

5. 地下水排除工

(基準書 第3章、3.4.2(2)関連)

5.1 暗渠工

5.1.1 設計の基本事項

(1) 目的

暗渠工は、次の目的を持っている。

- ① すべり面が浅い場合、地すべりブロック内の浅い地下水を排除する。
- ② 表層すべり、崩壊を防止するため、ごく浅い地下水を排除する。
- ③ 地すべりブロックの上部や周辺の亀裂部に設置し、浅い部分からの地下水浸透を防止する。

暗渠工は、地すべりブロック浅層の地下水位を低下させること及びより深部へ浸透しようとする地下水を排除することを目的とする。特に、地すべりブロックが粘土を主体とするような土質の場合に暗渠工を設計することが多い。

(2) 位置

暗渠工は、地下水面の浅い箇所や、地下水の浸透が生じやすい箇所に配置する。

(3) 構造

地下水面の浅い箇所や地下水が浸透しやすい箇所に配置する暗渠工は、地下水を直接吸収する吸水渠と、吸水した地下水を集水して排水路に導く集水渠からなる。

その構造は、地すべりの動きに対して柔軟性を持たせることが必要である。

暗渠工は流末処理として水路工や明暗渠工に接続する必要があるため、地形変換点に落差工等を計画し、そこで接続できるように設計する。

なお、暗渠の材料は鉄線蛇かご、有孔管等を砂利等のフィルター材で被覆して使用する。蛇かご暗渠の場合、蛇かごの中に集水管を設ける場合もある。

暗渠の最小管径は、有孔管等で10cm、蛇かごで45cm程度とする。

暗渠底には漏水防止のために厚手のビニールシート、アスファルト板等を敷設する。

(4) 暗渠工の深さ

暗渠の深さは地下水面の深さにより決定するが、原則として1～2mを標準とし、最大でも3m以内とする。

(5) 暗渠工の長さ

1本の暗渠の長さは原則として30m以内にとどめ、特別の場合でも50m以内とする。

(6) 暗渠工の間隔

暗渠の間隔は深さの10倍程度を標準とする。

(7) 吸出し防止材

暗渠の周囲並びに上部には、土砂の吸出しによる陥没を防止するため吸出し防止材を敷設する。

(8) フィルター材料

暗渠の集水能力、目詰まりに対する耐久性はフィルター材料の適否に左右される。フィルター材料は粒径幅の広い材料とし、砂利、碎石又は自然砂等を使用する。フィルターは周囲の土質との

関係でフィルター条件を満たすように配慮する。図-3.5.1に本工法の模式図を示す。

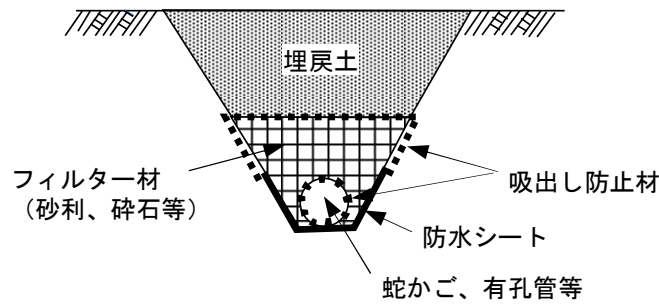


図-3.5.1 暗渠工構造の模式図

フィルター材料の粒径の決定に当たっては、一般に次の条件が利用されている。

- ① フィルターの透水性が十分あるための条件

$$\frac{\text{フィルター材料の15\%粒径}}{\text{フィルターで保護される材料の15\%粒径}} \geq 5$$

- ② フィルターが詰まらないための条件

$$\frac{\text{フィルター材料の15\%粒径}}{\text{フィルターで保護される材料の85\%粒径}} < 5$$

- ③ フィルター材料の粗さは、管の孔の大きさ（管の継目を開いて設置する場合には、継目間隔）によって支配され、その条件は以下のとおりである。

$$\frac{\text{フィルター材料の85\%粒径}}{\text{管の孔の径、又は継目の間隔}} > 2$$

5.1.2 設計の留意事項

- ① 地すべりブロックの周囲には、吸水渠を配置し、地すべりブロック外からの地下水の流入を阻止するようにする。
- ② 原則として、地すべりブロック内の吸水渠は等高線に平行に、集水渠は直角方向に配置する。
- ③ 地すべりブロック内の湧水、湿地、沼沢、ため池等から浸透のある場合にも、特に吸水渠を設けて排水する。
- ④ 地すべりブロックが岩盤の場合は、暗渠工の掘削が著しく困難であり、地下水位も高くない場合が多いため、地すべり地域の地質及び地下水位の高低を考慮して暗渠工を設計する必要がある。
- ⑤ 暗渠の周囲並びに上部には土砂の吸出しによる陥没を防止するため吸出し防止材を敷設する。
- ⑥ 暗渠の周囲は、目詰まりを起こさないようにするため、また、地下水の吸水を容易にするためにフィルター材を詰める。
- ⑦ 暗渠の吐出部は水路工の集水桝、床固め工等へ接続する。
- ⑧ 現場の地形を確認してから設計することが望ましい。
- ⑨ 地すべり横断方向の暗渠工は、地すべり活動による被災・破損の被害を受けやすいため、必要以上に長くしないことが望ましい。また、維持管理を行う場合にも、暗渠工の長さは短いほうが有利である。

- ⑩ 暗渠工による地下水位低下は、安定計算で評価されないことが多い。しかし、地すべりブロックの圧縮部や粘着性が極めて強い粘土の地すべり崩積土の斜面でも地下水を排除することができる。
- ⑪ 地すべり斜面の勾配が緩く、地下水位が地表面に近い場合は、暗渠工を積極的に採用すると効果的である。

5.1.3 施工時の留意事項

- ① 暗渠工は水路工よりも深くまで地山を掘削することが多いため、掘削時に小崩壊や地すべり活動の誘発を招かないように十分に留意する。
- ② 地すべりに悪影響を与えないために、可能であれば、天候が不順な時期を避けて暗渠工の開削等を施工することが望ましい。

5.2 明暗渠工

5.2.1 設計の基本事項

(1) 目的

明暗渠工は水路と暗渠工を、二階建ての構造にして設置するもので、地表水と浅い地下水を効率的に集めて排除することを目的とする。

(2) 位置

一般に凹状地形や浅い谷地形等では、地下水位が高い場合が多く、地表水が直ちに地下水に転化している場合も多い。明暗渠工はこのような地点の地表水、地下水排除に適する。

水路工と同様に明暗渠工の施工位置も、地すべり斜面内の低い場所や地表水が集まりやすい場所を通るように設計すると効果的である。

地すべり崩積土が粘土を主体とし、しかも地下水位が高いと想定される場所で、いわゆる土水路となっている場所に明暗渠工を設計することが望ましい。

(3) 構造

明暗渠工は排水路と暗渠とを組合せて二階建て構造とし（図-3.5.2、図-3.5.3）、表層付近の水を効果的に集めて排除するものである。

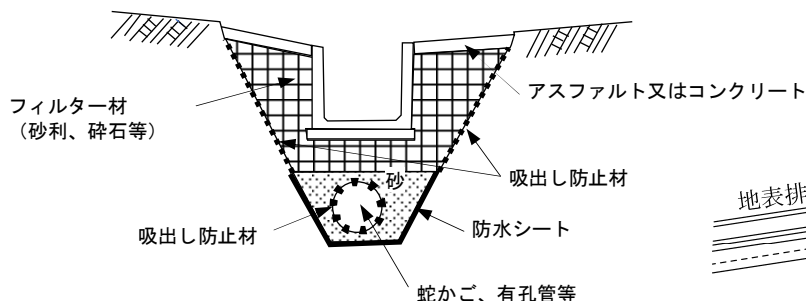


図-3.5.2 明暗渠工の構造模式図

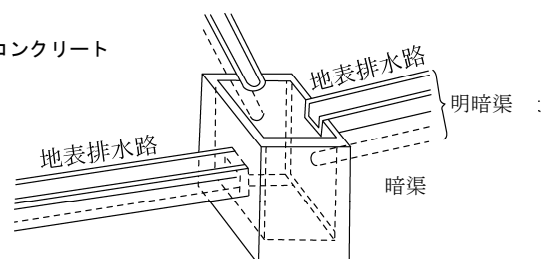


図-3.5.3 集水桝の構造模式図

明暗渠工は、20m程度の間隔で設けた集水桝（図-3.5.4）、あるいは落差工を利用して集めた地下水を地表の排水路に導いて地すべりブロック外に排除する。

水路部・暗渠部の構造は、それぞれ排水路工・暗渠工の設計に準ずるものとする。

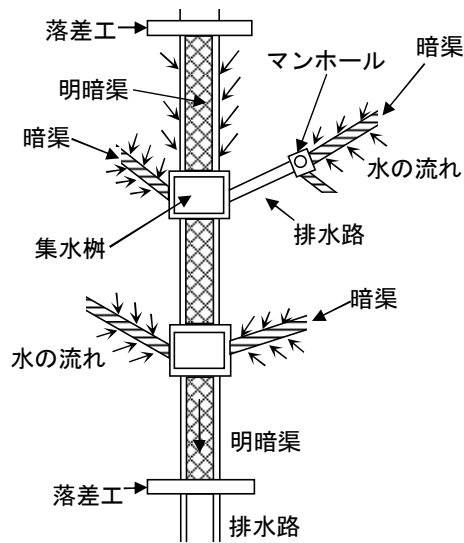


図-3.5.4 明暗渠工配置図

5.2.2 設計の留意事項

- ① 可能な限り現場の実測平面図を用いて、現場を確認し、施工が可能な位置に明暗渠工を計画することが望ましい。
- ② 地すべり斜面にある程度の勾配や地形変換点がなければ、暗渠工の排水を明渠工に排出できないため注意する。
- ③ 地下水が抜けにくい粘性土地盤の地すべりブロックで、明暗渠工の明渠（水路）の部分には水が全く流れていなくても、暗渠からは地下水が常に排出されていることがある。いわゆる排水路には、可能な限り暗渠工を併設し、明暗渠工とすることが地すべりの長期的安定を図る上で効果的である。
- ④ 集水桝と暗渠の接続構造によっては、暗渠部から地下水浸透を助長する場合もあるので注意する。

5.2.3 施工時の留意事項

- ① 地表水によって地表面が侵食されている場所に明暗渠工を設計する場合は、周辺の土塊が緩んでいることが想定されるため、明暗渠工施工時の掘削に伴って、小崩壊が発生しないように留意する（この場合は、侵食部の底面に暗渠工を敷設し、その上に明渠工を重ねるように計画する）。
- ② 現状で地表水が流れている場所に明暗渠工を敷設する場合は、流れている地表水を仮廻し、明暗渠工の施工計画区間を施工可能な含水状態とすることが望ましい。
- ③ 明暗渠工の全施工区間を一気に開削せずに、区間を小割にして施工することで小崩壊や地すべりに悪影響を与えることを防止できる。
- ④ 地すべりに悪影響を与えないために、可能であれば、天候が不順な時期を避けて明暗渠工の開削等を施工することが望ましい。

5.3 深層暗渠工

5.3.1 設計の基本事項

(1) 目的

深層暗渠工は、すべり面付近において亀裂中等に存在し、すべり面に作用している地下水を直接捕捉して排除することや、すべり面付近に流入する地下水を事前に排除することを目的とする。

(2) 位置

地すべりブロック内のすべり面に作用している地下水を直接捕捉するものと、地すべりブロック外上部に設けてすべり面に供給される地下水を排除するものがある。前者の場合は、地すべりブロックの比較的上部で、地すべり方向に直交して設置することが普通である。後者の場合は、断層等で地すべりブロックに大量の地下水が供給されているときに、この流路を遮断するように設置する。

(3) 構造

深層暗渠工は、深部まで達する大規模な集水暗渠を設け、地表近くまでフィルター材で埋戻し、吸水壁を形成する。一般に、渠底に集水管を埋設してフィルター材で地表近くまで埋戻すため地下水排除の効果は高い。

地すべりブロック内に設置する場合の深さは、すべり面まで掘削することを原則とするが、暗渠の深さは5m程度を限度とする。

図-3.5.5に本工法の模式図を示す。

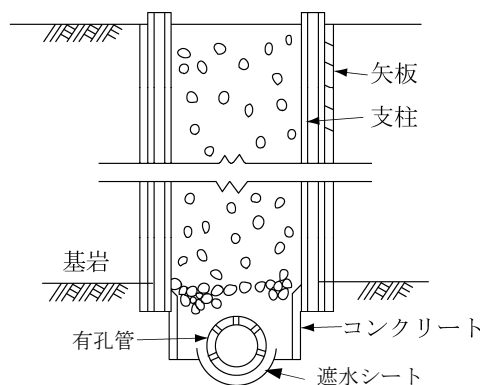


図-3.5.5 深層暗渠工の構造模式図

5.3.2 設計の留意事項

- ① 事前に掘削に伴う安定計算を行い、その結果地すべりの誘発・助長のおそれがないければ、素掘りにより施工を行うことも可能であるが、一般的には土留工を併用して施工するように設計する。素掘りによる施工については、労働安全衛生規則の下限を下回ってはならない。
- ② 暗渠の底部は、コンクリートや遮水シート等を張り、基岩の風化、漏水を防ぐことが望ましい。
- ③ 暗渠は地下水流動方向に直交させ、地すべりに悪影響を及ぼしている地下水を集水するのに十分な長さとする。
- ④ 集水した地下水は、導水暗渠又は排水ボーリング等で地表に排出する。

5.3.3 施工時の留意事項

- ① 地すべりブロック内に設置する場合には、掘削に伴って地すべりを助長するおそれがあり、十分な監視体制をとることが必要である。
- ② 深層暗渠工の全施工区間を一気に開削せずに、区間を小割にして施工することで小崩壊や地すべりに悪影響を与えることを防止できる。
- ③ 深層暗渠工の開削等が地すべりに悪影響を与えないために、可能であれば、天候が不順な時期を避けて施工することが望ましい。
- ④ 掘削作業が大規模になるので、掘削法面の崩壊に留意する。

5.4 水抜きボーリング工

5.4.1 設計の基本事項

(1) 対象とする地下水

水抜きボーリング工は、暗渠等が対象とする地下水よりさらに深い地下水を排除する場合に用いられる。

対象は、簡易揚水試験・地下水検層・電気検層等の各種試験や検層結果に基づき、地すべりの誘因となっていると判断される地下水とする。

(2) 目的

水抜きボーリング工は、暗渠工が対象とする地下水よりさらに深い地下水の排除や、すべり面に働く過剰な間隙水圧の低減を目的として計画する。

(3) 特徴

水抜きボーリング工は、地表からすべり面に作用する地下水に直接届かせることができるとともに、活動的な地すべりブロックの外側から地下水排除を行える利点がある。

水抜きボーリング工は比較的安価なため、しばしば用いられる。

ボーリング孔には有孔管を挿入するが、水質や土質によっては目詰まりが生じて機能低下を招くことがあり、事後の管理を十分行うことが必要である。しかし、管理を十分行ったとしても、目詰まりによる経年的な機能低下や孔口（排水口）の劣化・損傷は避けられない。

(4) 位置

- ① 地すべりブロック全体及び周辺の地質、地下水調査に基づき、地下水が貯留され、かつ地すべりに影響を与えていると想定される位置に施工する必要がある。
- ② 崩土内の特に含水比が高く塑性変形を起こしている部分の地下水を対象に施工し、変形を抑えることもある。
- ③ 水抜きボーリングの孔口（排水口）は、できるだけ安定した地盤に設ける。

(5) 仰角の設定

- ① 仰角は、一般に3～10°程度で掘ることが望ましい。
- ② 水頭圧の大きい被圧地下水に対しては俯角で掘り、自噴によって排水することも可能である。

(6) ボーリング孔の長さ

- ① ボーリング孔の長さは、効果的な地下水の排除が可能であると推測できる位置までの長さとするが、その長さは、70m未満で設定する。

なお、地形等の条件によりやむを得ない場合は、ボーリング孔の長さを原則として100mを限度に延ばすことができる。ただし、長尺のボーリング工は掘進に伴い先端部が孔曲がりすることが多いので、屈曲を防ぐ工夫をすることに留意されたい。

- ② すべり面より先へ5～10m程度、基盤に貫入させる必要がある。

長尺ボーリングの施工実績として、笹ヶ峰地区（新潟県）では、追加対策において既設集水井よりも低い標高の深部地下水を排除する必要があったため、地上から長尺・大口径水抜きボーリング工（最長169m）が実施されている。削孔方法はロータリーパーカッションドリルによる二重管削孔であり、削孔径は0～50m区間は $\phi 135\text{mm}$ 、50～150m区間は $\phi 90\text{mm}$ とし、最初に $\phi 135\text{mm}$ で所定深度まで削孔し、インナーロッドを回収した後、ツールスを $\phi 90\text{mm}$ 使用に変え、 $\phi 135\text{mm}$ ドリルパイプ内を通して残り深度の削孔を行っている。保孔管は配管用炭素鋼鋼管SGP40Aが用いられている。

(7) 構造

- ① ボーリングの掘削孔径は66mm以上とするが、施工性を考慮して一般的にはロータリーパーカッションドリルが多く用いられており、この場合削孔径は90mmとする事例が多い。
- ② ボーリング完了後の掘削孔には、ストレーナのついた保孔管を挿入する。
- ③ 保孔管は内径40mm以上の硬質塩化ビニール管（VP管）若しくは鋼管とする。
- ④ ストレーナは直径5mm程度の円穴で、穴の間隔は125mm程度とする（図-3.5.6）。このほか、同程度の開口率を有するスリット加工でも良い。

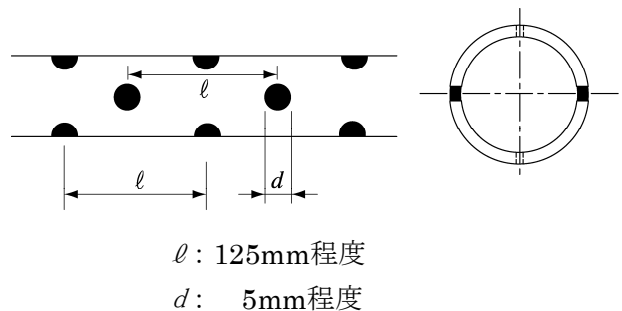


図-3.5.6 保孔管のストレーナの構造

- ⑤ 保孔管はオールストレーナを標準とするが、排水の途中で漏水・逸水が予想される場合は、すべり面付近のみの部分ストレーナ加工とする等、ストレーナ設置位置に留意する。
 - ⑥ 近年は、ストレーナ形状を工夫した保孔管、集水した地下水がスリットから漏水・逸水しにくい構造や砂質分の吸出し防止機能を持つ構造をした保孔管等、塩化ビニール管よりも耐久性の高い材質を用いた保孔管も開発されており、機能向上、維持管理やライフサイクルコストを考慮して導入を進めることが望ましい。
- (8) 本数と先端間隔
- ① ボーリングは1か所から複数本を放射状に掘削する。杭工やアンカー工等と併用し部材との干渉が予想される場合は、並列に打設する場合もある。
 - ② ボーリング孔の先端間隔は、5～10m程度とする。

5.4.2 設計の留意事項

- ① 排水口が崩壊するおそれのあるところでは、崩壊防止のため蛇かご、コンクリート壁、ブロック壁等で保護し、承水路等に排水する。
- ② 安定計算における水抜きボーリング工の地下水位低下量は、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量の実績を考慮して決定することが望ましい。
- ③ 水抜きボーリング工からの排水量の推定については、「治山技術基準^{*1}」を参照する場合がある。
- ④ 孔口標高は、対策工事平面図や断面図に明記する。
- ⑤ 地下水に関する調査結果に基づいて、施工位置、延長、仰角等を決定するものとする。
- ⑥ 水抜きボーリングで集めた地下水は、速やかに地すべりブロック外に排出できるように水路工を合わせて設計する。

5.4.3 施工時の留意事項

- ① 水平方向のボーリングは孔曲りを起こしやすい。特に土被りが薄い場合は、地上にボーリングロッドが出ないように十分な配慮が必要である。
- ② 保孔管内に集水した地下水の再浸透が心配な場合、ストレーナを通して集水した地下水が浸透しないようにしなければならない。この場合、管の上面のみにストレーナを設ける等の方法があるが、挿入に際して有孔部が反転して下向きにならないように施工する。また、全周にストレーナを施したのち、管内に半円のビニールパイプを挿入する場合もある。
- ③ 使用するボーリングマシンは、地層状況を考慮し掘削性能に余裕を持った機械を選定する。

5.4.4 水抜きボーリングによる地下水位低下量の実績例

水抜きボーリングによる地下水位低下量の実績例を表-3.5.1に示す。

この例は、比較的短期間の測定であるため、長期的にはさらに地下水が低下することも考えられる。しかし、一方ではストレーナが目詰まり等機能低下を生じるので、洗浄等適切な維持管理を行う必要がある。

表-3.5.1 島根県における水抜きボーリングによる地下水位低下量の実績例

地下水位低下量	粘質土系	砂質土系
0.0m以下 ～ 1.0m未満	42%	33%
1.0" ～ 2.0	28%	20%
2.0" ～ 3.0	19%	25%
3.0"	11%	22%
計	100%	100%
平均	1.49m	2.15m

ただし、施工年度：昭和59、60年度

集計時点：昭和61年5月

資料数：159件（粘質土系95件、砂質土系64件）

測定位置：水抜きボーリング先端付近（先端間隔10m程度）

比較水位：（各ボーリング施工前10日間以上の平均地下水位）

－（施工後20日間以上の平均地下水位）

*1 林野庁「治山技術基準」、第4編参考p.26（2020）

5.5 集水井工

5.5.1 設計の基本事項

(1) 対象とする地下水

集水井工は、通常の長さの水抜きボーリング工では長尺になってしまい到達できない位置にある地下水や複数の帯水層にまたがって存在する地下水の排除に適する。排水ボーリングが長尺になり地表に到達できない場合は、複数の集水井を排水ボーリングで連結させることがある。図-3.5.7に本工法の模式図を示す。

(2) 目的

集水井工は、暗渠工や水抜きボーリング工では対応できない比較的深い地下水の排除やすべり面に働く過剰な間隙水圧の低減を目的として計画する。

(3) 特徴

集水井内からは集水ボーリングを打設し地下水排除の効果を高めることが普通であり、集水した水は排水ボーリングにより地表に排除する。集水井内から集水ボーリングを多段に施工することによって、地下水が二層以上に重なって分布する場合にも適する。また、掘削時、地すべりブロックの状況、すべり面や湧水の状況等を観察しながら施工できる利点があるが、活動が激しい地すべりブロックには施工できない。

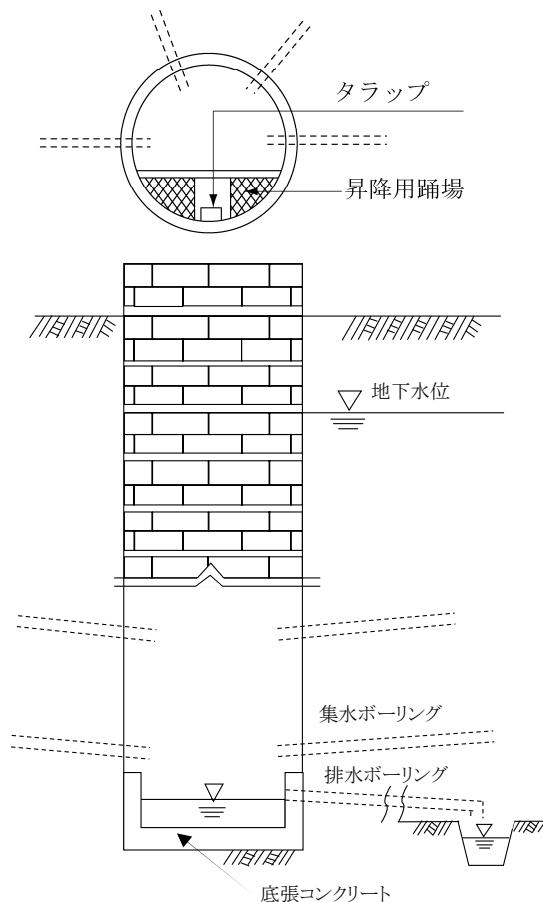


図-3.5.7 集水井工の構造模式図

(4) 位置

- ① 集水井は、地下水調査の結果に基づいて、地すべりの誘因となっている地下水を効果的に排除できる位置に施工する必要がある。
- ② 調査の結果、地すべりブロック外から多量の地下水が流入すると推定される場合には、その地下水流路に配置する。
- ③ 集水井は、地すべり活動による圧縮を受ける位置を極力避け、施工の際に安全が十分に確保できる位置にしなければならない。
- ④ 排水ボーリングは、100m程度の範囲内で自然排水できるような地形条件が満たされることが望ましい。そのような条件が満たされない場合は、ポンプで揚水するよりも、途中で中継集水井を設け排水した方が経済的である。

(5) 井筒の材質

集水井には井筒の材料にライナープレート製とコンクリート製の2種類があり、土質、施工性、経済性等によって使い分ける。

施工に当たっては、仮設道路整備等の運搬条件を考慮して、適切な材質を選定する必要がある。

ア. ライナープレート集水井

ライナープレート集水井は、井筒の材料に、厚さ2.7～6.0mm程度の波型の亜鉛メッキを施した鋼板（ライナープレート、コルゲート等）を使用する。井筒の強度を高めるために、必要に応じてH形鋼（補強リング、バーチカルスチーフナー及びラテラルストラット）を使用する。

小型バックホウやクラムシェル等により短期間に施工できること、材料運搬が便利であること等の利点があるが、地質が軟弱な場合や湧水が多い場合には、施工上十分な注意が必要である。

イ. コンクリート枠集水井

コンクリート枠集水井は、既製品の鉄筋コンクリートブロックを用いる。これは井筒を現場で組立てるとともに、井筒の下を掘削し、自重で沈下させながら設置するものである。自重での沈下が不可能になった場合は、最下段のコンクリートブロックに取付けた刃先を油圧ジャッキ等で押し込み、その隙間に分割したコンクリートブロックを埋込む工法である。多量の地下水のためボーリングの起こりやすい砂質地盤や、ヒービングの起こりやすい軟粘土質地盤の場合でも、井壁の崩落が少なく施工に適している。

軟弱な地質や湧水に対しては、ライナープレートより強いが、井筒周辺の摩擦抵抗によって沈下が難しくなるため、施工地点の土質状況を把握し井戸深度を決定する必要がある。コンクリートブロックは重量があるためライナープレートより運搬労力が大きい。なおブロックは内径に応じて各種あり、半円、4半円等に分割されている。上下のブロック同士は鉄筋によって連絡されていて、鉄筋挿入後、モルタルを注入して密着させる。

(6) 内径

集水井の内径は、3.5mを標準とし、施工の安全性や深さ、計画する施工機械を考慮して決定する。

(7) 深さ

集水井の深さは、集水井の中から施工する集水ボーリングの位置によって決定する。活動中の地すべりブロックでは集水井の基底をすべり面より2m以上浅くしせん断による井筒の変形を避ける。活動が休止している地すべりブロックについては、基底をすべり面に2～3m貫入させる。

深さは、施工の難易性から一般に30mまでが適当とされているが、深度60mを超える例もある。

(8) 設計

集水井に使用するライナープレートの板厚等の決定に当たっては、以下のとおりとする。補強リング、バーチカルスチフナーの設置等、設計に当たっては関連文献*1を参照する。

ア. 土圧

集水井外周に作用する荷重は土圧のみとし、原則として水圧は考慮しないで算定する。

なお、以下の(ア)・(イ)で求める荷重は均等土圧である。偏土圧については、抑制工及び抑止工の効果の発現により集水井外周面には作用しないことが理想であり、一般に考慮しないが、抑制工及び抑止工の効果が発現する以前に偏土圧が著しく作用する場合も考えられるので、集水井の施工に際してはブロックの変状に細心の注意を払うことが必要である。

なお、上載荷重については、地すべり状況や地形状況等を考慮し、必要に応じて検討する。

(ア) 地すべりブロックの粘着力 (c) 及びせん断抵抗角 (ϕ) が分かっている場合

集水井外周面に作用する最大水平土圧 (P_{tmax}) は周囲の土のアーチアクション (円弧作用) を考慮して次式 (テルツァーギの式、図-3.5.8) により求める。

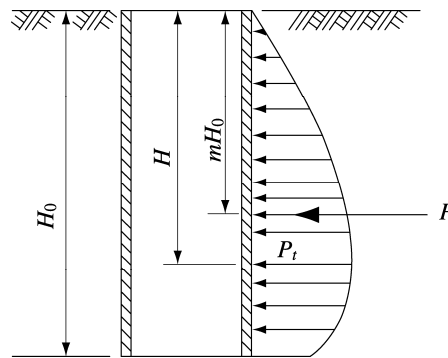


図-3.5.8 テルツァーギ土圧の模式図

地表面より任意の深さにおける水平土圧 (P_t) は

$$P_t = \left\{ \frac{12(3m-2)H^2}{H_0^3} + \frac{6(3-4m)H}{H_0^2} \right\} P \dots\dots\dots (3.5.1)$$

で与えられ、さらに P_{tmax} は $H = \frac{3-4m}{4(2-3m)} H_0$ を代入することにより求められる。

$$P_{tmax} = \frac{3(3-4m)^2 P}{4(2-3m)H_0} \dots\dots\dots (3.5.2)$$

ここで、 P_t : 地表面から任意の深さにおける水平土圧 (kN/m²)

P_{tmax} : 最大水平土圧 (kN/m²)

H : 地表面からの P_t 作用点までの距離 (m)

H_0 : 地表面からの集水井の深さ (m)

*1 コルゲート・ライナー技術協会「ライナープレート設計・施工マニュアル」(2000)

m : P の作用点の深さの H_0 に対する割合 ($m=0.50\sim0.65\div0.55$)

P : 深さ H_0 にわたり主働土圧 q (kN/m²) 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)

なお、土圧の分布は放物線分布に近いといわれているが、土圧の合力 P は土圧が三角形分布と仮定した場合の合力と同等として取扱う。

したがって、

$$P = \frac{1}{2} q H_0$$

$$q = K_A \cdot \gamma_t \cdot H_0$$

ここで γ_t : 土の単位体積重量 (kN/m³)

K_A : 主働土圧係数

$$\text{砂質土の場合} : K_A = \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\phi}{2} \right)$$

$$\text{粘性土の場合} : K_A = \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\phi}{2} \right) - \frac{2c}{\gamma_t H_0} \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\phi}{2} \right)$$

c : 地すべりブロックの粘着力 (kN/m²)

ϕ : 地すべりブロックのせん断抵抗角 (度)

(イ) 地すべりブロックの粘着力 (c) 及びせん断抵抗角 (ϕ) が分からない場合

集水井外周面に作用する土圧分布は地表から深度15mまでは三角形分布とし、それ以深では15m深度での土圧に等しく一定とする (図-3.5.9)。また、集水井外壁を固定壁とみなし、静止土圧係数 (K_s) をもとに土砂及び風化した軟岩については土質に係らず土圧係数は0.5とし、最大水平土圧は次式により求める。

$$\left. \begin{array}{ll} P_{\max} = 0.5 \gamma_t H_0 & (H_0 < 15) \\ P_{\max} = 0.5 \gamma_t \cdot 15 & (H_0 \geq 15) \end{array} \right\} \dots\dots\dots (3.5.3)$$

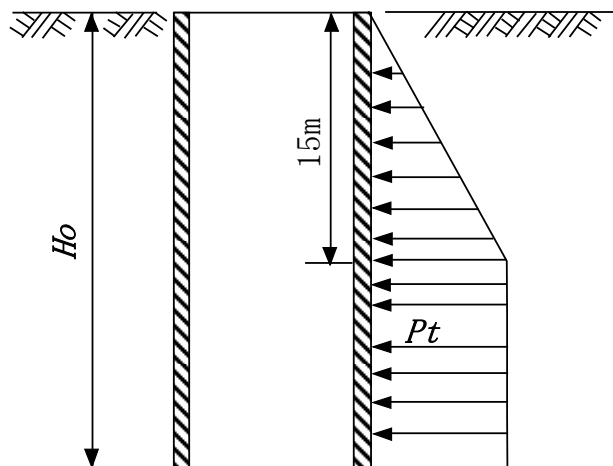


図-3.5.9 集水井外周面に作用する土圧分布模式図

イ. 集水井の断面決定

集水井の断面は外周圧による座屈を生じないように次式の断面二次モーメントを満足しなければならない。

$$I \geq \frac{f P_{tmax} r^3}{3E} \dots\dots\dots (3.5.4)$$

ここで I : 集水井の深さ 1 m 当たりの断面二次モーメント (m^4/m)

ただし集水孔、ボルト孔等を考慮して有効断面二次モーメントは $0.8I_0$ (I_0 は集水孔、ボルト孔がない場合の断面二次モーメント) とする。

P_{max} : 式 (3.5.2) あるいは式 (3.5.3) で求めた最大水平土圧 (kN/m^2)

E : ヤング係数 ($2.1 \times 10^5 N/mm^2$)

r : 集水井の半径 (m)

f : 安全率 (1.5)

なお、上式を満足しない場合は、集水井の水平継目又は、内側に H 形鋼による補強リングを埋込んで補強する等の対応が必要である。補強リングの断面及び間隔は、補強リングの間隔を単位長に換算して決定する。

(9) 排水ボーリング

- ① 集水井からの排水は、自然排水により行うことを原則とする。
- ② 自然排水は排水ボーリングで行い、挿入管は内径 75～100mm 程度の鋼管を用いることが望ましい。
- ③ 排水管は標準的には 1 本とするが、地すべりの活動状況や想定される排水量が大きいことが見込まれる場合には、安全を見込んで複数の排水管を設けてもよい。
- ④ 排水管の長さは 100m 以内を標準とし、排水口は地すべりブロック外に設けるか地すべりブロック内の排水路に設ける。
- ⑤ 排水口には蛇かご又は擁壁等の孔口保護工を施工する。

(10) 集水ボーリング

- ① 集水ボーリングの延長は、水抜きボーリングに準ずる。また、集水ボーリングはすべり面を貫いて施工することを原則とする。
- ② 集水ボーリングは集水井から放射状に掘進し、対象とする地下水貯留層に応じて多段に行うものとする。
- ③ ボーリングの位置、長さ等は地下水調査によって決定し、先端間隔は 5～10m 程度とする。
- ④ 集水ボーリングの孔径、保孔管の材質・孔径及びストレーナについては、水抜きボーリング工に準ずる。

5.5.2 設計の留意事項

- ① 集水井工の設計・施工に当たっては、調査ボーリング等による事前の地質、地下水調査を行う。調査孔は集水井本体の予定位置にも必要であるが、それ以上に集水ボーリングによる地下水排除対象地点に必要である。したがって、集水ボーリングの先端付近にも地下水調査孔を設置する。なお、この集水ボーリング先端付近に設置した調査孔によって集水ボーリングによる地下水位低下の効果を追跡していくことが必要である。

- ② 集水井の集水ボーリングにより排除する地下水は、調査ボーリングのコア観察結果（地質情報）や掘削中の地下水位の変化・簡易揚水試験結果・地下水検層結果等の水理地質情報等を総合的に検討して決定する。
- ③ 地すべりの安定計算における集水井工による地下水位低下量は、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量の実績を考慮して決定することが望ましい。
- ④ 井戸深度が30m以上に達する場合には、集水井の内径を標準径よりも大きくするか、安全施設についてより十分な検討を加える必要がある。ボーリング掘削に困難をきたす地質の場合は、特に施工性、安全性を考慮し内径を決定する。
- ⑤ 排水ボーリングの破断、目詰まりは周辺への地下水供給により新たな地すべりを発生させかねないので、排水ボーリングの孔径については、材質・ボーリングの勾配・想定される排水量等を考慮し、十分な余裕を持って決定する必要がある。集水ボーリングの集水量の推定については、「治山技術基準*1」を参照する場合がある。
- ⑥ 集水井は内径3.5m程度の地下構造物となるため、維持管理が容易となる工法、材料の選定が重要である。耐久性のある劣化に強い排水ボーリング管、集水井内への落葉防止ネット（紫外線で劣化しにくいもの）等によりライフサイクルコストを向上させた事例がある。

5.5.3 施工時の留意事項

- ① 集水井自体に集水能力を持たせる場合は集水井壁面に水抜き孔をあけるが、パイピングによる土砂の流入が生じる危険性のある場合には、これを防止するため集水井壁面の裏側にフィルターを設ける。
- ② 集水井工は、地すべりブロック内を、しかも地下水の貯留層、流動層に近いところ若しくはその中を掘削することが多い。そのため異常湧水、盤ぶくれ等には十分注意する。また、掘削時の排土、昇降、換気等についても十分な安全対策をとることが必要である。
- ③ 集水井内に入る場合は、酸欠を防止するため空気中の酸素濃度の確認や、可燃ガス、有毒ガス等の発生の有無の確認を行う。
- ④ 施工は、50cm掘削するごとに部材を下に継ぎ足し所定の深度まで組立てる。集水井の底部は、岩の風化及び漏水を防止するため、厚さ50cm程度のコンクリートを張る。
- ⑤ 掘削深度が30m程度となると坑内では地上からの合図応答が聞き取れなくなる。また、湧水等がある場合は上方を直視するのも困難となる。トラップや送風管等、吊り降ろし作業時の障害物との接触等の安全管理に当たっては、坑内途中に無線機を携帯した合図者を配置する等の対応が必要となる。
- ⑥ 集水井の維持管理のために昇降階段等を設置する。昇降階段設置後は、階段の経年劣化に対して配慮する必要がある。また、集水井の上部は50cm程度地上に出すとともに、部外者が立ち入らぬよう、頂部は半円形の天蓋を2枚組み合わせて固定し、侵入口を鉄板等で閉鎖し施錠することを標準とする。必要に応じて周囲をフェンスで囲む。天蓋から落葉落枝が集水井内に落下し、排水ボーリング等を目詰まりさせないように、必要に応じて落葉防止ネット等で天蓋を覆う。

*1 林野庁「治山技術基準」、第4編参考p. 26（2020）

- ⑦ 将来的な維持管理を目的として、集水ボーリング・排水ボーリングの打設方向や延長を現地に表記しておくことが重要である。
- ⑧ 完成後、集水井が土圧や地すべりの活動力により変形しはじめた場合には、栗石を詰めて補強する場合もある。

5.6 排水トンネル工

5.6.1 設計の基本事項

(1) 対象とする地下水

排水トンネル工は、地すべりの規模が大きくてすべり面が深く、かつ地すべりに作用する地下水が大量にあって、集水井工等では効果が十分に発揮できない場合に用いられる。

(2) 特徴

排水トンネル工は分岐トンネル、トンネル内からの集水ボーリング、集水井等ほかの工法と組合せて、立体的で効果的な排水を行うことができる。図-3.5.10及び図-3.5.11に本工法の模式図を示す。また、掘削時に地下地質構造を目視できる利点がある。

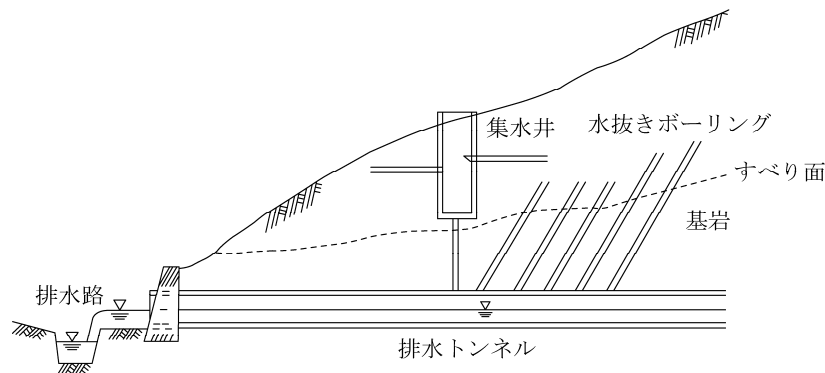


図-3.5.10 排水トンネル工の模式図（縦断面図）

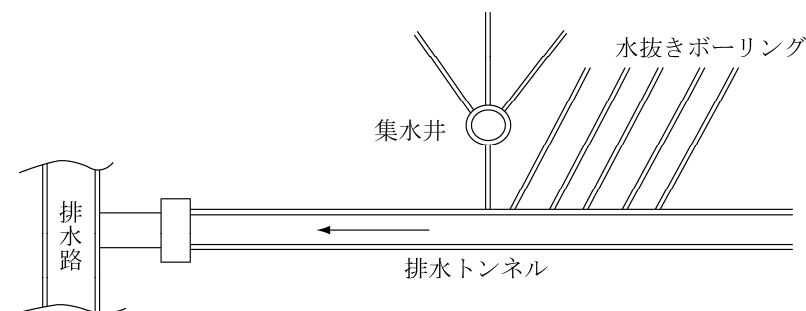


図-3.5.11 排水トンネル工の模式図（平面図）

(3) 位置

- ① 排水トンネル工の計画に当たっては、計画調査の結果に基づき、最も短距離で排水効果の上がる位置に設けなければならない。地すべりブロック外から多量の地下水が流入すると推定される場合は、地すべりブロック外に配置するのがよい。
- ② 排水トンネルは、原則として地下水流路を直角に遮断する方向に設けるとよい。
- ③ 排水トンネルの坑口は安定した基盤に設け、自然排水ができるよう、所定の勾配が維持できる配置とする。土被りの浅い部分では、道路、家屋、水田等の直下を避けて、路線を選定す

る。

- ④ 排水トンネルは、原則としてすべり面下又は地すべりブロック側方の安定した岩盤中に設ける。

5.6.2 設計の留意事項

- ① トンネルの縦断勾配は、一般に10/1,000程度以下であれば支障なく施工可能である。
- ② トンネル断面は、施工の安全性が確保され、また、経済的となるよう地質、延長、施工方法、掘削工法等を考慮して断面を決定する。一般には内径2～2.5m程度が多い。
- ③ トンネル内より集水ボーリングを行う場合には、その部分（ボーリング室）の断面を大きくとる。ボーリング室を設けずに、トンネルの集水区間全体にわたってボーリング施工可能な断面とし、等間隔で平行に集水ボーリングを施工する例もある。
- ④ 断面形状は使用する材料によって長方形、台形、円形、半円形、馬蹄形等がある。
- ⑤ トンネル支保工は、掘削後短期間で中詰めを行う場合は木製支保工を用いてもよいが、掘削後長期間内空を保持する必要がある場合や土圧の作用する場合には、鋼アーチ支保工（H型、I型等の型鋼や鋼管）を用いたリブ式支保工及びライナープレート支保工とする。特に覆工して支保工をそのまま埋設する場合は、鋼アーチ支保工を用いる。なお、ライナープレート支保工は補強材によって補強し、そのまま覆工として使用し得る利点がある。
- ⑥ トンネル覆工材はライナープレート、コルゲート及びコンクリート覆工とするが、一般にはコンクリートを使用する例が多い。
- ⑦ トンネルインバート部分は、岩盤の風化の進行防止、漏水防止のため、コンクリートを打設する。また、半円ヒューム管や鉄筋コンクリートU字溝を敷設する等し、集水した地下水を排除しやすい構造とする。
- ⑧ 地山の荷重条件、支保工やライニングの設計については「土地改良事業計画設計基準・設計水路トンネル」を参考とする。
- ⑨ トンネルからの排水工として導坑途中、あるいは導坑又は分岐坑先端から集水ボーリングを行う。さらに地表からの立体排水工や集水井工からの排水ボーリング等とトンネルを連絡させ、立体的に機能させると効果的である（図-3.5.12）。

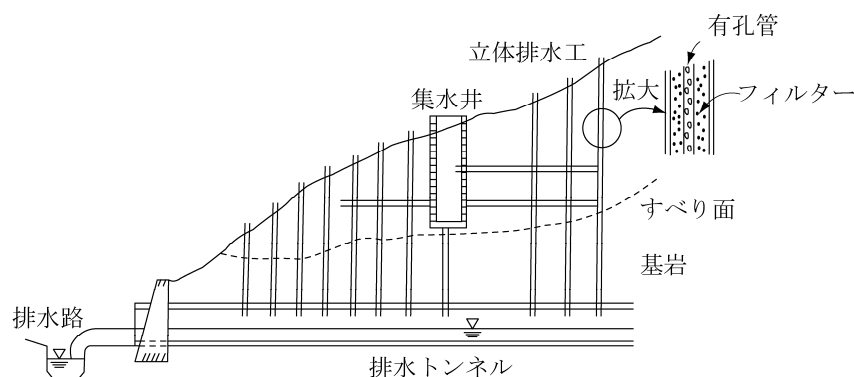


図-3.5.12 立体排水工模式図

立体排水工は、大口径鉛直ボーリングと横ボーリング又は排水トンネル等を組合せて多層にわたる地下水を効率的に排除しようとする工法である。設計・施工上は、集水した地下水がすべり面へ再供給されるおそれがあるので鉛直ボーリングで集水した地下水をいかに速やかに排除するかが重要となる。

- ⑩ 排水トンネルの延長によっては換気立孔が必要となる場合がある。安全管理上、非常時に脱出する斜抗や立坑等の抗口を設ける場合がある。
- ⑪ トンネル内から上向きに打設される集水ボーリングについては、孔口での金網とアンカーボルト等の設置（図-3.5.13）や、先端部への羽根の設置（図-3.5.14）等により、出水による脱落を防止する対策を実施した事例がある。

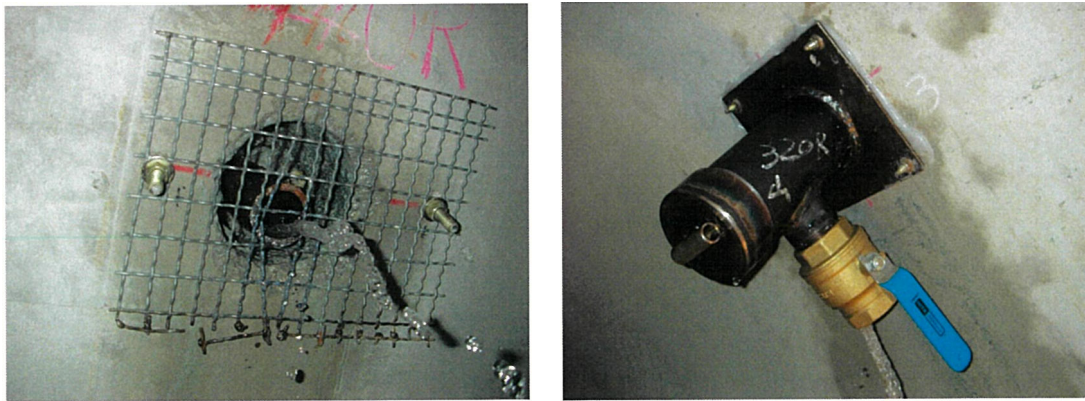


図-3.5.13 排水トンネルから打設した集水ボーリングの孔口落下防止対策例

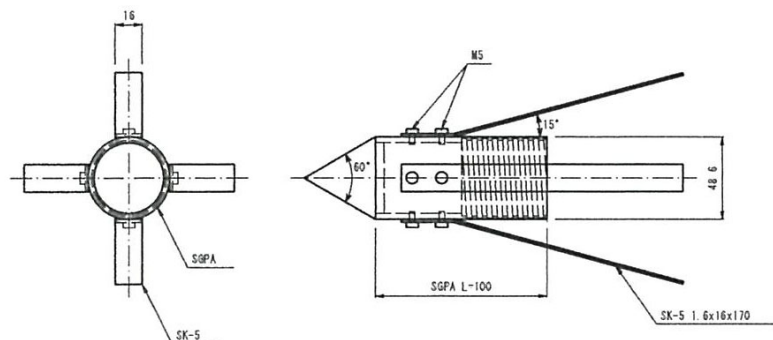


図-3.5.14 排水トンネルから打設した集水ボーリングの先端部落下防止対策例

- ⑫ 排水トンネル工は狭隘な地下構造物となるため、施工や維持管理が容易となる工法、材料の選定が重要である。特に集水ボーリング工は上向きに挿入することから、帯水層や崩壊性地山においては施工時に保孔管が破断しやすい。このような場合は、硬質塩化ビニール管（VP管）よりも強度が高い鋼管を用いる等の対応が必要である。
- ⑬ 立体排水工を構成する落とし込みボーリングについて、庄内あさひ地区（山形県）では既往の施工事例を確認し、最終的に以下のような構造を採用している（図-3.5.15）。
- ・排水効果を考慮して口径φ100mmとし、保孔管はSGP100Aとする。
 - ・排水トンネル貫通時に掘削全区間が裸孔区間となっていると、孔壁崩壊の懸念があり、井戸としての仕上げができなくなる恐れがあるため、トンネル天端直上1mをセメンティングし、井戸としての仕上げを行なった後、貫通削孔する。
 - ・排水トンネルとの接続部は、トンネル周辺に流水が回り込むことを回避するため、無孔保孔管を設置する。

5.7 地下水排除工に伴う地下水位低下量

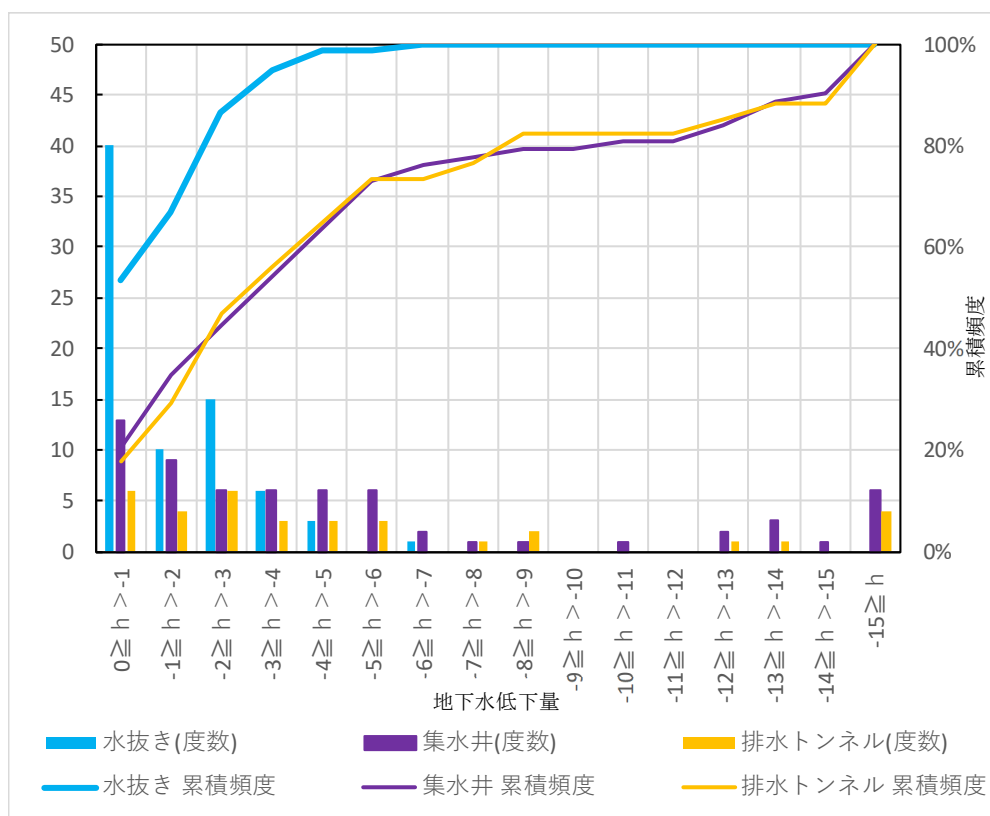
対策前後の観測値が確認できた直轄及び道府県営地すべり対策事業の地下水排除工172事例について、対策工別の地下水位低下量最大値の頻度分布を図-3.5.16に示す。ここに示す地下水位低下量は、あくまでも目安である。地下水排除工の設計では過大な地下水位低下高を見込むことは避け、さらに施工後の効果の検証・再評価、これを踏まえた対策計画の見直しが必要であるため、継続観測による確認が必須である。

収集した事例を整理した結果、ここでは以下の結果が得られた。

- ・ 水抜きボーリングによる地下水位低下量最大値は過半数が1m以下であり、最大でも7mにとどまる。
- ・ 集水井による地下水位低下量は6m未満に全体の75%が分布するが、それ以上の地下水位低下が認められた箇所も散見される。
- ・ 排水トンネルによる地下水位低下量は9m未満に全体の80%程度が分布する。
- ・ 排水トンネルと集水井を複合して対策を行った場合に15m以上の非常に大きな水位低下が得られた事例がある。

なお、ここに示す水位低下量は、対策工前後で実施された地下水位の連続観測結果データから読み取った最高水位の差分とした。このため、このデータを参考にする際には以下の点に留意が必要である。

- ・ 多数のブロックが連担する場合には、他の施設の地下水位効果が加算されている可能性がある。
- ・ 最高水位に対応する降水量や、降水特性に対する各観測孔の応答特性は評価していない。
- ・ 最高水位出現時の地すべり変動状況は考慮していない。
- ・ 対策工施工時に認められた基底水位の低下は考慮していない。



※図中の「水抜き」は「水抜きボーリング」を示す。

図-3.5.16 地下水排除工の対策工別地下水位低下量頻度分布

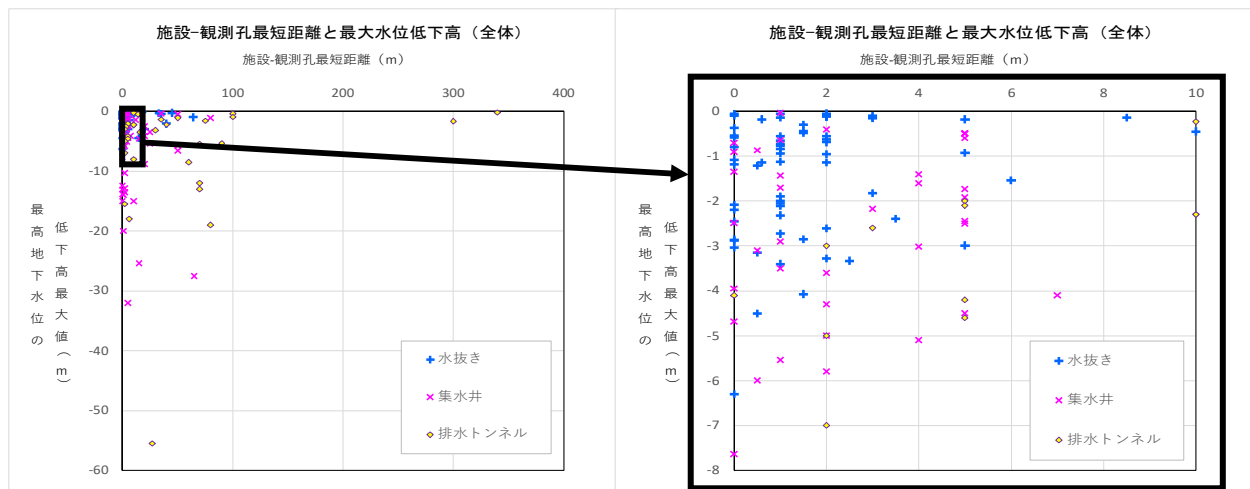
また、各種要因に応じて整理した地下水位低下量から、ここでは以下の結果が得られた。

- ・ 観測施設から地下水排除施設までの距離が小さくなるほど、地下水位低下量最大値のバラツキが大きい (図-3.5.17)。
- ・ 基盤の地質年代別にみると、新第三紀では地下水位低下量に大きなバラツキがあり、施設-観測孔間距離が5mを超えると低下量はほぼ2m以下となる。中生代では水抜きボーリングと集水井で地下水位低下量最大値が近いレベルにある (図-3.5.18)。
- ・ 移動土塊の性状別にみると、移動土塊が「粘質土主体」「粘性強い」等場合は、地下水位低下量が相対的に小さい傾向がある。移動土塊が岩盤 (風化岩含む) の場合に大きな地下水位低下を示した例がある (図-3.5.19)。

なお、地下水排除工による地下水位の計画低下高について、地下水位解析結果や類似箇所での実績等が得られない場合は、「地すべり防止技術指針及び解説*1」や「災害手帳*2」を参照する場合がある。

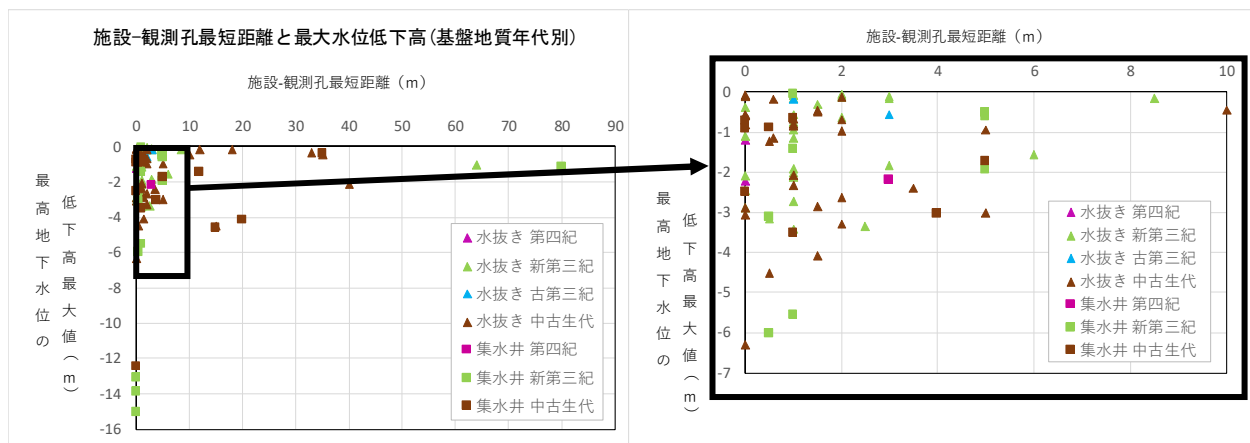
*1 国土交通省砂防部, (独) 土木研究所: 地すべり防止技術指針及び同解説, p. 61 (2008)

*2 (一社) 全日本建設技術協会: 令和3年災害手帳, p. 488, 490 (2021)



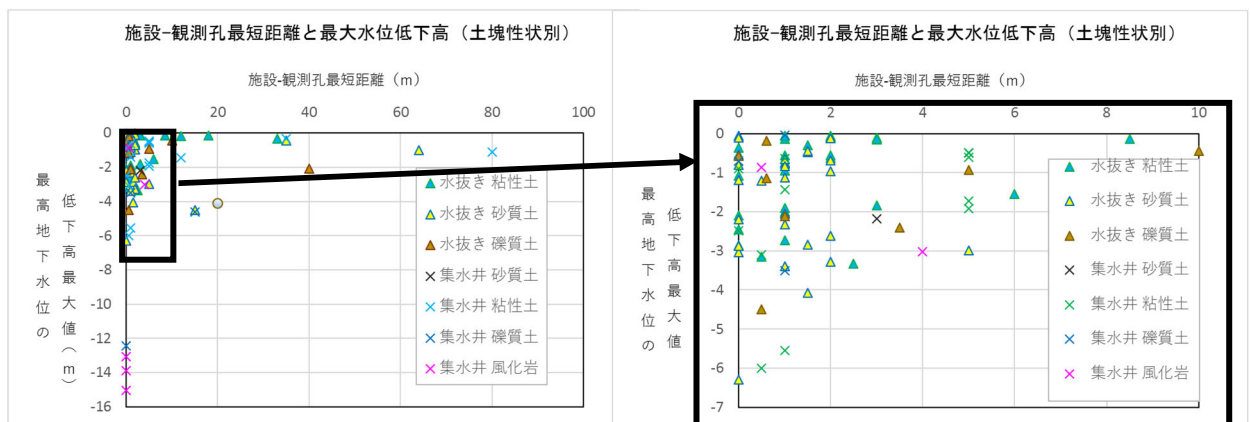
※図中の「水抜き」は「水抜きボーリング」を示す。

図-3.5.17 地下水排除工の工種別地下水位低下量と観測孔との離隔の関係



※図中の「水抜き」は「水抜きボーリング」を示す。

図-3.5.18 地下水排除工の工種別地下水位低下量と基盤地質年代の関係



※図中の「水抜き」は「水抜きボーリング」を示す。

図-3.5.19 地下水排除工の工種別地下水位低下量と土塊性状の関係

6. 侵食防止工

(基準書 第3章、3.4.2(3)関連)

6.1 溪流護岸工

6.1.1 設計の基本事項

溪流護岸工は、側方侵食の激しい溪流等により地すべりブロック末端部や側方部が侵食される場合、その侵食を防止するために施工するものである。また、河川が急勾配で河床全体にわたって侵食が激しい場合には、その侵食を防止するため床固め工等を施工する。

工法種別として、コンクリート張、コンクリートブロック、コンクリート枠、鉄製枠、鉄線かご、木材等があるが、現地の状況に応じて適切なものを選定する。

溪流護岸工の設計については、「治山技術基準（総則・山地治山編）解説」*1も参考とする。

6.1.2 設計の留意事項

- ① 必ずしも溪流の全体について同等に計画するのではなく、溪流屈曲部の攻撃斜面等、特に侵食を受けやすい部分に重点的に配置する。
- ② 不安定な地すべり地域内に設ける場合は柔軟性、排水性を持つふとんかご、片法枠、かご枠等を用いる。
- ③ 溪床、溪岸の掘削は地すべりブロックの不安定化をきたさぬよう最小限にとどめ、かつ流水の下方侵食に対し、安全となるよう設計する。

6.1.3 施工時の留意事項

- ① 地すべり末端部に施工する場合は、地すべり状況の監視を行いながら施工することが必要である。
- ② 同時に行う施工区間を短くして施工することにより、地すべりの不安定化を最小限に留める。
- ③ 梅雨期や、台風襲来時等の出水期を避けて施工することが望ましい。

6.2 堰堤工

6.2.1 設計の基本事項

堰堤工は、山脚固定による山腹の崩壊等の発生・拡大の防止・軽減、溪床の縦侵食の防止・軽減、溪床に堆積した不安定土砂の下流への流出の防止・軽減を目的とした施設である。堰の堆砂によって地すべりに対する押え盛土工の役割も期待できる。施設を設置する目的に応じて、施設の規模、構造等を選定し、計画する。

*1 林野庁「治山技術基準（総則・山地治山編）解説」、第4章第4節（2020）

堰堤工の設計については、「改訂新版建設省河川砂防技術基準(案)同解説設計編[Ⅱ]」*1も参考とする。

(1) 洪水量の算定

- ① 流域面積は調査で用いた適切な縮尺（1/5,000程度）の地形図より求める。
- ② 水通し断面の決定の基礎となる設計洪水量は、降雨量の年超過確率1/100程度（100年に1回程度起こると考えられるピーク時の流出量又は既往最大のうち、大きい方を採用し、土砂混入率を考慮して設定する。設計洪水量は合理式（技術書「Ⅲ計画設計編、4.1水路工 4.1.1設計の基本事項参照）により算定することを標準とする。

(2) 水通し断面の決定

水通し断面は堰堤上下流の地形、地質、溪岸の状態及び流れの方向等を考慮して定める。原則として水通しの位置は、その中心線が現河床の中央となるようにする。断面形状は原則として図-3.6.1のような逆台形とし、袖小口の勾配は、1：0.5を標準として次式により求めることができる。

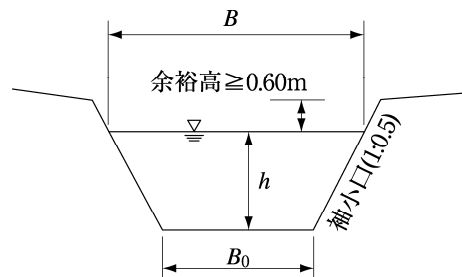


図-3.6.1 水通し断面

$$Q \leq \frac{2}{15} \alpha \sqrt{2g} (3B_0 + 2B) h^{\frac{3}{2}} \dots\dots\dots (3.6.1)$$

ここで Q : 設計洪水量 (m³/s)
 α : 越流係数 (0.60～0.66)
 B_0 : 底幅 (m)
 B : 上幅 (m)
 g : 重力の加速度 (9.8m/s²)
 h : 縮流前の越流水深 (m)

余裕高は、設計洪水量が200m³/s未満の場合は0.6m、200m³/s以上500m³/s未満の場合は0.8m、500m³/s以上の場合は1.0mを標準とする。なお、計画高水位 (h) と余裕高 (△h) の比 (△h/h) は表-3.6.1の値以下としないようにする。

表-3.6.1 計画高水位 (h) に対する余裕高 (△h) との比と河床勾配

勾配	～1/10	1/10～1/30	1/30～1/50	1/50～1/70	1/70～1/100	1/100～1/200
△h/h値	0.50	0.40	0.30	0.25	0.20	0.10

*1 (社)日本河川協会：改訂新版建設省河川砂防技術基準(案)同解説設計編[Ⅱ]、p. 3～18 (1997)

なお、水通し幅は、落下水が堰堤工下流部の溪岸に当たらない範囲で溪流幅の許す限り広くとる。また、越流水深は下流部の洗掘を軽減するため、できるだけ小さくすることが望ましい。

(3) 本堤 (図-3.6.2)

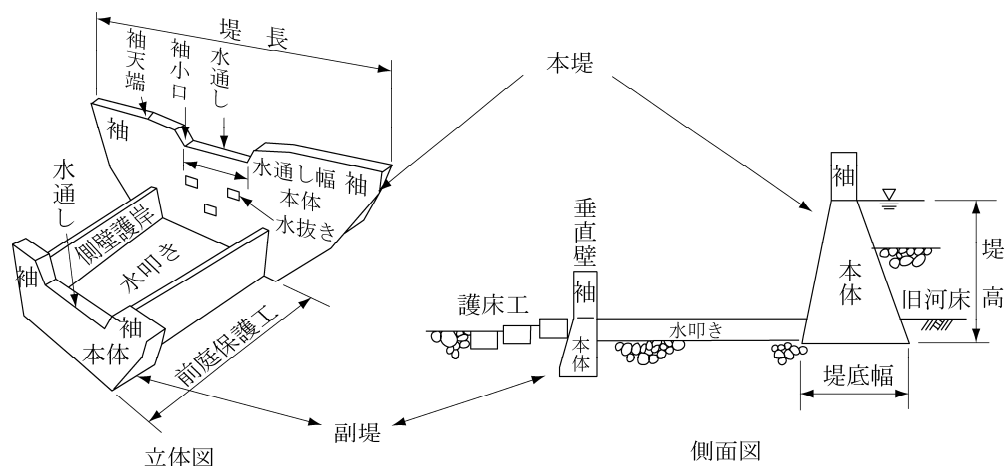


図-3.6.2 堰堤工概念図 (コンクリート)

堰堤の材質としては、コンクリート、鋼製枠、大型ふとんかご等がある。コンクリートを用いたものをコンクリート堰堤工、鋼製枠、大型ふとんかご等を用いたものを枠組堰堤工と呼ぶ。堰堤工の施工に当たっては、施工地点の地盤の性状、仮設道路整備等の運搬条件等を考慮して、これらの中から適切な材質を選定する必要がある。

枠組堰堤工の場合、天端幅、上下流勾配等の決定については安定計算によるが、一般のコンクリート堰堤工の場合は以下を基本とする。

- ① 最小天端幅は、1.5mとする。
- ② 下流法勾配は、1 : 0.2を標準とする。
- ③ 上流法勾配は、安定計算により決定する。
- ④ 基礎地盤への根入れ深さは、基礎が岩盤の場合 1m以上、砂礫層の場合 2m以上を標準とする。
- ⑤ 重力式コンクリートダムの場合、堤高 (H) が $H < 15\text{m}$ の堰堤にあつては、静水圧を考慮して安定計算を行う。ただし $H \geq 15\text{m}$ の堰堤については、静水圧に加え、堆砂圧、揚圧力、地震時慣性力、地震時動水圧を考慮して安定計算を行う。
- ⑥ 水抜工の目的は、施工中の仮排水、堆砂後の水圧減少、特別な効果として流出土砂の調節、に大別されるが、主たる目的は、施工中の仮排水にある。設置箇所は上部 2 か所、下部 1 か所とし、その寸法は表-3.6.2を標準とするが地区の流域面積や設計洪水量等を考慮し決定する。なお、上部の水抜工は、構造上弱点とならないよう原則として水通し天端より 2m以上離れた箇所に設け、水抜工相互の水平間隔も 2m以上とする。

表-3.6.2 水抜工の寸法

流域面積	下部に設置する水抜き暗渠 (m)	上部に設置する水抜き暗渠 (m)
2 km ² 未満	0.5×0.5	0.3×0.3
2 km ² 以上	0.6×0.6	0.4×0.4

水叩工の厚さは、落下水の衝撃に耐えるとともに水叩き底面の揚水圧にも十分耐えるものでなければならない。水叩きの厚さの決定には、次のような計算式がある。

水クッションがない場合0.2

副堤は、本堤の下流の適当な位置に設け、本副堤間の堆砂と水クッションによって落水の衝撃力を吸収緩和させ、洗掘を防止しようとするものである。機能的には水叩工と同様である。なお、副堤の位置は式(3.6.2)を参考として決定する。



6.2.2 設計の留意事項

- ① 施設の設置により背後の地すべりブロックに対して、地下水流動阻害等の悪影響を及ぼすことのない構造とする必要がある。
- ② 地すべりブロック内に設置することは極力避けるが、やむを得ず地すべりブロック内に設置する場合は、地すべり土圧に耐えるものとするか、ある程度の変形にも耐えられる材質とする。
- ③ 堰堤の基礎及び両翼は、原則として基礎岩盤に貫入させる。その際の基礎掘削は最小限で済むような構造とし、掘削により地すべりや斜面崩壊を誘発させないように十分に留意する。なお、枠組堰堤等の柔構造堰堤の場合は、必ずしも岩着を原則としない（図-3.6.4）。

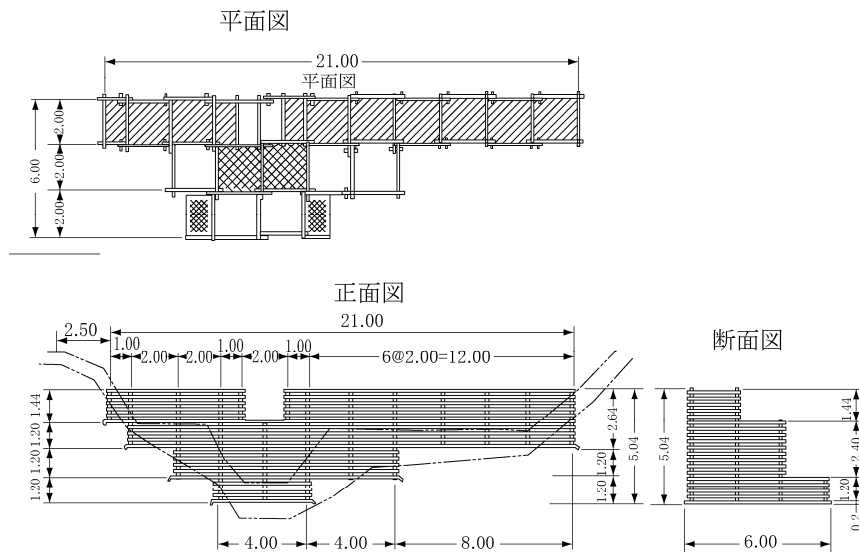


図-3.6.4 枠組堰堤例

- ④ 堰堤工計画施工地点で基礎岩盤が露出していない場合は、地質調査のためのボーリング調査を行い、地質情報を入手してから詳細設計を行うことが望ましい。
- ⑤ 堰堤によって地下水位が上昇し、地すべりの移動が助長されるおそれがあるため、それを防ぐ必要がある。したがって堤体には必ず水抜工を設けるとともに、地下水位上昇のおそれのある地すべりブロック下部には地下水排除工を設ける。
- ⑥ 堰の高さは、(ア)堆砂による安全率の上昇を期待しない場合は、現河床を維持するために必要な高さ、(イ)堆砂による安全率の上昇を期待する場合は、対象地すべりの安定計算により所定の安全率が得られる高さとする。
- ⑦ 堆砂が完了した際の堆砂勾配は旧河床勾配の1/2程度を標準とする。ただし、堆砂勾配が1/5～1/10となる地域も見られるので、近傍類似地区の堆砂勾配を事前に調べ参考とすることが望ましい。
- ⑧ 溪岸に沿って地すべりブロック末端が長く続く場合や縦横侵食の著しい場合には、高さの低い堰堤工を上流に向かって順次堆砂線末端近くに設置する階段工とするが、この場合には堆砂勾配は旧河床勾配の1/2より緩やかになる。この場合にも事前に近傍類似地区の堆砂勾配を調べ参考とする。
- ⑨ 土砂流等が想定される場合の堆砂勾配は別途考慮する。

6.2.3 施工時の留意事項

- ① 移動の激しい地すべりブロックに対しては、一たん、蛇かご・ふとんかご等により仮設のダムを設け、移動量を減少させた後に堰堤を施工する。
- ② 押え盛土効果の早期発現のため土砂を投入する場合もある。
- ③ 河川・溪流の基礎及び溪岸に岩盤が露出していない場合は、掘削による地すべりや崩壊に十分に留意する必要がある。特に、袖部掘削に伴って湧水が認められる場合は、初めは小規模な崩壊でも徐々に上方に拡大する危険性が高い。

6.3 溪流暗渠工

6.3.1 設計の基本事項

溪流暗渠工は、溪岸の侵食が連続的で溪床が深く、他の侵食防止工では抑制が困難な場合に採用する。図-3.6.5に本工法の模式図を示す。

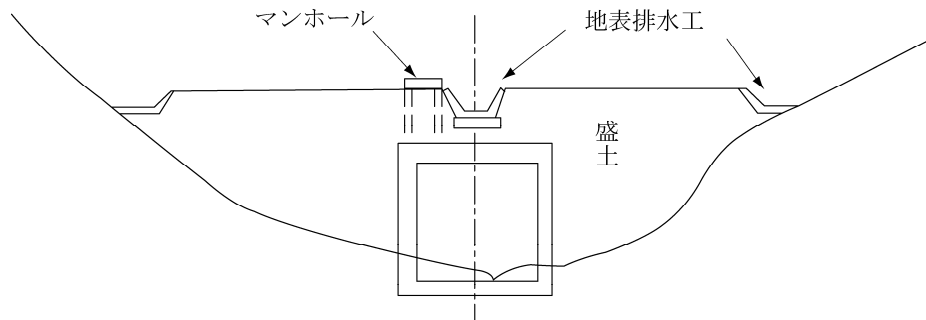


図-3.6.5 溪流暗渠工模式図

6.3.2 設計の留意事項

- ① 暗渠の設計流量は、地区周辺の過去の降雨強度等の実績を参考として決定する。
- ② 暗渠断面の算定に当たっては、木材等の流下物が暗渠内に詰まらないよう設計流量に30%を割増し^{*1}、かつこれら流下物が流下する際にも満流とならないようにする。他省庁との協議が必要な場合にはこれにより決定する。
- ③ 洪水時、多量の流下物が発生するおそれのある溪流での施工を避ける。
- ④ 暗渠は地すべり土圧が直接本体に作用しない箇所に設置することを原則とする。したがって、移動中の地すべりにあつては盛土工等を併用し、地すべりを抑制あるいは抑止させることが必要である。
- ⑤ 盛土工を併用し、溪流を埋め立てる場合には、周辺斜面からの地表水を排除するための排水路を盛土周辺部に設ける。
- ⑥ 暗渠には維持管理上マンホールを適宜設ける。
- ⑦ 暗渠の材質はコンクリート製、コルゲート製等から、地形・土質・施工条件等を考慮して決定する。
- ⑧ 流水の仮回し方法についても検討する。

*1 （社）日本河川協会：改定新版建設省河川砂防技術基準（案）同解説 設計編〔Ⅰ〕p.119（1997）

6.3.3 施工時の留意事項

- ① 掘削を伴う場合には湧水や小崩壊に注意するほか、大雨時等には地すべり活動の監視とともに、上流からの異常出水に注意する。
- ② 流水の仮廻しは、新たな末端侵食を生じないように、現地にあった場所と方法を考慮する。
- ③ 地山に湧水等があり地下水を堰き上げる可能性がある場合は、ドレーン等の地下水排除工の設置について検討する。

6.4 河川付替工

6.4.1 設計の基本事項

河川付替工は、河川屈曲による地すべり舌端部の侵食と地すべりによる河川狭窄が反復される地すべりブロックにおいて、河川をショートカットすることにより地すべりを回避するもので、他の工法では地すべりの抑制が困難な場合、若しくは他の工法に比べ経済的な場合に採用する。

6.4.2 設計の留意事項

- ① 河川の付替えにより生ずる残地（旧河川）は、埋戻しを行った上、水路工として施工し、周辺斜面からの地表水を排除する。
- ② 新河道は安定した岩盤に計画するとともに、河川勾配が変化する場合には落差工等を適宜設ける必要がある。また、必要に応じて護岸工を計画する。
- ③ 他省庁との協議を必要とする河川の付替えには、新しく計画される河川位置、構造等について十分協議の上決定する。

6.4.3 施工時の留意事項

地すべりに近接していることが多いので、大雨時等には地すべり活動の監視とともに、上流からの異常出水にも注意する必要がある。

6.5 海岸侵食防止工

6.5.1 設計の基本事項

地すべりブロック末端の海岸が波浪により侵食され地すべりを誘発している場合には、海岸堤防等により侵食を防止する。また、消波ブロック等を設置する場合もある。

6.5.2 設計の留意事項

- ① 海岸線の大部分は海岸法による指定地域であるため、工作物については原則として「海岸保全施設の技術上の基準・同解説」*1に準ずる。
- ② 海岸堤防により地下水位が上昇するおそれがある場合には、地下水排除工を併用する。

*1 （公社）日本港湾協会：海岸保全施設の技術上の基準・同解説（2018）

6.5.3 施工時の留意事項

床掘時には湧水や小崩壊に注意するとともに、大雨時等には地すべり活動を監視しながら施工することが望ましい。

6.6 湖岸侵食防止工

6.6.1 設計の基本事項

ダム等の築造によってダム上流側が湛水し、ダム湖周辺の斜面がダム湖水位の変動、波浪等により侵食され、地すべりを誘発する恐れがある場合にあっては、湖岸の侵食防止工を行う。工法としては、消波ブロックや法枠工の設置等がある。

6.6.2 設計の留意事項

- ① 湛水位の変動によっても安全が損なわれない構造であることが必要である。
- ② 工法等については溪流護岸工に準ずるが、高さ、根入れの決定に当たっては対岸からの吹送による波浪の影響を考慮する（土地改良事業計画設計基準・設計「ダム」参照）。
- ③ 放水により水位が急低下する場合には、斜面に間隙水圧が残存するので、留意する（基準書「3.3.5 地すべり地域における土地改良事業の工事計画、(1) 貯水池建設計画」参照）。

6.6.3 施工時の留意事項

施工箇所は、一般には地すべりブロックの末端部にあたるため、斜面の掘削に当たっては湧水や小崩壊等に注意するとともに、地すべりの活動を監視しながら施工することが望ましい。

6.7 鉄筋挿入工（地山補強土工）

6.7.1 設計の基本事項

鉄筋挿入工（地山補強土工）は、自然斜面、切土法面あるいは既設盛土を対象に、地山内に補強材を構築し補強土構造体を形成する工法である。補強材をグラウトで全面定着し、地山の変形に伴い補強材へ受動的に作用する抵抗力により変形を拘束し、地山を安定化させる構造を持つ。自由長部を持たず緊張力を導入しないことから、アンカー体と地表付近の頭部定着部を高強度引張材で連結させ、所要の引張力を与え受圧板を介して積極的に土塊を安定化させるアンカー工とは異なる補強メカニズムを有している。設計に当たっては、関連技術書等^{*1}を参考にしながら適切に実施する必要がある。

(1) 構造

本工法は、地山内に複数の補強材を設置し、掘削面は表面材で被覆し、補強材と表面材を頭部定着材で連結することにより地山の安定化を図るものであり、種々の構造部材から構成される。図-3.6.6に基本的な構造を示す。図-3.6.7に「地山補強土工法設計・施工マニュアル」に示されている地山補強土工法の分類を示す。

切土安定化工法は、用地制限や用地の有効利用の目的等により、自然斜面・その切土面や既設

*1 （公社）地盤工学会：地山補強土工法設計・施工マニュアル（2013）

の盛土法面の安定化を、土留壁を設けずに標準勾配（無補強でも安定化している斜面勾配）よりも急勾配の切土を行う工法としている。

切土補強土壁工法は、鉛直から1:0.3程度までの急勾配切土を行う際に、土留壁と地山補強材を連結して安定性を得る工法としている。

地山安定化工法は、自然斜面・切土法面、盛土法面を対象として、掘削を伴わずに地山内部に補強材を配置し、必要に応じて表面材を設置することにより、安定性や変形性を向上させる工法としている。

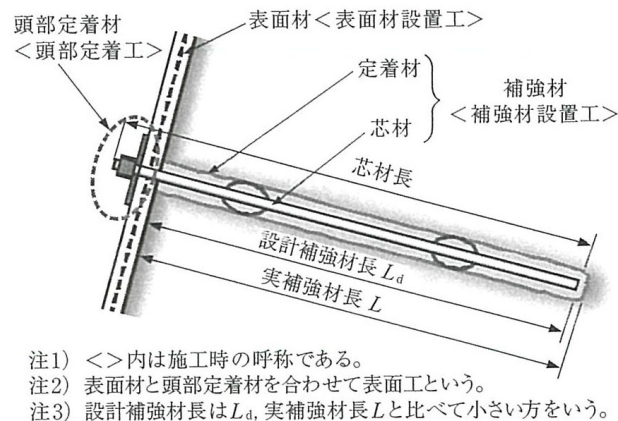


図-3.6.6 地山補強土工法の基本的な構造^{*1}

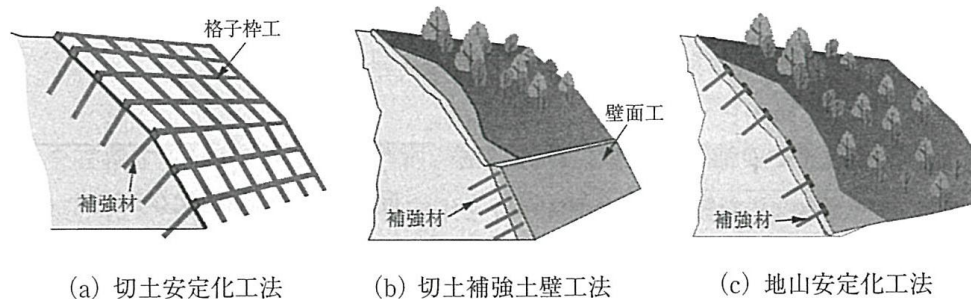


図-3.6.7 地山補強土工法の分類^{*1}

6.7.2 設計の留意事項

鉄筋挿入工（地山補強土工）の設計では、その使用目的や重要度、地盤条件、地下水の状態及び周辺環境を考慮し、施工時及び完成後の供用期間を通して想定される荷重状態（施工時、常時、降雨時、地震時等）に対して、構造物全体が安定で各部材が所要の性能を有し、かつ有害な変形が生じないように補強材や表面材の仕様を設計する必要がある。

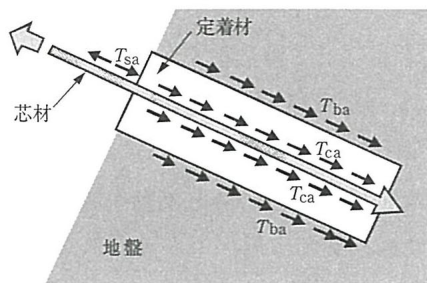
補強材の補強効果としては、地山の剛性や補強材の変形レベルに応じて曲げ・せん断・圧縮・引張抵抗が複合的に発揮される。「地山補強土工法設計・施工マニュアル」では、関連する技術書等を参照し、これらの補強効果のうち、主たる補強効果である引張補強効果について取り扱っている。

^{*1} （公社）地盤工学会：地山補強土工法設計・施工マニュアル、p. 28～29（2013）

ここで、補強材周囲の許容引抜抵抗力 T_{pa} は、図-3.6.8に示すように芯材と定着材との許容付着力 T_{ca} と、定着材と周辺地盤との許容摩擦抵抗力 T_{ba} のうち、小さい値 ($T_{pa} = \min(T_{ca}, T_{ba})$) として求められる。さらに図-3.6.9に示すように移動土塊側の許容引抜抵抗力を T_{1pa} 、不動土塊側を T_{2pa} とした場合、移動土塊側の全許容引抜抵抗力は、同図に示すように移動土塊側の補強材周囲の許容引抜抵抗力 T_{1pa} と表面材による許容支圧抵抗力 T_{0a} との総和であり、不動土塊側の全許容引抜抵抗力は、補強材周囲の許容引抜抵抗力に T_{2pa} に等しい。

設計において考慮する補強材の許容引張力 T_a は、一般に図-3.6.9に示すように、芯材の許容引張強さ T_{sa} と、不動土塊側の全許容引抜抵抗力 T_{2pa} と、移動土塊側の全許容引抜抵抗力 $T_{1pa} + T_{0a}$ のうちの最小値であり、式 (3.6.3) で求められる。

$$T_a = \min(T_{sa}, T_{1pa} + T_{0a}, T_{2pa}) \dots\dots\dots (3.6.3)$$



<設計抵抗力の決定>

- ①芯材の許容引張強さ (T_{sa})
 - ②芯材と定着材との許容付着力 (T_{ca})
 - ③定着材と周辺地盤との許容摩擦抵抗力 ($T_{ba} = \tau_a \cdot A$)
- ここに、 τ_a : 定着材と周辺地盤との周辺摩擦抵抗度
 A : 定着材周面積
 のうち小さい方で決定する。

図-3.6.8 地山補強土工法の補強材周囲の許容引張抵抗力*1

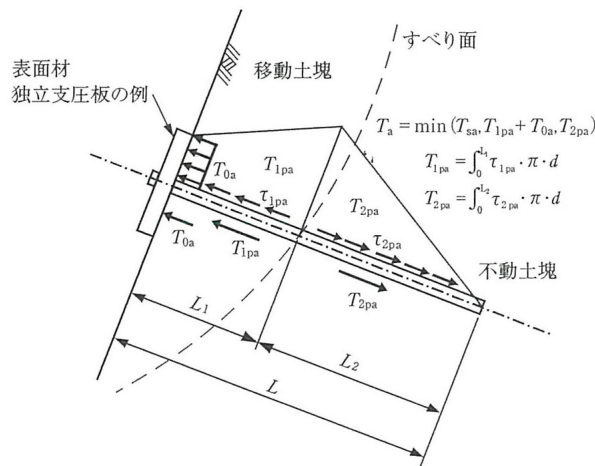


図-3.6.9 移動土塊を考慮した力の概念図*1

6.7.3 施工時の留意事項

地山補強土工法では、補強材を地山に確実に定着させることが重要であり、補強材設置工が品質に大きな影響を与える。このため、地盤条件・地質条件を把握し、適切な補強材の設置方式・施工機械を選定する必要がある。

設計時に、切土法面を上部から段階的に掘削し、掘削面に鉄筋挿入工を打設することで法面の安

*1 (公社) 地盤工学会：地山補強土工法設計・施工マニュアル、p. 89 (2013) (一部変更)

定性を確保した後に、さらに下部の法面を掘削するサイクルを繰り返す逆巻き施工（図-3.6.10）を前提に計算をしている場合は、逆巻きで施工を行う施工計画としなければならない。施工制約上、切土法面全体を掘削後に鉄筋挿入工を実施する施工手順を採用する場合は、施工時の安全率（地山の自立性）を確保できていることを確認する必要がある。

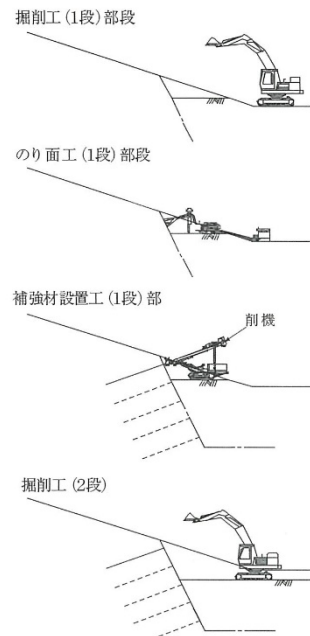


図-3.6.10 逆巻き施工の例^{*1}

6.8 擁壁工

擁壁は、主要部材の材料や形状、力学的な安定のメカニズム等によりさまざまに分類されるが、主にその設計方法の相違により図-3.6.11、図-3.6.12^{*2、*3}のように分類される。

擁壁はコンクリート擁壁と枠工に大別され、コンクリート擁壁は、さらに力学的な特性からブロック積擁壁、重力式擁壁に分類される。重力式擁壁は、重力式擁壁、もたれ式擁壁に細分される。枠工には、井桁組擁壁とかご枠がある。

枠工は、柔軟性があり、多少の変形にも追従できる。鋼製部材を組み立てた枠内に割石を詰める鋼製枠土留工や鋼製枠工もある。また、応急対策に用いるふとんかごも枠工に準ずる。枠工は、コンクリート擁壁に比べ軟弱な基礎に適する。

設計に当たっては、関連技術書等^{*2、*3、*4}も参考にしながら適切に実施する必要がある。

壁高が高いもの（一般に8mを超える場合）や重要度の高いものについては、地震による慣性力が作用するものとして設計する。

*1 （公社）地盤工学会：地山補強土工法設計・施工マニュアル、p.105（2013）

*2 農林水産省農村振興局整備部設計課「土地改良事業計画設計基準 設計 農道 基準書」16.1（2005）

*3 農林水産省農村振興局整備部設計課「土地改良事業計画設計基準 設計 農道 技術書」第9章、第1節（2005）を引用（一部変更）

*4 （社）日本道路協会：道路土工指針 擁壁工（2012）

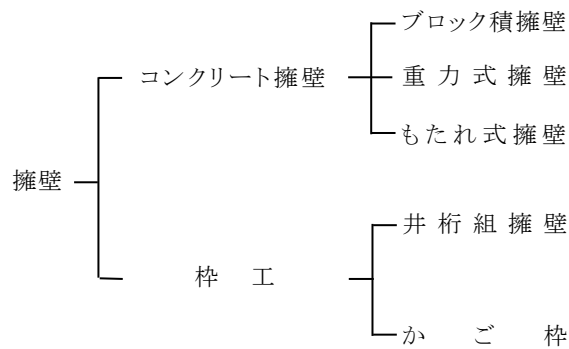


図-3.6.11 擁壁の分類（地すべり防止対策でしばしば用いられている工法）*1

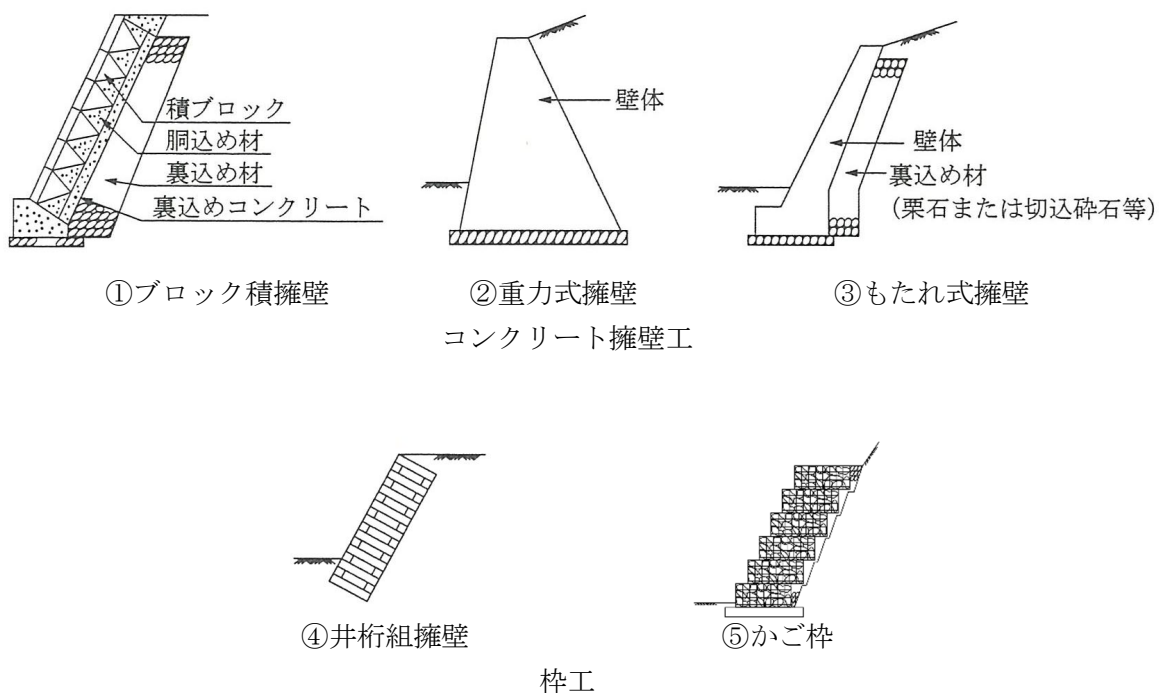


図-3.6.12 各擁壁の概要図*2

6.8.1 設計の基本事項

擁壁工は、法先の崩壊を防ぎ、地すべりの誘発を防ぐためのものである。地すべり末端部斜面の法先が崩壊し次々に上部まで移動するような場合に用いられる。また、傾斜地における農地や農道の法面崩壊防止にも用いられる。なお、本工法は地すべりの活動力に直接耐え得るものではないが、ごく小規模な地すべりに対しては直接抑止のために設置することがある。

*1 農林水産省農村振興局整備部設計課「土地改良事業計画設計基準 設計 農道 技術書」、p. 515（2005）及び（社）日本道路協会：道路土工指針 擁壁工、p. 7（2012）を参考に作成

*2 農林水産省農村振興局整備部設計課「土地改良事業計画設計基準 設計 農道 技術書」、p. 516（2005）（一部変更）

6.8.2 設計の留意事項

(1) コンクリート擁壁工

地すべりブロックに設ける擁壁の設計に当たっては以下の点に留意する。

- ① 擁壁を設ける位置は、基礎の支持力が十分で土圧が斜め上方からかかる位置とする。ごく小規模な円弧すべり等で斜め下方から土圧がかかる場合には、比較的小さな土圧であっても転倒する可能性がある。また、基礎が岩盤であってもその中に軟質の破碎帯等があれば圧密により変形することがあるので、調査に際しては十分基礎の状態を把握しておくことが必要である。
- ② 擁壁の安定は転倒、滑動、地盤の支持力の面から検討する。また、ごく小規模な地すべりの直接的な抑止を目的として設計する場合は、地すべりブロック全体が所定の安全率を確保するように設計する。
- ③ 擁壁の背面にかかる間隙水圧が上昇しないようにしなければならない。このため適切な粒度のフィルターを設けるとともに、地下水を排除するための排水口の口径、位置を検討する。また、必要に応じて壁面より排水ボーリングを施工する。

(2) 枠工

基盤が比較的軟弱な地すべりブロック末端には枠工が効果的である。また、枠工は透水性があるため、背面の浸透水、地下水の排除が容易である。

6.8.3 施工時の留意事項

擁壁の施工時、掘削により地すべりを誘発することのないよう留意する。

7. 斜面改良工

(基準書 第3章、3.4.2(4)関連)

7.1 排土工

排土工は、地すべり斜面上部の崩土荷重を減じることにより、すべり面に対するせん断推進力を減殺し、斜面の安定化を図る工法で、すべり面の形状によっては最も確実な効果が期待できる。

排土工の設計は、排土区域、排土量、切土法面勾配、切土高及び隣接斜面の安定確保について検討を行う。

7.1.1 設計の基本事項

(1) 排土区域と排土量

地すべり頭部を排土区域として安定計算を行い、目標安全率が得られるとともに最小排土量で最大の効果が得られるよう区域の決定を行う。

(2) 排土区域の概定法

安定計算の前段階として、排土区域を概定するには、次のような方法がある。

地下水排除工等により地下水位がすべり面の位置付近まで低下した場合を前提として図-3.7.1のように考えると、すべり面において接線と水平線がなす角 α がすべり面での土のせん断抵抗角 ϕ' (ϕ' は有効応力表示のせん断抵抗角で、残留強度の ϕ'_r 、完全軟化強度の ϕ'_s 等) に等しい点 (図-3.7.1のF点で、これを長期安定を考慮するときの「中立点」と呼ぶ。) の鉛直上部にあたる斜面上の点 (図-3.7.1のA点) より上部が概定の排土区域となる。これは以下の理由による。

概定のため、すべり面の粘着力を0と仮定した場合、式(3.3.1)より

$$F_s = \frac{\Sigma(W \cos \alpha - u \ell) \tan \phi'}{\Sigma W \sin \alpha}$$

となる。さらに、地下水位がすべり面付近まで低下しているという前提条件の場合、間隙水圧は0となり、

$$F_s = \frac{\Sigma W \cos \alpha \tan \phi'}{\Sigma W \sin \alpha}$$

となる。ここで、図-3.7.1のように、 $\alpha = \phi'$ となるスライスa b d cを考えると、そこでは地すべりブロックのスライスをすべらせようとする力 $T (=W \sin \alpha = W \cos \alpha \tan \phi)$ はすべり面沿いの土のせん断抵抗力 $\tau \ell (W \cos \alpha \tan \phi')$ と等しくなる。これより上方のすべり面では $\alpha > \phi'$ で $T > \tau \ell$ となり、その差はすべらせようとする方向にはたらくことから、土塊を切り取ることはその力を小さくして斜面安定上有利にはたらくが、これより下方のすべり面では $\alpha < \phi'$ で $T < \tau \ell$ となり、その差はすべりに抵抗する方向にはたらくことから、土塊を切り取ることはその力を小さくして斜面安定上不利にはたらく。

なお、ここで示した手法は排土区域の概定法であり、実際には安定計算により排土区域を設定する必要がある。

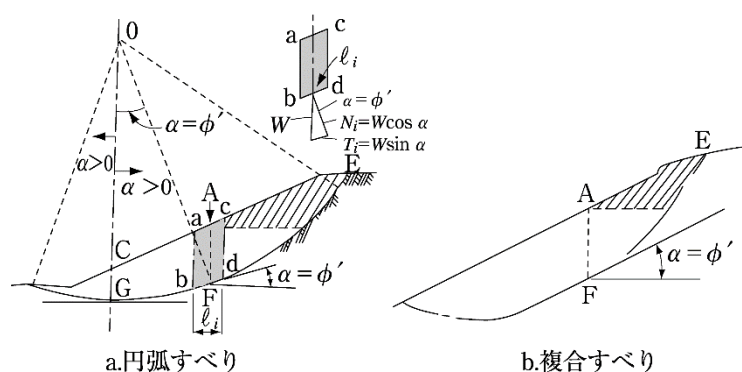


図-3.7.1 排土区域の範囲

(3) 切土法面勾配と切土高

切土法面勾配及び切土高（直高）は、切土斜面の地形、地質、土質、地下水状況及び二次地すべりの発生の有無等、排土後の斜面の安定に影響を及ぼす諸要因について検討を行い決定する。

切土した法面は、当初安定を保っていても時間の経過とともに次第に不安定化し、表層崩壊を起こす例が多いので、同じ地質条件下で周辺の天然に存在する急崖斜面の傾斜角、直高の頻度分布を調査し、その結果をもとに排土工を設計するのがより安全な方法である。

なお、次のような地質や地質構造上問題となる地山の排土工の設計に当たっては、天然急崖斜面の調査はもとより法面保護工、地表水・地下水処理工、場合により背後斜面の安定確保のための対策工まで含めた総合的検討が必要である。

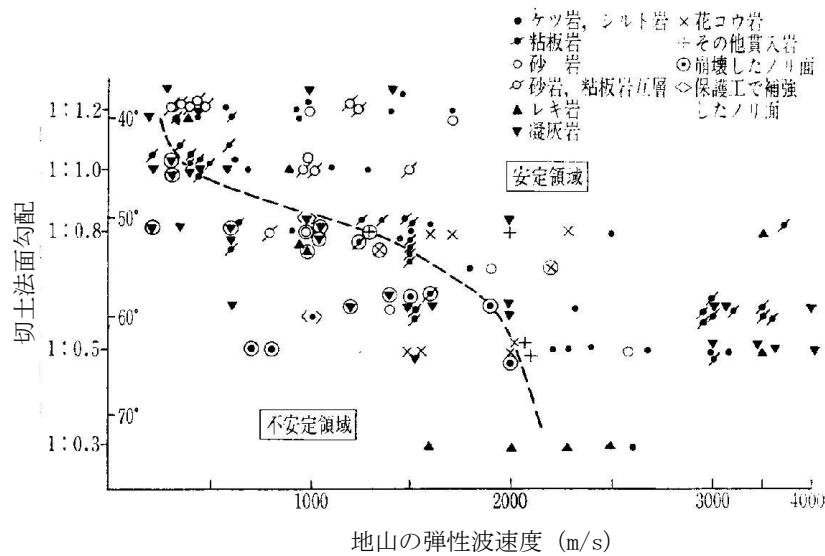
- ① 破碎帯や割れ目（亀裂節理）の発達する岩盤斜面
- ② 頁岩等剥離しやすい層理面の発達する流れ盤斜面
- ③ 膨張性岩石から構成される斜面
- ④ シラス、マサ、固結度の低い砂や砂礫層等、侵食に弱い土砂からなる斜面
- ⑤ 地下水の湧出を伴う斜面

切土法面勾配の設定は、次に示す勾配等を参考とする。

- ① 軟岩の場合は、1:0.5～1:1.2程度、直高7mごとに幅1.0～2.0m程度の小段を設ける例が多い。
- ② 砂質土等の場合は切土法面勾配1:1.0～1:1.5程度、直高5mごとに幅1.0～2.0m程度の小段を設ける例が多い。

なお、軟岩の場合は、地質や性状によって安定が確保できる勾配には差があることから、切土勾配を安易に決定することは避けなければならない。例えば、奥園（1972）^{*1}は、高速道路切土地点で測定した弾性波速度と、その地点で実際に施工した法勾配と、切土後の崩壊の有無についてまとめた図-3.7.2を示し、図中の境界線より上側の緩い勾配で切土することが望ましいとしている。これによれば、軟岩に相当する2,000m/sより遅い岩盤の場合は、同じ軟岩であっても地山の弾性波速度に応じて切土法面の安定勾配が大きく変化しており、切土勾配決定の際には注意しなければならない。

*1 奥園（1972）：切盛土工計画における土質工学上の問題点とその対策、地盤工学会誌、20. 11、pp. 17～22（一部変更）

図-3.7.2 地山の弾性波速度と切土法面勾配との関係^{*1}

(4) 排土区域隣接斜面の安定確保

排土工の設計に当たっては、背後及び側面の斜面について、地形、地質調査結果に基づき、これら斜面の地すべりを誘発する危険のないことを確認する。

第三紀層地すべり地帯等においては、対策を必要とする新期地すべりブロックの背後に非常に古い旧期の地すべりブロックが残存していることがしばしばあるが、これは外観上地形的な特異性を除けば地山との区別が困難であり、良好な地下水貯留体となっていることが多い。このような斜面にあつては、新期地すべりブロック頭部の排土により旧期地すべりブロックが再活動する危険があり、特に切土面の法尻より多量の地下水湧出を伴う場合はこの危険性が増大する（図-3.7.3）。

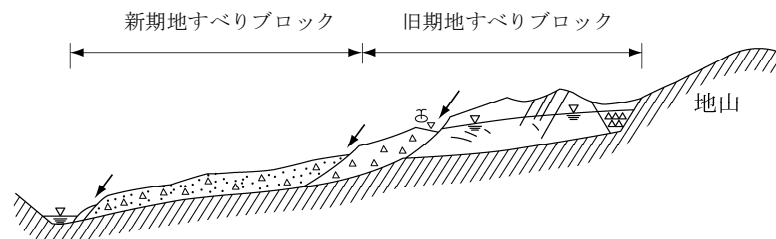


図-3.7.3 旧期地すべりブロックの残留

また、背後斜面が地山であっても、地質構造上切取斜面に対して流れ盤であつたり、切土面と平行方向に大規模な断層等が存在する場合には岩層すべりを生じる危険性がある（図-3.7.4）。

したがって、これら背後斜面も含めて排土を考えたとき、その規模が非常に大きくなる場合があり、本工法の採用を見合わせる事態も生じてくるので、調査時点では、これらの状況を確実に把握しておかねばならない。

*1 奥園（1972）：切盛土工計画における土質工学上の問題点とその対策、地盤工学会誌、20. 11、pp. 17～22（一部変更）

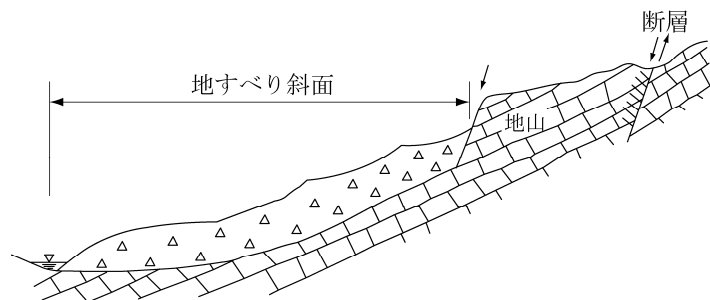


図-3.7.4 背後斜面に存在する断層

(5) 切盛調整による斜面の安定化

地すべり斜面下部の地形及び地質が、斜面上部における排土の処分としての盛土を許容し得る条件にあるならば、これを押え盛土として利用し、排土量の軽減を図る。複合型地すべり斜面にあつては、斜面上部と下部の切盛調整だけで全体の安定を確保することが困難な場合もあるため、単独ブロック相互の切盛バランスを図りながら、斜面全体の安定を導く検討も必要である。

7.1.2 設計の留意事項

排土後の法面は、一般に降水による侵食、風化の進行等種々の要因が加わって脆弱化し斜面崩壊を起こしやすいため、それぞれの地形、地質条件に適合した法面保護工や保全工を検討する必要がある。岩盤斜面で切土を行う場合は、切土によって岩盤が緩み降雨が浸透しやすくなることがあるため、モルタル吹付工等による浸透防止を実施することが望ましい。

降水等による侵食防止として一般には植生工を、特に風化しやすい軟岩、マサ土からなる斜面にあつてはモルタル吹付工やコンクリートブロック砕工を実施する。特に、スレーキングが発生しやすい第三紀の泥岩等の場合は、スレーキングの進行に伴う斜面崩壊に対する対策として、乾湿の繰り返しや拘束圧の減少の防止を図ることが望ましい。例えば、冠頭崖等、急峻な斜面に対して後退性の地すべりを抑制するためにコンクリート吹付工を行うことは有効である。なお、構造物による法面保護工を実施する場合は、水抜きパイプ等を設置し、背面からの地下水が適切に排水されるように配慮する必要がある。

なお、隣接斜面からの地表水の流入防止のための表面排水工や法面湧出水処理のための法面承水路等を設けることがより効果的である（図-3.7.5）。

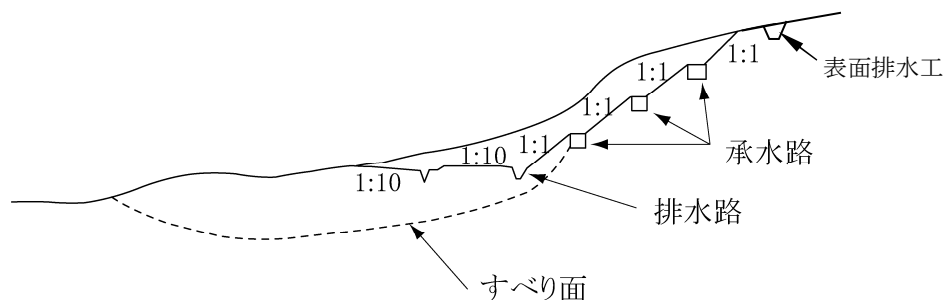


図-3.7.5 排土工模式図

7.1.3 施工時の留意事項

排土工は、自然条件で安定を保っている背後斜面に対してその均衡要素を人為的に改変するため、背後斜面の環境条件や施工方法によっては予期しない重大な事態を招くことがある。したがって、特に人が排土斜面内に立ち入り施工する場合は、施工の安全性を確保するため以下の事項に十分留意する。

- ① 排土により形成された切取り斜面は、地下水位の急激な背面低下を生じ法尻付近が最も危険な状態となるため、降水期等地下水位の高い時期や地下水位が急激に上昇するおそれのある時期での施工は避けることが望ましい。
- ② 切取りは斜面上方から行い、すかし掘りや同一斜面での上下同時作業を行ってはならない。
- ③ 切取り時は背後斜面及び切土法面の状態を常時監視し、背後斜面にあつては地盤変動や引張亀裂の発生、切土法面にあつては、はらみ出しや湧水等異状の早期発見に努める。
- ④ 異状が発生したときは直ちに切取り作業を中止し、亀裂からの降水浸透防止や切取り土砂の埋戻し（押え盛土）等の応急処置を施し、亀裂の拡大や地盤変動の進行の有無の追跡観測体制を整え、排土工法や補助工法の再検討を行う。
- ⑤ 排土法尻に未固結のシルトや砂層等、パイピング抵抗性に弱い地層が出現し湧水を伴う場合は、早急に湧水処理及び法止処理を行い、法尻の洗掘、破壊を防止する。
- ⑥ 切取面付近に（被圧）帯水層等が存在することが事前に判明している場合は、あらかじめ水抜きボーリング工等により地下水処理を施し、減水を確認してから切土工の施工に着手する。

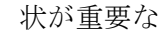
7.2 押え盛土工

押え盛土工は、地すべり斜面の下部に盛土を行うことによりせん断抵抗力を付加することで、斜面全体の安定化を図る工法であるが、設計に当たっては、地すべり斜面下部のすべり面形状や盛土基礎地盤の特性を十分把握した上で行う必要がある。

押え盛土工の設計では、押え盛土区域、盛土量、盛土法面勾配、盛土高及び盛土斜面の安定確保について検討を行う。

7.2.1 設計の基本事項

(1) 盛土区域と盛土量

- ① 地すべり末端部を盛土区域として安定計算を行い、長期・短期ともに目標安全率が得られるとともに最小盛土量で最大の効果が得られるよう範囲の決定を行う。
- ② 安定計算の前段として盛土区域を概定するに当たっては地すべり末端受働部のすべり面形状が重要な要素となる。図-3.7.6に示すように、すべり面末端部が上向きとなる面（a）、若しくは水平となるすべり面（b）では、すべり面の傾斜角 α が0となるG点（これを短期的安定を考慮する場合の「中立点」と呼ぶ。）より斜面下部方向に盛土をすることとする。すべり面末端が下向きとなるすべり面（c）については、その傾斜角や末端部以下の地形条件等によっては盛土そのものが不安定になるおそれがあり、一律な考え方は困難である。

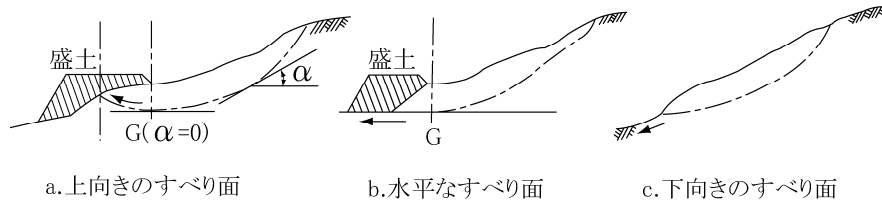


図-3.7.6 すべり面の形状

(2) 盛土区域の決定手法の事例

盛土区域の概定に当たって、すべり面に沿って引いた接線の勾配が0となる点Gより斜面下方向に盛土を行うのは次の理由による。

長期安定を考慮した場合図-3.7.7において $\alpha = \phi'$ (ϕ' は有効応力表示のせん断抵抗角)となるすべり面上の点Fの鉛直上部にあたる斜面上の点Aまで盛土してよいが、

- ① A～C間の盛土はすべらせようとする接線方向分力 $T_1 = W_1 \sin \alpha$ を増加させる(ここで、 W_1 は盛土による荷重増加分、 W_2 は元地形の荷重)。
- ② さらに盛土直後にはすべり面の粘土は、ほとんど飽和状態にあるので間隙圧係数 $\bar{B}$ は $\bar{B} \approx 1$ となり、法線方向分力 N_1 はすべて間隙水圧に起因する力 $U = \bar{B} W_1 \cos \alpha$ で受けもたれる。すなわち W_1 によるすべり面に対する N_1 は $N_1 = W_1 \cos \alpha$ となるが法線方向の有効応力の増分は

$$N_1' = N_1 - U = W_1 \cos \alpha (1 - \bar{B}) = 0$$

となり有効応力の増分はない。したがって、せん断強度の増加もない。言い換えれば、盛土直後では、 $c_u = q_u/2$ 、 $\phi_u = 0$ (c_u 、 ϕ_u は全応力表示の粘着力、せん断抵抗角 q_u は一軸圧縮強度)であり、スライス底面の長さにはたらくせん断抵抗力は

$$\tau \ell = c_u \ell + N_1 \tan \phi_u = c_u \ell$$

で N_1 による盛土直後のせん断強度の増加はない。

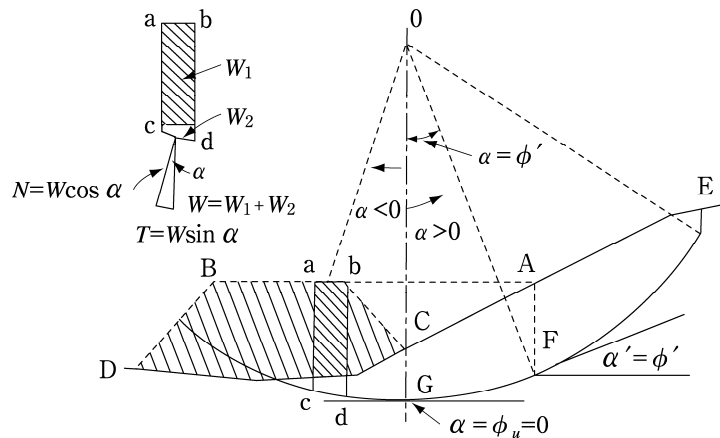


図-3.7.7 盛土区域の範囲

このようにA～C間の盛土は、盛土直後には地すべりを助長させることとなる。したがって、盛土は接線方向分力 T_1 が地すべりを抑制する方向にはたらくすべり面の傾斜角が0となる点Gより斜面下方に対して行うものとする。

(3) 盛土法面勾配と盛土高

- ① 盛土法面勾配及び盛土高は、盛土材料や施工条件等を考慮し決定する。一般には盛土法面

勾配は1:1.8～1:2.0とし、盛土直高5mごとに幅1.0～2.0mの小段を設けることが多い。

- ② 盛土法面は降水等により侵食を受けやすく、浸透水や地下水の影響により法面崩壊を起こしやすいため、適当な工法により保護する必要がある。法面保護工としては、植生工、編柵工、法面蛇かご工、法枠工等が盛土材料の特性や盛土斜面の規模等の状況に応じ用いられている。法尻は地下水の浸出等により脆弱化し不安定となりやすいため、盛土規模や盛土材料の特性に応じ、鉄筋コンクリート枠工やふとんかご工等の排水性に優れた柔軟構造の土留工を施工するか、ジオグリッド、ジオメンブレン等の排水性に優れた補強土工法を用いる。
 - ③ 盛土材料が細粒土の場合は、押え盛土が背面の地すべりブロック内の地下水上昇をもたらす要因となるため、ドレーン、暗渠等による地下水処理を検討する。盛土法面の規模が大きくなる場合は、小段排水路工、法面承水路工、排水路工を検討する。
- (4) 盛土及び盛土斜面の安定確保
- ① 押え盛土の設計に当たっては、盛土斜面及び下位斜面の地盤状況や地下水状況の調査結果に基づき、盛土に伴う基礎地盤の破壊や地下水の遮断等により新たな地すべりを誘発する危険がないか十分な検討を行う。
 - ② 盛土上端部を末端とする地すべりが生ずる可能性があるので、安定計算により検討する。このときの、新たに形成されるすべり面の考え方については、図-3.7.8及び図-3.8.7を参照する。

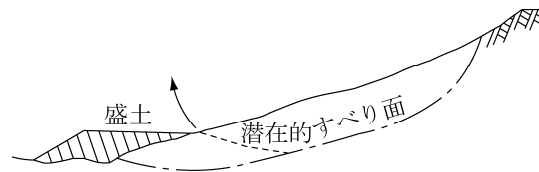


図-3.7.8 潜在的すべり面

- ③ 盛土範囲が斜面中腹となる場合は、盛土範囲を頭部とする地すべり発生の可能性についても検討しなければならない。特に、図-3.7.9に示すように、地すべりブロック末端に過大な隆起、土砂集積が生じている場合には主たるすべり面を切断して二次的なすべり面が形成されていることがあるため注意を要する。

また、盛土が大規模になると盛土の基底破壊を生ずるおそれがあるので、その検討も必要となる。

その他、浅層部に（被圧）帯水層が存在し、その下位層が軟弱な場合には、盛土荷重により帯水層が破壊され、背後斜面の安定に悪影響を及ぼすおそれがあるので注意を要する。

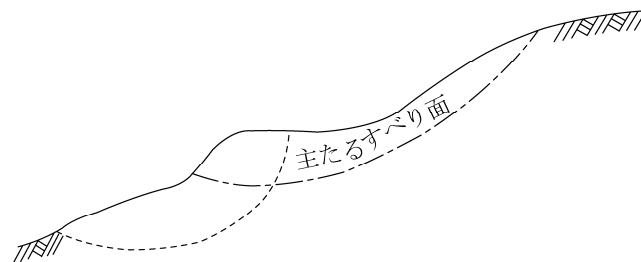


図-3.7.9 末端隆起等に伴うすべり面

7.2.2 設計の留意事項

盛土材料は、得られる範囲でできるだけ単位体積重量やせん断強度が大きく、透水性のある材料を使用することが望ましい。

7.2.3 施工時の留意事項

施工に当たっては、安定計算で用いた単位体積重量やせん断強度等が得られるよう、入念な施工管理を行う。