

治山技術基準 第4編 地すべり防止事業 解説

24林整計第309号
平成25年4月1日
林野庁森林整備部長通知

第1章 事業の定義及び目的

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

第2章 地すべり調査解析

第1節 総説

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。

第2節 予備調査

2-1 総説

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

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。

2-3 取りまとめ

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

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。

3-2 踏査

踏査は、地すべりにより生じた地表変状や地質分布、地下水状況等を把握し、周辺環境を確認するため現地にて情報収集を行うものである。

踏査の範囲は、空中写真や地形図を基に概略の地すべり区域を把握し、その周囲を含めて十分な範囲で実施する。

また、予備調査等を踏まえ効率的に踏査を行うとともに、得られた情報は平面図上に記載するなど、現地の状況を正確に把握し記録するよう努める。

3-3 取りまとめ

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

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

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 航空レーザ測量

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。

4-4 取りまとめ

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

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

5-2 物理探査

5-2-1 総説

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

5-2-2 弾性波探査

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。

5-2-3 電気探査

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 Ω m～数千 Ω m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、一般的にはウエンナー(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、 ρa : 大地の見かけ比抵抗、 a : 電極間隔、

I : $C1$ $C2$ 間に流した電流、 V : $P1$ $P2$ 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。

5-3 ボーリング調査

5-3-1 総説

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。

5-3-2 ボーリングの位置、深度等

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が、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。

5-4 サウンディング調査

5-4-1 総説

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

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。

5-5 土質・岩石試験

5-5-1 総説

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。

5-5-2 試料の採取

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。

5-6 試掘観察調査

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

- 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

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 間隙水圧調査
- 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圧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、分布及び水圧を把握することは、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。

6-2 地下水位調査

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。

6-3 間隙水圧調査

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。

6-4 地下水検層

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。

6-5 地下水追跡調査

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

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。

6-7 揚水試験

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、揚水が

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。

6-8 水質調査

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

6-9 地下水流出量調査

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

量水枘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

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

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

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。

7-3 地表伸縮計

- 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。

7-4 地盤傾斜計

- 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。

7-5 取りまとめ

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

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。

8-2 パイプひずみ計

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。

8-3 孔内傾斜計

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。

8-4 地中伸縮計

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。

8-5 多層移動量計

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。

8-6 取りまとめ

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

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。

9-2 降水量調査

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。

9-3 積雪量調査

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。

9-4 取りまとめ

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とりまとめ、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

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

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。

10-2-2 測線の設定

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する場合は、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。

10-3 すべり面の判定

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。

10-4 地すべりブロック区分の確定

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。

10-5 地すべり発生機構の解明

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。

10-6 安定解析

10-6-1 総説

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

10-6-2 安定解析の方法及び種類

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（ヤンプ）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。

10-6-3 強度定数の設定

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。

10-6-4 間隙水圧の設定

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する。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。

10-7 取りまとめ

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

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

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、 $F_c = 1.0$ 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)

第3節 地すべり防止工事計画の策定

3-1 地すべり防止工事計画の具体的方針

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_i 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_p 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

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。

第4節 地すべり防止工の種類

4-1 総説

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、

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

4-2 工種の選定及び組合せ

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。

第4章 地すべり防止工の設計

第1節 総説

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。

第2節 測量

2-1 測量の範囲

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。

2-2 測量の種類

2-2-1 平面測量

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

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。

2-2-3 横断測量

- 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に利用する。

第3節 抑制工の設計

3-1 総説

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、効果の持続性が大きい。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、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

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

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

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、一般的に定型とされない。

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。

3-3 水路工

3-3-1 目的

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。

3-3-2 位置

水路工は、横断方向で一般的に地すべり地の最も凹地に設けるが、滑動した後で地形が複雑な場合には地形を整地して、集水が可能な位置に設ける。

図4-1 水路工の例

3-3-3 種別と構造

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。

3-4 流路工

3-4-1 目的

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。

3-4-2 位置

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

3-4-3 種別と構造

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溪流水が流入しないように仮設の流路工を設ける場合
- 2 地すべり地内の溪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溪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。

3-5 暗きょ工

3-5-1 目的

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

3-5-2 位置

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

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、砕石等を充填する。

3-6 ボーリング暗きょ工

3-6-1 目的

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

- 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。

3-6-3 構造

- 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孔口の保護

3-6-4 効果の算定

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、影響範囲内で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)

3-7 集水井工

3-7-1 目的

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留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

3-7-2 位置

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つては、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

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

3-7-4 種別

- 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性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

- 1 集水井の内径は、3.5 m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2～3 m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

3-7-6 構造

- 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。

3-7-7 安定性の検討

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大きいため、他の工法による地下水排除も検討し総合的に判断する。

3-7-8 集水ボーリング

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。

3-7-9 排水ボーリング

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。

3-7-10 効果の算定

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。

3-8 排水トンネル工

3-8-1 目的

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

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・破砕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

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2 m～3 m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。

3-8-4 勾配

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

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。

3-8-6 構造

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。

3-8-7 坑口部

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

- 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。

3-8-9 効果の算定

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。

3-9 排土工

3-9-1 目的

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。

3-9-2 位置

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

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

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

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

1 地すべり区域では、潜在的に地すべり発生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當な場合が多い。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

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。

3-10-2 位置

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

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には、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。

3-10-4 盛土基礎

1 盛土工の基礎となる斜面は、通常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 4-16 基礎部の排水処理例

3-10-5 盛土のり面の形状

- 1 盛土のり面の勾配は、盛土材料、又は地盤状況により、1:1.5～1:2.0を標準とし、盛土の直高5mごとに幅1.0～2.0mの小段を設ける。
- 2 大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 排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

- 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。

3-11 ガス排除工

3-11-1 目的

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。

3-11-2 位置

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。

3-11-3 構造

- 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、高温高圧ガス、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。

3-12 治山ダム工等

3-12-1 目的

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

3-12-2 位置

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に十分な検討を行う。

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。

3-12-3 種別と構造

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

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

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に、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

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で、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 抑止工の設計

4-1 総説

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。

4-2 杭工

4-2-1 目的

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

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。

4-2-3 杭の型式

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。

4-2-4 杭材の種別

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/mm^2 や 490 N/mm^2 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/mm^2 級等の高張力鋼も採用されるようになっている。

4-2-5 杭の構造、間隔及び配列

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。

4-2-6 安定性の検討

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。

4-2-7 杭内部及び外周の処理

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。

4-3 シャフト工

4-3-1 目的

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

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

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。

$\beta l \leq 2 \cdots \cdots$ 剛体杭

$\beta l > 2 \cdots \cdots$ たわみ杭

ここで、
$$\beta = \sqrt[4]{\frac{k_h d}{4EI}} \quad \langle 4-4-37 \rangle$$

k_h : 移動層の水平地盤反力係数 (kN/m³)

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)

4-3-4 シャフト工の規格

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型钢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

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。

4-3-6 安定性の検討

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 $V_{\text{鉛}}$ 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

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

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

4-4-2 位置及び打設角度、配列

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

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)

4-4-3 アンカー工の型式

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。

4-4-4 安定性の検討

- 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。

4-4-5 耐久性の確保

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。

第5章 地すべり防止効果の検証

第1節 総説

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

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の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。

第3節 施工効果の検証

3-1 目的

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

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

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

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。

治山技術基準 第4編 地すべり防止事業 解説
 第1章 事業の定義及び目的

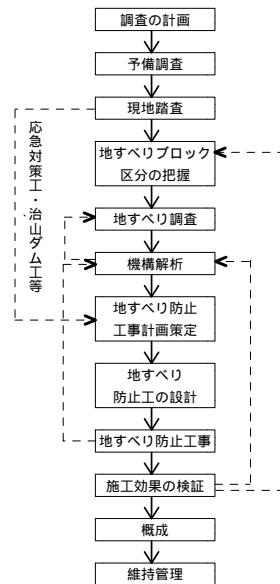


図 1-1 地すべり防止事業のフロー

第2章 地すべり調査解析

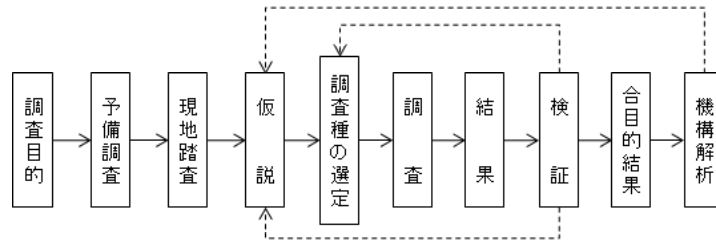


図 2-1 調査の進め方

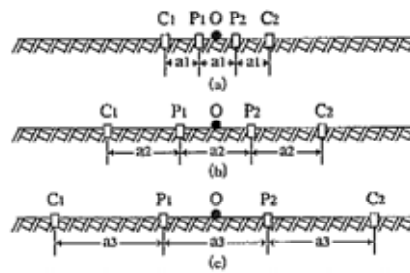


図 2-4 Wenner 法による垂直探査

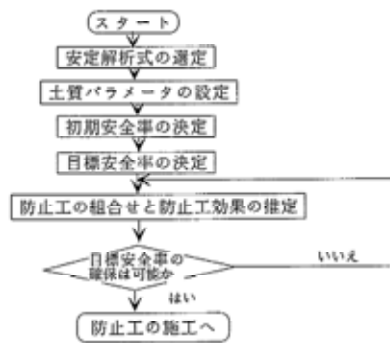


図 2-9 安定解析の流れ

第3章 地すべり防止工事計画

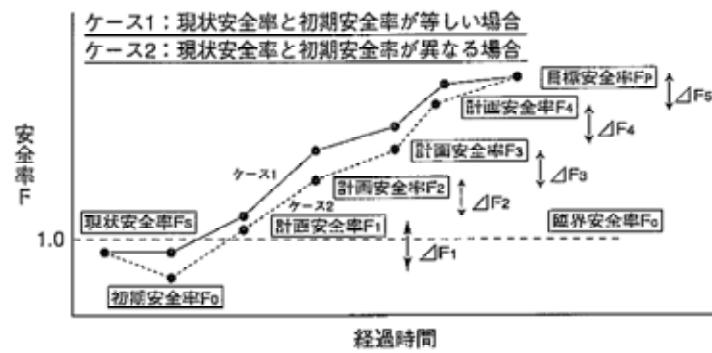


図 3-1 地すべり防止工事計画における安全率の推移の例

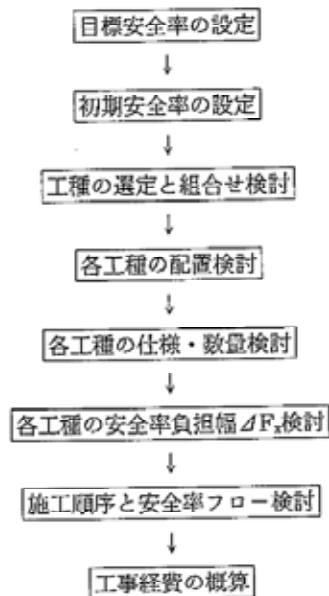


図 3-2 地すべり防止工事計画の内容及び作業の流れ

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	
		(ディープウェル)	※
	排土工		※
	押え盛土工		※
	杭工		
	アンカー工		
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	水鏡工	※
		流砂工	※
		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

第 4 章 地すべり防止工の設計

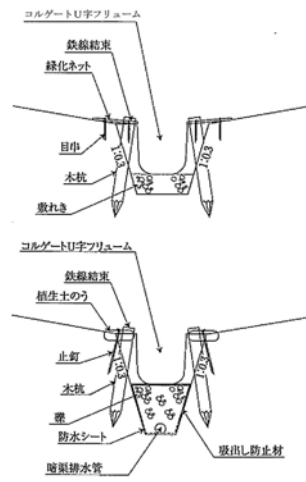


図 4-1 水路工の例

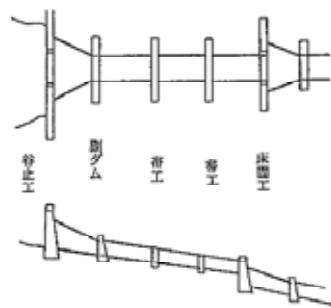


図 4-2 流路工の例

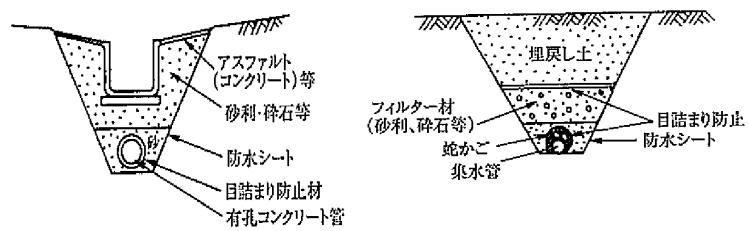


図 4-3 暗きょ工の例

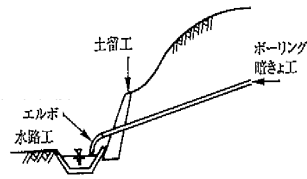


図 4-4 ボーリング暗きょ工の孔口の保護

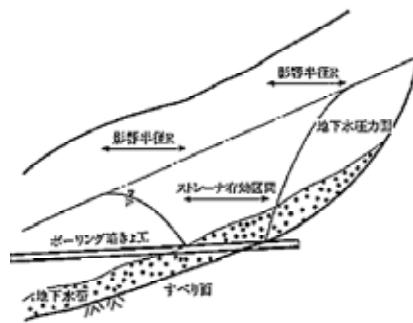


図 4-5 ボーリング暗きょ工の影響範囲（縦断方向）

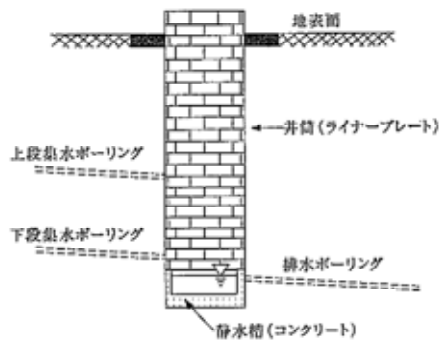


図 4-8 集水井の断面図の例

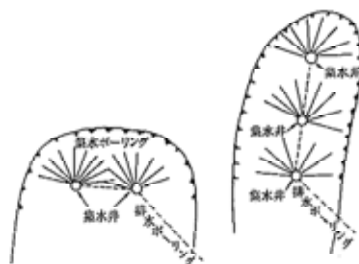


図 4-9 集水井の配列例

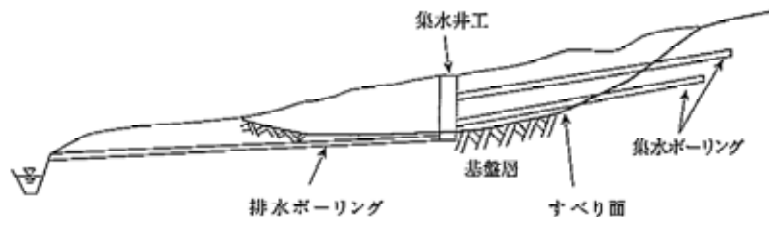


図 4-10 基礎内に底部を設けた集水井工



図 4-16 基礎部の排水処理例

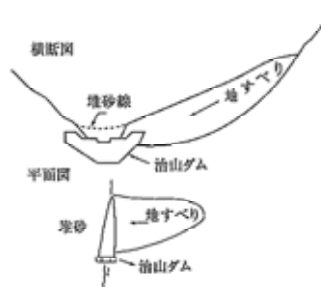


図 4-17 治山ダムの押え盛土効果

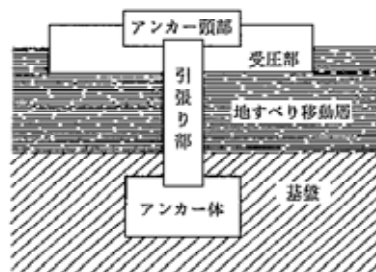


図 4-24 アンカー工の基本構造

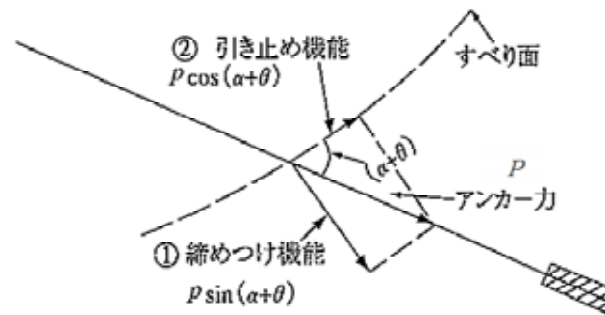


図 4-25 アンカー工の二つの機能

(出典) 道路土工・切土工・斜面安定工指針(H21版) (社)日本道路協会 H21.6

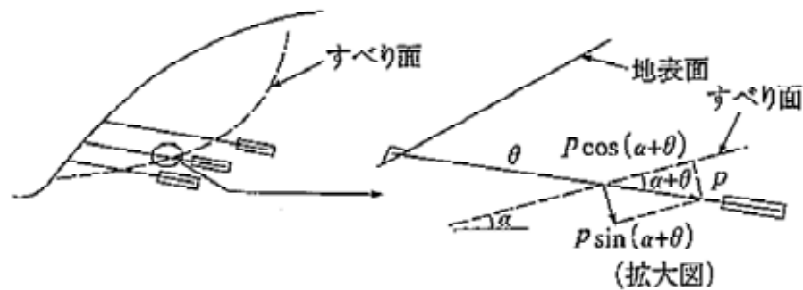


図 4-26 引き止め機能を期待する場合(すべり面の勾配が緩い場合)

(出典) 道路土工・切土工・斜面安定工指針(H21版) (社)日本道路協会 H21.6

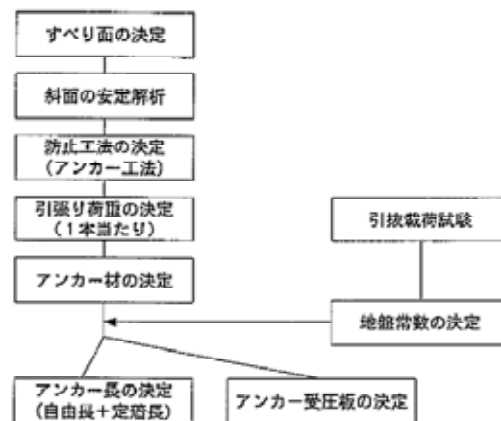


図 4-28 アンカー工設計フローチャート