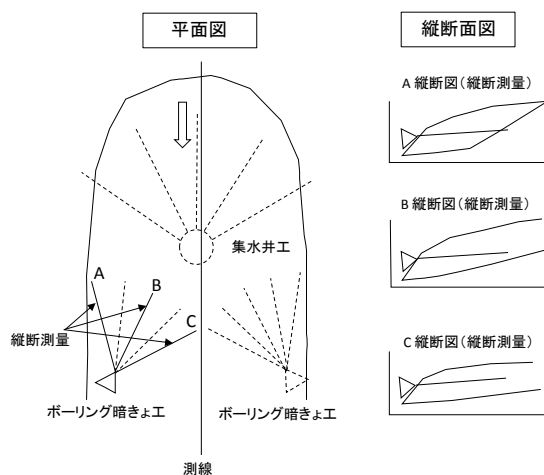
補足図 4-1 押え盛土工・排土工の縦断測線（例）



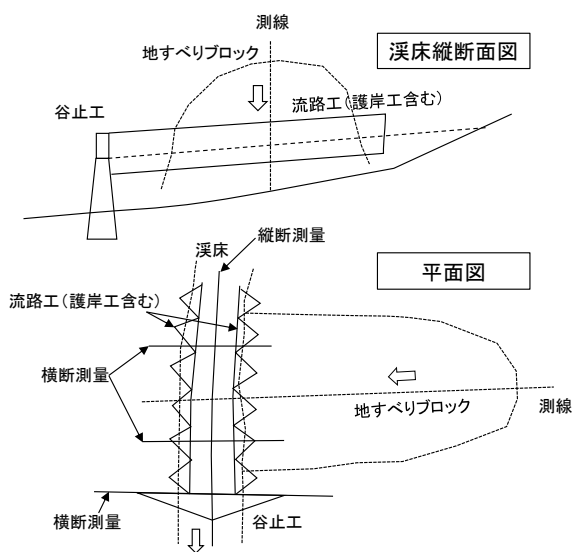
補足図 4-2 杭工の縦断測線（例）



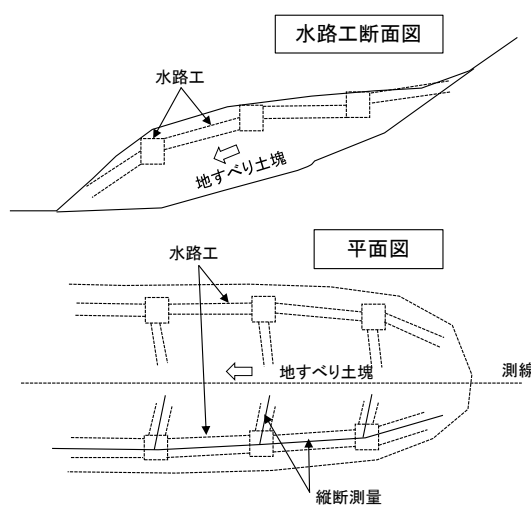
補足図 4-3 アンカー工の縦断測線（例）



補足図 4-4 ボーリング暗きょ工の縦断測線（例）



補足図 4-5 谷止工及び護岸工の縦断測線（例）



補足図 4-6 水路工の縦断測線（例）

2-2-3 横断測量

〔解説〕 **p100**

- 1 地すべり防止工の設計のための横断測量は、第2編山地治山事業第5章第1節「測量」に準ずる。
- 2 杭工、アンカー工、土留工及び集水井工等の横断面図には、地層区分、水文状況、すべり面、基盤面等の各種調査の成果を記入し、根入れ深の検討及び土(岩)質別ボーリング延長の算出等を利用する。

第3節 抑制工の設計

3-1 総説

〔解説〕 **p100～101**

抑制工は、地すべりの誘因となる地下水等を排除する工法、地形を変更して地すべりの活動力を軽減させる工法及びその他の工法とに大別される。

地下水等を排除する工法は、一般的に効果の発現は遅いが、地すべり地の体質を改善し、効果の持続性が高い。また、地形を変更して地すべりの滑動力を軽減させる工法は、即効性があり、効果も確実な場合が多い。したがって、地すべり移動が一時停止していて、地下水等による影響が顕著な地すべりについては前者が効果的であり、早急かつ確実な効果を期待する必要がある場合は後者が有効である。

3-2 浸透防止工

3-2-1 目的

〔解説〕 **p101**

浸透防止工は、亀裂発生部や地表水の滞留する凹地、沼沢、湿地等で地下水の供給源となる箇所を対象として地表水の浸透を防止し、地すべりの発生又は助長を未然に防止するための工種であり、地すべり活動の初期の段階で応急的に施工されることが多い。

3-2-2 位置

〔解説〕 **p101**

浸透防止工は、亀裂や地形の凹地から地表水が浸透することを防止するために設けるもので、地すべり地やその周辺の地形の特徴を把握して浸透のおそれのある箇所を選定し、計画する。

3-2-3 種別と構造

〔解説〕 p102

浸透防止工の構造及び形状は、地表水が浸透するおそれのある範囲及び施工地の地形等に応じて決定され、一般的に定型とならない。

浸透防止工に使用する材料は、水密性を有し、地表に密着する柔軟性のあるものを使用する。主な工法は、次のとおりである。

1 粘土充填工法

地すべり地内に発生した亀裂に粘土又はベントナイト等を充填して浸透防止を図るものである。

2 ビニール被覆法

地すべり地内に発生した亀裂をビニールシートで被覆し浸透防止を図るもので、応急的な対策として施工される場合が多い。

3 アスファルト板工法

沼、湿地等の比較的面積の大きい箇所の浸透防止工として、アスファルト板を敷設し浸透防止を図るものである。

〔解説〕の補足説明

- ・一般的には、2 ビニール被覆法が良く使われる。

3-3 水路工

3-3-1 目的

〔解説〕 p102～103

水路工は、地すべり地内の地表水を速やかに地すべり地外に誘導し、地すべり地内に滞留し地中に浸透することを防止するものである。のり面の小段排水や地下水排除工、暗きょ工の流末処理にも適用する。

暗きょ工を併設した明暗きょ工として計画することがある。

〔解説〕の補足説明

1 水路工の例

水路工は、①ブロック内における湧水や滞留水を排除するための水路工、②外部からブロック内に流入する地表水を排除のための水路工、③のり枠工や切り土の施工のり面に設置する小段排水路、④地下水排除工や暗きょ工の吐口における水をブロック外に排除するための水路工等、様々な目的をもって設置される。

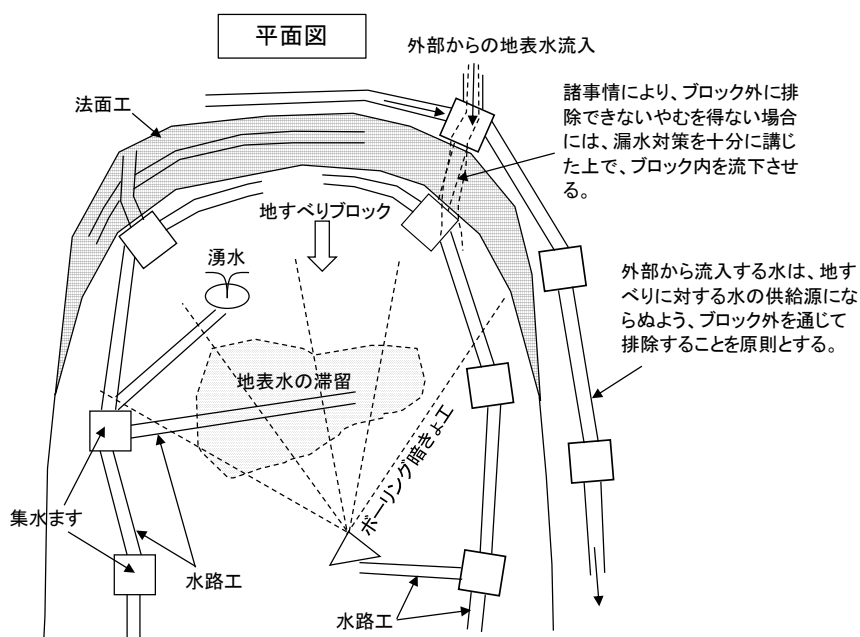
2 水路工の組み合わせ

これら多様の目的の水路工を適切に組み合わせて（連結させて）、最小の工事量でその目的が達成できるよう計画・設計を行わなければならない。

〔解説〕 p103

〔解説〕の補足説明

水路工の平面線形及び縦断線形は、流下水の流速変化や跳水等の最小化に向けて、なめらかな線形になるように配慮し、やむを得ない急激な変化点には集水ます等を設けるものとする。



補足図4-7 水路工の配置(例)

3-3-3 種別と構造

〔解説〕 p104～105

水路工の種別及び構造等に関する事項は、第2編山地治山事業第5章第3節3-5「水路工」に準ずる。地すべり防止工として特に注意しなければならない点は、漏水を防ぐため水密性を有する構造とすることである。

また、地すべりによる変形が懸念される地点では、可撓性のある構造を選定することなどに配慮する。

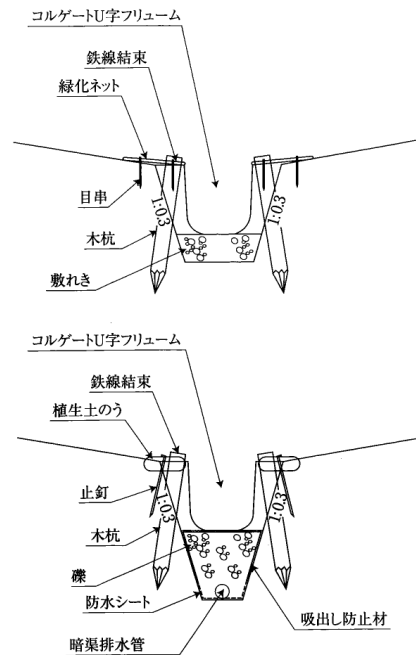


図4-1 水路工の例

〔解説〕の補足説明

1 水路工の構造

水路工の構造は、地盤の硬軟・地すべり圧による変状の可能性・水密性の必要等を勘案し、図-9～図-10に示す水路工の形状を参考に決定する。事例としては、コルゲートU字フリーム水路工やポリエチレン水路工、コンクリート水路工などがあり、これらを参考に最適なものを選定する。

2 水路工の支保

水路工の設置位置が凹地等で、集水ますだけでは水路工の十分な安定が期待できない場合には、土留工や帯工を水路工の要所に挟み、水路工の支保として機能させなければならない。

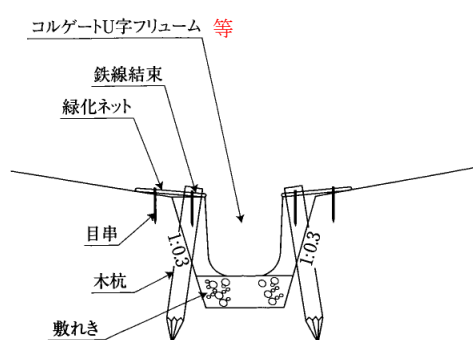
3 水路工の設計における重要事項

水路工の通水断面、水路工の1スパンの長さ、水路工の水路受け等に関する事項においても、第2編山地治山事業第5章第3節3-5「水路工」に準ずるものとする。

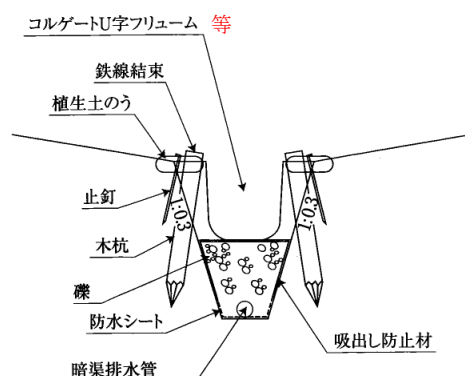
4 水路工の通水断面の特例

地すべりブロックが存在する集水区域を越えて、外部の集水区域から農業用水などがブロック内に

流入する場合などでは、水路工が通水断面不足にならないように、合理式から求めた最大流量に基づき水路工の通水断面を決定する場合もある。



補足図 4－8 水路工（明きょ工）の例



補足図 4－9 水路工（明暗きょ工）の例

3－4 流路工

3－4－1 目的

〔解説〕 p105

流路工は、渓流水による侵食で地すべり活動が助長されるおそれのある場合等に、これらを防止する目的で計画する。流路工には、恒久構造物の流路工のほか、渓流水を地すべり地外へ迂回させる廻排水工や応急に浸透を防止するための仮設流路工がある。

〔解説〕の補足説明

・流路工の採用

流路工の構造は水路工と比較して規模が大きく、その採用は、渓流水や沢水が多く、水路工では流下水による侵食の防止や水の地下浸透防止が難しい箇所において、計画・設計するものである。その採用例を以降の補足図 4－10～補足図 4－12 に示す。

3－4－2 位置

〔解説〕 p106

流路工は、一般的に現状の溪流を基本的な位置として溪流の流水が滞留するのを防ぐため、なめらかな線形で計画する。

また、溪流の付替えや廻排水として流路工を計画する場合には、可能な限り地すべり地外に設ける。

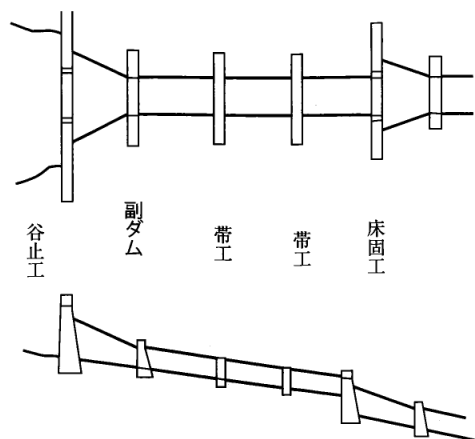


図 4 - 2 流路工の例

〔解説〕の補足説明

1 流路工の平面配置

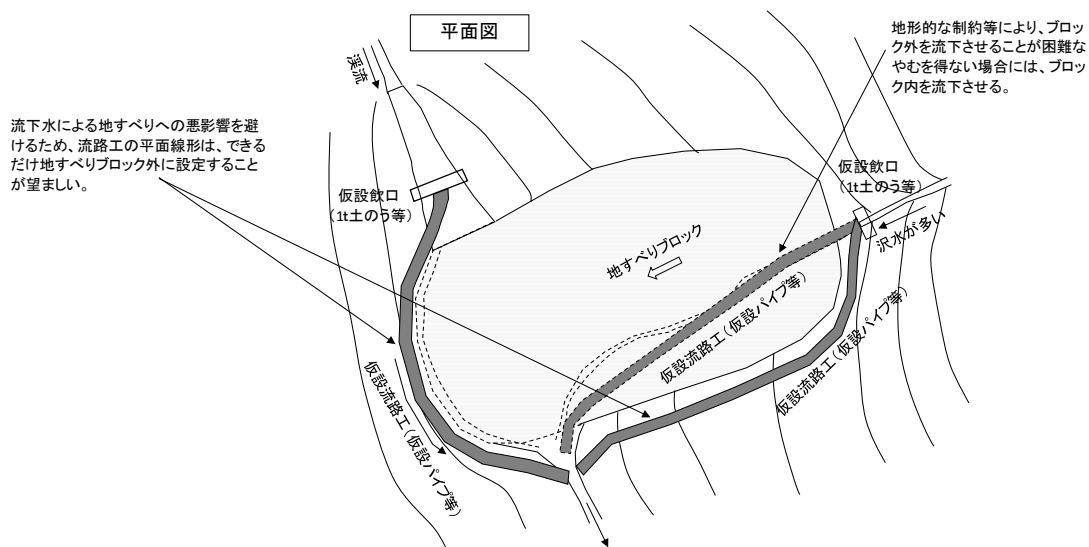
（１）応急対策の平面配置と恒久対策の平面配置

流路工の平面線形は、流下水による地すべりへの悪影響を避けるため、地すべりブロック外に設定することが望ましい。（補足図 4 - 1 0・補足図 4 - 1 1）

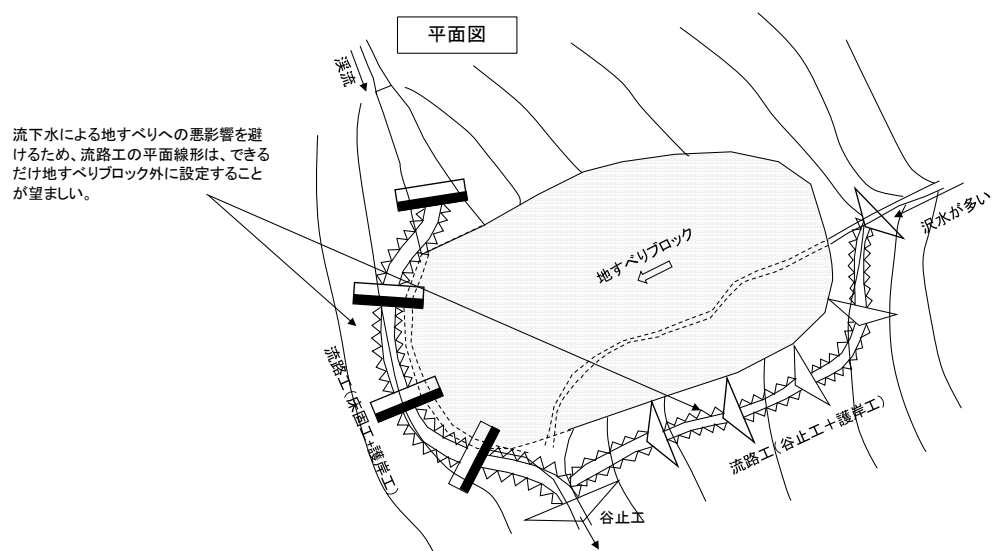
しかし地すべりブロック外に流路線形を付け替えすることが、河川水の自然な流下方向を著しく変化させて危険であるとか、ブロック外の地形が危険であるとか、用地確保の問題・工事費の著しい増加等で困難な場合には、被災前河川の平面線形を参考として、地すべりブロック内に流路工の平面線形を設定することもある。（補足図 4 - 1 0・補足図 4 - 1 2）

（２）流路工の配置における留意点

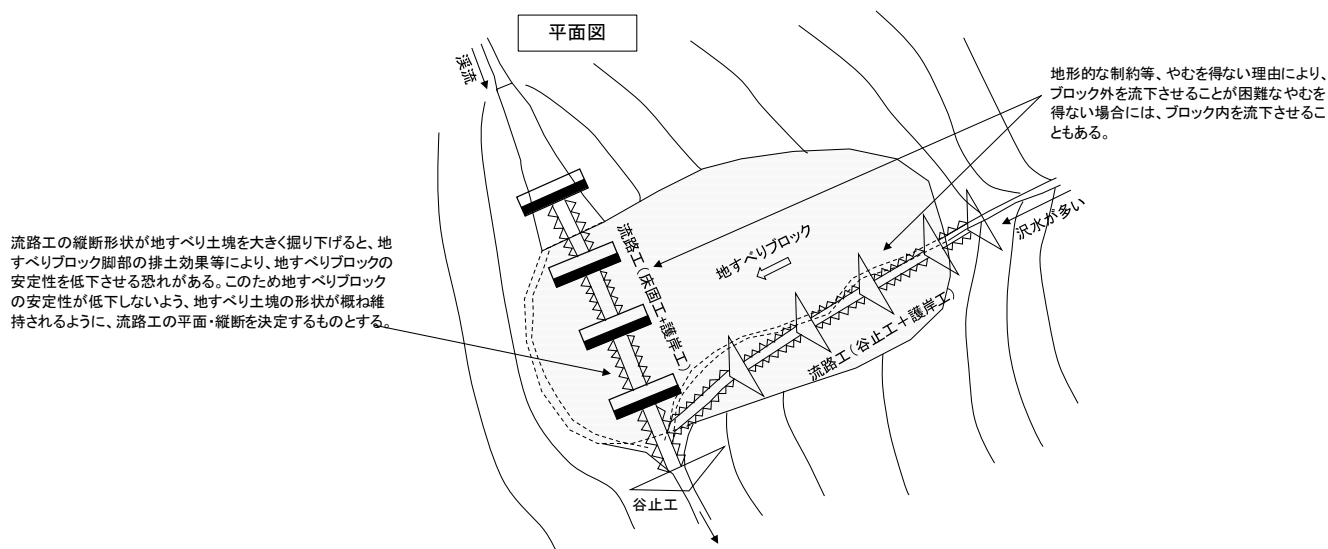
流路工の配置における留意点として、流路工の縦断形状が地すべり土塊を大きく掘り下げると、地すべりブロック脚部の排土効果等により、地すべりブロックの安定性を低下させる恐れがある。このため地すべりブロックの安定性が低下しないよう、地すべり土塊の形状が概ね維持されるように、流路工の平面・縦断を決定するものとする。また必要であれば安定解析によりこれを確認する。



補足図 4-10 応急対策となる仮設流路工 (例)



補足図 4-11 恒久対策となる流路工



補足図 4-12 恒久対策となる流路工

3-4-3 種別と構造

〔解説〕 p106～107

流路工の種別及び構造は、第2編山地治山事業第4章第6節「流路工」に準ずる。ただし、地すべり防止工として設計する流路工については、地すべりの状況を十分に考慮して設計する。

地すべり防止工に用いる流路工は、次のとおり。

- 1 地すべり移動直後の地すべり地に渓流水が流入しないように仮設の流路工を設ける場合
- 2 地すべり地内の渓流を付け替えて迂回路を設ける場合
- 3 地すべり移動がある程度終息したときに新たに渓流からの浸透水を発生させないようにする場合
- 4 地すべり末端の移動を防止するために設ける場合
また、流路工の種別は、
 - 1の場合、コルゲートパイプ、布型枠コンクリート、アスファルト板等、
 - 2の場合、仮設と恒久構造物があり、仮設の場合は1と同じ。恒久構造物の場合は、コンクリート、鋼製等、
 - 3の場合、コンクリート、コンクリート製品等、
 - 4の場合、第2編山地治山事業第4章第6節「流路工」に準じたものが多く用いられている。

〔解説〕の補足説明

1 流路工の種類

地すべり防止工に用いる流路工は、以下のような使い分けが行われている。

- (1) 地すべり移動直後の地すべり地に渓流水が流入しないように仮設の流路工を設ける場合

種別：コルゲートパイプ、布型枠コンクリート、アスファルト板等

- (2) 地すべり地内の渓流を付け替えて迂回路を設ける場合

種別：仮設構造物としては、コルゲートパイプ、布型枠コンクリート、アスファルト板等

種別：恒久構造物としては、コンクリート、鋼製等

- (3) 地すべり移動がある程度終息したときに新たに渓流からの浸透水を発生しないようにする場合

種別：布型枠コンクリート、コンクリート、コンクリート製品等

- (4) 地すべり末端の移動を防止するために設ける場合

種別：第2編山地治山事業第4章第6節「流路工」に準じたものが多く用いられている

2 流路工の不等沈下等

地すべり防止工として設計する流路工は、一般的に施工箇所がブロック内などで地盤が軟弱な場合が多く、そのような箇所では地盤の不等沈下や地すべり移動圧などで、施工後の流路工が変形することがある。このような危険がある場合には可撓性（フレキシブル）の構造を採用して、流路工としての機能が失われないようにしなければならない。

3-5 暗きょ工

3-5-1 目的

〔解説〕 p107～108

暗きょ工は、地表に近い浅層の地下水を排除することにより地すべり土塊の強度を高めて地すべりの安定化を図る場合、及び降雨、融雪水の浸透による深層地下水の増加を防止する場合に計画する。

暗きょ工は通常、水路工を併設した明暗きょ工として設計される場合が多い。

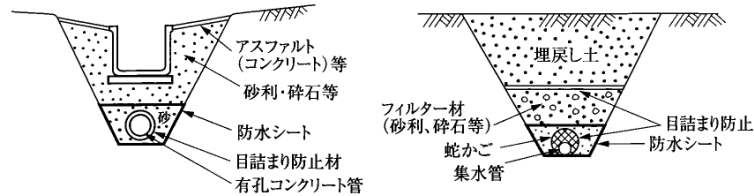


図4-3 暗きょ工の例

〔参考〕

暗きょ工の効果の算定

非常に浅い地すべりの場合は、暗きょ工による地下水位低下効果を次の方法により安全率に算入することができる。

- 1 管暗きょ公式（自由地下水で基底床近くに設置する場合）を利用して評価
本節 3-6-4 参照

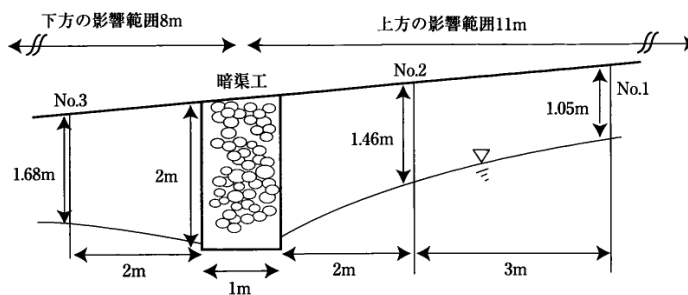
- 2 過去の実績を利用して評価

地質環境等が同じ場合で、暗きょ工による地下水位量についての実績等がある場合は、その結果を踏まえて効果を推定する場合もある。

〔解説〕の補足説明

1 暗きょ工の地下水低下の事例

地すべり深が5m程度の千葉県八丁地すべりでは、深さ2mの暗きょ工の設置により、斜面上方11m、下方8mの範囲内で地下水位低下が認められている。



図補足図4-13 千葉県八丁地すべりでの試験例

3-5-2 位置

〔解説〕 p108～109

暗きょ工は、地すべり調査解析の結果から地表水や浸透水が集まりやすい場所を選び、効果的な配置とするよう努める。

暗きょ工が適するのは、滑落崖下部で地表水が流下するような箇所、斜面の凹部等の集水地形をなしている箇所等である。

土中の間隙水を排除し、地すべり土塊の安定度を高めるために設ける暗きょ工は、斜面に沿って比較的密に集水暗きょとして設けるとよい。

暗きょの流末は、集水ます等に接続して地表水とし、水路工等により流下させる。

3-5-3 種別と構造

〔解説〕 p109～110

地すべり防止工事において計画される暗きょ工の種別・構造等は、第2編山地治山事業第5章第3節3-6「暗きょ」を準用する。

ただし、地すべり防止工として暗きょ工を設計する場合には、次の事項について留意する。

- 1 暗きょの深さは、深いほど効果的であるが、掘削により土塊が移動する危険があるので、2m 程度以内とするのが一般的である。
- 2 暗きょ管の材料は、地すべり移動による地盤変動により機能が損なわれないものとし、集水された水が再度地中に浸透しないよう、暗きょの底部には防水シート等を敷く。
- 3 地表水も集水しようとする場合は、地表まで栗石又は切込砂利、碎石等を充填する。

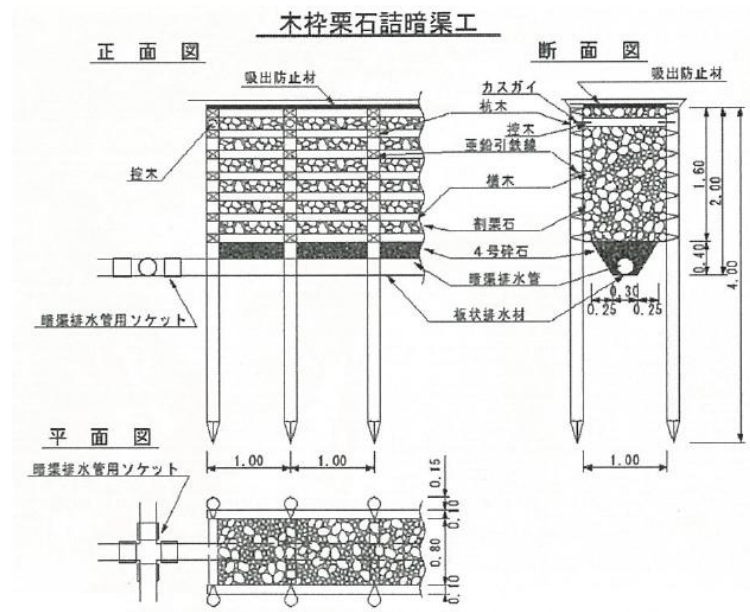
〔参考〕

大規模暗きょ工

地表から2～5m程度の深さの地下水を排水することが可能な規模の暗きょである。工法としては、最初に矢板や丸太を打ち込み、溝壁を造り、間を掘削して最下部に集水管を設置した後、栗石、切込砂利、採石等で埋め戻す方法である。なお、矢板については、地下水の集水の妨げとなるので充填後引き抜く。矢板や丸太杭が打設可能な比較的地表傾斜が緩やかな箇所で適用でき、浅層の地下水が豊富な地すべりに対して有効である。

〔参考〕の補足説明

- ・大規模暗きょ工の施工事例として、千葉県において高い施工効果を上げている構造を以下に示す。



補足図 4-14 千葉県で施工実績の多い木枠栗石詰暗渠工
(治山 2011.4 VOL.56 より抜粋)

3-6 ボーリング暗きょ工

3-6-1 目的

〔解説〕 p110

ボーリング暗きょ工は、開削による暗きょ工では排除できない深度にあつて、すべり面に作用する地下水を排除する地すべり防止工である。施工は容易であるが、地下水帯を的確に把握することが重要となる。

3-6-2 位置、本数、方向、延長及び勾配

〔解説〕 p110

- 1 ボーリング暗きょ工の孔口の位置は、排除すべき地下水の位置及び圧力水頭の低下量を勘案し、掘削長が最も短くなるように計画する。
- 2 掘進方向及び本数は、地下水帯の分布及び地下水の流動方向を勘案して最も効果的に集水できるようにする。
- 3 延長は、確実に目的とする地層に到達できるように計画する。
- 4 打設勾配は、一般的に仰角で地下水帯を貫通し集水区間ができるだけ長くなるように計画する。高い水頭を持った被圧地下水で自噴による排水が期待できる場合は、俯角で穿孔することもある。

〔参考〕 p111

ボーリング暗きょ工の施工例

地下水調査結果等から地下水の賦存量が多く、透水性の高い地すべり地や、地すべりに作用する多量の地下水がすべり面付近に確認された場合には、保孔管径 300mm 以上の大口径ボーリング暗きょ工が用いられることがある。

これは、通常のボーリング暗きょ工に比較して、目詰まりしにくいなど、集水効果が大きく維持管理も容易であり、また、保孔管に鋼管を用いることから強度的に強く、耐久性があるなどの利点があるためである。このためボーリング暗きょ工に限らず、集水井からの集水ボーリングや排水ボーリングにも用いられる。

ただし、ボーリング暗きょ工に用いる場合には、数多く打設すると費用と効果の面で非効率となるので、確実に帯水層を把握し、効率的に施工することが重要である。

〔解説〕の補足説明

- ・ボーリング暗渠工を施工するスペースとして、孔口から背後(地表側)に最低 3.5m 必要である。一般には 5m 程度以上のスペースが望まれる。
- ・既設の調査ボーリングやアンカー工、鋼管杭に当たらないように掘削方向、掘削長を設定する必要がある。
- ・すべり面の 3 次元的分布とボーリング先端位置と関係を十分に考慮して方向及び勾配を決定する必要がある。特に扇形配置の場合は外側のボーリング先端がすべり面と無関係の位置になるミスが多い。

3-6-3 構造

〔解説〕 p111

- 1 ボーリングの口径は、集水区間の保孔管の設置可能な大きさとする。通常、内径 40～50mm の保孔管が多く用いられているが、透水性の低い地層からの集水を図る場合はさらに大きくする場合もある。また、破碎帯地すべり等の穿孔条件の悪い箇所では延長が長大となる場合は、掘り出し口径を大きくし、順次掘進口径を小さくする 2 段～3 段掘としなければ孔曲がりにより目的とする地層に正確に達し得ない場合がある。
- 2 保孔管は、主として硬質塩化ビニール管を使用する。場合によりガス管を挿入するときは、地熱や地下水の pH 等に留意する。保孔管の集水区間にあたる部分は、ストレーナ加工する。また、集水した地下水が孔内を流下する途中で地層中に再浸透する場合は、当該箇所の止水処理を行うなど、再浸透防止の措置を講ずる。
- 3 ボーリング暗きょ工の孔口はコンクリートや蛇籠等で保護し、流末は排水した地下水が地中に再浸透しないように水路工等に接続させる。

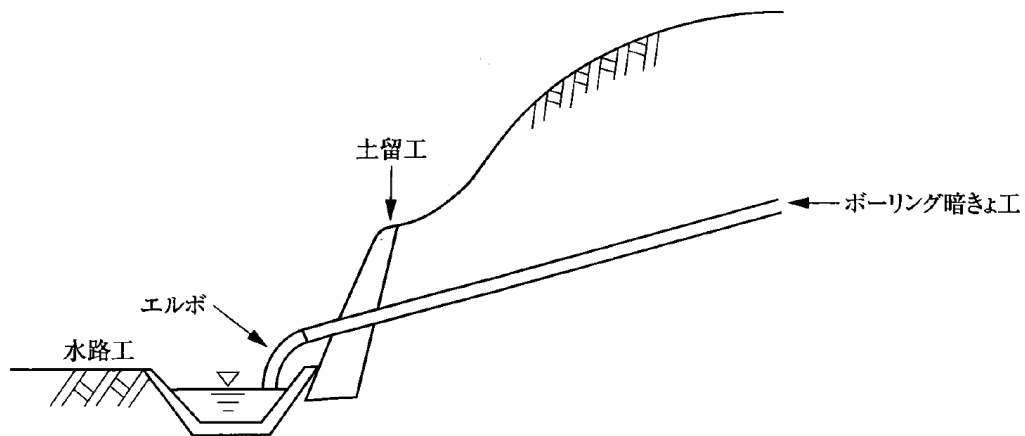


図 4-4 ボーリング暗きょ工の坑口の保護

〔解説〕の補足説明

- ・維持管理を考え、口元の構造として、洗浄する用具を挿入できるように脱着可能なキャップを付ける場合がある。スライム（水あか）を抑制するための口元構造を採用する場合もある。
- ・長期の機能維持を考え、保孔管としては、塩化ビニール管を用いることが多い。鉄管は湧水が多い時等、保孔管挿入時に管に圧力をかける必要がある場合に用いている。ただし、使い分けに明確な基準はない。
- ・孔曲りの要因として以下のようなものがある。

自然的要因

地質状況：玉石、硬軟互層、礫質土、破碎帯

地質構造：削孔勾配と近い地層傾斜

人為的要因

削孔精度に影響を与える操作要素：①給圧、②回転数、③送水量・送水圧、④ビットの選定等

3-6-4 効果の算定

〔解説〕 p113

ボーリング暗きょ工の排水効果は、ボーリング孔が地下水帯を貫通する部分のストレーナ区間での集水効果により発揮されることから、効果の範囲はこのストレーナ有効区間と地下水文的な影響範囲に限定され、影響範囲外では水圧は低下しないものとして計画する。

ボーリング暗きょ工のストレーナ有効区間の位置を平面及び主断面上で把握し、影響範囲内の水圧低下効果を算定する。

排水効果による安全率の上昇を主断面のみの二次元安定解析で検討する場合、主断面から遠い位置でのボーリング暗きょ工の効果は、横断方向での平均的な水圧低下を考慮して適切に判断する。

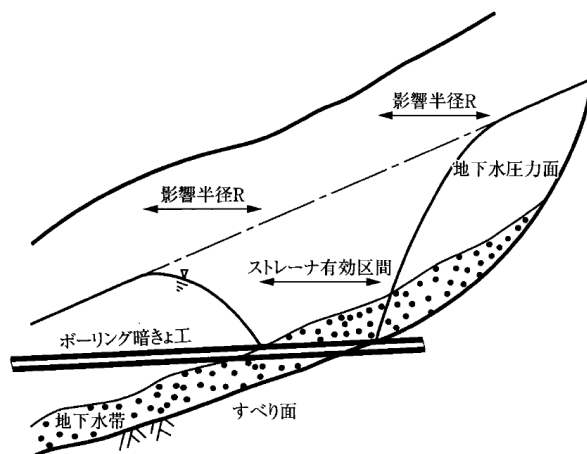


図4-5 ボーリング暗きょ工の影響範囲（縦断方向）

〔参考〕 p114

ボーリング暗きょ工の効果の推定手法

ボーリング暗きょ工の効果の推定し、適切な間隔を理論的にもとめる方法として、管暗きょ公式を利用する方法がある。複雑な地すべり地の地下水挙動を正確に把握することは難しいが、ボーリング排水工の位置の検証には有効な方法である。

その他に有限要素法などによる浸透流解析を用いて効果を推定する方法がある。

1 管暗きょの公式

(1) 被圧地下水の場合

小柳・前川の式より、ストレーナ有効区間でのボーリング間隔 $2d$ はボーリングの中間点での水位低下計画高 s との関係から次式で表される。

$$d = \frac{2b_w}{\pi} \sinh^{-1} [\exp(x)] \quad <4-3-1>$$

$$\theta = \sinh^{-1} \frac{d}{a} \quad <4-3-2>$$

$$x = \ln \left[\sinh \frac{\pi r_0}{2b_w} \right] + \pi k \frac{s_0 - s/2}{q} \quad <4-3-3>$$

$$q = \pi k \frac{s_0}{\ln \frac{\sinh(\pi R / 2b_w)}{\sinh(\pi r_0 / 2b_w)}} \quad <4-3-4>$$

ここで、 L_s ：有効ストレーナ区間長 (m)

s_0 ：管暗きょ位置での水圧低下高 $= H - h_0$ (m) ($h_0 \doteq r_0$)

H ：原水位高 (m)

h_0 ：管暗きょ内水位高 (m)

b_w ：地下水帯厚 (m)、 k ：透水係数 (m/s)、

R ：影響圏 (m)

s ：ボーリングの中間点での水圧低下計画高 (m)

a ：集水井からストレーナ区間中間までの距離 (m)

d ：集水井ボーリング先端間隔の1/2 (m)

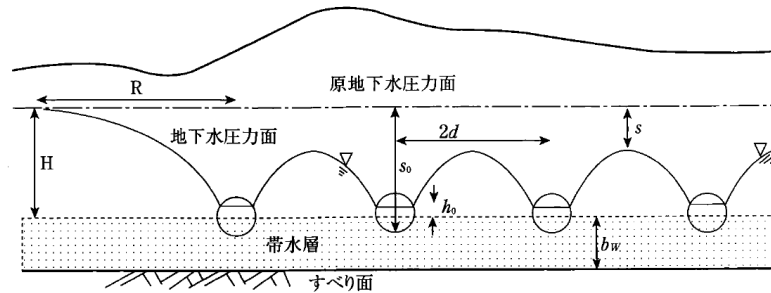


図4-6 ボーリング暗きょ工の影響範囲 (縦断方向)

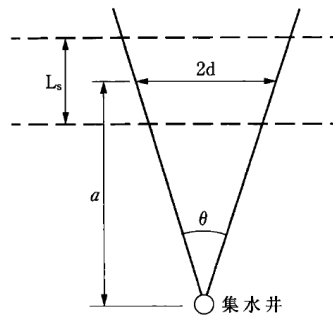


図4-7 ボーリング暗きょ工の先端間隔

(出典) 地すべり工学—理論と実践— (株)山海堂 H元.3を一部加筆

(2) 自由地下水の場合

ア・エヌ・コスチャコフの式より、原水位の低下及び雨水の浸透の両方を対象とする場合の管暗きょ先端間隔 $2d$ と平均水位高 $\bar{h}$ の関係を求めると次式となる。

$$\bar{h} = \frac{q_0 + \omega d}{ak} \left[\ln \frac{d}{r_0} + \frac{r_0}{d} - 1 \right] \quad <4-3-5>$$

$$q_0 \doteq \alpha_0 k \frac{H_1}{\ln(R/r_0)}, \quad \alpha_0 \doteq \frac{\pi}{2} + \frac{H_1}{R} \quad <4-3-6>$$

ここで、 $\bar{h}$ ：管暗きょ標高から測った平均水位高 (m)

$h_{\max}$ ：管暗きょ間での最高水位高 (m)

q_0 ：雨水の浸透を考慮しない場合の流入量 (m^3/s)

r_0 ：管暗きょ半径 (m)

ω ：浸透能 (雨量強度程度) (m/s)

k ：透水係数 (m/s)； $a = \pi/2 + h_{\max}/d$

H_1 ：管暗きょ標高からの原水位 (m)

2 管暗きよの影響半径

管暗きよの影響半径は、揚水試験等で求めることが望ましいが、理論式から求める場合の方法としてイ・ペ・クサキンの式がある。次に被圧地下水位の場合と自由地下水の場合の式を示す。

(1) 被圧地下水の場合の影響半径 R は次式で表される。

$$R = 575 \cdot s_0 \sqrt{k b_w} \quad (\text{m}) \quad <4-3-7>$$

ここで、 R ：影響圏 (m)

b_w ：地下水帯厚

s_0 ：管暗きよ位置での水位低下高 $= H - h_0$ (m)

k ：透水係数 (m/s)

h_0 ：帯水層上面から管暗きよ内の水位までの高さ (m)

(2) 自由地下水の場合の影響半径 R は次式で表される。

$$R = 575 \cdot h_0 \sqrt{k H} \quad (\text{m}) \quad <4-3-8>$$

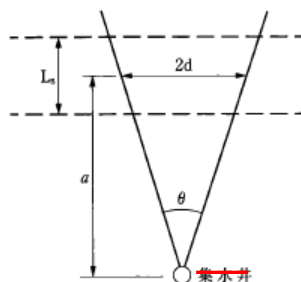
ここに、 R ：影響圏 (m)

H ：原水位高 (m)

h_0 ：不透水層から管暗きよ内の水位までの高さ (m)

〔解説〕の補足説明

- ・管暗きよの公式の d を“集水ボーリング先端間隔 1/2(m)”と説明されているが、実際は“ストレーナ区間でのボーリング間隔の 1/2(m)”が正しい。
- ・管暗きよの公式の式 4-3-3 中の r_o は管暗きよの半径(m)。
- ・図 4-7 の集水井は間違い。



- ・図 4-6 の s_0 、 H の位置が間違い。以下が正しい。

(正)

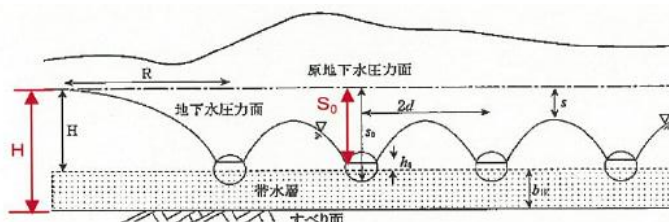


図4-6 ボーリング暗きよ工の影響範囲（横断方向）

- ・式 4-3-8 は以下が正しい。

$$(正) \quad R = 575 \cdot s_0 \sqrt{k H}$$

3-7 集水井工

3-7-1 目的

〔解説〕 p117

集水井工は、地上からでは直接排除できない地下水を排除しようとする場合に計画されるもので、排除すべき地下水層より深い縦井戸を掘って地下水を集水ボーリング孔により集水し、排水ボーリング孔により排水する。

基盤面が谷部を形成し、地下水が集中して流下する場合、あるいは大量の地下水の滞溜が想定される場合等は、井筒そのものによる集水も期待できる。ただし、山地等の場合は地下水系が複雑であり、井筒のみによる集水では不十分な場合が多いので、地下水の集水は井内からの集水ボーリング孔により行う。

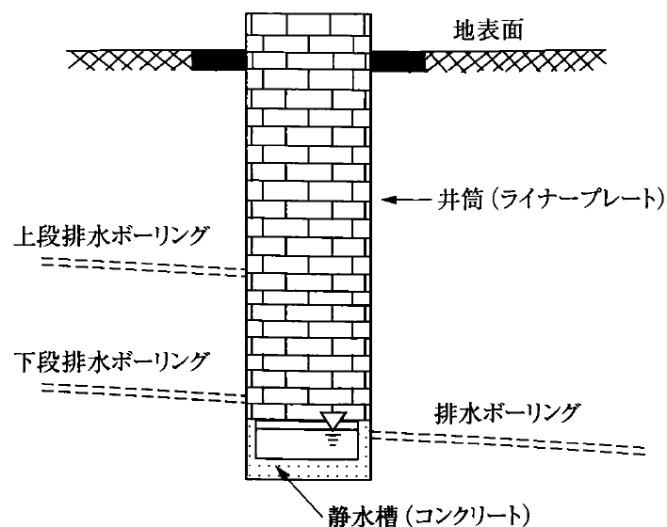


図4-8 集水井の断面図の例

〔解説〕の補足説明

- ・集水井施工時は、地すべり移動土塊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を直接観察することが出来る機会でもある。
- ・また、不攪乱試料を採取することも可能であり、工事を施工するだけでなく調査に活用することも可能。
- ・図4-8は、以下が正しい。

(正)

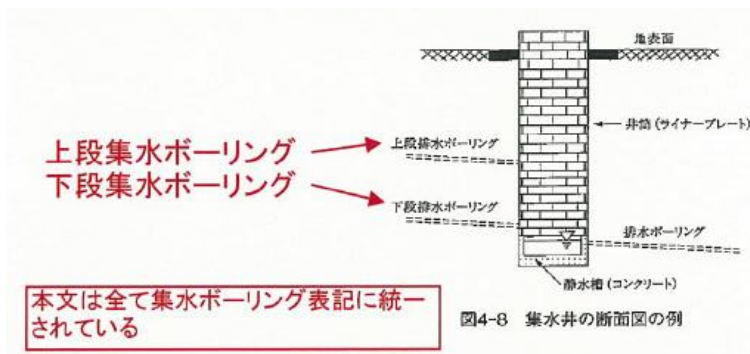


図4-8 集水井の断面図の例

3-7-2 位置

〔解説〕 p118

集水井工の位置は、排除すべき地下水の分布、流動方向、圧力水頭等、地下水調査等の結果に基づいて決定し、地下水位の高い部分、基盤面等高線図が凹地形となる部分等で効果的に地下水を集水させる。

陥没帯を有する地すべりの場合は陥没帯内に地下水が浸入し、下流のすべり面の水圧に影響することが考えられることから、陥没帯内に集水井を配置することで作用する地下水を効率的に排除することができる。

活動中の地すべり地にあっては、井壁崩壊等の作業上の危険や完成後の集水井の破壊の危険が伴うので、これらの危険を避けるため、集水井の位置を地すべり地外とし集水ボーリングにより目的とする地下水の排除を行うこともある。

3-7-3 配置

〔解説〕 p119

集水井工は、地すべりの規模や地形、地質構造等を考慮し、さらに地すべりの発生要因となる地下水の賦存状況に応じてその配置を決定する。

集水井の間隔は、目的とする地下水を最も効果的に排除できるように計画するが、連結する場合の最大間隔は、主として排水ボーリングの施工性により制限される。

大規模地すべりでは、排水トンネル工と併用するなどの排水対策を検討する。

集水ボーリングの本数及び打設間隔については、ボーリング暗きょ工に準ずる。

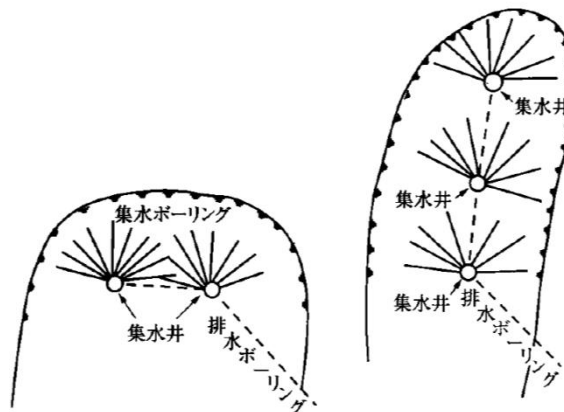


図4-9 集水井の配列例

〔解説〕の補足説明

- ・排水ボーリングで集水井を連結する場合は、ボーリングマシンの掘削能力と掘削精度を考慮して、一般的には、集水井間隔は 80m 程度を上限とした方が良い。ただし、これを超える場合は地質状況やボーリングマシンの性能によって別途検討する必要がある。

3-7-4 種別

〔解説〕 p113

- 1 集水井の井壁(井筒)に使用される材料は、一般的にライナープレートが用いられる。ライナープレート集水井は、井内を掘り下げながら鋼製円形部材(ライナープレート)を組み立てて井筒を構築するものである。
- 2 ボイリングやヒービングの起こりやすい地盤の場合は、鉄筋コンクリート枠集水井が井壁の崩落が少なく施工に適している。
- 3 上記二つの工法の特徴を組み合わせたセグメント方式の集水井を採用することもある。

3-7-5 径及び深さ

〔解説〕 p120

- 1 集水井の内径は、3.5m又は 4.0m が一般的であり、施工の安全性、深さ及び集排水ボーリングの延長等を考慮して計画する。
- 2 深さの大きい集水井では落下物防止やガス排除等、特に安全対策に留意する。
- 3 すべり面付近の地下水を排除させるとともに、排水ボーリングを基盤内に設置させるために、集水井の底部は基盤内に2～3m程度貫入させる。
なお、底部を基盤内に設けなくとも目的とする地下水の排除ができる場合や、地すべり活動による集水井の破壊を防止する場合等には底部をすべり面より上に設ける場合がある。

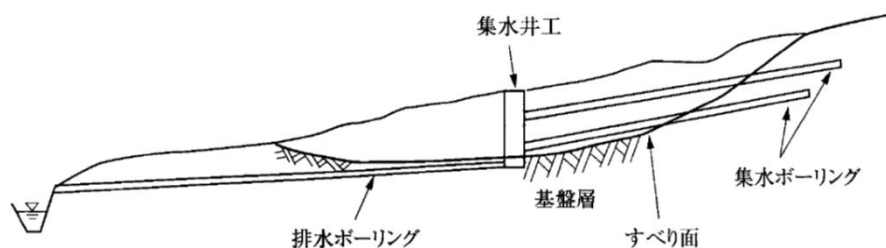


図4-10 基盤内に底部を設けた集水井工

〔解説〕の補足説明

- ・掘削深度が 50m を超えるものや、昇降機を使う必要がある場合は、安全性の観点からより大きな径が望ましい（例えば、直径 5.0m）。

3-7-6 構造

〔解説〕 p121

- 1 集水井の構造は、地盤条件や施工性等を考慮して、安全な構造とする。
なお、ライナープレートを用いる場合で掘削中の若干の移動や孔壁の崩壊等、外圧がかかるおそれのある場合は、補強リングを設ける。

- 2 集水井を施工するに当たっては、口元を確実に固定し、傾斜や自重による沈下等に耐える構造とする。
- 3 基礎部の貯水槽は集水した地下水が再浸透しないよう、水密性のあるコンクリート等で施工する。
- 4 集水井の維持管理のため、内部には昇降階段、又は梯子を設置する。
- 5 集水井の頂部は、部外者等が立ち入らないようにするなどのために、地表面から 0.5～1 m 程度井筒を立ち上げ、蓋をし施錠するとともに、周囲にはフェンス等を設置するなどして適切に管理する。

〔解説〕の補足説明

- ・集水井の構造として補強リングとライナープレートのみとしているが、これは地すべりの変位によって集水井全体に影響が及ばないようにするためである。補強リングとライナープレートのみである場合は、すべり面位置でライナープレートが変形・せん断されるのみであるが、バーティカルスチフナーがあると集水井全体が変形・破損する可能性が高くなる。バーティカルスチフナーに用いるH鋼には地すべりを抑止する機能は無い。

3－7－7 安定性の検討

〔解説〕 p122

集水井の井筒に作用する外力は、一般的に土圧のみとし水圧を考慮しない。また、土圧は主働土圧とみなし、地すべり土圧を考慮しない。

移動中の地すべり地内に設ける集水井で、地すべり土圧を考慮する必要がある場合は、井筒の安定計算をシャフト工に準じて行うことになるが、このような箇所は、施工上の危険及び完成後の破壊のおそれがあるので、他の工法による地下水排除も検討し総合的に判断する。

〔参考〕 p122

1 集水井に作用する土圧

集水井に作用する土圧は、次の区分に応じて求める。

(1) 深さ 20m 未満の集水井

ランキン土圧式により求める。

$$p = K_A \cdot \gamma \cdot h \quad <4-3-9>$$

$$p_{max} = K_A \cdot \gamma \cdot H \quad <4-3-10>$$

ここで、 p ：任意の深さ h (m) における主働土圧強度 (kN/㎡)

p_{max} ：集水井の底部における主働土圧強度 (kN/㎡)

K_A : 主働土圧係数

$$= \tan^2 \left[45^\circ - \frac{\phi}{2} \right] - \frac{2c}{\gamma h} \tan \left[45^\circ - \frac{\phi}{2} \right] \quad <4-3-11>$$

ϕ : 土のせん断抵抗角 ($^\circ$)

c : 土の粘着力 (kN/m^2)

γ : 土の湿潤単位体積重量 (kN/m^3)

H : 集水井の深さ (m)

$$P = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot H^2 \cdot \tan^2 \left[45^\circ - \frac{\phi}{2} \right] - 2 \cdot c \cdot H \cdot \tan \left[45^\circ - \frac{\phi}{2} \right] + \frac{2 \cdot c^2}{\gamma} \quad <4-3-12>$$

ここで、 P : 深さ H にわたり主働土圧 p が作用したとするときの単位幅当たりの土圧の合力 (kN/m)

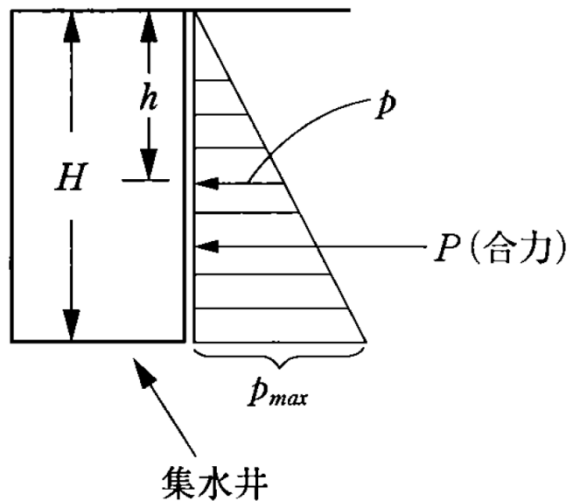


図 4-11 土圧分布図 (ランキン)

(2) 深さ 20m 以上の集水井

土圧の合力 P はランキン土圧式から求める P と等しく、土圧分布は周辺土のアーチアクションを考慮してテルツアギー 式によって求める。

$$p = \left\{ \frac{12(3m-2)}{H^3} h^2 + \frac{6(3-4m)}{H^2} h \right\} P \quad <4-3-13>$$

$$p_{\max} = \frac{3(3-4m)^2}{4(2-3m)} \cdot \frac{P}{H} \quad <4-3-14>$$

$$h' = \frac{3-4m}{4(2-3m)} \cdot H \quad <4-3-15>$$

ここで、 p ：任意の深さ h (m) における主働土圧強度 (kN/m²)

$p_{\max}$ ：最大主働土圧強度 (kN/m²)

m ：土圧合力 P の作用点の集水井の深さ H に対する比

($m \doteq 0.55$)

h' ：最大主働土圧強度の生じる深さ (m)

H ：集水井の深さ (m)

P ：土圧の合力 (kN/m)

$$= \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot H^2 \cdot \tan^2 \left[45^\circ - \frac{\phi}{2} \right] - 2 \cdot c \cdot H \cdot \tan \left[45^\circ - \frac{\phi}{2} \right] + \frac{2 \cdot c^2}{\gamma} \quad <4-3-16>$$

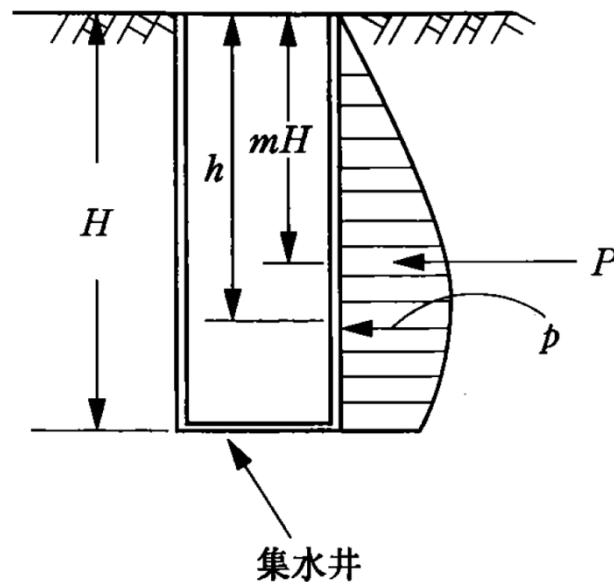


図 4-12 土圧分布図 (テルツァギ)

(3) 土質条件が多層構造の場合の集水井

各層の土圧分布を求め最大主働土圧 p_{max} を見出す。

例えば、図4-13のような多層構造の土質条件に設ける集水井の場合は、次に示す計算式により計算し p_{max} を求めればよい。

$$p_1 = \gamma_1 h_1 \tan^2 \left[45^\circ - \frac{\phi_1}{2} \right] \quad <4-3-17>$$

$$p_2 = \gamma_1 h_1 \tan^2 \left[45^\circ - \frac{\phi_2}{2} \right] - 2c_2 \tan \left[45^\circ - \frac{\phi_2}{2} \right] \quad <4-3-18>$$

$$p_3 = \{ \gamma_1 h_1 + \gamma_2 (h_2 - h_1) \} \tan^2 \left[45^\circ - \frac{\phi_2}{2} \right] - 2c_2 \tan \left[45^\circ - \frac{\phi_2}{2} \right] \quad <4-3-19>$$

$$p_4 = \{ \gamma_1 h_1 + \gamma_2 (h_2 - h_1) \} \tan^2 \left[45^\circ - \frac{\phi_3}{2} \right] - 2c_3 \tan \left[45^\circ - \frac{\phi_3}{2} \right] \quad <4-3-20>$$

$$p_5 = \{ \gamma_1 h_1 + \gamma_2 (h_2 - h_1) + \gamma_3 (h_3 - h_2) \} \tan^2 \left[45^\circ - \frac{\phi_3}{2} \right] - 2c_3 \tan \left[45^\circ - \frac{\phi_3}{2} \right] \quad <4-3-21>$$

ここで、 $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3$: 各層の土の湿潤単位重量 (kN/m³)

h_1, h_2, h_3 : 各層の地表からの厚さ (m)

ϕ_1, ϕ_2, ϕ_3 : 各層の土のせん断抵抗角 (°)

c_1, c_2, c_3 : 各層の土の粘着力 (kN/m²)

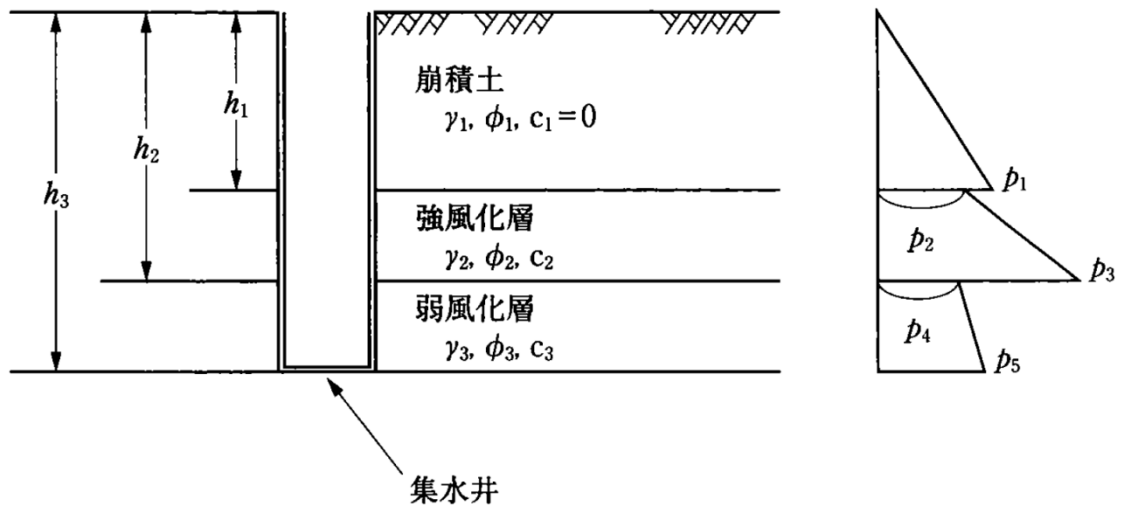


図4-13 土圧分布図 (多層構造の土質)

2 ライナープレートの板厚

ライナープレートは、弧形の波形鋼板の4辺にフランジを取り付けた部材を使用し、円環に組み立て井筒とするもので、円環に荷重が作用すると楕円形に変形し、荷重の作用した側はへこんで土圧が減少し、ふくらんだ部分に荷重が伝達されて全体として安定し、座屈を防止する構造となっている。

しかし、変形の程度が大きい場合には座屈することになるため、集水井に使用するライナープレートの板厚は、楕円ずれ量を考慮して決定する。

(1) 最大曲げモーメント

楕円ずれ量は、円環に周囲から土圧が作用した場合に図4-14のように円形が楕円形に変形した場合の変形量(U_0)をいい、一様な土圧 P の下で最大曲げモーメント M_{max} は、次式により求められる。

$$M_{max} = PR \left[U_0 + \frac{U_0 P}{P_{cr} - P} \right] = \frac{PU_0 R}{1 - P/P_{cr}} \quad <4-3-22>$$

ここで、 M_{max} ：最大曲げモーメント

P ：土圧 $=p_{max} \times 1.0$

R ：集水井の半径 (m)

U_0 ：初期楕円ずれ量

P_{cr} ：座屈危険土圧

$$= 1.5 \times \frac{2EI}{R^3} = \frac{3EI}{R^3}$$

$E \cdot I$ ：ライナープレートと補強リングの合成曲げ剛性

E ：ヤング率

I ：断面2次モーメント

ただし、有効断面積並びに有効断面二次モーメントは集水孔、ボルト孔等を考慮して減じる。

また、初期楕円ずれ量は、崩壊性の地盤又は押し出し性の地盤でない場合であっても、施工時の余掘りがあるため、ライナープレート集水井の初期楕円ずれ量 (U_0) は、ライナープレートの波高 (図4-15のa) の1/2に安全率1.5を乗じた値を見込む。なお、補強リング周辺は、部分的に固定するボルトを含めた範囲 (4-15のb) まで余掘りをするようになる。

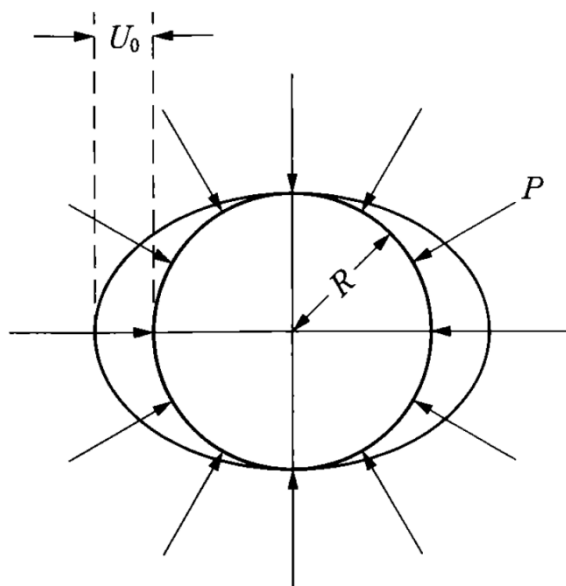
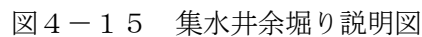


図4-14 楕円ずれ量の説明



最大圧縮応力は、 $M_{\max}$ のときに生ずる最大圧縮応力と圧縮力 $P \cdot R$ を加えたものとなり、次式で求められる。

ここで、 $\sigma_{\max}$ ：最大圧縮応力度
 A ：集水井の断面積
 Z ：集水井の断面係数
 σ_a ：許容圧縮応力度

ライナープレートの板厚は、集水井の許容圧縮応力度（ σ_a ）と楕円ずれ量（ U_o ）に対応するライナープレート（補強リングを使用する場合は補強リングを含めた）の許容外圧（ P_a ）を考慮し、 $p \leq P_a$ となるように決定する。

また、ライナープレートと補強リングとを組み合わせた場合、その合成断面の荷重配分は、軸力（ N ）を断面積比で、曲げモーメント（ M ）を断面 2 次モーメント比で配分し、次により計算する。

$$\text{補強リング} \quad \alpha_H = \frac{A_H/l}{A_L + A_H/l} \quad <4-3-26>$$

ここで、 α_L ：軸力（N）に対するライナープレートの配分率

α_H ：軸力（N）に対する補強リングの配分率

A_L ：ライナープレートの断面積（㎡）

A_H ：補強リングの断面積（㎡）

l ：補強リングの間隔（m）

② 曲げモーメント（M）に対する配分率

$$\text{ライナープレート} \quad \beta_L = \frac{I_L}{I_L + I_H/l} \quad <4-3-27>$$

$$\text{補強リング} \quad \beta_H = \frac{I_H/l}{I_L + I_H/l} \quad <4-3-28>$$

ここで、 β_L ：軸力（N）に対するライナープレートの配分率

β_H ：軸力（N）に対する補強リングの配分率

I_L ：ライナープレートの断面積（㎡）

I_H ：補強リングの断面積（㎡）

③ ライナープレート、補強リングの応力度

$$\text{ライナープレート} \quad \sigma_L = \frac{\alpha_L \cdot N}{A_L} + \frac{\beta_L \cdot M}{Z_L} \leq \sigma_{La} \quad <4-3-29>$$

$$\text{補強リング} \quad \sigma_H = \left(\frac{\alpha_H \cdot N}{A_H} + \frac{\beta_H \cdot M}{Z_H} \right) \cdot l \leq \sigma_{Ha} \quad <4-3-30>$$

ここで、 σ_L ：ライナープレートの応力度

σ_H ：補強リングの応力度

Z_L ：ライナープレートの断面係数

Z_H ：補強リングの断面係数

式<4-3-29、4-3-30>の M に式<4-3-22>の M_{max} を代入し、同じく式<4-3-23>の σ_{max} をそれぞれに代入して $A'_L = A_L / \alpha_L$ 、 $A'_H = A_H / \alpha_H$ 、 $Z'_L = Z_L / \beta_L$ 、 $Z'_H = Z_H / \beta_H$ と置き p について整理する。

$$p^2 - \left[\left(1 + \frac{A'_L}{Z'_L} U_0 \right) P_{cr} + \sigma_{La} \frac{A'_L}{R} \right] p + \sigma_{La} \frac{A'_L}{R} P_{cr} = 0 \quad <4-3-31>$$

$$p^2 - \left[\left(1 + \frac{A'_H}{Z'_H} U_0 \right) P_{cr} + \sigma_{Ha} \frac{A'_H/l}{R} \right] p + \sigma_{Ha} \frac{A'_H/l}{R} P_{cr} = 0 \quad <4-3-32>$$

ライナープレートと補強リングのそれぞれについて式<4-3-31、4-3-32>から許容外圧を求め、ライナープレートと補強リングの許容外圧を比べて小さい方を許容外圧とする。

- 3 基礎部の静水槽は集水した地下水が再浸透しないようにするために設けるもので、水密性のあるコンクリート等で施工し、一般に深さは 1.5m 程度である。

〔解説〕の補足説明

- ライナープレートの断面積 A や断面係数 Z、断面二次モーメント I は表面の水抜き穴やボルト穴の径や数量によって異なる。水抜き穴などが無い場合のそれらの値を用いて構造計算すると過小設計となる。よって、実際に用いるライナープレートの水抜き穴等の仕様に合致した断面積等を用いる必要がある。
- H25 年版では式<4-3-12>に $2c^2/\gamma$ が追加されている。土圧が過小になることが無いように、より正しい式に変更されている。

3-7-8 集水ボーリング

〔解説〕 p130

集水ボーリングは、集水井内から施工するボーリング孔により地すべりに作用する地下水を集水し排除するものである。

設計に関する事項は、3-6「ボーリング暗きょ工」に準ずる。

〔解説〕の補足説明

- ・地すべりに作用する地下水とは、すべり面付近の有圧地下水が一般的であり、自由地下水ではないことが多い。

3-7-9 排水ボーリング

〔解説〕 p130

排水ボーリングは、集水井内に集水した地下水を排除するもので、ボーリングにより穿孔し、これに保孔管を挿入して排水孔を設けるものである。

- 1 排水ボーリングは、自然流下となるよう俯角とする。
- 2 保孔管径は一般的に 100mm 程度とするが、集水量が多い場合は管径を大きくするか、又は本数を2本以上とし、集水量が最大の場合でも静水槽から溢水しないように決定する。
- 3 排水ボーリングは、地すべり活動により保孔管がせん断されないよう、すべり面を横切らないように設けることが望ましい。
- 4 排水ボーリングの流末は、排水口を地すべりブロック外に設置するか、又は水路工により安全に地すべりブロック外に導く。なお、排水ボーリングの延長が長大で1本のボーリングで排水予定地点まで穿孔できない場合には、排水中継用井の設置を検討する。

〔参考〕 p131

- 1 排水ボーリングは一般には、3° ～ 5° 程度の下がり勾配とすることが多い。
- 2 排水ボーリングの延長は、第三紀層地すべり地に代表される均質な軟岩地山では70～80m、破碎帯地すべり地のような複雑な地山では50～60m程度のことが多い。
- 3 集水井工は自然排水を原則とするが、応急対策など緊急を要する場合には、水中ポンプによる強制排水が行われることがある。
- 4 排水管径は、次式を使用して算出することがある。
(1) Hazen-Williams (ヘーゼン・ウィリアムス) の式

$$Q = 0.84935 \cdot A \cdot C \cdot R^{0.63} \cdot I^{0.54} \quad <4-3-33>$$

ここで、Q：管内流量 (m³/s)
 A：管の断面積 (m²)
 C：流速係数 (=100)
 R：径深 (D/4)
 D：管径 (m)
 I：動水勾配

(2) Manning (マニング) の式

$$Q = \frac{1}{n} A \cdot R^{2/3} \cdot I^{1/2} \quad <4-3-34>$$

ここで、n：マンニングの粗度係数 (=0.012)

(3) 井筒の出口における流量は次式で表される。

$$Q = \frac{1}{\sqrt{1+f_e+\lambda(L/D)}} A \sqrt{2gH} \quad <4-3-35>$$

$$\lambda = 124.5n^2/D^{1/3} \quad <4-3-36>$$

ここで、g：重力加速度 (m/s²)
 H：井筒水位と出口中心までの高さ (m)
 f_e ：流入損失係数 (=0.5)
 λ ：損失摩擦係数
 L：管長 (m)

式<4-3-35>において L が D に対して小さく、無視できるときは

$$Q = 0.82A\sqrt{2gH}$$

となる。

また L が D に対して十分に大きく $L/D > 1000$ 程度であれば、管内摩擦損失が大きくなり、式<4-3-34>を用いて差し支えない。

〔解説〕の補足説明

- ・ヘーゼン・ウィリアムスの式は排水ボーリングの排水能力を算定するものであるが、これは最大値であり、実際に排水ボーリングから流出する流量は排水孔口からの井内水位の高さ H によって決まる。よって、排水孔口から静水層上面までの高さを H とし、その水位高さでの流量を算定した上で、必要本数を決定する必要がある。

3-7-10 効果の算定

〔解説〕 p133

集水井工の排水効果の範囲は、地下水文的な影響範囲に限定されることから、集水井の位置や基数により排水効果が異なり、均一に水位が低下することはない。排水効果は、集水井工の位置、基数、影響範囲内での水圧低下効果、複数の集水井の相互効果を考慮して算定する。集水井工がその集水効果を十分に発揮するためには、すべり面の下まで掘り下げた完全井とすることが望ましい。もし、すべり面に到達しない集水井工とする場合は、不完全井としてその集水効果を推

定する。

排水効果による安全率の上昇を主断面のみの二次元安定解析で検討する場合は、主断面から遠い位置での集水井工の効果を適切に評価するため、横断方向での平均的な水圧低下を考慮して安定解析を行う。

〔参考〕 p133

集水ボーリングの効果

地すべり地の地下水帯は、地層や裂か系などが組み合わされた複雑な構造であり、より確実な集水効果を発揮するために井筒と集水ボーリングを組み合わせる用いることが望ましい。

集水井工の効果を算定して集水井と集水ボーリング配置を検証する場合、集水井自体の効果を井戸公式などで算定して地下水位低下の平面的な分布を推定し、そこで算出される集水井自体の揚水量 Q と降雨時に供給される地下水量を合わせた量の地下水を集水できるように、集水ボーリングの本数等を管轄きょ公式を用いて決定する慣用的な方法が採用されている。

その他の方法として有限要素法などによる浸透流解析の手法がある。

〔解説〕の補足説明

- ・ 集水井工などの計画水位高を 3m や 5m と設定する事例があるが、地すべり地全域の地下水位を 3 m 低下させるためには相当数の集水井工が必要となる。計画水位高を 3m や 5m として良いと記述されている基準書では、当初「地すべり地内にまんべんなく配置した場合」という条件が付いていた。“まんべんなく”という判断について、対象の地すべり地で集水井 10 基が適切か 5 基が適切かなどを、技術者の私見のみで判断することは難しい。よって、集水井配置と数量の効果を事前に推定することが望ましい。
- ・ 有限要素法や有限差分法を用いた地下水位低下シミュレーションや群井理論を使った簡易な地下水位低下シミュレーションなど方法を用いて集水井配置による安全率上昇効果を対策工計画時に算定することが望ましい。
- ・ 計画されている集水井配置の妥当性を検証することが望ましい。何のシミュレーションも実施せずに“計画水位低下高 5m”などとする設定は望ましくない。

3-8 排水トンネル工

3-8-1 目的

〔解説〕 p134

排水トンネル工は、集水井工等と同様に地すべりの誘因となる地下水を排除するために実施する。

排水トンネル工は地下水排除効果、経済性、施工性、所要工期、施工上及び維持管理上の安全性等について、他の地下水排除工と比較検討して採否を決定する。一般的には次の場合に採用される。

- 1 ボーリング暗きょ工や集水井工よりも効果的に地下水を排除することができる場合
- 2 集水井工による排水ボーリングでは通常の排水ができない場合
- 3 地すべりの移動速度が大きく、集水井工では施工が困難で破壊されるおそれがあり、安全性に問題がある場合
- 4 地すべり規模が大きく、集水井工やディープウェル等の対策工と連結し、立体的な地下水排除工を計画する場合

3-8-2 位置

〔解説〕 p134

排水トンネル工の計画に当たっては、地すべりに作用する地下水の分布及びすべり面・基岩面の形状、断層・破碎帯の所在等を現地調査の成果により検討し、安全かつ経済的に地下水を効率よく排除できるように施工位置等を決定する。これらを十分考慮してルート選定を行うと共に、適切な坑口部の位置についても検討する。

3-8-3 断面

〔解説〕 p135

- 1 トンネル断面は関係法令の規定、施工性、経済性、工期、維持管理等を考慮して決定する。内部断面の大きさは、通常は2m～3m程度とする。

排水トンネル工は不動基盤岩層内に設置され、その断面は一般的に小さいことから、上部半円の馬蹄形を標準とし、全断面工法が採用される。

- 2 集水ボーリングのためのボーリング室は、集水ボーリング作業の空間を確保する必要がある場合に設けるもので、その構造は、ボーリングの施工性及び安全性を考慮して決定する。

ボーリング室と接続するトンネル部分は、構造上の弱点となるのでこの部分の設計及び施工は入念に行う。

〔解説〕の補足説明

- ・集水ボーリングの孔径とボーリングマシンの大きさやボーリング室の有無も考慮して内部断面の大きさを決定する。トンネル断面が高さ2.5m×幅2.5m程度以上であれば、トンネル内でのボーリング作業は可能である。

- ・地山分類上の不良地山区間を掘進する場合には、他の断面形状や掘削工法の導入を考慮する必要がある。また、大きい断面で機械掘削方式を採用した方が経済性、工期短縮も面で優れていることがある。
- ・トンネルの掘進に際しては、作業工程の短縮を図り、完成後の異常な土圧の発生を防止する面からも余掘りを極力少なくするのが望ましい。特にトンネル底部に空隙があると地下水がこの空隙に滞留し、再び地中に浸透する等の問題が生じる。

3-8-4 勾配

〔解説〕 p135

トンネルの縦断勾配は、集水した地下水を自然流下させることができ、かつ施工の安全性及び効率を確保できるように計画する。

排水トンネル工は小断面であるため、運搬方式は一般的にレール方式が用いられる。レール方式で2%程度以上の勾配の場合には、工事車両が逸走する危険度が高くなるので、十分な安全対策を行う。

3-8-5 支保・覆工

〔解説〕 p136

支保・覆工は、掘削されたトンネルを安定に保つために設けられる構造物である。その設計に当たっては、地形・地質、地山の力学的特性、土被りの大小、湧水の有無、すべり面との関係、施工方法等を総合的に考慮して、合理的な支保・覆工を設ける。その部材としては、吹付コンクリート、ロックボルト、鋼材等がある。

〔参考〕 p136

先進ボーリング調査

トンネル掘削に先立って、トンネル計画軸線上の地質状況を確認するため、必要に応じて先進ボーリング調査が行われる。

先進ボーリング調査は、地表からの調査で確認することが困難な地質状況の局所的な変化や異常出水等を事前に確認し、安全にトンネルを掘削するために行うものである。

〔解説〕の補足説明

- ・吹付コンクリートは、コンクリートが岩盤に付着し、せん断抵抗を与える効果や被覆効果がある。掘削後ただちに地山に密着するように施工でき、施工断面に左右されずに容易に施工できる。比較的堅硬な地山では、永久覆工として使用する場合もある。
- ・ロックボルトは、岩塊の縫付け効果やアーチ効果などにより地山と一体となってその効果を発揮するため、地山の挙動を考慮して、配置、長さ、太さ、定着方法等を決定する必要がある。
- ・鋼製支保工は、吹付コンクリート・ロックボルトなどの支保機能発現までの支保や鋼製覆工などと一体となって地山の支保機能を発揮するよう配置する。
- ・覆工は、長期間にわたる荷重・侵食に対して安全で耐久性のあるものでなければならない。一般的にライナープレート覆工やコンクリート覆工が用いられる。
- ・地山の状態が悪いく異常な側圧が予想される場合は、インバート・ストラット等による補強も検討

する必要がある。

3-8-6 構造

〔解説〕 p136

- 1 排水トンネル工の掘削に際し、異常出水やガスの噴出等の危険が予想され、トンネルが長大となる場合は、立坑による避難坑や地上から穿孔する換気孔を設置するなど、安全が確保される構造を検討する。
- 2 集水した地下水は、トンネル底部を流下させることから、流下水が地中に再浸透しないようにトンネル底部と両側壁は水密性を有する構造とし、一般的に床版コンクリートを打設する。
- 3 両側壁の水密構造部の高さは、予想される流水深に基づいて決定する。トンネルの全幅を排水路とすると、流速が低下し土砂の掃流が困難になることがあるため、その場合は、水路工の設置等を検討する。ただし、地盤条件が悪い場合にトンネル底盤に水路を掘り込むと、側圧のためにトンネルが圧壊することがあるので、設計は慎重に行う。

〔解説〕の補足説明

- ・換気孔を設置する場合は地上孔口が閉塞する事の無いように維持管理を考慮して地上口付近の構造を設計する必要がある。

3-8-7 坑口部

〔解説〕 p137

- 1 坑口部は、土被り厚が小さくなるため偏土圧や切羽崩壊等の危険性が高くなるため、位置の選定に留意し設計は慎重に行う。
- 2 坑門の形式選定と施工は、斜面の安定に与える影響が大きいため慎重に行う。
なお、トンネルの内空は維持管理上中空のままとし、坑門扉は部外者が立ち入れないようにする。

3-8-8 集水ボーリング

〔解説〕 p138

- 1 排水トンネル工においては、すべり面に影響する地下水を集水するための上向きの集水ボーリングを施工する。トンネル内から建て上げる集水ボーリングの間隔、構造については、3-6「ボーリング暗きょ工」に準じる。
- 2 集水ボーリングは、地下水を効率的に集水するためにすべり面を貫いて必要な長さを上部に貫入させる。
- 3 地下水量が多く上向き集水ボーリングのみで地下水位を低下できない場合は、集水井工で集水した上で、中継ボーリングによりトンネルへ排水するなどの検討を行う。
また、地上からトンネルまで鉛直に掘削した落とし込みボーリングにより集水する方法もある。

〔参考〕 p138

集水ボーリングをすべり面上部に貫入させる長さは、地下水帯の分布を考慮して効率良く集水できるように決定するが、貫入長が長すぎると不経済となる。すべり面の形状が波状の起伏をもつ場合などは、実際の貫入長が設計と異なることもあり、掘進状況等を常にチェックして個々の集水ボーリングの最終的な掘進長を決定する。

貫入長の判断の例として有圧地下水帯の場合は 2m 程度、自由地下水帯の場合は 5m 程度とする事例がある。

3－8－9 効果の算定

〔解説〕 p139

排水トンネル工の排水効果は、トンネル内からの集水ボーリングの集水効果により発揮される。集水ボーリングの位置、本数は、影響範囲内での水圧低下効果と複数の集水ボーリングの相互効果を考慮して決定する。

〔参考〕 p139

トンネル内からの集水ボーリング配置やその効果を算定する場合は、集水ボーリングの仰角が大きいことから、擬似的に地下水帯を貫通する位置の縦孔であると仮定して、井戸公式を適用することができる。井戸公式を用いる場合の計算方法は、集水井工に準拠する。

井戸公式を地すべり地に適用した場合は、十分な計算精度を得られない場合もあるが、排水トンネル工及び集水ボーリングの配置計画により、地下水位がどのような分布で低下するかを計画段階で検討することは重要である。

その他の方法として有限要素法(FEM)等による浸透流解析の手法がある。

〔解説〕の補足説明

- ・排水トンネル工などの計画水位高を 5m や 8m と設定する事例があるが、地すべり地全域の地下水位を 5m 低下させるためには相当数の排水トンネル工と集水ボーリング工が必要となる。計画水位高を 5m や 8m として良いと記述されている基準書では、当初「地すべり地内にまんべんなく配置した場合」という条件が付いていた。“まんべんなく”という判断について、対象の地すべり地でどの程度の排水トンネルの延長が必要かを、技術者の私見のみで適切に判断することは難しい。よって、排水トンネル工及び集水ボーリングの配置と数量の効果を事前に推定することが望ましい。
- ・排水トンネル工は事業費が巨額となるので、有限要素法や有限差分法を用いた地下水位低下シミュレーションや群井理論を使った簡易な地下水位低下シミュレーションなど方法を用いて集水ボーリング孔配置による安全率上昇効果を対策工計画時に推定した方がよい。
- ・計画されている集水ボーリング孔配置の妥当性を検証する必要がある。何のシミュレーションも実施せずに“計画水位低下高 8m”などとする設定は適切ではない。

3-9 排土工

3-9-1 目的

〔解説〕 p139～140

排土工は、地すべり斜面頭部の土塊を除去することにより、確実な抑制効果が期待され、半永久的に効果が持続する抑制工である。他の工種・工法と併用してそれぞれの負担力を調整させることで効率的な対策となることも期待される。また、当面の移動を停止させるために応急的に行われることも多い。

排土工は、自然斜面を広範囲に改変させるため、周辺の景観、自然環境について考慮するとともに、施工地の侵食防止や森林を復元するための工種・工法を検討する。

〔解説〕の補足説明

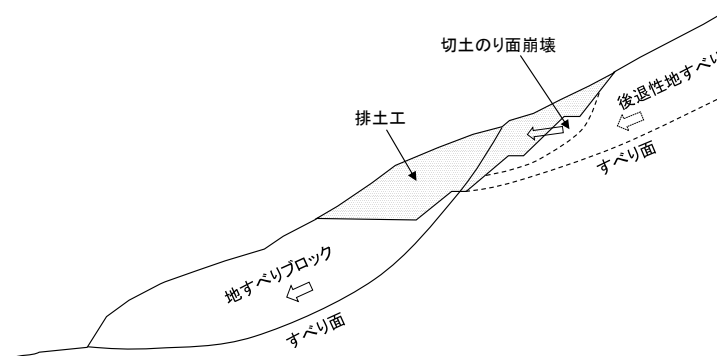
1 排土工の効果

排土工は、すべり面が円弧に近い場合、または頭部のすべり土塊の厚さが斜面下部のそれに比して非常に厚い場合に大きな効果を発揮する傾向にある。

すべり面形状（特に平板地すべりの場合）や排土位置によっては対策効果が発揮されない場合があるので留意する。

2 排土工の実施後における二次的な地すべりの危険性

排土工の実行後に、その上部斜面において後退性地すべりや切土のり面崩壊が発生することがある。このため排土工の採用では、上部斜面の安定性についても十分に調査すると共に、必要時には上部斜面の安定対策を実施しなければならない。



補足図 4-15 排土工の実施後における危険

3 排土工の採用時における重要検討項目

一般的に排土工は実行により多量の切土が発生し、発生土処理のための用地確保が進まない問題や、発生土の運搬に多額の費用を要する問題等が生じ易いため、排土工はこれらの点についても十分に吟味して採用を検討することとする。

3-9-2 位置

〔解説〕 p140

地すべりの安定性は、頭部付近の地すべり土塊の重量に大きく影響される。排土工の位置は、この頭部付近で計画し、地すべりの滑動力を効果的に軽減させるよう範囲を設定する。

排土する位置やすべり面形状によっては、効果が十分に得られないこともあるため、位置の選定には十分な検討を行う。また、二次元安定解析を用いる場合は、主断面から遠い位置の排土工の効果が適切に評価されないことがあるので、左右のバランスを考えた排土計画とする。

3-9-3 排土区域及び排土深

〔解説〕 p140～141

排土工は、すべり面の把握による安定計算の上に成り立つので、すべり面を正確に把握し、安定計算を繰り返しながら最も経済的に目標安全率に達するように排土区域及び排土深を決定する。

また、複数の地すべりブロックが連鎖的に相互に関連している場合や地すべり地の上方斜面に潜在性地すべりが分布している場合には、排土により他の地すべりを誘発する可能性があるため、十分注意する。

3-9-4 切土のり面の形状

〔解説〕 p141

- 1 排土後の切土のり面は、崩壊が発生しないような勾配にするとともに、長大なり面となる場合は、雨水による崩壊又はリルやガリー等の表面侵食を防ぐため適当な高さで区切って小段を設ける。
- 2 のり面の勾配及び小段の間隔は、一般的には次の区分によることが多い。
軟岩の場合勾配 1 : 0.5 ～ 1 : 1.2 小段間直高で 7 m 程度
土砂の場合勾配 1 : 1.0 ～ 1 : 1.5 小段間直高で 5 m 程度
また、通常、小段の幅は 1.0 ～ 2.0 m 程度である。
- 3 排土工を実施後、のり面の表土が膨潤状態等、異常な現況を呈する場合には、排土工のみならず、他の適切な工種・工法と組合せて対策を講ずる。
- 4 小段上には必要に応じて水路を設けるものとし、3-3「水路工」に準じる。

3-9-5 切土のり面の保護

〔解説〕 p142

排土後の切土のり面は、降雨等によりリルやガリーが発達しやすい。このため、排土後ののり面は山腹緑化工を計画する。工種・工法の採用に当たっては、景観や周辺の環境へ影響を与えないよう十分配慮するとともに、露岩等については必要に応じ張工等を選定する。

また、土留工を併用し、のり面が集水地形をなす場合や集水面積が大きい場合には、水路工を設けて雨水の浸透による侵食とのり面崩壊を防止するよう計画する。

山腹緑化工については、第2編山地治山事業第5章第4節「山腹緑化工」を、山腹基礎工については、同第5章第3節「山腹基礎工」を準用する。

3-9-6 切土の処理

【解説】 p142～143

- 1 地すべり区域では、潜在的に地すべり発生の危険性を持っていることが多いため、残土処理場は地すべり区域外に設定する。やむを得ず地すべり区域内に設定する場合は、残土処理で地すべりが発生しないように注意する。
- 2 地すべり地の土は、一般的に風化軟弱化する速度が速く、攪乱されると強度も小さくなるので、盛土の材料としては不適当な場合が多い。従って、残土処理が崩壊の発生又は流亡の原因とならないよう十分な対策を検討する。
- 3 残土処理を行うに当たっては、残土を資源として積極的に有効利用することが重要であり、土質条件等を十分に調査し、できるだけ多量の土を活用するよう努める。

3-10 押え盛土工

3-10-1 目的

〔解説〕 p143

押え盛土工は、すべり面傾斜が地すべりブロックの中で比較的緩勾配となっている地すべり末端部等に盛土して、地すべり全体の安定・強化を図るものである。活動中の小規模な地すべりに対して、地すべりを一時的に安定させるための応急対策工として施工される場合もある。大規模な地すべりでは、押え盛土工も大規模となるため、用地の関係で困難となる場合も多い。

また、盛土の遮水効果による地下水位の上昇や急速な载荷による間隙水圧の上昇等が生じないように考慮する。なお、このような場合は、ボーリング暗きょ工等による地下水排除等、適切な対策を講じる。

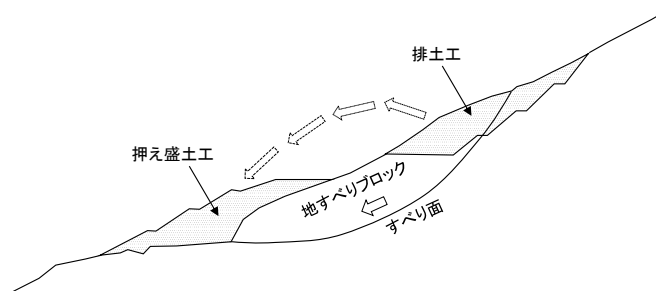
〔解説〕の補足説明

1 押え盛土工の採用時における重要検討項目

大規模な地すべりでは、押え盛土工が大規模となり、多量の盛り土材料が調達困難な問題や、用地確保が進まない問題等が生じ易いため、押え盛土工はこれらの点についても十分に吟味して採用を検討することとする。

2 押え盛土工の盛土調達

押え盛土工の材料となる土砂を、ブロック上部の排土工からの発生土でまかなうことにより、効率の良い地すべり防止工となる場合もある。これら事例を参考にして、適切な押え盛土工の計画・設計を行うものとする。なお、土工により切り取った土は、盛土材料として適当な場合と不適当な場合があるので、適用性について検討する必要がある。



補足図4-16 押え盛土工と排土工の併用（例）

3-10-2 位置

〔解説〕 p143

一般的にすべり面の傾斜は、頭部で急勾配、末端部で緩勾配又は、逆勾配となっている。

押え盛土工の位置は、すべり面の傾斜が相対的に緩やかであるか逆勾配となっているほど効果的であることから、末端部が適している。

3-10-3 盛土区域及び盛土厚

〔解説〕 p144

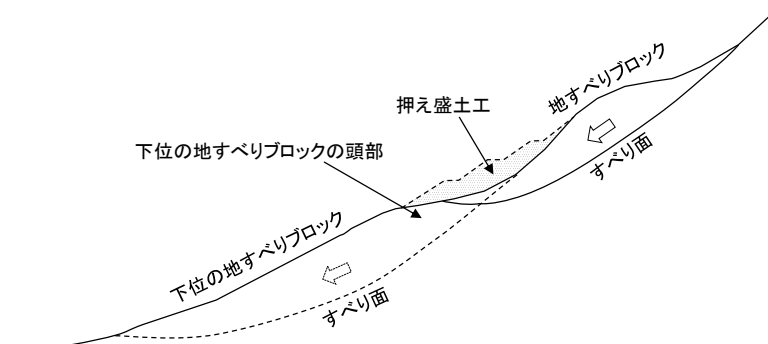
押え盛土工は、地すべりが一次すべりのような単純な地すべりブロックの場合に採用されることが多いが、数次の地すべりブロックが相互に関連し、複雑な機構を有する地すべり地の場合は、盛土により下方のブロックの安定度を低下させることがあるので注意する。

すべり面及び地すべりに対して抵抗力が働く位置等を正確に把握した上で安定計算を繰り返しながら最も効果的、経済的に計画安全率に達するように盛土区域及び盛土厚を計画する。

〔解説〕の補足説明

- ・押え盛土工の実施後における二次的な地すべりの危険性

地すべりの多発地域では、幾重にも地すべりブロックが重なっていることがあり、押え盛土工の施工位置が、下位の地すべりブロックの頭部になることもある。このような場合、盛土厚が厚く重量が大きいと下位のブロックの安定度を低下させ、二次的な地すべりを発生させる危険があるため注意しなければならない。



補足図4-17 地すべり多発地域における押え盛土の危険性

3-10-4 盛土基礎

〔解説〕 p144～145

1 盛土工の基礎となる斜面は、通常の盛土と同じように段切り等の処理をする。なお、段切り等の処理をする場合には、掘削等により地すべりを誘発しないよう十分注意する。また、地すべりブロックの末端部が攪乱されて軟弱となっている場合は、基底破壊等を生じる危険があるので、大規模な押え盛土工は採用しない。

2 盛土区域及びその上部等に湧水、又は流水がある場合は、これらの水が盛土部分に浸透して土の

強度を低下させ、盛土を破壊に至らしめることになるので、暗きょ工等により確実に湧水等を排除する。

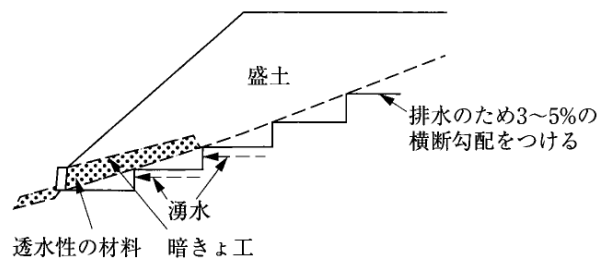


図 4 - 1 6 基礎部の排水処理例

3-10-5 盛土のり面の形状

〔解説〕 p145

- 1 土のり面の勾配は、盛土材料、又は地盤状況により、 $1:1.5 \sim 1:2.0$ を標準とし、盛土の直高 5m ごとに幅 1.0 ～ 2.0 m の小段を設ける。
- 2 規模な盛土となる場合は安定解析を行い、盛土による安全率が 1.5 以上となるように小段間隔を決定する。
- 3 土工により切り取った土は、盛土材料として不適当な場合があるので、使用に当たり土質性状に対する適用性について検討する。

3-10-6 盛土のり面の保護

〔解説〕 p146

- 1 押え盛土工を施工する地すべり斜面の下方部には、盛土の安定を図るための基礎として、土留工等の山腹基礎工を計画する。この場合、設置位置は、のり尻になることが多いが、地すべりの滑動力が直接作用しない場所を選定する。
工種・工法の採用に当たっては、排水性を十分考慮した構造物とし、盛土の高さに応じた高さとする。
- 2 盛土区域ののり面は、侵食を防止し、盛土の安定を図るため山腹緑化工を計画する。
- 3 山腹基礎工については、第 2 編山地治山事業第 5 章第 3 節「山腹基礎工」を、山腹緑化工については、同第 5 章第 4 節「山腹緑化工」を準用する。

3-1-1 ガス排除工

3-1-1-1 目的

〔解説〕 p146

活動中の火山地帯や温泉地帯においては、火山ガスや熱水による岩石の変質作用で、地すべりの素因となる温泉余土や酸性白土が生成される。また、火山ガスや熱水は、地中の間隙圧を上昇させて地すべりの誘因となる場合もある。ガス排除工は、このような地すべりにおいて、ガス圧を低下させるために実施する工種・工法である。

ガス圧に対する地すべり機構や実態は明らかでないことが多いため、地すべりの安定解析にはガス圧を取り入れない。また、ガス排除工は、火山ガスを排除する過程で、周辺の地質に新たな変質や粘土化を及ぼしたり、有毒な火山ガスを排出するおそれもあるため、実施に当たっては、慎重に調査を進めながら計画する。

3-1-1-2 位置

〔解説〕 p147

ガス排除工は、基岩層内のガス流通路をねらって設置する。そのため、十分な事前調査を行い、基岩層の地質構造及び実際のガス分布を考慮し、位置を選定する。

3-1-1-3 構造

〔解説〕 p147

- 1 地すべり地の地下深部に達して火山ガスを排除するための工種・工法は、ボーリング工法が最も実用的である。
- 2 ボーリング孔によりガスを大気へ放出することでガス圧を低下させることから、排気に障害が発生しにくい仕様とし、方向・角度には特別な制約はない。
- 3 排気ボーリング工の保孔材は高温・腐食に耐えられる材料を用いるものとし、効果的にガスを集めるための穴開け加工を行うとともに、集めたガスを他に漏らさず地上に導くように確実に設置することが重要である。
- 4 火山ガスによっては、有毒性ガス、高温高压ガス、蒸気の噴出等、危険性を伴うことから、計画、施工及び維持管理に際しては注意する。

3-1-2 治山ダム工等

3-1-2-1 目的

〔解説〕 p148～149

流水による溪流の縦侵食や横侵食が進むと、溪流に面した地すべりブロックの安定を損ない、地すべり移動を誘発する。このような場合には、地すべり末端部の侵食を防止し、地すべりの安定化を図るため治山ダム工等を設置する。

また、治山ダムを地すべり地下流の不動点に設けてダム背面を堆砂させることにより、流出土砂の抑止・調節、押え盛土の効果が発揮させる場合もある。

なお、地すべり地あるいは地すべりにより溪流に形成された河道閉塞（天然ダム）から土砂流出がある場合には、下流流域の保全を目的として治山ダムを設置することがある。

地すべりの規模や流出する土砂量等に応じて、他の地すべり防止工や流路の切り替え等と合わせて計画する。

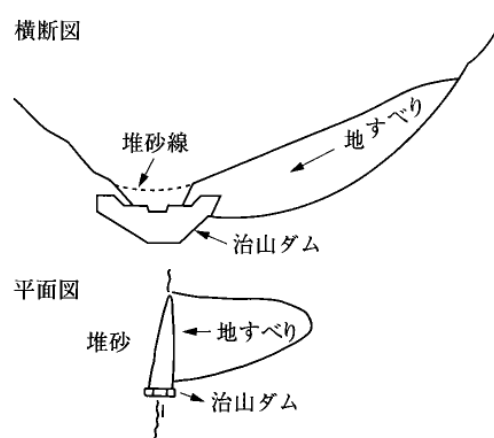


図4-17 治山ダムの押え盛土効果

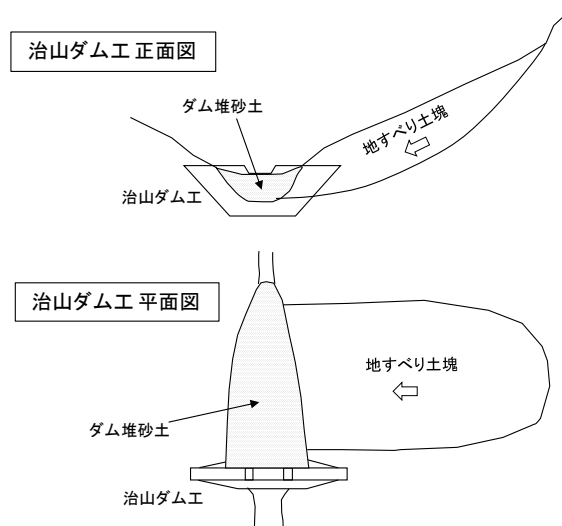
〔解説〕の補足説明

1 治山ダム工や流路工の使い分け

溪流の縦侵食（下方侵食）や横侵食（溪岸侵食）が進むと、溪床に接した地すべりブロックの安定性が損なわれ、地すべり移動が誘発される場合がある。このような場合で、縦侵食の防止が必要なケースでは治山ダム工や流路工を、また横侵食の防止が必要なケースでは護岸工や流路工を設置しなければならない。また縦侵食と横侵食の両方の防止が必要なケースでは、これら工種を併用させなければならない。これら工種の使い分けについては、第2編山地治山事業第4章「溪間工の設計」を準用する。

2 治山ダム工の押え盛土効果等

地すべりブロックが移動して溪流に達した場合には、ダム背面堆砂による押え盛土の効果発揮、土砂流出の抑止、流出土砂量の調節等を目的として、地すべりブロック直下の不動点に治山ダム工の設置を検討する。



補足図 4-18 治山ダム工の押え盛土効果

3 地すべり土塊による大規模な溪床のせき上げ

(1) 階段状の治山ダム工や流路工の必要性

地すべり土塊が溪床にまで移動し大規模な溪床のせき上げが生じると、溪床に達した土塊は溪流水による著しい侵食を受けて多量の有害土砂を流出させて下流域の保全対象に甚大な土砂災害を生じさせる危険がある。また溪流水による著しい侵食が地すべり土塊脚部の損失となれば、地すべりブロックの安定性を低下させることにもなる。

このような場合には、前述する単独の治山ダム工による押さえ盛土効果の発揮では十分な施工効果が得られないことから、堆積土砂の土質や規模を勘案した上で、階段状の治山ダム工や流路工の設置を検討しなければならない。一般的に、溪床に堆積する地すべり土塊が溪流水の流下方向で急勾配の場合には、縦侵食の防止を目的として階段状の治山ダム工や流路工の設置が行われる。また溪流水の蛇行等で溪岸侵食等が著しい場合には、横侵食の防止を目的として、治山ダム工の間における護岸工の連結や流路工の設置が行われる。

(2) 階段状の治山ダム工や流路工の平面線形と緊急対策

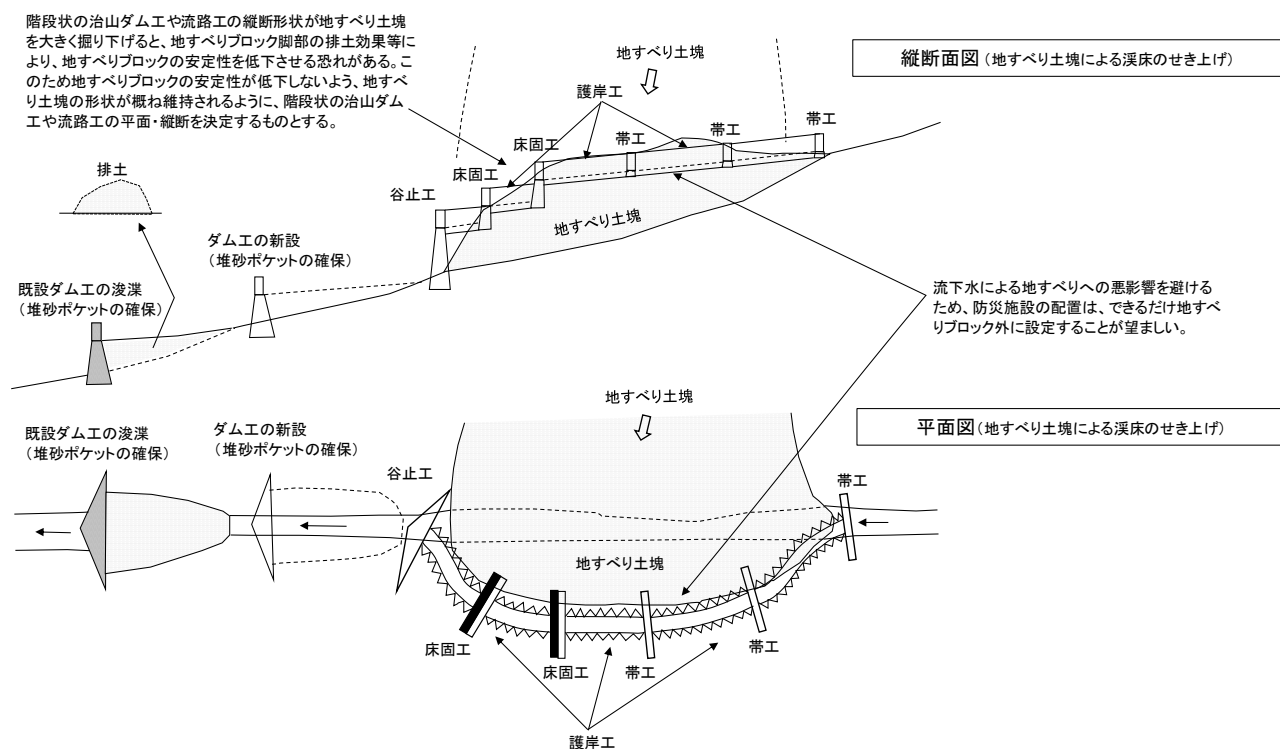
階段状の治山ダム工や流路工の平面線形は、流下水による地すべりへの悪影響を避けるため、地すべりブロック外に設定することが望ましい(図-20)。しかし地すべりブロック外にこれら防災施設を設置することが、溪流水の自然な流下方向を著しく変化させて危険であるとか、ブロック外の地形が危険であるとか、用地確保の問題・工事費の著しい増加等で困難な場合には、被災前溪流の平面線形を参考として、地すべりブロック内に流路工の平面線形を設定することもある。(図-21)

なお、緊急対策として、上記対応が困難な状況下で溪流水による侵食防止等が求められた場合には、地すべり土塊による溪床のせき上げ部を対象とする仮設流路工の設置と併せて、地すべりブロックの下流域において、堆砂ポケットを有する治山ダム工の新設や既設ダムの浚渫等についても検討する。

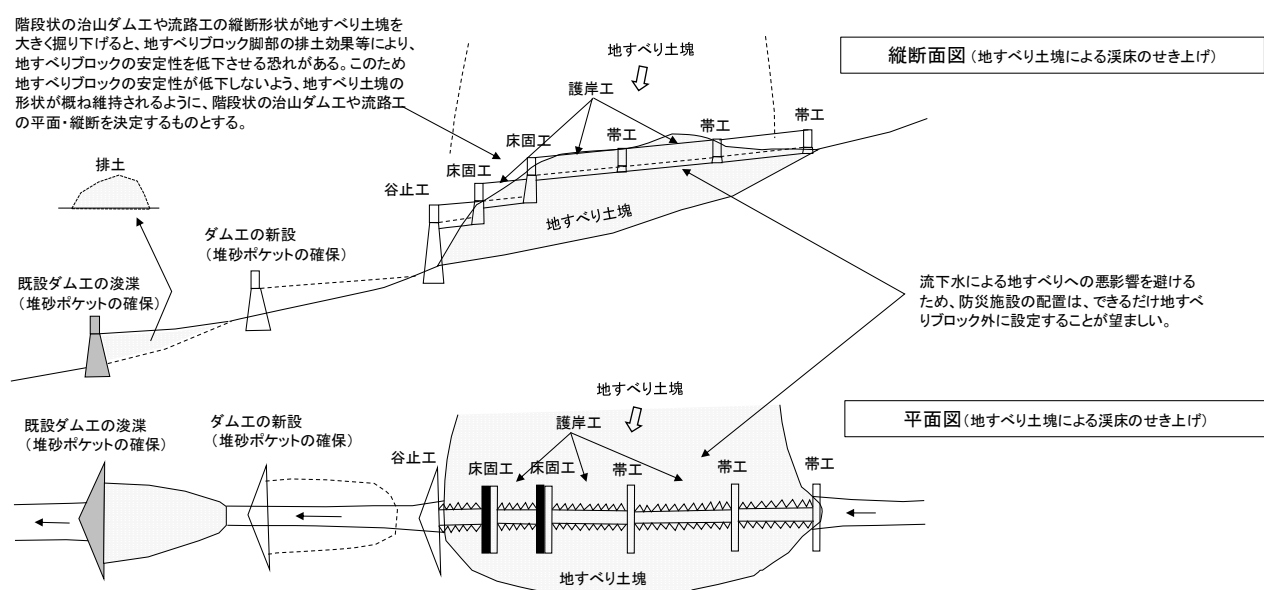
(3) 階段状の治山ダム工や流路工の留意点

留意点として、階段状の治山ダム工や流路工の縦断形状が地すべり土塊を大きく掘り下げると、地すべりブロック脚部の排土効果等により、地すべりブロックの安定性を低下させる恐れがある。この

ため地すべりブロックの安定性が低下しないよう、地すべり土塊の形状が概ね維持されるように、階段状の治山ダム工や流路工の平面・縦断を決定するものとする。また必要であれば安定解析によりこれを確認する。さらに一般的にこのような箇所は地盤が軟弱な場合が多く、地盤の不等沈下や地すべり移動圧などで、治山ダム工が変形することがある。このような危険がある場合には可撓性（フレキシブル）の構造採用等を通じて、その機能が失われないようにしなければならない。



補足図 4-19 恒久対策となる階段状の治山ダム工等の平面線形・縦断線形(地すべりブロック外)



補足図 4-20 恒久対策となる階段状の治山ダム工等の平面線形・縦断線形(地すべりブロック内)

4 地すべり防止工としての最適配置

治山ダム工を始めとする溪間工施設の配置では、暗きょ工や水路工等との関連性についても検討を行い、効果的な地すべり防止工になるよう調整しなければならない。

3-12-2 位置

【解説】 p149

治山ダム工等の設置位置は、溪流の縦・横侵食防止を目的とする場合には、「山地治山事業」における各工種・工法と基本的に同じであるが、地すべり防止工として計画する場合には、地すべり移動をしている箇所を避ける。また、施工時に斜面の不安定化が予想される箇所は避け、やむを得ずこのような箇所に設置する場合には、十分な対策を検討する。さらに、床掘等により地すべりを誘発又は助長させることがないよう十分な検討を行う。

また、堆砂により押え盛土効果を期待する場合には、押え盛土効果によるプラス面と、

溪床の上昇による地すべりブロックの間隙水圧上昇のマイナス面があり得るので、両者を総合的に検討して最も効果的な位置を選定する。

【解説】の補足説明

1 治山ダム工の位置

治山ダム工等の位置は、第2編山地治山事業第4章「溪間工の設計」に準じて検討する。

ただし、地すべり防止工として治山ダム工等を設置する場合には、ダムサイトが地すべり地形に包摂されることもあるため、上記に加えて、①設置位置は地すべりの移動圧が生じる箇所をできるだけ避ける、②やむを得ず地すべりの移動圧が生じる箇所に設置する場合には十分な対策を講じる、等の検討についても行わなければならない。

2 治山ダム工の床掘時における作業員の安全確保

地すべりブロック内は土砂がルーズな場合が多く、治山ダム工等の施工時における床掘りに切土のり面が崩れる危険が高い。このため治山ダム工の位置の選定では、地すべり活動を誘発又は助長させることがないことに加えて、作業時の安全確保も含めた検討を行わなければならない。

3-12-3 種別と構造

【解説】 p150

治山ダム工等の種別、構造その他設計に関する事項については、第2編山地治山事業第4章第3節「治山ダム工」等と基本的に同じであるが、特に、地すべりブロック内又は地すべり発生のおそれのある箇所に設ける場合には、掘削土量が少なく、かつ可撓性のある構造とすることが望ましい。

また、構造物が地すべりブロックの地下水の流れをせき止めたり、間隙水圧を上昇させるおそれがある場合には、透水性のあるものを採用し、構造物自体が排水を促進する構造であることが望ましい。

3-13 土留工

3-13-1 目的

〔解説〕 **p150**

抑制工としての土留工は、排土工、押え盛土工の基礎工の一つとして切土のり面又は押え盛土の安定のために計画するほか、水路工、暗きょ工等の基礎及びこれら基礎工の方向転換の必要が生じたときの支保の役割を果たすために計画する。

3-13-2 位置

〔解説〕 **p151**

土留工の設置位置は、第2編山地治山事業第5章第3節3-3「土留工」の設置位置と基本的に同じであるが、施工時に地すべりを誘発、助長させることがないよう、以下に留意して位置を選定する。

- 1 排土工の基礎工として地山の境界付近に設ける場合
排土後の地形、地質条件を検討し、地盤等の安全性を考慮して選定する。
- 2 押え盛土工の基礎工として設ける場合
盛土末端付近に設置するものとし、地盤の安全性等を考慮して選定する。
- 3 その他基礎工の支保として設ける場合
排土、盛土後のり面勾配等の形状を考慮し、土留工はのり面勾配となじみの良い位置を選定する。

3-13-3 種別と構造

〔解説〕 **p151～152**

土留工の種別、構造その他設計に関する事項は、第2編山地治山事業第5章第3節3-3「土留工」に準じて計画するが、地すべりブロック内、又は地すべり発生のおそれのある箇所に設ける土留工は、掘削土量が少なく、かつ、可撓性のある構造とすることが望ましい。

また、治山ダム等と同様、構造物が地すべりブロックの地下水の流れをせき止めたり、間隙水圧を上昇させるおそれがある場合には、透水性のある種別のものとし、構造物自体が排水を促進する構造であることが望ましい。

第4節 抑止工

4－1 総説

〔解説〕 p152

抑止工は、構造物の力学的強さにより地すべりの滑動力に対し直接抵抗させるもので、施工効果の即効性が得られる。なお、経済性及び効果の持続性の確保のため、抑制工の併用も検討する。

〔解説〕の補足説明

- ・杭工は受働杭なので、施工しただけでは抑止力はゼロであり即効性はない。地すべりが滑動し、杭材に所定の変形が生じた時点で所定の抑止力を得る。崩壊性地すべりなどではその地すべり変位により移動土塊が崩落する可能性もある。

4－2 杭工

4－2－1 目的

〔解説〕 p152

杭工は、杭の持つ抵抗力により地すべり滑動を抑えたり、杭を介して地すべり滑動力を不動地盤や下流側の移動層に伝達させることにより地すべりを抑止する工法である。

杭工の計画に当たっては、施工性・経済性について他の抑止工との比較も含めて十分検討する。特に大口径の杭の場合には、搬入車や施工機械が大型になるので、現場への搬入条件、施工条件に留意する。

4－2－2 位置

〔解説〕 p153

1 地盤の状態

杭施工位置は、流動現象を伴うような軟弱な地盤を避けるとともに、小崩壊や亀裂等がある場合は、杭の機能に影響を与える懸念があるので、移動特性等を十分検討して杭工の採否を判断する。

2 杭谷側移動層の状態

杭谷側移動層の地盤反力を期待する設計式を採用する場合は、地すべりが不安定化した時点で、杭谷側移動層の地盤反力が十分期待できる施工位置を検討する。

3 杭山側移動層の状態

杭山側移動層で受働破壊による新たな地すべりが発生しない位置に杭を設置する。

4 保全対象

杭施工位置の近傍に構造物等がある場合は、杭頭の変位が構造物に影響しないよう杭頭変位を規制するなどの配慮を行う。

5 施工性

クレーン等の施工機械及び資機材の搬入・搬出が困難な位置はできるだけ避けるなど、施工性に関し配慮する。

6 他の抑止工との併用

抑止機構が異なる他の抑止工との併用は避けるべきであるが、やむを得ず併用する場合には、それぞれの抑止工の許容変形量を考慮しつつ、移動特性がほぼ同じとなるようにどちらも圧縮部に計画することが望ましい。

〔解説〕の補足説明

＜配列＞

- ・杭の配列は原則として単列とする。複数配列する場合、移動土塊の移動特性が異なる杭が破壊される危険性があるので、設置位置における移動層の移動特性を十分に検討する必要がある。

＜位置＞

- ・杭の設置位置の検討は主縦断面上だけの検討にとどまらず、副縦断面および横断面上でも検討し、地すべりブロック全体を考慮した最適な位置を見出すようにする。
- ・例えば、ある地すべりブロックにおいて中央部の主縦断面だけで杭の最適設置位置を決めたとしても、中央部付近と両側部付近ですべり面の形状、地形的条件、水文的条件、土質力学的条件等が異なるため、この場合全体的に最適な位置とはならないことがある。
- ・杭谷側の有効抵抗力を期待する場合：施工可能位置が広範囲に及びこともあるが、その範囲の中でできるだけ下流側へ施工する。

＜施工位置のすべり面傾斜角＞

- ・杭の設計理論は杭に作用する水平力を基にしたものであるため、すべり面傾斜が緩傾斜となる位置を選定する。
- ・施工位置のすべり面傾斜角が 30° 程度以上となる場合は、地すべり変動における鉛直変動が大きくなることから杭工は不適。

＜杭谷側の地盤反力＞

- ・杭谷側の地盤反力が不十分であると杭材は移動層の杭材全体が傾倒する片持ち梁的な変形となる。すべり面付近の杭材のみが傾倒し地上付近の杭材が傾倒しない、くさび杭的な変形は杭谷側の土塊が杭材を支えているためである。その支える力の反力 P は杭下流側の移動土塊に加わる。地すべり滑動時にその反力 P が杭下流側移動土塊に加わっても、その土塊が単独で滑り出さないかを検討する手法が補強杭の F_d 検定やくさび杭の有効抵抗力 R_u の検討である。

4-2-3 杭の型式

〔解説〕 p154

地すべり抑止杭の型式は、一般的な補強杭、くさび杭、せん断杭及び抑え杭やすべり面が浅い場合等に適用する半剛体杭がある。それぞれに採用可能な施工位置の条件等が違うので型式の特徴を十分考慮して、型式を決定する。

なお、せん断杭理論は、たわみやモーメントの分布について検証する方法がないことや、鋼材の曲げ剛性 EI が設計に反映されないことなどから、使用に当たっては十分注意する。

有限要素法等の汎用的な方法を用いる場合は、パラメータやすべり面に関する条件の与え方等について設定根拠を明確にする。

〔参考〕 p154

1 主な杭の型式

主な杭の型式の特徴は、次のとおり。

(1) 杭の谷側移動層の有効抵抗力を期待した杭の式

- ① 補強杭： 杭を弾性床土上の梁として考え、地すべり推力の一部を根入れ地盤に伝達し、残りの推力を谷側移動層の抵抗力に委ねるとするもの。
- ② くさび杭： 杭が移動層と一体となって移動し、すべり面の上下でたわむときに発生する抵抗力により地すべり力に抵抗するもの。
- ③ せん断杭： 杭の効果としてすべり面のせん断抵抗力のみを増加させると考えるもの。

(2) 杭の谷側移動層の有効抵抗力を期待しない杭の式

抑え杭：杭を片持ち梁として扱うもの。

(3) すべり面が浅い場合

半剛体杭：杭を半剛体と考え、移動層内では剛体杭として扱い、基岩層では弾性杭とするもの。

2 必要抑止力の算定

必要抑止力は施工前の安全率 F_0 と杭工により達成させる安全率 F を用いて以下の方法により算定する。

(1) 安定解析式が Fellenius (フェレニウス) 式及び修正 Fellenius 式の場合

$$P_u = (F - F_0) \Sigma T$$

$$P_{mu} = \left\{ \frac{(F - F_0)}{F} \Sigma T \right\} \quad <44-1>$$

ここで、 P_u ：地すべり単位幅当たりの必要抑止力 (kN/m)

……くさび杭、抑え杭、補強杭 (せん断検定)、せん断杭に利用

P_{mu} ：地すべり単位幅当たりの必要抑止力 (kN/m)

……補強杭 (モーメント検定、たわみ検定) に利用

ΣT ：安定解析式の分母項の総和 (kN/m)

(2) 安定解析式が Bishop (ビショップ) 式及び Janbu (ヤンプ) 式の場合

$$P_u = \frac{F \Sigma T - f_0 \Sigma S}{f_0} \quad <44-2>$$

$$P_{mu} = \frac{F \Sigma T - f_0 \Sigma S}{F}$$

ここで、 ΣS ：安定解析式の分子項 (杭工により達成する安全率に対応)

f_0 ：修正係数、Bishop 式の場合は $f_0 = 1$ とする

3 水平負担力と鉛直負担力の算定

杭のたわみ解析は杭に作用する水平力に対する杭の変形を計算するものである。必要抑止力より、水平方向の分力を算出し、杭の水平負担力とする。必要抑止力の鉛直成分 (鉛直負担力) は杭に軸力として作用するものと考え、杭の応力度の検定時に考慮する。

水平負担力及び鉛直負担力は次の方法で算出する。

(1) 安定解析式が Fellenius 式、修正 Fellenius 式、Bishop 式の場合

$$H_u = P_u \cdot \cos \theta$$

<44-3>

$$H_{mu} = P_{mu} \cdot \cos \theta$$

$$V_u = P_u \cdot \sin \theta$$

<44-4>

$$V_{mu} = P_{mu} \cdot \sin \theta$$

ここで、 H_u ：水平負担力 (kN/m)

……くさび杭、抑え杭、補強杭（せん断検定）、せん断杭に利用

H_{mu} ：水平負担力 (kN/m)

……補強杭（モーメント検定、たわみ検定）に利用

V_u ：鉛直負担力 (kN/m)

……くさび杭、抑え杭に利用

V_{mu} ：鉛直負担力 (kN/m)

……補強杭に利用

θ ：杭施工位置でのすべり面傾斜角

(2) 安定解析式が Janbu 式の場合

$$H_u = P_u$$

<44-5>

$$H_{mu} = P_{mu}$$

$$V_u = 0$$

<44-6>

$$V_{mu} = 0$$

4 半剛体杭の設計理論

半剛体杭（剛弾性杭）は、すべり面が浅い地すべりや急傾斜地でのすべりの場合、杭の強度に比べて移動層の土質強度が小さく、移動層の部分では杭は剛体杭の挙動を示し、また、杭の基岩層に位置する部分は土質強度が大きいため、杭は弾性杭の挙動を示すと考えられている。従って、杭の回転中心より上を剛体杭、それより下を Y.L.Chang（チャン）の式のたわみ杭としてその挙動を表すものとしている。

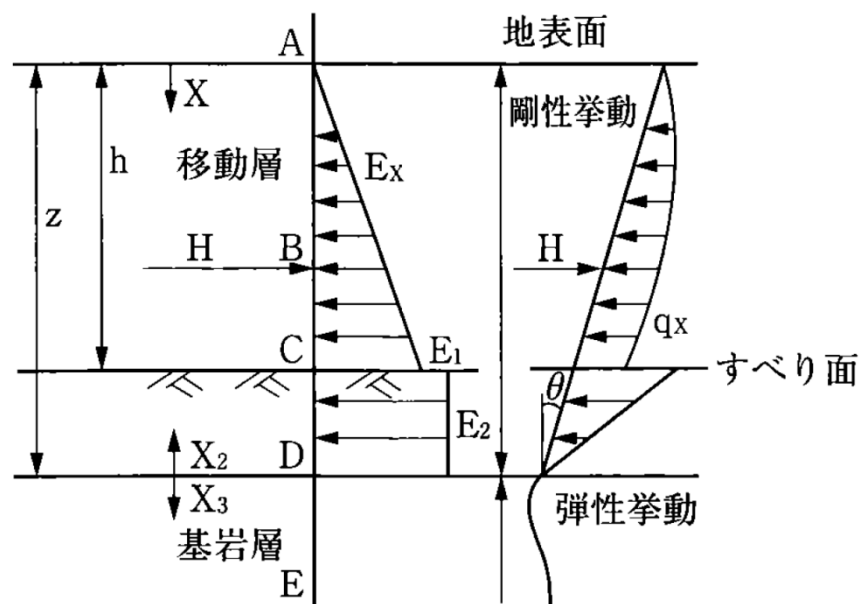


図 4 - 1 8 半剛体杭の説明図

(1) 杭の回転中心の地表からの深さ z の決定

$h_1 = \beta_2 h$ に対して表 4-1 から $z_1 (= \beta_2 z)$ を読み取り、次式により z を求める。

$$z = \frac{z_1}{\beta_2} \quad <44-7>$$

$$\beta_1 = \sqrt{\frac{k_{h1}d}{4EI}}, \quad \beta_2 = \sqrt{\frac{k_{h2}d}{4EI}} \quad <44-8>$$

$$n = \frac{\beta_1}{\beta_2} = \sqrt{\frac{k_{h1}}{k_{h2}}} \quad <44-9>$$

ここで、 h : 杭打地点におけるすべり面深さ

k_{h1} 、 k_{h2} : 移動層と基岩層の水平地盤反力係数

β_1 、 β_2 : 移動層と基岩層の β 値 (m^{-1})

d 、 EI : 杭の外径 (m) と曲げ剛性 ($kN \cdot m^2$)

表 4-1 z_1-h_1 関数表

h_1	n					
	1	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5
0.5	2.455	2.455	2.454	2.454	2.454	2.453
1.0	2.847	2.841	2.838	2.835	2.833	2.832
2.0	3.757	3.722	3.696	3.678	3.666	3.658
3.0	4.820	4.729	4.659	4.607	4.572	4.550
4.0	5.987	5.828	5.700	5.601	5.532	5.487
5.0	7.217	6.989	6.796	6.643	6.530	6.455
6.0	8.486	8.188	7.930	7.719	7.558	7.447
7.0	9.779	9.412	9.089	8.819	8.607	8.457
8.0	11.086	10.652	10.267	9.937	9.673	9.480
9.0	12.404	11.905	11.457	11.069	10.752	10.515
10.0	13.729	13.165	12.655	12.210	11.841	11.559
11.0	15.058	14.431	13.861	13.359	12.937	12.610
12.0	16.392	15.701	15.071	14.513	14.040	13.667
13.0	17.728	16.975	16.286	15.672	15.148	14.730
14.0	19.067	18.251	17.503	16.835	16.260	15.796
15.0	20.047	19.529	18.723	18.000	17.375	16.886

注) $h_1 = \beta_2 h$ 、 $z_1 = \beta_2 z$

(出典) 地すべり工学—最新のトピックス— (磯山海堂 H7.3)

[z_1 の方程式]

$$z_1^3 - 2h_1 z_1^2 - (3 - h_1^2) z_1 - \left[\frac{1}{6} n^4 h_1^3 - 2h_1 + 3 \right] = 0 \quad <44-10>$$

(2) 回転角 θ の算定

$$\theta = \frac{H_u}{2\beta_2^2 EI \left\{ n^4 h_1 \left[z_1 - \frac{2}{3} h_1 \right] + (z_1 - h_1)^2 - 1 \right\}} \quad <44-11>$$

ここで、 H_u : 水平負担力 (kN/m)

(3) 杭頭のたわみ Δ_0 の算定

$$\Delta_0 = z \cdot \theta \quad <44-12>$$

(4) 最大曲げモーメント M_{max} 、せん断力 S_{max} の算定

① 最大曲げモーメント M_{max}

最大曲げモーメントが発生する位置は、地すべり推力が作用する位置 (B 点) か、基岩内において曲げモーメントがピークとなる位置 (x_p : C～D 区間) のいずれかである。

B点での曲げモーメント

$$M_B = \frac{4E_1\theta h^2}{81} \left[z - \frac{h}{3} \right] \quad <4-4-13>$$

C～D区間の曲げモーメント

$$M_{x_p} = -H \left[x_p - \frac{2h}{3} \right] + \frac{E_1\theta h}{12} \{ 6zx - 4(z + x_p)h + 3h^2 \} \quad <4-4-14>$$

$$x_p = z - \sqrt{z^2 - \frac{2H}{E_2\theta} + \frac{E_1h(3z-2h)}{3E_2} - h(2z-h)} \quad <4-4-15>$$

最大曲げモーメント

$$M_{max} = \max(|M_B|, |M_{x_p}|) \quad <4-4-16>$$

② 最大せん断力 S_{max}

最大せん断力が発生する位置は、地すべり推力が作用する位置 (B 点) で、その値は S_{B-} 、 S_{B+} のうちの大きい方である。

ここで、B-、B+はそれぞれ B 点より上、B 点より下を意味する。

$$S_{B-} = \frac{2E_1\theta h}{27} \left[3z - \frac{4}{3}h \right] \quad <4-4-17>$$

B+点でのせん断力

$$S_{B+} = -H + \frac{2E_1\theta h}{27} \left[3z - \frac{4}{3}h \right] \quad <4-4-18>$$

最大せん断力

$$S_{max} = \max(|S_{B-}|, |S_{B+}|) \quad <4-4-19>$$

〔解説〕の補足説明

<せん断杭の取扱い>

- ・実態としてせん断杭に近い状態にある条件となる地盤等是有り得るが、せん断杭の設計理論に問題がある。せん断杭の設計理論は鋼材の曲げ耐力を考慮せず、断面積のみで設計値が決まる。究極は鋼管では無く鋼棒が有利となる。つまり、せん断杭理論では適切な杭径を検証することができないことから、過小設計になる危険性があるが、せん断杭理論のみではそれが過小であるか過大であるかを判定できない。せん断杭理論で用いられているせん断検定はくさび杭などの他の設計理論と共通であることから他の設計式を利用した設計が望ましい。

<くさび杭の取扱い>

- ・H15 年度版からくさび杭が治山技術基準で採用された。この採用にあたっては次の事項について留意が必要。
- ・治山技術基準では鋼管の許容応力度は長期強度を採用している。抑止杭は一旦地すべり活動により変形が生じると元に戻る事は無い。よって、力学的には長期の強度を採用することが望ましい。一方、他省の基準類では地下水排除工と併用する場合は“短期強度で良い”としているものが多い。一方、補強杭とくさび杭は作用する地盤反力条件は同じであるが、くさび杭の方が大きなサイズの鋼材を必要とする。H15 年以前は治山記述基準では「補強杭＋長期強度」、他省の基準では「くさび杭＋短期強度」という組み合わせになっていた。「くさび杭＋長期強度」の組み合わせを採用すると他省庁よりも厳しい条件で設計することになる。

<誤植>

- ・式<4-4-8>のルート記号は 4 乗根が正しい。
- ・式<4-4-15>の 6zx は 6zx_p が正しい。

4-2-4 杭材の種別

【解説】 p161

杭材の材質は、曲げ特性や強度に異方性がなく、適切な品質管理がなされ、強度が明確であるという条件を満足させ、この条件を満たす材質としては、鋼管が最適である。その他、水平負担力が小さい場合は、PC 杭や RC 杭等も採用可能である。また、応急対策として木杭や H 鋼杭等を打ち込む場合もある。

鋼管では引張強さ 400 N/mm² や 490 N/mm² の鋼材が一般的に利用されるが、大きな抑止力を必要とする大規模地すべり対策や、大きな曲げ応力が発生する抑え杭では、570 N/mm² 級等の高張力鋼も採用されるようになっている。

【参考】 p161

1 高張力鋼

鋼材の曲げ剛性 EI は通常の鋼管も高張力鋼も同じであり、高張力鋼は大きな変形を許容する鋼材である。地すべり抑止杭は杭に変形が生じることにより抑止効果を発揮する受働杭であるが、地すべり滑動後の移動体の変形の予測が困難であることから地すべり対策では小さな変形により所期の抑止効果を発揮することが望ましい。よって、通常は 490N/mm² 級以下の鋼材を利用するものとし、高張力鋼を利用する必要がある場合は、杭の変形特性や変形量を充分検討した上で採用する。

2 H 型鋼杭・合成杭

H 型鋼杭・合成杭は、強度や曲げ特性に異方性があり、地すべりの移動方向が想定した方向と斜交する場合に所期の性能が得られないことや、H 鋼と鋼管が一体となって変形することの検証ができないこと、鋼管の製造技術の向上により大口径や厚肉の鋼管、高張力鋼など鋼管の選択肢が広がったことなどから採用されない傾向にある。

3 杭工に適する鋼管の JIS 規格

表 4－2 地すべり防止用の鋼管に関する JIS 規格

規格番号	名 称	規格記号と材質
JIS A 5525	鋼管ぐい	SKK400 (SKK41) SKK490 (SKK50)
JIS G 3444	一般構造用炭素鋼管 (継目無鋼管及び外径318.5mm 未満の溶接鋼管に限る)	STK400 (STK41) STK490 (STK50) STK540 (STK55)
JIS G 5201	溶接構造用遠心力鋳鋼管	SCW490CF (SCW50CF) SCW520CF (SCW53CF) SCW570CF (SCW57CF)

4 鋼管のヤング係数及び許容応力度

鋼管のヤング係数 $E=2.0 \times 10^5 \text{N/mm}^2$

表 4－3 鋼材の許容応力度

鋼材規格	肉厚 t (mm)	長期許容応力度 (N/mm ²)		短期許容応力度 (N/mm ²)	
		せん断	曲げ	せん断	曲げ
SKK400 および同等品	$t \leq 40$	78	137	117	205
	$t > 40$	73	127	109	199
SKK490 および同等品	$t \leq 40$	108	186	162	279
	$t > 40$	98	171	147	256
SCW490CF および同等品	$t \leq 40$	108	186	162	279
	$t > 40$	108	186	162	279
SCW570CF および同等品	$t \leq 40$	147	254	—	—
	$t \leq 75$	142	245	—	—
	$t > 75$	137	240	—	—

5 長期強度と短期強度

通常、抑止工の設計では許容応力度法が用いられる。鋼材の許容応力度には長期と短期の値があり、抑止工に作用する抑止力が長期的なものか短期的なものかにより、採用する許容応力度を選定する必要がある。恒久対策としての抑止工の場合、例えばアンカー工は常時緊張力を与える抑止工であり長期許容応力度が対象となる。杭工やシャフト工は地すべりによる変形を受けることにより抑止効果を発揮するが、通常は変形が元に戻ることはないことから、一般的には長期的な許容応力度が対象となる。

一方、抑止工に作用する荷重が一時的なものである場合は、短期許容応力度を採用する。例えば、杭工やシャフト工では、他の防止工により適当な安全率が確保され、地すべりが不安定化する確率が小さい箇所において用いられる場合である。

〔解説〕の補足説明

- ・ヤング率 E がほぼ同じなので、高強度鋼は通常鋼材より大きな変形に耐えられる鋼材ということになる。杭工は受働杭であるため杭が所定の変形をした時点で所期の抑止力を発揮する。崩壊性地すべりなどで、地すべりの大きな変位が許容されない条件では高強度鋼の採用は望ましくない。
- ・また、杭周辺に公共構造物や人家などがある場合は、杭が必要抑止力を発揮するための変形を許容

できるかの照査が必要である。

- ・温泉地帯などで腐食の進行が速いことが予測されている場所では、FRP コーティング杭を使うことができる。

＜短期強度と長期強度＞

- ・短期強度は荷重が一時的に作用する場合に用いる強度である。地すべり変形により杭が一旦変形すると元の形状に戻ることは無い。変形した鋼材には常に内力が発生しているので荷重が永久的に作用し、除荷されることは無い。よって長期強度を採用する必要がある。他省の基準ではこのことが考慮されていないものがあることから注意が必要である。杭工を除く対策工によって十分な安全率が確保され、今後予想される異常豪雨などでも地すべりが滑動することは無い（杭が変形することはない）と断定できる時のみ短期強度が採用可能である。

4－2－5 杭の構造、間隔及び配列

〔解説〕 p164

1 杭頭の埋設深さ

杭頭を埋設する場合には、杭の維持管理上支障のないよう適切に処置する。一般的に、埋め込む場合は 1m 程度までが目安である。

2 杭材の肉厚

杭材として鋼管を用いる場合は、単一肉厚杭とすることが望ましい。

3 杭の配列

杭の配列は、地すべりの移動方向に対しておおむね直角とし、等間隔となるよう単列に設置する。やむを得ず杭の設置段数が多段になる場合には、杭施工位置での地すべり移動層の変位を十分考慮する。

4 杭間隔

杭間隔 D は、杭の安定性が確保されるとともに土塊の中抜けが生じないように決定する。

〔参考〕 p164

1 杭間隔の決定

杭間隔 D は、次の 3 つの式により算定される値のうち最小の値とする。

$$D_s = \frac{\tau_a A}{\alpha_0 S_{max}} = \frac{S_a}{S_{max}} \quad <4-4-20>$$

$$D_m = \frac{\sigma_a - \frac{N_1}{A}}{\frac{N_{f2}}{A} + \frac{M_{max}}{Z}} = \frac{M_a}{M_{max}} \quad <4-4-21>$$

$$D_y = \frac{\Delta_a}{y_{max}} \quad <4-4-22>$$

ここで、 D_s ：せん断に関する所要杭間隔 (m)

……抑え杭、補強杭、せん断杭で算出

D_m ：モーメントに関する所要杭間隔 (m)

……くさび杭、抑え杭、補強杭で算出

D_y ：たわみに関する所要杭間隔 (m)

……補強杭で算出

S_a 、 M_a ：許容せん断力 (kN) と許容曲げモーメント (kN・m)

τ_a 、 σ_a ：せん断とモーメントに関する杭材の許容応力度 (kN/㎡)

Δ_a ：杭の許容たわみ量 (m)

A 、 Z ：杭の断面積 (㎡)、断面係数 (㎡)

S_{max} ：最大せん断力 (kN/m)

M_{max} ：最大モーメント (kN・m/m)

y_{max} ：最大たわみ

$$\alpha_0 = \frac{2(3d^2 - 6d \cdot t + 4t^2)}{3(d^2 - 2d \cdot t + 2t^2)} \quad <4.4-23>$$

(d 、 t ：杭の外径と肉厚 (m)、一般的には $\alpha_0 \cong 2.0$)

N_1 ：杭 1 本に作用する軸力 (kN)

(杭頭への載荷荷重、最大モーメント深度での杭荷重等)

N_2 ：単位幅当たりの軸力 (kN/m)

(鉛直負担力、杭頭アンカー力等)

また、杭間隔は、中抜けを起こさないように決定することから、施工位置での移動層厚を考慮した標準杭間隔として表 4-4 の値を目安とする。なお、この他に杭の直径の 8 倍以内を杭間隔の目安とすることもできる。

表 4-4 標準杭間隔

移動層の厚さ (m)	標準杭間隔 (m)
～10	2.0以下
10～20	3.0以下
20以上	4.0以下

(出典) 地すべり鋼管杭設計要領 (社)地すべり対策技術協会 H15.6

2 杭材の肉厚変化

杭材が長大になる場合には経済性を考慮し、杭頭部又は杭下端の肉厚を薄肉にすることも可能であるが、設計に当たっては推定したすべり面位置の信頼性、すべり面以外の引張亀裂や圧縮亀裂の存在、肉厚変化位置での応力集中に関する検討など十分検討を行う。

3 千鳥配置

千鳥配置の場合、上流側と下流側の杭に作用する荷重を均一に保つことが難しく、上流側の杭が破断しやすいことから、できるだけ採用しないことが望ましい。また、設計計算上、杭建込削孔壁間が 1m 以内となる場合も安易に千鳥配置とせず、引張強度のより高い杭材を選定して、できるだけ単列で適切な杭間隔を確保することが望ましい。

〔解説〕の補足説明

＜杭の配列＞

- ・原則として単列配置とする。やむを得ず、千鳥配置とする場合は山側杭と谷側杭の設置位置での地形の違いや地すべり亀裂の有無などの地形状況、移動特性の違いなどによって山側や谷側のみに荷重が集中することの内容に配慮する。また、崩積土や強風化層を移動層とする地すべりでは地すべり変位に伴う上段の杭及び杭周辺地盤の変形が花壇の杭に影響することもあるため、移動層の地盤条件も考慮する必要がある。
- ・複数列での施工を計画する場合は、それぞれの杭設置位置での地すべり変位の大きさや方向が同じで、かつ、移動時期も同じであることを確認し、その上で、必要抑止力の配分方法を慎重に検討する必要がある。

＜杭間隔＞

- ・杭の施工上、孔壁間の距離は約 **1m** 以上確保する必要があるため、杭間隔の決定にあたっては、この点を考慮する必要がある。設計計算上、孔壁間の距離が **1m** 未満となる場合には杭配列を千鳥配列とする。

＜孔壁間を 1m 以上確保する意味＞

- ①杭工は効率を考えて、3～4孔をまとめて削孔し、一気に鋼管の建込みを行うことが多いが、孔壁間が近いとグラウトが隣の孔に流入したり、洗浄による泥水が洗浄済みの孔に流れるなどの悪影響がある。また、隣の孔に注入したグラウトの影響で鋼管が浮く場合もある。
- ②1本ずつ削孔＋建込みをする場合で孔壁間が近い場合は、隣の杭周辺のグラウトの十分な養生期間を待って削孔を始める必要がある。そうしないと削孔時の振動やケーシング挿入時の圧力等が隣接する杭のグラウトに悪影響を与え、グラウト内の亀裂の発生や不均質なグラウトが生成される可能性が高くなる。また、十分に養生されたグラウトでも削孔時の振動によりクラックが発生する可能性もある。グラウトにクラック等が発生するとグラウトの防食機能が著しく低下する。
- ③孔壁間が近いと孔壁間の土塊の乱れや応力解放が大きくなり、孔壁の崩壊が起きやすくなる。
- ④地すべり抑止杭は平地ではなく斜面に設置されることと設置位置のすべり面も傾斜している影響で、地すべり滑動時に杭の軸方向の力を受ける。そのため、杭周辺地盤の拘束力が弱いと、地すべり滑動時に杭頭が地表に突き出る変状が生じる。孔壁間が近いと孔壁間の土塊の乱れや応力解放が大きくなり、地山の持つ本来の強度を有しなくなることから、杭の拘束力が低下し、杭に作用する軸方向の力に対する耐性が低下する。

4－2－6 安定性の検討

〔解説〕 p166

杭の安定性は、杭の設計式に応じて、採用した杭間隔 **D** に対するせん断検定、モーメント検定、たわみ検定や地盤の降伏・破壊の検討、不動層への根入れ長、杭谷側移動層の地盤反力及び杭山側移動層の受働破壊について、必要な検討を行う。

〔参考〕 p167

1 応力度の検討

杭に作用するせん断力及び曲げモーメントに関する応力度、許容たわみは次式により求められる。

(1) せん断応力度……抑え杭、補強杭、せん断杭

$$\tau_{max} = \alpha_0 \frac{D \cdot S_{max}}{A} \leq \sigma_a \quad <4-4-24>$$

ここで、 τ_{max} ：杭に生じる最大のせん断応力度 (kN/m²)

S_{max} ：単位幅当りの力により発生する最大せん断力 (kN/m)

D ：杭間隔 (m)

τ_a ：許容せん断応力度 (kN/m²)

$$\alpha_0 = \frac{2(3d^2 - 6d \cdot t + 4t^2)}{3(d^2 - 2d \cdot t + 2t^2)} \quad <4-4-25>$$

(d, t ：杭の外径と肉厚 (m)、一般的には $\alpha_0 \div 2.0$)

(2) 曲げ応力度……くさび杭、抑え杭、補強杭

$$\sigma = \frac{N_{f1} + D \cdot N_{f2}}{A} \pm \frac{D \cdot M_{max}}{Z} \leq \sigma_a \quad <4-4-26>$$

ここで、 σ ：杭に生じる曲げ応力度 (kN/m²)

N_{f1} ：杭一本当たりに作用する軸力 (kN)

(杭頭への載荷荷重、最大モーメント深度での杭荷重等)

N_{f2} ：単位幅当たりの力により発生する垂直力 (kN/m)

(鉛直負担力、杭頭アンカー力等)

A ：杭材の断面積 (m²)

Z ：鋼材の断面係数 (m³)

M_{max} ：単位幅当たりの力により発生する最大曲げモーメント (kN・m/m)

D ：杭間隔 (m)

σ_a ：許容曲げ応力度 (kN/m²)

(3) 許容たわみ……補強杭

単位幅当たりの水平負担力を用いて算出された最大たわみ y_{ma} と杭間隔 D より、杭 1 本当たりのたわみ量 Y_{max} を算出し、許容値以内であることを検証する。補強杭理論では許容たわみを 2cm としている。

$$Y_{max} = D \cdot y_{max} \leq Y_a \quad <4-4-27>$$

ここで、 Y_a ：許容たわみ

2 地盤の降伏・破壊の検討……全ての杭

杭工に作用する受働土圧 Q (kN)は、次式により与えられる。

受働土圧算出に際しては、弾性域のみならず塑性域も考慮し、杭に作用する受働土圧 Q_{p1} 、 Q_{p2} が外力 (H 、杭一本当たりの水平負担力) より大きければ地盤は安全である。

(1) 移動層

$$Q_{p1} = 3d \left[\frac{1}{2} \gamma_1 h_1^2 K_{p1} + 2c_1 h_1 \sqrt{K_{p1}} \right] \cdot \frac{1}{f_s} \quad <4-4-28>$$

(2) 不動層

$$Q_{p2} = 3d \left\{ \left[\frac{1}{2} \gamma_2 h_2^2 + \gamma_1 h_1 h_2 \right] K_{p2} + 2c_2 h_2 \sqrt{K_{p2}} \right\} \cdot \frac{1}{f_s} \quad <4-4-29>$$

ここで、 γ ：土の単位体積重量 (kN/m³)

d ：杭径 (m)

$$K_p = \tan^2 (45^\circ + \phi/2)$$

安全率 $f_s = 2$

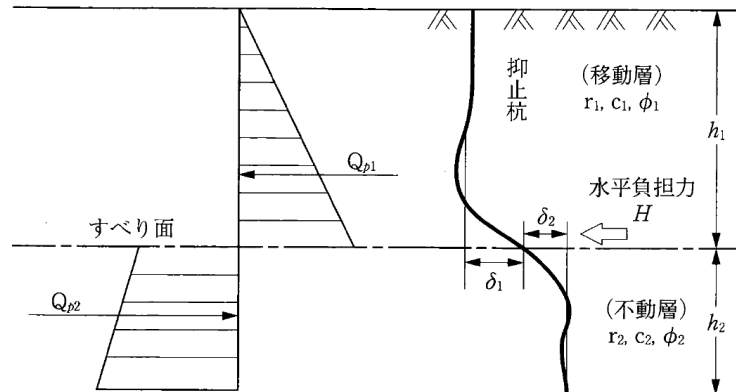


図4-19 抑止杭に作用する受働土圧

(出典) 地すべり鋼管杭設計要領 (社)地すべり対策技術協会 H15.6

図 4 - 1 9 抑止杭に作用する受働土圧

3 不動層への根入れ長の検討………全ての杭

たわみ杭の設計式は根入れ長が半無限長であることを前提としている。設計式ごとの算定法は次のとおりである。

(1) くさび杭

$$l_r = (1.0 \sim 1.5) \times \left[\tan^{-1} \frac{\beta_1 - \beta_2}{\beta_1 + \beta_2} + \pi \right] / \beta_2 \quad <4-4-30>$$

(モーメント第1零点の1.0~1.5倍)

ここで、 l_r ：杭の根入れ長 (m)

β_1 ：杭の特性値 (移動層) (m⁻¹)

β_2 ：杭の特性値 (不動層) (m⁻¹)

(2) 補強杭、半剛体杭

$$l_r = 2.5 \lambda_y / \beta_1 \quad <4-4-31>$$

(たわみ第1零点の2.5倍。 λ_y ：第1たわみゼロ点深さ係数)

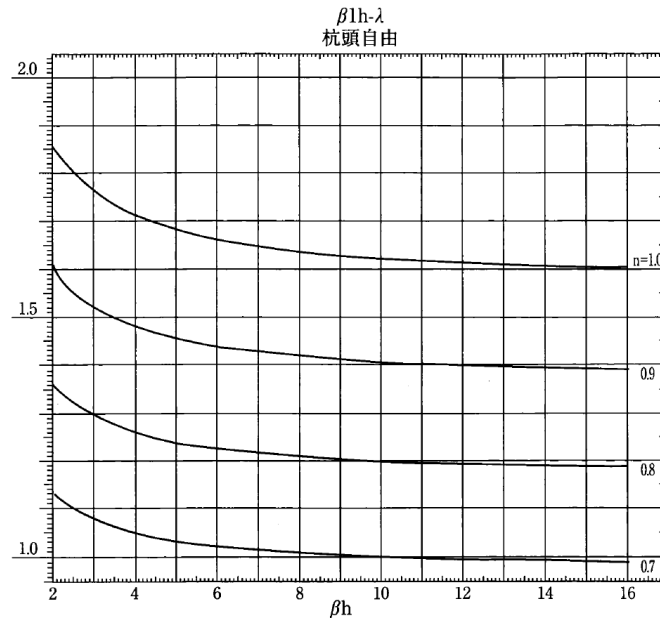


図 4-20 βh から λ を求める図

(3) せん断杭、抑え杭

$$l_r = (1.0 \sim 1.5) \pi / \beta \quad <4-32>$$

ただし、すべり面近傍の不動層地盤が局所的に乱されていることなども考慮し、最低でも 3m の根入長は確保する。

4 杭谷側移動層の状態の検討

杭谷側移動層の地盤反力を期待する設計式を採用する場合は、地すべりが不安定化した時点で、杭谷側移動層の地盤反力が十分期待できるか検討する。この検討方法は、杭の設計式により異なっているが、補強杭理論では F_d 検定を用い、くさび杭理論や抑え杭理論では、杭谷側移動土塊の有効抵抗力の検討を行う。

(1) F_d 検定……補強杭

F_d 検定では以下の方法を用いて、杭谷側移動層の状態を検討する。

杭谷側移動層単独での安全率 F_d は次式で表される。

$$F_d = \frac{\sum^d S}{\sum^d T + r'_s \cos \alpha} \quad <4-33>$$

ここで、 F_d ：杭谷側移動層単独の地すべり安全率

$\sum^d S$ ：杭谷側移動層単独の安定解析式の分子項の総和

$\sum^d T$ ：杭谷側移動層単独の安定解析式の分母項の総和

r'_s ：杭谷側移動層の許容最大水平力

α ：杭施工位置のすべり面傾斜角

(ヤンプの安定解析式を用いる場合は $\cos \alpha = 1$ とする)

よって、 F_d が全体の目標安全率 F_p と等しくなる時の r'_s は次式となる。

$$r'_s = \frac{\sum^d S - F_d \sum^d T}{F_d} \cdot \sec \alpha \quad <4-34>$$

ここで、 $\sum^d S$ ：杭谷側移動層単独の安定解析式の分子項の総和 (F_p 対応の値)

杭を介して下流に伝えられる地盤反力の合力 R_s に対し、次の関係を満足させる。

$$r'_s \geq R_s$$

$$R_s = H_{mu} \cdot \rho$$

<4-4-35>

ここで、 H_{mu} ：たわみ解析に用いる水平負担力

ρ ：地盤反力合力係数

- (2) 有効抵抗力の検討……くさび杭、せん断杭、抑え杭
設計式にくさび杭、せん断杭や抑え杭を採用する場合は有効抵抗力の検討を行う。
杭谷側移動層の有効抵抗力 R_u は以下の式で算出する。

$$R_u = \sum^d S - \sum^d T$$

<4-4-36>

ここで、 $\sum^d S$ ：杭谷側移動層単独の安定解析式の分子項の総和（ $F = 1.0$ 対応）

$\sum^d T$ ：杭谷側移動層単独の安定解析式の分母項の総和

杭が負担する単位幅当の水平負担力 H_u との対比で以下のように有効抵抗力を評価する。

- ① $R_u \geq H_u$ の場合は十分な有効抵抗力がある
くさび杭、せん断杭の適用が可能。
- ② $H_u > R_u \geq 0.7H_u$ の場合、有効抵抗力が若干不足する
くさび杭の適用は可能であるが、移動層の地盤反力を補正する。
- ③ $R_u < 0.7H_u$ の場合、有効抵抗力が不足する
抑え杭が適用可能である。

- 5 杭山側移動層の受働破壊の検討……全ての杭
杭山側の移動層に受働破壊による新しい地すべりが発生しないか検討を行う。
通常、仮想すべり面安全率 F_{AXY} は目標安全率以上となるようにする。

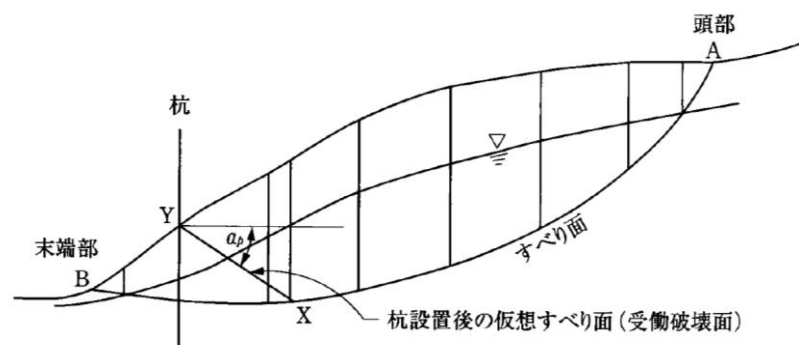


図 4-2-1 杭山側移動層の受働破壊の検討図
(出典) 地すべり鋼管杭設計要領 (社) 地すべり対策技術協会 H15.6

$$\alpha_p = 45^\circ - \phi_1/2$$

$$F_{AXY} = \frac{\sum \{(N_{AX} - U_{AX}) \tan \phi + c \cdot L_{AX}\}}{\sum T_{AX} + \sum T_{XY}} + \frac{\sum \{(N_{XY} - U_{XY}) \tan \phi_1 + c_1 \cdot L_{XY}\}}{\sum T_{AX} + \sum T_{XY}} \quad <44-37>$$

ここで、

α_p : 水平面とXY面がなす角度 (°)

F_{AXY} : 仮想すべり面AXYにおける安全率

Σ : 各スライスの総和を意味する

N_{AX} : すべり面AXで各スライスのすべり面に働く法線力 (単位巾当たり) (tf/m)

N_{XY} : 仮想すべり面XYで各スライスのすべり面に働く法線力 (単位巾当たり) (tf/m)

U_{AX} : すべり面AXで各スライスのすべり面に働く間隙水圧による力 (単位巾当たり) (tf/m)

U_{XY} : 仮想すべり面XYで各スライスのすべり面に働く間隙水圧による力 (単位巾当たり) (tf/m)

T_{AX} : すべり面AXで各スライスのすべり面に働く接線力 (単位巾当たり) (tf/m)

T_{XY} : 仮想すべり面XYで各スライスのすべり面に働く接線力 (単位巾当たり) (tf/m)

L_{AX} : すべり面AXで各スライスのすべり面の長さ (m)

L_{XY} : 仮想すべり面XYで各スライスのすべり面の長さ (m)

ϕ : すべり面AXの内部摩擦角 (°)

ϕ_1 : 仮想すべり面XYの内部摩擦角 (°)

c : すべり面AXの粘着力 (tf/m)

c_1 : 仮想すべり面XYの粘着力 (tf/m)

〔解説〕の補足説明

<杭山側移動層の受働破壊の検討>

- ・補強杭では最大たわみを 2cm と設定してたわみ検定を行っている。これは杭の変形により周辺地盤の受働破壊を生じないことを検定しているものであり、この検定が受働破壊検定となる。
- ・一方、図 4-21 に示すような仮想壁を設けた受働破壊は、受圧版位置に荷重を与えるアンカー工の考え方に基づいている。杭工では地上部にほとんど荷重が発生しないので、図 4-21 のような受働破壊面は発生しない。よって、周辺地盤の受働破壊に関する検証は図 4-19 の方法のみで十分である。

<誤植>

- ・式<4-4-24>は “ $\leq \sigma_a$ ” ではなく “ $\leq \tau_a$ ” が正しい。
- ・式<4-4-37>の説明で“tf”が多用されている。

4－2－7 杭内部及び外周の処理

〔解説〕 p174

- 1 杭の設計に際しては、杭材(鋼管)の腐食による断面性能の低下は考慮しないので、鋼管の内部は、モルタル又はコンクリートで充填し腐食防止を図る。
- 2 孔壁と杭の間に空隙があると、抑止効果が発揮されるまでの地すべりの変位量が大きくなるとともに、杭のたわみに対して地盤反力が十分に作用しなくなるおそれがある。
また、地下水の浸入で抑止杭の機能が低下することも考えられるため、杭の外周はモルタルグラウトで全長にわたり充填する。

〔解説〕の補足説明

- ・酸性土壌等の特殊土壌でなければすべり面付近は還元環境にある場合が多い。よって、鋼管の外周と内部をグラウトで充填することによって防食が可能である。外周及び内部にグラウト充填を実施しないと還元環境を半永久的に維持できない。
- ・また、内部を充填することによって杭全体の最終的な破断強度が向上する効果も期待できる。

4-3 シャフト工

4-3-1 目的

〔解説〕 p175

シャフト工は、

- 1 地すべりが大規模で大きな抑止力が必要な場合
- 2 地理的な制約から杭材や施工機械が搬入できない場合
- 3 集水井工として地下水を排除した後シャフト工として仕上げるなど、集水井工と兼用する場合等に採用される大口径杭工である。

シャフト工は、経費が巨額となるので、重要な保全対象があり他の経済的な抑制工、抑止工が計画できず、かつ相当大きな地すべり推力を対象とする場合のみ計画される。

4-3-2 位置

〔解説〕 p175

シャフト工の最適位置の選定方法は、基本的に杭工と同じである。地すべり移動土塊は、移動特性により圧縮域と引張域に分けることができるが、引張域では杭谷側の地盤反力が十分期待できないことを考慮する。

杭谷側の地表面傾斜や施工位置周辺の亀裂の状況、小崩壊の状況等も杭の機能に影響を与える。施工位置決定に当たっては、施工位置の地盤の状態、杭谷側移動層の状態、杭山側移動層の状態、保全対象、施工性等について十分検討する。

検討内容の詳細は杭工に準ずる。

4-3-3 シャフト工の設計式

〔解説〕 p176

シャフト工の設計方法は、剛体杭として設計する方法とたわみ杭として設計する方法に大別することができ、一般的に次式により判定している。

$\beta l \leq 2$ ……剛体杭

$\beta l > 2$ ……たわみ杭

ここで、

$$\beta = \sqrt[4]{\frac{k_h d}{4EI}} \quad <4-4-38>$$

k_h ：移動層の水平地盤反力係数 (kN/m²)

d ：シャフト工の外径 (m)

EI ：シャフトの曲げ剛性 (kN・m²)

(弾性係数Eはコンクリートの弾性係数を用いるか、鋼材と
コンクリートをその断面積の比率で合成した値を用いる)

l ：施工位置でのすべり面深さ (m)

〔参考〕 p176

剛体杭として設計する場合は、一般的に力とモーメントの釣り合いから地中の回転中心を求める方法が用いられるが、杭谷側移動層の地盤反力が十分に期待できるか否かで、移動層の地盤反力が異なるので、その取扱いに注意する。杭谷側移動層の地盤反力の判定方法は杭工に準じ、杭本体の設計

方法はケーソンに準ずる。

たわみ杭の場合の設計方法は杭工に準ずるものとし、施工位置の状態や移動特性に応じて、補強杭、くさび杭、抑え杭等の設計式を選定する。

1 水平外力

シャフト杭は、たわみ杭に比べて直径 $2b$ が大きく、また躯体重量も無視できず回転に伴って底面に発生するせん断力と地盤反力度も考慮する。底面での地盤反力分布は、一般に図 4-22 に示す 2 つのケースがあり、ケース(1)のように台形分布の場合は躯体の浮き上がりを生じないが、ケース(2)では浮き上がりを生じ、その取り扱いを異にする。

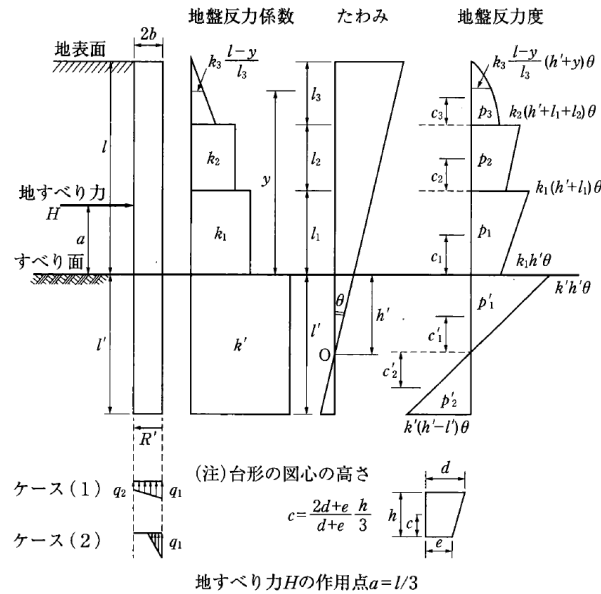


図 4-22 シャフト杭のたわみとつり合いの条件
(出典) 地すべり工学—理論と実践— (株)山海堂 H 元.3

したがって、シャフト杭においては、考慮すべき水平外力は、回転点から上での地すべり滑動力 H 及び回転に伴って生ずる水平方向の地盤反力の p の合力 P 、回転点から下での p' の合力 P' 及び底面でのせん断力 R' の 4 項目である。ここでの未知数は、回転点 O の深さ h' と回転角 θ の 2 項目であり、点 O について水平方向の力のつり合い条件とモーメントのつりあい条件の 2 式をとり、これを連立して解けばよい。以下、便宜的に kh を k の記号で示す。

いま、図 6-15 に示すようにすべり面から下での地盤反力係数を k' とし、すべり面からの高さ $a=l/3$ のところに地すべり合力が働くものとする。すべり面から下 $h'(h' \geq 0)$ の深さに回転点 O があり、角 θ だけ回転したものとすれば、これによって地盤反力度の分布は図のとおりである。なお、最上層は地表面で $k_3=0$ 、底面層で k_3 の三角形分布、たわみは高さ y に関して $(h'+y)\theta$ の直線で与えられており、これによる地盤反力度の合力を p_3 、点 O のまわりのモーメントを m_3 とすれば、それぞれ $(l-l_3)$ から l まで積分して

$$p_3 = \frac{1}{6} k_3 l_3 \theta (3h' + 3l - 2l_3) \quad <44-39>$$

$$m_3 = \frac{1}{12} k_3 l_3 \theta (6l_2 + (6h' - 8l_3)l + (3l_3 - 4h')l_3) \quad <44-40>$$

p_1, p_2 は台形分布、 p'_1, p'_2 は三角分布であるから、それぞれの合力及び重心の高さ c は計算により求められる。

$$H - P - P' - R' = 0 \quad <44-41>$$

ここで、 $P = 2b(p'_1 + p_1 + p_2 + p_3)$ 、 $P' = 2bp'_2$

$$R' = k_s(h' - l)\theta \cdot A$$

A：杭底面積（図4-22のケース2の場合は式4-4-46のA'）

k'_s ：水平方向のせん断ばね係数 $= \lambda k_v$

($\because \lambda = 1/3 \sim 1/4$)

k_v ：鉛直方向の地盤反力係数

なお、地盤反力係数 k_s 、 k_v については、 k_0 を直径 30cm の鋼体円盤による平板載荷試験による値に相当する地盤反力係数とし、標準貫入試験 N 値を用いる場合は、地盤反力係数 k とし次式により求められる。

ただし、水平方向反力係数の場合は、前面に対する側面の分担による増加分を 20%見込む。

2 モーメントの釣り合い

$$H(\alpha + h') - 2b\{p'_1 \cdot c'_1 + p_1(h' + c_1) + p_2(h' + l_1 + c_2) + m_3 + p_3h'\} - 2b \cdot p'_2 \cdot c'_2 - R'(l' - h') - M'_B = 0 \quad <4-4-43>$$

ここで、 M'_B は底面の地盤反力度に関するモーメントであり、これと地盤反力度は次式で表される。

台形分布：

$$M'_B = \frac{4}{3} b^2 \cdot k_v \alpha_0 \cdot \theta \quad (\alpha_0 = 0.589) \quad <4-4-44>$$

$$q_1, q_2 = \frac{W(l + l') - U}{A} \pm k_v \cdot b \cdot \theta \quad <4-4-45>$$

ここで、 W ：シャフト杭単位長当たりの重量

U ：杭に働く浮力

三角形分布： $M'_B = k_v \cdot b^4 \cdot v_2 \cdot \theta$

$$q_1 = k_v \cdot b \cdot \theta$$

ここで、 v ：底面の形状によって定まる定数

$$v_2 = \frac{2}{3} \sin^3 \beta \cos \beta + \frac{1}{4} (\pi - \beta) + \frac{1}{16} \sin^4 \beta \quad <4-4-46>$$

$$\text{また } A' = b^2 (\pi - \beta + \sin \beta \cos \beta) \quad <4-4-47>$$

とし、式<4-4-40>、<4-4-42>及び<4-4-43>～<4-4-46>から θ と h' を求め、一連の検定を行い、各応力を計算する。

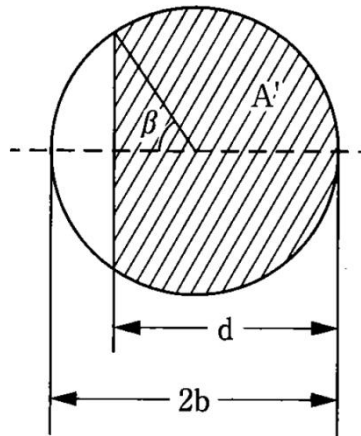


図4-23 β と A' の説明図
(出典) 地すべり工学—理論と実践— (株)山海堂 H元.3

【解説】の補足説明

- ・シャフト工は不連続面&変位面であるすべり面を境界条件として設計される。よって剛体杭の判断はすべり面より上側の長さ（すべり面深度）と下側の長さ（根入れ長）の両方について検討する。特に人為的な操作が難しいすべり面深度による判定は重要である。
- ・一方、国交省の基準ではすべり面より下側の長さのみを持って剛体杭の判断をし、すべり面より上側の長さ（すべり面深度）については検討項目から除外されている。これは力学的な根拠の説明が難しい。

<剛体杭としての設計>

- ・図 4-22 は完全な剛体杭としての設計方法の説明である。ケーソンの設計もかつては剛体として設計していたが、現在はバネモデル等を用いてある程度のたわみを許す杭としての設計が主流である。

<誤植>

- ・式<4-4-44>の式中の“ b^2 ”は“ b^4 ”が正しい。

4-3-4 シャフト工の規格

【解説】 p180

シャフト工の鋼材は、一般的に異形鉄筋が用いられる。鋼材にH型鋼や鋼管を用いる場合は、コンクリートと一体性を確保するための処理を講じるか、許容付着応力度を低減するなどの対応を行う。

コンクリートの許容応力度は、場所打ちの施工性を考慮して設計基準強度を決定する。

4-3-5 シャフト工の構造、配列及び間隔

〔解説〕 p181

1 構造

シャフト工は、円柱状の鉄筋コンクリート構造とする。集水井工としての機能を持たせる場合は、中空鉄筋コンクリート円筒とすることができる。

鉄筋配列は1列の円形配置とするが、最大3列を限度とし必要鉄筋量に応じて配筋する。

2 配列

シャフト工は、全ての杭が均等に地すべり推力を負担させるよう単列が望ましい。千鳥配置の場合、上流側のシャフトが破断しやすいことから採用しない。

配列は、地すべりの移動方向に対しておおむね直角とし、等間隔となるように設置する。

3 間隔

シャフト工の間隔は、土の中抜けに対する安定性、基礎の安定性等や施工性を考慮して間隔を決定する。目安としては中心間隔で直径の2.5倍～8倍とし、さらには移動層の地質やすべり面深度等を考慮して決定する。

シャフト工の設置段数は、地すべりブロック毎に1段とする。やむを得ず多段に設置する場合には、シャフトの施工位置での地すべり移動層の変位を十分に考慮して設置する。

〔解説〕の補足説明

- ・シャフト工は直径が3m以上と大きいことが多いため曲げモーメントについては通常の配筋で十分となることが多いが、せん断力についてはスターラップ等の通常のせん断補強筋のみでは不足することが多い。その場合は外周に配置するスターラップのみでは無く円形断面を横断するせん断補強筋も検討してせん断耐力を向上させる必要がある。

4-3-6 安定性の検討

〔解説〕 p182

- 1 シャフト工の安定性の検討は、シャフト工1本当たりに作用する最大せん断力、最大曲げモーメントに対して行う。杭頭の軸力Nは通常考慮しないが、必要抑止力の鉛直成分 V_{mu} は、軸力として作用するため考慮する。

帯筋によりせん断耐力を増加させる場合は、主鉄筋のせん断耐力や付着耐力の計算に帯筋の効果を入れる。

- 2 不動層への根入長及び周辺地盤の受働破壊の検討については、第4節4-2-6に準ずる。

- 3 シャフト底面においては十分な地盤支持力が得られていることを確認する。

4-3-7 シャフト工外周の処理

〔解説〕 p182

シャフト工は地盤と密着して設置することで、十分な抑止効果を発揮するため、外周はモルタル又はコンクリートで充填し、地盤とシャフト工を密着させる。また、集水井工と併用する場合も同様の

処理を行う。

孔壁の巻立てにライナープレートを利用する場合は、開口型ライナープレートを使用することにより、シャフト工内部のコンクリート充填とともに外周の充填が可能となる。

4-4 アンカー工

4-4-1 目的

〔解説〕 p183

アンカー工は、地すべり基盤内にアンカー体を設置し、引張り材により地表に設けた受圧部にアンカー頭部を連結させることで、地すべり滑動力に抵抗させるものである。

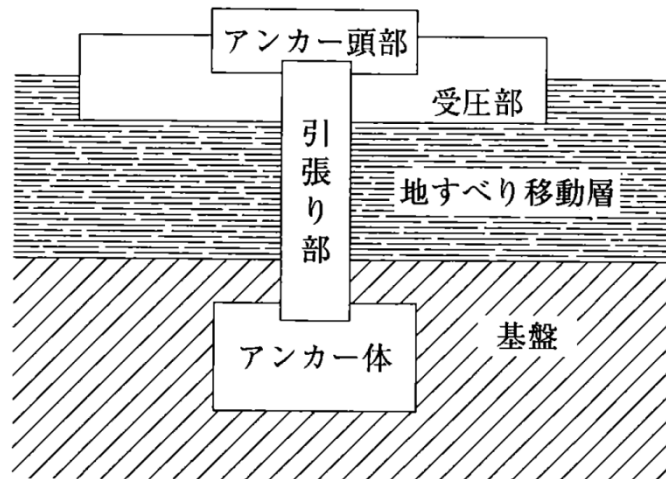


図4-24 アンカー工の基本構造

〔参考〕 p183

アンカー工の基準

アンカー工の詳細については、地盤工学会基準「グラウンドアンカー設計・施工基準」(JGS4101-2012) 及び同解説」に準じる。

4-4-2 位置及び打設角度、配列

〔解説〕 p184

- 1 アンカー工は、安全性、経済性、施工性を考慮し、適切な位置、打設角度、配列を検討する。
- 2 アンカー工の効果は、定着岩盤の良否に左右することから、アンカー工の位置を決定する場合は、設計荷重に耐えられる岩盤に定着させられるか十分に検討する。
- 3 アンカー工の施工段数に制限はないが、部分的に応力を集中させることなく、全体として地すべり滑動力に抵抗させるよう配置する。配列の方向は、地すべり斜面を横断させるように地すべり移動の方向におおむね直角として等間隔で設置する。
地すべり滑動力の大きい場合は、1 本当たりのアンカー引張力が大きくなるので、定着基盤及び受圧板の支持地盤の強度等を勘案し決定する。
- 4 アンカー工の機能には次の2 つがある。地すべりの場合は、すべり面の勾配が緩くかつすべり面が比較的深い場合が多く、引き止め効果に期待することが多い。なお、アンカーの初期緊張力は、期待する機能を考慮して決定する。

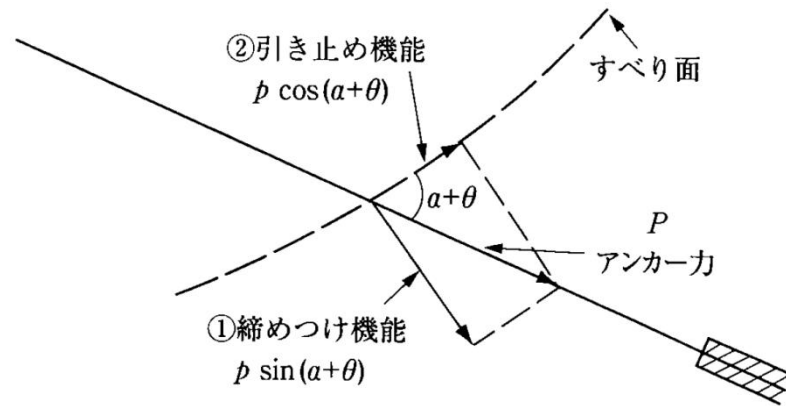


図 4-25 アンカー工の二つの機能
(出典) 道路土工一切土・斜面安定工指針 (H21 版) (社) 日本道路協会 H21.6

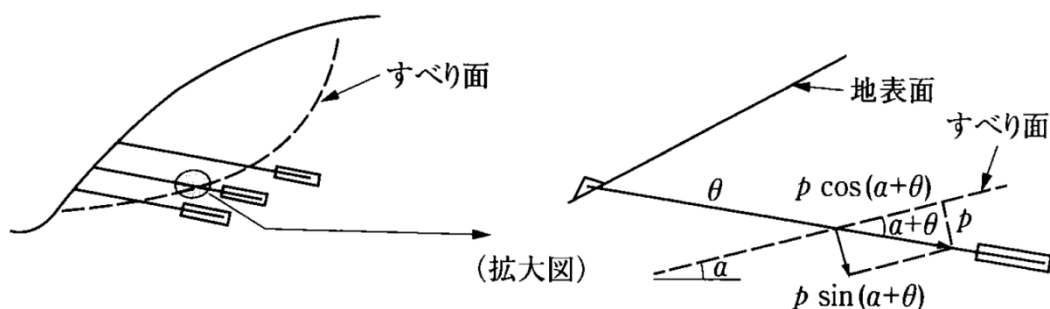


図 4-26 引き止め機能を期待する場合 (すべり面の勾配が緩い場合)
(出典) 道路土工一切土・斜面安定工指針 (H21 版) (社) 日本道路協会 H21.6

〔参考〕 p185

1 アンカー工の配置の留意点

(1) 全体的な安定の確保

アンカーの間隔及び長さは、アンカーで固定される構造物の周辺地盤を含めた全体的な安定を考慮して決定する。

(2) 近接構造物の影響

アンカーの配置は、近隣構造物(地上構造物のほか、埋設物、杭等)への影響を考慮して決定する。

2 アンカーの打設方向

次のような場合は、アンカーの打設方向について十分な検討を行う。

(1) 地すべり移動方向とアンカー打設方向が異なる場合

- ・アンカー抑止力の補正が必要となる。
- ・アンカー定着長が長くなり、引張り材の規格が上がる場合がある。

(2) 受圧板がアンカー方向と直交しない場合

- ・受圧板に偏土圧が発生する。
- ・受圧板に横方向の力が発生する。
- ・アンカー頭部に角度調整具が必要となる。

この場合、対応方法としては、地山部を段切り施工する、又はアンカー頭部に角度調整具を設ける方法がある。

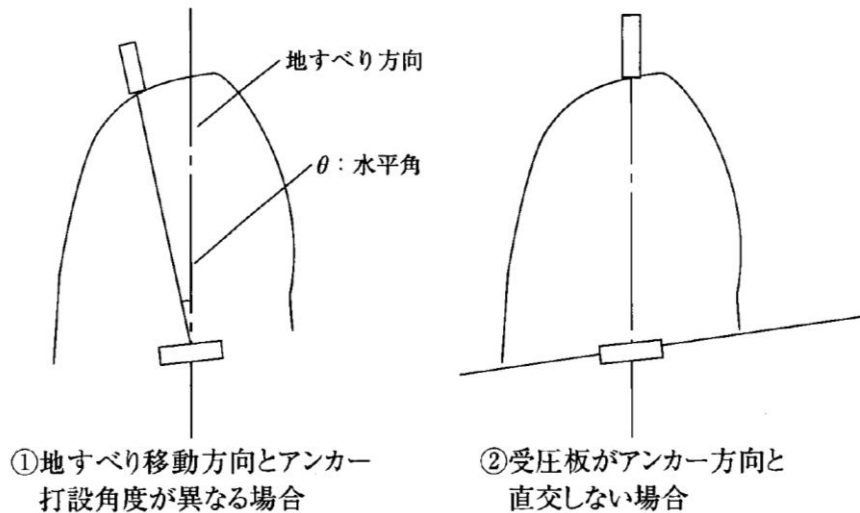


図4-27 アンカー打設方向

3 所要アンカー力の算出

アンカー工の所要アンカー力は、次のとおりとする。なお、崩壊の危険性の高い斜面において、アンカー工に締め付け効果を期待する場合は、第2編山地治山事業第5章第3節3-8「グラウンドアンカー工」を参照する。

(1) 通常の地すべりでの算出式

地すべりを抑止するためには「引き止め機能」のみ考慮するので、地すべり単位幅(m)当たりの所要アンカー力(P)は、安定解析式により次のようになる。

① Fellenius (フェレニウス) 式による場合

$$P = [(F - F_0)/F] \cdot \sec(\alpha + \theta) \cdot \Sigma T \quad <4448>$$

ここで、 F : 計画安全率

$$F = \Sigma S / (\Sigma T - R)$$

R : アンカーによる地すべり抑止力

$$R = P \cdot \cos(\alpha + \theta)$$

α : アンカーとの交点でのすべり面傾斜

θ : アンカー傾斜角

$$F_0: \text{初期安全率} \quad F_0 = \Sigma S / \Sigma T$$

$$\Sigma T = \Sigma W \cdot \sin \alpha$$

ΣS : 安定解析式右辺の分子項

② Janbu (ヤンプ) 式による場合

$$P = \{ [F(\Sigma T + Q) - f_0 \Sigma S] / F \} \cdot \sec(\alpha + \theta) \cos \alpha \quad <4449>$$

ここで、 $F = f_0 \Sigma S / (\Sigma T + Q - R)$

$$R = P \cdot \cos(\alpha + \theta) / \cos \alpha$$

$$F_0 = f_0 \Sigma S / (\Sigma T + Q)$$

$$\Sigma T = \Sigma W \cdot \tan \alpha$$

ΣS : 安定解析式右辺の分子項

Q : 冠頭部の亀裂を埋めている水による水平水圧等の外力

$$f_0: \text{修正係数} \approx (50d/L)^{1/33.6}$$

ただし、 $d/L \leq 0.02$ で $f_0=1$

L ：舌端部と冠頭部亀裂の深さの点を結んだ直線長

d ： L と L に平行、かつ、すべり面に接する直線との間の距離

③ Bishop（ビショップ）式による場合

$$P = (F \sum T - \sum S) / F \cos(\alpha + \theta) \quad <44-50>$$

ただし、Bishop 式又は Janbu 式を用いる場合には、安定解析式の両辺に目標安全率 F を含んでいることから、求めた P をそれぞれの式に代入し、この P のもとで目標安全率 F が実現されることを確認する。

(2) 移動層が薄く、急傾斜崩壊タイプの地すべりでの算出式

斜面傾斜が急傾斜で、浅いすべりの場合は「引き止め機能」と「締め付け機能」の両方を考慮するので、アンカー力(P)は、安定解析式により次のようになる。

① Fellenius 式による場合

$$P = \sum T(F - F_0) / \{F \cdot \cos(\alpha + \theta) + \sin(\alpha + \theta) \tan \phi\} \quad <44-51>$$

② Janbu 式による場合

$$P = (F \sum T - f_0 \sum S) / \{F \cos(\theta + \alpha) / \cos \alpha + f_0 \sin \theta \tan \phi' / n_\alpha\} \quad <44-52>$$

ここで、 $n_\alpha = \cos 2\alpha (1 + \tan \alpha \tan \theta / F)$

③ Bishop 式による場合

$$P = (F \sum T - \sum S) / \{F \cos(\theta + \alpha) + \sin \theta \tan \phi' / \cos \alpha + \sin \alpha \tan \theta / F\} \quad <44-53>$$

4 アンカー工の配置の目安

(1) 近接構造物の影響

アンカーと近接構造物は水平距離で 3.0m 以上離す。

(2) アンカー体の設置間隔

杭工に準じて 2.0m～4.0m を標準とする。

(3) アンカー傾角

アンカー傾角は、注入材硬化時に生ずる残留スライム及びグラウトブリージングがアンカーの耐力に大きく影響するので、水平面より $-10^\circ \sim +10^\circ$ の範囲は避ける。

5 アンカー工の緊張力

(1) 引き止め機能のみを見込む場合

一般的には、設計アンカー力の 50%程度に設定されている場合が多い。

ただし、この場合は、安定計算上の安全率が $F_s < 1.0$ にならないように留意する。

(2) 締め付け効果を見込む場合

設計において締め付け効果を見込んでいる場合には、締め付け効果を発揮させるために定着時緊張力は、設計アンカー力の 100%に設計する。

この場合には、地盤のクリープ変形等により有効緊張力が変化し、設計アンカー力相当の有効

緊張力が確保できない場合には、維持管理段階において、緊張力の管理を行って必要に応じて再緊張を行う。

〔参考〕の補足説明

- ・アンカーの引き止め効果は安定解析式の分母項として、必要抑止力を算定している。
- ・Janbu 式の場合はアンカー力のすべり面での接線力 ($P\cos(\alpha + \theta)$) と法線力 ($P\sin(\alpha + \theta)$) を、各スライスの力の釣合 (力の多角形) より誘導している。

<誤植>

- ・式 4-4-52 は「 $n_a = \cos^2 \alpha (1 + \tan \alpha \tan \phi' / F)$ 」
- ・式 4-4-53 は「 $(\cos \alpha + \sin \alpha \tan \phi' / F)$ 」

<アンカー傾角>

- ・P189 では $-10^\circ \sim +10^\circ$ の範囲は避けると記述されているが他基準書では $-5^\circ \sim +5^\circ$ の範囲であることが多いので適用に当たっては注意が必要。
- ・引き止め機能のみを見込む場合も、定着時緊張力は設計アンカー力の 100% に近い方が良い。50% 程度などと低く設定すると地すべり移動時に全てのアンカー設置地点で同時に 100% 程度になるように制御することが難しく、一部が過荷重に一部が荷重低下となることが多い。

4-4-3 アンカー工の型式

〔解説〕 p190

- 1 アンカー工の型式は、定着基盤の岩質や強度等に応じて適切なものを選定する。
- 2 アンカー工の型式は、アンカー体と基盤との支持方式により次の 3 種に大別される。
 - (1) 摩擦型アンカー
アンカー体周面と基盤との摩擦抵抗により、アンカー引張力を基盤に伝達する。
 - (2) 支圧型アンカー
アンカー体と基盤との支圧抵抗により、アンカー引張力を基盤に伝達する。
 - (3) 混合型アンカー
(1) 及び (2) の複合型。

〔解説〕の補足説明

- ・摩擦型アンカーも引張型と圧縮型に分かれる。それぞれに長短があるので定着地盤の状況に合わせて選定する必要がある。
- ・また、受圧板位置での緊張方式もくさび型とナット型がある。荷重管理の容易さや自由長変更の自由度などを考慮して、それらを選定する必要がある。

4-4-4 安定性の検討

〔解説〕 p190

- 1 アンカー工は、設計アンカー力（引張荷重）に対して安定するように、引張り材、受圧板、アンカー体を決定する。

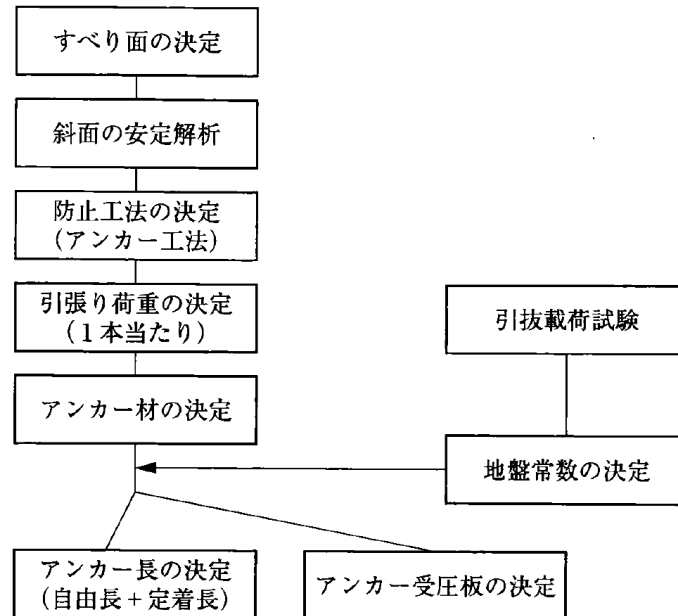


図4-28 アンカー工設計フローチャート

- 2 アンカー工の引張り材は、アンカー力を確実にアンカー体に伝達することができる材料を使用する。引張り材の許容引張り応力度は、引張り材の引張り強度及び降伏強度に対して十分な安全率を確保する。
- 3 受圧板の条件は、次のとおり。
- (1) 受圧板を支持する地盤は、緊張による沈下に対して安定
 - (2) 受圧板は、曲げ破壊及び押し抜きせん断破壊に対して安定
- 4 アンカー体は、地すべり滑動力による引き抜き作用に対して十分な安全率を確保する。
- 5 定着部は、圧力注入グラウトを施工できる構造とする。グラウトは、設計荷重に対して十分耐え得る品質とする。

〔参考〕 p192

- 1 引張り材（テンドン）の選定

設計アンカー力(T_d)は次式により求め、 T_d に対して安全な引張り材を選定する。

$$T_d = P \cdot D \div n \quad <4-4-54>$$

ここで、 T_d ：設計アンカー力（kN／本）

P ：地すべり単位幅当たりの所要アンカー力（kN／m）

D ：アンカー設置間隔（m）

n ：施工段数

引張り材の許容応力度は、鋼材の引張り強度の 60%、又は降伏強度の 75%のいずれか小さい値以下とする。

2 引張り材の取扱い

アンカー工に使用する引張り材は、断面が小さいため腐食による影響を受けやすいほか、温度が高くなるとリラクゼーションが促進される可能性があるため、直射日光を避けて保管する。また、ガスにより切断する場合は、切断面から 15～20mm 程度の範囲内は、熱影響を顕著に受けて強度が低下するので、余裕を見込んで切断するか、カッター等により切断する。

3 受圧板の選定

アンカー工を設置する地表部は一般的に土砂層であるため、地すべり滑動力等による引張り材の緊張により地表のアンカー頭部が沈下しやすい。これを防止してアンカー工の効果を十分に発揮させるため、アンカー頭部には受圧板を設ける。

受圧板には、板、のり枠等があるが、斜面の状況、アンカーの諸元、施工性、経済性、維持管理、景観等を十分考慮して選定する。

また、受圧板の形式と斜面に応じて次により安定条件を検討する。

(1) 地盤の支持力に対する安定

受圧板を支持する地盤の支持力は載荷試験により求めるべきであるが、計算により求める場合は、テルツァギーの支持力公式が用いられている。

(2) 曲げ破壊及び押し抜きせん断破壊に対する安定

受圧板の曲げ破壊に対する安定度は、アンカー固定点を支点とする「はり」として計算することが多い。一枚の受圧板に複数のアンカーを固定する場合は、隣接するアンカー間は連続ばりとし、端部は片持ばりとして計算し、断面厚及び所要鉄筋量を求める。この場合は、荷重は等分布荷重として扱う。

押し抜きせん断応力度及び許容せん断応力度については、コンクリート標準示方書により計算する。

なお、受圧板としてののり枠を用いたときの断面力の算定に当たっては、地盤反力を等分布荷重とし、アンカー力は、縦・横梁の両方向に作用するものとして検討することが多い。

4 アンカー体の決定

アンカー体は、地すべり滑動力が発生した場合に受圧板と一体となって引き抜き作用に対して抵抗し、地すべり移動を抑止するもので、引抜抵抗力は、極限引抜力を基に十分な安全性を確保するよう設計する。なお、極限引抜力はアンカー試験により確認する。

試験方法は、地盤工学会基準「グラウンドアンカー設計・施工基準」(JGS4101-2012) 及び同解説」に準じて行い、必要に応じてアンカー計画の見直しを行う。

(1) 摩擦型アンカー体の設計

摩擦型のアンカー体の定着長は理論的には、テンドン（引張り材）とグラウトとの付着力から求められる長さ、グラウトと地盤との摩擦抵抗から求められる長さを比較し、いずれか長い方をもって決定する。

① テンドンとグラウトとの付着力により求まるテンドン拘束長 (L_{sa})

$$L_{sa} = \frac{T_d}{U \cdot \tau_{ba}} \quad <4-4-55>$$

ここで、 L_{sa} ：テンドン拘束長 (m)

T_d ：設計アンカー力 (kN/本)

U ：テンドンの見掛け周長 (m)

τ_{ba} ：グラウトとテンドンの許容付着応力度 (kN/m²)

② グラウトと地盤の摩擦抵抗から求まるアンカー体長 (L_a)

$$L_a = f_s \frac{T_d}{\pi \cdot d_A \cdot \tau} \quad <4-4-56>$$

ここで、 L_a ：アンカー体長 (m)

d_A ：アンカー体径 (m)

τ ：周面摩擦抵抗 (kN/m²)

f_s ：安全率 (2.5)

また、定着長が長くなる(設計荷重が大きくなる)と、定着部の全長にわたって均等に引張り荷重が分担されないことから、その長さは一般的には4～7 m程度、最大でも10m以下とする。

なお、アンカー体の定着長を10m以下とするため、アンカー段数やアンカー間隔等の検討を行う。ただし、定着長が極端に短いと、地層の変化等の影響を受けやすくなるため、その最小値は3 mとする。

(2) 支圧型アンカー体の設計

支圧型アンカーは、アンカー体前面の支圧力により引き抜き作用に抵抗するものであるので、アンカー体前面の基盤内岩盤の一軸圧縮強度に応じた長さを次式により求め、アンカーの芯抜き閉塞長として決定する。

$$h_r = \{3 \cdot m_k \cdot P / (\pi \cdot \sigma_c \cdot k_0 \cdot \tan^2 \phi)\} \quad <4-4-57>$$

ここで、 h_r ：芯抜き閉塞長 (m)

m_k ：安全係数=1.5

P ：アンカー設計荷重 (kN)

σ_c ：定着岩盤の一軸圧縮強度 (kPa)

k_0 ：基盤層内岩石のポアソン比による係数
 $= \nu / (1 - \nu)$

ν ：定着岩盤のポアソン比

ϕ ：定着岩盤のせん断抵抗角 (°)

5 定着部のグラウト

(1) 摩擦型アンカー工のグラウト

摩擦型アンカー工におけるグラウトは、定着部と非定着部の境界部にアンカー孔の閉塞装置であるパッカー等を装着し、定着部にモルタル又はセメントミルクを加圧注入する方法と、全孔にわたって注入する方法とがある。加圧注入は、グラウト材の密度を高くして強度を増すとともに、基盤内の亀裂等にグラウト材が侵入してアンカー体の実径を増大し、周面摩擦力を増加させるなどの効果があることから、周面摩擦型アンカー工のグラウトは加圧注入とする。

(2) 支圧型アンカー工のグラウト

支圧型アンカー工におけるグラウトは、孔壁の保護及び鋼材の防錆のために行われるので、加圧は行わなくともよいところであるが、アンカー体前面の基盤内岩盤の支圧強度の増強を図るために加圧注入を行うことが望ましい。

4－4－5 耐久性の確保

〔解説〕 p196

アンカー工は、長期にわたって安定を保つため、引張り材、頭部に十分な腐食防止の処置を講じるとともに、再緊張が可能な構造とする。

〔参考〕 p196

防食処置

アンカーの防食は、施工時及び施工完了後の腐食環境を考慮し、その構造の検討を行う。

1 引張り材の防食

アンカーの構造は二重防食処理を施したもの、又は高耐食性材料等を用いる。

2 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）の組合せを標準とする。

3 その他

引止め効果を期待する場合、引張り材は延性が大きい材料ほど有効である。

第5章 地すべり防止効果の検証

第1節 総説

〔解説〕 p197

地すべり防止効果の検証は、地すべり防止工の効果判定や安定度評価を行い、地すべりの概成判断や地すべり防止工の補修、追加工事等、維持管理の必要性を検討するために行う。

また、検証のためには、工事中又は工事後、継続的ないし定期的に地すべりの状況を調査する。なお、地すべり防止効果の検証以外にも、地すべり防止工事が自然環境に与える影響については、必要に応じて調査を行う。

第2節 調査の種類

〔解説〕 p197

地すべり防止効果の検証のための調査は、これまでの調査観測を引き続き実施するものと、地すべり防止工事の効果判定するために実施されるものがある。

調査計画の立案は、これまで行った地すべり調査や機構解析で得られた結果を踏まえ、全体の整合性が図られるようにするとともに、地すべりの維持管理や概成の判断に資する情報が得られるよう観測期間や測定頻度を設定する。

地すべり防止工の効果判定のための調査は、次の方法を標準とし、現地状況に応じて選択する。

なお、1～5については、「第2章 地すべり調査解析」を準用する。

- 1 現地点検
- 2 地表移動量調査
- 3 地中変動量調査
- 4 地下水調査
- 5 気象調査
- 6 構造物挙動調査

また、地すべり防止工事が自然環境に与える影響を調査する場合は、現地の状況に応じて、第2章 第2節 2-2〔解説〕2「環境調査」に準じた調査を行う。

〔参考〕 p198

構造物挙動調査

構造物挙動調査は、施工した集水井工、杭工、アンカー工等にセンサーを設置することなどにより、これら構造物の変位や荷重を調査するものである。

1 観察・計測

構造物の変状を目視又は測量機械等で測定し、安定性を監視する。変位を連続的に測定するために、伸縮計等を構造物に取り付けることがある。

2 孔内傾斜計

杭工、シャフト工に孔内傾斜計を設置するもので、第2章 第4節 4-15-4「孔内傾斜計」に準ずる。

3 アンカー荷重計

アンカー工にかかる荷重を測定し、地すべり滑動力の変化やアンカー工の安全性を監視する。

4 土圧計

土留工、集水井工、杭工等に土圧計を取り付け、構造物にかかる地盤の圧力を測定し、圧力の変化を把握するとともに構造物の安定性を監視する。

5 ひずみ計

集水井工、杭工等に発生するひずみを測定し、地すべりの滑動力の変化や構造物の安定性を監視する。なお、ひずみゲージは劣化しやすく、長期間の調査には不向きである。

6 鉄筋計

土留工等の鉄筋コンクリート構造物に発生する鉄筋応力を測定し、構造物の変位を把握するとともに構造物の安定性を監視する。

【解説】の補足説明

1 調査計画立案に関する留意点

地すべり防止効果の検証のための調査を円滑に実施するには、機構調査時点から検証のための調査を考えた調査計画を立案する必要がある。また、新たに調査を実施する場合も、機構調査の結果を十分に検討し、整合性をとらなければならない。

2 調査方法

防止工の効果判定を目的とする場合は、その工法の特徴により、一般的に次のような調査方法が用いられる。

補足表 5－1 効果判定の調査方法

区 分	主として用いられる調査方法
水路工・暗きょ工・ボーリング暗きょ工・集水井工・排水トンネル工	現地点検・地表移動量調査・地中移動量調査・地下水位調査・地下水排出量調査・構造物挙動調査
排土工・押え盛土工・治山ダム工・土留工等	現地点検・地表移動量調査・地中移動量調査・構造物挙動調査
杭工・シャフト工・アンカー工	現地点検・地表移動量調査・地中移動量調査・構造物挙動調査

第3節 施工効果の検証

3-1 目的

〔解説〕 p200

地すべり防止効果の検証は、各種調査結果に基づき、個々の地すべり防止工の効果判定、地すべり全体の安定度の評価を行うとともに、必要な補修、追加工事等、地すべりの維持管理について検討する。また、必要に応じて地すべり防止工事が自然環境に与える影響についても検証を行う。

施工効果の検証にあたっては、これまでに得られた調査結果と地すべり防止効果の検証のための調査結果を対比し総合的に判断する。また、必要に応じて学識経験者等の意見を聴取する。

3-2 地すべり防止工の効果判定

〔解説〕 p200

各種調査の結果に基づいて、地すべり防止工に対して当初要求された性能に対する達成度合いを総合的に判定する。また、性能を満たしていないと判断された場合には、補修、機能回復の検討に必要な資料を作成する。

なお、地すべり防止工自体の問題点、改善策等についても取りまとめて、今後の地すべり防止工事の設計の参考に供する。

3-3 地すべりの安定度の評価

〔解説〕 p201

各種調査、機構解析、地すべり防止工の効果判定等の結果に基づいて、地すべり全体の安定度を総合的に評価する。また、安定度を満たしていないと判断された場合には、追加工事等の検討に必要な資料を作成する。

安定度の評価においては、安定度の目標及び安定解析の条件、強度定数等について検証し、必要に応じてそれらを変更して、機構解析に準じた安定解析を行う。

3-4 地すべり防止工の維持管理の検討

〔解説〕 p201

個々の地すべり防止工の効果判定結果、あるいは地すべり全体の安定度の評価に基づいて、地すべり防止工の補修、機能回復、追加工事等を検討し、必要に応じて措置を講ずる。

〔参考〕 p201

ボーリング暗きょ工や集水ボーリング工からの集水量が、施工後の時間の経過とともに減少する

場合がある。この主な原因の一つにスライム付着による目詰まりがある。このような場合に高圧水による洗浄を行うことで、ボーリング暗きょ工の機能が回復することがある。

〔解説〕の補足説明

地すべり防止工の維持管理の留意点を以下に示す。

（１）水路工

水路内に堆積した土砂や落ち葉等の清掃を行う。また、水路に亀裂や目地の開きが認められた場合には間詰め等の補修を行う。

（２）地下水排除工

ボーリング暗渠工や集水ボーリング工からの集水量減少の原因として、①工事効果、②スライム付着による目詰まり、などがある。また、ある程度の目詰まりがあっても地すべりの安定性には影響しないケースもある。

観測や点検により原因を推定し、目詰まりが原因で機能低下している可能性が高い場合には、高圧水による洗浄を行うことで、機能が回復することがある。

集水井本体については、井筒の変形や腐食について確認する。昇降階段や天蓋、立入防止柵等の付帯施設の健全性も併せて点検する。

排水トンネル内部については、亀裂やゆがみ、押し出し等の有無を確認する。

集水井や排水トンネルの変状が地すべり性か否かの判断が重要であり、地すべり性の場合には抜本的な対策が必要である。

集水井や排水トンネル内に立ち入る際には、酸欠やガス中毒の危険性があるため、酸素濃度のチェック、有毒ガスの有無のチェック、換気等の安全対策を十分に講じる。

（３）杭工、シャフト工

杭工やシャフト工（以下、杭等と表記）については、地中に埋まっているため健全性を把握するのが難しい。このため、点検では、杭等の配列の乱れや、杭等の頭部の突出・傾倒、杭等の周辺地盤の変状の有無について確認する。

杭等自体の変形を把握するためには、施工時にあらかじめ孔内傾斜計ガイドパイプを設置し、観測を行う必要がある。この観測結果からたわみ図を作成し、杭等の挙動・応力解析を行い、設計許容値と比較し、健全性を評価する。

ただし、杭等は、谷側に曲ることで初めて効力を発揮するので、杭等の頭部が変位した場合でも、直ちに異常とは言えない。頭部変位が何を意味するのか、杭等自体の変形や地すべり活動の観測データ、設計時の資料などを使って、総合的に判断する必要がある。

（４）アンカー工

アンカーが健全かどうかは、以下に示す方法で調査することが望ましい。

①アンカー頭部の腐食状況や受圧構造物の変状等を定期的に点検する。

②アンカー頭部に荷重計を設置し、緊張力の変化を観測する。

観測結果から、必要に応じて、再緊張や除荷、追加施工等を検討する。