

### 3. 設 計 編

## 目 次

### 設計編

第1章 総 説.....	1
第2章 抑制工の設計.....	2
2.1 地表水排除工.....	2
2.2 地下水排除工.....	5
2.3 排土工.....	22
2.4 押え盛土工.....	23
2.5 河川構造物による侵食防止工.....	25
第3章 抑止工の設計.....	26
3.1 杭工.....	26
3.2 シャフト工.....	34
3.3 グラウンドアンカー工.....	36

## 第1章 総 説

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

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

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

### 《解 説》

地すべり防止施設には、長期の機能保持のため耐久性のある材料を使用し、経時的な安全率の低下や手戻りを防止し、また維持管理が容易で必要や手間がかからぬよう設計に際して配慮するとともに、施工時に得たデータから条件の変更に応じ随時設計を変更して、現地での適応に努めるものとする。

抑止工の設計は、十分な計画安全率をもって設計するものとする。また、工費の軽減を図り、かつ施工中の災害のないよう、工事の安全性について十分考慮しつつ、準備工・付帯工の設計を行うものとする。

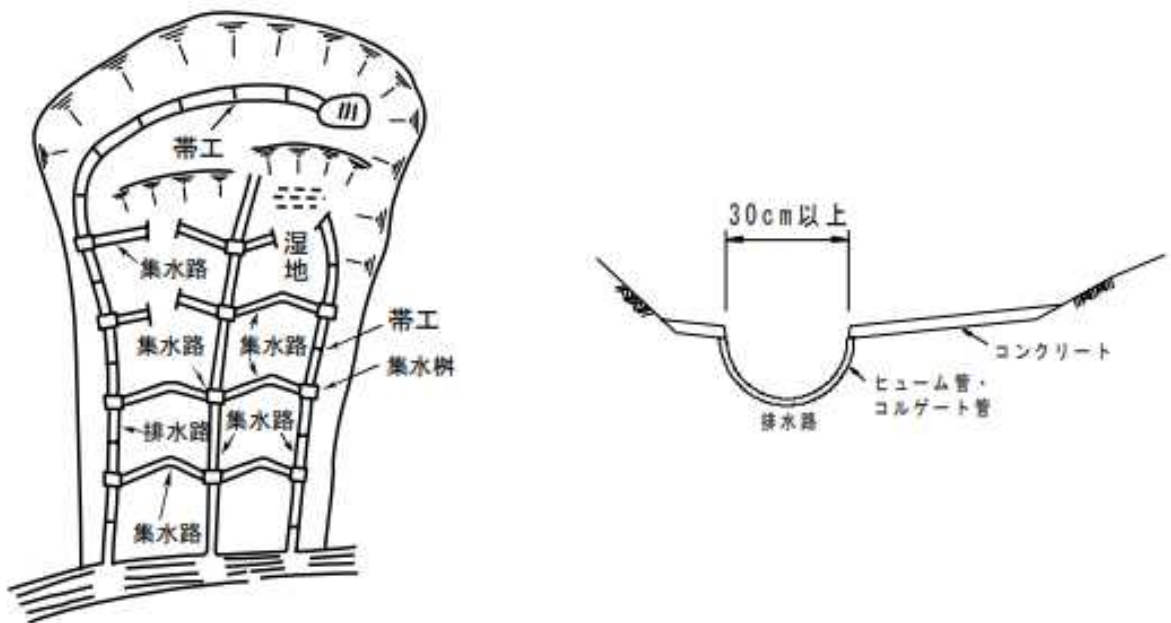
## 第2章 抑制工の設計

### 2.1 地表水排除工

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

#### (1) 水路工

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



(出典：地すべり防止技術指針及び同解説)

図 2-1 地表排水路 (例)

#### 《解説》

① 水路工は、斜面からの地表水の集水とともに凹部に集まる水の再浸透を防ぐ目的を待っているため、掘込水路とする。

また、将来の維持・管理を考慮して、幅の広い浅い形状となるようにする。

- ② 断面は流量計算を行って、対象流量を求め決めるものとする。これに用いる計画対象降雨量は、原則として超過確率 1/50 の規模とする。ただし、最小幅 30cm とする。

計画流量、流路断面の計算は一般的に次式による。

$$Q = \frac{1}{3.6} \cdot f \cdot r \cdot A \quad (2-1)$$

Q : 計画流量 (m<sup>3</sup> sec)

f : 流出係数 (f=0.8~1.0)

r : 計画対象雨量の時間雨量 (mm)

A : 集水面積 (k m<sup>2</sup>)

$$V = \frac{1}{n} \cdot R^{2/3} \cdot I^{1/2} \quad (\text{マニング公式}) \quad (2-2)$$

V : 平均流速 (m sec)

n : 粗度係数

石張コンクリートブロック張水路 0.028~0.035

コンクリート水路 0.015~0.018

コルゲート管水路 0.024~0.030

R : 径深

I : 動水勾配 (≒水路勾配)

- ③ 水路断面は、一般的に土砂等の堆積や変形による断面の現象等を考慮して、②で求めた断面積の 20%以上の余裕をみておく必要がある。

なお、水路工の設計においては、特に次の点に留意するものとする。

( i ) 水路工は底張りするのを原則とする。

( ii ) 支線水路との合流点、屈曲部、勾配の変化点には集水柵を設けるものとする。

また、地すべり地域内の水路工には土砂や枯葉等がしばしば流入して、その機能が阻害されている場合があるため、適切な位置に土砂止めを設けるものとする。

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

- ④ 水路工の肩および切取りのり面に対しては、その破損を防止するため、原則としてのり面保護を行うものとする。

- ⑤ 水路工は、原則として盛土の上に設置しないものとする。

- ⑥ 活動中の地すべり地域内の水路工は、柔軟性を備えたものを標準とする。なお落差のある水路部に集水柵を設ける場合、柵の内りは落差工、流速、越流深度を考慮して決定するが、標準的

には次式によって求めるものとする。(図 2-2 参照)。

$$L = k(h_1 + t)$$

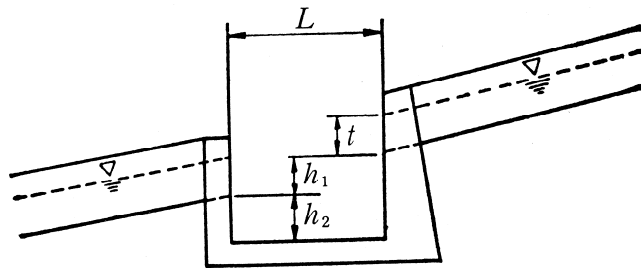
$k$  : 2.5~3.0

$L$  : ますの内のり (m)

$t$  : 上流水路の水深 (m)

$h_1$  : 上下水路床間の落差 (m)

$h_2$  : ますの水褥深さ (0.2~0.5m)



(出典：地すべり防止技術指針及び同解説)

図 2-2 集水柵側面図

集水柵距離間隔は一般に 20~30m とし、最大でも 50m 以下とする。また緩勾配の水路工はこの限りでない。

## (2) 浸透防止工

浸透防止工は、特に浸透しやすい亀裂部や地下水の補給源となる沼地等を対象とし、以下に示すものがある。

### ① 充填工法

亀裂に粘土やコンクリートを詰めるもので、応急対策に適している。

### ② ビニールシート被覆工法

亀裂をビニールシートで被覆するもので、応急対策に適している。

### ③ 漏水防止工法

沼地で漏水がある場合は、底部をアスファルト等の不透水性の材料で被覆する。

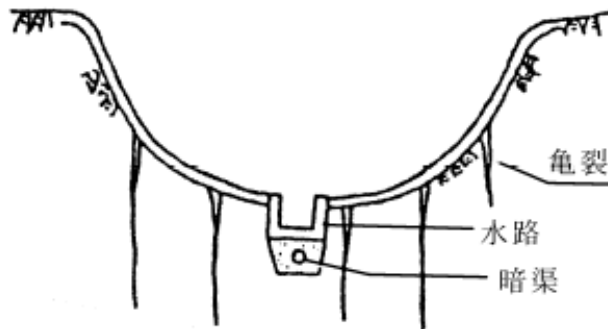


図 2-3 充填工法の例（コンクリート充填）

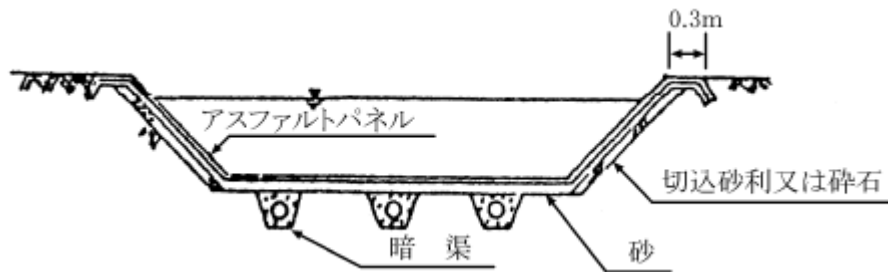


図 2-4 漏水防止工法の例

## 2.2 地下水排除工

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

### （1） 浅層地下水排除工

#### 1) 暗渠工

暗渠工は、漏水を防止し、また、地盤の変形や目詰まりに対してもその機能が維持されるように設計する。

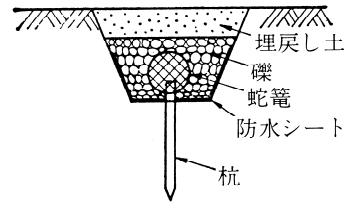
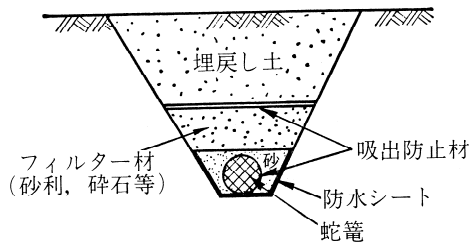
#### 《解説》

暗渠工は、土粒子の間隙に存在する地下水を排除することによって、地すべり土塊の強度を高めたり、深層の地下水への影響を防止するものであり、次の点に考慮して設計するものとする。

- ① 暗渠の配置は、地すべり土塊の土質・地下水の状況を勘案して定める。

- ② 1本の暗渠の長さは**20m**程度の直線とする。目詰まりや集水した地下水が再浸透しないよう、集水柵を設けて地表排水路に排水を行う構造とする。
- ③ 暗渠の深さは**2m**程度を標準とし、底には漏水防止のため防水シート等を布設する。また暗渠管の周囲ならびに上部には土砂の吸い出しによる陥没を防止するため吸出防止材を布設する（図 2-5 参照）。
- ④ 暗渠管の周囲は、目詰まりを起こさないため、また浅層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（図 2-5 参照）。
- ⑤ 地表水も吸収しようとする場合には、地表まで栗石または切込碎石で詰める。
- ⑥ 暗渠管の材料は、ある程度の地盤変動にも耐える構造とする。集水管・蛇籠を用いるのが一般的である。なお、急勾配の場合には止め杭等により固定する必要がある（図 2-6 参照）。





(出典：地すべり防止技術指針及び同解説)

図 2-5 暗渠工の施工例

図 2-6 蛇籠暗渠

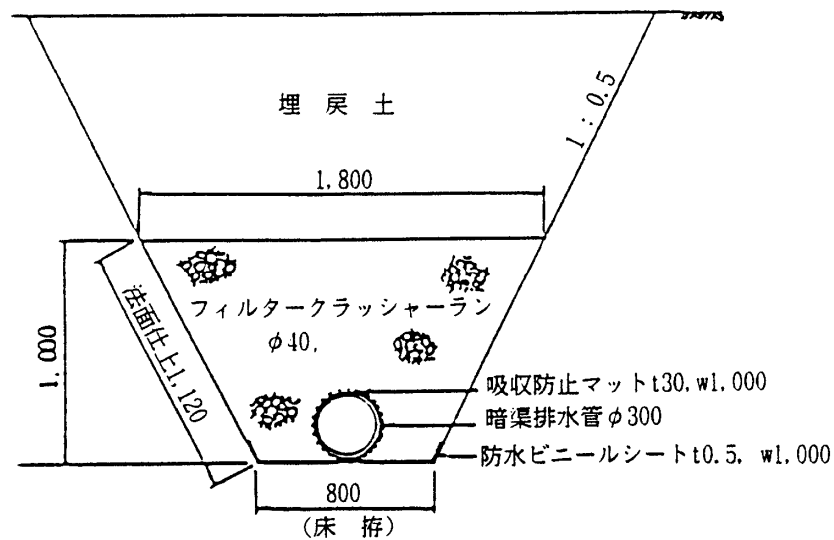


図 2-7 暗渠工基準図

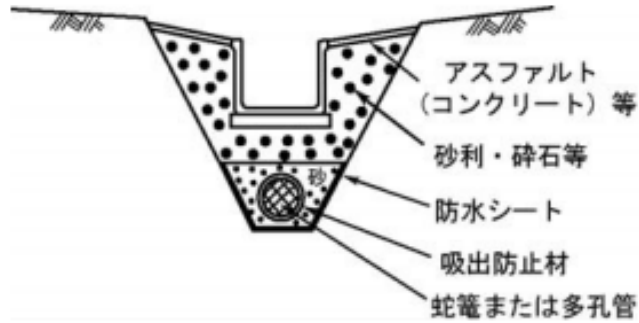
## 2) 明暗渠工

明暗渠工は、地すべり地域の状況を十分考慮し、効果的に水が集まり、かつ適切に排水するよう設計する。

### 《解説》

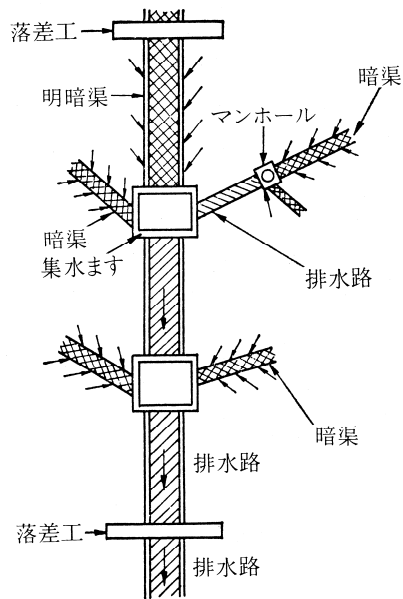
明暗渠工は、1本の長さが長すぎると、集水した水が地下に再浸透する可能性があるため、現地の状況を考慮して長さを定めるものとする。

20m程度の間隔で設けた集水柵、あるいは落差工を利用して集まった地下水を地表の水路に導いて排水することを基準とする(図 2-8、図 2-9 参照)。



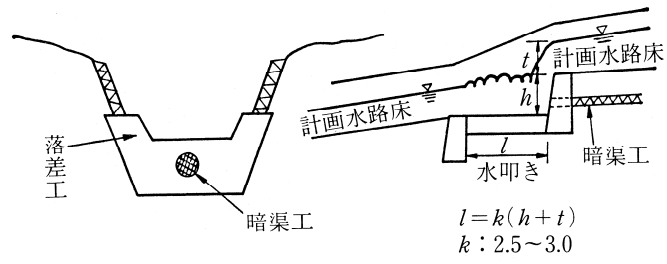
(出典：地すべり防止技術指針及び同解説)

図 2-8 明暗渠工横断図



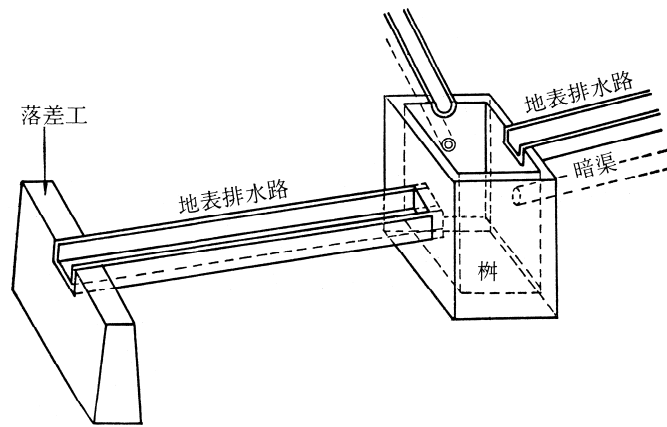
(出典：地すべり防止技術指針及び同解説)

図 2-9 明暗渠工配置図



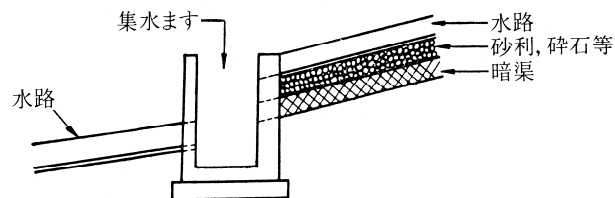
(出典：地すべり防止技術指針及び同解説)

図 2-10 落差工の例



(出典：地すべり防止技術指針及び同解説)

図 2-11 集水柵の例



(出典：地すべり防止技術指針及び同解説)

図 2-12 集水柵側面図

### 3) 横ボーリング工

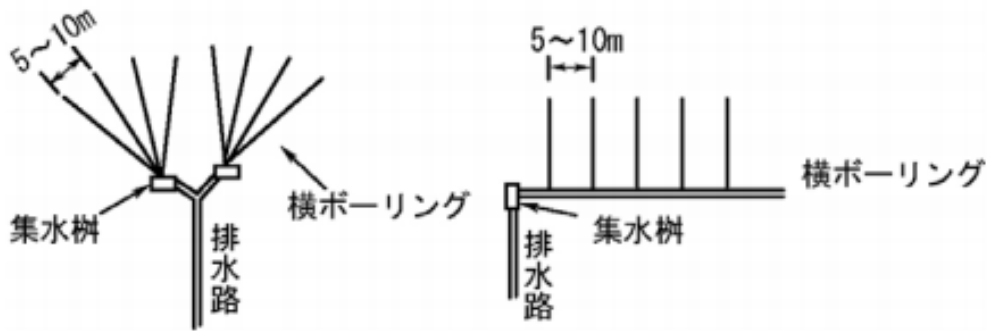
横ボーリング工は、効果的に地下水位を低下させるように設計する。

#### 《解 説》

横ボーリング工は、地下水を排除し、これによってすべり面に働く間隙水圧の低減や地すべり土塊の含水比を低下させることを目的とするもので、設計に際しては地すべり地域のみならず、周辺の地形・地質および地下水調査等から、帯水層の分布・地下水の流動層を推定して、最も効果的に集水できるようにボーリングの位置・本数・方向・延長を決定するものとする。

設計にあたっての留意点は以下のとおりである。

- ① 横ボーリング工は通常、ボーリング先端での間隔が 5～10m となるよう放射状あるいは平行に設計する。集水した水は集水桝や排水路を通じて速やかに地すべり地域外に排水するものとする。孔口の位置は安定した地盤に設け、排水による孔口の崩壊を防止するため、保護工を設置する（図 2-13、図 2-14 参照）。
- ② 掘進勾配は、集水した地下水が自然流下するよう、概ね仰角 5～10 度、掘進孔径は 66mm 以上、長さはすべり面を貫いて 5～10m 以上先まで余裕長をもったものを標準とする。地すべり地域の土質が粘性土等で透水係数が低い場合は、孔径を大きくするなど、集水量の確保を図る設計を検討するものとする。（図 2-15 参照）。
- ③ 掘進終了後には、目的とする帯水層区画にストレーナーまたはスリット加工を施した硬質塩化ビニール管や鉄管等の保孔管を挿入する。管の先端部分については、土砂が入り目詰まりを起こさないよう処置を施す。管の継手はソケット継手または突き合わせ継手とする（図 2-16 参照）。



(出典：地すべり防止技術指針及び同解説)

図 2-13 横ボーリングの配置図 (例)

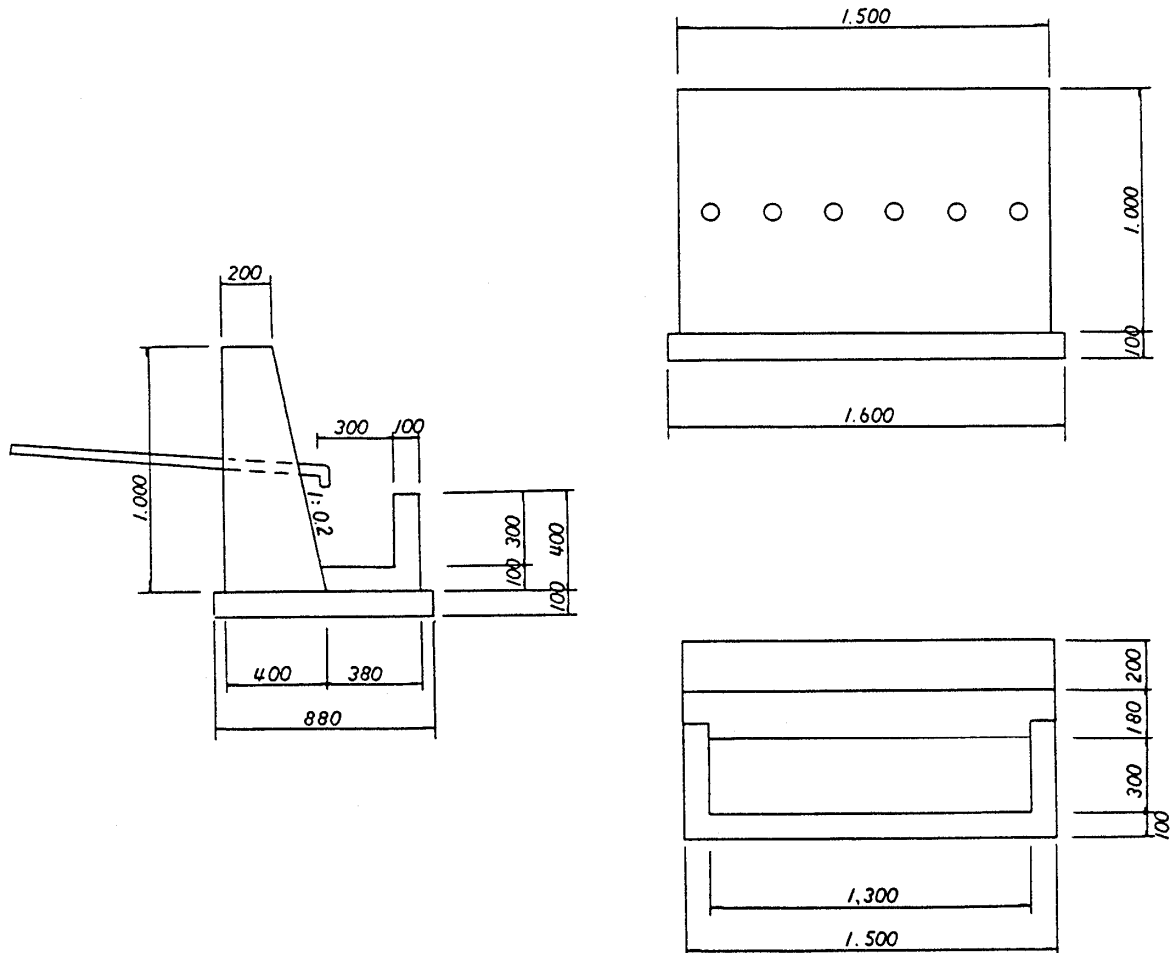
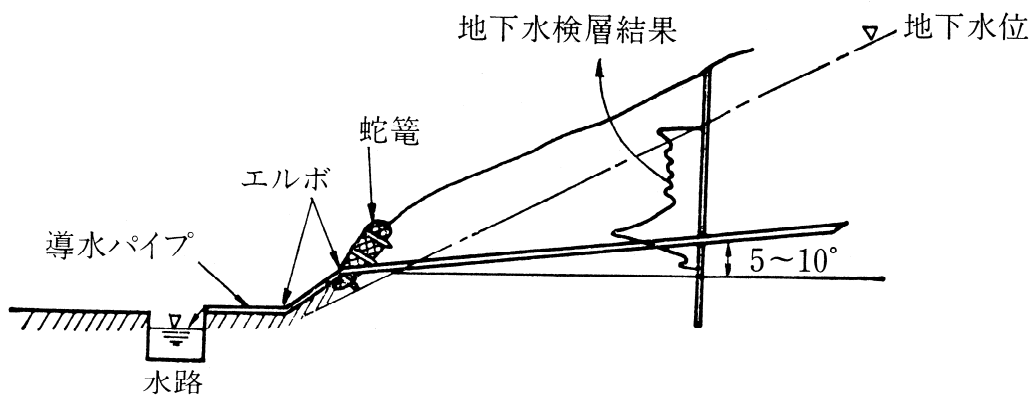
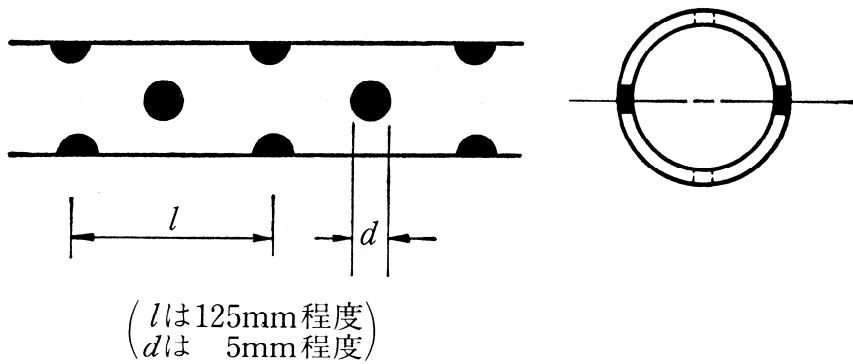


図 2-14 排水壁工 構造図 (例)



(出典：地すべり防止技術指針及び同解説)

図 2-15 横ボーリング孔標準横断面図



(出典：地すべり防止技術指針及び同解説)

図 2-16 保孔管のストレーナーの例

## (2) 深層地下水排除工

### 1) 横ボーリング工

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

- ① 横ボーリングの延長については、長尺なものほど孔曲がりを生ずる恐れがあるため、施工実績を考慮の上に行い、50～80m程度までを標準とする。
- ② 掘進勾配は、排除の対象とする帯水層が被圧地下水である場合には、斜め下向きにボーリングを行い、自噴により排水させることもあるが、一般的には斜め上向き5～10°とする。
- ③ Φ300mm以上の口径で掘削する大口径集水ボーリングについては、集水効果と経済性を十分考慮して設計する。

### 2) 集水井工

集水井、効果的な地下水の集水が可能な範囲で、原則として堅固な地盤に設置するよう設計するものとする。なお、地下水が広範囲に賦存していて、2基以上の集水井を設置する場合には、地すべり地域の状況を十分考慮して、適切な間隔になるよう配置する。

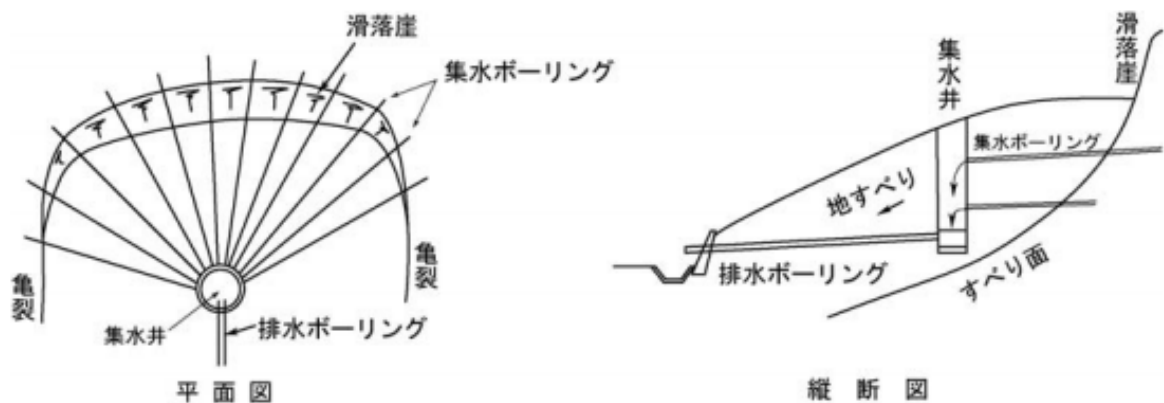
#### 《解説》

集水井は施工が容易でかつ比較的安定した地盤に設置し、帯水層に向けて集水管を配置する(図2-17)。したがって、集水井施工位置は、調査ボーリングによって地質及び基盤の状態を確認し決定する。

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

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

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



(出典：地すべり防止技術指針及び同解説)

図 2-17 集水井工

### ① 集水井の深さ

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

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

### ② 集水井の構造

集水井の形状は円形の井筒であり、その内径は 3.5~4.0m が標準である。ただし、土質・地質が礫および転石混じり土砂、硬岩、破碎石等、集水ボーリングの削孔が困難な場合には適宜内径を大きく設計する。いずれの場合も、施工時の安全に十分配慮する必要がある。

集水井は、集水および排水ボーリングの維持・管理上、原則として中空とするが、施工後、地すべり活動が著しく、集水井が破壊する恐れが生じた場合には、栗石・玉石等を充填し、集水井の維持を図る。

集水井の材料には、鋼(ライナープレート)、鉄筋コンクリート等があるが、一般に地すべり地域は山間部であるため、大型機械による材料運搬が困難な地形が多く、また同一地点で多量の材料を使用することが少ないため、軽量で施工性の容易なものが用いられる。

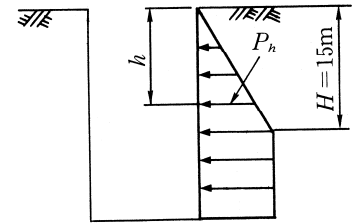


i. 鋼構造（ライナープレート）集水井の設計

井筒外周面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ものとする。土圧は主働土圧と見なすものとし、原則として、地すべり土圧は考慮しないものとする。しかし、実際には地すべりの挙動は複雑であるので、必要に応じて地すべり土圧を考慮した計算手法を用いたり、変形が起りやすい箇所を補強する場合には、ラテラルストラットやバーチカルスティフナーを用いて集水井を補強する場合がある。

また、偏土圧が予想される場合にはそれを考慮した設計を行うものとする。

集水井外周面に作用する最大土圧（ $P_{tmax}$ ）を求めるには、周囲の土のアーチアクション（円弧作用）を考慮して求めるテルツァギーの式、ランキン土圧式があるが、一般には、土圧は深さ 15m 程度以上では増加しないものとし、静止土圧の三角分布とする次式が多く用いられている。



$$P_h = k \cdot \gamma \cdot h \quad (h < 15\text{m}) \quad \dots\dots\dots 2.1$$

$$P_h = k \cdot 15 \cdot \gamma \quad (h \geq 15\text{m}) \quad \dots\dots\dots 2.2$$

$P_h$  : 土圧強度 (kN/m<sup>2</sup>)

$k$  : 静止土圧係数 (砂質土、粘性土にかかわらず 0.5)

$\gamma$  : 土層の単位体積重量 (kN/m<sup>3</sup>) 地表面から  $P_t$  の作用点までの距離 (m)

$h$  : 地表面からの深さ (m)

なお、式 2.1 において  $h=15\text{m}$  以深においても土圧が増加すると判断される場合には、15m 以深についても適用してよい。

座屈に対して安全な部材の断面決定（板厚）は、上式より求めた  $P$  を用いて次式によって決定するものとする。

$$q_A = \frac{3EI}{f R^3} > P_{tmax}$$

これは鋼板の波型の影響を考えポアソン比を 0 とした場合の外圧を受ける薄肉円筒の単位長さあたりの座屈の式である。

$q_A$  : 井筒外周の許容外圧 (kN/m<sup>2</sup>)

$R$  : 集水井半径 (m)

$E$  : ヤング率 ( $2.1 \times 10^7$  kN/m<sup>2</sup>)

$I$  : ライナープレート、コルゲートの深さ 1m あたりの断面二次モーメント (m<sup>4</sup>/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  $0.8I_0$  ( $I_0$  : 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。

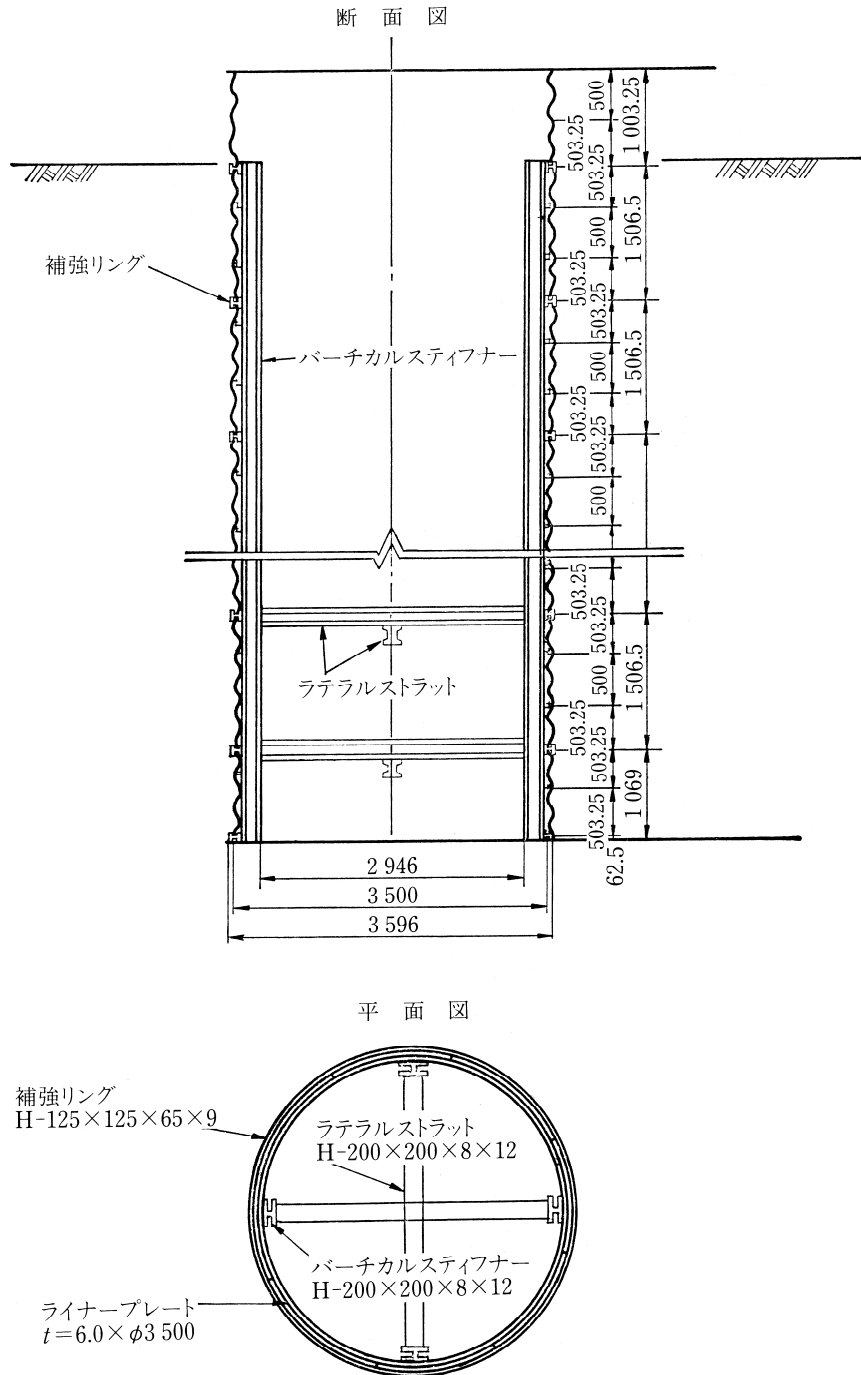
$f$  : 安全率 (1.5~2.0)

$P_{tmax}$  : 集水井外周に作用する最大土圧

上記で満足しない場合はライナープレート、コルゲートの水平継目または内側に H 型鋼による補強リングをはめ込んで補強するものとし、補強リングの間隔を単位長に換算して断面

および間隔を決定する。(図 2-18 参照)。

なお、土圧等の設計条件が明確な場合には、部材の断面を土圧の分布に応じて変化させることもある。



(注) 必要に応じてラテラルストラット、バーチカルスティフナーを用いる。

(出典：地すべり防止技術指針及び同解説)

図 2-18 ライナープレートによる集水井の例 (単位：mm)

ii. 鉄筋コンクリート集水井の設計

この集水井は以下の場合に対し用いられる。

- ・ 一般に地質が砂質地盤等の比較的均質な地盤で、井筒が自重により比較的容易に沈下するよう  
な場合
- ・ 多量の地下水のためボーリング（噴泥現象）の起こりやすい砂質地盤の場合
- ・ ヒービング（被圧地下水により被圧層が押し上げられる現象）の起こりやすい軟粘土質地盤の  
場合

水平荷重は、1）と同様な考え方とする。集水井の基盤の許容支持力度は、その地盤の極限支持力を安全率（ $n=3$ ）で除した値以上とする。

$$q_d = \frac{1}{n} (q_a - \gamma_2 D_t) + \gamma_2 D_t$$

$$q_a = \alpha C N_c N + \frac{1}{2} \beta \gamma_1 B N_\gamma + \gamma_2 D_t N_q$$

$q_a$  : 底面地盤の許容支持力度 (kN/m<sup>2</sup>)

$D_t$  : 地表面から集水井までの深さ (m)

$\gamma_1$ 、 $\gamma_2$  : 底面より ( $\gamma_1$ ) か、上 ( $\gamma_2$ ) かの  
地盤の単位体積重量で、地下水位以下では  
水中単位体積重量とする  
(kN/m<sup>3</sup>)

$N_c$ 、 $N_q$ 、 $N_\gamma$  : 支持力係数で図から求める

$Q_d$  : 底面地盤の極限支持力度 (kN/m<sup>2</sup>)

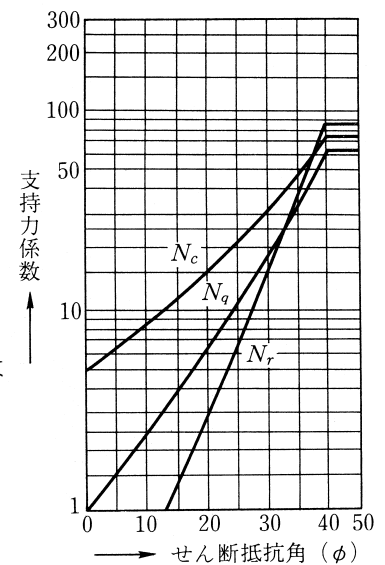


図 2-19 指示力係数を求めるグラフ

$\alpha$ 、 $\beta$  : 底面の形状係数、円形集水井で  $\alpha=1.3$ 、 $\beta=0.6$

$B$  : 集水井の直径 (m)

$C$  : 底面地盤の粘着力 (kN/m<sup>2</sup>)

$\phi$  : 底面地盤の内部摩擦角 (度)

$n$  : 安全率

### ③ 排水ボーリング

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

排水ボーリング工の延長は、最大で 80m 程度の場合が多い。排水管は、内径 80～100mm を標準とし、鋼管を使用するものとする。排水する地下水の量が多く見込める場合には、適宜孔径を大きくするか、複雑の排水ボーリングを施工するものとする。

排水ボーリングの流末は、地すべりブロック内に設置し、水路工で地すべり地外に導く。また、流末孔口は蛇籠または擁壁でのり面保護を行うものとする。

### ④ 集水ボーリング

集水ボーリングは、帯水層ごとに 1～数段、放射状に施工し、浅層地下水の排除も同時に行うものとする。1本の集水ボーリングの延長は原則として 50m 程度とするが、地形条件や周辺状況から 80～100m の延長を必要とする場合もある。

集水ボーリングの位置、方向、間隔、本数等については、地質および地下水調査の結果に基づいて設計するものとし、施工中の集水状況、地下水の変化によって、方向、間隔、本数を変更する必要がある。

なお、保孔管は、硬質塩化ビニール管または鉄管とし、ストレーナーを設けるものとする。保孔管については【本章 2.2.(1)-3横ボーリング工】の解説を参照。

### ⑤ 維持管理施設

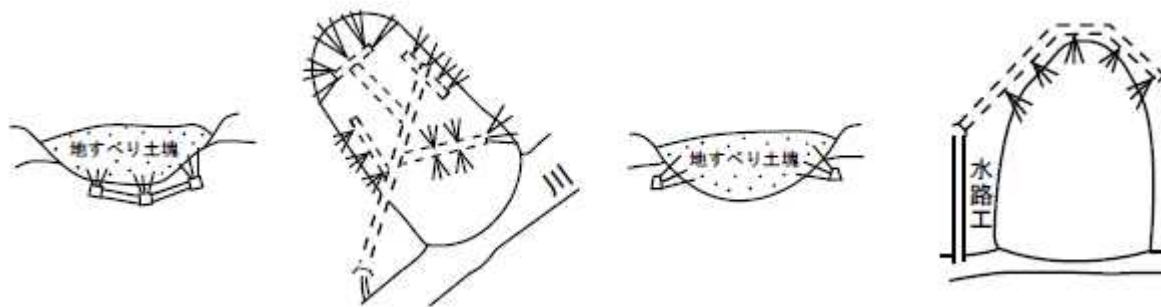
集水井の維持管理のため、内部には昇降階段を、頂部には鉄網、鉄筋コンクリート板等の蓋を、周囲にはフェンスを設置する。昇降階段は、底部まで降りられるものとし、直高約 5m ごとに踊り場を設けるものとする。蓋および集水井を囲むフェンスは、集水井内への部外者の立ち入りをなくし、安全性を確保するためのものであり、蓋及びフェンスの出入口には施錠するものとする。

#### 4) 排水トンネル工

排水トンネル工は、原則として地すべり土塊内には設置せず安定した地盤に設置し、地すべり地域内の水を効果的に排水できるよう設計する。

##### 《解説》

排水トンネル工は、地すべり規模が大きい場合、移動土塊層が厚い場合、または移動速度が大きい場合に用いられる工法で、原則として基盤内に設置し、トンネルからの集水ボーリングや集水井及び垂直ボーリングによってすべり面に影響を及ぼす地下水を効果的に排水することを目的とする。排水トンネル工の設計においては、次の示す項目を検討するものとする。



(出典：地すべり防止技術指針及び同解説)

図 2-20 排水トンネル工

#### ① 配置

トンネルの配置は基盤内とし、緩み範囲を考慮して、すべり面よりトンネル天端までは、トンネル断面長の2倍以上離すものとする。トンネルの位置は、地すべり活動に影響を与える地下水脈の分布、及びそれに対する地下水排除効果の効率性などを総合的に判断して定めるものとする。また、トンネルの坑口は、できるだけ地盤の堅固な個所に設けるものとする。

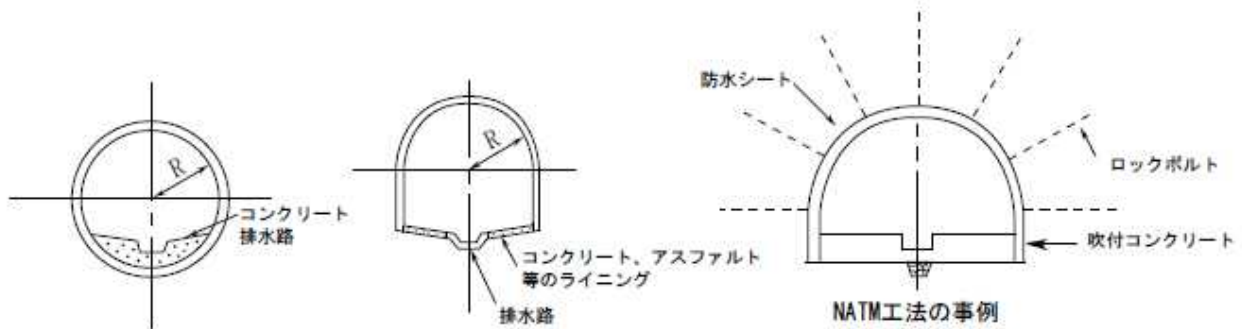
#### ② トンネルの縦断勾配

トンネルの縦断勾配は、集水した地下水を自然排水するため、坑口に向かって俯角をつけるものとし、その勾配は一般に 15/1000 以下とする。

### ③ トンネルの断面および構造

排水トンネルの断面形状には、使用する材料によって馬蹄形、円形、半円形、台形及び矩形等がある。トンネルは、集水施設を含めた維持管理のため原則として中空とし、耐久性を考慮して覆工を設け、人間が点検に入るのに支障をきたさない大きさを確保するものとする。覆工の材料としては、コンクリート、ライナープレート、コルゲート等を用いる。

最近では、吹付コンクリートとロックボルトを併用する NATM 工法が用いられている。



(出典：地すべり防止技術指針及び同解説)

図 2-21 排水トンネルの断面の例

### ④ 非常時の脱出用坑口

トンネルの奥行きが 1000m を超える場合には、安全管理上、非常時に脱出する斜坑や立杭等の坑口を設ける必要がある。集水井とトンネルを接続する立体排水を計画する場合には、集水井を立杭の兼用としてもよい。

### ⑤ 集水

排水トンネルによる集水は、原則として集水ボーリングによるものとし、目的とする帯水層に向けてトンネル内より横あるいは上向きで放射状に設計するものとする。ボーリングの角度は、帯水層までの距離、ボーリングの全長及び帯水層を横切る区画の長さを勘案して決定する。また、急角度のボーリングを行う場合等には、必要に応じてトンネルの断面を大きくしたボーリング室を設ける。集水ボーリングの長さ及び保孔管については、(2)-2)-④を参照されたい。

また、地すべり地内に地すべりに影響を与える地下水が多層にわたり存在し、その量も非常に多いと推定される場合には、集水ボーリングのほかに集水井の排水ボーリングおよび垂直ボーリングを組み合わせて地すべり地内の地下水排除を立体的に行うことも検討する。

### ⑥ 排水

集水ボーリングによって排除された地下水が再び地盤へ浸透しないよう、排水トンネルの底部は

原則として水路工と同様な構造とする。

また、排水トンネルの覆工にライナープレート及びコルゲート等を使用する場合には、底部のジョイントが破損したりボルトの緩みなどにより漏水する可能性が大きいので、底部はコンクリート等による水路とし、排水工としての機能を保持する必要がある。

### ⑦ トンネルに作用する土圧

トンネルに作用する土圧の大きさは、地質、トンネル断面の大きさ、施工法、覆工の種類、施工時期及び地山の性状等を考慮して定めるものとする。その参考値は、表 2-1 に示すとおりである。

表 2-1 Terzaghi の支保工に作用する土荷重の表

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

1) この表は、土破り 1.5 (B+H<sub>t</sub>) 以上の場合の鋼アーチ支保工天端に作用する土荷重の高さを示す。

B : トンネル堀削断面の幅 (m)

H<sub>t</sub> : トンネル堀削断面の高さ (m)

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

### ⑧ その他の工法

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

## 2.3 排土工

排土工は、原則として地すべり頭部の排土により、斜面の安定を図るよう設計するものとする。

排土工の設計においては、安定計算により排土量、排土すべき位置、切土のり面勾配、直高等を決めるが、次の内容を考慮するものとする。

### (1) 切土のり面 (図 2-22 参照)

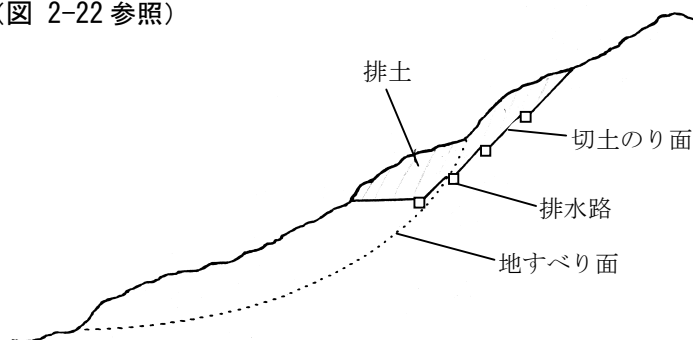


図 2-22 排土工(切土工)概要図

切土のり面の勾配および直高は、地質条件等より法面の安定性を事前に調査検討して定めるものとする。

軟岩等における切土のり面の勾配は、1:0.5~1:1.2 程度、小段幅は直高 5~10m 毎に 1.0~2.0m 程度とする場合が多い。

砂質土における切土のり面の勾配は、切土高 5~10m の場合には 1:1.0~1:1.5 程度、小段幅は直高 5~10m 毎に 1.0~2.0m 程度とする場合が多い。

切土のり面は、施工後、時間の経過とともに次第に不安定となり、表層崩壊が起こる場合があるので、地質条件等を検討して切土法面の勾配および直高を決める必要がある。

表 2-2 標準的な切土勾配

土質	切土勾配	直高	小段幅
軟岩	1:0.5~1:1.2	5~10m	1.0~2.0m
砂質土	1:1.0~1:1.5	5~10m	1.0~2.0m

### (2) 背後斜面安定性の検討

排土を行う場合には、排土予定地の上方斜面に潜在性地すべりが存在していて、排土により背後斜面の安定度を低下させ、地すべりを誘発し、あるいは拡大する可能性はないか、事前に十分調査検討を行うものとする。



斜面上方に潜在性地すべりが存在する場合は、これについての排土や抑止工等が必要になるため、本工法の可否も含めて十分な検討が必要である。

### (3) 排土後ののり面保護

排土後の法面については、地形に応じた表面排水路と斜面には多くの小段を設けて集排水路を設置し、水はけをよくするとともに、法面の侵食や風化を防止するため植生または構造物で法面の保護を行うものとする。

排土後ののり面は、一般に降雨等によって軟弱化しやすく、斜面崩壊を起こしやすいので、地形に応じた集排水路と小段を十分に設け、水はけを良くする。

また、のり面の侵食や風化を防止するために、植生を用いたり、植生が不適なのり面または植生だけでは安定が期待できないのり面については、石張工・ブロック張工・枠工等の構造物を併用し、のり面を保護する必要がある。基岩が露出した部分においても、き裂が発達し、風化しやすい場合には、モルタル吹付工や植生基材吹付工等を施工することが望ましい。

## 2.4 押え盛土工

押え盛土工は、原則として地すべり末端部に盛土により斜面の安定を図るよう設計するものとする。

押え盛土工は、地すべり斜面の末端部に盛土を行うことにより、地すべり滑動力に抵抗する力を増加させるもので、安定計算により所定の抵抗力が得られるように盛土量・盛土の位置を設計する。

なお、地すべり末端部は、かく乱されて軟弱な場合が多く、盛土の底部破壊が起きる可能性があり、また盛土部の下方斜面に滞在性の地すべりがある場合には、これを誘発する可能性があるため、押え盛土の設計にあたっては、基礎地盤の調査結果による盛土部基盤の安定性についての検討を行う必要がある。

押え盛土の盛土高、のり面勾配は盛土材料の材質、盛土基礎地盤の特性により定めるが、一般に、盛土ののり勾配は1:1.5～1:2.0とし、盛土の直高5m毎に1.0～2.0m程度の小段を設けている場合が多い。小段には水路を設ける必要がある。

地すべり末端部では、一般に湧水や横ボーリング等の施設があるので、盛土によりこれらの排水を遮断することのないよう、暗渠等を併設する必要がある。

押え盛土のり面は、降雨等によって崩壊や洗掘を受けやすく、これを防止するため植生等により保護する必要がある。

のり面保護工としては、植生工・蛇籠工・枠工等が一般的に用いられ、コンクリート張工等の剛な構造物は、できるだけ用いないほうが望ましい。ただし、ダム湛水池内に設ける水没のり面保護

工には、石張工・ブロック張工等を用いる場合もある。

のり尻には原則としてのり止め擁壁を施工し、一般にふとん籠、鉄筋コンクリート枠擁壁、消波根固めブロック擁壁等が用いられる。コンクリート重力式擁壁を用いる場合には、基礎掘削等により地すべりを誘発しないように十分な注意を要する。盛土部は表面侵食の防止、自然環境・景観に配慮して緑化につとめる。

表 2-3 標準的な盛土勾配

盛土勾配	直高	小段幅
1:1.5～1:2.0	5m	1.0～2.0m

## 2.5 河川構造物による侵食防止工

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

### 《解説》

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

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

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

## 第3章 抑止工の設計

### 3.1 杭工

杭工は、対象となる地すべり地域の地形および地質等を考慮し、所定の計画安全率が得られるよう設計するものとする。

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

《解説》

#### (1) 杭工の機能と分類

地すべりの抑止杭は、その機能から次のように分類できる。

##### 1) 曲げ杭

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

##### ① くさび杭

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

##### ② 抑え杭

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

##### 2) せん断杭

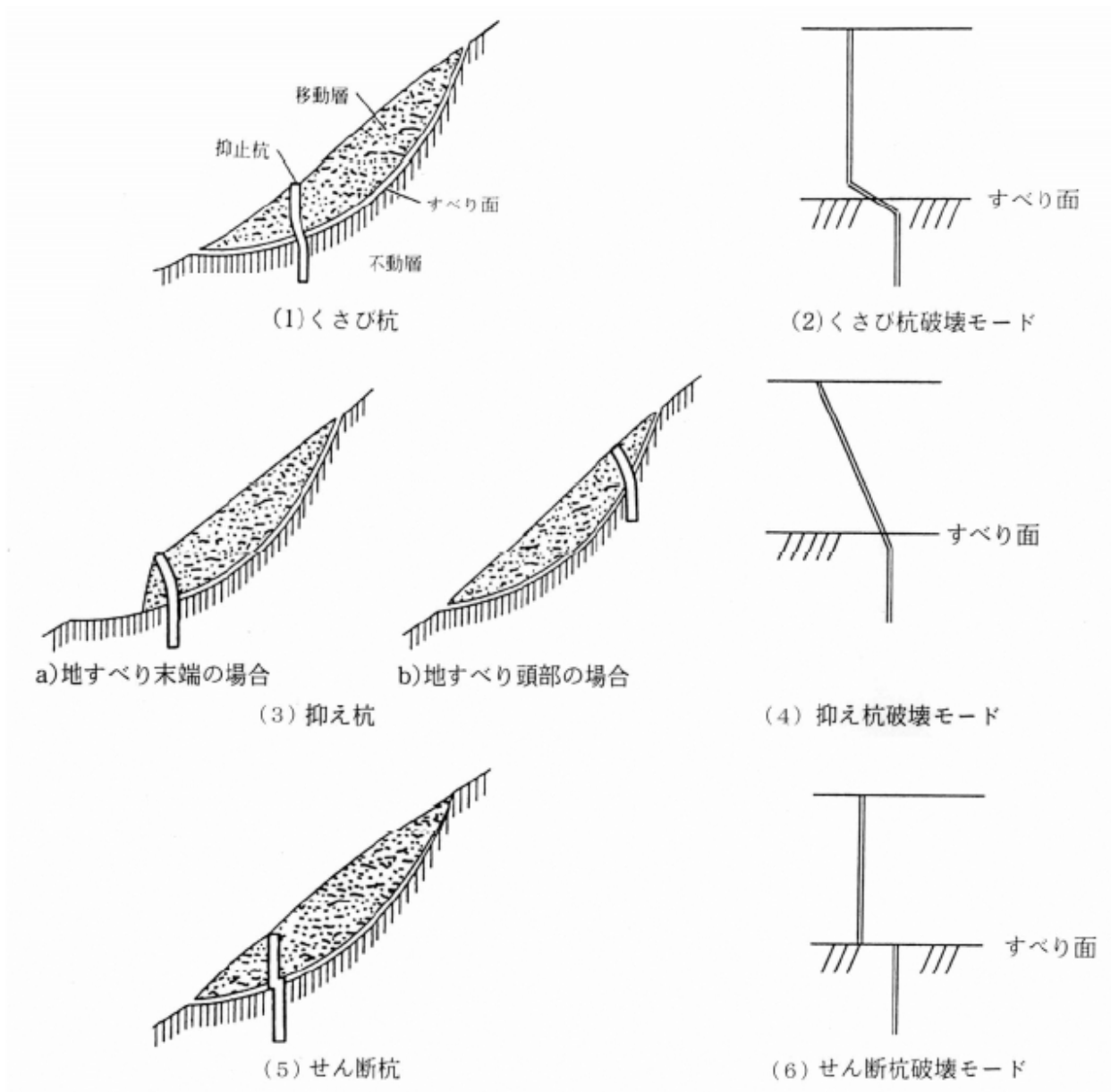
せん断杭は、地すべりの滑動時に地すべり土塊が変形しない（杭に曲げ応力が発生しない）条件を想定して、地すべりの滑動力がすべり面に集中荷重として作用するものとし、せん断力のみを考慮して設計するものである。

#### (2) 杭工の適用条件

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

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

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



(出典：地すべり鋼管杭設計要領)

図 3-1 機能から見た杭の種類 (概念図)

### (3) 杭工の水平負担力

杭工は、対象とする地すべり地の地形及び地質等を考慮し、所定の計画安全率が得られるよう設計する。杭の効果を算定する式として、Hennes 式、White 式および土研式等があり、これらの式によって求められる抑止効果は、杭が剛体で無限の強度を有するとした場合に生ずる杭周辺での地すべり土塊の破壊強度としている。しかし、実際の杭の抑止効果は、杭自身の強度を無限にとることはできないので、上式で算定された応力を 1 本の杭で受け持つことはできない。したがって、施工可能な強度を基準として、地すべり抑止に必要な単位幅あたりの応力に足る杭の本数を算出する。

杭の施工は、削孔した垂直孔に杭を挿入し、グラウトするのが一般的であるが、地すべり対策の応急処置として、鋼管杭およびH型鋼杭等の打込杭が用いられることもある。

しかし、打込杭は礫の多い土層などでは所定の位置までの施工が困難であること、基岩中への打込みは極めて限られており、水平力に対する杭の効力が薄いうえ、基岩を破碎して風化が促進されることなどのマイナス面もあるので、恒久対策として打込杭を設計することは避ける。

所定の計画安全率を得るために、単位幅あたりの杭に必要な抑止力  $P_r$  (tf/m{kN/m}) は、簡便法を用いた場合、次式により求める。

$$P.F.s = \frac{\Sigma(N-U) \cdot \tan \phi + \Sigma c \cdot l + P_r}{\Sigma T} \quad (3-1)$$

$$P_r = P.F.s \cdot \Sigma T - \Sigma(N-U) \cdot \tan \phi - \Sigma c \cdot l \quad (3-2)$$

$P_r$  : 単位幅あたりの杭の抑止力 (kN/m)

P.F.s : 計画安全率

$N$  :  $W \cdot \cos \theta$

$T$  :  $W \cdot \sin \theta$

$W$  : 分割片の重量 (kN/m)

$U$  : 分割片に働く間隙水圧 (kN/m<sup>2</sup>)

$l$  : 分割片のすべり面長 (m)

$\phi$  : すべり面の内部摩擦角 (度)

$c$  : すべり面の粘着力 (kN/m<sup>2</sup>)

$\theta$  : すべり面の分割片部における傾斜角 (度)

抑制工を併用する場合には、(3-2) 式の右辺の  $U$ 、 $N$ 、 $T$ 、 $l$  を抑制工法ごとの効果量に応じて変化させ、杭工に必要な抑止力を求める。

杭工の設計においては、次の点を考慮するものとする。

#### (4) 杭の設置位置

杭の設置位置は、原則として地すべり運動ブロックの中央部より下部の、すべり面の勾配が緩やかで、地すべり土塊の圧縮部で、しかもすべり層の厚さの比較的厚い、受動破壊の起こらない所とする。

防止工事の対象となる範囲が地すべり運動ブロックの上端部に限られている場合には、杭の設置位置をすべり面勾配の比較的急な引張部とすることもある。

#### (5) 杭に対する設計外力の考え方

杭の設計にあたっては、原則として曲げ応力およびせん断力に対する検討を行うものとする。杭背面（谷側）に十分大きな地盤反力が期待できる場合は、所定の計画安全率を得るのに必要なせん断強度のみを満足するせん断杭として設計してもよい。ただし、すべり面が 4～6m の比較的浅い地すべりでは、杭の傾倒による被災例が報告されているので、原則どおりとする。

#### (6) 圧縮部の設置する杭の位置 (図 3-19 参照)

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

$$\begin{aligned} T_i &= W_i \sin \theta_i \\ R_i &= (W_i \cos \theta_i - U_i) \tan \phi + c l_i \\ W_i &: \text{分割片の重量 (kN/m)} \\ \theta_i &: \text{すべり面の分割片部における傾斜角 (度)} \\ U_i &: \text{分割片に働く間隙水圧 (kN/m}^2\text{)} \\ l_i &: \text{分割片のすべり面延長 (m)} \\ \phi &: \text{すべり面の内部摩擦角 (度)} \\ c &: \text{すべり面の粘着力 (kN/m}^2\text{)} \end{aligned} \quad (3-3)$$

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

また、杭の下端位置の決め方として、地すべり末端部に杭を施工する場合には、杭の上部に受動破壊による新しいすべりが発生しないよう配慮する必要がある。(図 3-2 参照)。このためには、次式を満足することが必要である、

$$P.F.s = \frac{\Sigma \{ (W_{ab} \cdot \cos \theta - U_{ab}) \cdot \tan \phi + c \cdot l_{ab} \} + P_r}{\Sigma W_{ab} \cdot \sin \theta} \quad (3-4)$$

(ただし、P.F.s は杭設置後の元のすべり面に対する安全率：計画安全率)

$$\begin{aligned} W_{ab} &: \text{すべり面における分割片の重量 (kN/m)} \\ l_{ab} &: \text{すべり面における分割片のすべり面長 (m)} \\ U_{ab} &: \text{すべり面における分割片に働く間隙水圧 (tf/m}^2\text{)} \end{aligned}$$

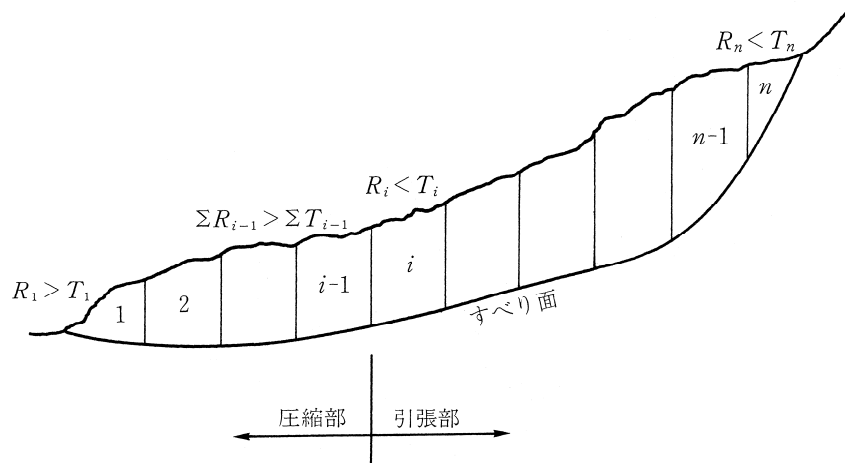


図 3-2 圧縮部に設置する杭の位置 (出典：地すべり防止技術指針及び同解説)

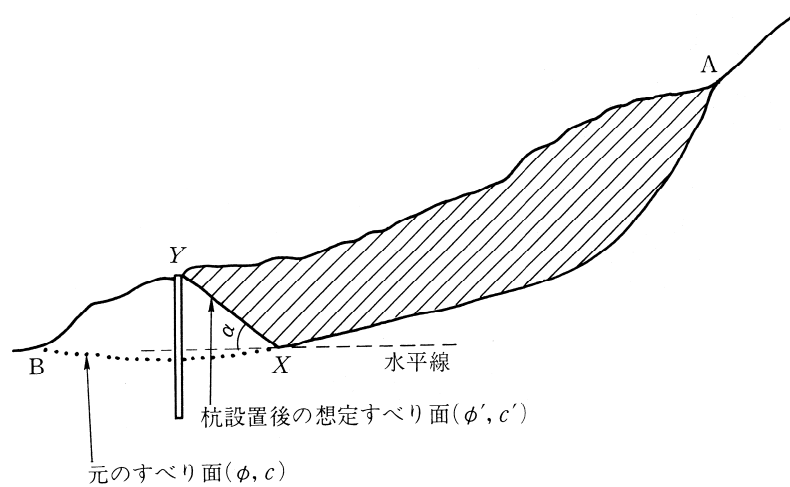


図 3-3 杭の上部の受動破壊 (出典：地すべり防止技術指針及び同解説)

$$P.Fs' = \frac{\Sigma \{(W_{ax} \cdot \cos \theta - U_{ax}) \cdot \tan \phi + c \cdot l_{ax}\} + \Sigma \{(W_{xy} \cdot \cos \theta - U_{xy}) \tan \phi' + c' \cdot l_{xy}\}}{\Sigma W_{ax} \cdot \sin \theta + \Sigma W_{xy} \cdot \sin \theta} \quad (3-5)$$

(ただし、 $P.Fs'$  は杭位置後の想定すべり面  $AXY$  に対する安全率で、 $P.Fs' \geq P.Fs$  とする。)

$$a = 45^\circ - \frac{\phi'}{2}$$

$\phi'$  : 土塊の内部摩擦角 (度) ( $=\phi$ )

$c'$  : 土塊の粘着力 ( $\text{KN/m}^2$ ) ( $=c$ )

### (7) 引張部に設置する杭

地すべり防止工事の保全対象となる構造物、または斜面が地すべり運動ブロックの引張部のみに限られている場合には、杭の施工位置を保全対象物に近接した地点で、かつ、地すべり運動ブロックの引張部に設置することもある。この場合には、杭背面の地盤反力は期待できず、杭の上方からの地すべりの推力をすべて受け持つ形となるので、これに対応できる片持ばりの用いる杭の設計としなければならない。



## (8) 杭材の種類と強度

杭に使用する鋼材の強度は、設計強度を満足するものでなければならない。

杭材の強度は杭に作用する荷重に応じて長期許容応力度、短期許容応力度を用いる。

一般に地すべり発生の誘因は降雨、融雪など一時的なものであり地すべりの安定度の低下も限られた期間内にとどまるので、この時期の地すべり応力を抑止し得れば地すべりの発生に至らないものと考えられる。また杭工は、先行して実施する抑制工により活動を沈静化させてから施工することが原則であり、原則として短期強度を採用する。

設計強度としては、表 3-1 の数値を参考とする。なお、鋼管杭に使用する部材は JISA 5525、JIS G 3444、JIS G 5201、JIS G 3106、JIS G 3101 を参照のこと。

表 3-1 杭の設計強度

区 分	短期許容応力度 N/mm <sup>2</sup>		長期許容応力度 N/mm <sup>2</sup>	
	せん断	曲げ	せん断	曲げ
STK400 および同等品	120	210	80	140
SM490 および同等品	165	285	110	190

## (9) 杭の配置

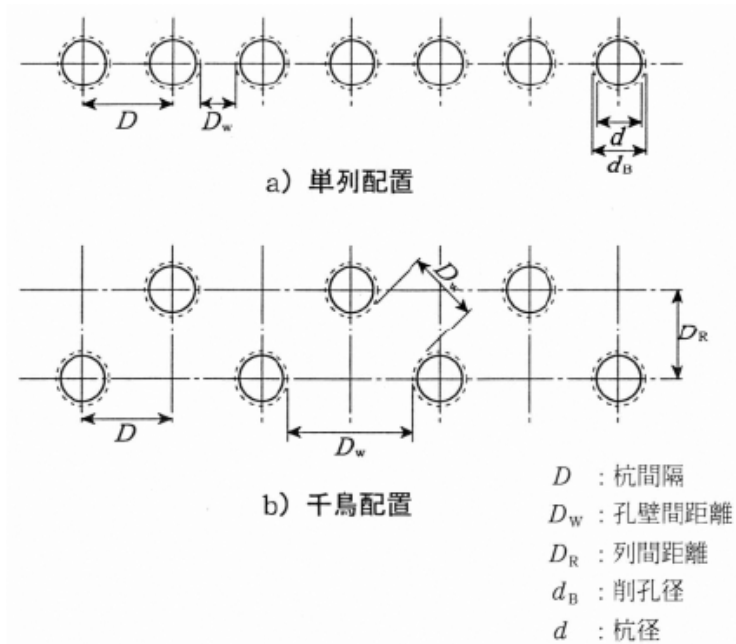
杭は、地すべりの運動方向に対して概ね直角で、等間隔になるよう配置する。

杭の間隔は、採用した杭の設計条件を考慮して検討する。ただし、土塊の性状によっては、削孔による地盤の緩みや土塊の中抜けが生じる恐れがあるので、表 3-2 の間隔を標準とし、また杭の直径の 8 倍以内を目安とする。

なお、杭の施工による基盤の破損を避けるため、孔壁間の距離は、1 m 以上確保する必要がある。計算上、孔壁間の距離が 1m 未満となる場合は、杭配列を千鳥配列とする必要がある（図 3-4）。ただし、千鳥配列とする場合は、地すべり変位に伴う上段の杭および杭周辺地盤の変形が下段の杭に影響しないことを確認する必要がある。

表 3-2 杭の間隔

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



(出典：地すべり鋼管杭設計要領)

図 3-4 杭間隔及び杭の配列

(10) 基礎への根入れ

杭の基礎部への根入れ長さは、杭に加わる土圧による基礎部破壊を起こさないよう決定するものとする。

《解説》

① 曲げ杭の根入れ長

根入れ長は、次式を参考に決定するものとする。

(3-9)

$$h_b > 1.5 \times \frac{\pi}{\beta}$$

$$\beta = \sqrt[4]{\frac{K d}{4E I}}$$

$h_b$  : 杭の根入れ長 (m)

$K$  : すべり面より下部基盤の横方向地盤係数 {KN/m<sup>3</sup>}

$d$  : 杭の外径 (m)

$E$  : 杭材の弾性係数 {kN/m<sup>2</sup>}

$I$  : 杭の断面二次モーメント (m<sup>4</sup>/m)

## ② せん断杭の根入れ長さ

せん断破壊に対する検討だけでよい杭の場合、基礎地盤の強度により根入れ長さは、原則として杭の全長の1/4～1/3とする。基礎地盤のN値が50以下のときは杭の全長の1/3以上を根入れする。ただし、すべり面以下の地盤が特に柔らかい場合は、打設位置および工法を含め、別途検討する。

## ③ 基礎部のグラウト

孔壁と杭との間の間詰めを行うことにより、杭と基礎地盤との一体化を図る必要がある。基礎部のグラウトを行わないと、基礎部に地下水が回って風化を早め、軟弱化する恐れがある。このため、杭を削孔して設置する場合、孔壁と杭の間にグラウトパイプを挿入し、モルタルグラウトを行って基礎部の亀裂の充填および孔壁と杭間の間詰めとする。

### (11) その他の設計条件

- ① 鋼管杭の腐食しろは見込まない。
- ② 杭には中詰めグラウトを行うが、杭体の強度はこれを無視する。
- ③ 孔壁との間には外詰めグラウトを行い、地盤と密着させる。
- ④ 杭の施工により上流側の地下水位を上昇させ、新たな地すべりを誘発する例がある。杭の施工時には、当該ブロックおよび、周辺の地下水位ならびに活動状況を監視し、地すべりを不安定化させないように配慮する。
- ⑤ その他、本技術マニュアルに記載のない事項については、斜面防災対策技術協会発行の「地すべり鋼管杭設計要領」にしたがうこと。

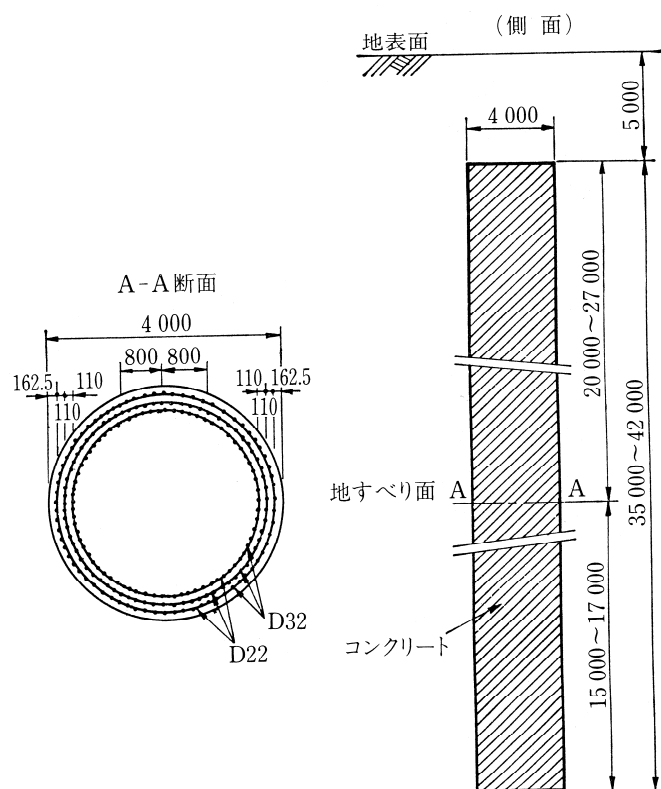
### 3.2 シャフト工

シャフト工は、対象となる地すべり地域の地形および地質等を考慮し、所定の計画安全率が得られるよう設計するものとする。

#### 《解説》

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

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



(出典：地すべり防止技術指針及び同解説)

図 3-5 シャフト工の例 (単位：mm)

シャフト工のような大口径構造物を杭として設計するか、ケーソンとして設計するのかの判定は、一般に次式により行っている。

$\beta l \leq 2$ の場合はケーソンとして設計する。

$\beta l > 2$ の場合は杭として設計する（本章3.1参照）。

$2l < d$ の場合は直接基礎として設計する。

$$\beta = \sqrt[4]{\frac{Kd}{4EI}} \quad (\text{m}^{-1}) \quad (3-10)$$

K：根入れ部地盤の横方向地盤係数 {kN/m<sup>3</sup>}

d：シャフトの前面幅（外径）（m）

l：地すべり面からのシャフトの根入れ長（m）

E：シャフトの弾性係数 {kN/m<sup>2</sup>}

I：シャフトの断面二次モーメント（m<sup>4</sup>）

ただし、中詰めも考慮する。

シャフトの中詰めには一般に鉄筋コンクリートを用いる。またシャフト工に集水井工としての機能を併せてもたす場合には、中空鉄筋コンクリート円筒とし、排水ボーリングおよび集水ボーリングを施工後、中空部に栗石を充填し、フィルター材およびシャフトの補強とする場合もある。

なお、断面の決定、または応力度の計算では、鉄筋およびコンクリートの弾性係数を、それぞれ  $E_s = 2.1 \times 10^7 \text{ tf/m}^2$ , { $2.1 \times 10^8 \text{ kN/m}^2$ },  $E_c = 1.4 \times 10^6 \text{ tf/m}^2$  { $1.4 \times 10^7 \text{ kN/m}^2$ } とする。

なお、コンクリートの弾性係数は、コンクリート標準示方書（土木学会）によるものとする。設計の詳細は道路橋示方書・下部工編、地すべり鋼管杭設計要領等を参考とされたい。

### 3.3 グラウンドアンカー工

グラウンドアンカー工は、対象とする地すべり地域の地形および地質等を考慮し、所定の計画安全率が得られるよう設計するものとし、その引張力に対するアンカー自体の安定性を確保するとともに、定着地盤および構造物（受圧板等）を含めた構造物系全体の安定が保たれるよう設計するものとする。

#### (1) 概説

グラウンドアンカー工は基本的に以下に挙げる3つの構成要素により成り立っている。

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

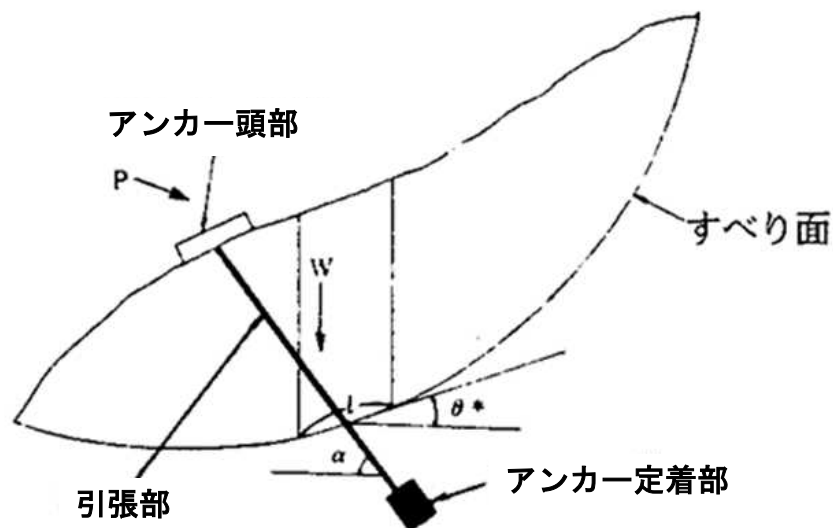


図 3-6 グラウンドアンカー工の構成要素

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

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

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

アンカー工には次の効果がある。

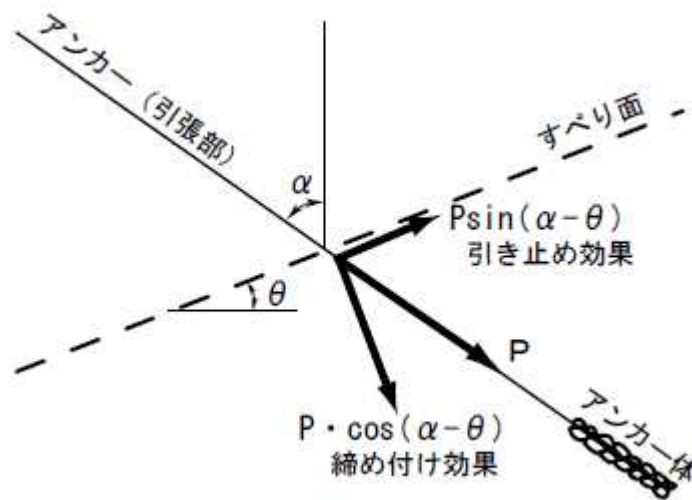
### 1) 締め付け効果

すべり面に対する垂直応力を増加させることによって、せん断抵抗力を増加させようとするものである（図 3-7）。締め付け効果を期待できる条件としては、移動土塊が緊張力をかけたとき大きな圧縮、圧密変形をしないということが必要である。したがって移動土塊が粘性土や崩積土あるいは亀裂に富んだ風化岩盤で構成されるような場合には締め付け効果を期待することは困難である。また、すべり面深度が深い場合にも効果を期待することは難しい。

### 2) 引き止め効果

地すべり土塊がすべり面に沿って移動しようとした時に、アンカーのすべり面の接線方向の分力によって、地すべり土塊を引き止めようとするものである（図 3-7）。

鋼材の引張抵抗力を十分発揮させ、滑動力の大きな地すべりに対して用いられ、杭工が困難な地すべりで利用される。



(出典：地すべり防止技術指針及び同解説)

図 3-7 アンカーの機能

地すべりの防止を目的とするグラウンドアンカー工は、地すべり末端部に「引き止め機能」を期待して設置されることが多いが、設計の際には、アンカーの傾角、すべり面の勾配・深さ等を考慮して、これらの機能の中から最適なものを選択することが必要である。一方、これら両方の効果を設計に反映させる場合もある。

## (2) 必要アンカー力の算定

地すべり対策工として使用されるアンカーには、①締め付け効果を利用するものと、②引き止め効果を利用するものの2つのタイプがある。

アンカー工の設計における必要アンカー力(P)の算定は、機能別に次式により求める。

### ①締め付け効果を利用した必要アンカー力の算定

$$P \cdot F_s = \frac{\{\Sigma(W \cdot \cos \theta - U) + P \cdot \cos(\alpha - \theta)\} \tan \phi + \Sigma C \cdot l}{\Sigma W \cdot \sin \theta} \quad (3-11)$$

## ②引き止め効果を利用した必要アンカー力の算定

$$P \cdot F_s = \frac{\Sigma(W \cdot \cos \theta - U) \tan \phi + \Sigma c \cdot l + P \cdot \sin(\alpha - \theta)}{\Sigma W \cdot \sin \theta} \quad (3-12)$$

$$T = \frac{m \cdot p}{n} \quad (3-13)$$

ここに、

- $P \cdot F_s$  = 計画安全率  
 $P$  = 必要アンカー力 (kN/m)  
 $l$  = 分割片のすべり面長 (l)  
 $\phi$  = すべり面の内部摩擦角 (度)  
 $\alpha$  = アンカー打設角 (度)  
 (垂直とのなす角)  
 $\theta$  = アンカー打設位置におけるすべり面の傾斜角 (度)  
 (水平とのなす角)  
 (アンカー1本あたりが負担するアンカー力)
- $W$  = 分割片の重量 (kN)  
 $U$  = 分割片に働く間隙水圧 (kN/m<sup>2</sup>)

## (3) アンカー体長

アンカーの許容引抜力が設計アンカー力を上回るために必要となる、地盤とグラウト間の付着長及びテンドンとグラウト間の付着長について比較を行い、それらのうち長い方をアンカー体長とする。

### ① 地盤とグラウトとの間の必要付着長 (l<sub>a</sub>)

$$l_a = \frac{f_s \cdot T}{\pi d_A \cdot \tau}$$

- $l_a$  : 地盤とグラウトとの間の必要付着長 (m)  
 $f_s$  : 安全率 (2.5)  
 $T$  : 設計アンカー力 (tf/本 {kN/本})  
 $d_A$  : アンカー体径 (mm)  
 $\tau$  : 単位面積あたりの周面摩擦抵抗 (kg · f/m<sup>2</sup> {N/m<sup>2</sup>}) (表 3-3参照)

### ② テンドンとグラウトとの間の必要付着力 (テンドン拘束長)

$$l_{sa} = \frac{T}{\pi d_s \cdot \tau_b}$$

- $l_{sa}$  : テンドンとグラウトとの間の必要付着長 (m)  
 $T$  : 設計アンカー力 (tf/本 {kN/本})  
 $d_s$  : テンドンの直径 (mm)  
 $\tau_b$  : テンドンとグラウトとの許容付着応力度 (kg · f/cm<sup>2</sup> {N/cm<sup>2</sup>}) (表 3-4参照)



表 3-3 アンカーの周面摩擦抵抗

地盤の種類			摩擦抵抗(MN/m <sup>2</sup> )
岩盤		硬岩	1.50 ~ 2.50
		軟岩	≧ 1.00 ~ 1.50
		風化岩	0.60 ~ 1.00
		土丹	0.60 ~ 1.20
砂礫	N 値	10	0.10 ~ 0.20
		20	0.17 ~ 0.25
		30	0.25 ~ 0.35
		40	0.35 ~ 0.45
		50	0.45 ~ 0.70
砂	N 値	10	0.10 ~ 0.14
		20	0.18 ~ 0.22
		30	0.23 ~ 0.27
		40	0.29 ~ 0.35
		50	0.30 ~ 0.40

表 3-4 許容付着応力度 ( $\tau_b$ )

用途	グラウトの設計基準強度				
	引張り材の種類	18	24	30	40 以上
仮設	PC 鋼線 PC 鋼棒 PC 鋼より線 多重 PC #	1.0	1.2	1.35	1.5
	異形 PC 鋼棒	1.4	1.6	1.8	2.0
永久	PC 鋼線 PC 鋼棒 PC 鋼より線 多重 PC #	-	0.8	0.9	1.0
	異形 PC 鋼棒	-	1.6	1.8	2.0

(N/mm<sup>2</sup>)

③ アンカー体長

アンカー体長は、原則として3m以上10m以下とする。

(4) アンカー自由長

アンカー自由長は、原則として4m以上とし、土被り厚さ、構造系全体の安定を考慮して決定する。

(5) アンカーの配置

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

① アンカー工の計画位置

すべり面勾配が急な地すべり頭部など、アンカーとすべり面の交わる角度が直角に近い場合に

は、アンカーの抑止効果が小さくなり、アンカーがせん断されることもある。アンカーの計画位置には十分留意し、原則として地すべり頭部は避けるものとする。

## ② 近接構造物への影響

アンカー打設位置の近傍に地中埋設物、トンネルおよび杭等がある場合は、それらの構造物にアンカー工の影響が及ばないように十分考慮してアンカー傾角およびアンカー水平角を検討する。

## ③ アンカーの傾角

アンカーの傾角は、力学的有利性だけから決定されるものではなく、地形、地質および施工条件等を考慮して決定するが、アンカー施工上の問題（残留スライム及びグラウト材のブリージング）から原則として水平面より $-10^{\circ}$ ～ $+10^{\circ}$ の範囲内は避けるものとする。

## ④ アンカー設置間隔

アンカーの設置間隔は、設計アンカー力、アンカー体径およびアンカー体定着長等のアンカー諸元と定着地盤の性状からアンカーの相互作用を考慮して決定する。一般にアンカーの設置間隔は1.5～4.0m程度とされている例が多い。

## ⑤ アンカーの配置

一つの斜面（1段を単位とするのり面を含む）には、原則として2段以上のアンカーを配置することが望ましい。1段とせざるを得ない場合も、千鳥配置とするなど、できる限り面的に配置する。

## (6) 防食

アンカーは、原則として確実な防食処理のなされた永久アンカー（図 3-8）とする。アンカーの防食は、施工時及び施工完了後の腐食環境を十分考慮し、その構造の検討を行わなければならない。また、最も不利となる腐食条件を設定し、防食の対策を講ずる必要がある。

### ① アンカー体の防食

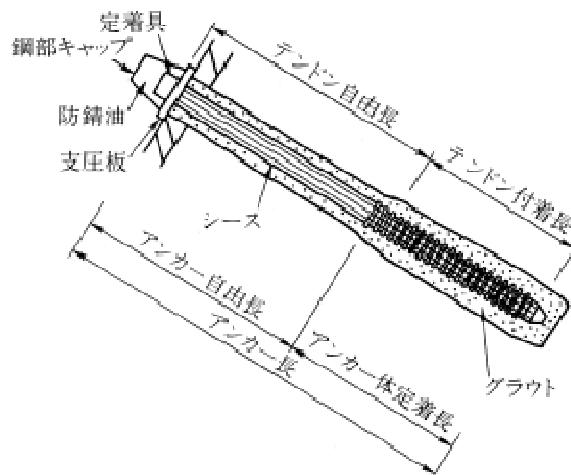
アンカー体の防食は、一定の厚みと強度を有する防食機能のある素材で覆い、その内部を防食機能のあるグラウト材等で充填することを標準とする。

### ② 引張部の防食

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

### ③ アンカー頭部の防食

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



(出典：地すべり防止技術指針及び同解説)

図 3-8 グラウンドアンカーの例

#### ④ その他

引張材に関して、それ自体の防食能力を向上させたものや、引張材に高耐食性材料（新素材）を使用したもの等、二重防食構造の永久アンカーと同等かそれ以上の防食能力を有するものは、その構造が二重でなくとも永久アンカーとして考えてもよい。なお、引止め効果を期待する場合は、延性が大きいものほど有効である。

#### (6) 受圧板

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

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

##### ① 受圧板への作用力

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

## ② 断面力の算定

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

## ③ 受圧板設置斜面の緑化

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

## ④ のり砕工

のり砕工を採用する場合は、（一社）全国特定のり面保護協会発行の「のり砕工の設計・施工指針」によることを原則とする。

## (7) アンカー基本試験

アンカー基本試験（引抜き載荷試験）は原則としてアンカーの詳細設計の実施前に行う。現場状況等により、これによりがたく、施工の直前に長期試験と併せて実施する場合でも、その結果が正しく設計に反映されるよう修正設計を行う体制を整えておかなければならない。