

8. 抑止工

(基準書 第3章、3.4.3関連)

8.1 杭工

8.1.1 設計の基本事項

(1) 地すべりブロックの圧縮部と引張部の判定

杭工の設計に当たり、安定計算断面の分割スライスごとに地すべりのせん断推進力 T とせん断抵抗 R の差($R-T$)を求め、最末端部より累加した値が最大となるスライスまでを圧縮部、それより上部のスライスを引張部とする手法等により、地すべりブロックの圧縮部と引張部の境界と考えることができる(図-3.8.1)。ただし、伸縮計を用いた測定等によって圧縮部、引張部が判定されている場合にはこの結果を優先する。

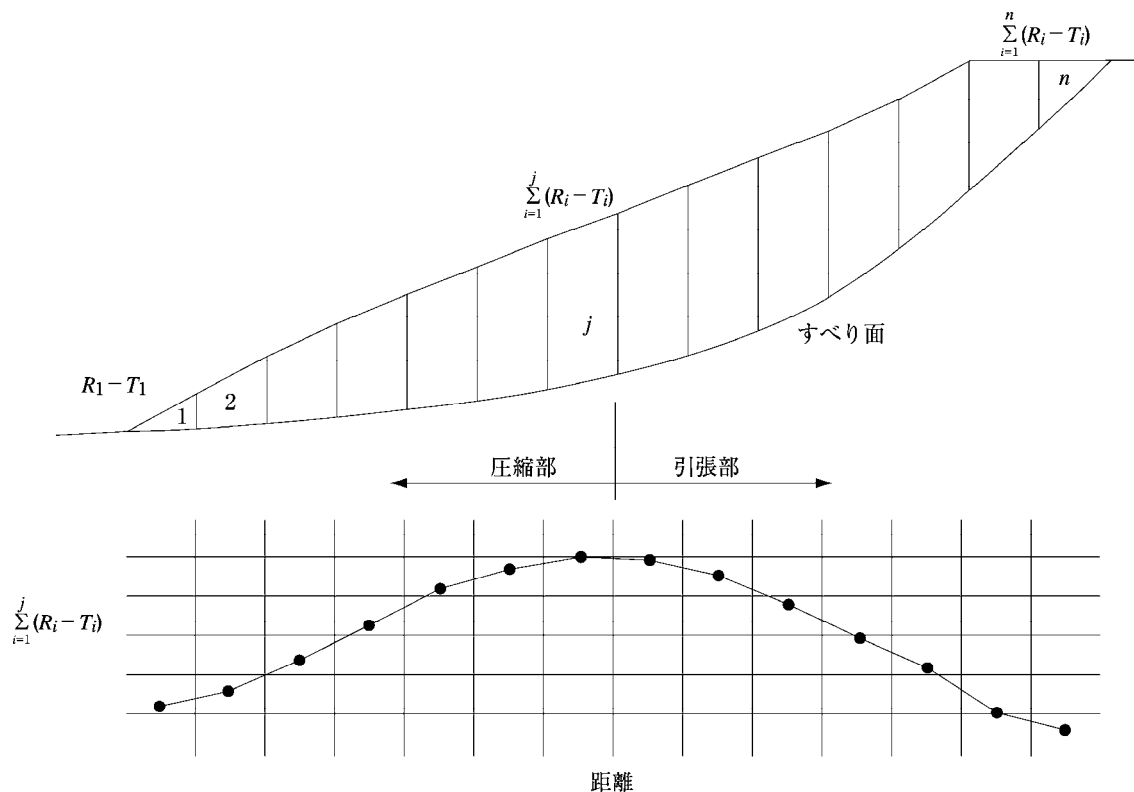


図-3.8.1 圧縮部と引張部の判定模式図

(2) 杭に発生する力と杭の種類^{*1, *2}

一般に杭が地すべりに抵抗する場合、杭には曲げモーメントとせん断力が発生し、杭の持ついずれかの破壊強度を超えたときに杭は破壊する。すなわち杭の設計を行う場合は、曲げモーメントとせん断力に対する杭の安全性を満足する必要がある。

*1 (社)日本道路協会：道路土工 切土工・斜面安定工指針、p. 422 (2009) (一部変更)

*2 (社)斜面防災対策技術協会：新版地すべり鋼管杭設計要領、p. 30 (2016) (一部変更)

曲げモーメントに対する安全性を満足する設計を行う杭をモーメント杭、せん断力に対する安全性を満足する設計を行う杭をせん断杭という。(図-3.8.2)

また、モーメント杭は、抑え杭とくさび杭に分類される。(図-3.8.3、図-3.8.4)

① くさび杭

地すべりブロックと基盤をつなぎとめる効果を持つ杭で、地すべりの活動に伴い地すべりブロックと一体になって変形し、変位の増大とともにせん断抵抗力を発揮する。地すべりの滑動力を、すべり面位置に集中荷重として与える。

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みなし、地すべりの滑動力が、地すべりブロック中の杭に作用するものとして設計する。地すべりの滑動力は三角分布荷重若しくは等分布荷重として与える。ただし、計算結果が同値になるため、一般的な計算モデルは地すべりの滑動力を、すべり面深度の $1/3 \sim 1/2$ の深度に集中荷重として与える簡便なモデルとすることが多い。

③ せん断杭

すべり面でのせん断抵抗力のみで地すべりを安定化させる杭で、たわみやモーメント分布は考慮しない。地すべりの滑動力を、すべり面位置に集中荷重として与える。

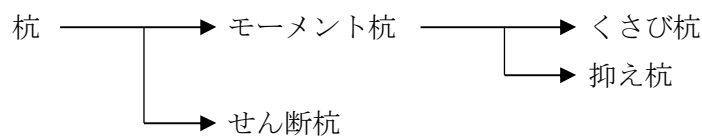


図-3.8.2 杭の種類

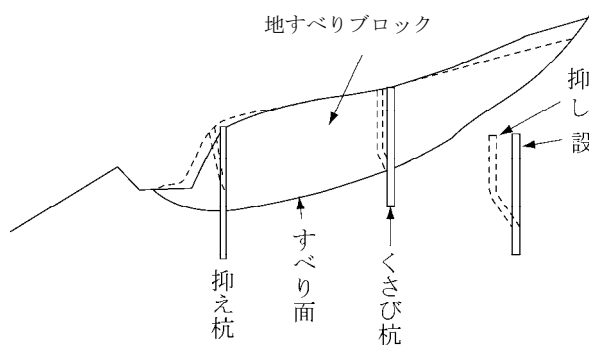


図-3.8.3 モーメント杭の種類

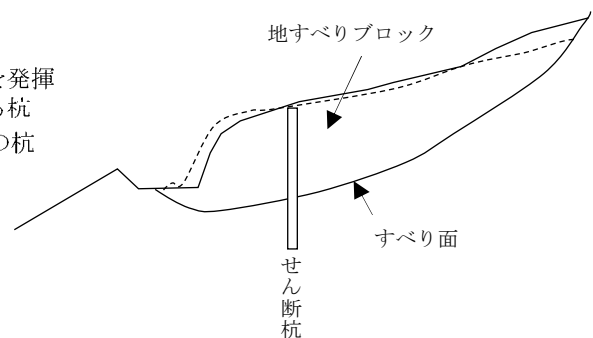


図-3.8.4 せん断杭の模式図

(3) 杭の設置位置

圧縮部の最上部は、地すべりブロック内における杭背後の地盤反力が最大となる地点であり、杭の設置位置としては最も適している。それより上部でも下部でも地盤反力は小さくなるため杭設計上は不利となるが、保全対象によってはこのような場所に杭を設置せざるを得ない場合もあり、現場の状況を勘案し、杭背後の地盤反力状況を十分に検討した上で、杭設計を行う必要がある。

(4) 杭の構造計算

ア. 杭のせん断抵抗力

杭のせん断抵抗力は、当該地すべりブロックの安定計算において、杭工により目標安全率を確保するための地すべり単位幅当たり抵抗力で、式 (3.8.1) により算定する。

なお、杭の設置位置及び地すべりブロックの土質条件によっては、 ΣT 、 ΣR の対象スライスの範囲について検討を行う。

$$P_R = P.F_s \Sigma T - \Sigma R \dots\dots\dots (3.8.1)$$

$$= P.F_s \Sigma W \sin \alpha - \Sigma \{c' \ell + (W \cos \alpha - u \ell) \tan \phi'\}$$

ここで P_R : 杭のせん断抵抗力 (kN/m)

$P.F_s$: 目標安全率

T : 各スライスのすべり面上に働くせん断力 ($T = W \sin \alpha$: スライス重量の接線分力) (kN/m)

R : 各スライスのすべり面上にはたらくせん断抵抗力 (kN/m)

W : スライス重量 (kN/m)

α : すべり面が水平方向に対してなす角 ($^{\circ}$)

u : スライスのすべり面上に働く間隙水圧 (kN/m²)

ϕ' : すべり面の土のせん断抵抗角 ($^{\circ}$) (有効応力表示)

c' : すべり面の土の粘着力 (kN/m²) (有効応力表示)

ℓ : 各スライスのすべり面の長さ (m)

イ. 間隙水圧に起因する力 (U) の設定

抑制工を併用する場合は、抑制工による間隙水圧等の低減を考慮した値を適用する。

ただし、杭工と抑制工の工事実施時期の違い等により、杭施工後の一定期間において、抑制工による間隙水圧等の低減が期待できない場合は、抑制工による間隙水圧等の低減を考慮しない値を適用することができる。

ウ. 杭 1 本あたりに作用する水平荷重

$$P = \frac{P_R \cos \theta D}{nN} \dots\dots\dots (3.8.2)$$

ここで P : 杭 1 本あたりに作用する水平荷重 (kN)

P_R : 杭のせん断抵抗力 (kN/m)

θ : 杭設置地点のすべり面傾斜角 ($^{\circ}$)

D : 杭の中心間隔 (m)

n : 1 段における杭の配列数 (単列 = 1、千鳥 = 2)

N : 杭の施工段数 (同一地すべりブロックに施工する段数)

① 杭の中心間隔

杭の中心間隔は、杭と杭の間から地すべりの土塊が中抜けしないよう、地すべりブロックの土質、杭の口径等を考慮の上決定する。その際、表-3.8.2の間隔を標準とし、杭の直径の 8 倍以内を一応の目安とすることができる。

表-3.8.2 標準杭の間隔*1

移動層の厚さ (m)	標準杭間隔 (m)
～10	2.0以下
10～20	3.0以下
20以上	4.0以下

② 杭の配列

原則として単列打ちとするが、施工上から削孔時の孔壁間の距離が1m未満になるときは千鳥打ちが望ましい。

杭間隔が狭く、杭により地下水が遮断されてしまう可能性がある場合は、杭の谷側又は山側から水抜きボーリング工を施工する等、排水性を考慮する必要がある。

エ. 地すべりブロック及び基盤の地盤反力の条件

杭の種類に応じた、地すべりブロック及び基盤の地盤反力の条件を、表-3.8.3に示す。

表-3.8.3 抑止杭の種類と特徴

杭の種類	地すべりブロック及び基盤の地盤反力の条件	
	地すべりブロック	基 盤
くさび杭	杭背後に水平荷重の作用による地盤反力が期待できる場合	杭背後に水平荷重の作用による十分大きな地盤反力が期待できる場合
抑 え 杭	杭背後に水平荷重の作用による地盤反力が期待できない場合	
せん断杭	杭背後に水平荷重の作用による十分大きな地盤反力が期待できる場合	

オ. 杭に発生する最大せん断力及び最大曲げモーメント

杭1本当たりに発生する最大せん断力及び最大曲げモーメントの算定式の適用条件を、表-3.8.4に示す。

表-3.8.4 最大せん断力及び最大曲げモーメントの算定式の適用条件

区分	記号	算定式	杭の種類	最大値の発生位置
最大せん断力	S_{1max}	(3.8.3)	せん断杭 くさび杭	すべり面
	S_{2max}	(3.8.4)	抑え杭	基盤内
最大曲げモーメント	M_{1max}	(3.8.5)	くさび杭	地すべりブロック内
	M_{2max}	(3.8.6)		基盤内
	M_{2max}	(3.8.7)	抑え杭	基盤内

添字の1は地すべりブロック、2は基盤を表す。

*1 (社)斜面防災対策技術協会：新版地すべり鋼管杭設計要領、p.47 (2016)

$$S_{1\max} = H \quad (\text{くさび杭では } S_{2\max} = -H \text{ も発生}) \quad \dots\dots\dots (3.8.3)$$

$$S_{2\max} = H \sqrt{2(\beta_2 h)^2 + 1} \exp\left(-\tan^{-1} \frac{\beta_2 h + 1}{\beta_2 h}\right) \quad \dots\dots\dots (3.8.4)$$

$$M_{1\max} = \frac{H}{2} e^{-\alpha_1} \left\{ \left(\frac{1}{\beta_1} - \frac{1}{\beta_2} \right) \cos \alpha_1 - \left(\frac{1}{\beta_1} + \frac{1}{\beta_2} \right) \sin \alpha_1 \right\} \quad \dots\dots\dots (3.8.5)$$

$$M_{2\max} = \frac{-H}{2} e^{-\alpha_2} \left\{ \left(\frac{1}{\beta_1} - \frac{1}{\beta_2} \right) \cos \alpha_2 + \left(\frac{1}{\beta_1} + \frac{1}{\beta_2} \right) \sin \alpha_2 \right\} \quad \dots\dots\dots (3.8.6)$$

$$M_{2\max} = \frac{-H}{2 \beta_2} \sqrt{(1 + 2 \beta_2 h)^2 + 1} \exp\left(-\tan^{-1} \frac{1}{1 + 2 \beta_2 h}\right) \quad \dots\dots\dots (3.8.7)$$

$$\beta = \sqrt[4]{\frac{E_s}{4EI}} \quad (\text{m}^{-1}) \quad \dots\dots\dots (3.8.8)$$

$$E_s = k_h d \quad (\text{kN/m}^2) \quad \dots\dots\dots (3.8.9)$$

$$\alpha_1 = \tan^{-1} \frac{\beta_2}{\beta_1} \quad \dots\dots\dots (3.8.10)$$

$$\alpha_2 = \tan^{-1} \frac{\beta_1}{\beta_2} \quad \dots\dots\dots (3.8.11)$$

ここで、 $S_{1\max}$ 、 $S_{2\max}$: 杭 1 本あたりに作用する最大せん断力 (kN)

$M_{1\max}$ 、 $M_{2\max}$: 杭 1 本あたりに作用する最大曲げモーメント (kN・m)

H : 水平外力 (kN)

h : すべり面からの作用点までの高さ (m)

E_s : 地盤の変形係数 (kN/m²)

E : 杭材の弾性係数 (kN/m²)

K_h : 水平方向地盤反力係数 (kN/m³)

d : 杭径 (m)

I : 杭の断面二次モーメント (m⁴)

α_1 : 地すべりブロック内での α (ラジアン角)

α_2 : 基盤内での α (ラジアン角)

β : 杭の移動特性値 (m⁻¹)

β_1 : 地すべりブロック内での β (地すべりブロックの E_s より算出)

β_2 : 基盤内での β (基盤の E_s より算出)

① 水平外力 (H)

式 (3.8.2) で求めた、杭 1 本あたりに作用する水平荷重 (P) とする。ただし、杭背後の地すべりブロックの安定性に疑問がある場合は、引張部の土塊だけを対象として式 (3.8.1) より求めた P_R をもとに式 (3.8.2) で求め $H=P$ とする。

② すべり面から H の作用点までの高さ (h)

明瞭なすべり面に沿った滑動とならず土圧が三角形分布する場合には式 (3.8.12)、等分布と考えられる場合には式 (3.8.13) で算定する。

$$h = h_0 / 3 \quad \dots\dots\dots (3.8.12)$$

$$h = h_0/2 \quad \dots\dots\dots (3.8.13)$$

ここで、 h_0 ：杭の有効長（すべり面上の杭長）（m）

また、明瞭なすべり面に沿い、地すべりブロックが剛体的に滑動する場合は、すべり面からの作用点までの高さを0とする。

なお、近傍類似地区において h の実測値があれば、その値を用いてもよい。たとえば、新潟県における第三紀層での実測結果によると、多くがすべり面からの作用点までの高さは1.7m（1.0～2.0m）であった。

③ 地盤の変形係数 (E_s)

杭の単位長さあたりに作用する地盤の反力 (P) が杭のたわみ (y) に比例すると考えたときの比例係数で、 $P = E_s y$ の関係となる。

この E_s の値は原理的には短期安定の検討に用いるものであるが、長期安定についての検討でもこの値が準用できる。

④ 水平方向地盤反力係数 (k_h)

k_h は、 N 値との関係を実験的に求めた、図-3.8.5より得られる。

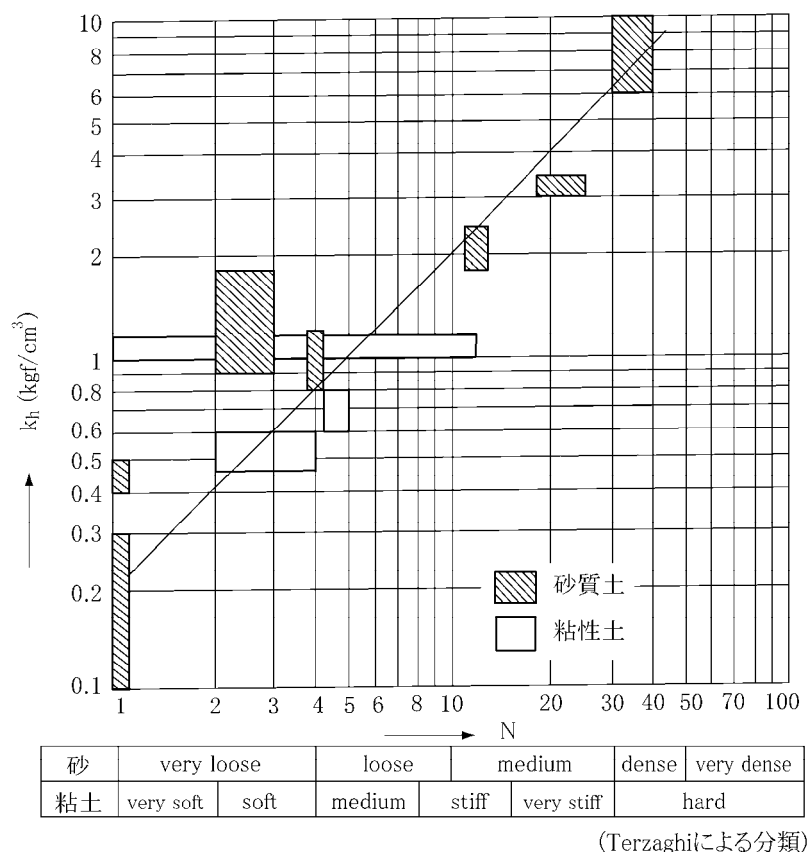


図-3.8.5 $k_h - N$ 図^{*1}

(参考—SI単位換算 $1 \text{ kgf/cm}^3 = 9.8 \text{ MN/m}^3 \approx 10 \text{ MN/m}^3$)

*1 運輸省港湾局調査設計室（1962）：栈橋ドルフィンの設計法、調査設計室報告、2、pp. 39～88（Terzaghiによる分類は、下記の原本の分類の砂、粘土について併せて作図している。）Terzaghi K. and Peck R.B. (1948) : Soil Mechanics in Engineering Practice, John Wiley & Sons, Inc.

なお、 k_h はボーリング孔内水平載荷試験等によっても求めることができる。ボーリング孔内に膨張形タイプ又はジャッキタイプの測定管を降ろして段階載荷を行い圧力 (P) と半径 (r) の関係を図-3.8.6の直線部分の勾配を式 (3.8.14) によって求めて k_h の値とする。

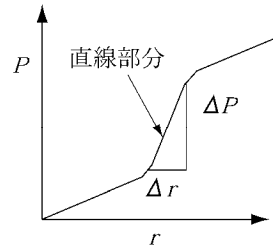


図-3.8.6 圧力 (P) と半径 (r) の関係

$$k_h = \frac{\Delta P}{\Delta r} \dots\dots\dots (3.8.14)$$

カ. 杭の断面計算

杭の断面計算は、杭に作用する荷重条件を検討の上で行う。

杭の種類と杭に作用する荷重条件の関係を、表-3.8.5示す。

表-3.8.5 杭に作用する荷重条件

杭の種類	杭に作用する荷重条件	
	最大せん断力	最大曲げモーメント
くさび杭	$S_{1\max}$ (3.8.3)	$M_{1\max}$ (3.8.5)
	$S_{2\max}$	$M_{2\max}$ (3.8.6)
抑え杭	$S_{2\max}$ (3.8.4)	$M_{3\max}$ (3.8.7)
せん断杭	$S_{1\max}$ (3.8.3)	計算を省略 ^{注)}

注) せん断杭は、杭背後の地すべり土塊に十分に大きな地盤反力が期待できる場合、かつ、杭の設置位置が圧縮部の上端部で、地すべり機構、近傍事例等を勘案し、杭に作用する曲げモーメントに対する杭の断面計算を省略できると判断できる場合に用いるものである。

杭の断面計算では、表-3.8.5の杭に作用する荷重条件に対して、くさび杭及び抑え杭については、式 (3.8.15)、式 (3.8.16) の双方の条件を満足するよう、また、せん断杭については、式 (3.8.15) を満足するようにする。

ただし、くさび杭及び抑え杭は、類似条件下で杭の断面計算を行った過去の実績等において、モーメントに対する式 (3.8.16) の条件を満足し、せん断力に対する式 (3.8.15) の条件も満足することが明らかであると判断できる場合は、せん断力の検討を省略することができる。

$$\tau_a \geq \alpha \frac{S_{\max}}{A} \dots\dots\dots (3.8.15)$$

ここで、 τ_a : 杭材の許容せん断応力度 (kN/mm²)

$S_{\max}$: 杭 1 本当たりに発生する最大せん断力 (kN) (式3.8.3～3.8.4)

A : 杭の断面積 (m²)

α : せん断応力補正係数 (式3.8.17) (一般には $\alpha = 2.0$)

$$\sigma_a \geq \frac{N_f}{A} \pm \frac{M_{\max}}{W} \dots\dots\dots (3.8.16)$$

ここで、 σ_a : 杭材の許容曲げ応力度 (kN/m²)

H_f : 杭にかかる軸力 (kN)

A : 杭材の断面積 (m²)

$M_{\max}$: 杭 1 本当たりに作用する最大曲げモーメント (kN・m)

(式3.8.5～3.8.7)

W : 杭の断面係数 (m³)

$$\alpha = \frac{4(D^2 + Dd + d^2)}{3(D^2 + d^2)} \dots\dots\dots (3.8.17)$$

ここで、 D : 鋼管杭の外径 (m)

d : 鋼管杭の内径 (m)

なお、断面計算に当たっては、次に示す計算諸元について比較検討により試算を行い、経済的な杭材の仕様となるよう検討する。

- ① 杭の設置位置
- ② 杭の間隔
- ③ 杭材の弾性係数、断面積及び断面係数
- ④ 杭材の許容せん断応力度及び許容曲げ応力度
- ⑤ 杭材の材料費及び杭工の工事費

キ. 杭材の選定

一般には鋼管杭を使用することが多いが、この場合、内部にモルタル又はコンクリートを充填する（ただしコンクリート強度は考慮しない）。

ク. 鋼管杭の根入れ長さ

鋼管杭の基盤への根入れ長さは、杭の種類に応じて、次に示す条件を満足するよう設定する。

- ① 最小根入れ 3 m以上
- ② 基盤の N 値が50未満の場合は、杭全長の1/2～1/3、
基盤の N 値が50以上の場合は、杭全長の1/3～1/4
- ③ 杭の条件を確保する根入れ長さ (h_b)

$$h_b \geq (1.0 \sim 1.5) \times (\tan^{-1} \frac{\beta_1 - \beta_2}{\beta_1 + \beta_2} + \pi) / \beta_2 \dots\dots\dots (3.8.18)$$

$$h_b \geq (1.0 \sim 1.5) \times \frac{\pi}{\beta} \dots\dots\dots (3.8.19)$$

ここで、 h_b : 鋼管杭の根入れ長さ

β : 式 (3.8.8)

くさび杭は①、③の式 (3.8.18)、抑え杭は①、③の式 (3.8.19) の条件を満足できる根入れ長さとする。

せん断杭は、①と②の条件を満足できる根入れ長さとする。

ケ. 鋼管杭の許容応力度

杭の断面計算に用いる鋼管杭の許容応力度を、表-3.8.6に示す。

なお、杭に使用する鋼管杭の許容応力度は、地下水排除工を併用する場合は、短期許容応力度を用い、地下水排除工を併用しない場合は、長期許容応力度を用いることを標準とする。

表-3.8.6 鋼管杭の許容応力度

区分	短期許容応力度 (N/mm ²)		長期許容応力度 (N/mm ²)	
	せん断	曲げ	せん断	曲げ
SKK400及び同等品	120	210	80	140
SKK490及び同等品	160	280	105	185
SM570及び同等品	220	380	145	255

引張強さ490N/mm²を超える高張力鋼（SM520やSM570等）は、工事現場における溶接部の強度管理等が困難であるが、ねじ継ぎ手、ソケット式継手等の機械的接合部材を用いる場合には、その接合部に高張力鋼を使用しても良い*1。

(5) 杭設置後の安定計算

図-3.8.7に示すように杭の上部に圧縮部の破壊による新しいすべりが発生する場合があるので、すべり面ABCを対象とする安定計算を行い、安定であることを確認する。

α は、 $\alpha = 45^\circ - \phi/2$ （ ϕ はBC面のせん断抵抗角）として計算する。

なお、BC面の土質定数は調査により明らかになっている場合は、その値を、そうでない場合はAB面と同一値を用いてよい。

そのほかに、杭下側面を上端とする先端部のすべり（Ⅱ）や、杭の上側斜面で新たに受動破壊による深い地すべり（Ⅰ）や表層すべり（Ⅲ）が生じた例も見られるので留意する必要がある。

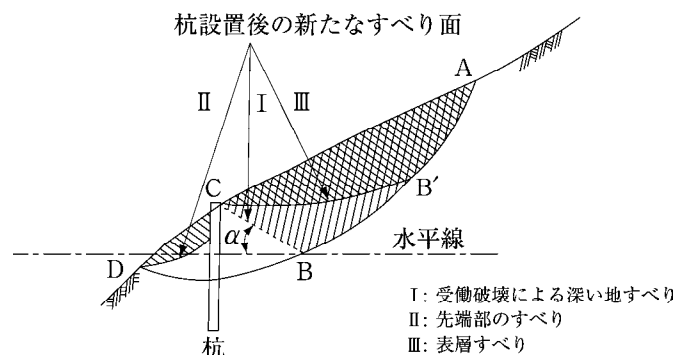


図-3.8.7 杭設置後の新たなすべり面の概念図

8.1.2 設計の留意事項

- ① 8.1.1では、設計の基本事項を示しているが、杭の種類に応じた詳細な検討が必要な場合もある。検討の詳細については、「新版地すべり鋼管杭設計要領」（斜面防災対策技術協会）*2等を参照する。
- ② 杭の断面計算における杭径の最小径は200mmとするが、地すべり機構、土質等の条件、杭の設置位置及び杭の間隔に応じて、杭と杭の間から地すべり土塊が中抜けしないよう十分な検討を行う必要がある。

*1 （社）斜面防災対策技術協会：新版地すべり鋼管杭設計要領、p. 11（2016）（一部変更）

*2 （社）斜面防災対策技術協会：新版地すべり鋼管杭設計要領（2016）

- ③ 杭の長さは、施工条件を考慮の上、施工可能な範囲内となるよう条件設定を行い、杭の断面計算を行う。
- ④ 曲げ強度の計算で杭の必要強度が著しく大きくなる場合には、杭の頭部をアンカーにより固定し、より大きい抑止力を得られるように設計することがある。また、抑え杭は特定の杭に荷重が集中し破壊されることも考えられるので、杭全体を安定的に機能させるため杭頭を連結する場合もある。
- ⑤ セン断杭は杭工が地すべり防止対策工として昭和30年代に用いられて以来ずっと用いられて来た長い歴史をもつ工法である。この杭は剛な地盤に挿入された杭がすべり面でセン断破壊されるとき地すべりの抑止機能を発揮すると想定するものである。しかし、地すべり機構や杭の抑止機構が解明されてくると実際にはセン断杭で考えている破壊機構は存在しないことが分かってきた。
したがって、セン断杭として杭を設計する場合は地すべりの状況を十分に考慮してこれを採用することが大切である。
- ⑥ 高張力鋼はSKK490及び同等品の杭材よりも大きな許容応力度が得られる。しかし、高張力鋼では杭の許容たわみ量も大きくなるという点に注意しなければならない。杭のたわみや地盤の変形がどの程度まで進むかは現場条件によって異なる。このため、高張力鋼を検討する場合には、地盤調査を十分に行い、杭に発生する荷重やたわみについて照査してから採用する等、慎重な配慮が必要である。

8.1.3 施工時の留意事項

- ① 杭と掘削孔との間（クリアランス）は最小となるように掘削し、杭を建込み、グラウト充填する。
- ② ボーリングの施工に当たっては、掘削水がすべり面に回ってすべりを助長することのないよう、ケーシングの使用や泥水濃度に留意して作業する。
- ③ 杭工は、工事費が一般的に高額となるので、できるだけ最小の掘削費で最大のセン断抵抗力を有する構造とすることが必要である。
- ④ 鋼管杭設置に当たっての削孔方法は、地質状況、地下水状況等を考慮して選定する必要がある。

8.2 シャフト工

8.2.1 設計の基本事項

(1) 配置

シャフト工配置は、原則として杭工に準ずる。ただし、杭工に比べて極めて大きな荷重を受けるので、十分堅固な基礎上に設置する必要がある。

(2) 構造計算

シャフト工本体は弾性体として、斜面の影響を考慮した上でケーソン基礎に準じてモデル化し、地盤反力度、変位及び断面力の計算を行う。

8.2.2 設計の留意事項

- ① シャフト自体が地すべりブロックにより発生するせん断力及び曲げモーメントに十分耐えること。
- ② 基礎地盤は、シャフトの自重及び地すべりブロックの活動力に対して十分抵抗できる強度を持ち、長期の荷重集中にも劣化を生じないことが必要である。
- ③ シャフトの直径は1.5～3.5m、中心間隔は7～10mが一般的である。
- ④ シャフト工の必要抵抗力 (P_R) 及びシャフト1本当たりの水平荷重 (P) の算定は杭工に準ずる。

8.2.3 施工時の留意事項

- ① 施工のうち、掘削は地下水排除工の集水井工に準じて行う。

8.3 アンカー工

8.3.1 設計の基本事項

(1) 構造

アンカーは図-3.8.8に示すように、アンカー頭部、引張部及びアンカー体よりなる。アンカー頭部は、擁壁工、枠工等の構造物（受圧構造物）又は地山に接続し、引張力をこれらに無理なく伝達する。引張部は引張力を地盤内のアンカー体へ伝達する部分、アンカー体は引張力を地盤へ伝達させるための抵抗部分で、一般には先端部をグラウト等により基盤に直接定着させる。

アンカー各部の名称を図-3.8.9に示す。

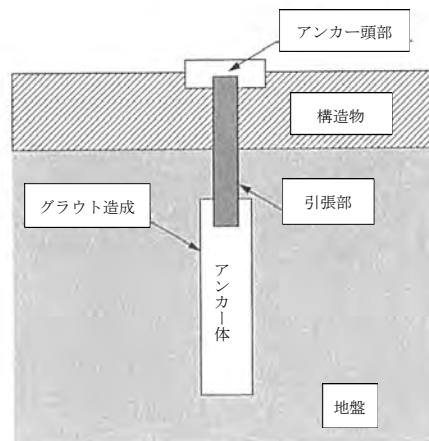


図-3.8.8 アンカー工の基本要素*1

*1 （国研）土木研究所ほか：グラウンドアンカー維持管理マニュアル、鹿島出版会、p.5(2008)（一部加筆）

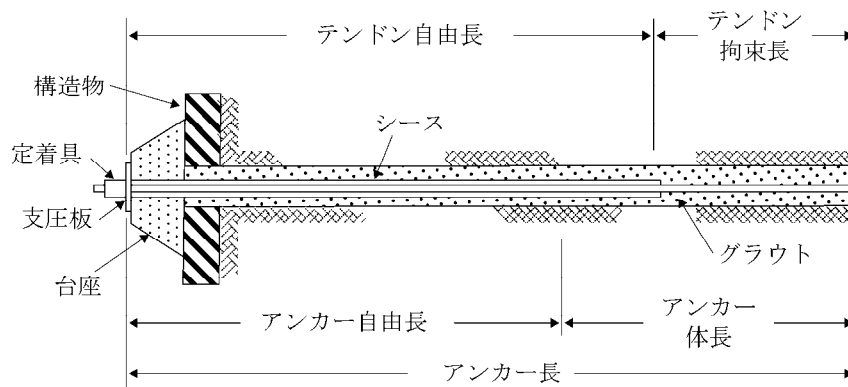


図-3.8.9 アンカー各部の名称

(2) 設計アンカー力

単位幅当たり 1 か所ないし複数箇所アンカーを配置する場合の斜面安定計算式を式 (3.8.20) に示す。

$$P.F_s = \frac{\Sigma(W \cos \alpha - u \ell) \tan \phi + \Sigma c \ell + \Sigma P \sin \beta + \Sigma P \cos \beta \tan \phi}{\Sigma W \sin \alpha} \dots\dots\dots (3.8.20)$$

ここで $P.F_s$: 目標安全率

c : 粘着力 (kN/m^2) (有効応力表示の場合 $c=c'$ 、全応力表示の場合 $c=c_u$)

ϕ : せん断抵抗角 ($^\circ$) (有効応力表示の場合 $\phi=\phi'$ 、全応力表示の場合 $\phi=\phi_u$)

W : スライスの重量 (kN/m)

ℓ : スライスのすべり面長さ (m)

u : スライスのすべり面にはたらく間隙水圧 (kN/m^2) (全応力表示の場合 $u=0$)

α : スライスのすべり面が水平方向に対してなす角 ($^\circ$) (図-3.8.10)

β : アンカー軸線とすべり面に対する法線とのなす角 ($^\circ$) (図-3.8.10)

P : アンカー設置箇所の設計アンカー力 (kN/m)

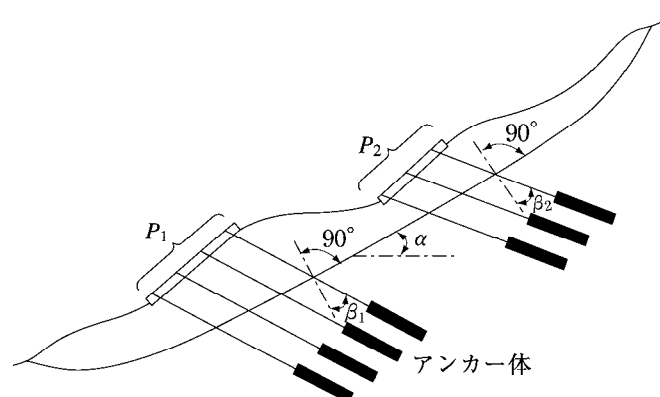


図-3.8.10 斜面安定計算式における α 、 P 及び β
(2 か所設置の場合で、それぞれ 4 段と 3 段施工する例)

式 (3.8.20) の $P \sin \beta$ と $P \cos \beta \tan \phi$ は、アンカー設置箇所において設計アンカー力によってすべり面に作用する力で、それぞれ接線方向に地すべりブロックを引き止めようとする引張力、垂直方向の締め付けにより発生する摩擦抵抗力であり、複数箇所に設置する場合はその総和をとる (図-3.8.9)。一般に ϕ が小さいほど β を大きくとって設計した方が安定計算上有利であるが、削孔長が長くなるため、経済性も考慮して決定する。 β の値や地盤の状況によっては、 $P \sin \beta$ あるいは $P \cos \beta \tan \phi$ はのいずれかを重点的に考慮して他方を無視して設計する場合もある。

なお、 W 、 α 、 ℓ は、斜面改良工を併用する場合には、その断面から採用する。また、 u については水位低下の効果が確認されている場合を除き、地下水排除工による水位低下は見込まない。アンカー工は施工後すぐに効果を発揮することが期待され、土質力学的には短期安定問題を考慮しなければならないことが多い。その場合、短期的な強度 ($c=c_u$ 、 $\phi=\phi_u$) を用いて設計し、地下水位の変化に伴う有効応力の増加は期待しない。しかし、アンカー工は斜面の長期安定にも寄与し、長期的対策として計画する場合もある。その場合には、地下水位の変化に伴う有効応力の変化を考慮し、長期的な強度 ($c=c'$ 、 $\phi=\phi'$) を用いて設計する。

式 (3.8.20) で、アンカーを 1 か所に設置する場合の当該箇所の設計アンカー力 P は次式により求められる。

$$P = \frac{F_s \Sigma W \sin \alpha - \{ \Sigma (W \cos \alpha - u \ell) \tan \phi + \Sigma c \ell \}}{\sin \beta + \cos \beta \tan \phi} \quad \dots\dots\dots (3.8.21)$$

1 か所に複数段のアンカーを設置する場合のアンカー 1 本当たりの設計アンカー力は、各段の β を同一とし、式 (3.8.21) の P が単位幅当たりなので法枠工等の配置間隔を考慮して、次式により算定する (図-3.8.9)。

$$T = \frac{mP}{n} \quad \dots\dots\dots (3.8.22)$$

ここで T : アンカー 1 本当たりの設計アンカー力 (kN/本)

m : 水平方向のアンカー設置間隔 (m)

P : アンカー設置箇所の設計アンカー力 (kN/m)

n : 1 か所におけるアンカーの施工段数 (段又は本)

アンカーを複数箇所に設置する場合には、式 (3.8.20) に各設置箇所の P 、 β の仮値を与えて試算を行い、目標安全率を満足する各設置箇所の P 、 β を決定する。

8.3.2 設計の留意事項

- ① 定着基盤については事前にその強度や深さを十分に調査する。また、周辺の埋設物や構造物への影響の有無についても把握しておく。
- ② アンカー体の間隔、長さ及び径は法枠工等の地表の受圧構造物の断面性能、掘削費、定着部の強度等に応じて決定する。
- ③ アンカー体の間隔を密にした場合、定着部基盤内のせん断破壊面が連続してアンカー 1 本当たりの極限引拔力が低下 (グループ効果が発生) し、ひいては定着基盤そのものが破壊されることがあるので、設計上留意することが必要である。
- ④ アンカー頭部の構造は、設計アンカー力に対して十分な強度を持ち、再緊張できる構造とす

る。

- ⑤ 受圧構造物としては、鉄筋コンクリート擁壁や鉄筋コンクリートの梁を用いた枠工、独立受圧板等が用いられる。

受圧構造物は、設計アンカー力を地すべりブロックに均等に負担させることができるよう十分な強度を持ったものとし、その接地面積は設計アンカー力及び受圧構造物の自重によって地すべり土塊が破壊されないよう設計する。

- ⑥ アンカーに有害な腐食が生じないよう適当な防食を行うとともに、アンカー体のグラウトと付着する部分から有害なさび、泥、油等を取り除く。
- ⑦ アンカーの設計及び施工に関する資料を得るために基本調査試験、適性試験、確認試験、その他の試験を行う。

(ア) 基本調査試験

基本調査試験は、アンカー設計のための基礎資料を得るための試験で、引抜試験と長期試験がある。

(イ) 適性試験

適性試験は、実際に使用するアンカーを多サイクルで所定の荷重まで載荷し、その荷重－変位量特性からアンカーの設計・施工が適切であることを確認するための試験である。

(ウ) 確認試験

確認試験は、実際に使用するアンカーに1サイクルで所定の荷重まで載荷し、アンカーが設計アンカー力に対して安全であることを確認するための試験である。

(エ) その他の試験

その他として、特殊な目的や条件下で使用するアンカーを対象にして行われる試験がある。

- ⑧ アンカー荷重計により、アンカーにかかる荷重を管理することは、維持管理上の長寿命化、点検の省力化の観点から有効である。
- ⑨ アンカーを設置する法面が急勾配の場合は、維持管理において目視点検等を実施することを考慮して、点検用の通路を設置することが望ましい。
- ⑩ 検討の詳細については、「グラウンドアンカー設計・施工基準、同解説」(地盤工学会)^{*1}等を参照する。

8.3.3 施工時の留意事項

- ① 削孔に当たっては、周囲の地盤を乱すことがないように十分注意する。特に泥岩のような場合には、施工時の水の使用あるいはスライムの付着等により、地盤との摩擦抵抗が非常に小さくなることがあるので注意を要する。

*1 (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 (2012)

9. 地すべり地域のほ場整備

(基準書 第3章、3.3.5(2)関連)

地すべり地域ではほ場整備を行う場合、斜面改良工による地すべり対策と連携して事業を行うことにより、効率的な事業の実施が可能となる。ここでは、大規模な斜面改良工を行うことによる地すべりブロック全体の安定化と、斜面全体勾配の低減によるほ場の区画拡大を同時に行う整備手法をとる場合を中心に、調査・計画・設計に当たっての留意事項を示す。

9.1 大規模な斜面改良工による地すべり防止対策を行う場合のほ場整備

(1) 基本的な考え方

大規模な斜面改良工による地すべり防止対策とほ場の区画拡大を同時に行う場合、ほ場整備の対象地域が、地すべり防止に効果的な斜面改変を行い得る地形・地質条件である必要がある。

斜面改良工には、大別して排土工と押え盛土工があるが、対象とする地すべりブロックの地形・地質条件により、排土工・押え盛土工それぞれの適用性があり、排土工が効果的な場合、押え盛土工が効果的な場合及び排土工・押え盛土工のどちらも効果的な場合があるため、その条件に合った効果的な斜面改変及びほ場整備の計画とする必要がある。

また、これらの設計に当たっては地すべり地域であることに極力配慮し、安全なほ場整備とする必要がある。地すべり地域内のほ場整備の区画形状、法面の設計に当たっては、地すべりの助長を防止し、不良な土質材料に配慮したものとする。

(2) 調査時の留意事項

調査では、既存の地すべり資料を活用するとともに以下の調査を実施し、地形・地すべり状況の概況を把握する。

ア. 地形・地質調査

- ① 大規模な斜面改良を計画する場合、特に地形改変により影響を受ける可能性のある周辺の地すべりの分布や潜在する大規模地すべりブロックの存在の有無等の検討のため、余裕を持った広い範囲で地形・地質調査を行う必要がある。
- ② 調査に使用する地形図の精度が低いと、地すべり形状・断面形状の把握が十分に行えず、斜面改変計画の樹立に支障をきたすため、高精度の地形図を用いた調査が必要である。

イ. 調査ボーリング

大規模な斜面改良工を行う場合、対象ブロックの上方及び下方斜面の地質状況、上方及び下方に連続する地すべりブロックのすべり面形状の確認が必要であり、これらの把握のための調査ボーリングを行う必要がある。

ウ. 地下水位と間隙水圧の測定

地形の改変に伴う地下水位の変化が改変後の安定性の変化に影響を及ぼすため、すべり面に係る間隙水圧の把握は特に注意深く行う必要がある。

(3) 計画時の留意事項

計画では、調査結果をもとに地すべりについて排土工や押え盛土工に対する適応性を判断し、

は場整備に当たっての留意点を見極めることが必要である。

ア. 排土工

(ア) 適地の条件

次のような場合が、排土工の適地となる。

- ① 地すべり頭部が尾根近くまで達していたり、その形状が平坦地に近いような場合（頭部の切取りにより背後の斜面に新たな地すべりが発生する可能性が小さい。）
- ② 断層等の境界により、地すべり範囲が明確に限定されている場合（断層背後地山が堅硬であれば一般に問題は少ない。ただし、断層背後の地山が脆弱である場合もあり、注意を要する。）
- ③ 地すべりブロックの頭部が厚い場合（排土厚が大きく、地すべりのせん断推進力の大きな低減が期待できる場合には、より大きな安定性向上につながる。ただし、除荷に起因する吸水膨張によりすべり面の強度が低下するおそれがある土質・地質もあるので十分注意する必要がある。）
- ④ すべり面頭部の傾斜角が大きい場合（排土による地すべりのせん断推進力の低減効果が大きい。）

(イ) 適用性検討に当たっての留意事項

- ① 背後に地すべりブロックが存在する場合に排土すると、背後の地すべりブロックの末端部を切土することになり、背後の地すべりブロックが不安定化する可能性がある。
- ② 排土の背後地が次のような地質条件の場合、排土後の背後地及び法面が崩壊したり侵食を受けたりする可能性が高くなるので、慎重な評価の上で排土工を計画する必要がある。
 - ・厚い崩積土、風化岩（排土による解放等から吸水膨張が進行し、地すべりや崩壊が発生する可能性）
 - ・泥岩、凝灰岩等、堆積岩の流れ盤（流れ盤に沿った地すべりや崩壊が発生するおそれ）
 - ・破碎帯や亀裂、節理等の割れ目の発達する岩盤（割れ目沿いの酸化、風化や粘土の介在により岩盤としての強度が劣る場合がある。割れ目の向きが流れ盤方向の場合は特に注意が必要である。また、トップリング等の斜面崩壊が発生する可能性もある）
 - ・熱水変質した岩石や膨潤性粘土鉱物を含む泥岩や凝灰岩等（切土斜面に露出することにより吸水膨張し、強度低下を起こし、地すべりや崩壊が発生するおそれ）
 - ・シラス、マサ、固結度の低い砂、砂礫又はスレーキングしやすい泥岩等、侵食に弱い岩石（ガリ侵食、水流がある場合、表層の土砂流出により斜面崩壊が発生するおそれ）
- ③ 背後地山の地下水位が高い場合、湧水による侵食や風化の助長による脆弱化等、斜面の不安定化をもたらすおそれがある。
- ④ 排土後に、なお地すべり土塊が残留する場合、長期的安定を考慮し、その後の強度低下を見込んだ安全側の計画を行う等の配慮が必要である。

イ. 押え盛土工

(ア) 適地の条件

次のような場合が、押え盛土工の適地となる。

- ① 下方に地すべりブロックが連続せず、盛土荷重が地すべりを誘発するおそれがない場合

- ② 盛土の基礎地盤が堅固であり、破壊や沈下の可能性が小さい地質・土質条件の場合
- ③ 地すべりブロックが末端閉塞型の地形である場合（盛土の末端処理が容易で安定を確保しやすい。こうした地形条件では、延長の短い土留工により、効率的な盛土計画が可能となる。）
- ④ 斜面の全体勾配が緩い地形、あるいは斜面が凹地状の地形等の場合（盛土により平坦面が造成しやすい。）
- ⑤ 地形やすべり面における末端での勾配が緩い場合（押え盛土の安定化効果が発揮されやすい。）

(イ) 適用性検討に当たっての留意事項

- ① 盛土法先の基礎地盤に軟弱層が厚く分布する等、強度不足が見られる場合、沈下や地すべりが発生し、盛土の安定が損なわれる可能性がある。
- ② 盛土設置箇所の除去置換等が必要になる場合には、除去作業に伴い一時的に末端が切土状態になることに注意する必要がある。
- ③ 凹地状の斜面では旧沢筋等、表流水、地下水、湧水等が集積しやすい地形・地質条件の場合、湧水や地下水位の上昇により盛土の不安定化を招くおそれがあるため、十分な地表水・地下水処理が必要である。
- ④ 盛土材料の土質強度が地すべりブロック内の排土材の流用等により良好でない場合、盛土の構造や勾配等について、土質特性に応じて安全に十分配慮した計画を行う必要がある。

(4) 設計時の留意事項

設計に際しては、調査結果や排土・押え盛土の適用条件に十分に配慮した設計を行う必要がある。設計に関する詳細は、技術書「Ⅲ計画設計編、7. 斜面改良工」を参照する。

9.2 大規模な斜面改良工による地すべり防止対策を行わない場合のほ場整備

大規模な切土・押え盛土工による地すべり防止対策が適さない場合、地すべりの安定を損なわない範囲内で、ほ場整備を実施する必要がある。

この場合、地すべり地域であることに注意し、地すべりブロックの不安定化を招かないよう、区画形状等の計画を行う必要がある。特に、地すべり頭部域での盛土や末端域での切土は地すべりブロックの不安定化を招く要因となる可能性があるため、極力行わないとともに、地形改変を行う場合は、安定解析等により地すべりの安定性の変化を確認する必要がある。また、地すべりブロック頭部域での切土は、後背地を不安定化させる可能性があるので注意が必要である。

また、地すべりブロックを安定化させる対策は、必要に応じ別途検討する。

9.3 ほ場整備との連携で地すべり対策事業を実施した事例

上棚地区（長崎県）では、県営の区画整理事業、農道整備事業及び地すべり対策事業がそれぞれ独立して計画されていたが、地すべり末端部が凹型の閉塞型地形を呈していたことから、3事業のアロケーションにより凹部に盛土を行うことで総合的な整備を行うこととなった（図-3.9.1、図-3.9.2）。この結果、当初の全体事業費に対して事業費軽減が図れるとともに、ほ場整備の区画を拡

大することが可能となった。

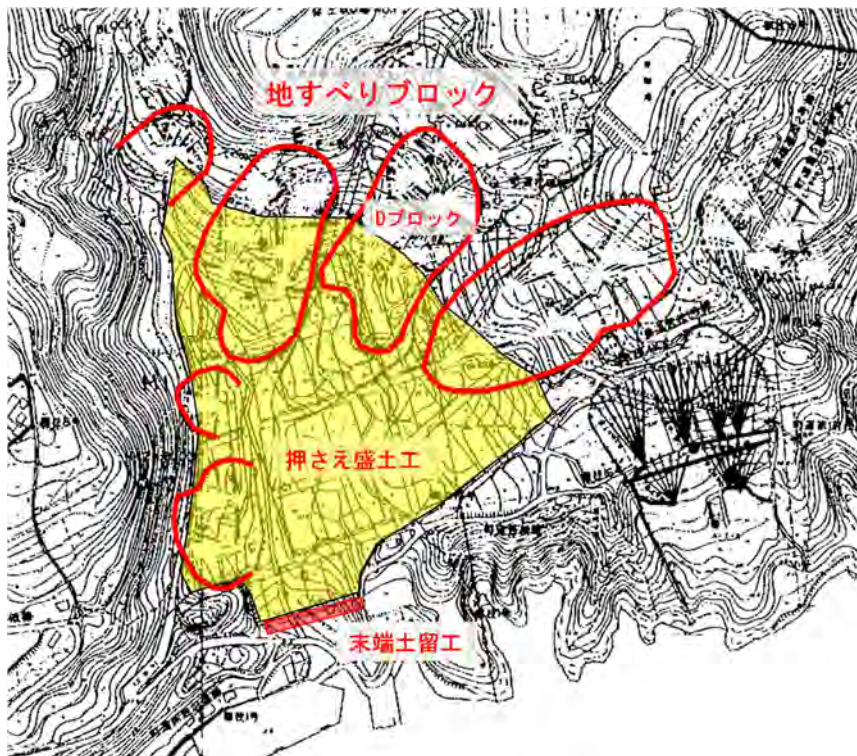
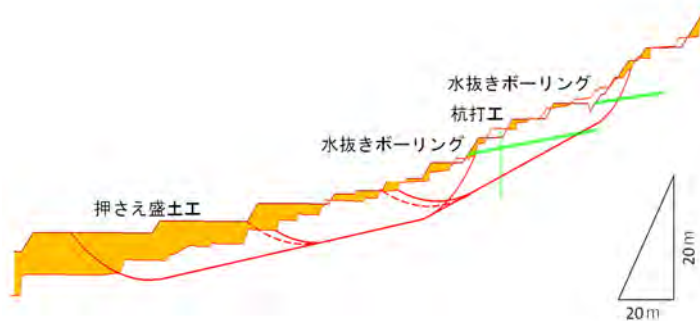


図-3.9.1 上棚地区（長崎県）の押え盛土工平面図



(a) 断面図



(b) 空中写真



(c) 押え盛土末端部の土留工（井桁擁壁工）と暗渠工

図-3.9.2 上棚地区（長崎県）の押え盛土工実施の代表的な地すべりブロック（Dブロック）

生田大坪地区（兵庫県）で行われた地すべり対策事業では、ほ場整備と連携した事業が実施された。ほ場整備は、狭小不整地な現農地を集約し、農地の集積を行う基盤整備事業であり、多数の切土・盛土が計画される。これらの切土・盛土が、地すべりブロックの末端部への切土や頭部への盛土となる場合、地すべり活動を助長する可能性があり、対策計画の立案に当たっては、十分な配慮が必要となる。

この事例では、地すべりブロック末端部にほ場整備のための排土工が計画され、地すべりを安定させる効果が得られた。これにより、ほ場整備前の安全率0.98は、ほ場整備後に1.103となる計画となった。また、ほ場整備前は必要抑止力が63.8kN/mであったが、ほ場整備後は19.4kN/mとなり、対策工事規模（工事費）の低減を図ることもできた。

表-4.9.1に安全率・必要抑止力一覧表を、図-4.9.3、図-4.9.4に対策計画平面図及び断面図を示す。

表-4.9.1 生田大坪地区14-1ブロック 安全率・必要抑止力一覧表

段階	安全率 (Fs)	必要抑止力 (Pr) : kN/m
初期	0.98	63.8
圃場整備施工後	1.103	19.4

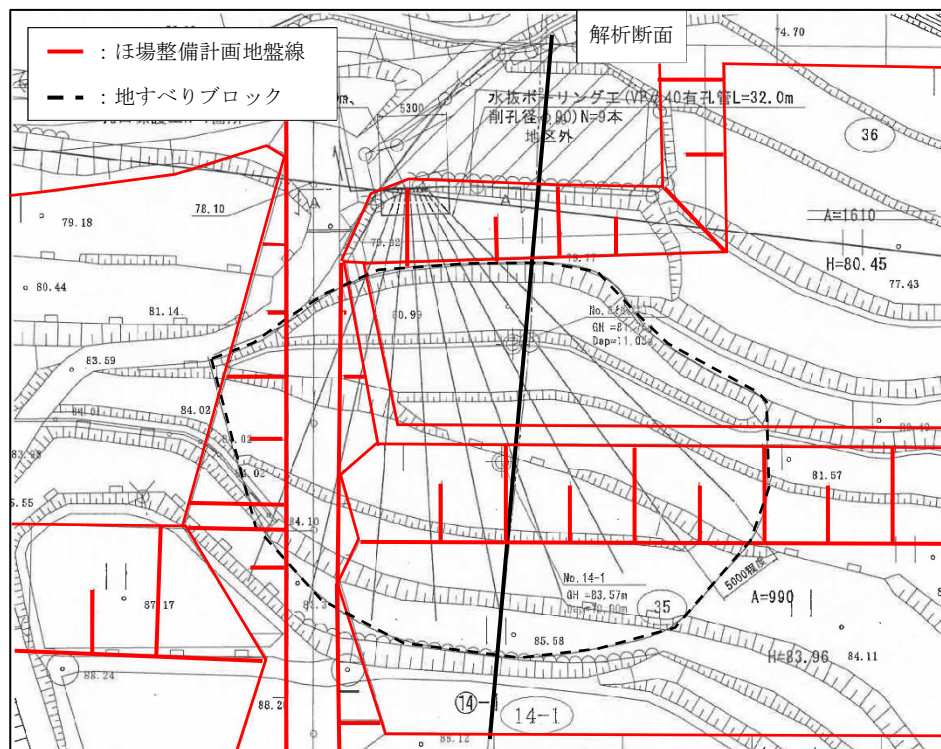


図-4.9.3 生田大坪地区14-1ブロック 対策工計画平面図

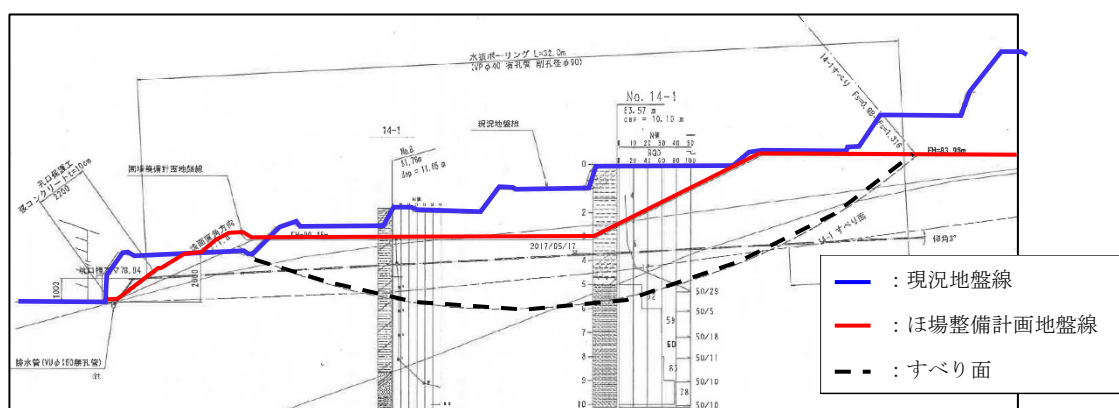


図-4.9.4 生田大坪地区14-1ブロック 対策工計画断面図