

6.4.3.5 植生工の設計

(1) 工法の選定

法面の表面を安定化させ、目標とする植物群落を形成することが可能な工法を選定する。植生工の選定に当たっては、主構成種となる植物の発芽、生育性等、植物材料に関する特性を十分に理解し、地域の気象、法面の土質、法面勾配、施工時期等を考慮した上で工種を設定する。また、地域の気象、法面の土質、法面勾配、緑化目標等から緑化基礎工の必要性を検討し、緑化基礎工が必要な場合には、その種類及び構造を設定する。

ア 植生工の検討

(ア) 使用する植物の性質と形態

植物材料の選定に際しては、使用する植物の種類と形態（種子・切芝・苗木等）の検討が必要となる。植物の種類は、その性質を理解して緑化目標が達成可能な種類を選定する。

目標とする群落が草地型のときは、草本類のみを使用する。植物の形態としては種子、切芝等を用いる。

目標とする群落が低木林型、高木林型のときは、木本類を主に導入する場合と、草本類を主に導入してまず草地群落を形成し、周辺からの木本の侵入による遷移を期待する場合がある。樹種の性質は先駆性樹種と極相樹種に大別され、先駆樹種と呼ばれるものは一般に日照条件の良いところで初期成長が早く、土壌条件が劣悪な場所でも旺盛に生育可能なものが多い。一方、シイ類やカシ類等の極相樹種と呼ばれるものは一般に初期成長が遅く、肥沃で厚い土壌を好み、日照条件の悪い環境でも生育できるが、土壌環境が劣悪な場所では生育困難なものが多い。導入する際の形態は、種子・苗木等に分けられ、施工適期、導入方法等が異なる。

なお、木本類を用いる場合には、「道路土工一切土工・斜面安定工指針」を参考にする。

(イ) 植物材料に関する留意点

播種工に使用する種子については、地域の環境条件を考慮の上、地域に生育する在来植物を優先することが望ましい。なお、選定に当たっては、国が作成する「我が国の生態系等に被害を及ぼすおそれのある外来種リスト」に加え、地方自治体による地域ごとの侵略的外来種リストがあれば確認することを原則とする。

また、市場で在来種として流通しているものには外国産のものがみられるが、外国産在来種の使用は地域生態系の遺伝的攪乱を招く可能性が指摘されていることから、植物材料の入手の際には注意が必要である。また、自然環境の保全に一層配慮する上では、地域性種苗や、在来種の種子を含んだ森林表土、周辺から飛来する種子を使用するのがよい。これらを利用する工法については「6.4.3.6 植生工におけるその他の技術の活用」に記載している。在来種や地域性種苗を利用する際には、事前の調査項目に植物材料確保の可能性の項目を盛り込み、場合によっては造成工事の前の段階で材料の確保、保存等の必要な手段を講じる。また、発芽率等、施工時まで不確定な事項に関しては、施工段階で種子配合等の設計の変更を検討する。

(ウ) 植生工の種類別の検討

植物の発芽・生育は、温度、水分、光量、肥料分等の影響を大きく受けるほか、木本類と草本類とでも性質が大きく違う。そのため、施工対象地の立地条件を十分に検討した後、最適な工種を選定することが重要である。

(エ) ソデ・マント植栽

自然林は、道路建設等で伐開されると林内に大きな影響を受けることが多いので、伐開する場合には、自然林への被害を最小限に抑えるために、事前に段階的な伐開をすることにより林縁群落を育成したり、林縁に保護植栽を行ったりして保護する。

ソデ・マント植栽とは、道路に面する部分の植栽帯を保護するために、林縁部に人工的にソデ・マント群落をつくることである。

ソデ・マント植栽によって、樹林帯への風の吹き込みや日照りの入り込みを緩和することにより、既存樹林帯の乾害や風害を緩和することができる。植栽形式は、一般的に、周辺環境との調和を考慮して樹種を選定し、中木、低木の2層により形成する。

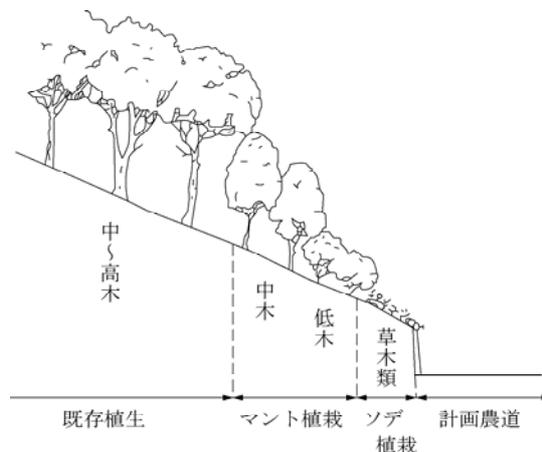
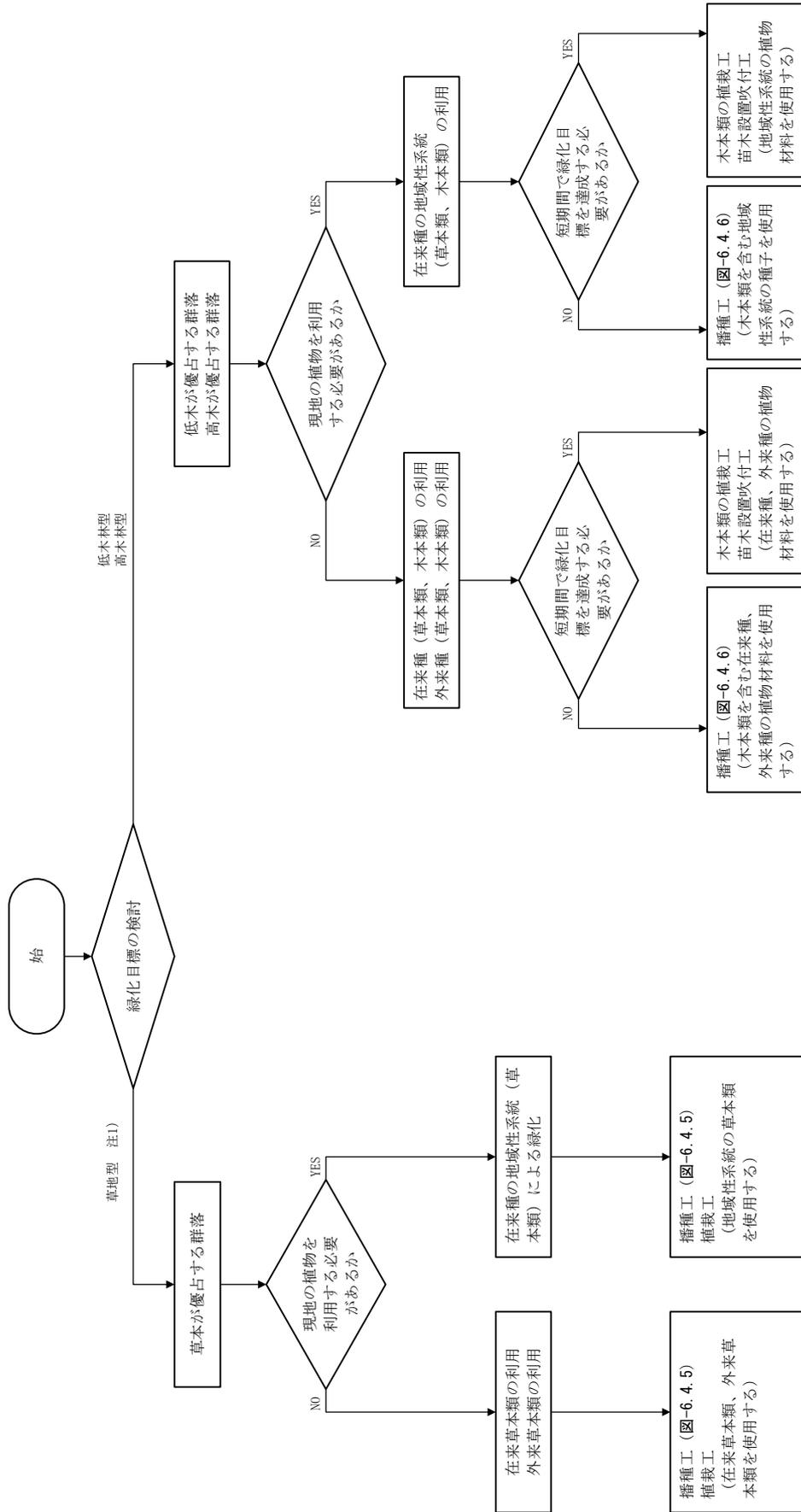


図-6.4.6 ソデ・マント植栽模式図

イ 緑化基礎工の検討

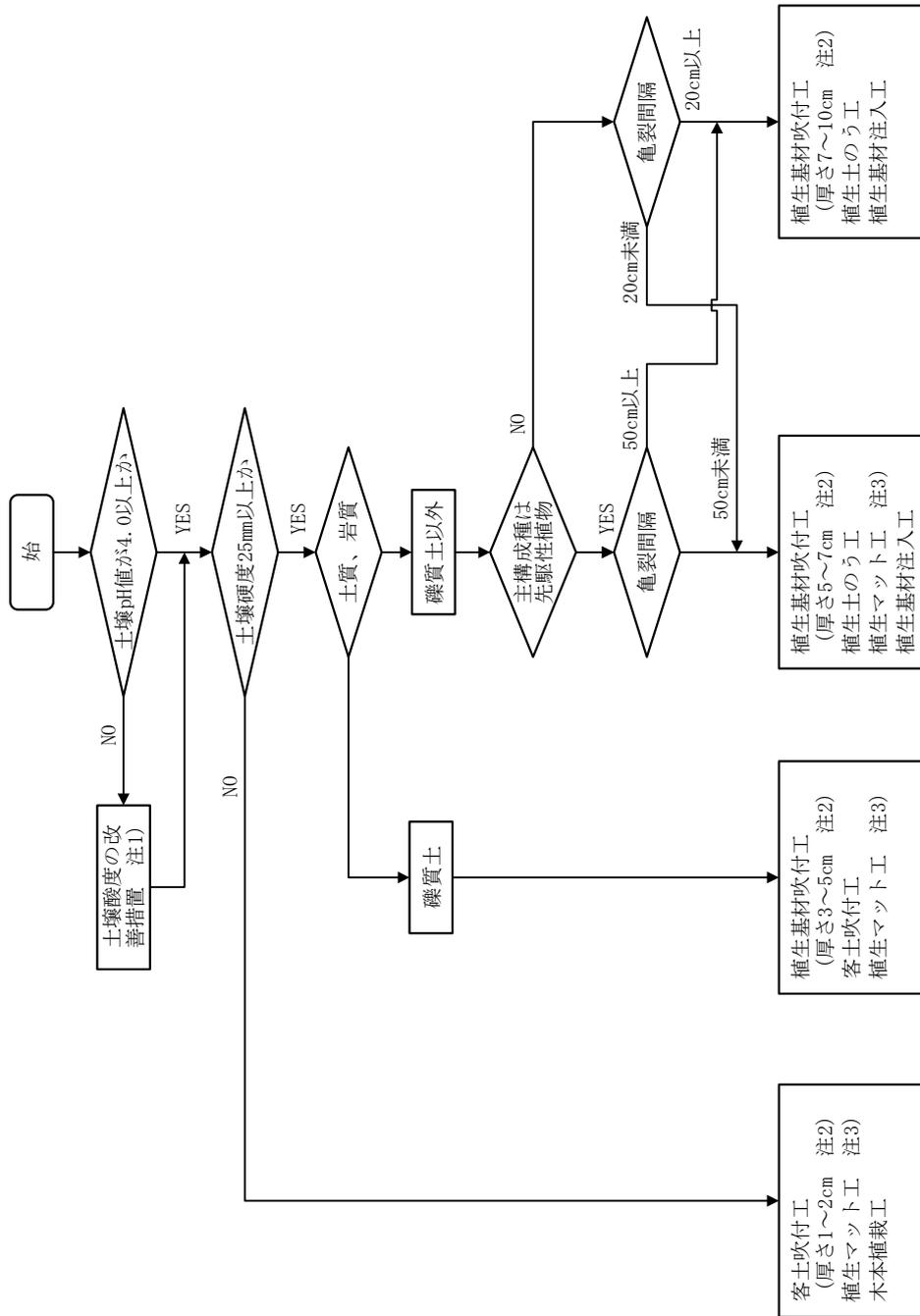
緑化基礎工は、目的や現場の状況に応じて表-6.4.3を参考に、上記で選定した植生工に適したものを選定する。その際、目標とする植物群落が成立した後も生育基盤を長期にわたり健全に保持できるものを選定するのが望ましい。

緑化目標及び植物材料を設定した上で植生工を選定する際のフローを図-6.4.7に示す。また、法面条件を基にした植生工の選定フローを図-6.4.8～図-6.4.9に示す。各工法の詳しい説明は表-6.4.8を参照されたい。必要に応じ、工法を組み合わせることも検討する。その他、地域性系統を植物材料として使用する森林表土利用工や、再生資源を使用する資源循環型緑化工等に関しては「6.4.3.6 植生工におけるその他の技術の活用」を参照されたい。



注1) 初期の目標を草本群落とし、長期間にかけて自然の遷移によって木本群落を形成する場合を含む。

図-6.4.7 植生工選定フロー（緑化目標及び植物材料からの選定）²⁾



注1) 土壌酸度の改善措置が可能な場合はブロック張工等の構造物工のみの適用を検討する。

注2) 吹付厚は緑化目標も考慮して決定する。

注3) 植生マットを適用する場合には、法面条件に対応した厚さの植生基材が封入されたもので、その機能が同条件で植生基材吹付工の吹付厚に対応した製品を使用する。

図-6.4.9 法面条件を基にした植生工の選定フロー（木本類播種工等）²⁾

(2) 選定工法の設計

ア 播種工の設計

播種工の種子の配合は、使用植物の性状、施工の目的、地域条件等を加味した播種量によって、植生基盤の造成と草本類と木本類の混播の必要性を検討する。

具体的な設計方法は、「道路土工一切土工・斜面安定工指針」の記述等を参考とする。

イ 植栽工の設計

以下に、植栽工を行う場合の樹種選定、植栽方式、配植等について記述する。

(ア) 樹種の選定

樹種植栽を行う目的は、他の植生工と同様に法面の侵食防止や表層崩壊の防止に加えて、自然環境や周辺景観との調和、地球温暖化の防止、野生生物の生息地の保全等である。法面条件に応じた計画的な配植を実施する必要がある、切土・盛土区分、法面勾配や土質等、立地条件と施工目的に応じて植栽する樹種を選定する。

(イ) 植栽方式

植栽方式は、法面周辺環境を生活環境、農耕環境、自然環境等に分類して、法面の安定度、施工性、導入種の生育特性、経済性等を総合的に勘案して、成木を使用するのか苗木を使用するのかを検討する。

(ウ) 配植

法面条件が植栽可能な場合には、地球温暖化防止を始めとした地球規模の環境保全に寄与するために、樹林化を行うことが望ましい。ただし、経済活動や周辺地域に対する日照被害等の問題が懸念される場所においては、施工後の植生管理のことを考慮して低木を主体とした配植を選定することが望ましい。また、盛土法面の境界近くに植栽された高木は、剪定等の頻繁な植生管理作業が必要となるほか、道路が隣接する場合には交通視距や建築限界において障害となるため、十分に余裕を確保することが必要である。野生動物の生息が確認された場合には、身を覆い隠せる植生が連続するよう配植して、動物が移動しやすいように配慮することが望ましい（図-6.4.10）。

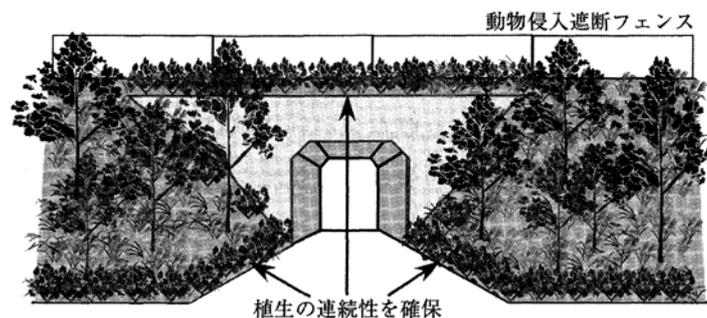


図-6.4.10 野生動物の移動経路を確保するための植栽²⁾

(エ) 併用工

法面の安定度、施工性、導入する樹木の特性、経済性等を総合的に勘案して播種工の併用を検討する。

ウ 肥料設計

植物によって必要とする養分は異なるので、使用する肥料成分を間違えると、目標とする植物群落形成されないことが多い。一般に、木本類を主構成種とする植物群落を目標とする場合、混播した草本類の初期成長を抑制し、木本類を成長させるためには、N（窒素）分の少ない肥料がよく、比較的早い時期に草本類の繁茂を必要とする場合にはN（窒素）>P（リン酸）>K（カリウム）の成分比を有する肥料がよい。

草本類の播種を行う場合で、植生基材が長期間安定しない工法では速効性の高度化成肥料がよいが、流亡しにくく、肥料成分を含む植生基材吹付工等では緩効性肥料の方がよい。

それぞれの施肥量については、肥料の成分含有量や流亡性、速効性等にもよるが、一般には植生基材1 m³に対して2～4 kg 吹付厚3 cm 未満の場合は1 m²当たり50～100g程度に設定する。

エ 生育基盤を形成する材料

植生工に使用する材料は、それぞれの使用目的を十分理解した上で、植物の発芽、生育に有害な物質を含まないもので、品質が保証されているものを使用する。なお、各々の材料の品質については、「道路土工一切土工・斜面安定工指針」を参考とすること。

オ 法面の維持管理における点検箇所に対する配慮

法面の定期的な点検箇所が設定されている場合には、点検時に通行の障害とならないように、通路や階段、はしごの設置箇所に防草シートを設置する等、植物の繁茂を調節する配慮を植生工の設計時点で行う。

6.4.3.6 植生工におけるその他の技術の活用

植生工は、前述した技術以外に施工場所に存在する植物材料を利用する工法として、現地の森林表土中の植物体を利用する森林表土利用工と、法面に自然に飛来する種子を積極的に利用する自然侵入促進工等が開発されている。その他、現場で発生する伐採木や、下水汚泥を主体として高温発酵させた発酵下水汚泥コンポスト等を植生基材として活用する資源循環型緑化工がある。これらの工法は、主に客土吹付工や植生基材吹付工の材料として利用するものである。また、植穴の掘削が困難な法面において植生土のう工と植栽工の組合せにより効率よく苗木植栽を行う袋客土工等の施工法がある。

これらの技術は、自然環境の保全、環境負荷の低減、資源循環を実現する上で重要性が増しているが、採用に当たっては、法面保護機能や、発芽・生育特性等に関する従来の施工法との相違を十分認識しておく必要がある。

これらの工法については、以下に紹介するが、詳細は「道路土工一切土工・斜面安定工指針」を参照する。

ア 森林表土利用工

森林表土利用工とは、森林表土中の種子や根等の植物体を表土ごと採取し植物材料として利用する工法の総称である。この工法の特徴は、施工地域に存在する植物を利用できることであり、施工場所又はその近隣の森林で採取した表土を用いる。地域生態系に対する遺伝的攪乱を引き起こさない等の利点がある反面、現時点では、外来種を用いる手法と比べて耐侵食性が低い、初期の被覆速度が遅い、生育する植物の予測が付きにくい等の技術的課題が存在する。また、施工後1、2年目のうちはセイタカアワダチソウ等の外来種が繁茂する可能性があり、

一般に望まれない種が生育する可能性もある。施工後に生育する植物が正確に予測しにくい
ため、施工後に望まない植物が繁茂する等の状態が生じた場合には、植生管理において検討
する。

イ 自然侵入促進工

自然侵入促進工は、周辺植生から法面に飛来する種子等で緑化する工法である。周辺から飛
来する種子で緑化することから、緑化の速度が著しく遅い、初期に成立する植物群落を予測し
にくい等の特徴がある。施工例としては、肥料袋を付けたネットを設置する方法、種子を混入
しない植生基材を吹き付ける方法等がある。

ウ 資源循環型緑化工

資源循環型緑化工とは、現地や周辺地域等で発生した廃棄物等を循環資源として加工し、法
面緑化工の主材料として活用する緑化工の総称である。したがって、正確に言えば将来のバー
ク堆肥等を主材料とした植生基材吹付工や客土吹付工等も資源循環型緑化工に含まれるもの
である。

近年、資源循環型緑化工では、現場で発生する伐採木等の建設副産物を利用する方法や、下
水汚泥を主体として高温発酵させた発酵下水汚泥コンポストや貝殻粉碎物等を利用する方法
が開発されている。

エ 植生土のうを利用する植栽工

この工法は、植栽用に高機能化した土のうを法面に設置し、苗木の生育基盤として利用する
ものであり、植穴を掘削して苗木を導入することが困難な法面において効率よく苗木植栽を
行う工法である。そのため、従来は植栽が困難であった場所でも、容易に施工できる点に特徴
がある。この工法には、以下に示す袋客土工やユニット苗工等の手法がある。植生土のうを利
用する植栽工の成績判定の目安は植栽工に準ずるが、山採り苗や支給苗の場合には再施工の
対象とするか否かは十分に検討する必要がある。ただし、この工法の採用には、播種工等によ
り、法面の風化、侵食に対する耐性を確保することが前提となる。

(ア) 袋客土工

袋客土工は培土を充填した袋に苗木を植え付けて植栽箇所に設置する手法である。

植生土のうに苗木を植え付けて法面に設置する袋客土工では、植生土のうの客土充填と
苗木植え付け作業は現地で行う。苗木は市販のコンテナ苗、山採り苗のいずれも使用が可能
である。

(イ) ユニット苗工

ユニット苗工は、培土を充填した袋で育成した苗（ユニット苗）を、法面等の植栽地に釘
又はアンカーピン等で固定する手法である。ユニット苗は、袋・培土・苗が一体（ユニット）
化しており、このユニットを植栽箇所に固定するだけでよく、培土を袋に詰めたり、苗を植
え込んだりする手間が不要である。

6.4.4 構造物工

6.4.4.1 構造物工の目的と工種選定

構造物工による法面保護は、法面の侵食や風化及び表層の滑落や崩壊を防止する等、法面の永続的な安定を図ることを目的とし、無処理では安定を確保できない法面のうち、次のような法面に用いる。

- ① 法面緑化工が不適な法面
- ② 法面緑化工だけでは侵食等に対して長期安定が確保できないと考えられる法面
- ③ 表層の滑落、崩壊、落石等の不安定化が発生するおそれがある法面

切土によって出現した法面は、時間経過とともに応力解放による緩み、風化、侵食、浸透水の影響等により不安定化するため、迅速かつ確実に安定化させることが重要である。構造物工は、標準法面勾配を確保できず、植生による法面保護のみでは対応できない場合に道路走行車両の安全かつ円滑な交通を確保し、法面の永続的な安定を図ることを目的に実施する。

構造物工は、風化、侵食、岩盤はく離、表層崩壊等の発生を除去又は軽減する目的や、岩塊・土塊の崩落・崩壊の防止及び安定を図る目的で実施するもので、安定を図る場合では、法面勾配を一部急にして、地山の改変量を減少させることに使用することもある。工種の選定に当たっては、切土部の調査により明らかになった地山条件や切土条件を考慮して、「6.4.2 法面保護工の選定」により、不安定要因に対応する機能を有する工種や、法面での適用箇所等を考慮して適切な工種を選定しなければならない。

また、構造物工は、周辺的环境・景観との連続性及び構造物自体の安定性を確保するとともに、圧迫感を軽減することが必要で、植生工と併用して周辺と調和させたり、質感等に配慮したりすることが望ましい。緑化基礎工として構造物を検討する場合があるが、詳細については「6.4.3.5 植生工の設計」を参照されたい。

6.4.4.2 構造物工の設計

構造物工は、法面の侵食、表層滑落、崩壊、落石の安定対策として用いられるが、設計に当たり、発生予測規模、範囲や環境への影響の大きさ等の調査結果を反映する必要がある。風化、侵食、岩盤はく離、表層崩壊等の発生を除去又は軽減する目的で構造物工を設計する場合は、一般に経験的手法によって使用材料、形状寸法や必要な品質等を決定することが多い。また、岩塊、土塊の崩落、崩壊の防止及び安定を図る目的で設計する場合には、調査結果に基づいた崩壊の深さや荷重等を設定し、その荷重に対抗できるように構造物の使用材料、形状寸法、構造物断面や必要な品質等を設計するのが一般である。

また、法面の崩壊には表流水や地下水等の作用が原因となることが極めて多く、法面に湧水がある場合や、法面に流下水が集まる場合等は、法面排水工の併用が必要である。

以下に表-6.4.1で示す主な構造物工の設計の考え方について示す。なお、施工に当たっての留意点は、「道路土工一切土工・斜面安定工指針」等関連図書を参照する。

(1) 柵工

柵工は、植物が十分に生育するまでの間、法面表面の土砂流失を防ぐために用いられることが多く、生育基盤を保持する目的でも用いられるほか、緑化基礎工としての機能がある。法面に金属杭や木杭等を打ち込み、これにそだ、竹又はプラスチック製のネット等を組み込んで施工する(図-6.4.11 (a)参照)。最近では、金属やプラスチック製のネットであらかじめ製品化された柵

を設置する方法や、杭に風倒木や間伐材を利用する方法が用いられている。木杭の場合の長さは50～150cm、径は9～15cm、間隔は50～90cm程度、柵の間隔は1.5～3.0m程度が一般的に用いられている。杭の角度は鉛直又は法面に対しての垂線と鉛直線との中間角までがよい。また、木杭は将来腐朽が考えられるのでその機能は永続的ではない。よって、周辺条件により木本類による植生遷移が進みにくい箇所には、播種、苗木植付け等により木本類を導入し、樹木の根系のもつ土壌緊縛効果により、法面保護の機能の永続性を確保する必要がある。

なお、盛土に柵工を設置する場合は、**図-6.4.11** (b)に示すように規定の断面まで十分締め固めた後、盛土下部から段切りを行いながら施工し、柵を設置した後は土羽土を埋め戻し、ランマ等で十分締め固める。

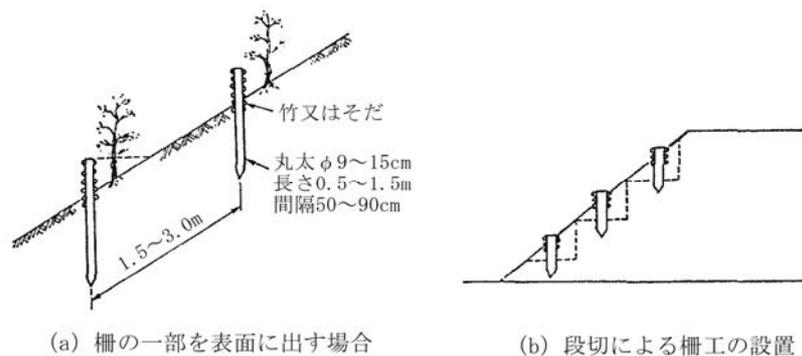


図-6.4.11 柵工²⁾

(2) プレキャスト枠工

プレキャスト枠工は、降雨等による侵食の防止や緑化基礎工としての機能がある。また、最近では大型のプレキャスト枠も開発され、グラウンドアンカー工等の支承構造物として使用されるものもある。

プレキャスト枠工は、一般に侵食されやすい切土・盛土法面や標準法面勾配でも状況により植生が適さない箇所、あるいは植生を行っても表面が崩壊するおそれのある場合に用いられ、1:1.0より緩やかな勾配の法面に適用される。

枠内処理は、一般に客土工+種子散布工や植生土のう工が用いられ、湧水が多い場合には石張り工等が用いられている。

プレキャスト枠工には、プラスチック製、鉄製、コンクリートブロック製等があるが、耐久性等の観点からコンクリートブロック製が多く用いられている。なお、寒冷地域等で凍上による法枠の浮き上がりが懸念される場合には、プレキャスト枠を使用しないことが望ましい。

コンクリートブロック枠工では、枠の交点部分にはすべり止めのため、長さ50～100cm程度のアンカーバー等を設置し(**図-6.4.12**参照)、枠内は良質土で埋め戻し、植生で保護することが望ましい。

勾配が1:1.2より急な切土法面において、かなりの湧水がある場合、枠内が土砂詰めで良質土が得られない場合、植生では流出するおそれのある場合等には、枠内に石張りやコンクリートブロック張り等を行う。景観を重視する場合は、栗石等の間隙に肥沃土を充填したり、客土吹付工や植生基材吹付工を併用したりして緑化を図ることもできる。

詳しくは「のり枠工の設計・施工指針(改訂版)」を参照されたい。

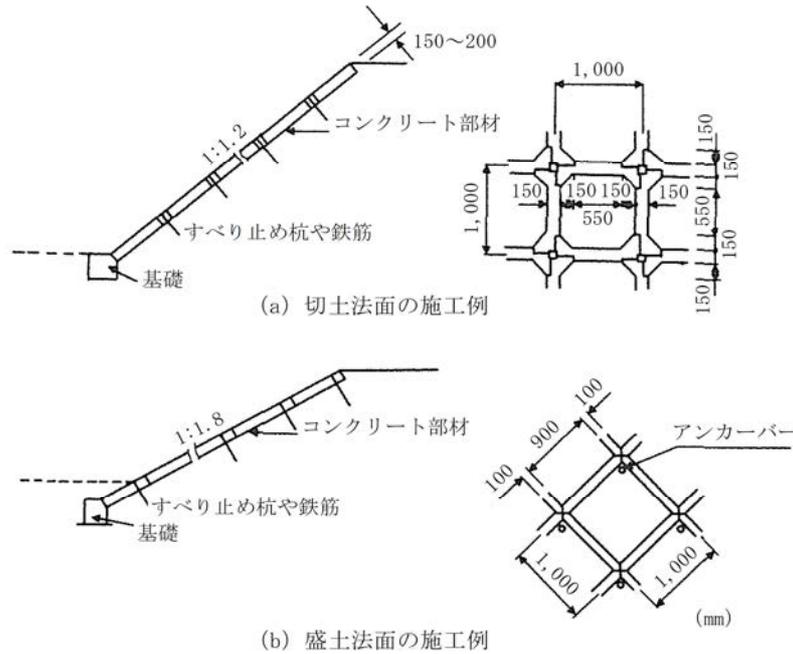


図-6.4.12 コンクリートブロック枠工の例²⁾

(3) 吹付枠工

吹付枠工には、岩盤はく離防止、表層崩壊防止のほか、緑化基礎工としての機能がある。また、グラウンドアンカー工の支承構造物として使用される場合もある。

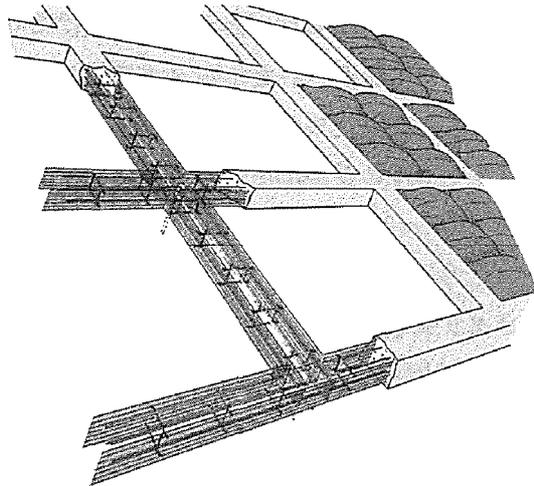
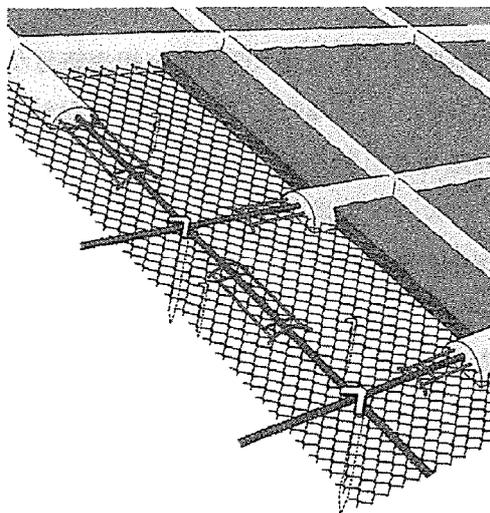
吹付枠工は亀裂の多い岩盤法面や、早期に保護する必要のある法面に多く用いられ、標準的な機能は現場打ちコンクリート枠工と同様であるが、これらと比較して施工性がよく、凹凸のある法面でも施工でき、法面状況に応じて各種形状の枠の選定が可能である。

吹付枠工は、出来形が矩形や欠円形、型枠が金網や簡易な金属型枠等、幾つかの形状や施工法（図-6.4.13、図-6.4.14 参照）がある上、部材寸法を変えることも可能である。

また、グラウンドアンカー工や地山補強土工との併用等により、多様な現地条件に適合できるが、各々の特徴及び他工種との経済性、施工性、機能等を比較検討して決定する必要がある。

吹付けの配合は、施工性や耐久性等の性能を満足する範囲で、圧縮強度が設計基準強度で $18\text{N}/\text{mm}^2$ 以上となるように、水セメント比をできるだけ小さくすることを原則とする。最近は、コンクリートと比較してリバウンドロスが少なく、はね返った材料が新たに吹き付けられた材料に巻き込まれるおそれがない、配筋材と型枠材との隙間でジャンカが生じにくい等、品質管理の観点からモルタルでの施工が多い。

詳しくは、「吹付けコンクリート指針(案)[のり面編]」（(公社) 土木学会 平成 17 年 7 月）、「のり枠工の設計・施工指針（改訂版）」を参照されたい。

図-6.4.13 矩形の吹付砕工の例²⁾図-6.4.14 欠円形の吹付砕工の例²⁾

(4)現場打ちコンクリート砕工

現場打ちコンクリート砕工は、主に岩盤はく離防止、表層崩壊防止のほか、緑化基礎工としての機能がある。また、グラウンドアンカー工の支承構造物として使用される場合もある。

現場打ちコンクリート砕工は、湧水を伴う風化岩や長大法面等で、法面の長期にわたる安定が危惧される箇所、あるいはコンクリートブロック砕工等では崩落のおそれがある箇所に用いる。また、節理、亀裂等のある岩盤でコンクリート吹付工等では浮石を止めることができない場合にも、支保工的な機能を期待して適用されることがある。

砕は鉄筋コンクリートの現場打ちとし、砕内は状況に応じて石張り、ブロック張り、コンクリート張り、モルタル吹付けあるいは植生等により保護する。

現場打ちコンクリート砕工は、コンクリートブロック砕工に比べ鉄筋が連続した梁構造となっているため、曲げに対しても強い。標準的な形状寸法としては、部材断面は $0.3\text{m} \times 0.3\text{m} \sim 0.6\text{m} \times 0.6\text{m}$ 程度の矩形で、部材間隔は部材幅の $5 \sim 10$ 倍の範囲のものが多く、格子状に用いられている（図-6.4.15 参照）。

法面の状況に応じて、枠の交点部分にはすべり止めのアンカーバーを設置する。特に、寒冷地域において部材の断面寸法が $0.3\text{m} \times 0.3\text{m}$ 程度以下の法枠を使用する場合には、凍上による法枠の浮き上がりが懸念されることもあるので、既往の施工例等を参考に適用性を検討することが必要である。

また、枠には対象地の地質によって、法面を掘り込んで設置する方法と、法面上に設置する方法とがある。

詳しくは「のり枠工の設計・施工指針（改訂版）」を参照されたい。

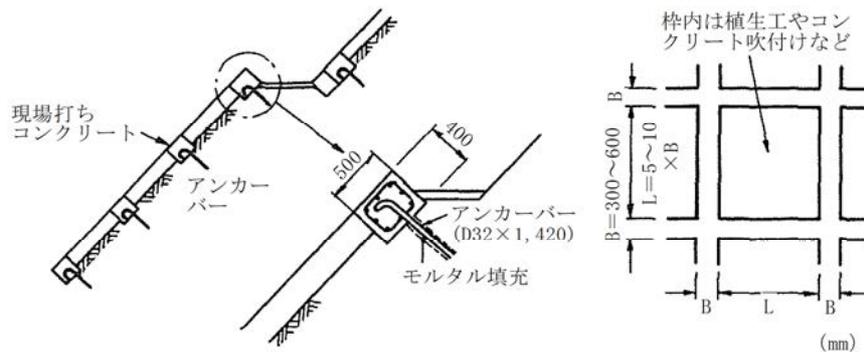


図-6.4.15 現場打ちコンクリート枠工の例²⁾

(5) 擁壁工

擁壁工は、切土や盛土等の土工計画で用地の制限や地形等の制約により、標準的な法面勾配では安定を確保できない場合等に検討され、作用する土圧に抵抗する機能を有している。

主に土圧が作用するおそれのある箇所や、多量の湧水や流下水による法面・斜面の崩壊のおそれがある箇所等で使用され、様々な現場条件に対応した多用な構造形式がある。

詳細については、「10.1 擁壁」を参照されたい。

擁壁工の環境・景観への対応は、擁壁の一部にポケット状の植栽地を設けて、そこにつる植物を植栽する方法等があるが、地山からの水分・養分の供給が期待できず、導入した植物が衰退し裸地化する等の危険性が高いため、検討に当たり植生基盤の厚さや導入植物の選定に十分注意する必要がある。最近では、連続長繊維補強土擁壁を採用して表面を全面緑化する方法や、法面緑化を考慮したブロック（図-6.4.16 参照）もあるが、水分や養分の供給等の面で維持管理に注意を要する。

なお、井桁組擁壁では、井桁の横桁の間隙に客土し、そこに植栽することで修景緑化が可能である。この場合、草本類のみでは桁の部材を遮蔽することは困難であるので、低木程度の木本類を導入することが望ましい。

ただし、井桁は法面からの排水を図ることを目的とした構造であるため、客土や植栽によってその機能が損なわれないよう配慮する必要がある。

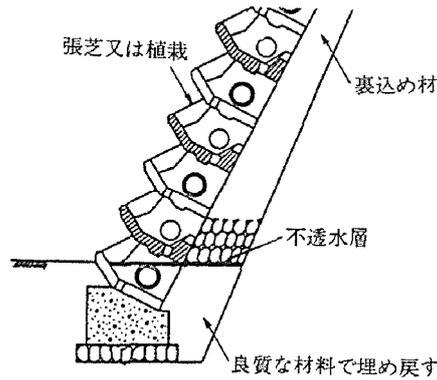


図-6.4.16 緑化ブロックの例²⁾

(6) 連続長繊維補強土工

連続長繊維補強土工は、軽微な土圧に対抗する吹付砕工や擁壁工の代替として、吹付けによる連続長繊維を混入した補強土と、その表面を植生基材吹付工等で全面緑化することにより、自然の改変を最小限にとどめることが可能であるほか、緑化基礎工としての機能がある。施工例を、図-6.4.17に示す。また、後述するグラウンドアンカー工や地山補強土工との併用で地山の安定を図り、表面を全面緑化することにより景観性向上を図ることもできる。切土法面から自然斜面まで、様々な現場条件に適用可能な環境配慮型の補強土吹付工法である。

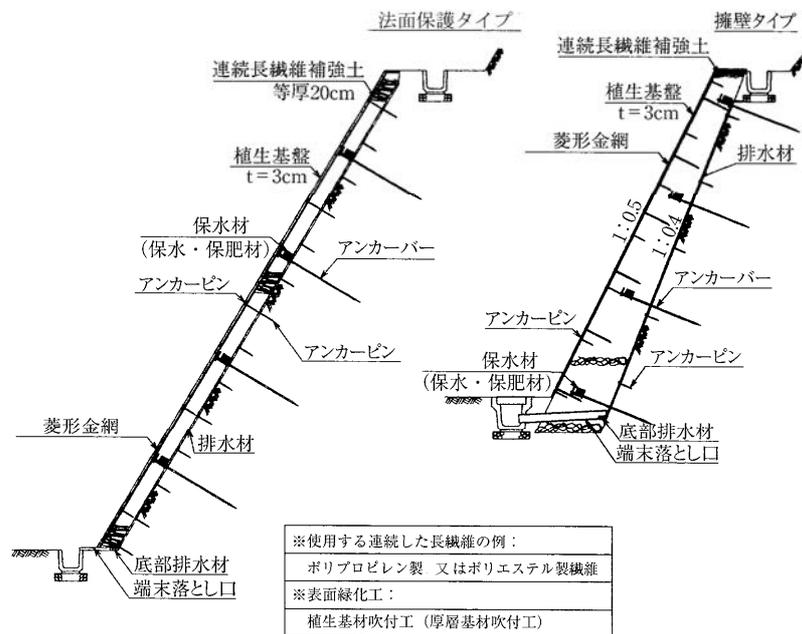


図-6.4.17 連続長繊維補強土工の例²⁾

(7) 杭工

杭工は、比較的大きな抑止力を有する工法で、法面・斜面のすべり崩壊の抑止機能を有しているため、基礎が強固で移動土塊に対し十分対抗できるような地点で施工することが望ましい。

法面・斜面上部の土塊に対しては、杭の抑止効果の及ぶ範囲に限界があり、杭を二段以上に設置したり、あるいは他の工法との併用を考慮したりする必要がある。

ただし、傾斜が急な法面や斜面では杭背面（谷側）の受動抵抗が十分には期待できないことがあるので注意を要する。

詳細については、土地改良事業計画設計基準・計画「農地地すべり防止対策」を参照されたい。

(8) グラウンドアンカー工

グラウンドアンカー工は、法面・斜面において岩盤に節理、亀裂等があり、崩落又は崩壊するおそれがある場合、比較的締った土砂の法面や斜面で崩壊のおそれがある場合等に抑止力を付与する目的で用いられる。また、グラウンドアンカー工は仮設土留め壁の支保工として用いられることもある。

グラウンドアンカー工は、現場打ちコンクリート枠工、吹付枠工、コンクリート張工、擁壁工等の他の工法と組み合わせて使用される（図-6.4.18 参照）。最近では独立大型受圧板を使用する場合もある。

グラウンドアンカー工は一般に図-6.4.18 に示すように、アンカー体、引張り部及びアンカー頭部から構成される。

なお、設計に当たっては、土地改良事業計画設計基準・計画「農地地すべり防止対策」等関連図書を参考にするとよい。

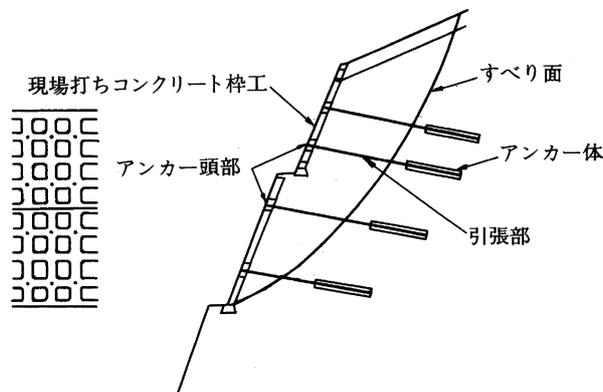


図-6.4.18 グラウンドアンカー工の例（現場打ちコンクリート枠工との組合せの例）²⁾

(9) 地山補強土工

地山補強土工は、地山に挿入された補強材によって法面や斜面全体の安定度を高め、比較的小規模な崩壊防止、急勾配法面の補強対策、構造物掘削等の仮設法面の補強対策等で用いられる。

地山補強土工は、図-6.4.19 に示すように、鉄筋等の補強材を地山に挿入し、切土による自然の改変を最小限にとどめ、地山を急勾配で切土する場合や構造物を設置する際の仮設への適用等、多様な条件下で様々な工法と組み合わせて用いられている。

補強材を地山に挿入するタイプの地山補強土工には、極限つり合い法、擬似擁壁工、2 ウェッ

ジ法等の設計法や施工方法等の違いにより種々の工法が提案されているが、ここでは施工実績が多い高速道路の斜面安定で用いられている極限つり合い法による工法の一つを参考に示す。

なお、設計に当たっては、土地改良事業計画設計基準・計画「農地地すべり防止対策」等関連図書を参考とする。

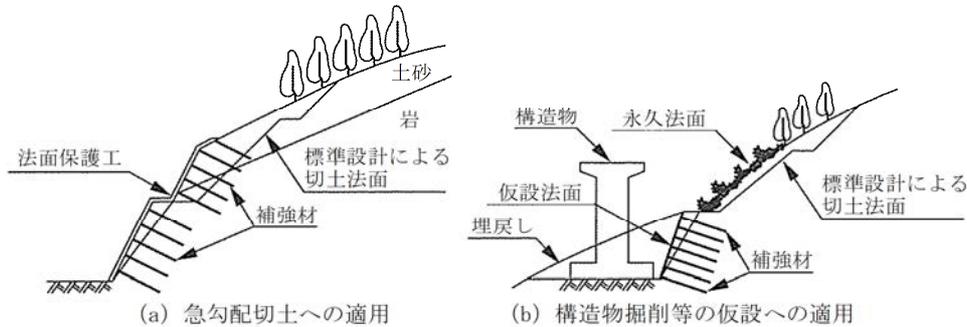


図-6.4.19 地山補強工の例（鉄筋挿入工の適用例）

(10) かご工

かご工は、機能、形状や設置方法等により、以下に示すじゃかご工、ふとんかご工、かごマット工に区分される。

じゃかご工は、多量の湧水や表流水による法表面の侵食及び凍上を防止する機能があり、主として法面表層部の湧水処理、表面排水、凍上防止等に用いられる。

ふとんかご工は、じゃかごの機能と土圧に抵抗する機能を有しており、湧水箇所や地すべり地帯における崩壊後の復旧対策工等に用いられ、法面工というよりはむしろ土留め用として使用される場合が多い。

かごマット工は、ドレーンかごや特殊ふとんかごとも呼称され、景観性向上や法面・斜面の表層安定対策として用いられる。柔軟性に富んだ金網を連続した一体構造として金網内に小径の碎石を詰めることで、湧水と凍結融解作用が顕著な法面・斜面全体に用いられる場合が多い。

かご工では、湧水の多い場合に集めた水を速やかに排水できるように留意するとともに、法面・斜面からの流出土砂によってかごが目詰まりを起こすおそれのある場合には、周囲を砂利等で保護する。

かご工の一般形状例を図-6.4.20に示す。

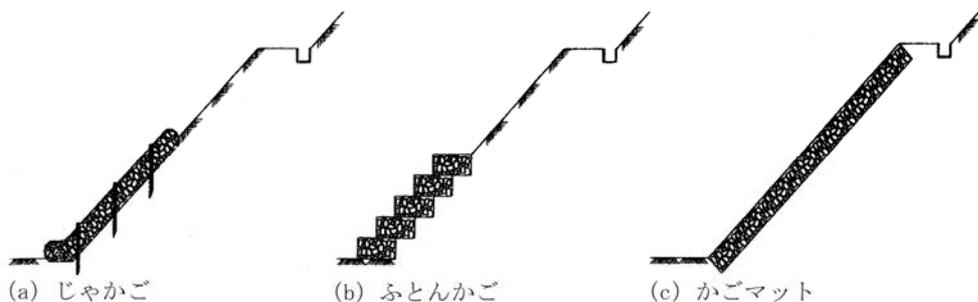


図-6.4.20 かご工の一般形状例²⁾

かご工における環境・景観への対応は、主要材料が自然石であり大規模な施工も少ないため、修景緑化を行わなくても違和感を生じることは少ない。

緑化する場合は、局所的に客土を行い樹木やツル植物等を植栽する方法が考えられるが、排水の促進を目的としているため、植栽に際しては客土や植栽が排水の障害とならないよう注意が必要である。

(11) モルタル・コンクリート吹付工

モルタル・コンクリート吹付工は、岩盤の風化防止、雨水等の地山への浸透による侵食や崩壊の発生防止・緩和、小規模な落石防止等の機能がある。

モルタル・コンクリート吹付工は、風化しやすい岩盤、風化してはく離又は崩壊するおそれのある岩盤、切土した直後は堅固でも、表面からの浸透水により不安定になりやすい土質等に用いられる。

吹付厚は、法面の地質状況や凍結深等の立地条件を考慮して決定するが、一般にモルタル吹付工の場合は8～10cm、コンクリート吹付工の場合は10～20cmを標準とする。ただし、繊維補強材の混合により補強された吹付工の吹付厚はこの限りではないが、使用に当たっては適用条件や施工条件等の十分な検討が必要である。なお、寒冷地域等気象条件の厳しい地域におけるモルタル吹付工の吹付厚は10cm以上必要である。

吹付配合は、過去の実績や経済性等を考慮して決定するが、一般にセメントの使用量は360～420kg/m³の範囲、水セメント比は45～60%の範囲が多い。モルタルやコンクリートの圧縮強度については、一般に15N/mm²以上を目安にする。

なお、吹付用の細骨材に関しては、細粒分が多すぎると所要強度を得るための使用セメントが多くなるので、細粒分を多く含まない良質な細骨材（粗粒率2.5～3.1程度）を用いて耐久性を確保することが重要である。

施工後の湧水の処理は難しいので、湧水が懸念される場合は極力開放型の工法を用い、モルタル吹付工等の密閉型の工法は避けることが望ましいが、やむを得ない場合は、吸出し防止材や暗渠排水管等を使用した湧水処理、又は水平排水孔や地下排水溝等の適切な排水工を設計する必要がある。

吹付けに先立ち、法面の浮石、ほこり、泥等を人力又は水・空気圧により清掃した後、一般に菱形金網を法面に張り付けて凹凸に沿いアンカーピンで固定するが、凹凸の少ない場合には溶接金網を用いることもある。(図-6.4.21 参照)。アンカーピンの数は1m²に1～2本を標準とする。勾配が急で吹付厚が厚い場合、法面の凹凸が著しい場合等は、必要に応じてアンカーピンやアンカーバーの本数を増やすことが望ましい。

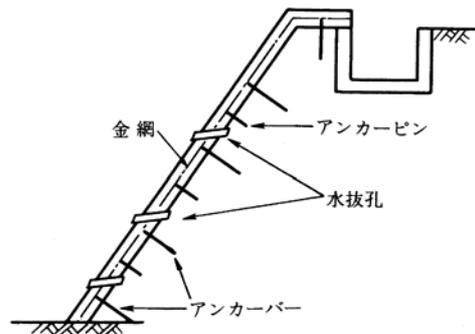


図-6.4.21 モルタル・コンクリート吹付工の例²⁾

吹付面には原則として水抜き孔を設置する。水抜き孔は、標準として直径 40～50mm 程度で 2～4 m² に 1 個以上の割合で設置する。法肩の処理は地山まで完全に巻き込むように吹き付ける。また、施工面積が広く平滑な場合には、10～20m に 1 か所の割合を目安として伸縮目地を設けることが望ましい。また、吹付厚が 15cm 以上でずり落ちが懸念される場合には、必要に応じて金網の下に鉄筋を配置する等、適切な対応が望ましい。

(12) 石張工、ブロック張工

石張工、ブロック張工（コンクリート版張工を含む。）には、法面の風化、侵食等の防止機能があり、1 : 1.0 以下の緩勾配で粘着力のない土砂、泥岩等の軟岩、崩れやすい粘性土等の法面に用いる。また、法面勾配を標準より急にする必要がある場合や、オーバブリッジの埋戻し部、盛りこぼし橋台の前面の保護等にも用いられる。

使用する石材、ブロックの控長は法面勾配と使用目的に応じて定める。（標準値は表-6.4.9を参照）

石張工、ブロック張工は、直高は 5 m 以内、法長は 7 m 以内で、できる限り緩勾配で用いることが望ましい。特に、雑石張りを行う場合は、勾配は 1 : 1.5 より緩やかにし、直高 5 m 程度までが好ましい。

平版ブロック張工は、法長が短く勾配の緩やかな箇所に用いる。

コンクリート版張工は、ずり落ちや浮き上がり防止のため、枠工を併用することが多く、枠間隔は 4～6 m 程度が多い。

表-6.4.9 法面勾配と控長²⁾

(単位 : cm)

法面 勾配 ^{注1)}	一般の法面保護			特殊箇所の法面保護 〔オーバブリッジの埋戻し、 盛りこぼし、橋台前面等〕		
	石張り	ブロック 張り	コンクリート 版張り	石張り	ブロック 張り	コンクリート 版張り
1.0～1.2	35～25 ^{注1)}	35	20 以下	35	35	20 以下
1.2～1.5	35～25 ^{注2)}	35	20 以下	—	35	20 以下
1.5～1.8	25 以下	12 以下	20 以下	—	18 以下	20 以下

注1) 勾配が 1 : 1.5 より急な場合は直高 5 m 以下の法面に適用する。

注2) 石張りの控長 25cm は玉石を用い、直高 3 m 以下の法面に適用する。

湧水や浸透水のある場合には、背面の排水を良好にするため、栗石又は切込砕石を用いて裏込めをしなければならない。その場合の裏込めの厚さは 20cm 程度とする。水抜き孔は直径 50mm 程度で、標準的には 2～4 m² に 1 個の割合で設け、湧水の多い箇所には数を増やす（図-6.4.22 参照）。十分な排水処理（暗渠排水や防止マット等）を施した後に、石張りを行うべきで、これを怠ったため崩壊した例が多く見られる。

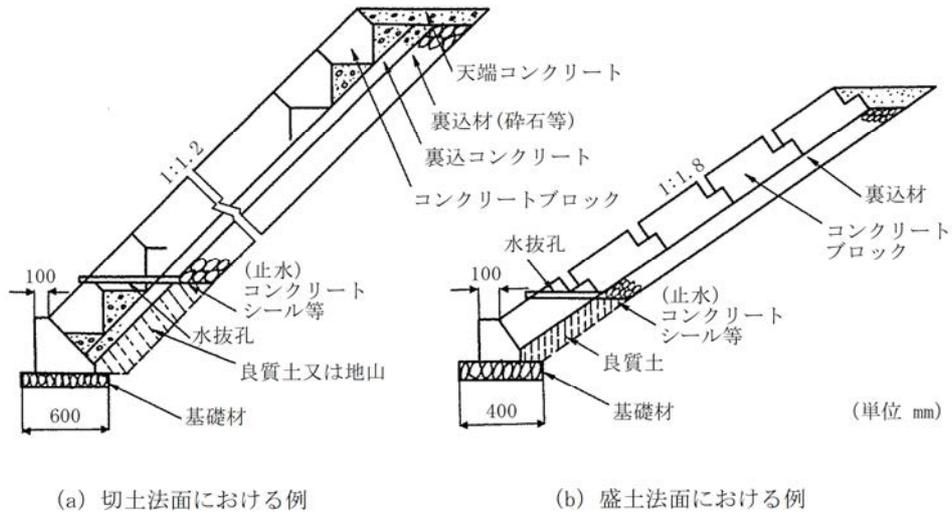


図-6.4.22 コンクリートブロック張工の例²⁾

(13) コンクリート張工

コンクリート張工には、法面表層部の崩壊防止、土砂の抜け落ちのおそれのある箇所の土留め、岩盤はく落防止機能がある。

コンクリート張工は、コンクリート擁壁工とモルタル・コンクリート吹付工との中間に位置付けられ、原則として土圧等の作用しない箇所に用いる。長大法面、急勾配法面では、金網又は鉄筋を入れるとともに、すべり止めのアンカーピン又はアンカーバーを付けることが望ましい。

一般に、1:1.0程度の勾配の法面には無筋コンクリート、1:0.5程度の法面には鉄筋コンクリート張工やH型鋼等で補強したコンクリート張工、等圧とした場合は20~80cmが多く用いられている。コンクリート張工は、最小20cm程度の厚さが必要である。すべり止めのアンカーピン又はアンカーバーは1~2m²に1本の割合で設置し、打ち込み深さはコンクリート厚さの1.5~2.0倍が多く施工されているが、地質状態により崩壊や抜け落ち等を防止する等、目的に応じて適宜に長さを決定することが重要である。

アンカーピン、アンカーバーの長さは、地質状況や凍結の有無等を勘案して決定される。地質が良好な場合や凍結がない場合は、短尺のものが使用される。一般に、アンカーピンは15~40cm、アンカーバーは30~150cm程度のものが使用されていることが多い(図-6.4.23参照)。

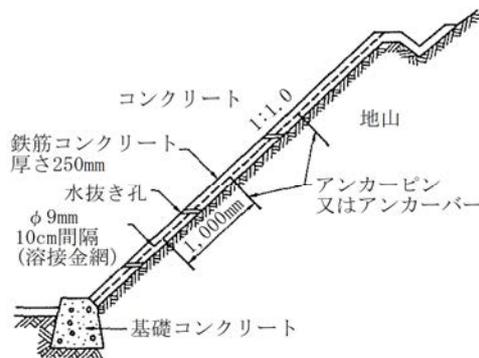


図-6.4.23 コンクリート張工の例²⁾

6.5 斜面崩壊対策

6.5.1 斜面崩壊対策の対象とする現象と基本的考え方

斜面崩壊対策で対象とする現象は、斜面表層部の土砂が崩壊する形態とし、以下に示す①～③に基本的考え方を示す。

- ① 調査により崩壊のおそれのある斜面において、想定される規模や発生の可能性、被災の程度を考慮して、斜面崩壊対策を実施する。なお、基岩から崩壊するような深い斜面崩壊が予想される場合は、切土工で対処するか、地すべり対策に準じる対策を行うこととなるので、「6.3 切土法面の設計、6.4 法面保護工」や土地改良事業計画設計基準・計画「農地地すべり防止対策」を参照することとし、構成材料が岩であるような斜面の表層部の崩壊は「6.6 落石対策」を参照のこと。
- ② 多数の崩壊危険地に全ての対策工を設置するまではかなりの期間が必要であるため、緊急度の高い箇所を優先的に実施し、段階的に対策を行うことで安全度を向上させることを基本とする。この場合、未対策の箇所や、崩壊の危険が小さいと判断された箇所からの崩壊が発生する可能性もあるため、豪雨時には通行規制等の手段を活用する。
- ③ 大規模な自然斜面、特に法面の背後斜面に発生した崩壊の場合、崩壊の発生位置と道路との間の比高差が大きく、崩土の運動エネルギーが大きくなる。よって、対策工の規模や設計外力が非常に大きくなり、対策工のみでは対処し得ない場合も多い。この場合には通行規制等により対処することが必要となる。対策工の位置・範囲や規模又は設計外力は、十分な調査により推定された崩壊範囲や規模をもとに決定しなければならない。

6.5.2 斜面崩壊対策工

斜面における崩壊対策工は予防工と防護工に大別される。

予防工とは崩壊発生源に行う対策で、斜面の風化・侵食を抑制したり崩壊発生を抑止したりする工法である。予防工の種類は法面保護工の工種に準じる（表-6.4.1 参照）。防護工は崩壊により発生した崩土の運動を停止させたり、その方向を変化させたりして道路や通行車両を防護する工法である。防護工には、待ち受け擁壁工と土砂覆工がある。

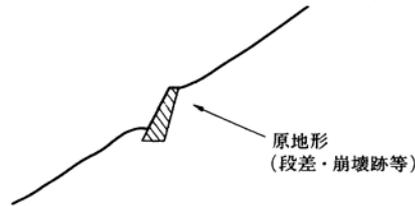
なお、待ち受け擁壁工では、擁壁天端に落石防護柵を併設するが多い。

6.5.2.1 予防工

予防工の工種と選定は「6.4 法面保護工」に準じるが、谷止工等を用いることもある。切土を行う場合は、切土工の標準勾配「6.3 切土法面の設計」に準じて決定することとする。ただし、斜面の整形は最小限しかできない場合が多いので、切土による安定勾配の確保は困難な場合が多い。

石積・ブロック積擁壁工、コンクリート擁壁工やふとんかご工等は斜面末端のみでなく、山腹斜面中の表土の不安定部を押さえる山腹土留工として設けられることがある（図-6.5.1 参照）。また、擁壁工や小規模なえん堤を谷地形部分の不安定土砂を押さえるための谷止工として設けることがある。

なお、予防工の計画・設計に当たっては、予想される崩壊の発生位置・範囲、崩壊深さ等を十分な調査により推定し、それをもとに予防工の施工範囲・配置や必要抑止力等を決定することが重要である。

図-6.5.1 擁壁を山腹土留工として用いる例²⁾

6.5.2.2 防護工

(1) 防護工の基本的考え方

擁壁背面に十分な空き容量を確保できる場所があるときは待ち受け擁壁工を用いる。しかし、想定崩壊土量が多い又は想定崩壊位置が高く崩土の衝撃力が多い場合や、道路山側の斜面勾配が急で崩土のポケット容量がとれない場合は、土砂覆工を用いることがある。

待ち受け擁壁工は崩土の運動を道路際で停止させる工法で、擁壁背面に空き容量（ポケット）を設けてそこに崩土を堆積させるものである。よって道路山側に平地があるか、道路際の斜面勾配が緩い等、擁壁背面に十分な空き容量を確保できる場所である必要がある。

過去の崩壊データから、崩壊規模は斜面の高さや崩壊幅と関係があり、崩壊土量の推定は、現地調査の結果のほか、急傾斜地崩壊対策の各基準及び指針等に従うものとする。想定される崩壊規模に応じて工法の選択を行うが、崩壊規模が小さいと想定される場合には、落石防護壁や落石防護フェンス等の落石対策工によって崩壊土と落石対策を兼用することも考慮する。

(2) 設計外力

小規模な斜面、又は道路山側に平地が十分にある場合は、堆積土砂の土圧のみを外力として考慮し設計する。

防護工について設計荷重の考え方は以下の二通りがある。

- ① 崩壊が小規模で、かつ、発生位置と道路面の比高が小さいが、道路山側に平地があつて崩土の運動速度が小さくなると予想される箇所は、堆積土砂の土圧のみを考慮する。
- ② 崩壊が大規模なとき、又は崩壊発生位置と道路面との比高が大きいときは、堆積土砂の土圧及び崩土の衝撃力を考慮することが望ましい。

大規模な斜面では必要に応じて崩土の衝撃力を考慮し設計する場合があるが、崩土の衝撃力に関しては、急傾斜地崩壊対策の各基準及び指針等に参考となる記述がある。

(3) 待ち受け擁壁工

待ち受け擁壁は、以下の項目を考慮し、設計を行う。

- ① 堆積土砂の土圧に対する安定性
- ② 崩土の衝撃力に対する安定性
- ③ 崩壊土量に対する空きポケットの大きさ

斜面が小規模な箇所又は道路山側に平地が十分にある堆積土砂の土圧のみを考慮する箇所では、待ち受け擁壁背面に堆積した崩土の土圧を外力として擁壁の安定計算を行う。土圧の算定方法については「10.1 擁壁」を参考とする。土圧の算定のためには、崩土の堆積形状を設定する必要がある。つまり、擁壁背面が満砂している状態の擁壁天端における土砂の堆積勾配を設定することが必要となる。常時の堆積勾配は現地の表土層の土質によって決定するものとするが、20～30°程度としている場合が多い（図-6.5.2）。

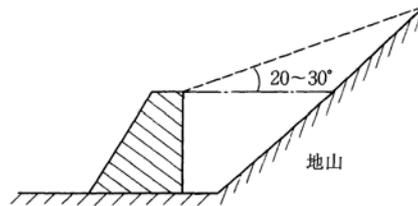


図-6.5.2 崩壊土砂堆積時の崩土の堆積形状²⁾

通常の維持管理により堆積土砂が速やかに除去できる場合には、設計において崩土の堆積は考慮しなくてよい。

なお、堆積土砂量は基本的には想定崩壊土量と等しいとする。

崩土の衝撃力を考慮する場合は、崩土の衝撃力の算定、崩壊土量の推定、安定計算等、急傾斜地崩壊対策で用いられる文献（「崩壊土砂による衝撃力と崩壊土砂量を考慮した待ち受け擁壁の設計計算事例」等）に参考となる記述がある。一般に崩土の衝撃力は非常に大きいので、擁壁も大規模なものとなることが多い。また、崩土の衝撃力に対抗するために、擁壁にグラウンドアンカー工を併用することがある。

また、擁壁の空き容量は原則として、堆積土圧による設計と同様に、想定崩壊土砂量と同等とし、崩土が擁壁をオーバーフローすることのないようにする。

(4) 土砂覆工

設計方法は落石防護工としてのロックシェッドの方法に準じる。なお、崩土の衝撃力を考慮する場合は落石の衝撃力に代えて崩土の衝撃力を考慮して設計を行うが、一般に崩土の衝撃力は落石のそれに比べて非常に大きい場合が多く、崩土の衝撃力に対抗する構造物としての土砂覆工の採用には慎重を要する。

堆積土砂の土圧を考慮する場合、通常のロックシェッドにおける堆積土圧の考え方に準じて設計する。よって、この場合の考え方は「落石対策便覧」のロックシェッドの堆積土の荷重の算定方法に従うものとする。

また、スノーシェッドのように土砂覆工の屋根又は独立した流路に上部斜面と同程度の勾配をつけて崩土の衝撃力をほとんど受けたくないような状態で流下させる方法もある。この場合崩土の堆積が生じないような勾配であることを確認する必要がある（図-6.5.3）。

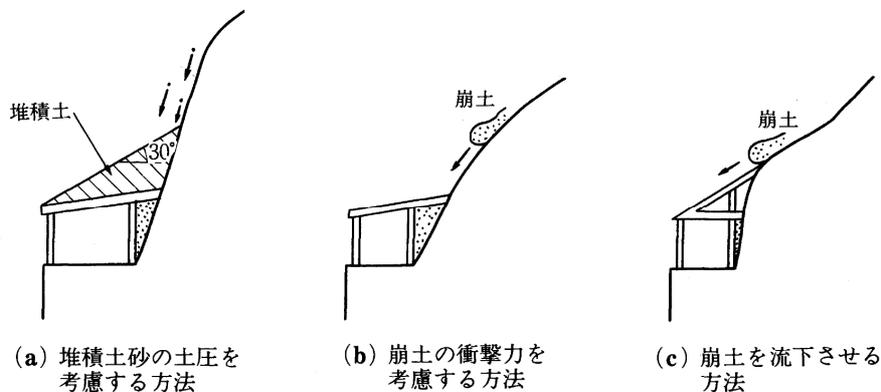


図-6.5.3 土砂覆工の設計の考え方²⁾

6.6 落石対策

6.6.1 落石対策の基本的考え方

(1) 一般事項

落石対策は、農道利用者及び農道を落石等による災害から守ることを目的とする。

落石対策工には、落石の発生が予測される斜面内の浮石や転石を除去する、あるいは斜面に固定する落石予防工と、斜面から落下してくる落石を斜面の途中、道路際あるいは道路上に設置した施設で防護する落石防護工とがある。

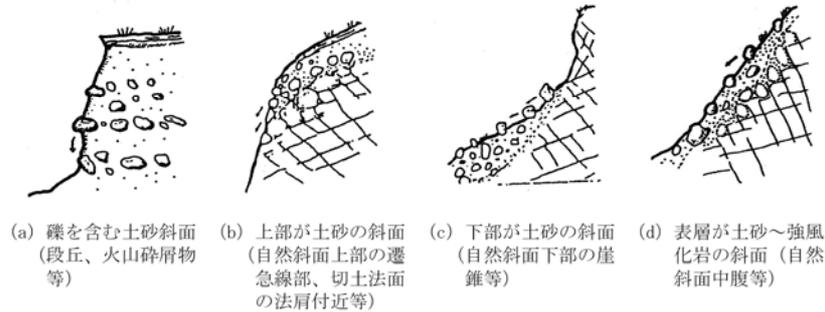
落石対策を計画するに当たっては、落石の発生の予測が難しいことに加え、万が一の落石の発生に備えて全ての道路を落石予防工や落石防護工だけで防御することは困難であり、用地条件等により、道路管理者側で対応できない場合もある。このため、落石対策工によって落石による災害を完全に防止し得ない場合もあることに留意する必要がある。

したがって、落石対策の基本的な考え方としては、路線の性格や予想される落石の規模、落石の発生確率、被災の頻度やその状況等を考慮して、落石予防工や落石防護工を実施して落石による災害を最小限におさえるよう努めるとともに、通行規制等の手段も活用し、道路交通の安全確保に努めることが重要である。

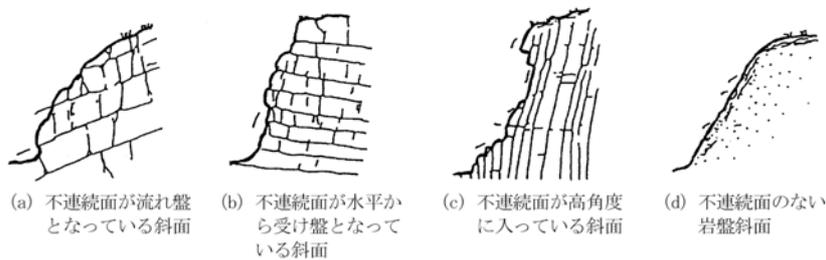
(2) 落石の発生形態

落石の発生形態を大まかに分類すると、以下の3種類に分けられる。

① 抜落ち（転石）型落石

図-6.6.1 抜落ち（転石）型落石の発生形態⁹⁾

② はく離（浮石）型落石

図-6.6.2 はく離（浮石）型落石の発生形態⁹⁾

③ その他



風化・侵食で残留した屋根上の巨礫等

図-6.6.3 その他の落石発生形態⁹⁾

6.6.2 落石調査

(1) 調査の目的と手順

落石調査は大きく概査、精査、維持管理点検調査に分けられる。

ア 概査

斜面や法面の落石に関する安定度を斜面単位で大まかに判定し、精査あるいは緊急な対策の必要性を判断する。

イ 精査

概査や維持管理点検調査によって精査が必要と判断された斜面や法面の特徴、特に浮石や転石の分布状況や不安定度、落石経路、斜面の不安定化機構等を明らかにし、対策の要否の判断、対策工の選定ないしは設計・施工のための基礎資料を得る。

ウ 維持管理点検調査

既に対策が実施された路線についての斜面防護施設の健全性評価と地山を含めた斜面や法面全体の劣化や不安定化を定期的に調査・比較し、災害の発生を未然に防ぐ。

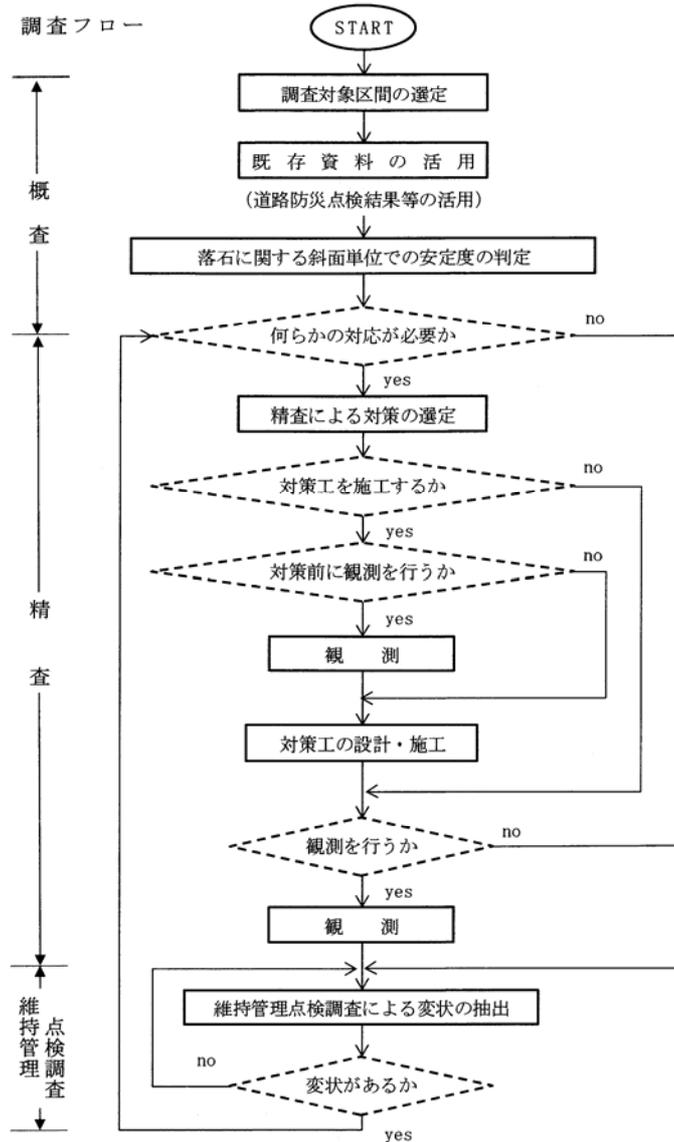


図-6.6.4 落石調査の概略フロー⁹⁾

(2) 詳細地表踏査

精査が必要となった斜面に対しては、詳細地表踏査を実施して、個々の転石や浮石の情報を調査し、大きな転石や浮石（おおむね 50cm 以上を目安とする）については、番号を付けて図-6.6.5 に示す安定度の判定を行い、落石の運動形態や停止状態の推定、対策工法の選定及び設計条件の基礎資料とする。

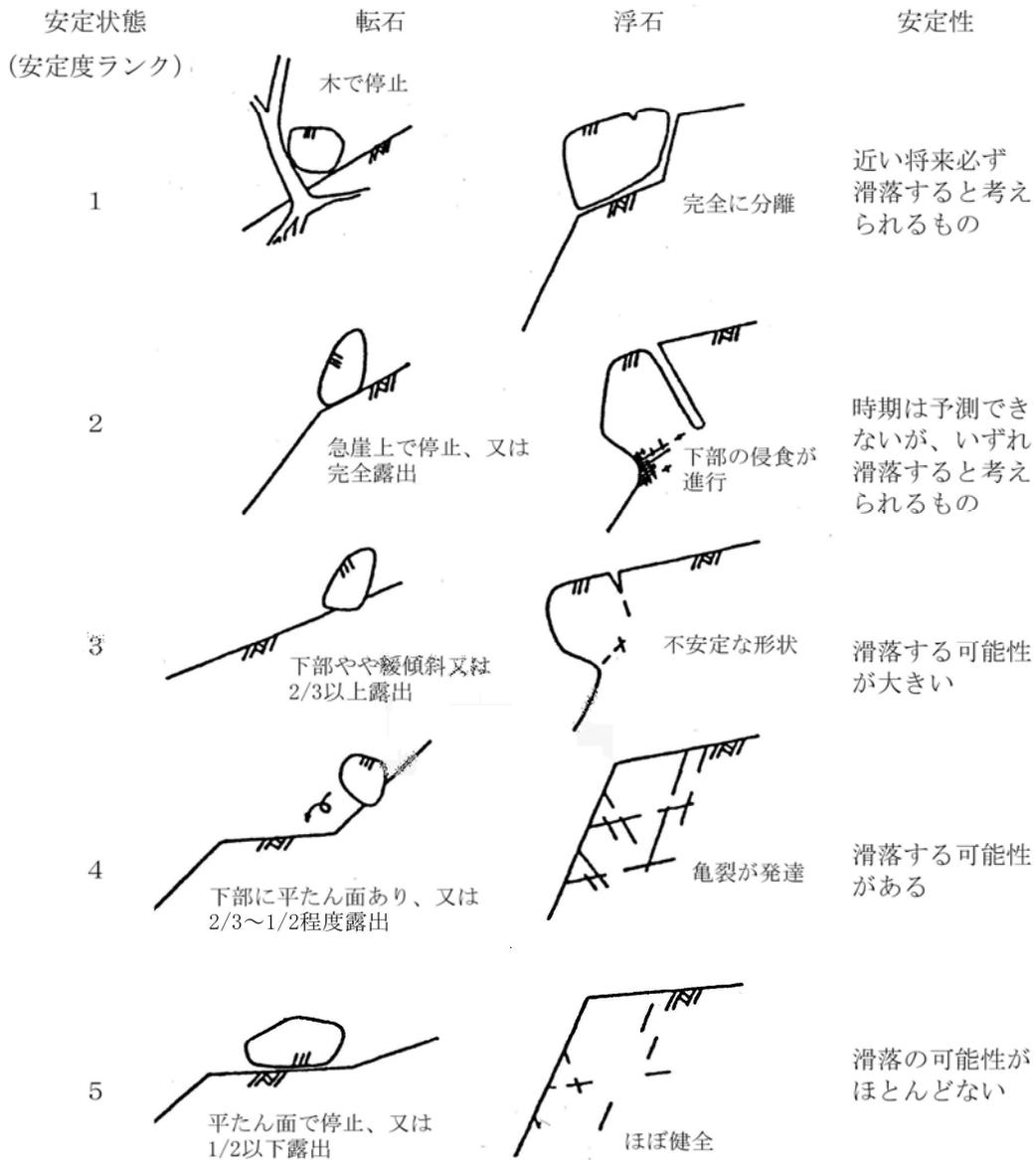


図-6.6.5 現地観察による安定度判定の一例⁹⁾

6.6.3 落石の運動

(1) 落石の落下速度

斜面を下方に移動する落石の速度は、飛跳運動のときに最も大きな値となる。

図-6.6.6 に示すように、既往の実験結果によれば、斜面が長大となって落下高さが 40m を超えると、落石速度は一定値(終端速度)に達する傾向のあることがわかっている。

(2) 落石の飛翔量

落石防護施設的设计外力の作用位置としては、図-6.6.7 に示す軌跡の高さとして最大跳躍量 h をとればよいこととなる。

既往の実験結果によれば、最大跳躍量 h は一般的な斜面形状の場合には落石の形状によらず、ほとんど 2 m 以下であるが、各種の資料から落石の跳躍量には、次のような特性がある。

- ① 落下高さが大きくなると跳躍量が大きくなる。
- ② 凹凸の少ない斜面では跳躍量が2mを超えることは少ないが、斜面上の局部的な突起のある場合や、凹凸の多い斜面では、跳躍量は2m以上になることがあり、落下高さの大きい場合には4～5mに達することもある。

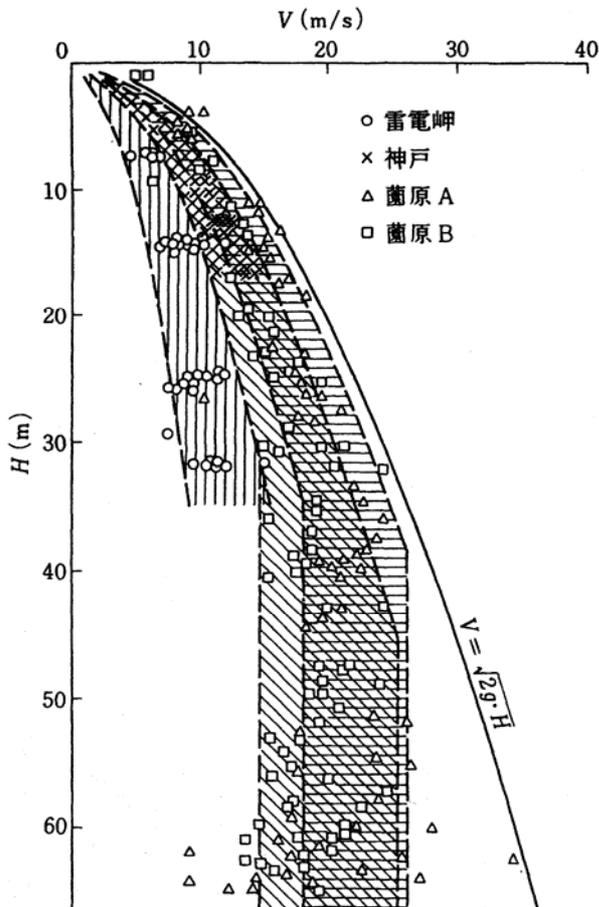


図-6.6.6 落石速度の分布⁹⁾

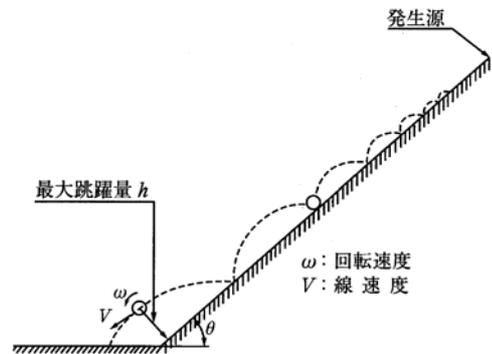


図-6.6.7 落石の軌跡の模式図⁹⁾

(3) 落石の運動エネルギー

落石防護工をエネルギー計算によって設計する場合には、落石の運動エネルギーを計算しなければならない。落石の運動エネルギーは、落石の経路を詳しく追跡計算して推定することもできるが、一般的には、実験によって裏付けされた落石の速度の推定式から運動エネルギーを推定することの方がより簡易であるといえる。

落石速度は等価摩擦係数 μ を用いて次式のように表される。

$$V = \sqrt{2g \left(1 - \frac{\mu}{\tan \theta} \right) H} \quad \dots\dots\dots \text{式 (6.6.1)}$$

各地で行われた実験から得られた等価摩擦係数 μ の値と斜面の種類との関係を整理したものが図-6.6.8であり、設計に用いる等価摩擦係数 μ の値を整理したものが表-6.6.1である。

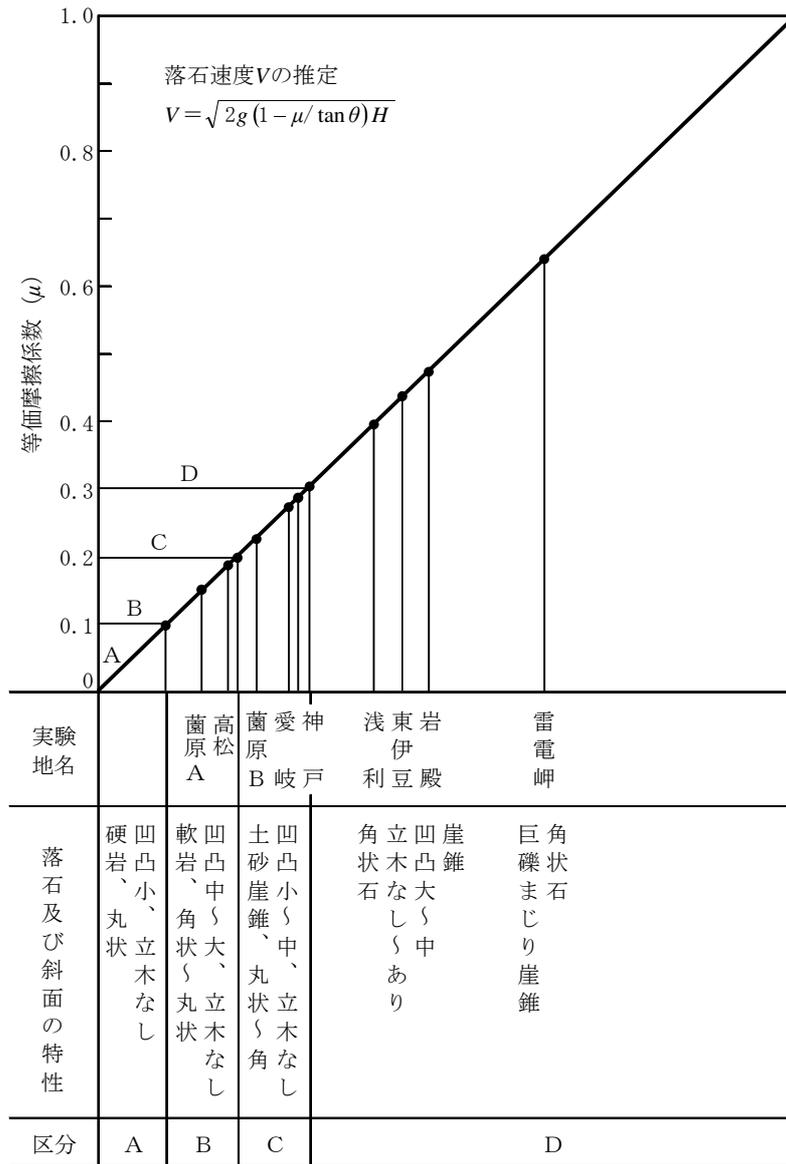


図-6.6.8 斜面の種類と等価摩擦係数⁹⁾

表-6.6.1 斜面の種類と等価摩擦係数μの値⁹⁾

区分	落石及び斜面の特性	設計に用いるμ	実験から得られるμの範囲
A	硬岩、丸状：凹凸小、立木なし	0.05	0～0.1
B	軟岩、丸状～角状：凹凸中～大、立木なし	0.15	0.11～0.2
C	土砂・崖錐、丸状～角状：凹凸小～中、立木なし	0.25	0.21～0.3
D	崖錐・巨礫まじり崖錐、角状：凹凸中～大、立木なし～あり	0.35	0.31～

一方、落石の全運動エネルギーは、線速度エネルギーと回転エネルギーの和で表される。

$$E = E_v + E_r \quad \dots\dots\dots \text{式 (6.6.2)}$$

ここに

E : 落石の全運動エネルギー

$$E_v : \text{落石の線速度エネルギー} \left(= \frac{1}{2} mV^2 \right)$$

$$E_r : \text{落石の回転エネルギー} \left(= \frac{1}{2} I\omega^2 \right)$$

m : 落石の質量

I : 落石の慣性モーメント

ω : 落石の回転角速度 (rad/s)

既往の実験結果によれば、回転エネルギー E_r は線速度エネルギー E_v の40%程度まで達する場合もあるが、大半は回転エネルギー E_r は線速度エネルギー E_v の10%程度であるとみることができる。

このように、回転エネルギーが線速度エネルギーのある割合であるとし、式(6.6.1)を式(6.6.2)に代入することによって、落石の全運動エネルギーは次式によって求めることができる。

$$E = (1 + \beta) \left(1 - \frac{\mu}{\tan \theta} \right) m \cdot g \cdot H \quad \dots\dots\dots \text{式 (6.6.3)}$$

ここに、

$$(1 + \beta) \left(1 - \frac{\mu}{\tan \theta} \right) \leq 1.0$$

E : 落石の全運動エネルギー

β : 回転エネルギー係数 (0.1としてよい。)

μ : 等価摩擦係数 (表-6.6.1 参照。)

θ : 斜面勾配

m : 落石の質量

g : 重力加速度

H : 落石の落下高さ

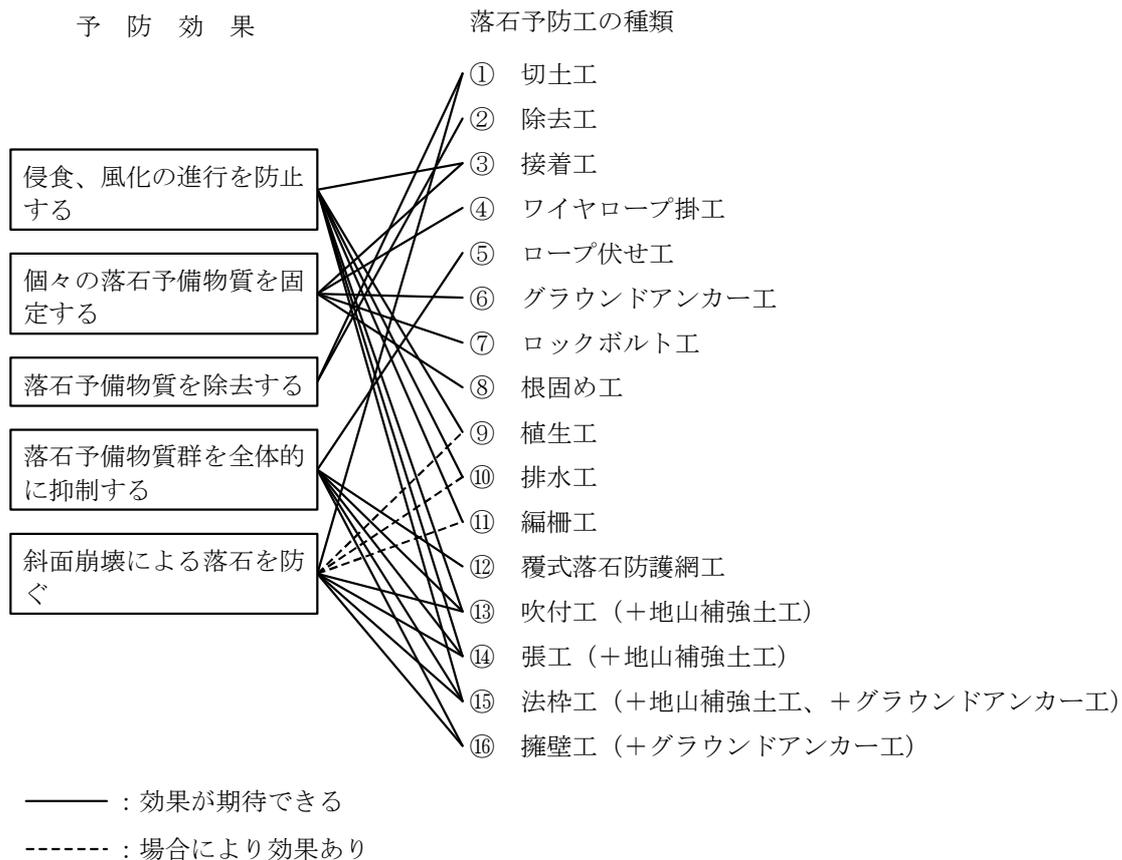
6.6.4 落石対策工の設計

(1) 落石予防工の種類

落石予防工は、落石の発生が予測される斜面内の落石予備物質(浮石、転石)を対象に次の効果を期待して実施する発生源対策である。

- ① 地表水、凍結融解、温度変化、乾湿の繰返し、風力等による侵食・風化の進行を防止する。
- ② 個々の落石予備物質を固定する。
- ③ 落石予備物質を除去する。
- ④ 落石予備物質群を全体的に原位置で直接的に抑止する。
- ⑤ 斜面崩壊に伴う落石を防止する。

これらの効果を単独又は複合したものとして各種予防工を示したものが、図-6.6.9である。

図-6.6.9 落石予防工の種類と効果⁹⁾

(2) 落石防護工の種類

落石防護工は、斜面から落下してくる落石を防護するための施設を斜面の途中、道路際あるいは道路上に設置する待ち受け対策工である。

落石防護施設は、設置する位置によって次のように分類される。

- ① 発生源から道路等に至る中間地帯（斜面の途中）に設けるもの：落石防護柵、落石防護擁壁等
- ② 道路際（斜面下部）に設けるもの：ポケット式落石防護網、落石防護柵、落石防護棚、落石防護擁壁、ロックシェッド、落石防護土堤等

(3) 落石対策工の選定

落石対策工の選定に際して最も基本的なことは、対象斜面のどこからどのような形態・規模の落石が発生し、それがどのような運動形態で落下するかを的確に想定し、それに対してどこでどのような止め方をするか、あるいはどのような方法で無害に道路を通過させるかを定めることである。

対策工の選定に当たっては、施工箇所の地盤等の設計・施工条件を把握しておくことが必要である。また、道路構造、交通状況、経済性、景観、周辺環境への影響等を考慮する必要がある。

発生源対策を行う落石予防工及び発生した落石の対策を行う落石防護工の効果と落石対策工の工種の間関係を整理したものを表-6.6.2に示し、工種選定のためのフローチャートを図-6.6.10に示す。各工法の具体例については、「落石対策便覧」の掲載図を参考にすること。

表-6.6.2 各種落石対策施設の特徴⁹⁾

分類	工種	特徴		落石対策工の効果					耐久性	負担	施工の難易	信頼性	経済性											
		凡例	◎	○	△	◎	○	△						◎	○	△	◎	○	△					
																				風化侵食防止	発生防止	方向変更	エネルギー吸収	衝撃抵抗
落石 予 防 工	切 土	工	◎					◎	○	△	◎	○												
	除 去	工	◎					○	○	△	○	○												
	接 着	工	○	○				△	○	◎	△	△												
	ワイヤロープ掛	工		◎				○	○	△	○	◎												
	ロープ伏せ	工		◎				○	○	△	○	◎												
	グラウンドアンカー	工		◎				○	◎	○	◎	○												
	ロックボルト	工		◎				○	◎	○	◎	○												
	根 固 め	工		◎				◎	○	○	◎	○												
	植 生	工	○	○				○	◎	◎	△	◎												
	排 水	工	◎					○	○	○	○	◎												
	編 柵	工	○	○	△			○	○	◎	△	◎												
	覆式落石防護網	工		◎	○	○		○	○	◎	○	◎												
	吹 付	工	◎	○				○	○	◎	○	◎												
	張	工	◎	◎				◎	◎	○	○	◎												
	法 枠	工	◎	◎				◎	◎	◎	◎	○												
	擁 壁	工	◎	◎	△			◎	◎	○	◎	○												
	吹付工+地山補強土工	工	◎	◎				○	○	○	◎	◎												
	コンクリート張工+地山補強土工	工	◎	◎				◎	◎	○	◎	○												
法枠工+地山補強土工	工	◎	◎				◎	◎	○	◎	◎													
法枠工+グラウンドアンカー工	工	◎	◎				◎	◎	○	◎	○													
擁壁工+グラウンドアンカー工	工	◎	◎				◎	◎	○	◎	△													
落石 防 護 工	ポケット式落石防護網	工			○	○	○	○	○	◎	○	◎												
	落石防護柵	工			◎	○	△	○	○	◎	○	◎												
	多段式落石防護柵	工		△	◎	◎		○	○	◎	○	◎												
	落石防護柵	工			◎	◎	◎	◎	◎	○	○	○												
	落石防護擁壁	工			◎	○	△	◎	○	◎	○	◎												
ロックシェッド	工			◎	◎	◎	◎	◎	○	◎	○													
落石防護土堤工・溝工	工			◎	○	△	◎	○	◎	○	○													

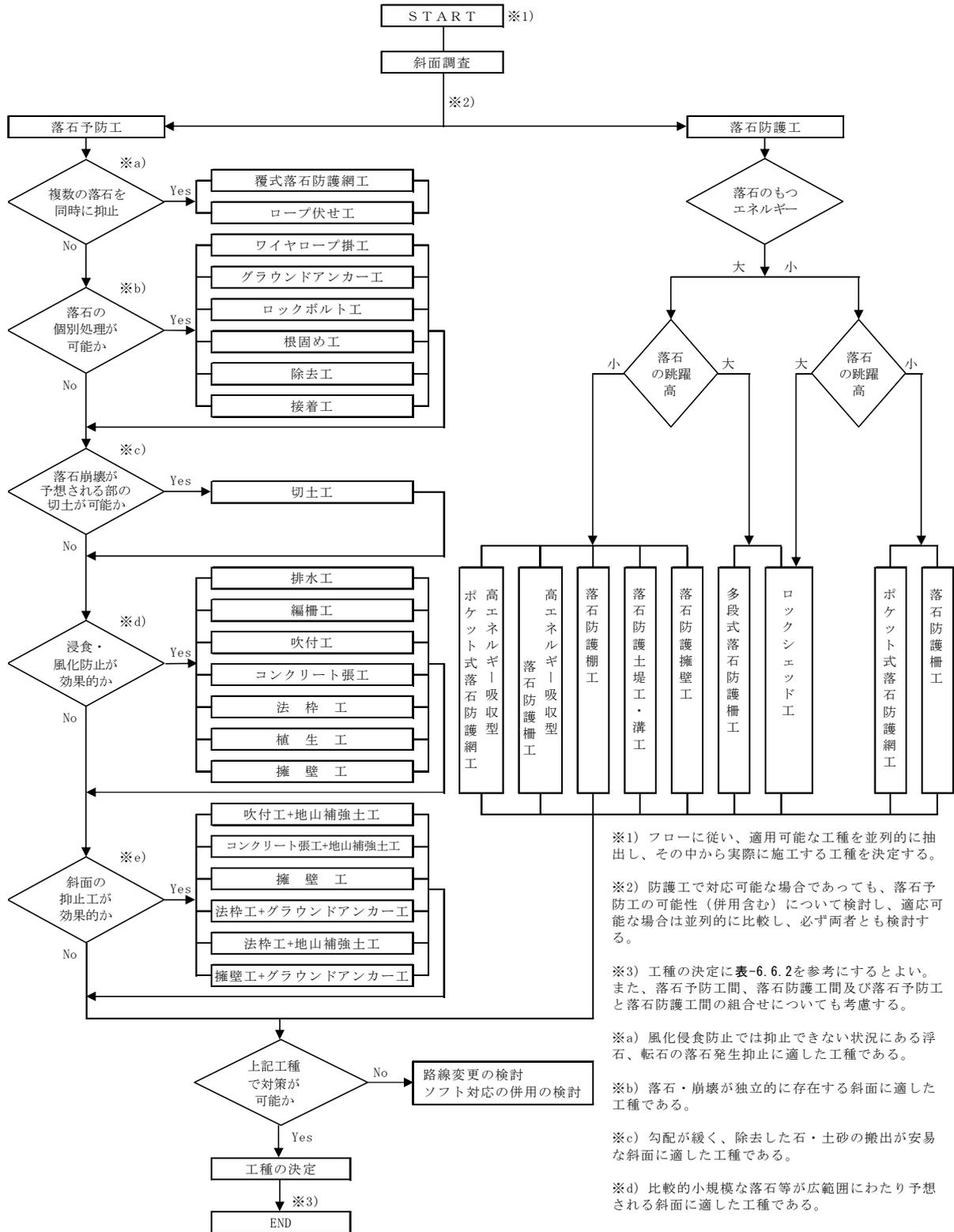


図-6.6.10 落石対策工のフローチャート⁹⁾

(4) 落石対策工の設計

落石対策工及び具体的な施設は、「落石対策便覧」に従って設計を行うものとする。

6.7 地すべり対策

本項では農道の諸条件から、やむを得ず地すべり地域に農道を建設する場合の基本的な考え方及び地すべり対策工法について記述する。なお、地すべり対策の具体的な調査・設計方法については、土地改良事業計画設計基準 計画「農地地すべり防止対策」によるものとする。

6.7.1 地すべり対策の基本的考え方

農道の設計における地すべり対策は、以下に従って適切に対応していかなければならない。

- ① 計画路線の選定に際しては、地すべりの発生するおそれのある地域を避けることを基本とする。
- ② やむを得ずこれらの地域に道路を建設しなければならない場合は、必要な調査を行って適切な地すべり対策を行う。

(1) 基本的な考え方

路線沿い地すべりの危険度については、表-6.7.1 に基づいて分析し、対策計画を立てるものとする。なお、供用後に地すべり活動が活発化した場合には、通行規制等ソフト対策の実施が不可欠である。

表-6.7.1 危険度と判定基準³⁶⁾

危険度	判定基準
大	① 現在活動中か、若しくは明瞭な徴候の見られるブロック、及び明瞭な徴候はないが、部分的な崩壊や変状が見られ、地すべり地形が明瞭なブロック（地すべり被害から見た重要度の小さいブロックを除く） ② 地すべり地形はやや不明瞭であるが、小崩壊、部分的変状や地すべりの履歴があつて地形的にも不安定要素があり、地すべり被害から見た重要度が大きいブロック
中	③ 現在活動中か、若しくは明瞭な徴候の見られるブロック、及び地すべり地形が明瞭で部分的な崩落や変状が見られ、地すべり履歴があるブロックのうち重要度が小さいブロック ④ 地すべり地形はやや不明瞭であるが、部分的な崩落があり、地すべりの履歴もある重要度が中程度のブロック ⑤ 地すべりの徴候はないが、地すべり地形が明瞭で地すべりの履歴もあり、重要度が中ないし大のブロック
小	⑥ 部分的な破壊等は見られるが、地すべり地形はやや不明瞭なブロックで、地すべりの履歴もなく、重要度の小さいブロック ⑦ 地すべりの徴候はなく、地すべり地形は明瞭であるが重要度が中ないし小のブロック ⑧ 地すべりの徴候はなく、地すべり地形もやや不明瞭なブロックのうち、重要度が中ないし大のブロック ⑨ 地すべり地形が不明瞭なブロック（危険小ないしは安定な斜面であるが、地形の改変等を行うときには危険度の判定が必要）

(2) 地すべり地を通過する場合の留意点

地すべり地をやむを得ず通過する道路の設計に際しては、地すべり運動を誘発させないように配慮し、地すべり運動による道路構造物の被害防止に注意を払わなければならない。

そのための主な注意事項について以下に示す。

- ① 地すべり対策を効果的に実施し、地すべりの影響を軽減するために、小シフトの対応を検討する。
- ② 地すべり地を切土する場合は、この切土により上部土塊が崩壊や落石の発生源とならないように法面の対策を行う。

- ③ 地すべり地内のトンネル坑口の設置は、基本的に避けなければならない。やむを得ず、設置せざるを得ない場合は、地すべりの安定化及び坑口の防護が必要である。また、地すべり土塊の下を通過するトンネルについては可能な限りすべり面から離れた位置（既往の事例調査によると少なくともトンネルの下幅の2倍以上又は20m以上のうち小さい方）に計画する必要がある。
- ④ 地すべり地に橋梁を設置する場合、橋台・橋脚の位置はなるべく地すべりブロックから離して設置する。やむを得ず橋台・橋脚を地すべり地内に設置する場合は、地すべりの安定化を図るとともに橋台・橋脚の防護が必要である。
- ⑤ 切土、盛土により、斜面環境を改変する場合には、自然環境や景観に与える影響を考慮して対策工を検討する。

6.7.2 地すべり対策工の種類

地すべり対策工には大別して抑制工と抑止工がある。抑制工とは地形、地下水状態等の自然条件を変化させて地すべり活動を停止又は緩和させる工法である。抑止工とは構造物を設けることによって構造物のもつ抑止力により、地すべりの一部又は全部を停止させるものである。

地すべり対策工は必ずしも1種類とは限らず、多くの場合数種を組み合わせた工法を採用している。表-6.7.2に地すべり対策工の分類を、表-6.7.3に地すべりの形態と対策工法の対比を示す。

表-6.7.2 地すべり対策工の分類²⁾

抑制工	地表水排除工（水路工、浸透防止工）	（A）
	地下水排除工 浅層地下水排除工（暗渠工、明暗渠工、横ボーリング工）	（B）
	深層地下水排除工（集水井工、排水トンネル工、横ボーリング工）	（C）
	地下水遮断工（薬液注入工、地下遮水壁工）	（D）
	排土工	（E）
	押え盛土工	（F）
	河川構造物（堰堤工、床固め工、水制工、護岸工）	（G）
抑止工	杭工 杭工（鋼管杭工等）	（H）
	シャフト工（深礎工等）	（I）
	グラウンドアンカー工	（J）

表-6.7.3 地すべりの型と対策工法の対比の一例²⁾

主な原因		地すべりの型	対策工法										備考
			A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	
自然誘因	降雨・融雪浸透 地下水の増加 河川の侵食	岩盤地すべり	○	△	◎	△	◎	○	○	◎	◎	○	◎最もよく用いられる工法 ○しばしば用いられる工法 △場合により用いられる工法
		風化岩地すべり	◎	△	◎	△	◎	○	○	◎	◎	○	
		崩積土地すべり	◎	○	◎	△	○	◎	◎	○	○	△	
		粘質土地すべり	◎	◎	○	○	△	◎	◎	△	△	△	
人為的誘因	切土工	岩盤地すべり	△	△	○	△	◎	◎	○	○	◎	△場合により用いられる工法	
		風化岩地すべり	△	△	○	△	◎	◎	○	◎	◎		
		崩積土地すべり	○	○	○	△	◎	◎	○	◎	○		
		粘質土地すべり	◎	◎	○	△	△	◎	○	△	△		
	盛土工	崩積土地すべり	△	△	○	△	△	◎	○	◎	◎		
		粘質土地すべり	△	△	△	△	△	◎	○	○	△		

6.7.3 地すべり対策工法

地すべり対策工は、その機能が十分に発揮されるよう設計、施工を行うものとし、地すべり地域内に設ける構造物は、ある程度の地盤変動があってもその機能を維持できる柔軟なものとする。

(1) 抑制工

ア 地表水排除工

(ア) 水路工

地域内の降水を速やかに集めて地域外に排除するためには地形図をもとにして集・排水路を組み合わせた水路網を整備することが必要である（図-6.7.1、図-6.7.2 参照）。

a 承水路工

降水、表流水を集めるために、主として斜面を横切って作られるもので比較的幅を広くとり、水深は浅いものでよい。材料は石張り、鉄筋コンクリート製のヒューム管、コルゲート管等であるが、剛性の大きいものを用いるときは、各管の長さを短くして、簡易な杭で支持するものとする。

b 排水路工

排水路は集めた水をできるだけ早く完全に地域外に排除するためのもので、比較的急勾配とするが断面は流出量計算（「8.2 表面排水」参照）を行って決定しなければならない。水路には 20～30m 間隔にすべり止めの床止工を設け、特に地盤が軟弱な場合は木杭等で固定する。排水路には U 型溝、鉄筋コンクリート製のヒューム管、コルゲート管等がある。

(イ) 浸透防止工

浸透防止工は、地すべりの地表全体を対象として実施することは困難なので、特に透水しやすい亀裂部や、地表水が多量にあり地下水の補給源となる沼地・水路等を対象とする。地表に亀裂が発生した場合は亀裂内に粘土やセメントを詰めたり、ビニル布等で被覆したりし、沼地・水路等で漏水がある場合はこれらの底部を不透水性の材料で被覆する。例えば、沼地の場合は底張り、薬液注入工を実施し、水路の場合はコンクリートやコルゲート管による水路に改修するものとする。

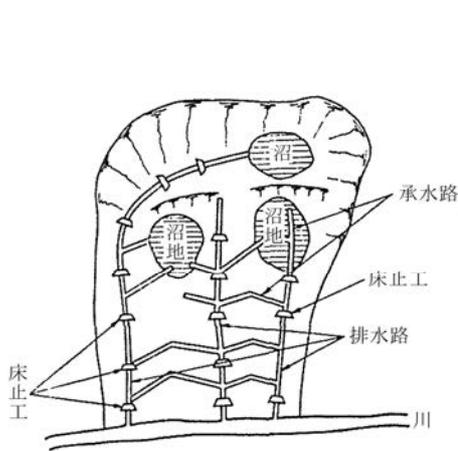


図-6.7.1 地表承・排水路網の概念図²⁾

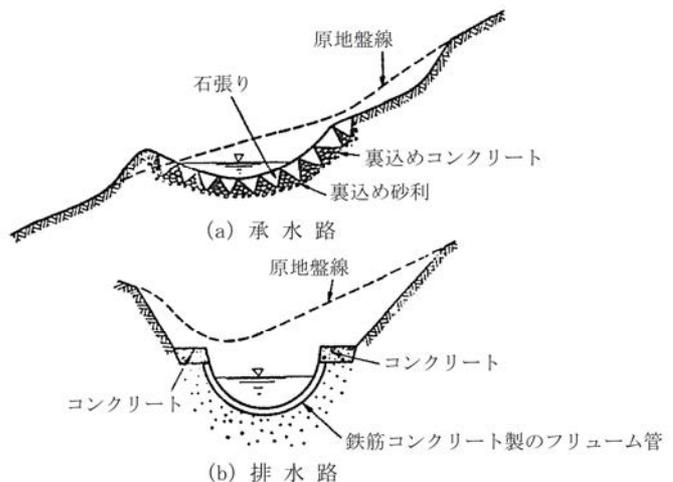


図-6.7.2 承・排水路の例²⁾

イ 浅層地下水排除工

(ア) 暗渠工及び明暗渠工

地表から地下3m付近までに分布する浅層地下水の排除に最も適する工法で、特に透水係数の小さい土層中の土粒子間隙に存在する地下水の排除に用いる。その1本の長さは20m程度とし、これを超えるときは途中に集水柵を設け、ここからは地表に設けた水路又は管渠を通して流下させる。

a 集水渠

暗渠内の地下水を集めるために計画するもので、その構造は所定の深さに掘削した溝の中に多孔質コンクリート管、じゃかご等を敷設し、底部に漏水防止のためビニル布やアスファルト板を敷き、さらに上面や側面には目詰まりを起こさせないためのそだや碎石等によるフィルタを設けたものである。集水量が特に多い場合には有孔の管渠を用いることもある。集水渠の長さが余り長いとせつかく集めた水が再浸透したり目詰まりを起こしたりするので、普通は20~30mごとに集水柵やマンホールを設けて地表水路や排水渠に接続する。

b 排水渠

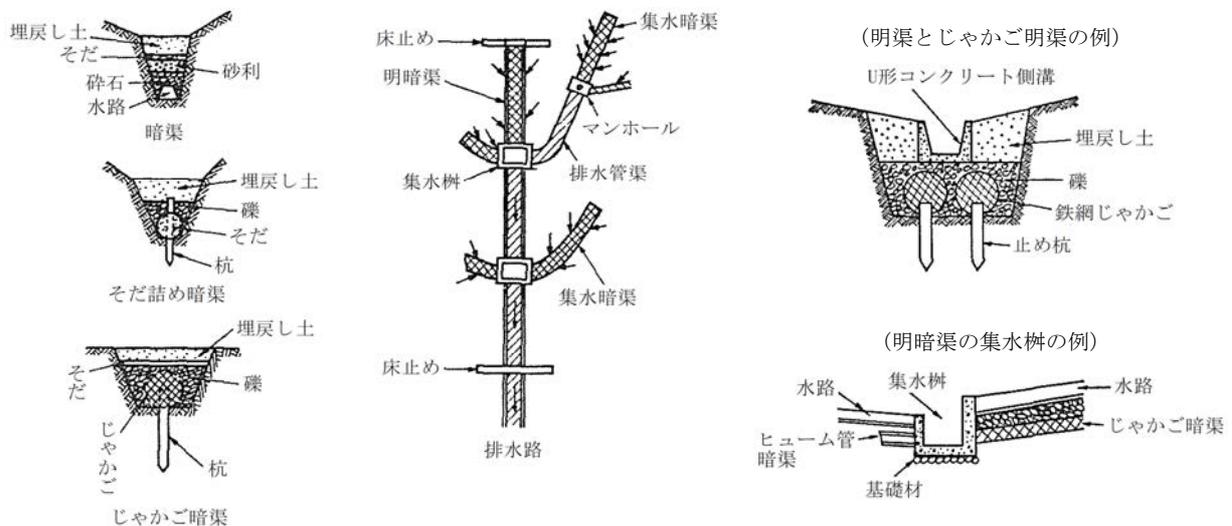
排水渠は無孔のヒューム管、コルゲート管等で作られ、床止め等のところで排水路に接続する。

c 明暗渠

浅層地下水は地表水と同様に地形に左右されて地表の凹部や谷部に集まりやすいので、暗渠網は地表排水路網と一致することが多い。図-6.7.3、図-6.7.4は暗渠と明暗渠の組合せを示したものである。

d 大規模な暗渠

帯水層が地表面下3~5mにある場合は排水のため暗渠の規模も大きく掘削土量も非常に大きくなる。このような大規模暗渠は、地すべりの原因となっている土塊内の水の流れを排除するとともに、地すべり地域外からの浅層地下水の遮断も目的とするので、地すべり斜面上部の境界付近に計画するとよい。斜面の下部で設置する場合は、施工に伴う掘削が地すべり土塊の安定を損なって運動を活発化させることもあるので注意を要する。

図-6.7.3 暗渠の例と排水暗渠網の例²⁾図-6.7.4 明暗渠及び集水柵の例²⁾

(イ) 横ボーリング工

浅層地下水排除を目的とする場合は、約 5° の上向きに20~50mの長さで削孔するのが一般的である。

横ボーリングによる排水工は孔径66mm以上で掘削して、掘削後内部の湧水箇所付近にストレーナの付いた保孔管を挿入する。なお、孔口保護については「(ウ) 深層地下水排除工」を参照されたい。

ウ 深層地下水排除工

(ア) 横ボーリング工

横ボーリングは、地下水検層によって判明した帯水層又は地下深部のすべり面を切って、さらに10m程度余掘りするものとする(図-6.7.5 参照)。孔口の位置はなるべく安定な地盤に設け、1か所から放射状に施工し(図-6.7.6 参照)、孔口はコンクリート壁又はじゃかごを用いて孔口周辺の法面が洗掘されないように保護する(図-6.7.7 参照)。横ボーリングはすべり面を切るように行い、運動方向と直角方向では原則として5~10m間隔に、50~80m程度の長さを施工するのが普通である。これによる地下水の低下高(計算低下高として設計に用いる。)は3mと考えるとよい(図-6.7.8 参照)。

ただし、必要に応じて地下水位観測を実施し、水位低下が不十分な場合は、追加施工を検討する。

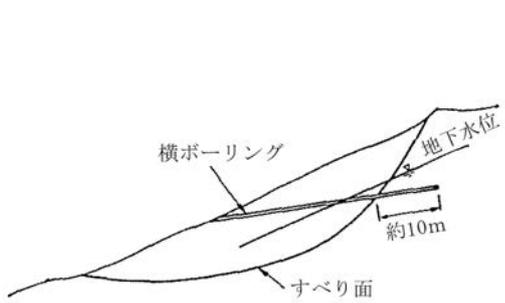


図-6.7.5 横ボーリングの余掘り図の例²⁾

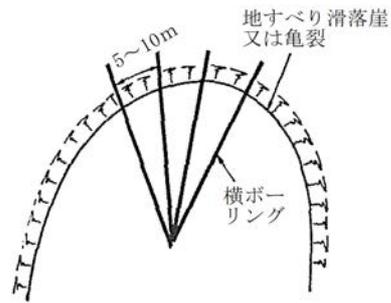


図-6.7.6 横ボーリング配置図の例²⁾

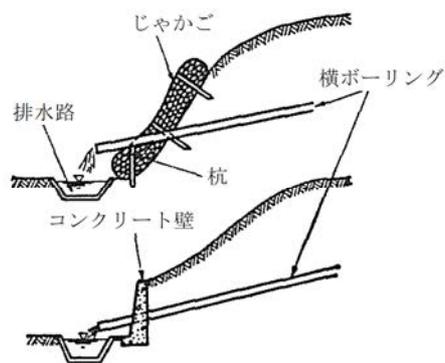


図-6.7.7 横ボーリング工の孔口保護の例²⁾

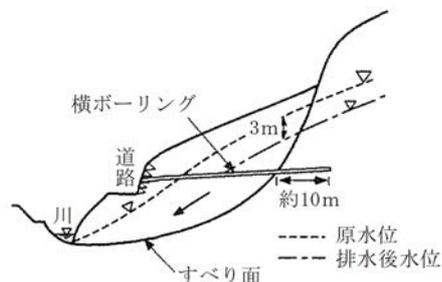


図-6.7.8 横ボーリング後の地下水位低下の考え方の例²⁾

掘削孔径は66mm以上とし掘進終了後、帯水箇所(帯水層)にストレーナを付けた硬質塩化ビニル製か鋼製の保孔管を挿入する。ストレーナの目詰まりを防ぐためストレーナ部分にポリエチレンの網状管を二重管状に付けることもある。

ボーリングの延長が長くなると礫混り土砂層や不均質な地層で孔曲りを生じるおそれがあるので、帯水層への確に到達させるには細心の注意と慎重な掘削が必要である。このためにはできるだけ孔曲り測定器を使用して、ボーリング先端位置を確認しておくといよい。

透水性の低い地盤から集水を行う場合は、保孔管全長にわたってストレーナを付ける場合もある。ストレーナの大きさ、配置を決めるに当たり目詰まりを起こさせないような配慮をする必要がある。大きい孔をあければ目詰まりの心配がない代わりに管周辺の土砂の流れ出しによって崩壊に至る危険があり、孔径を小さくすれば目詰まりを起こしやすい。これを防ぐため細長くスリットをあける方法もある。

(イ) 集水井工

集水井は地盤の比較的良好な地点に設置し直径 3.5~4.0m とする。集水ボーリングにより集められた地下水は、排水ボーリング孔（長さ 100m 程度）又は排水トンネルにより自然排水させる。

集水井の深さは、原則として活動中の地すべり地域内では底部をすべり面より 2m 以上浅くし、休眠中の地すべり地域内及び地すべり地域外では、すべり面を切って 2~3m 貫入させ、底部はコンクリート張りとする。後者の場合、排水ボーリング孔は、基盤中に設置するが、特に休眠中の地すべり地内に設置する場合は、地すべりが活動しても破損することがないように留意する必要がある。集水ボーリング工は長さ 50m を標準とし、すべり面を切るよう集水井の中から放射状に先端部の間隔が 5~10m となるよう計画する。ボーリングは帯水層ごとに数段計画するのが普通である（図-6.7.9、図-6.7.10 参照）。本数は地質・地下水調査結果によって検討し、施工中の集水状況や地下水の変化状況に応じて変更する。工事完成後地すべり運動によって変形又は破損するおそれのある集水井は、礫、ずり、玉石等で埋め戻しておく。ただし、この場合はボーリング孔の洗浄等の管理ができなくなるので注意を要する。

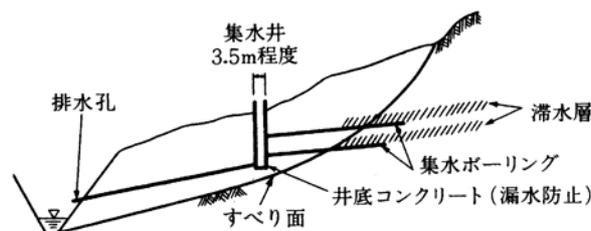


図-6.7.9 集水井の設置（滑動中の地すべり）の例²⁾

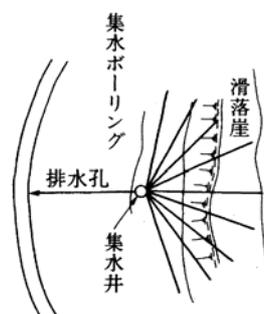


図-6.7.10 集水井による地下水排除工の例²⁾

なお、集水井は横方向に 40～50m 程度の間隔で設けるが、これによる地下水の計画低下高は 5m とすることができる。また、地質条件が類似する近隣地すべり地域等の地下水位低下の実績がある場合は、それを考慮することが望ましい。

集水井は鉄筋コンクリート又はライナープレート（耐錆メッキしたものが望ましい）で作られる。施設の設計に当たっては、施設完成後の維持管理についても考慮する必要があり、また、完成後の危険防止のため丈夫な蓋（鉄鋼等）等の附帯施設を設置する。

集水井からの排水は、井戸の底から斜面下方をねらって排水ボーリングを掘削し、集水した地下水を自然流下させる。普通は長い横ボーリング工が用いられるが、井戸の中では大型ボーリングマシンを利用できず、長尺のボーリングを行う場合は孔曲りの可能性が大きいので早目に修正の対策を講じておく必要がある。排水ボーリングの保孔管には 75～100mm の鋼製や塩化ビニル製の管を用いることが多い。

排水孔の延長が 100m を越し、掘削が困難な場合はトンネルによる排水路の設置が行われる。トンネルは掘削可能な最小径（高さ 2m 程度）のものでよく、井戸に達すれば排水管を敷設して、直ちに埋め戻す。なお、土質が軟弱でトンネル掘削が困難な場合は、70～80m 離れた位置に中継井戸を設けてボーリングで連結し排水するとよい。

なお、応急的あるいは一時的にポンプの汲み上げによる排水を行う場合もある。

エ 地下水遮断工

本工法の採用に当たっては、遮水壁完成時に生じる背後の貯水によって背後斜面に地すべりが発生しないかどうか確認しておく必要がある。また、排水工事はできるだけ早く実施して、貯水現象が長く継続しないようにしなければならない。

地下水遮断工を施工するに当たっては、施工予定地の上部斜面に潜在性地すべりのないことを地質調査、地表変動計測調査等によって十分確認し、地下水遮断による貯水によって地すべりを引き起こさないよう留意しなければならない。次に岩盤の等高線から地下水の集まりやすい位置を知り、地下水追跡、地下水検層によって帯水層の位置を確認して遮水壁の位置、高さ等を決定する。遮水壁は、地盤に注入剤をグラウトして設ける方法と、帯水層まで開削して壁体を作る方法があるが、3m を超えて開削することは困難であるから多くの場合グラウト工が用いられる。

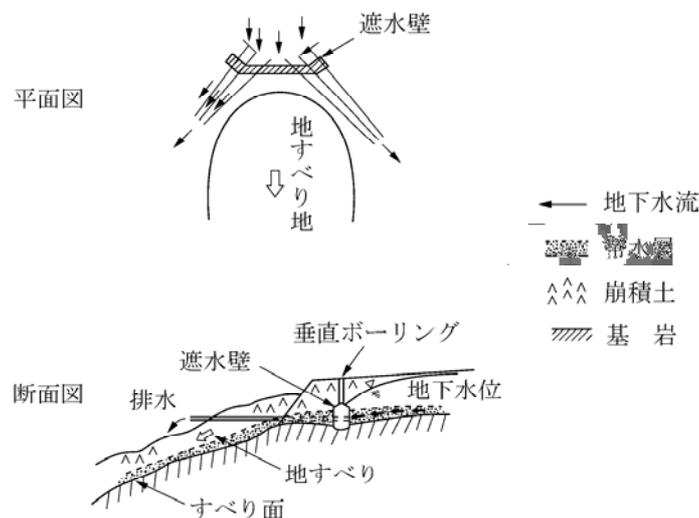


図-6.7.11 地下水遮断工の例

オ 排土工

排土工は最も確実な効果が期待できる工法の一つで、一般に抑制工又は地下水排除工等と組み合わせた抑制工の一部としてよく用いられる。

(ア) 排土方法

a 排土の位置

特別な場合を除き排土は地すべりの頭部に重点がおかれ、末端部での排土は行わない。末端部が極度に軟弱化している場合はこれを切り取ることもあるが、この場合も頭部排土を行ってから下部を切るようにして全体のバランスを考慮しながら排土しなければならない。

b 地すべりの形と排土の効果

複数の地すべりブロックから構成される場合、その中間部又は下部の地すべりブロックで排土することは上部のブロックに悪影響を与えるので施工してはならない。また、排土量が大きいと、基盤に緩みが生じ初生的な地すべりの発生する原因となる可能性があるため、注意を要する。すべり面の形状が円弧に近い場合や頭部の地すべり土塊の厚さが下部に比べて非常に大きい場合は排土の効果も大きい。

c 排土後の法面勾配

排土は地すべり頭部に重点がおかれ、緩傾斜部分の勾配は1:2.0~1:4.0の緩やかな勾配とするが、滑落崖（地すべり上部の境界）付近では比較的急勾配となり、地形的には台地状となる。しかし、急勾配の部分にあっても地山の自然勾配に等しいか、又は切土の標準法勾配を考慮して1:1.0~1:1.5程度とすることが望ましい。

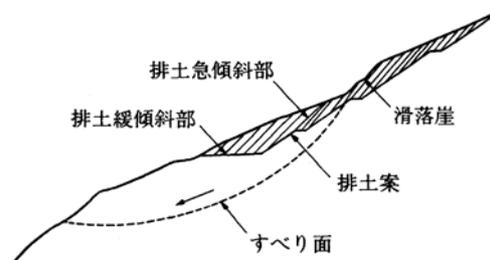


図-6.7.12 排土工概念図²⁾

d 施工上の注意

排土は斜面の安定を損なわないよう上部から下部に向かって行うのを原則とする。施工時期は乾期を選び、降雨時の作業は避けるべきである。

(イ) 排土後の法面処理

排土後の法面は一般に透水性が高く、降雨によって軟弱化し崩壊しやすくなるので排土後の地形に応じ、集・排水路網を整備して水はけを良くし植生工等の法面保護工を施工するのが望ましい。

(ウ) 排土の処理

排土の有効利用法としては、地すべり末端部の押え盛土や他の地区の盛土材料として転用することが多い。しかし、風化が進んでいる地すべり土塊の中には、粘質土が多く盛土材

料としては不適當な場合がある。そのような場合には排土の利用に細心の注意が必要であり、不適當な場合には事前に発生土受入地を用意する必要がある。

カ 押え盛土工

押え盛土工を行う場合は、箇所を選定を慎重に行うとともに、盛土高の限度を基礎地盤の強度試験によって検討しておくことが必要である。地すべりの下部が河川に面しているときは、下流側に砂防堰堤を設けるとその背後の堆砂が押え盛土と同様の効果をもたらす。

また、小規模な地すべりの防止や大規模な地すべり末端部での二次的な崩壊を防止するために擁壁工が用いられる。地すべり地では地盤の変動がかなり大きく、湧水等も多いので井桁組擁壁（枠擁壁）が多く用いられる。

その他じゃかご、ふとんかご等も末端の押えに利用されている。なお、擁壁を施工する際は、基礎の掘削、地すべり斜面末端部の切土を行うことになり、これが地すべりを誘発するおそれがあるので、掘削を計画する場合は地すべりの安定が保てることを確認する必要がある。

キ 河川構造物

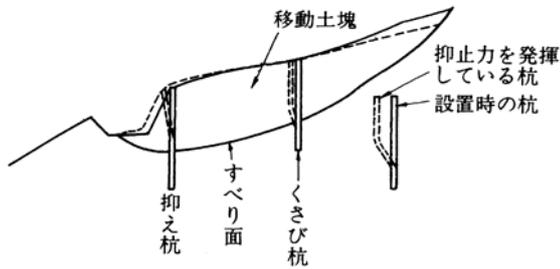
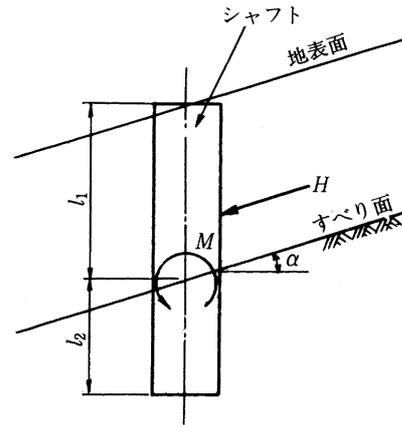
流水の侵食による河床の低下や河岸（溪岸）侵食が斜面の安定を損ねて崩壊の原因となることは多い。特に、河岸の崩壊が連鎖的に大規模な地すべりを誘発する場合もあるので、河川沿いに農道を計画する際は十分注意しなければならない。このような箇所では、床固め、護岸、水制等によって河床、河岸の侵食を防止する必要があり、場合によっては流路の付け替えを検討すべきである。

(2) 抑止工

ア 杭工及びシャフト工

杭工は、基盤が強固で移動土塊に対して十分対抗できるような地点で施工することが望ましい。しかし、地すべりの運動が激しく、1日1mmを越すような地すべり地内では計画した杭の全部が一度に施工されない限り、杭の働きは個別的なものとなって効果が期待できないので、このような箇所では適切な工法とはいえない。

杭には鋼管杭、鉄筋コンクリート杭、H形鋼杭等があるが、施工法としては挿入杭がよく用いられる。鋼管の挿入杭は大口径ボーリング孔に鋼管を挿入し、コンクリートで中詰めし、管と孔壁の間隙にグラウトして施工する。地盤が硬い転石を含む地層（安山岩混じりの集塊岩や段丘礫層等）の場合には、大口径ボーリングは非常に困難で、このような場合には、ダウンザホールハンマ等の手法を用いるか、又は径2.5～6.5mのライナープレート、鋼製、RCセグメント等を用いて井戸を基盤まで掘り、鉄筋コンクリートを打設するシャフト工の方がよい。シャフト工を施工する際は、集水井工と同じく狭い場所で掘削、ずり出しを行うことになり落石等に十分注意することが必要である。

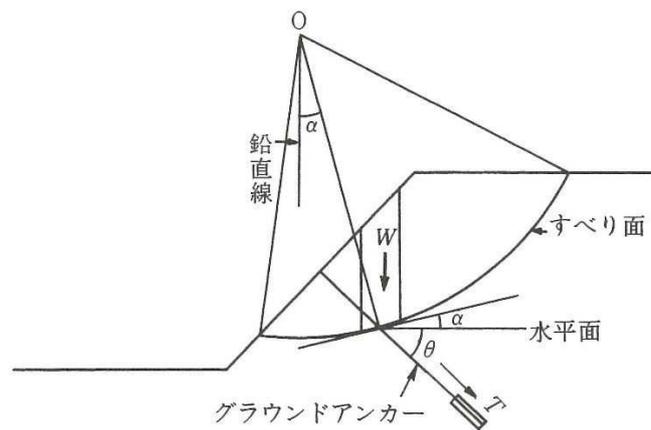
図-6.7.13 杭工の種類²⁾図-6.7.14 シャフト工の概念図²⁾

イ グラウンドアンカー工

地すべり対策におけるグラウンドアンカー工は、鋼材等の引張り強さを利用して地すべりが滑動しようとするのを引き止める機能及び締め付け効果を期待して設計される。一般に規模が小～中の岩盤すべりあるいは風化岩すべりに用いられ、杭やシャフト工と併用し、擁壁、枠工、独立受圧板等により抑止力を地盤に伝達するものとして用いられる。

グラウンドアンカー工を検討する場合は、杭、枠工、独立受圧板等も同時に検討する必要がある。

この場合、一般に地すべりの場合は杭工と同じように地すべり土塊が動き始めてアンカー力を発揮するものであるが、杭工と異なる点は初期にある程度のプレストレスをかけることにより、鋼材等の伸び（地すべりによる変形量）の少ない段階で抑止効果を上げられる点である。

図-6.7.15 グラウンドアンカー工の例²⁾

引用・参考文献

- 1) (公社)日本道路協会：道路土工構造物技術基準・同解説（平成29年3月）
- 2) (公社)日本道路協会：道路土工一切土工・斜面安定工指針（平成21年度版）（平成21年6月）
- 3) 農林水産省農村振興局：土地改良事業設計指針「耐震設計」（平成27年5月）
- 4) (一社)農業土木事業協会：法面保護工 設計・施工の手引き（平成2年9月）
- 5) (公社)日本道路協会：道路緑化技術基準・同解説（平成28年3月）
- 6) (一社)全国特定法面保護協会：のり枠工の設計・施工指針（改訂版）（平成18年11月）
- 7) (公社)地盤工学会：地盤工学ハンドブック（平成11年3月）
- 8) (公社)地盤工学会：グラウンドアンカー設計・施工基準・同解説（平成24年5月）
- 9) (公社)日本道路協会：落石対策便覧(改訂版)（平成29年12月）
- 10) フリーフレーム協会：フリーフレーム工法 設計・施工の手引き 改訂版（平成15年3月）
- 11) フリーフレーム協会：全訂新版 フリーフレーム工法性能照査型による限界状態設計例（令和2年7月）
- 12) (公社)日本道路協会：道路土工一土質調査指針（昭和61年11月）
- 13) 農林水産省農村振興局：環境との調和に配慮した事業実施のための調査計画・設計の手引き（第2編）（平成15年3月）
- 14) 九州地方建設局：しらす地帯の河川・道路土工指針（案）（1978）
- 15) 土質工学会：土質工学会しらす標準化委員会案、土と基礎、Vol. 29、No. 4、p. 48（1981）
- 16) 土質工学会：風化花崗岩とまさ土の工学的性質とその応用、土質基礎工学ライブラリー16（1979）
- 17) 土質工学会：切土法面、土質基礎工学ライブラリー12、第4章（1981）
- 18) 東日本高速道路（株）・中日本高速道路（株）・西日本高速道路（株）：設計要領 第1集 土工保全編・土工建設編（令和2年7月）
- 19) (公社)日本道路協会：道路震災対策便覧（震前対策編）（2006）
- 20) 鈴木輝之・上野邦行・林啓二：裏込め砂利による小型Uトラフの凍上破壊対策、土木学会論文集 No. 439/III-17、pp. 89～96（1991.12）
- 21) 建設省河川局砂防部傾斜地保全課・建設省土木研究所砂防部急傾斜地崩壊研究室：がけ崩れ対策の実態、(独)土木研究所資料、第3651号、pp. 81-84（1999）
- 22) 建設省河川局砂防部傾斜地保全課・建設省土木研究所砂防部急傾斜地崩壊研究室：がけ崩れ対策の実態、(独)土木研究所資料、第3651号、p. 75（1999）
- 23) 全国地すべりがけ崩れ対策協議会：崩壊土砂による衝撃力と崩壊土砂量を考慮した待ち受け擁壁の設計計算事例（2004）
- 24) (公財)高速道路調査会：トンネル坑口周辺の地すべり・崩壊対策に関する研究報告書、p. 337（1981）
- 25) 理工図書：地すべりの解説と防止対策 藤原明敏（昭和54年6月）
- 26) 藤澤和範ら：光ファイバーセンサーを活用した地すべりモニタリングシステム、第47回日本地すべり学会研究発表会、(公社)日本地すべり学会、pp. 349-352（2008）
- 27) (公社)地盤工学会：地盤調査の方法と解説（平成25年4月）
- 28) (公財)高速道路調査会：地すべり地形の安定度評価に関する研究報告書、p. 171（1985）
- 29) (公社)日本河川協会：建設省河川砂防技術基準（案）同解説設計編Ⅱ、p. 61、山海堂（1997）
- 30) (一社)斜面防災対策技術協会：地すべり鋼管杭設計要領（2003）
- 31) 砂防・地すべり対策工事設計事例編集委員会編：最新技術基準に基づく砂防・地すべり設計事例、(一財)砂防・地すべり技術センター、山海堂（1987）
- 32) (公社)日本道路協会：道路橋示方書・同解説（Ⅰ共通編・Ⅳ下部構造編）（平成29年11月）
- 33) (一社)日本アンカー協会：グラウンドアンカー施工のための手引書（2003）
- 34) 東日本高速道路（株）・中日本高速道路（株）・西日本高速道路（株）：植生のり面施工管理要領（平成28年8月）
- 35) 農林水産省農村振興局：自動走行農機等に対応した農地整備の手引き（令和5年3月）
- 36) 農林水産省農村振興局：土地改良事業計画設計基準・計画「農地地すべり防止対策」（令和4年5月）
- 37) (一社)全国治水砂防協会：新・斜面崩壊防止工事の設計と実例—急傾斜地崩壊防止工事技術指針—（令和元年5月）
- 38) (公社)地盤工学会：地盤工学・実務シリーズ5切土法面の調査・設計から施工まで（平成10年1月）