

第8章 アンカー工

第1節 総 則

アンカー工は、硬岩または軟岩(土石を含む)の斜面において、岩盤に節理・亀裂・層理があり、表面の岩盤が崩落または剥落する恐れがある場合、直接安定な岩盤に緊結したり、あるいは他の工法と併用して、その安定性を高める目的で用いる。

河砂技.設p86に加筆

第2節 種 類

アンカー工には大規模な崩壊対策に用いるグラウンドアンカー工、小～中規模の崩壊対策に用いるロックボルト工、表層を面的に抑える鉄筋挿入工がある。

河砂技.設p86、切土補指針p9を参考に加筆

解 説

急傾斜地崩壊対策として用いられるアンカー工の種類は、対象となる崩壊規模、抑止力の大きさ、定着方法により、主に3つに分けられる。

図8-1にアンカー工の種類を示す。

グラウンドアンカー工

中～大規模な崩壊対策で用いられ、土塊のすべり面より深い地山にグラウトによって造成される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させる工法。

ロックボルト工

小～中規模崩壊対策で用いられ、土塊のすべり面より以深に鋼材を挿入しグラウトにより鋼材全体を定着させ、地山の変形に伴い鋼材に受動的に引張力が生じることで、地山の変形ならびにすべりの発生を抑止する工法。

なお、本便覧では、ロックボルト、異形棒鋼、ネジ節棒鋼など鋼材を地山に挿入し全体を定着部とするものをロックボルト工という。

鉄筋挿入工

崩壊の深さが2m程度までの浅い表層を抑えるため、経験的設計により補強材を面的に配置する工法。

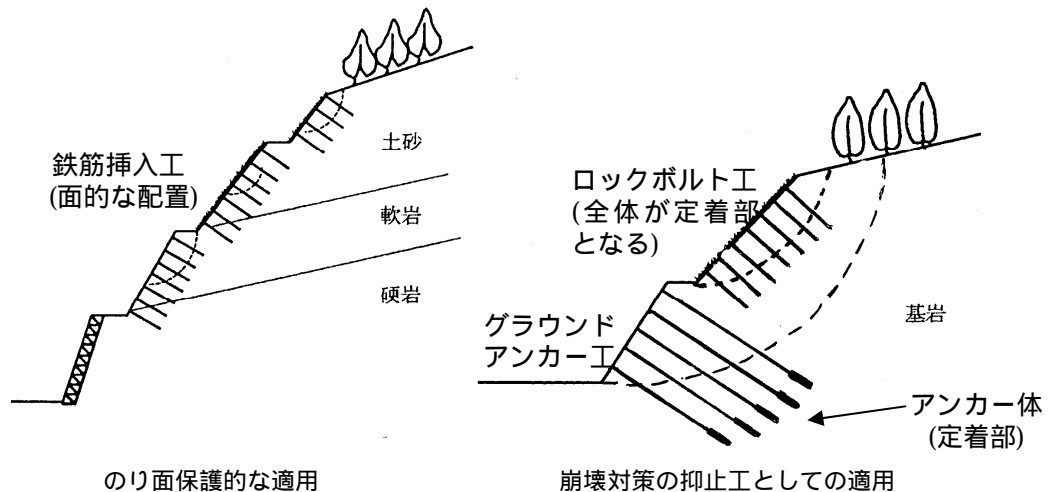


図8-1 アンカー工の種類 (切土補指針p9に加筆)

3つの工法の中で、鉄筋挿入工は浅い表層を抑える小規模な崩壊に対するもので、安定計算を実施せず経験的な設計により鋼材が配置されることから、斜面の安定を図る上で十分な抑止効果を期待することはできない。ここでは斜面对策に採用されるグラウンドアンカー工とロックボルト工を記すこととし、鉄筋挿入工は参考資料p -199に示す。

グラウンドアンカー工とロックボルト工の比較については表8-1に示す。

表8-1 グラウンドアンカー工とロックボルト工の比較（切土補指針p15に加筆）

工法		グラウンドアンカー工	ロックボルト工
機構	工法の抑止機構	安定地盤にアンカー体を造成し、所定の引張力を与え受圧板を介して積極的にすべりに抵抗させる。	地山の変形に伴って鋼材に受動的に引張力が生じ、地山の変形ならびにすべりの発生を抑止する。
	機能の選択	締め付け効果または引き止め効果のどちらか一方を期待する場合が多い。	締め付け効果と引き止め効果の両方を期待する。
	工法の適用	必要抑止力が2,000kN/m以下が対象であり、締め付け効果を期待する場合は圧縮性地盤は不適である。	必要抑止力が、300kN/m以下が対象であり、崩壊長さL=30m以下、崩壊深さが3m程度以下を主な適用範囲とする。
	引張材の選択	PC鋼より線、異形PC鋼棒などがあり、主に必要抑止力の大きさにより選択する。	ロックボルト、異形棒鋼、ネジ節棒鋼など各種あり、必要抑止力の大きさにより選択する。ただし、腐食環境が厳しい場合には、鋼材の防食方法の検討が必要である。
	初期導入力	所要の引張力を導入する。	原則として引張力は導入しない。
	グラウトの注入	一般的に加圧注入で施工される。	ほとんど無加圧注入で施工される（周面摩擦抵抗はグラウンドアンカー工で用いる値を低減）
地盤条件	検討項目	<ul style="list-style-type: none"> ・ 定着地盤の位置とその引抜き抵抗力 ・ 受圧板の沈下（グラウンドアンカー工） ・ 鋼材の腐食 ・ すべり面、弱層の位置、基盤の位置 ・ 予想される崩壊形態 ・ 地下水状況 	
	適した条件	すべり規模が中程度以上	すべり規模が中程度以下
経済性	モデル設計による比較	高価な工法であるが、抑止力が大きくなると他工法に比べて経済的メリットが大きくなる。	すべり深さや規模が中規模程度以下であれば、比較的安価であるが、規模が大きくなると鋼材長や本数が増加し、経済的メリットが小さくなる。

第3節 グラウンドアンカー工

3.1 目的

グラウンドアンカー工は硬岩または軟岩の斜面において岩盤に節理・亀裂・層理があり、表面の岩盤が崩落または剥落するおそれがある場合に、直接安定な地山に緊張、あるいは現場打コンクリート枠工、コンクリート張工、擁壁工、杭工などの他の工法と併用して、その安定性を高める目的で用いる。

新斜面崩壊p239

3.2 基本的要素

グラウンドアンカー工は次の3つの基本的要素からなる。

アンカー頭部：構造物からの力を引張部に無理なく引張力として伝達させるための部分。

引張部：引張力を基盤内のアンカー体へ伝達する部分。

アンカー体：引張部からの引張力を基盤に伝達し抵抗する部分。

新斜面崩壊p240

解説

グラウンドアンカー工は、図8-2に示すように斜面に働く土塊のすべり力を地中の安定地盤にグラウト（モルタル注入）によって形成するアンカー体（定着部）と地表付近のコンクリートのり枠工などへ引張り力を伝達するためのアンカー頭部を高強度の引張材（PC鋼材など）で連結させ、所要の引張力を与えて受圧板（アンカー頭部を構成する部材の一つ；図8-3参照）を介して積極的に土塊を安定させる抑止工法である。

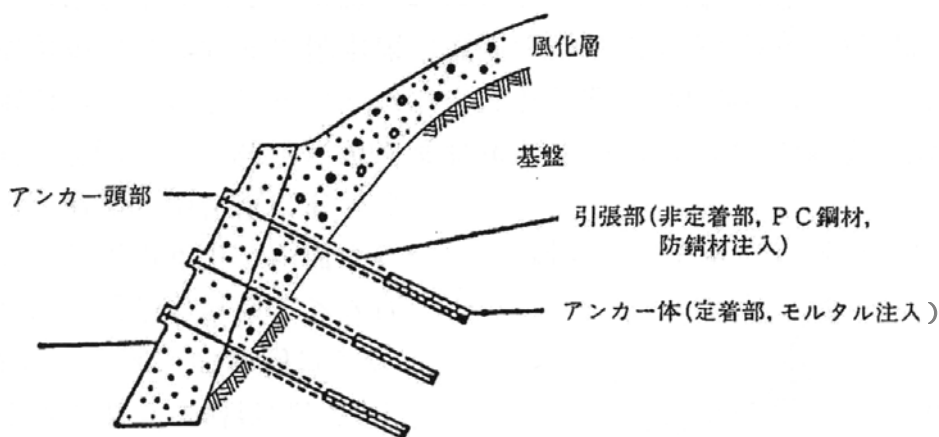


図8-2 斜面アンカー工の例（擁壁の補強）（新斜面崩壊p240）

3.3 工種

グラウンドアンカーは、アンカー体と基盤との支持方式により、次の3種に大別される。

摩擦型アンカー：アンカー体周面と基盤との摩擦抵抗により、アンカー引張力を基盤に伝達するもので、引張型アンカーと圧縮型アンカーに分類される。

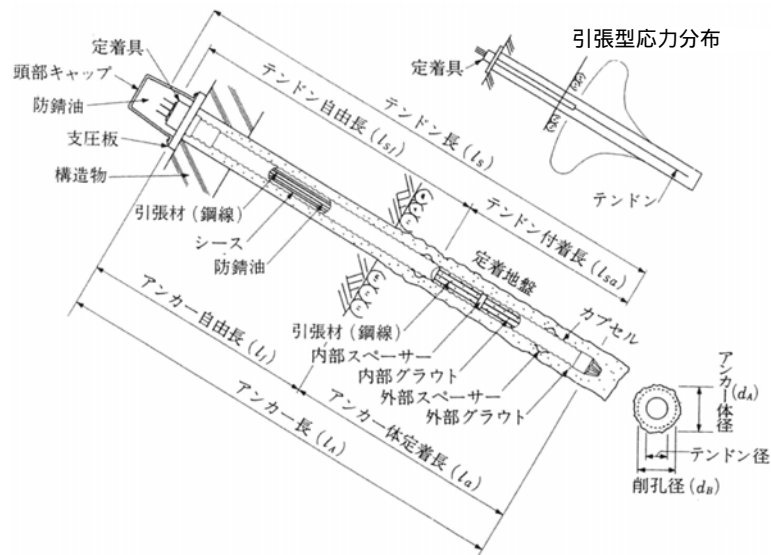
支圧型アンカー：アンカー体の一部あるいは大部分を大きく拡孔するなどしてアンカー体の支圧効果でアンカー引抜力に抵抗する。

混合型アンカー： および の複合型

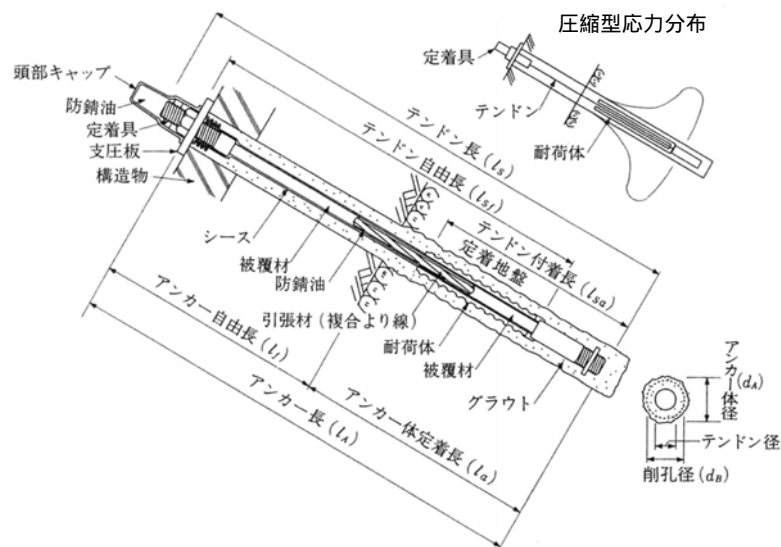
新斜面崩壊p240

解 説

グラウンドアンカー工として最も実績のある摩擦型アンカーの各部の構造と名称を、図8-3に示す。



グラウンドアンカー（引張型）の基本的な構造と各部の名称



グラウンドアンカー（圧縮型）の基本的な構造と各部の名称

図8-3 摩擦型アンカーの構造と名称 (道路のり面工p265)

3.4 設 計

3.4.1 必要アンカー力の算定

必要アンカーは斜面の安定計算を主体とし、締め付け機能および引き止め機能を考慮して算定する。

新斜面崩壊 p247

解 説

斜面の現況安全率を $F_s=0.95\sim 1.00$ （計画編p -11参照）とし、その崩壊形態から円弧すべり法または、直線すべり法により逆算法でせん断定数を求める。求められたせん断定数を用いて斜面安定計算を実施し、所定の安全率を保持できる抑止力を求め必要アンカー力を算定する。逆算の計算方法については、参考資料編p -226を参照すること。

のり面・斜面を安定させるための永久構造物としてのグラウンドアンカー工の設計においては、締め付け機能および引き止め機能が同時に発揮されるかどうか明らかでない場合があり、状況によっては安全側に考えてどちらか一方の機能のみ重点的に考慮する場合が多い。

どちらの機能を優先するかは、経済性および以下の技術的な観点から判断する。

(1) 締め付け（押さえ込み機能）を期待するアンカー

締め付けを期待するアンカーには、図8-4に示すようにすべり面勾配が急で、すべり面が比較的浅い場合が多い。

締め付け機能（押さえ込み機能）を発揮させるためには、図8-4に示すように、アンカーは一般に水平に近い角度で打設することが多いので引き止め機能は小さくなり、安全側を考慮しこれを無視する場合が多い。従って、同じアンカー引張力ならアンカー打設角がすべり面に垂直に近いほど締め付け機能は大きくなる。

締め付け機能を期待する場合は、導入力が保持されている事を計測などの手段で常に確認する必要がある。

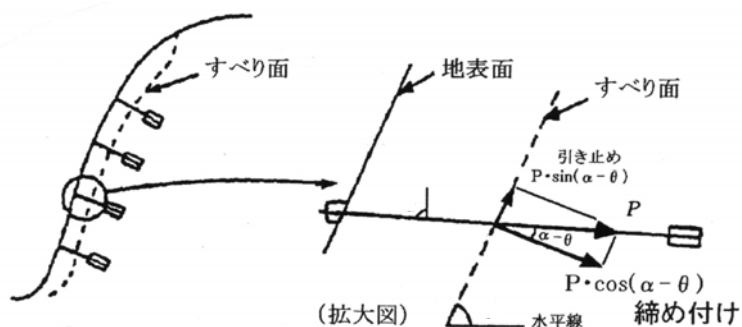


図8-4 締め付け機能を期待する場合（すべり面の勾配が急な場合）

（新斜面 p247 を修正加筆）

(2) 引き止め機能（待受け機能）を期待するアンカー

引き止め機能を期待するアンカーには、図8-5に示されるように、勾配が緩やかで、かつすべり面が比較的深い場合が多い。

引き止め機能（待受け機能）を発揮させるには、アンカーの打設角がすべり面に平行に近い角度になると引き止め機能は大きくなるので、締め付け機能は小さくなり、安全側を考慮しこれを無視することがある。

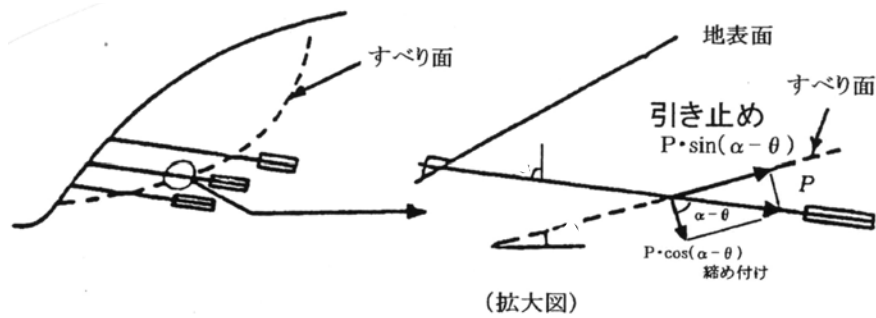


図 8-5 引き止め機能を期待する場合 (すべり面の勾配が緩い場合)
(新斜面 p248 を修正加筆)

(3) 締め付け効果と引き止め効果の両方を期待するアンカー

締め付け効果と引き止め効果の両方を期待する設計とすることが効果的な場合は両方の効果を期待した設計とする。

(4) 必要アンカー力の算定

必要アンカー力(P)の算定は、機能別に式 8-1, 式 8-2 により求める。

- ・締め付け効果用必要アンカー力の算定

$$P.F_s = \frac{(\sum W \cos \alpha - U) + P \cos(\alpha - \theta)}{\sum W \sin \alpha} \tan \phi + \sum C \quad \text{式 8-1}$$

- ・引き止め効果用必要アンカー力の算定

$$P.F_s = \frac{\sum W \cos \alpha - U}{\sum W \sin \alpha} \tan \phi + \sum C + P \sin(\alpha - \theta) \quad \text{式 8-2}$$

P.F_s : 計画安全率 (表 8-2 参照)

W : 分割片の重量 (N)

P : 必要アンカー力 (N/mm²)

U : 分割片に働く間隙水圧 (N/mm²)

l : 分割片のすべり面長 (mm)

φ : すべり面の内部摩擦角 (度)

C : 土の粘着力 (N/mm²)

α : アンカー打設角 (度)

(垂直とのなす角)

θ : 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)

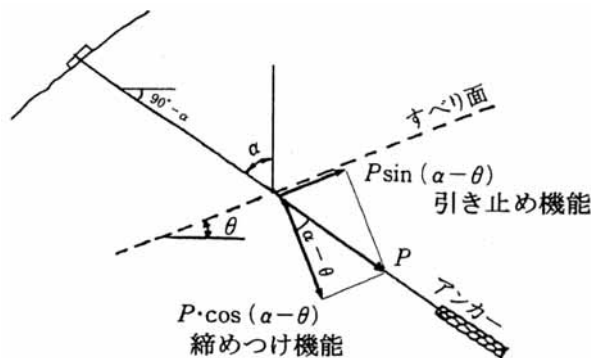


図 8-6 アンカーの機能を示す図 (河砂技.設 p64 を加筆)

次に、設計アンカー力(T_d)(アンカー1本あたりが負担するアンカー力)の算定は式 8-3 により求める。

$$T_d = \frac{m P}{n} \dots\dots\dots \text{式 8-3}$$

- T_d : 設計アンカー力 (N/本)
- P : 必要アンカー力(N/mm²)
- m : 水平方向のアンカー設置間隔(mm)
- n : アンカー設置段数

グラウンドアンカー工は永久構造物として設置されることから、計画安全率は、表 8-2 とする。

表 8-2 補強斜面の計画安全率

項 目	計画安全率
永久(長期)	$P.F_s$ 1.20

3.4.2 アンカーの配置

アンカーの配置は、アンカーする構造物、アンカーされる地盤の安定および近隣構造物への影響を考慮して決定する。

新斜面崩壊 p246

解 説

(1) アンカー角

アンカー角には主として横断面において、アンカーが水平面となす角(すなわちアンカー傾角)()、力の作用線(土圧)の方向とアンカーのなす角()、アンカーと想定すべり面のなす角()と、主として平面において構造物の垂直線(一般には土圧抵抗方向)とアンカーのなす角、すなわちアンカー水平角()がある(図 8-7、図 8-8 参照)

- 1) アンカー角()は一般にグラウト時にブリージング水がたまって耐力の低下が心配されることから水平に対して $-10 \sim +10^\circ$ の打設角度は避けるべきである(図8-7、図8-8参照)。
- 2) 土圧の方向とアンカーのなす角()は、一般に 45° となるように配置するのが望ましい。(図8-7参照)
- 3) アンカーと想定すべり面のなす角()は、 90° より大きくなると、アンカー導入力による抵抗力が(-)の方向になるので注意を要する。(図8-7参照)
- 4) アンカー水平角()は一般に $=0^\circ$ となるように配置するのが望ましい(図8-8参照)。

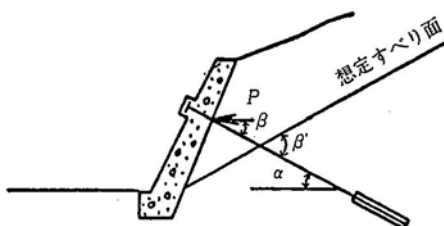


図 8-7 アンカー角

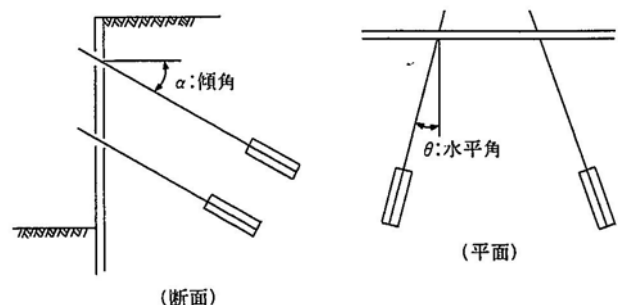


図 8-8 アンカー傾角・水平角

(上記両図とも新斜面崩壊 p246)

3.4.3 アンカーの設置位置と定着部の設置位置

アンカー設置位置と定着部の設置位置は、崩壊のすべり形態（くさび形すべり、円弧形すべり）およびすべり面を適切に想定して決定する。

新斜面崩壊 p249

解 説

(1) くさび形すべりの場合の設置位置

対象斜面において図 8-9 のような、くさび形すべり面が想定された場合には、すべりに対して、力の多角形を用いて必要アンカー力を求める

力の多角形については本章 p -49 擁壁工を参照する。

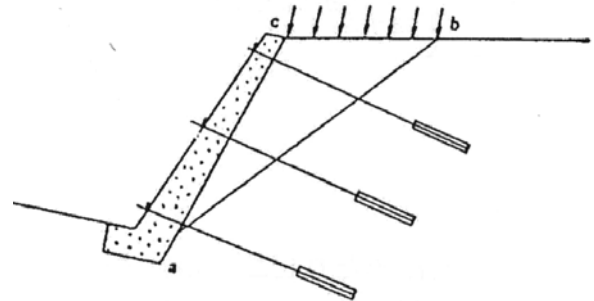


図 8-9 くさび形すべり型 (新斜面崩壊 p248)

(2) 円弧すべり型斜面崩壊の場合の設置位置

斜面崩壊が円弧すべりの場合は、図 8-10(a)のように斜面上部については体積が減少するため、アンカーを設置しても抑止効果が少ない。そのため、斜面上部のアンカーについては斜面全体の安定計算においては評価の対象にしない。

しかし、斜面上部の小崩壊が想定される場合には、図 8-10(b)のように、その小崩壊を防止する目的でアンカーを斜面上部に設置することもあるが、一般にロックボルトが用いられることが多い。

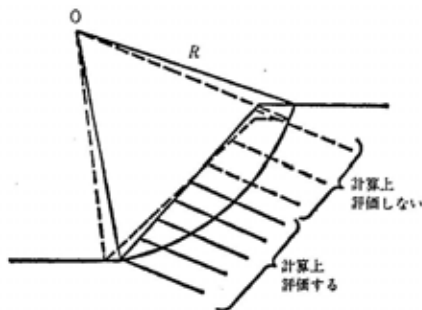


図 8-10(a) 円弧すべり型におけるアンカーの評価

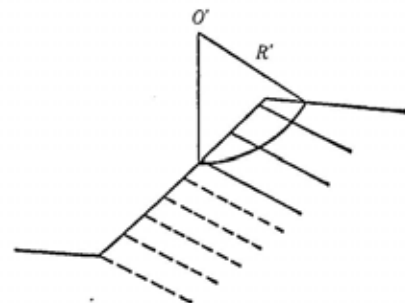


図 8-10(b) 斜面上部の小崩壊に対するアンカー
(上記両図とも新斜面崩壊 p251)

(3) 定着部の設置位置

アンカーの定着部については、すべり面の凹凸や不確実性も考慮して以下の条件を満足する位置に設置する。(図 8-11 参照)

すべり面から 1.0~1.5m 以上の余裕をみた深さに設置する。

グラウト注入中のグラウト材の漏れの防止およびアンカーの許容耐力を得るため、アンカー体の土被り厚は 5m 以上を標準とする(図 8-11 参照)。近隣に構造物や地下埋設物がある場合やアンカーの間隔が狭い場合(一般に 1.5m 以内)は「グラウンドアンカー設計施工基準・同解説」などの関連文献を参照すること。

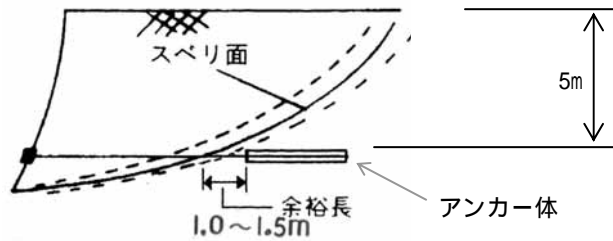


図 8-11 定着部の設置位置
(アンカー基準 p99)

3.4.4 アンカー体の設計

アンカー体は、緊張時あるいは供用中に、所要の強度、耐久性を有し、アンカー力を確実に地盤に伝達できる構造とする。

アンカー基準 p104

解 説

設計に用いる各項目の考え方を以下に示す。

また、アンカーの長さや径については、図 8-12 を参照。

(1) 設計アンカー力

アンカー耐力は、主にグラウトとテンドン（引張材）との付着力とグラウトと地盤の付着力によって決まるため、設計アンカー力は次式で求められる l_{sa} と l_a のうち、定着長の長くなる方を採用する。

グラウトとテンドンの付着は式 8-4、式 8-5 により求める。

$$l_{sa} = \frac{T_d}{d_s \cdot ba} \dots\dots\dots \text{式 8-4}$$

- ここに、 T_d : 設計アンカー力 (N)
- d_s : 引張鋼材の見かけの直径 (mm)
- ba : 許容付着応力度 (N/mm^2) (表 8-3 参照)
- l_{sa} : テンドン拘束長 (mm)

$$l_{sa} = \frac{T_d}{U \cdot ba} \dots\dots\dots \text{式 8-5}$$

ここに、 U : 見かけの周長 (mm) (表 8-4 参照)

グラウトと地盤の付着は式 8-6 により求める。

$$l_a = \frac{T_d \cdot f_s}{d_A} \dots\dots\dots \text{式 8-6}$$

- ここに、 d_A : アンカー体径 (mm)
- f_s : 周面摩擦抵抗 (N/mm^2) (表 8-5 参照)
- f_s : 安全率 (表 8-6 参照)
- l_a : アンカー定着長 (mm)

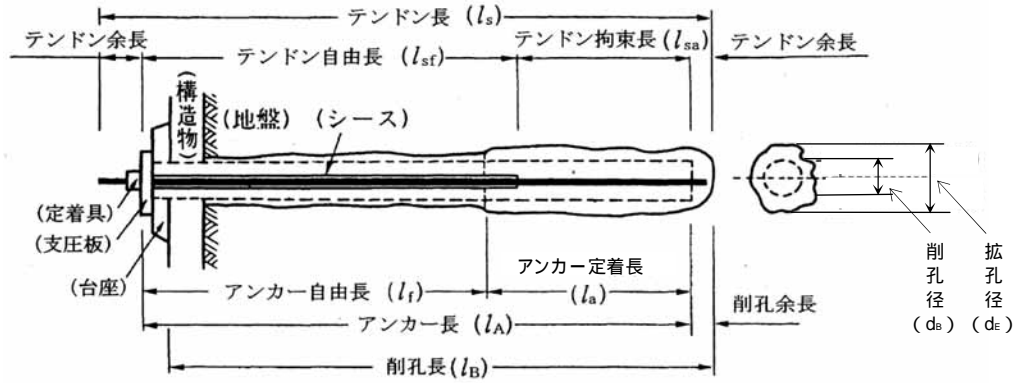


図8-12 アンカーの長さや径 (アンカー基準p45)

アンカー体材料の許容付着応力度を表 8-3 に、また見掛けの周長の算出方法を表 8-4 示す。

表 8-3 許容付着応力度(b_a) (N/mm²)

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

(アンカー基準 p112)

表 8-4 見掛けの周長(U)の算出例

引張り材の種類	組み方	見掛けの周長
異形 PC 鋼棒 多重 PC 鋼より線		$d \times$ d : 公称径
PC 鋼より線 異形 PC 鋼棒		左図の破線の長さ
		の小さいほう 左図の破線の長さ 単材周長の本数倍

(アンカー基準p112)

(2) グラウト強度

アンカー体に用いるモルタル、セメントペースなどのグラウトの圧縮強度は、テンダンの緊張時、定着時および供用仮設アンカーで 18N/mm² 以上、永久アンカーではグラウトの劣化に対する耐久性を考慮して、24N/mm² 以上とする。

(3) アンカー体の周面摩擦抵抗()の推定

アンカー周面の摩擦抵抗は、表 8-5 より求める。

ただし、この表の値はほとんどが加圧型アンカーの基本試験によって求められた値であり、無加圧型アンカーの値を推定する場合には表 8-5 をそのまま使うことは避け、いくらかを小さく推定するなどの対処が必要である。

表 8-5 アンカー周面の摩擦抵抗

地盤の種類		摩擦抵抗 (N/mm ²)	
岩盤	硬岩		1.5~2.5
	軟岩		1.0~1.5
	風化岩		0.6~1.0
	土丹		0.6~1.2
砂礫	N 値	10	0.1~0.2
		20	0.17~0.25
		30	0.25~0.35
		40	0.35~0.45
		50	0.45~0.7
砂	N 値	10	0.1~0.14
		20	0.18~0.22
		30	0.23~0.27
		40	0.29~0.35
		50	0.3~0.4
粘性土		1.0c(cは粘着力)	

(アンカー基準 p117)

(4) アンカー体の安全率(f_s)の検討

アンカー体の安全率は(f_s)は、表 8-6 により定める。安定率は仮設アンカーと永久アンカーにより区別している。さらに永久アンカーは、常時と地震時においてもこの値は異なっている。

表 8-6 極限引抜き力 (T_{ug})に対する安全率(f_s)

		安全率 f_s
仮設アンカー		1.5
永久アンカー	(常時)	2.5
	(地震時)	1.5~2.0

(地盤工学会基準 6.6)

(5) アンカー体径(d_A)

アンカー体径は削孔径とし、公称直径である。アンカー体の断面は一般的にビットの回転より削孔することから概ね断面は円形である。設計に用いられる削孔径は、特に上限あるいは下限を設けてはいないが、90~165mm のものが用いられている。一般的には 115~135mm の削孔径を採用している場合が多い。(アンカー基準 p46)

(6) アンカー定着長(l_a)

アンカー定着長は、摩擦式アンカーでは 3m 以上、10m 以下を標準とする。

アンカー自由長(図 8-13 参照)は、4m 以上を標準とし、アンカーされる構造物とアンカー体設置地盤の間の地盤が破壊したり変形が大きくならないよう適切なアンカー自由長を設定する。

(アンカー基準 p100 参照)

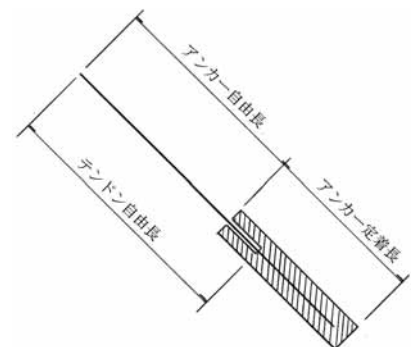


図 8-13 アンカー定着長の考え方 (アンカー基準 p102)

3.4.5 テンドン（アンカー引張材）の設計

テンダンの設計は、引張材の種類決定、引張材断面積決定、引張材とアンカー頭部の防錆対策、初期緊張力の決定を行う。

（新斜面崩壊 p255-257）

解説

（1）テンダンの種類

テンダンは一般にPC鋼材が用いられている。これは他の一般の鋼材に比して引張強さが大きい（例えばSR30では490～630N/mm²であるのに対してPC鋼材では950N/mm²以上）こと、およびリラクセーションが少なく緊張定着力の経時による減少が少ないことなどによる。PC鋼材には鋼線・鋼より線、複合より線束、鋼棒（丸鋼、異形）がある。

（2）引張材断面積（ A_s ）の算定

アンカー引張材に用いる鋼材の種類が決定後、1本あたりの設計アンカー力（ T_d ）を満たす引張材断面積を算定し、それに適した鋼材径（あるいは本数）を選定する。引張材断面積は式8-7で求める。

$$A_s = \frac{T_d}{p_a} \dots\dots\dots \text{式 8-7}$$

ここに、

A_s ：引張材断面積（mm²）

T_d ：設計アンカー力（N/本）

p_a ：引張材の許容引張応力度（N/mm²）

p_a は鋼材の引張強度（ p_u ）および鋼材の降伏点応力度（ p_y ）に対して検討を行い、

$p_a = 0.60 p_u$ （常時）

$p_a = 0.75 p_y$ （常時）

のうちいずれか小さな p_a を用いる。

ただし、基本試験、確認試験あるいは緊張定着時の一時的な荷重に対しては、

$p_a = 0.80 p_u$

$p_a = 0.90 p_y$

のうちいずれか小さな p_a を用いてもよい。

（3）引張鋼材の防錆対策

引張鋼材の防錆対策としては次の事項があげられる。

全般的な注意事項

- ・鋼材に傷をつけないよう取り扱いに注意する。
- ・鋼材の加工時に余分なひずみを与えない。
- ・鋼材を長期にわたって放置しない。
- ・鋼材の設置にあたっては、傷や錆を事前にチェックし十分な防錆（防錆材の塗付など）を行う。

アンカー自由長部

- ・シース（ポリエチレン製など）をかぶせ内部に防錆材（グリスなど）を封入する。
- ・引張鋼材表面に防錆材料を塗付する。

- ・引張材の伸縮を拘束しないような構造とする。
アンカー体
- ・グラウトのかぶり厚を十分とる（10mm以上）。また施工にあたってはPC鋼材が削孔した孔の中央部に設置されるよう保持する。
なお、アンカーの軸方向が、のり砕工や擁壁の壁面と垂直にならず斜交する場合は、アンカーの緊張時に壁体と台座がずれるおそれがあるので、十分注意する必要がある。

（４）初期緊張力の決定

斜面安定に用いるアンカーに対して、現在アンカーの初期有効緊張力をいくりにするかについては統一された考え方がなく、各設計者や現場担当者が斜面の状況、構造物の特性およびアンカーの特性などを考慮して決定している場合が多い。

ここでは、地盤工学基準をもとに、初期緊張時、試験時に与える引張り力は $0.9T_{ys}$ 以下とする。（ T_{ys} ：テンドン降伏引張り力）

3.4.6 構造物定着部（アンカー頭部）の設計

アンカー頭部は構造物からの力を無理なく確実に引張材に伝えるために設けられる。

（新斜面崩壊 p259）

解 説

（１）締付金具および支圧板

締付金具は引張材を捕縛してテンドンにかかる力を支圧板に伝える機能をもつ。また支圧板はこの力を分散して台座および構造物に伝達する機能をもつ。締付金具および支圧板は引張材の種類および径、鋼線および鋼より線の本数などにより、それぞれ決まったものが使用される。

一般に構造物からの力は、テンドンの軸方向と必ずしも一致しない場合が多い。このためテンドンに引張力のみを確実に伝えるためには適切な処置を行う必要がある。

（図 8-14 参照）

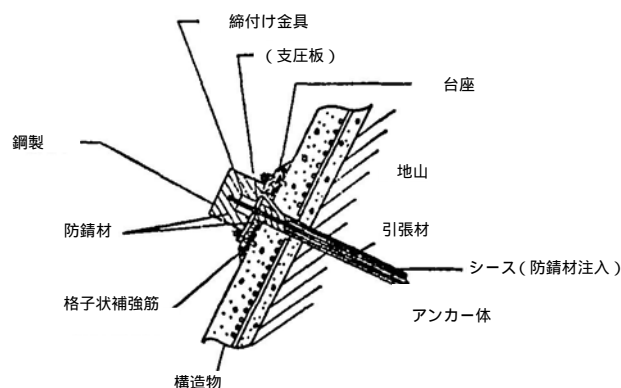


図 8-14 構造物定着部の模式図 （新斜面崩壊 p260）

引張材の捕縛方式の違いによりナット定着方式とくさび定着方式に分類される（図8-15参照）。

ナット定着方式：一般のPC鋼棒などが使用される。ジョイントカップラー（ボルト同士を結合する金具）は鋼棒の接続用に用いられる。この方式は必然的に鋼棒（材）の一部または全部をねじ加工する必要がある。

くさび定着方式：一般のPC鋼線および鋼より線に用いられる。PC鋼線および鋼より線の径や本数の違いにより、それに適合したものを使用する。

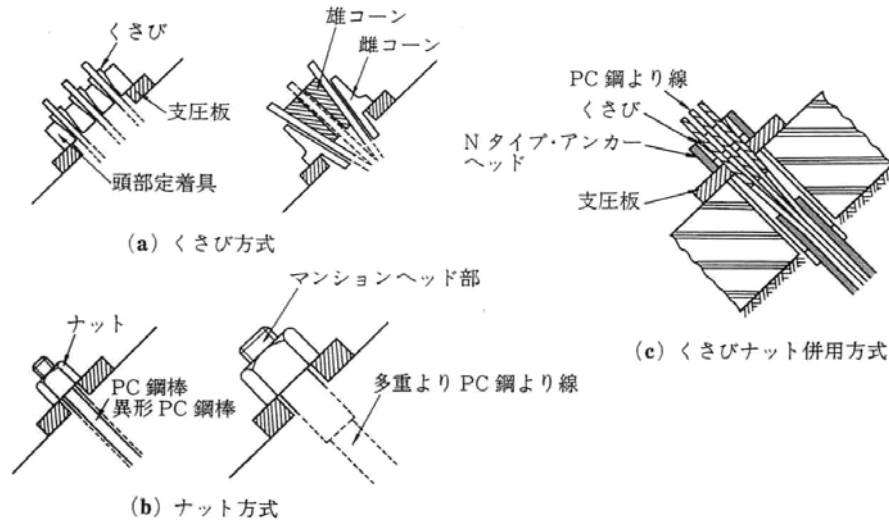


図8-15 定着具の種類 (アンカー工法 p38)

(2) 台座

台座は締付金具または支圧板と構造物の間に設置され、アンカーの引張力を構造物に無理なく伝達するもので、一般にコンクリートによりつくられる。台座の形状は構造物の種類、設計アンカー力の大きさ、アンカー角、締付金具の種類などを検討のうえ決定する。

アンカーには引張力のみがテンドンの軸方向に加わるように、台座の表面はできる限りテンドンの軸と直角になるよう念入りに設計・施工する必要がある。

PC鋼棒を用いた傾斜定着PC鋼棒の引張強度の関係に関する実験により、次のことがわかっている。PC鋼棒と定着ナットの接する面の傾斜角（図8-16参照）が 7° を超えるとPC鋼棒の強度は急激に低下し、傾斜度 5° ぐらいでもクリーブ破断を起こす危険がある。したがって、台座の設置にあたってはできるだけ傾斜角 $=0^\circ$ となるよう努める。また設計アンカー力の小さな場合には球座などを利用して補正する場合もある。

また台座には局部的に大きな力が加わるため、鉄筋をコンクリート中に配置し補強することが望ましい。

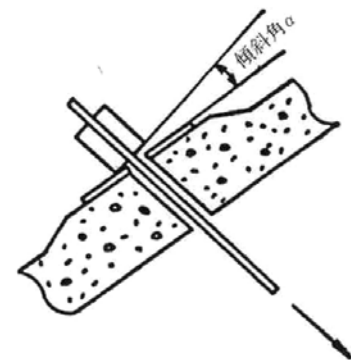


図8-16 アンカー頭部の傾斜定着 (新斜面崩壊 p260)

(3) アンカー頭部の防錆および保護

アンカー頭部の防錆および外力からの保護のためコンクリートなどで締付金具や支圧板を存置する場合も多いが、維持管理における点検や緊張力の測定および再緊張などを考慮して鋼製の蓋などでアンカー頭部を覆い、内部にグリスなどの防錆材を注入しておくなどの処置も場合によっては必要である。なお再緊張を予定している場合には、ジャッキの引き代および鋼材のつかみ代を考慮して、引張鋼材を一般の場合より長く残しておく必要がある。

3.4.7 試験

試験は、事前にアンカー設計のための基礎資料を得る「基本調査試験」、実際に施工されたアンカーが所定の性能を有しているかを確認する「品質保証試験」、および特殊な目的や条件下で使用するアンカーを対象にする「その他の試験」の三つに大別される。

(アンカー基準 p147)

解説

極限アンカー力は、設置地盤の強度のばらつきや地層厚さの変化、また、施工条件によっても大きな影響を受けることが知られており、アンカーの使用目的に対して設計および施工が適切に行われているかどうかの確認をアンカーの試験によって調査する。

アンカーの設計および施工に際して行う試験の概要は表8-7のとおりである。

表 8-7 アンカー工の試験の概要 (アンカー基準 p145 ~ 189)

個所	項目	内容
基本調査試験	引抜き試験 基本試験	アンカーの極限引抜き力およびその挙動を把握し、アンカーの設計に用いる諸定数などを決定するために行う試験
	長期試験	アンカーの長期的挙動を把握し、アンカーの設計に用いる諸定数などを決定するために行う試験 長期試験に用いる試験アンカーは、実際に供用されるアンカーと同様な方法で作成されたアンカーとする
品質保証試験	多サイクル確認試験 適性試験	実際に使用するアンカーに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、アンカーの設計および施工が適切であるか否かを確認するために行う試験 施工数量の5%かつ3本以上とする
	1サイクル確認試験 確認試験	実際に使用するアンカー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に行う試験 多サイクル確認試験に用いたアンカーを除く全ととする
	その他の確認試験	アンカーの用途に応じて実施する定着時緊張力確認試験や残存引張り力確認試験など
その他の試験	その他の試験	特殊な目的あるいは特殊な条件下で使用するアンカーについて、必要に応じて、そのアンカーの挙動を把握し、安全性を確認するために行う試験繰返し試験、群アンカー試験、テンドンやグラウトなどの材料の強度試験など

注) 中の表記は従来の呼び方

アンカーの設計および施工に際して行う試験の詳細は参考資料編p -252を参照すること。

第4節 ロックボルト工

4.1 目的

比較的短い鋼材を地山に配置し、主に鋼材の引張力によってのり面の崩壊を抑止することを目的とする。

切土補指針 p2

解 説

ロックボルト工とは、地山を削孔後、モルタルまたはセメントミルクを注入し鋼材などの芯材を配置したものである。

4.2 基本的要素

ロックボルト工の基本的要素は次の2つの基本的要素からなる。

頭部 : 鋼材の引張力を斜面表面に設置されるのり面工へ伝達させる部分

鋼材 : 地山にモルタルまたはセメントミルクを注入し、鋼材などの芯材を配置することにより、地山との摩擦力を利用してすべり力に抵抗させる部分

切土補指針 p2-3

解 説

ロックボルト工は、図 8-17 に示すようにロックボルトや異形鋼棒などの鋼材をすべり面より深い地山にモルタルまたはセメントミルクと一体化させ、地山の変形に伴って受動的に生ずる引張力により土塊のすべり力に抵抗して地山の変形ならびにすべりの発生を抑止させる工法である。土塊のすべり力に抵抗するための支持形式は摩擦型である。

本工法の基本要素は、図 8-18 に示すように、鋼材と頭部であり、全体構造としては注入材、のり面工を含めて構成される。

一般的に、鋼材にはロックボルト、各種の鉄筋などが使用され、注入材にはセメントミルクが使用される。

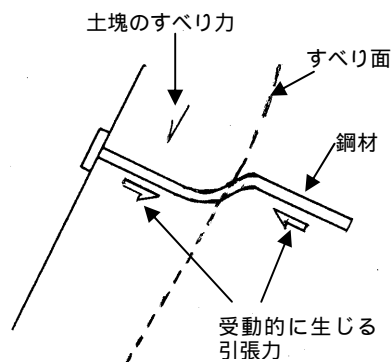


図 8-17 ロックボルトの引張力

4.3 工種

ロックボルト工は鋼材（引張材）と吹付砕工またはワイヤーロープなどによって連結し、斜面の安定を図る工法がある。

解説

図 8-18 に示す各部材の説明および種類を以下に示す。

(1) 鋼材

比較的細い引張部材を用いる。通常、ロックボルト、異形棒鋼、ネジ節棒鋼など各種の材料が用いられ、腐食環境の激しい場合には、エポキシ樹脂を塗布したものや連続繊維補強ロッドなどが用いられる。

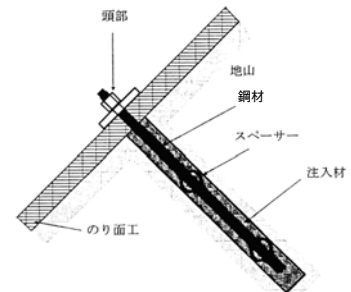


図 8-18 基本構造図
(道路のり面工 p275)

(2) 注入材

注入材は、鋼材と地盤との間において、鋼材と地盤との荷重の伝達をする役割と鋼材を保護する役割を持っている。通常セメントミルクなどが使用される。

(3) 頭部

頭部は、一般にプレートとナットの定着具により構成される。通常、鋼材はのり面にほぼ垂直に打設される。垂直でない場合は、鋼材の頭部に曲げ引張り力やせん断力が働くので、のり面工と頭部プレートとの間に均しモルタルを敷いたり、テーパ付きプレートを用い、角度調整を行う必要がある。

(4) のり面工

のり面工とは、のり面に施される機能を有する構造部材である。ロックボルト工法では鋼材と連結される。

のり面工は一般に、のり面工は、吹付砕工を用いることが多い。図 8-19 に示すようにワイヤーロープを用いて、草樹木などの緑を除去せず、斜面の安定性を向上させる工法もある。

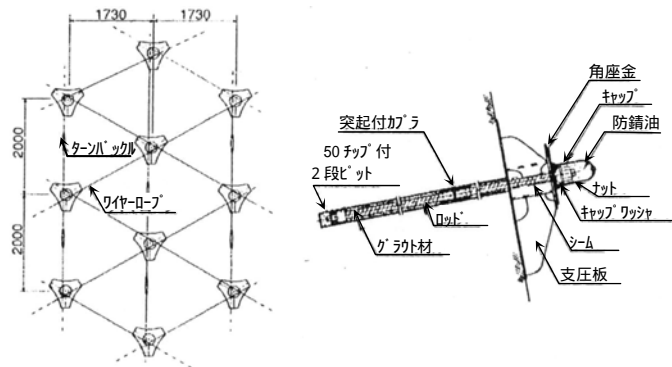


図 8-19 施工例 (参考図)

4.4 設計

4.4.1 設計方針

本工法の設計には、崩壊対策の目的に応じた適切な設計を行わなければならない。

切土補指針 p23

解説

崩壊対策に本工法を用いる場合の設計手順を、図 8-20 に示す。

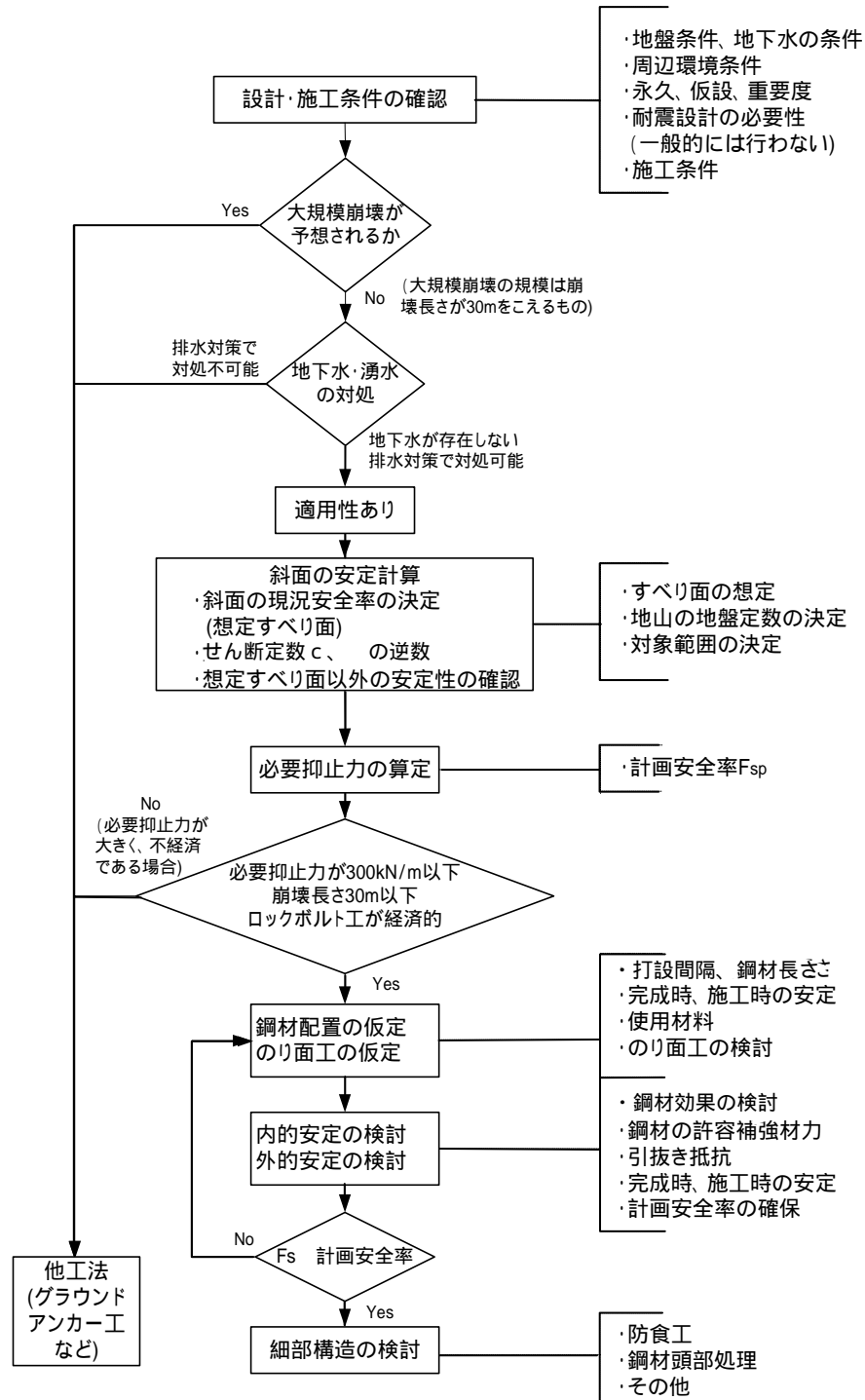


図 8-20 設計手順 (切土補指針 p24 に加筆)

本工法の適用に関する判定は、予想される斜面の崩壊形態と規模により変わる。地盤の極限周面摩擦抵抗によって決まる鋼材の設計引張力が確保できない場合、あるいは、地下水が掘削面に水圧として作用する場合など、抑止効果が認められない地盤には適用できない。

本工法の一般的な適用対象となる斜面崩壊形態を図 8-22 に示す。

大規模な崩壊が予測される場合は、地すべりなどの問題として他工法の検討を行うが、崩壊範囲が広い場合であっても図 8-21 に示すように崩壊深さが 3m 程度以下の場合には本工法を適用できる。また、深さ 3m より深い場合でも必要抑止力と安全率の確保、現地状況を考慮し、グラウンドアンカー工などの他工法との比較により経済性が認められる場合は適用可能である。

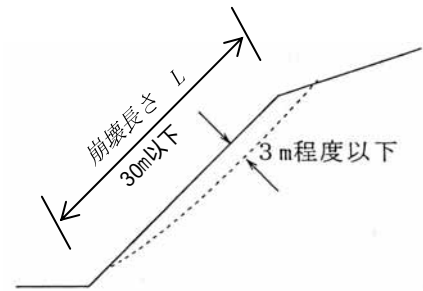


図 8-21 広範囲で深さが浅い場合の崩壊模式図

崩壊形態	崩壊例	すべり線形状	代表的地質等	適用対象の判定	
				崩壊対策	急勾配掘削
①均質な粘性土における崩壊		円弧	第四紀層粘性土 火山泥流 火山灰質粘性土 強風化泥岩 温泉余土	○	△
②均質な砂質土における崩壊		円弧あるいは直線	山砂 真砂 火山灰質砂質土 (シラス)	○	○
③傾斜地盤上の崩積土の崩壊		直線 (上部円弧)	崩積土(崖錐) 風化表層土 段丘レキ層	○	○
④風化等の進行に伴う表層崩壊		円弧あるいは直線	第三紀層 古第三紀頁岩 凝灰岩 蛇紋岩	○	○
⑤割れ目の多い岩、受け盤の崩壊		円弧あるいは直線	中古生層 火成岩 片岩類 頁岩 蛇紋岩	△	△
⑥割れ目が流れ盤となる岩の崩壊		円弧あるいは直線	第三紀層 古第三紀頁岩 熱水変質した火成岩 片岩類 凝灰岩 蛇紋岩	△	×
⑦構造的弱線を持つ地質の崩壊		円弧あるいは直線	断層破碎帯 旧地すべり地 崩壊跡地	×	×

○適用性あり △適用に当たり検討を要する ×適していない

図 8-22 工法の適用性を判定するための基本的な斜面崩壊形態 (切土補指針 p13)

4.4.2 地盤定数

本工法の設計などに用いる地盤定数(単位体積重量 γ 、粘着力 C 、内部摩擦角 (ϕ))は、地盤調査を行った上で、(1)近傍の崩壊事例から逆算法により求める方法、(2)掘削状況から逆算法により求める方法、(3)土質試験により求める方法などにより総合的な検討のもとに決定する。

切土補指針 p29

解 説

本工法を設計するにあたり、地盤定数を決定する必要がある。本工法の対象となる不安定斜面に対して、地表地質踏査、調査ボーリング、地表面やすべり面などの調査を行った上で、土質試験により求める方法以外に以下に示す方法により、地盤定数を求める。

(1) 近傍の崩壊事例から逆算法により求める方法

近傍に地質が類似と判断される崩壊事例があり、その崩壊形態が想定できる場合のせん断定数は、斜面の現況安全率を $F_s=0.95 \sim 1.00$ とし、その崩壊形態から円弧すべり法または、直線すべり法により、逆算法で求める。逆算の計算方法については、参考資料編 p-226 を参照すること。

(2) 掘削状況から逆算法により求める方法

類似する地形・地質状況での先行工事がある場合のせん断定数は、掘削状況を調査し、その崩壊形態の検討を行い、すべり線を想定して逆算法により求める。

4.4.3 安定計算

推定されたせん断定数より想定すべり面以外の地山の安定性を確認し、対策範囲を決定するため安定計算により検討を行う。

安定計算にあたっては原則としてスライス分割法による極限つり合い安定解析法を用い、所要の計画安全率を確保する。

切土補指針 p30

解 説

(1) 安定計算方法

逆算法で推定されたせん断定数(粘着力、内部摩擦角)により安定計算手法により対策を決定する。以下に安定計算方法を記す。

本工法では、基本的に極限つり合い法により、図 8-23 に示す「スライス分割法」を用いる。また、すべりの安全率は式 8-8 を用いて計算を行う。ここで、本工法は基本的に地下水がある場合には適用しないか、または適切な排水処理を行うことを前提としているため、土中の間隙水圧を考慮しない。

$$F_s = \frac{\sum N_i \tan \phi_i + \sum C_i l_i}{\sum T_i} \dots\dots\dots \text{式 8-8}$$

F_s : すべり安全率
 N_i : 分割片の重力による法線力
($N_i=W_i \cos \phi_i$) (kN/m)

- T_i : 分割片の重力による接線力
($T_i = W_i \sin \theta_i$) (kN/m)
- l_i : 分割片のすべり面長 (m)
- θ_i : すべり面の内部摩擦角 (度)
- C_i : すべり面の粘着力 (kN/m²)
- W_i : 単位幅あたりの分割片重量 (kN/m)
- α_i : すべり面の傾斜角 (度)

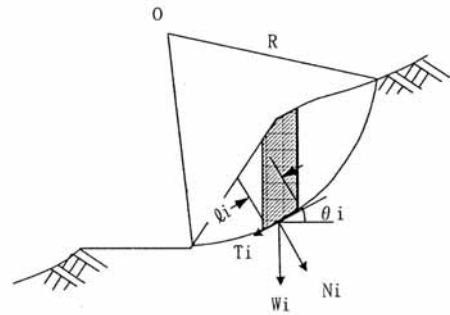


図 8-23 スライス分割法による安定計算
(切土補指針 p30)

計画安全率については、以下の考え方を基本とする。

(2) 計画安全率

計画安全率は、永久と仮設に分けて考え、それぞれ表 8-8 を基本とする。

表 8-8 計画安全率

項 目	計画安全率
永久 (長期)	$F_{sp}^{1)}$ 1.20
仮設 (短期)	$F_{sp}^{2)}$ 1.05、1.10

- 1) 永久の計画安全率 F_{sp} 1.20 は、人家、道路などの永久のり面、埋戻し後地表に残る永久のり面、存置期間が 2 年以上の仮設のり面などに適用する。
- 2) 仮設の計画安全率は、掘削開始から最下段の鋼材設置前までの施工時の計画安全率を F_{sp} 1.05 とし、最下段の鋼材設置後から埋戻し前までの存置期間の計画安全率 F_{sp} 1.10 とする。

(切土補指針 p31)

4.4.4 必要抑止力の算定

本工法の必要抑止力は、斜面の計画安全率を確保するのに必要な値とする。

切土補指針 p34

解 説

表 8-8 に示す計画安全率が決定した後、計画安全率に見合う抑止工の必要抑止力 P_R (kN/m) を式 8-9 より求める。

$$P_R = F_{sp} (\sum T_i - \sum N_i \tan \theta_i + \sum C_i l_i) \dots \dots \dots \text{式 8-9}$$

- ここに、 F_{sp} : 計画安全率
- P_R : 必要抑止力 (kN/m)
- θ_i : すべり面の内部摩擦角 (度)
- C_i : すべり面の粘着力 (kN/m²)

ただし、 N_i (法線力)、 T_i (接線力)、 l_i (すべり面長) は、すべり面形状から求められる値である。

一般に、最小安全率を与えるすべり面と計画安全率に対して必要な最大抑止力を与えるすべり面とは異なる。このため式 8-9 により必要抑止力が最大となるすべり面を求める。

4.4.5 鋼材の配置計画

鋼材は、引張効果が十分に発揮できるように、適切な配置をしなければならない。

切土補指針 p35

解説

(1) 鋼材の配置間隔

鋼材間隔は、地山やのり面工の状況に応じて設定し、安定計算を行って計画安全率が確保できるよう適切な配置を行う。

(2) 鋼材打設角度

鋼材の打設角度は、安定計算結果や、地山の性質、すべり面およびのり面の角度、施工性などを検討して適切な角度にしなければならない。

効果的な鋼材の打設角度は、安定計算上の引張効果が最大となる角度（鋼材とすべり面とのなす角度 = 地盤の内部摩擦角）以外に、ひずみの方向性や地盤の種類などに影響を受けることから、これらを考慮の上、適切な角度を打設しなければならない。

鋼材引張力は、一面せん断試験などから鋼材を地盤の最小主ひずみの方向（ ϵ_3 方向：最大引張力の方向）に配置すると最大となり、効果的と考えられる。この最大主ひずみ方向（ ϵ_3 方向）をすべり面から、 $45^\circ + \phi/2$ （主働土圧の崩壊角）と仮定すると、図 8-24 とおりとなる。

なお、 ϵ_3 方向 $\pm 15^\circ$ 程度の範囲であれば、鋼材引張力の効果に大きな差がないことがわかっている。

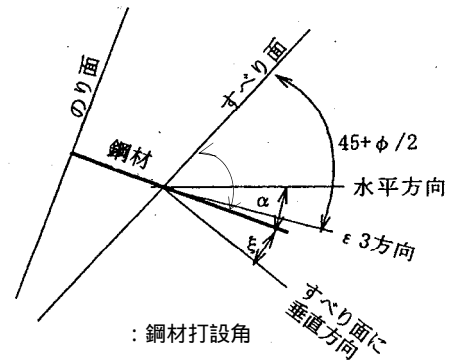


図 8-24 鋼材打設角と ϵ_3 方向
(切土補指針 p36)

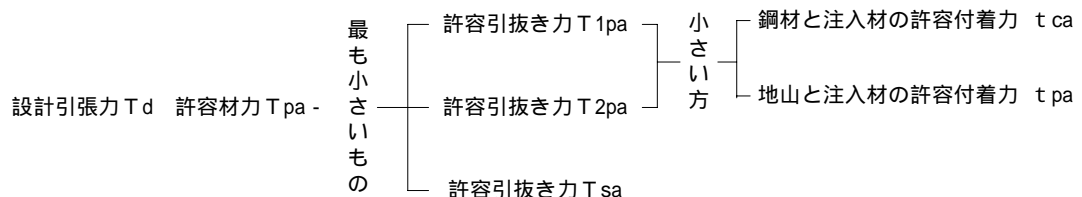
4.4.6 定着部の設計

定着部の設計において、許容材力 T_{pa} は、移動土塊から受ける許容引抜き抵抗力 T_{1pa} 、不動地山から受ける許容引抜き抵抗力 T_{2pa} 、鋼材の許容引張力 T_{sa} のうち最小のものをを用いる。

切土補指針 p38

解説

定着部の許容材力の算出にあたり、「設計引張力」、「許容材力」、「許容引抜き力」、「許容引張力」、「許容付着力」の算出関係は以下のとおりである。



以下に使用する鋼材などの設計基準値ならびに引張力などの算出について解説する。

(1) 鋼材の許容引張応力度

鋼材には表 8-9(a)に示す各種のものがあり、施工場所、必要抑止力、経済性などを考慮して選択する。一般に急傾斜地崩壊対策ではロックボルトが使用されることが多い。

許容引張応力度は、使用する引張材により規格や特性が異なるため、引張材の特徴を十分把握したうえで許容値を決定する。一般には本編 p -93 にある引張強度と降伏応力度を比較小さい値を許容引張応力度とする。なお、異形棒鋼を用いる場合は表 8-9(b)に示す許容引張応力度が示されている。また、仮設の場合の鋼材の許容引張応力度は、永久の 1.5 倍とする。

表 8-9(a) 鋼材の強度

ボルトの種類	材質	降伏点 N/mm ²	引張り強度 N/mm ²	ボルト呼び径	公称径 mm	単位重量 N/m
異形棒鋼	SD345	345以上	490以上	D19	19.1	22.1
				D22	22.2	29.8
				D25	25.4	39.0
ネジ節棒鋼	SD345	345以上	490以上	D19	19.1	22.1
				D22	22.2	29.8
				D25	25.4	39.0
ロックボルト	STD490	490以上	580以上	TD24	23.8	34.3
自穿孔ボルト	S45C	450以上	560以上	28.5	28.5	33.3

$$1\text{N/mm}^2 = 103\text{kN/m}^2 = 10.2\text{kgf/cm}^2$$

表 8-9(a)のボルトの呼び径以外にも異形棒鋼、ネジ節棒鋼については、D19～D51 がある。

(切土補指針 p52 参照)

表 8-9(b) 異形棒鋼の許容引張応力度(N/mm²) (永久)(切土補指針 p31)

鋼材の種類	SD345
許容引張応力度	200

(2) 注入材と地盤の間の極限周面摩擦抵抗

注入材と地盤の間の極限周面摩擦抵抗は、表8-10に示す推定値により設定する。ただし、引抜き試験を行って決定することが望ましい。

表 8-10 極限周面摩擦抵抗の推定値

地盤の種類		極限周面摩擦抵抗(N/mm ²)	
岩盤	硬岩	1.20	
	軟岩	0.80	
	風化岩	0.48	
	土丹	0.48	
砂礫	N 値	10	0.08
		20	0.14
		30	0.20
		40	0.28
		50	0.36
砂	N 値	10	0.08
		20	0.14
		30	0.18
		40	0.23
		50	0.24
粘性土		0.8 × c	

c : 粘着力
(切土補指針 p33)

(3) 極限周面摩擦抵抗の計画安全率

極限周面摩擦抵抗の安全率は、永久と仮設に分けて考え、表 8-11 とする。

表 8-11 極限周面摩擦抵抗の安全率

項目	安全率
永久(長期)	$F_{sa}=2.0$
仮設(短期)	$F_{sa}=1.5$

(切土補指針 p31)

(4) 鋼材と注入材の間の許容付着応力

永久の場合の鋼材と注入材の間の許容付着応力は、事前に材料の特性を調べたり、実際に短い材料で引抜き試験などを行い、許容値を決める必要がある(切土補指針 p33 参照)。また、仮設の場合の鋼材と注入材の間の許容付着応力は、永久の 1.5 倍とする。

なお、鉄筋を使用する場合は表 8-12 を参照してもよい。

表 8-12 異形鉄筋と注入材の許容付着応力度(N/mm²)

注入材の設計基準強度	24	27	30	40 以上
許容付着応力	1.6	1.7	1.8	2.0

(切土補指針 p31) (「40 以上」は道路のり面工 p278 を追加)

(5) 注入材

注入材は、セメントミルクを標準とし、所要の強度、長期安定性を有し、施工の面から流動性に優れているものを使用する。なお、注入材の設計基準強度(₂₈)は、24N/mm² 以上とする。

注入材の配合については、表 8-13 を標準とする。

表 8-13 注入材の配合

(重量比)	セメント	水	砂
セメントミルク	1	: 0.40 ~ 0.50	
モルタル	1	: 0.42 ~ 0.45	: 1

₂₈ : 24N/mm² (仮設 ₂₈ : 18N/mm²)

流化時間 22 秒以下 (P ロート : JHS A313-1992 準用)

(1N/mm² = 10.2kgf/cm²)

(6) 鋼材長さ

鋼材長さは、崩壊規模、必要抑止力、施工性および経済性を十分に検討の上決定しなければならない。鋼材長さは、短すぎると掘削後の二次的付加力(地震力など)に対して耐久性が劣る可能性があることがわかっていることから、最小長さは 2 m 程度とする。

なお、鋼材長さは施工性などから 50cm 単位で切り上げとする(図 8-25 参照)。

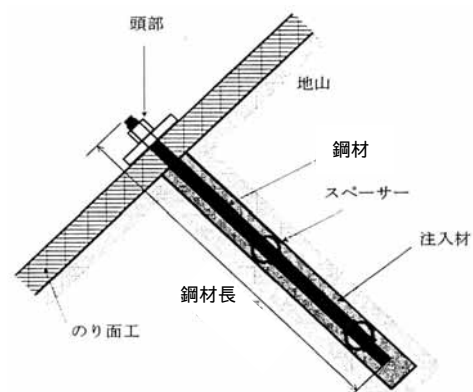


図 8-25 鋼材長さの考え方 (切土補指針 p37)

(7) 鋼材の許容材力

鋼材の許容材力 T_{pa} は、鋼材が移動土塊から受ける許容引抜き抵抗力 T_{1pa} 、不動地山から受ける許容引抜き抵抗力 T_{2pa} および鋼材の許容引張り力 T_{sa} のうち最小のものをを用いる。
(切土補指針 p38 参照)

引張材が地山の变形、滑動によって受ける引張力は、図 8-26 に示すように

移動土塊から受ける引抜き抵抗力(抜け出し抵抗力) T_{1pa}

不動地山から受ける引抜き抵抗力(引抜き抵抗力) T_{2pa}

を考慮することができる。また、鋼材の材料の面から一義的に決まる

鋼材の許容引張り力 T_{sa}

とがあり、安定性の検討に使用される鋼材の許容材力 T_{pa} は、これらのうち最も小さいものとする。すなわち、

$$T_{pa} = \min [T_{1pa}, T_{2pa}, T_{sa}] \dots\dots\dots \text{式 8-10}$$

ここに、 T_{pa} : 鋼材の許容材力(kN/本)

一般に T_{1pa} を定着長のみにより算出すると T_{1pa} が小さな値となり過大な設計となることが多いが、鋼材がのり面に結合されている場合、 T_{1pa} は定着長以外にものり面工の影響を強く受け、 T_{1pa} の増大に寄与するので、こののり面の効果を十分に考慮することが必要である。従って、適切なのり面工を組み合せ、これを考慮することによって合理的な設計を行うことができる。

以上を考慮して吹付砕工相当以上ののり面工を用いた場合には T_{1pa} の検討を無視してよいものとする。

上記許容材力 T_{pa} の算出に用いられる T_{2pa} 、および鋼材の許容付着力 t_a は地山と注入材あるいは注入材と鋼材の許容付着応力度より、式 8-11 および式 8-12 で与えられる。

$$T_{2pa} = L_2 \cdot t_a \dots\dots\dots \text{式 8-11}$$

$$t_a = \min [t_{pa}, t_{ca}] \dots\dots\dots \text{式 8-12}$$

$$t_{pa} = \frac{p}{F_{sa}} D \dots\dots\dots \text{式 8-13}$$

$$t_{ca} = c \cdot d \dots\dots\dots \text{式 8-14}$$

ここに、 t_a : 許容付着力(kN/m)

t_{pa} : 地山と注入材の許容付着力(kN/m)

p : 地山と注入材の周面摩擦抵抗(kN/m²)

D : 削孔径(m)

F_{sa} : 周面摩擦抵抗の安全率(表 8-11 参照)

t_{ca} : 鋼材と注入材の許容付着力(kN/m)

c : 鋼材と注入材の許容付着応力(kN/m²)

d : 鋼材径(m)

永久目的で使用する場合は腐食代 1.0mm を鉄筋公称径に対し考慮する。

鋼材径 = 鉄筋公称径-1.0mm

L_2 : 不動地山の有効定着長(m)

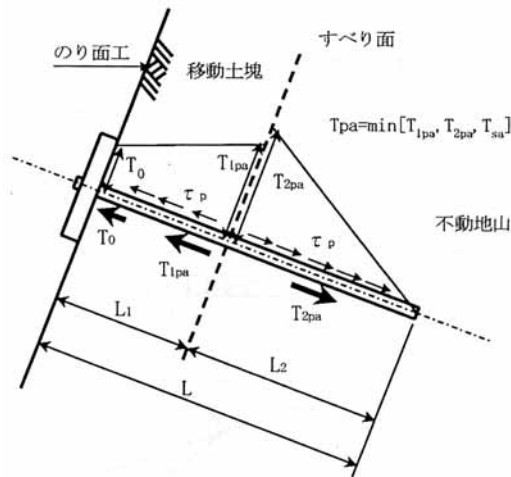


図 8-26 鋼材の引張り耐力 (切土補指針 p39)

$$T_{1pa} = \frac{1}{1 - \mu} L_1 t_a \dots\dots\dots \text{式 8-15}$$

ここに、 L_1 : 移動土塊の有効定着長 (m)
 μ : のり面工低減係数 (表 8-14 参照)

表 8-14 のり面工タイプと低減係数 μ の目安

のり面保護工タイプ	μ	備 考
植生工のり面	0	
コンクリート吹付工	0.2~0.6	
のり枠工	0.7~1.0	
擁壁類	1.0	連続した板タイプのり面工

(切土補指針 p50)

鋼材の許容引張力は、式 8-16 で与えられる。

$$T_{sa} = s_a \cdot A_s \dots\dots\dots \text{式 8-16}$$

ここに、 s_a : 鋼材の許容引張応力度 (kN/m²)
 A_s : 鋼材の断面積 (m²)

永久目的で使用する場合は腐食代 1.0mm を鉄筋公称径に対し考慮する。
 鋼材径 = 鉄筋公称径 - 1.0mm

4.4.7 内的・外的安定性の検討

鋼材配置後の安定計算は、円弧すべり法または直線すべり法による安定計算により行い、所要の計画安全率を確保するために行う。

切土補指針 p40

解 説

内的安定性の検討とは、想定したすべり面が設置した鋼材を横切の場合のすべりについての安定性について検討を行うものである。これに対し、外的安定性の検討はロックボルト工で補強した補強領域の想定すべり面以外を通るすべりに対して安定性を検討するものと、補強領域を仮想擁壁と考え、擬似構造体の安定性について検討するものがあるが、内的すべり検討には外的すべり検討が含まれていると考えられることから、外的安定性についての検討においても式 8-17、式 8-20 を用いることができる (切土補指針 p43 参照)。

(1) 円弧すべり法による安定計算式

円弧すべり法による力のつり合いは、安全率は滑動モーメントと抵抗モーメントのつりあ
いから式 8-17 によって求める。

$$F_s = \frac{M_r + M_r}{M_d} \quad (\text{計画安全率}) \quad \dots\dots\dots \text{式 8-17}$$

ここに、 M_r : 土塊の抵抗モーメント $M_r = R (\sum W_i \sin \beta_i \tan \alpha_i + \sum C_i l_i)$
($\text{kN}\cdot\text{m}/\text{m}$)

M_d : 土塊のすべりモーメント $M_d = R (\sum W_i \sin \alpha_i)$ ($\text{kN}\cdot\text{m}/\text{m}$)

M_r : 鋼材による抵抗モーメント ($\text{kN}\cdot\text{m}/\text{m}$)

(本章 p101 円弧すべり法参照)

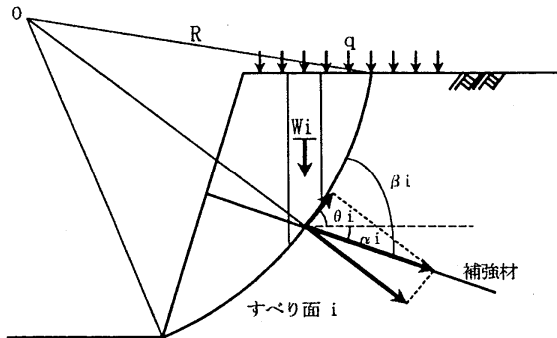


図 8-27 円弧すべり法による安定計算 (切土補指針 p40)

鋼材による抵抗モーメント M_r は、鋼材に発生する引張力による引き止め効果と締め付け
効果の両方を考え、式 8-18 で求められる。

$$M_r = R \{ T_m \cdot \cos \beta_i + T_m \cdot \sin \beta_i \cdot \tan \alpha_i \} \quad \dots\dots\dots \text{式 8-18}$$

ここに、 T_m : 鋼材の設計引張力 (kN/m)

β_i : 鋼材と分割片で切られたすべり面となす角度 (β_i と α_i)

$T_m \cdot \cos \beta_i$: 鋼材による引き止め力 (kN/m)

$T_m \cdot \sin \beta_i \cdot \tan \alpha_i$: 鋼材による締め付け力 (kN/m)

設計に用いられる引張力 T_m は、発揮しうる許容材力 T_{pa} に低減係数 γ を乗じ、鋼材の水平
方向打設間隔で除した値を用いる。

$$T_m = T_d / S_H \quad \dots\dots\dots \text{式 8-19}$$

$$T_d = \gamma \cdot T_{pa}$$

ここに、 T_m : 単位幅あたりの設計引張力 (kN/m)

T_d : 鋼材一本あたりの設計引張力 ($\text{kN}/\text{本}$)

S_H : 鋼材の水平方向打設間隔 (m)

γ : 鋼材の引張力の低減係数 ($= 0.7$)

T_{pa} : 鋼材の許容材力 ($\text{kN}/\text{本}$) (本章 p-106 参照)

本工法の場合、鋼材の引張力は地山が変形してはじめて発生するものであり、地山の変形
と地山・鋼材の相互作用に依存する。従って実際に鋼材に発生する引張力は、必ずしも許容
値である T_{pa} とはならない場合がある。このため、引張効果を極限つり合いの安定計算式へ
導入する場合、 T_{pa} は低減が必要となる。そこで低減係数 γ を新たに導入し、設計引張り力
 T_d を $T_d = \gamma \cdot T_{pa}$ で表現する。

(2) 直線すべり法による安定計算式

軟岩斜面で摂理面、層理面が流れ盤となっており、その面に沿ってすべり崩壊の危険が高いものなどについては、直線すべり極限つり合い設計法によって計算することができる。

図 8-28 に直線すべり法による力のつり合いを示す。安全率はすべり面上に作用する力のつり合いから、式 8-20 によって求められる。

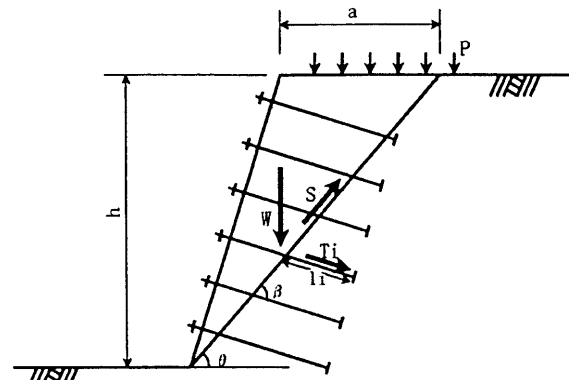


図 8-28 直線すべり法による安定計算
(切土補指針 p42)

$$F_s = \frac{S}{Q} = \frac{S_1 + S_2 + S_3}{Q} \quad (\text{計画安全率}) \quad \dots\dots\dots \text{式 8-20}$$

すべり力 Q

水平より角度 θ をなす摂理面に沿うすべり力は式 8-21 で求まる。

$$Q = W \sin \theta \quad (\text{kN/m}) \quad \dots\dots\dots \text{式 8-21}$$

ここに、W：奥行き 1.0m あたりのすべり土塊の土塊重量 (kN/m)

$$W = a \cdot h \cdot (1/2) \cdot 1.0 \cdot \gamma_t$$

$$= 0.5 \cdot a \cdot h \cdot \gamma_t$$

γ_t ：土の単位体積重量 (kN/m³) h：すべり土塊の高さ(m)

a：すべり土塊の上端幅(m)

すべり抵抗力

すべり抵抗力は、岩の抵抗力 S_1 、鋼材の引き止め力 S_2 、および鋼材の締め付け力 S_3 を考える。

・土の抵抗力 S_1

すべり面に沿う土の抵抗力は式 8-22 で求まる。

$$S_1 = C \cdot l + W \cdot \cos \theta \cdot \tan \phi \quad (\text{kN/m}) \quad \dots\dots\dots \text{式 8-22}$$

ここに、C：土の粘着力 (kN/m²)

ϕ ：土の内部摩擦角 (度)

・鋼材による抵抗力

a) 鋼材に発生する引張力

鋼材の設計引張力は、鋼材の引抜き抵抗力、鋼材と注入材の付着力、鋼材の許容引張力の値のうちの最小値である許容材力より求める。

$$T_m = T_d / S_H \quad \dots\dots\dots \text{式 8-23}$$

$$T_d = \dots \cdot T_{pai}$$

ここに、 T_m ：単位幅あたりの設計引張力 (kN/m)

T_d ：鋼材一本あたりの設計引張力 (kN/本)

S_H ：鋼材の水平方向打設間隔 (m)

α ：鋼材の引張り力の低減係数 (= 0.7)

T_{pai} ：鋼材の許容補強材力 (kN/本)

b) 引き止め力 S_2

引き止め力は式 8-24 で求める。

$$S_2 = T \cdot \cos \quad (\text{kN/m}) \quad \dots\dots\dots \text{式 8-24}$$

c) 締め付け力 S_3

$$S_3 = T \cdot \sin \cdot \tan \quad (\text{kN/m}) \quad \dots\dots\dots \text{式 8-25}$$

4.4.8 頭部処理

鋼材頭部は、地山もしくはのり面工とが構造的に一体となるように、頭部プレートとナットを用いて結合することを原則とする。

切土補指針 p55

解 説

鋼材頭部は、切土直後の安定性、適用性、のり面工タイプ、施工法などから考えて、頭部プレート（SS400 同等以上の支圧板）とナットを用い鋼材とのり面工をゆるみがないように結合させて施工する。地山と鋼材とを確実に一体化することが重要である。

鋼材頭部の標準的に用いられる方法は図 8-29 に示す。

ここで、(b)のタイプは注入材と地山の周面摩擦抵抗が大きく、移動土塊から受ける引き抜き抵抗力が十分確保できる場合に限り、崩壊対策に用いるタイプである。

なお、吹付砕工など別途のり面保護工を採用する場合においても、頭部プレートによる確実な頭部処理方法を行う必要がある。

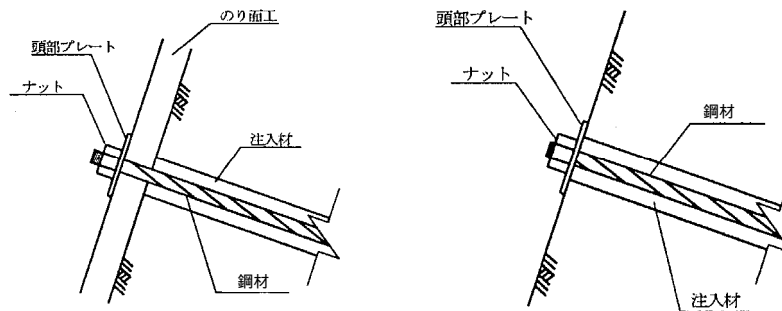


図 8-29 頭部処理工法 (切土補指針 p55)

4.4.9 防錆工

鋼材の地表部に近い部分（概ね地表から 50cm 程度）は、注入材を充填を入念に行うものとする。また、腐食環境が厳しい場合は、十分調査し適切な防錆方法を選定しなければならない。

切土補指針 p57

解 説

防錆工は、永久のり面に使用する場合は、鋼材頭部に亜鉛メッキ処理を施し、鋼材の設計においては腐食代 1.0mm を鉄筋公称径に対して考慮する。(鋼材径=鉄筋公称径 - 1.0mm)

鋼材の亜鉛メッキ処理は次のとおりとする。

- 鋼 材 JIS H 8641 2種HDZ55
- ナ ッ ト JIS H 8641 2種HDZ35
- プレート JIS H 8641 2種HDZ55

4.4.10 試験工

試験は、次の2種類を行う。
引抜き試験
確認試験

切土補指針 p84 (H10年10月版)

解 説

(1) 引抜き試験

引抜き試験とは、地盤の極限引抜き力や設計に使用した諸定数の妥当性を確認する目的で実施される極限状態までの試験である。試験時期は、調査計画段階や実施工の早い時期に行われることが望ましい。

(2) 確認試験

確認試験とは、施工された鋼材の引張耐力が設計引張力を満足するかどうかを確認する目的で実施される設計上の引張荷重レベルまでの試験である。

試験工の詳細については、「参考資料編 p -287切土補強土工法設計・施工要領(平成10年10月版)」または「JH施工管理要領」を参照すること。

第9章 落石対策工

第1節 総 則

1.1 目的

落石対策工は、落石の発生が予想される斜面において、これによる災害を防止することを目的とする。

河砂技.設 p87

解 説

斜面においては、落石のみの発生だけが予想されるような場合は少なく、一般には、崩壊防止施設に付属して、落石対策施設が設置される場合が多い。

1.2 種類

落石対策工は、落石予防工と落石防護工に大別される。

河砂技.設 p87

解 説

落石予防工は、転石などの除去や固定により落石の発生を未然に防ぐもので、落石防護工は、落下してくる石を斜面下部あるいは中部で止める。

(1) 落石予防工の種類と機能(表9-1、図9-1参照)

落石予防工は主として落石発生源を対象としてとられる工法であり、次のような効果を期待して実施される。

- 1) 転石の周辺の侵食を防ぎ、根が洗われてすべり落ちるのを防ぐ。
- 2) 凍結融解、温度変化、乾湿繰り返し、風力などによる風化の進行を防止する。
- 3) 落石を発生源に直接的に抑止する。
- 4) 落石を除去・整理する。
- 5) 斜面崩壊に伴う落石を防止する。

表9-1 落石予防工の工法と工種

(新斜面崩壊 p276)

工法	落石予備物質(浮石・転石)を事前に除去する工法	浮石・転石の不安定化を抑制する工法	浮石・転石を斜面に固定させる安定化工法
工種の例	・除去工(不安定な浮石・転石の除去) ・切土工(安定勾配に切り直す工法)	・排水工、プレキャスト砕工などの礫間充填物(マトリックス)が流失するのを抑制する工法 ・吹付工などの岩盤の風化、剥離を抑制する工法	根固工、グラウンドアンカー工など個々の石を対象とする工法、あるいはグラウト工、もたれ式擁壁工など不特定多数の石を対象とした工法
適用範囲など	最も確実な工法であり、可能な限りこの工法を採用するのが望ましい。	比較的安価な工法であるが、確実性に多少の不安が残る。また、抑止力の作用する場合は不適である。	予想される落石の危険度が大き、しかも規模(大きさ)が大きい場合、切土などの安定化ができない場合、抑止力を伴う場合などに適用されることが多い。しかし、工費は高いものが多い。

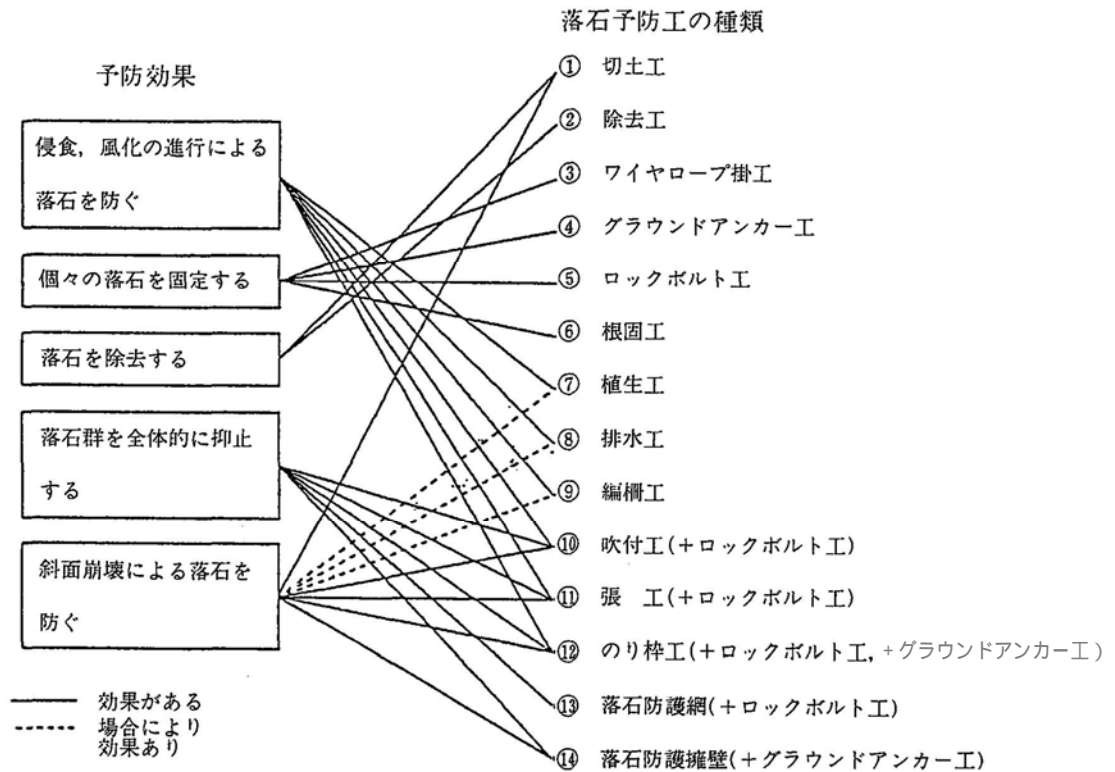


図 9-1 落石予防工の種類と効果

(新斜面崩壊 p268)

根固工

根固工は、不安定な浮石や転石の除去ができない場合に、浮石・転石をそのままの状態でもコンクリートなどで間詰めなどをして固定する方法である(図9-2参照)。

根固工には、コンクリート根固めの他に転石と転石を鋼棒やワイヤーで結合させる、いわゆる“ぬいつけ”が行われる場合もある。これは単体としての不安定さを転石群で互いに補強しようとするものである。

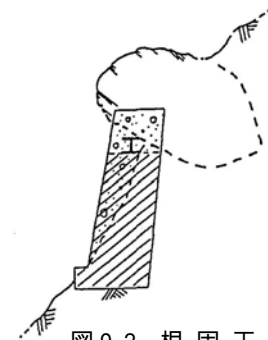


図 9-2 根固工

(新斜面崩壊 p269)

排水工

長大斜面の谷筋や急勾配の溪流部分では地表水の集中によって落石を生じるから、このような箇所では排水路の設置が効果的である。

吹付工

コンクリートやモルタルを吹付けて、落石の発生を予防する工法で、表面の侵食防止、岩石の風化防止、亀裂の拡大防止、部分的抜け落ち防止を図るものである。

抑止効果を増すために吹付けを厚くしたり、金網、ロックボルトを併用する方法がある。

コンクリート張工

現場打コンクリートによる張工であり、いくぶん不安定なおり面でもたれ式擁壁までは必要ないと判断される場合や節理の多い岩盤斜面で侵食、風化、部分的崩壊を防止するために用いられる。抑止効果を増すために配筋を行ったり、ロックボルトを併用する方法がある。

のり枠工

急斜面での規模の大きい落石に対処する予防工である。落石の重量を支えるために格子状のRC梁を組み、その間を張コンクリートで被覆する（図9-3参照）。

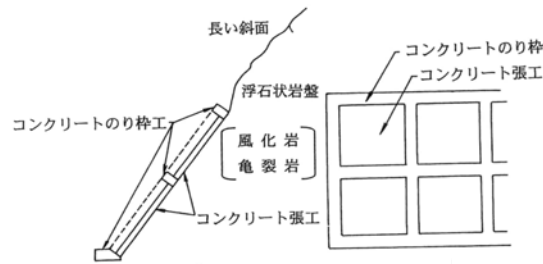


図9-3 のり枠工の例（新斜面崩壊p270）

グラウンドアンカー工、ロックボルト工

グラウンドアンカー工は比較的大規模な浮石や転石が転動しないよう基盤に定着させるものである（図9-4参照）。アンカー力が大きいいため定着基盤の確認が重要であり、抑止力を落石全体に分布させるために根固工、のり枠工、ワイヤロープ掛工などを併用する。

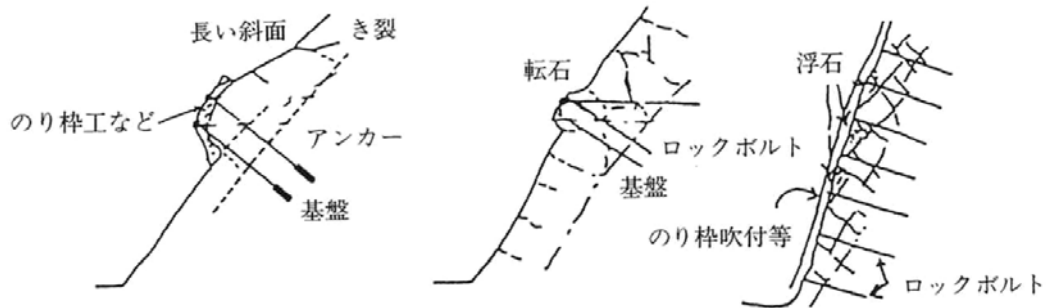


図9-4 ロックボルト、グラウンドアンカー工の例（新斜面崩壊 p270）

ロックボルト工は比較的小規模の落石を対象とし、亀裂岩と一体化し固定するものである。

この場合、浮石群を全体的に固定するために斜面と吹付工、張工、のり枠工および落石防止網で被覆しロックボルトと一体化する組み合わせが効果的である。

編柵工

転石および周辺の不安定な小礫・土砂が存在する斜面の表層部分を安定化させることと、小落石を抑止するのに用いる。編柵工は斜面の表層部を安定させ、ここに点在する落石の発生を防ぐことと、小落石を落差の小さい範囲に止めるのに用いる（図9-5参照）。

編柵工は転石型斜面に適當である。排水工と併用するのが効果的である。

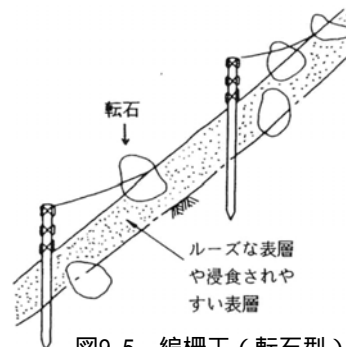


図9-5 編柵工（転石型）の例（新斜面崩壊p270）

切土工

落石のある斜面を安定勾配に切土するもので、斜面高の比較的低い場合に適用され、最も基本的な予防工のひとつである（図9-6参照）。

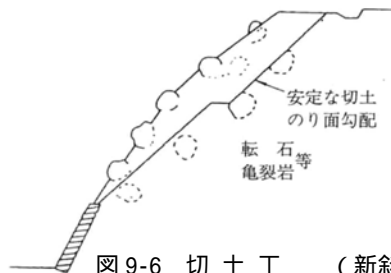


図9-6 切土工 （新斜面崩壊 p270）

除去工

落石の可能性のあるものを除去して安定させ、落石を予防する方法である（図9-7参照）。大きな転石を除去する場合には、ブレーカーあるいは薬剤などにより小割りしてから除去する方法がよく用いられる。

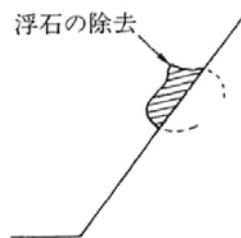


図9-7 除去工 （新斜面崩壊 p270）

ワイヤロープ掛工

浮石や転石が滑動や転動しないようにワイヤロープを格子状に組んだり、数本のロープでその基部を覆ったり、ひっかけたりして斜面上に固定させる工法である（図9-8参照）。ワイヤロープはアンカーボルトなどで堅固な基盤にとりつける必要がある。

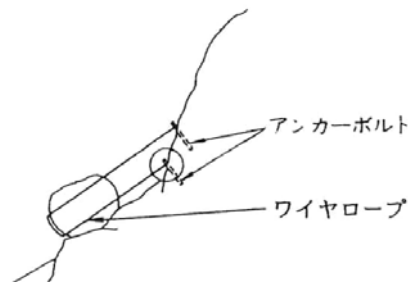


図9-8 ワイヤロープ掛工の例 （新斜面崩壊 p271）

擁壁工

落石とともに斜面の崩壊を生じるおそれのある急斜面に用いる。擁壁の形状はもたれ型となる場合が多い。壁高が大きくなる場合は抑止力を大きくするためにグラウンドアンカー工を併用する。グラウンドアンカー工は擁壁の抑止力を地山の安定な層にとるものであり、定着層の確認が必要である。

植生工

落石対策としての植生工の効果は、凍結融解による亀裂、浮き上がりの進行の防止および地表侵食による転石、浮石の不安定化の防止であり、寒冷地や地表侵食を受けやすい斜面での落石発生の防止に効果がある。

(2) 落石防護工の種類と機能(表9-2参照)

落石防護工は落石予防工を設置しない軟岩、または礫混じり土砂などの斜面において、雨水の洗掘などによって礫片などの落下が予想される箇所、もしくは予防工だけでは不十分な箇所に用いられる。

落石防護工の種類は設置する位置によって次のように分類される。

- 1) 発生源から人家などに至る中間地帯(斜面中)に設ける落石防護工には覆式落石防護網工・落石防護柵工・落石防護擁壁工・落石誘導工などがある。
- 2) 斜面下部に設けるものには、落石防護擁壁工、ポケット式落石防護網工、落石防護柵工などがある。

表 9-2 落石防護網工と落石防護柵工の特徴 (新斜面崩壊 P272)

工種名	落石防護網工	落石防護柵工
工法の内容	落石防護網、ワイヤーロープなどの軽量部材を使用して、落石発生のおそれのある斜面全面を覆い、落石に対処するもの	落石防護柵は落石の発生しやすい斜面の最上部または中段に設置され、落石を阻止する構造物である
採用が好ましい斜面	小規模の落石が発生しやすい斜面、または基盤岩から浮石が剥離・剥落しやすい斜面	比較的小規模の落石のある斜面で、対象となるのり長が長く全面的な対応が困難な場合
主な工種	覆式落石防護網工(p-120 図 9-11) ・ネットの張力および落石と地山の摩擦によって落石を拘束 ポケット式落石防護網工(p-121 図 9-14) ・上部に落石の入口を設け落石を捕捉する	ワイヤーロープ金網式(p-122 図 9-15) ・H鋼を支柱としてワイヤーロープ・金網を取り付けたもの H鋼式(p-125 図 9-19) ・H鋼を主体としてエキスパンドメタルなどを取り付けたもの。通常砂又は古タイヤのクッションをつける
特徴	<ul style="list-style-type: none"> ・軽量である ・設置が容易でありに迅速に施工できる ・補修が容易である ・斜面に密着し自然感を損わない ・耐久性に問題がある ・灌木などの伐採を伴う 	<ul style="list-style-type: none"> ・基礎が他の構造物に比較して小さい ・維持補修が容易である ・堆積土砂の除去が容易である

1.3 選定

斜面調査結果および落石エネルギーなどを検討して各工法の特徴、現地の社会的条件、地形・地質と保全対象の施工性、経済性などを考慮して工法の選定を行う。

新斜面崩壊 p274

解 説

落石対策工は、落石予防工による落石源の除去を原則とするが、それが困難な場合、または不適当な場合には落石防護工を選定する。

工法の選定は、以下のような流れに沿って実施される(図9-9参照)。

- 1) 対象が落石のみか崩壊を伴うかを検討する。
- 2) 浮石・転石の整理、斜面への固定の可能性の検討、崩壊を伴う場合にはその対策の可能性を検討する。
- 3) 2)で対策が可能であるなら、表9-3などを参考として最適な落石予防工を選定する。
- 4) 落石防護工の選定にあたっては落石および崩土のエネルギーや跳躍高さ・経路などを、経験的手法や落石シミュレーションを用いて推定し、既往事例などを参考として最適な落石防護工を選定する。

5) この段階で単独の工種では不十分な場合には、予防工を含めていくつかの工種の組み合わせを検討する。

6) 以上のように落石予防工と落石防護工、およびその組み合わせを並列して比較検討し、耐久性、施工性、経済性、維持管理上の問題などをよく検討して工法を選定する。

なお、斜面上に繁茂している樹木は落石の発生、抑止に効果があり、これらを伐採する場合には十分に注意する必要がある。

表9-3 落石対策の適用に関する参考表

(新斜面崩壊p274)

分類	特徴 凡例 工種	落石対策工の効果					耐久性	維持管理	施工の難易	信頼性	経済性
		風化侵食防止	発生防止	衝撃に抵抗	跳躍高さに対応	方向変更					
類	◎	非常によい					非常によい	手がかからない	容易	非常によい	安い
	○	よい					よい	やや手がかかる	やや容易	よい	場合による
	△	場合によってはよい					落石で破	手がかかる	むずかしい	場合によってはよい	高い
落石 予 防 工	切土工		◎				◎	○	△	◎	○
	除去工		◎				○	○	△	○	○
	根固工		◎				◎	○	○	◎	○
	グラウンドアンカー工		◎				○	◎	○	◎	○
	ワイヤロープ掛工		◎				○	○	△	○	◎
	排水工	◎					○	○	○	○	◎
	編柵工	○	○	△			○	○	◎	△	◎
	吹付工	◎	○				○	○	◎	○	◎
	張工	◎	◎				◎	◎	○	○	◎
	のり枠工	◎	◎				◎	◎	◎	◎	○
	擁壁	◎	◎	△			◎	◎	○	◎	○
	落石防護網+ロックボルト工		◎				○	○	◎	○	◎
	吹付工+ロックボルト工	◎	◎				○	○	○	◎	◎
	張工+ロックボルト工	◎	◎				◎	◎	○	◎	○
	のり枠工+ロックボルト工	◎	◎				◎	◎	○	◎	◎
	のり枠工+グラウンドアンカー工	◎	◎				◎	◎	○	◎	○
	擁壁+グラウンドアンカー工	◎	◎				◎	◎	○	◎	△
落石 防 護 工	覆式落石防護網		○	○	◎		○	○	◎	○	◎
	ポケット式落石防護網			○	○	○	○	○	◎	○	◎
	落石防護柵			◎	○	△	○	○	◎	○	◎
	多段式落石防護柵		△	◎	◎		○	○	◎	○	◎
	落石防護擁壁			◎	○	△	◎	○	◎	○	○
	落石防護土堤・溝			◎	○	△	◎	○	◎	○	○

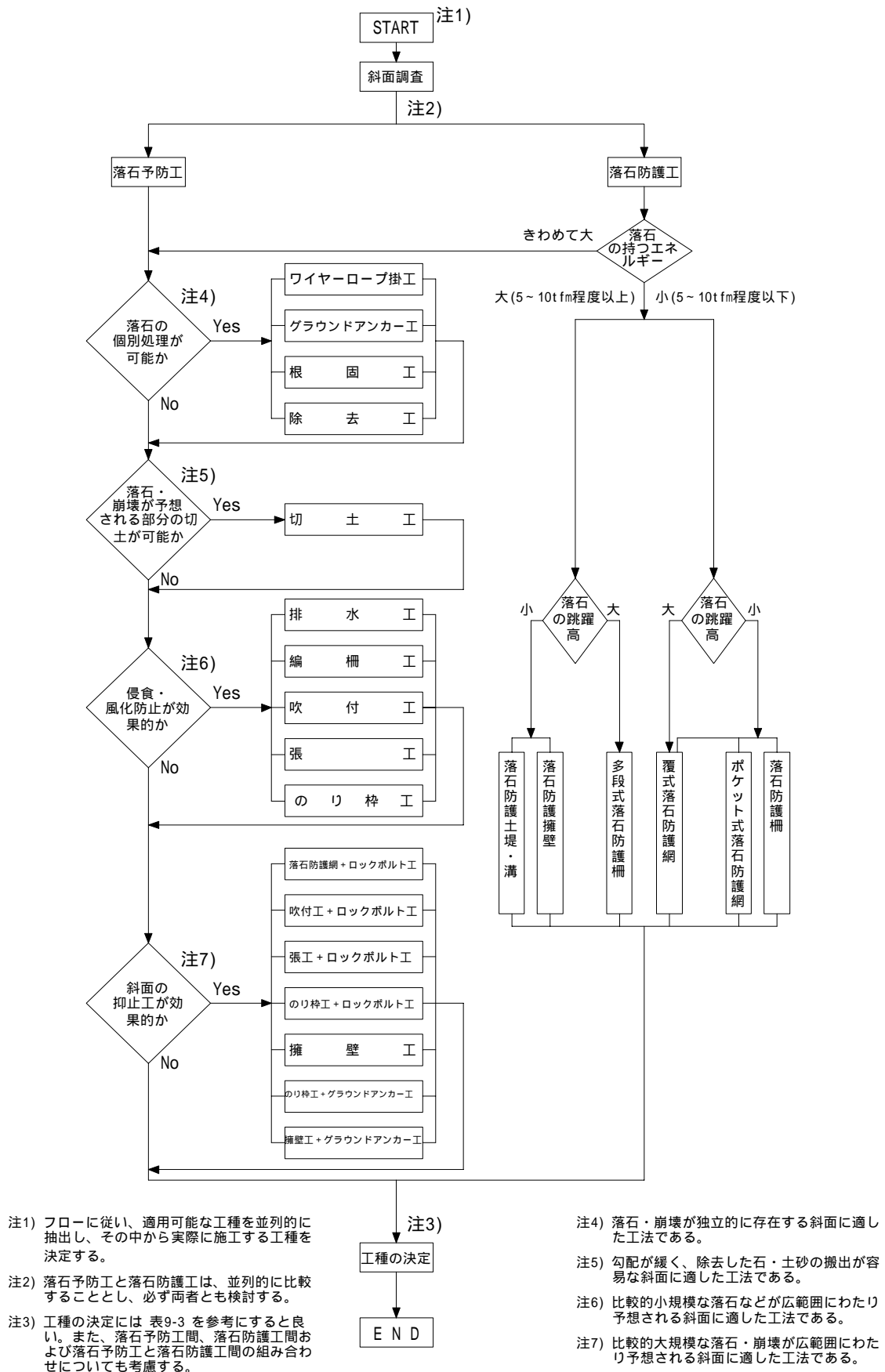


図 9-9 工法選定の流れ (新斜面崩壊 p275)

第2節 落石対策工の設計

2.1 設計

落石対策工は、落石による被害を防止するとともに、落石に対して安全なものとなるように設計する。

新斜面崩壊 p265、河砂技.設 p88

解 説

(1) 落石予防工の設計

落石予防工のうち、コンクリート張工、現場打コンクリートのり砕工、ロックボルト工およびグラウンドアンカー工、編柵工については、斜面上の浮石・転石の転動・滑動力に対抗できる構造とし、構造についての詳細は各工法に準ずる。

切土工、除石工は斜面上の不安定な石を除去する工法であり、根固工、ワイヤロープ掛工は落石対策に特有な工法である。設計方法などの詳細については、「H12 落石対策便覧」を参照すること。

根固め工

根固工は、不安定な浮石や転石の除去ができない場合に、浮石・転石をそのままの状態でもコンクリートなどで間詰めなどをして固定する方法である（図9-2参照）。

根固工には、コンクリート根固めのほかに転石と転石を鋼棒やワイヤーで結合させる、いわゆる“ぬいつけ”が行われる場合もある。これは単体としての不安定さを転石群で互いに補強しようとするものである。

ワイヤロープ掛工

ワイヤロープ掛工は、一般に応急的、暫定的な工法として施工されることが多く、後に他の対策工に換えるかまたは併用にすることが望ましい。ワイヤロープの強度は、(2)の落石防護工の設計の諸項のワイヤロープの諸値に示す強度を用いて設計する。

この工法は、ワイヤロープとロックボルトまたはアンカーで浮石、転石、破碎岩などの落下、移動を抑止する。

ワイヤロープ掛工の例を図9-10に示す。

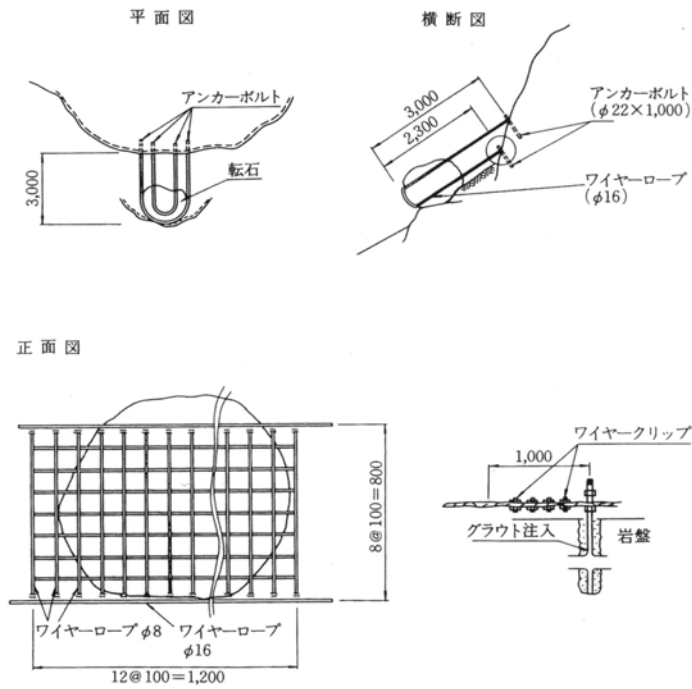


図 9-10 ワイヤーロープ掛工の例 (単位 : mm) (新斜面崩壊 p277)

(2) 落石防護工の設計

落石防護工の設計は、明確に落石の形態が把握できる場合には、落石の運動エネルギーの計算に基づいて行う。

1) 落石防護網

覆式落石防護網の設計

- 縦ロープは、縦ロープ間の幅における斜面内の落石の重量および自重に耐えなければならない、その安全率はワイヤーロープの破断荷重に対して 2 以上とする。
- 横ロープは、のり長方向下方 3 スパンの自重および落石の重量を等分布荷重として受けるものとし、その安全率は 2 以上とする。
- 金網にかかる荷重は (b) と同様に考えて、金網の仕様を決定する。
- 斜面の勾配による補正

実際に作用する荷重は、地山と落石の間の摩擦力および斜面勾配によって決定する。

(e) アンカーの強度

アンカーには、縦ロープおよび横ロープの荷重がかかるものとし、強度および安定計算を行う。アンカーの強度と安定計算については「落石対便 p137 ~ 145 ポケット式落石防護網」を参照する。

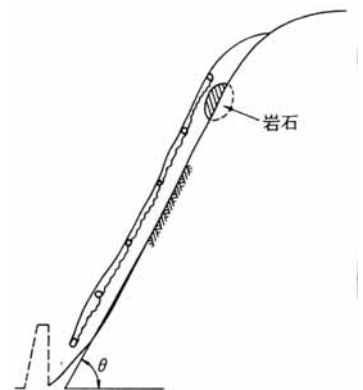


図 9-11 覆式落石防護網 (落石対便 p136)

表9-4 落石防護網工（金網）の標準タイプの一例

タイプ	落石の大きさ (30㎡あたり) (mm)	落差 (m)	勾配 (°)	網目 (mm)	線径 (mm)	ワイヤー径 (mm)	ロープ保証 破断力 (tf)	アンカーボルト	
								径 (mm)	長さ (mm)
A	～ 500	20	60	50	3.2	12	7	22	80～120
B	500～ 750	20	60	50	3.2	14	10	22	80～120
C	750～1,500	20	60	50	4.0	16	13	22	80～120

(新斜面崩壊p281)

ワイヤロープの間隔は横方向では4m以下、縦方向は5～10mのものが多い。

部材間の連結部は部材の性能をできる限り発揮させるように、必要な耐力と延性をもっていないなければならない。以下、各部材の連結部の主なものを示すと、図9-12のような結合コイルを結束するか、結束線で連結するものとし、図9-13に示すような器具を使用すればよい。

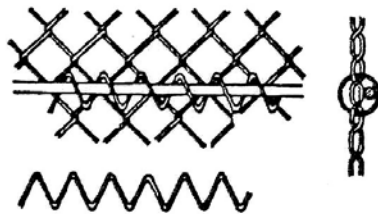


図9-12 ワイヤロープと金網

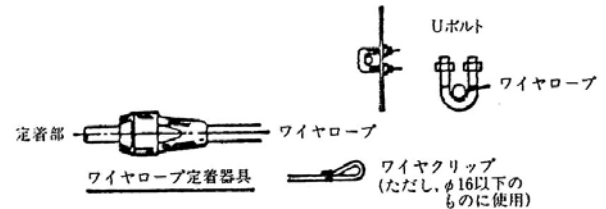


図9-13 ワイヤロープ定着部

(新斜面崩壊p281)

ポケット式落石防護網の設計

落石防護網はそれを構成する各部材の性能をその限度いっぱいまで同時に発揮させるようにすることによって可能吸収エネルギーを最大とすることができる。しかし、各部材の性能差、市場性、保守性などを勘案すると、金網以外の諸部材が金網より先に破壊しないことを原則とするのがよい。したがって、ポケット式落石防護網は金網の吸収エネルギーを基準として設計する。

図9-14に示すような標準的タイプ図を参考にして実施することがある。この場合、ネットに落石が衝突することを考慮して、各部材の断面を大きくとったり、アンカーを強化するなどの処置が採られることが多い。

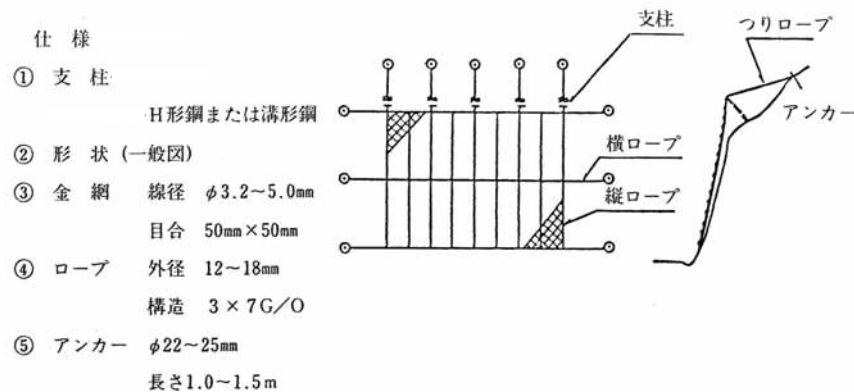


図9-14 ポケット式落石防護網標準的タイプ図の一例

(新斜面崩壊 p282)

2) 落石防護柵工

落石防護柵として一般によく用いられているのは、ワイヤロープ金網式であるので、ここではワイヤロープ金網式の設計の考え方のみについて述べる。

ワイヤロープ金網式: H鋼を支柱としてそれにワイヤロープ・金網を取り付けたもの。支柱は直柱式(図9-15(a))と曲柱式(図9-15(b))の2種類があり、中間支柱にステーの付いたものもある。

落石防護柵の設計においては、落石が飛び超えないようにその高さを確保し、その許容変位以内で落石エネルギーを吸収できるように部材断面、部材配置を決定し、かつ基礎の安定が確保されることを確認する。図9-17にワイヤロープ金網式落石防護柵の設計フローチャートを示す。

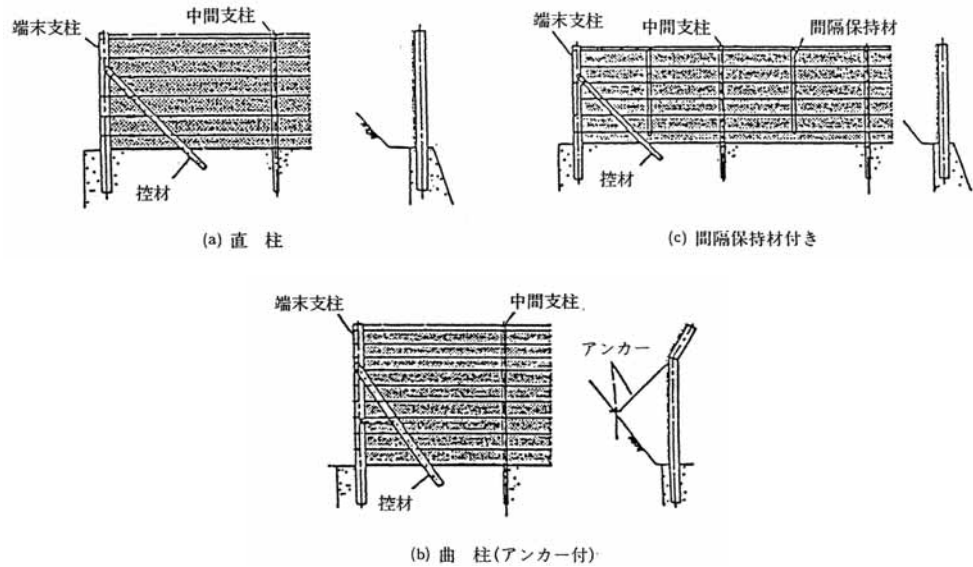


図9-15 落石防護柵の種類(ワイヤロープ金網式)
(新斜面崩壊 p282)

落石の跳躍量は、斜面の凹凸が大きい場合を除いて一般的に図9-16のように2m以下であるといわれており、標準としては跳躍高さ $h_1=2\text{m}$ とし、最低柵高は同図(b)、(c)のように $(2\sec \theta - d)\text{m}$ とする。ここで、 d : 基礎の高さである。

ただし、同図(d)のように斜面勾配が斜面の途中で変化している場合あるいは斜面の凹凸が大きい場合などには、落石が落石防護柵を飛び越える可能性があるので設置位置、柵高の設定には注意を要する。

図9-16(c)の例での落石防護柵は図9-16(b)の直線型ではなく、かぎ型になっているが、これは落石防護柵の有効柵高を相対的に増すように工夫したものである。これは斜面の勾配 (θ) が急になるにつれて、直線型の落石防護柵の場合、柵高 (h) の落石跳躍高 $(h : \text{斜面に垂直})$ に対する有効高 $(h_v : = h \cdot \cos \theta)$ が相対的に小さくなるためである。

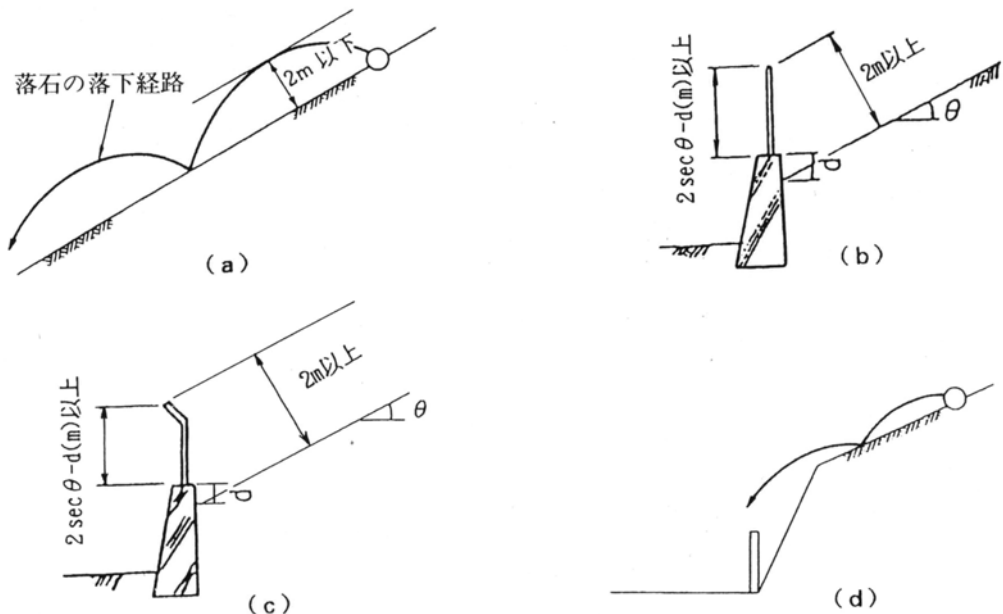
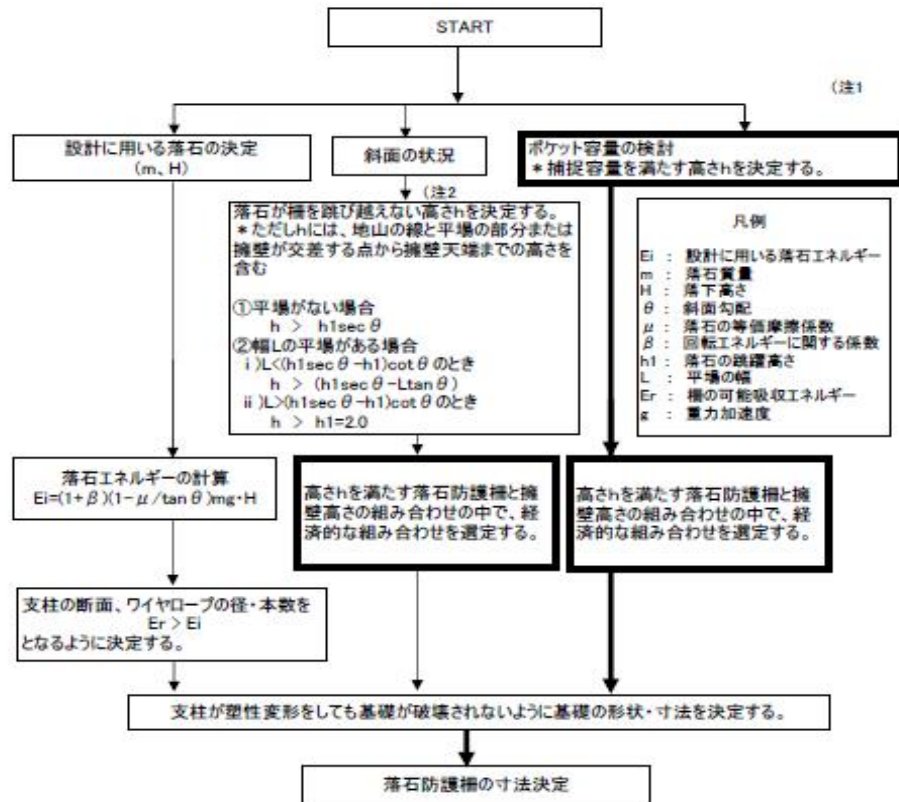


図9-16 落石の落下経路と防護柵（落石対策 p151）



(注1) * 擁壁天端から裏込土表面までの高さは1m以上を確保すること。
 (注2) * ただし、平場の幅や落石防護柵の高さは同じ平場でも斜面形状や施設設置時の切り土、擁壁天端から平場表面までの高さなどによって変わる場合があるため、落石対策便覧(社団法人 日本道路協会平成12年8月)P151 図5-16を参考とすること。

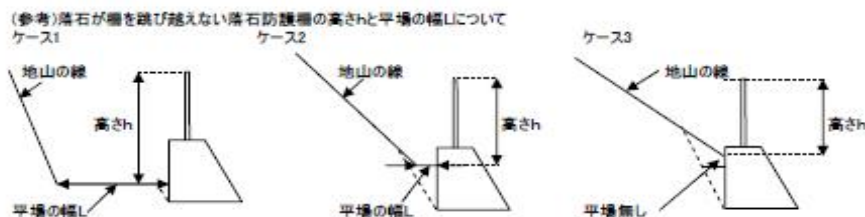


図9-17 ワイヤロープ金網式落石防護柵の設計フローチャート（落石対策 p150 追記）

ワイヤロープ金網式落石防護柵工の設計は、近隣地の成功例および図 9-18 に示すような標準的タイプ図を参考にして実施されることがある。一般にワイヤロープ間隔は 35cm 以下が望ましい。

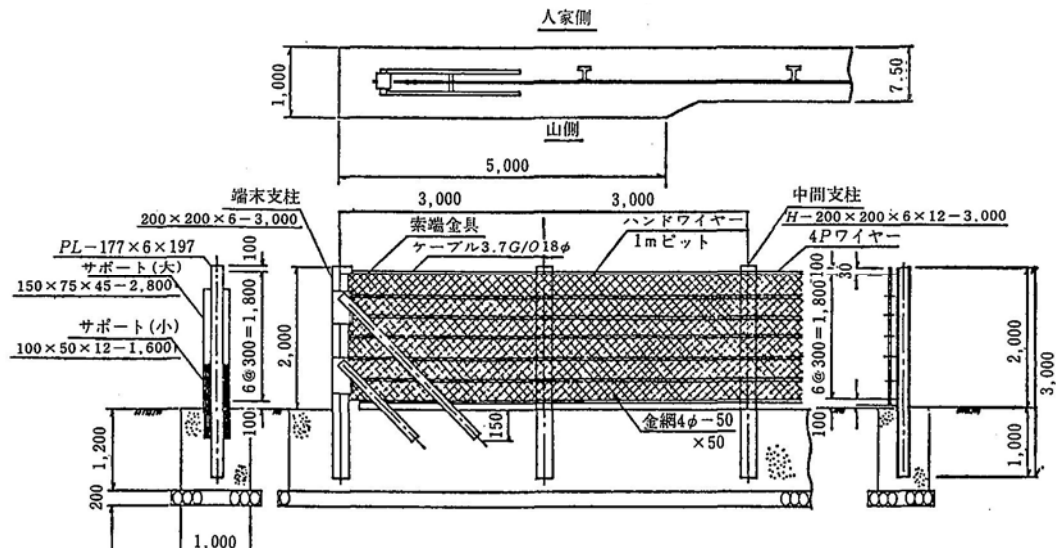


図 9-18 ワイヤロープ金網式落石防護柵工の標準的タイプ図の一例 (単位: mm) (新斜面崩壊 p283)

擁壁に用いる場合は、ある程度の規模の崩壊が、重力式およびもたれ式擁壁工などで対策がなされても、図 9-19 に示すように、斜面の一部の小規模な崩壊および落石の発生の危険性が残る場合には、落石防護柵工の設置を検討する。

落石防護柵は擁壁上に、その縦断勾配にそって設置されることが多いが、縦断勾配の変化点に建て込む中間支柱のロープ止め金具にはせん断力が作用するので、縦断勾配の変化点で末端支柱を設けるか、ないしはその部分のロープ止め金具を補強する必要がある。また、内カーブ区間においては、ロープ止め金具に引張力が作用するので補強する必要がある。

また、落石がワイヤロープの間をすり抜けないように間隔保持材を取り付ける。

落石防護柵の設計は、一般には落石の規模および跳躍高などを考慮して高さ1~3mのものが多く設置されている。

H型鋼支柱はコンクリート打設前に設置する。H型鋼支柱(末端支柱、中間支柱)廻りの補強図については図9-19に示す。

設計計算方法などの詳細については「H12落石対策便覧」などの関連文献を参照すること。

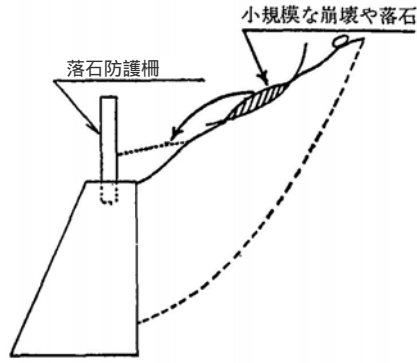
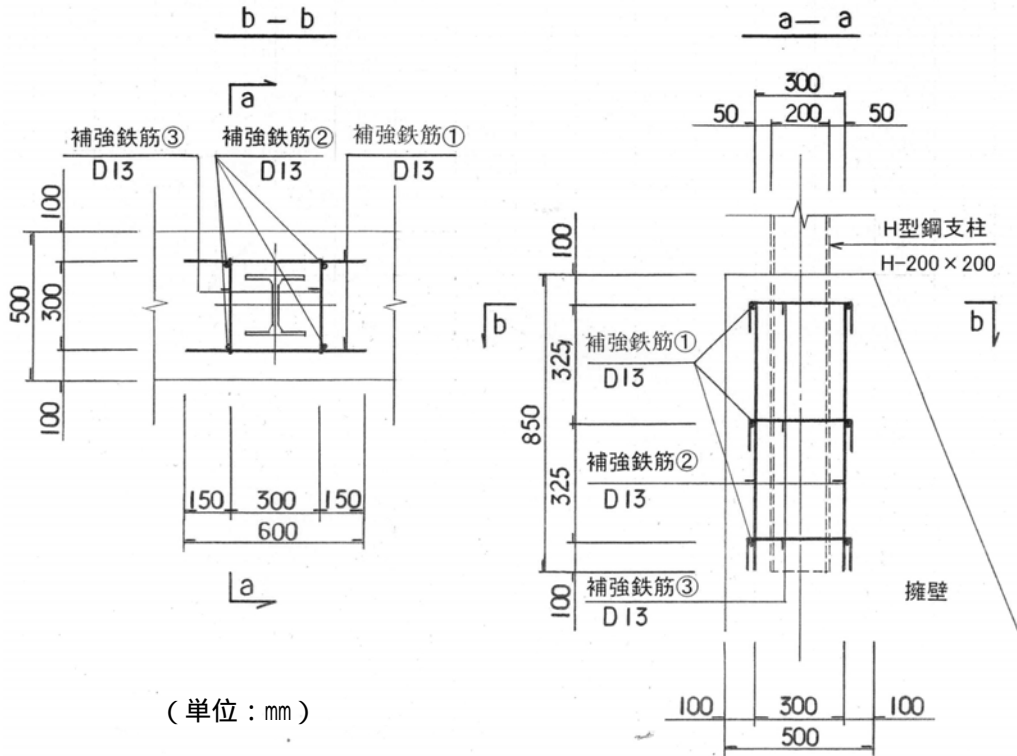


図9-19 擁壁天端に設置される落石防護柵の機能 (新斜面崩壊p285)



(単位：mm)

図9-20 H型鋼支柱の補強図の一例

H鋼式：H鋼を主体としてH鋼の横バーおよびエキスパンドメタルを取り付けたものであり、通常砂あるいは古タイヤのクッションをつける (図9-21参照)。

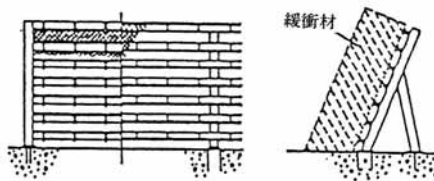


図9-21 落石防護柵の種類 (H鋼式) (新斜面崩壊p282)

第10章 その他の工種

第1節 杭工

1.1 目的

斜面上に杭を設置して、斜面の安定度を向上させることを目的とする。

河砂技.設p88

解 説

一般に、急傾斜地崩壊防止工事の対象となる斜面は崩壊土層も薄く勾配も急なため、他の工種に比べて施工が困難であり工費も高くなる場合が多い。杭工は、限られた用地で、崩壊に対して比較的大きな抑止力を発揮することができ、また、植生の保全も可能なことから、対象斜面の条件によっては有効な工法の1つとなる。

1.2 設計

斜面の滑落を抑止しうる構造となるように設計する。

地すべり杭要領p14、河砂技.設p89

解 説

杭工の設計は原則として地すべり防止工事における杭工の設計法に準ずる。ただし、斜面崩壊防止工事においては原則として曲げ杭で設計し、曲げモーメントおよびせん断の両方に対して安全になるように検討する。特に杭を急傾斜に施工する場合、杭背面（谷側）の地盤反力を期待することは一般的に困難で、抑え杭として曲げに耐えられるよう十分検討する必要がある。

杭の中抜けについては、一般に急傾斜地の場合、通常の地すべりよりすべり面の位置が浅いので、杭と杭との間の土塊の密度が小さく、中抜けが生じやすい。したがって、地すべりの場合よりも杭の間隔が密であることが必要である。

また、斜面上部の土塊に対して杭の抑止効果の範囲にも限界があり、杭を2段以上に設置するか他の工法と併用することも検討する必要がある。

なお、杭工設計の詳細については「地すべり鋼管杭設計要領」などの関連文献を参照すること。

設計法の概要

杭の設計法は、地すべりの深さ、移動層の状態、地すべりの安定度、杭の施工位置の制約などの相違点を踏まえた上で、適切な設計法を採用する。

(a) 杭の谷側移動層の有効抵抗力を期待した杭の方式

- ・くさび杭：杭が移動層と一体となって移動し、すべり面の上下でたわむときに発生する抵抗力によって地すべり力に抵抗するもの。
- ・補強杭：杭を弾性床上の梁として考え、地すべり推力の一部を根入れ地盤に伝達し、残りの推力を谷側移動層の抵抗力に委ねる。
- ・せん断杭：杭の効果としてすべり面のせん断抵抗力のみを増加させると考えるもの

(b) 杭の谷側移動層の有効抵抗力を期待しない杭の方式

- ・抑え杭：杭の谷側の移動層による支持を期待せず、杭の抵抗力のみで片持ち梁として地すべり推力を負担するもの。

各杭の機能の概念図を、図10-1(a)に示す。

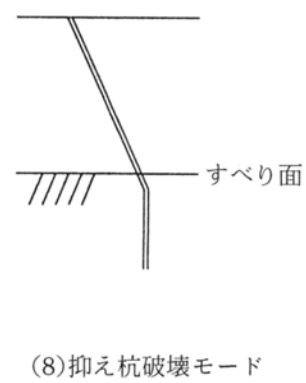
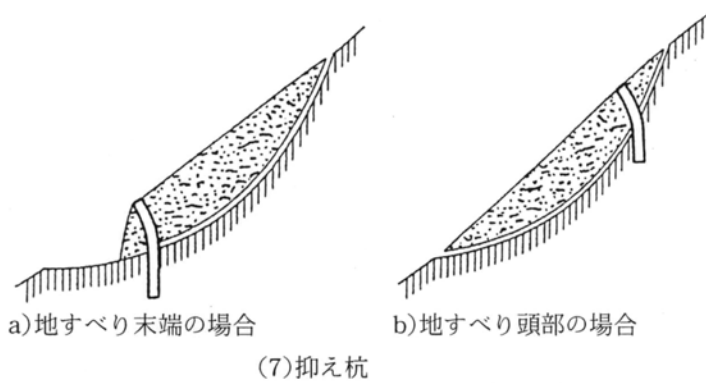
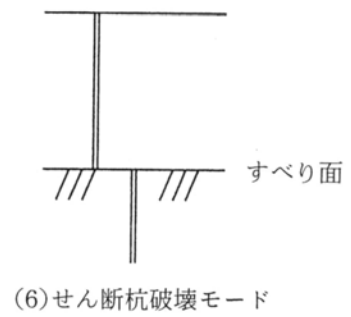
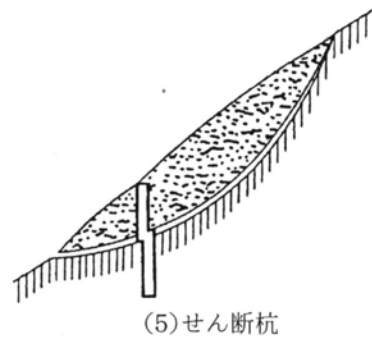
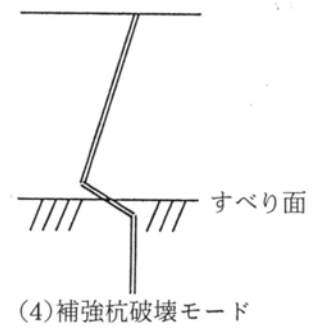
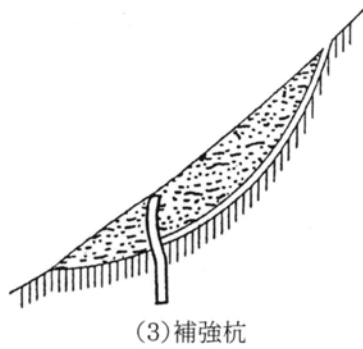
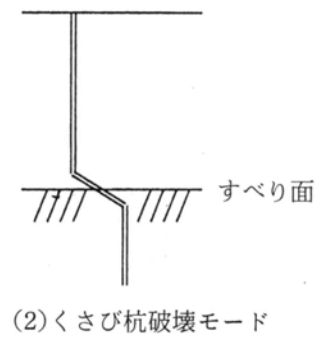
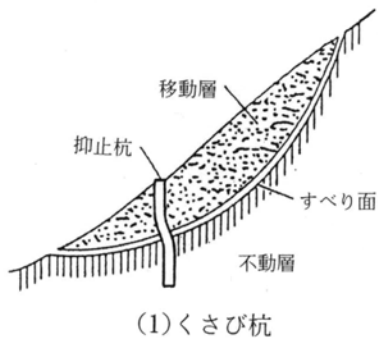


図 10-1(a) 機能から見た杭の種類 (概念図) (地すべり杭要領 p31)

設計式選択のためのフローチャートの参考例を図10-1(b)に示す。

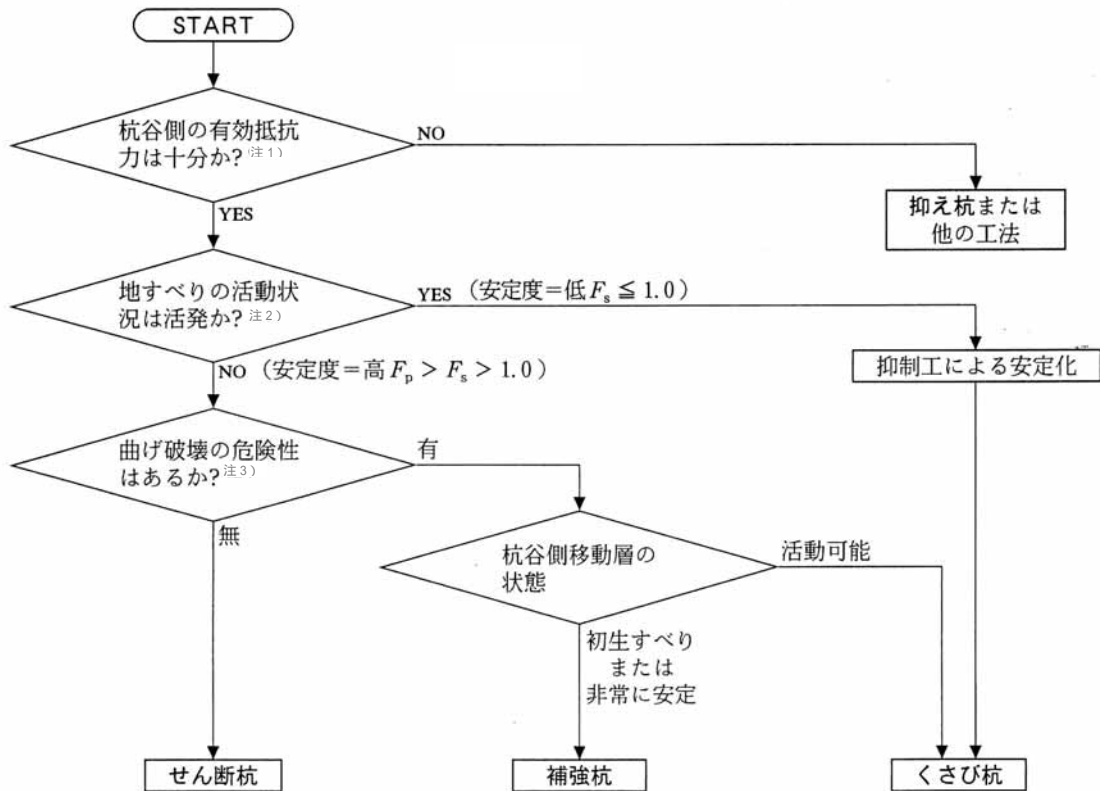


図10-1(b) 地すべり抑止杭計画式選択の参考例 (地すべり杭要領p35)

F_s : 現状の安全率 F_p : 計画(目標)安全率

注1) 杭谷側の有効抵抗力 R_v と水平負担力 H_v の大小関係を調べる。

注2) 活動中の地すべり、または融雪期や大雨の度に活動する地すべりは活発な地すべりであり、抑制工を先行させる必要がある。

注3) 岩盤地すべりのように杭周辺の地盤が十分に堅固な地層であれば曲げ破壊の危険性は小さくなると思われる。

第2節 土留柵工

2.1 目的

土留柵工は、原則として比較的緩傾斜で表土層が薄い場合に用いられ、局部的な崩壊を防止し、またその拡大を防止することを目的とする。

河砂技.設p89

2.2 設計

土留柵工は、斜面の滑落を抑止しうる構造となるように設計する。

河砂技.設p89

解説

土留柵工の規格および留意点を表10-1示す。

表10-1 土留柵工の規格と留意点

(新斜面崩壊p291)

箇所	項目	内容
全般	目的	編柵工は植生工の補助として、降雨や地表流水による斜面表土の侵食を防止するために用いられる。 切土工、排水工、植生工などと併用される場合が多い。
	安定計算	対象とする土留柵工の目的に応じてそれらに作用する外力(土圧、積雪圧など)を適正に算定し、杭に生ずるせん断および曲げモーメントに対して安全であるように設計する。
	落石防護柵の設置	土留柵部は侵食された土砂や積雪の下方への移動を防止するため、崩土防止横材(落石防護柵)を設置する。
規格	落石防護柵部の高さ	高さは1.0m程度
	杭の規格	一般に以下の規格を標準とする。 杭間隔 …… 1.5m程度 杭の材質 …… 一般に鋼矢板、H鋼などが用いられる。
	杭の配列間隔	一般に小段があれば小段ごとに、また小段のないときは間隔が直高で5~7m程度となるように配置する(図10-2参照)。
留意点	雨水や湧水の処理	斜面上に降雨水や湧水などが滞留したり、また新たな水みちができ侵食を引き起こさないように、斜面の地形や編柵工の構造に十分注意するとともに、適切な排水工をあわせて計画することが望ましい。

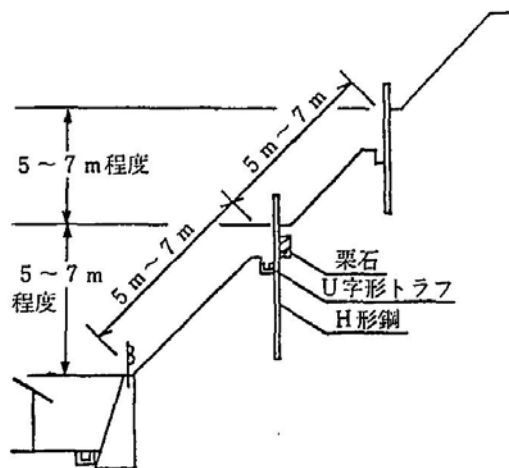


図10-2 土留柵工の標準的な例

(新斜面崩壊p290)

削孔した孔とH形鋼などの杭の間にモルタルなどを充填して杭を地盤に固定するとともに、防錆の効果を期待する(図10-3参照)。

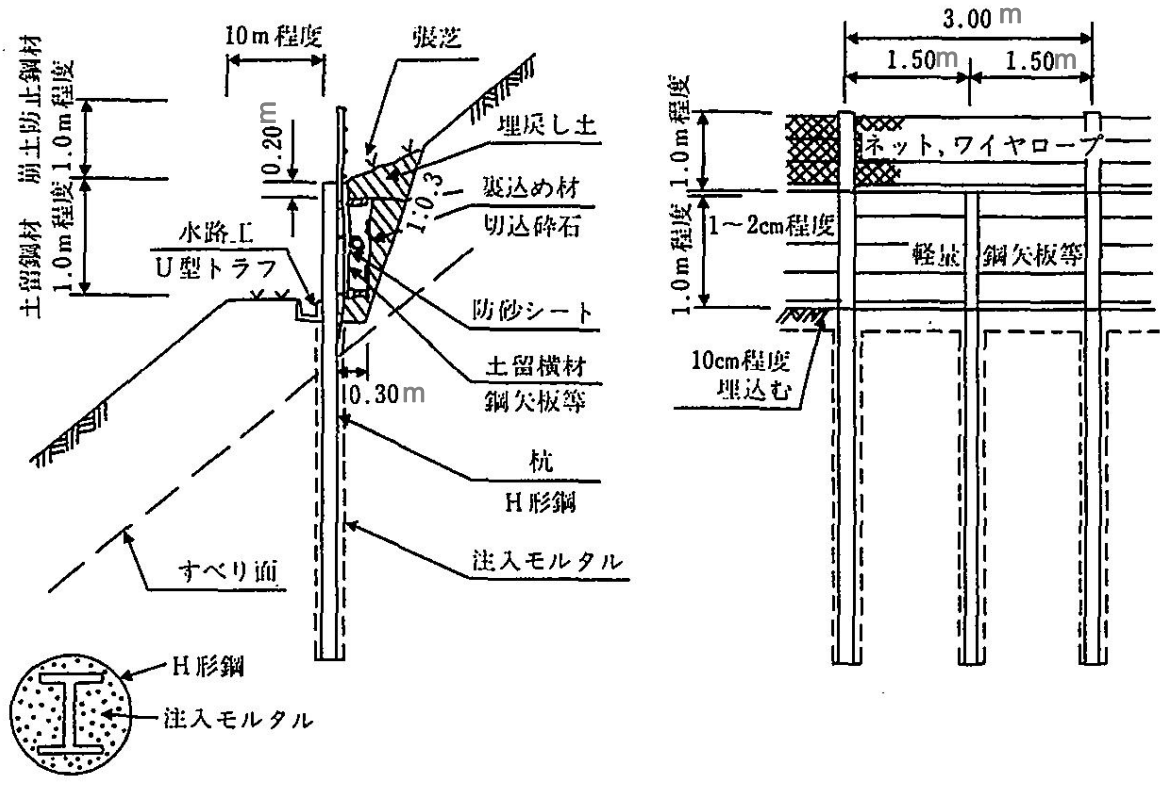


図10-3 土留柵工標準図 (新斜面崩壊p290)

第3節 編柵工

3.1 目的

編柵工は、植生工の補助として、降雨や地表流水による斜面表土の侵食を防止することを目的とする。

河砂技・設p89

3.2 設計

編柵工は、斜面の滑落を防止しうる構造となるように設計する。

河砂技・設p90

解 説

編柵工の規格および留意点は表10-2による。

表10-2 編柵工規格と留意点

(新斜面崩壊p291)

箇所	項目	内 容
全 般	目的	編柵工は植生工の補助として、降雨や地表流水による斜面表土の侵食を防止するために用いられる。 切土工、排水工、植生工などと併用される場合が多い。
規 格	杭や編の材料	短期に植生が活着繁茂することが予想される場合。 …………… 松丸太や粗朶、竹柵 植生の活着までに比較的長期間を要すると考えられる場合、特に斜面が不安定と考えられる場合。 …………… 合成樹脂製品の杭や柵あるいはH形鋼杭など。
	杭の寸法など	一般に以下の規格を標準とする。 杭 長 …………… 1~2m程度 杭の太さ …………… 径9~15cm 杭 間 隔 …………… 0.5~1.0m (図10-4参照)
	杭の配列間隔	傾斜度や杭の長さにより異なるが、一般に斜面長方向に1.5~3.0m程度(図10-5)
	杭の根入れ	杭の根入れは下段の杭頂と同じ深さ程度とするのが望ましいが、斜面の安定上問題がないと考えられる場合はこの限りでない(図10-6(a)) 杭は全長の2/3以上は埋込まなければならない(図10-6(b))
	杭の打込方向	杭の打込方向は鉛直方向と斜面直角方向の間とする(図10-7)
留意点	雨水や湧水の処理	斜面上に降雨水や湧水などが滞留したり、また新たな水みちができて侵食を引き起こさないように、斜面の地形や編柵工の構造に十分注意するとともに、適切な排水工をあわせて計画することが望ましい。

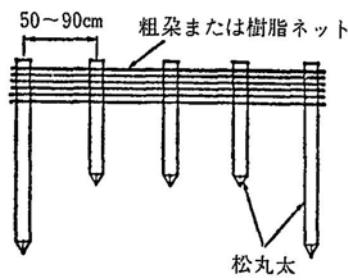
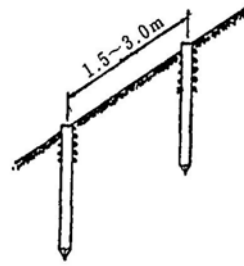
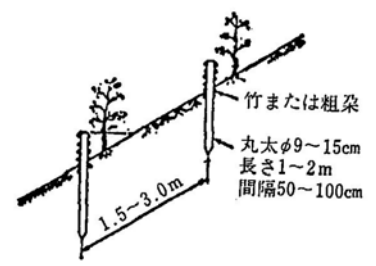


図 10-4 編柵工の一例

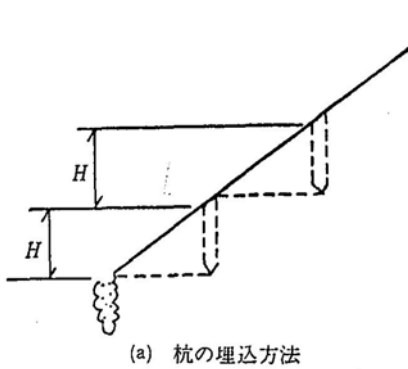


(a) 柵を埋め殺しにする場合

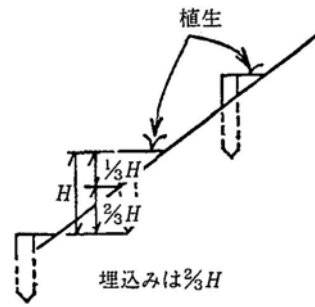


(b) 柵の一部を表面に出す場合

図 10-5 編柵工の打込方法

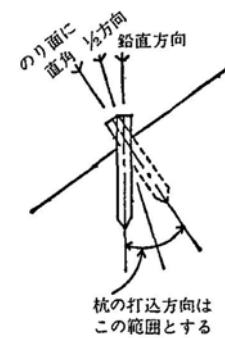


(a) 杭の埋込方法



(b) 杭の根入れ長

図 10-6 編柵工の打込深さ



杭の打込方向はこの範囲とする

図 10-7 杭の打込方向

(上記図全て新斜面崩壊p291)

杭工、土留柵工および編柵工の特徴を表10-3に示す。

表10-3 杭工、土留柵工および編柵工の特徴

(新斜面崩壊p287)

工程	機能(目的)	規模	杭の材料	打設方法	適用斜面	杭の設計計算
杭工	杭のせん断および曲げモーメント抵抗により斜面のすべり力に抵抗し、斜面を安定させる。 軟弱な地盤に杭を打込むことにより土塊を緊密にさせ、土塊の強度を増加させ斜面を安定させる。	大	鋼管杭 H形鋼杭 現場打鉄筋コンクリート杭	挿入打込	地すべり斜面 地すべり性崩壊斜面 流れ盤になっている岩盤斜面	行う (曲げ杭 せん断杭)
土留柵工	表土層の薄い斜面に予想される板状すべり・円弧すべりや、局部的な崩壊を防止する。 上方からの崩壊の拡大または崩壊土砂の斜面下方への移動を防止する。 裏込め材などにより浸潤面の上昇を抑える。	中	鋼管杭 H形鋼杭	挿入	比較的斜面長が長く、かつ緩傾斜で表土層の薄い斜面	行う (曲げ杭)
編柵工	切土後の斜面などに植生を導入する場合、植生が十分に発育するまで斜面の侵食を防止するために用いる。	小	木杭 合成樹脂製杭 H形鋼杭 プレキャスト鉄筋コンクリート杭	打込	緩傾斜で比較的小規模な斜面 表面侵食の恐れのある斜面	ほとんど行わない

第4節 雪崩対策工

4.1 目的

雪崩対策工は、雪崩の発生を未然に防止するか、または雪崩が発生したとき被害を最小限にすることを目的とする。

新斜面崩壊p292

4.2 工種

雪崩対策工は、雪崩の発生を未然に防止する雪崩予防工と、雪崩が発生したとき被害を最小限にする雪崩防護工に大別される。

新斜面崩壊p292

解 説

雪崩防止対策工は、単独に設置されることは少なく、他の斜面崩壊防止施設と一体として、あるいは兼用目的で設置されることが多い。従って雪崩対策工の設置が斜面崩壊防止施設の安定にとって弱点となったり、または悪影響をおよぼしてはならない。

第5節 蛇かご工

5.1 目的

蛇かご工は崩壊しやすい切土のり面の下部の押えや、湧水による土砂流失の抑制を目的とする。

新斜面崩壊p292

解 説

一般に蛇かご工は仮設的なものとして、施工区域と隣接地山の部分とのすり付けに用いたり、また局部的な崩壊箇所を復旧する場合に使用される事例が多いが、小規模な土砂移動を応急的に抑制するため安定計算に基づいて布団蛇かご単独で、あるいは押え盛土の擁壁として使用される場合もある。

5.2 設計

蛇かごには鉄線製の普通蛇かご、布団蛇かご、自由蛇かご、扁平蛇かごなどがあり、一般に普通蛇かご、布団蛇かごがよく使用される。

新斜面崩壊p292

解 説

普通蛇かごは主としてのり面表層部の湧水処理、表面排水ならびに凍結防止などに用いられる。布団蛇かごは湧水箇所や地すべり地帯における崩壊後の応急復旧対策工などに用いられ、のり面工というよりはむしろ土留用として使用される場合が多い(図10-8参照)。

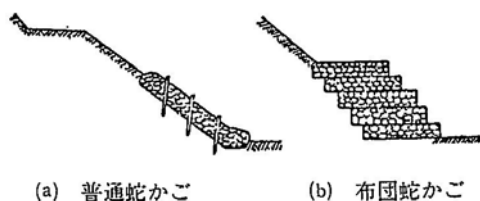


図10-8 のり面蛇かごの例 (新斜面崩壊p292)

湧水の多い場合は蛇かごで集めた水を速やかに排水できるように留意するとともに、のり面からの流出土砂によって、蛇かごが目詰まりを起こすおそれがある場合には周囲を砂利などで保護する。鉄線蛇かごの形状および寸法の例を図10-9に示す。

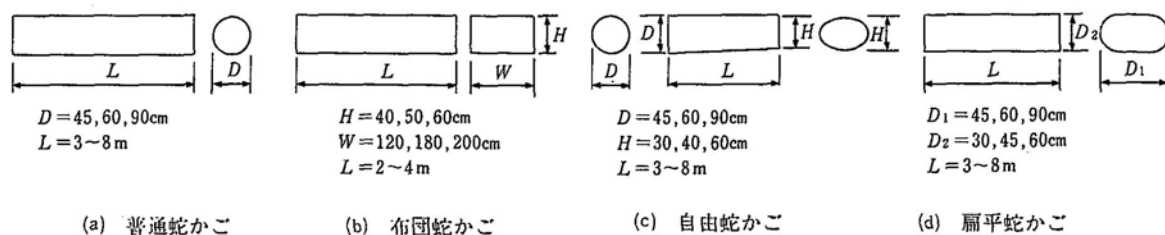


図 10-9 鉄線蛇かごの形状と寸法

第 6 節 仮設防護柵工

6.1 目的

仮設防護柵は、施工中の切土、碎石などの崩落、飛散などの災害を防止することを目的とする。

新斜面崩壊p293

6.2 設計

設計にあたっては、その仮設構造物の設計目的を明確にするとともに十分な調査、検討を行う。

新斜面崩壊p293

解 説

仮設防護柵の設計は計算による設計が困難なことから、一般には経験的に処理される。この場合、当該急傾斜地の傾斜角度、高さ、土質、工事の施工方法などを勘案し、人身事故および人家に被害をおよぼさないものを選定する。

標準的な仮設防護柵を、表10-4、図10-10～図10-12に示す。仮設防護柵のタイプの選定においては、崩土（落石）規模、設置場所の条件、保全対象の重要度などを考慮する。

一般的に斜面と人家の間にスペースが確保できなければ、スペースが確保できればを標準とする。

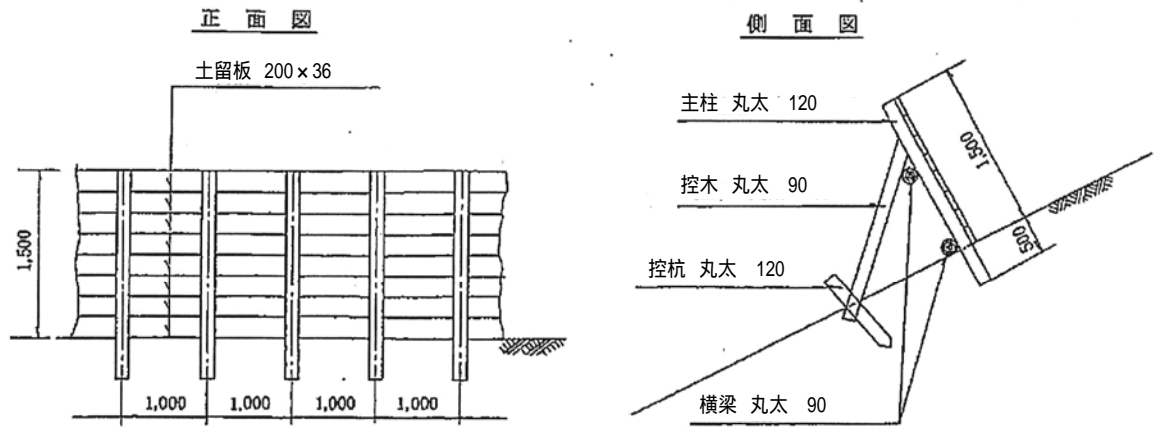
なお現場条件などにより、仮設防護柵に土圧などの外力が作用する場合は別途検討する。

表10-4 工事中仮設防護柵の種類別材料表 (全国地すべりがけ崩れ協議会資料)

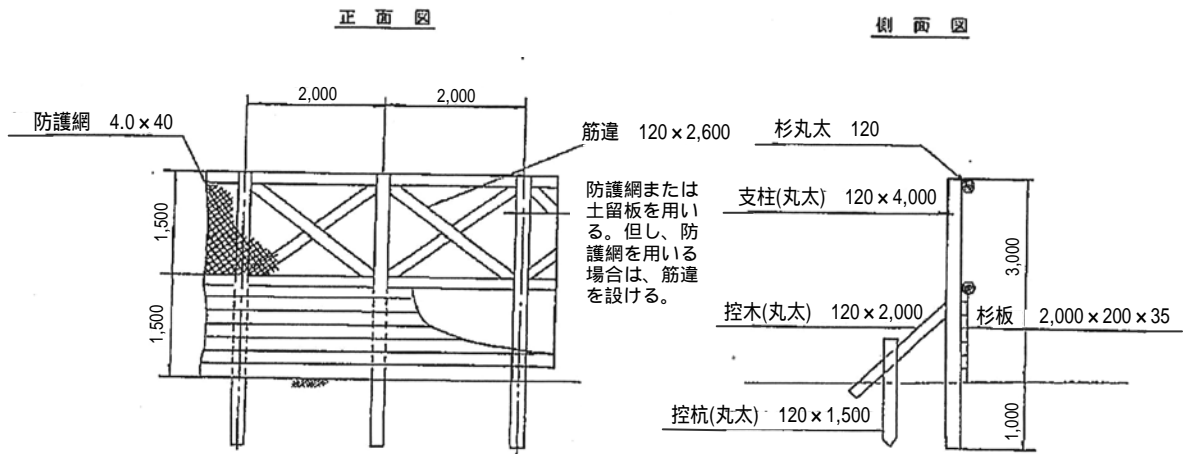
仮設防護柵の種類	標準図番号						
		長×高	10.0×1.5 杉または松丸太	10.0×3.0 杉または松丸太	10.0×3.0 杉または松丸太	10.0×4.0 単管	10.0×4.0 杉または松丸太
材料	主柱	200×12×10本 杉または松丸太	400×12×5 杉または松丸太	400×12×5 杉または松丸太	450×4.86×5 単管	400×12×5 杉または松丸太	400×12×5 杉または松丸太
	横梁	400×9×5本 杉または松丸太	400×12×5 杉または松丸太	400×12×5 杉または松丸太	400×4.86×5 単管	400×12×5 杉または松丸太	400×12×5 杉または松丸太
	控木	200×12×5本 杉または松丸太	200×12×5 杉または松丸太	200×12×5 杉または松丸太	300×4.86×5	280×12×5	280×12×5
	控杭	100×12×5本	150×12×5	150×12×5		150×12×5	150×12×5
	筋違			260×12×20	300×4.86×20		290×12×20
	土留板	厚板 200×20×3.6×37.5	厚板 200×20×3.6×75			厚板 200×20×3.6×100	
	防護網			# m ² 網目40×8×30.0	# m ² 網目40×8×40.0		# m ² 網目40×8×40.0

仮設防護柵の種類	標準図番号						
		長×高	10.0×4.0 H型鋼	10.0×4.0 H型鋼	10.0×5.0 杉または松丸太	10.0×5.0 杉または松丸太	10.0×5.0 H型鋼
材料	主柱	450×15×15× 0.7×1.0×5	450×15×15× 0.7×1.0×5	600×12×5 杉または松丸太	600×12×5 杉または松丸太	580×15×15× 0.7×1.0×5	580×15×15× 0.7×1.0×5
	横梁	400×0.6×7.5 ×7.5×10 L型鋼	400×0.6×7.5 ×7.5×10 L型鋼	400×12×7.5 杉または松丸太	400×12×7.5 杉または松丸太	400×0.6×7.5 ×7.5×12.5 L型鋼	400×0.6×7.5 ×7.5×12.5 L型鋼
	控木			400×12×5 杉または松丸太	400×12×7.5 杉または松丸太	280×12×5	280×12×5
	控杭			150×12×5	150×12×5 杉または松丸太	150×12×5	150×12×5
	筋違				290×12×30		290×12×20
	土留板	厚板 200×20×3.6×100		厚板 200×20×3.6×125		厚板 200×20×3.6×125	
	防護網		# m ² 網目40×8×40.0		# m ² 網目40×8×50.0		# m ² 網目40×8×50.0

①



②, ③



④

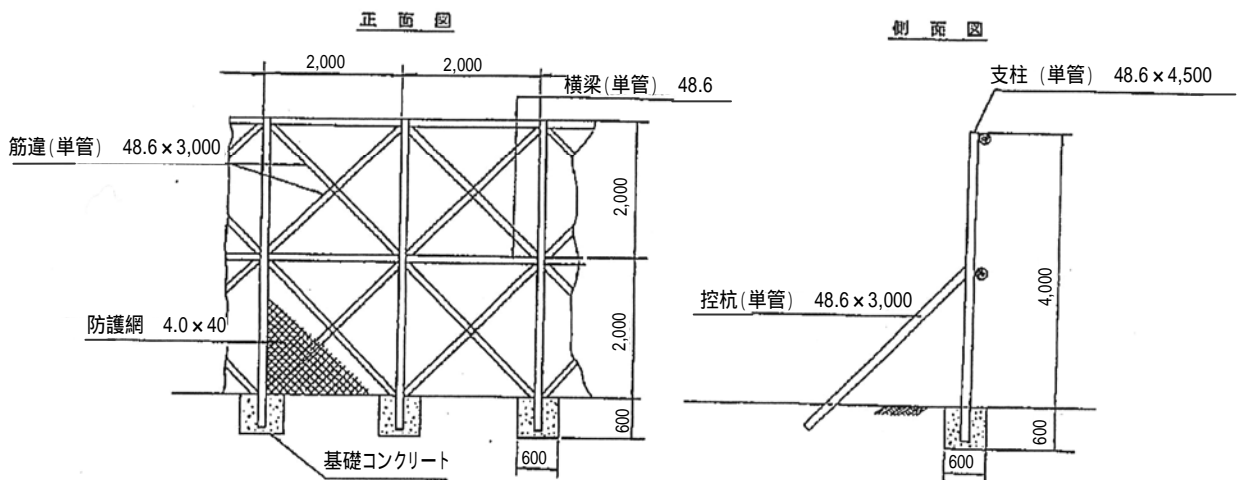
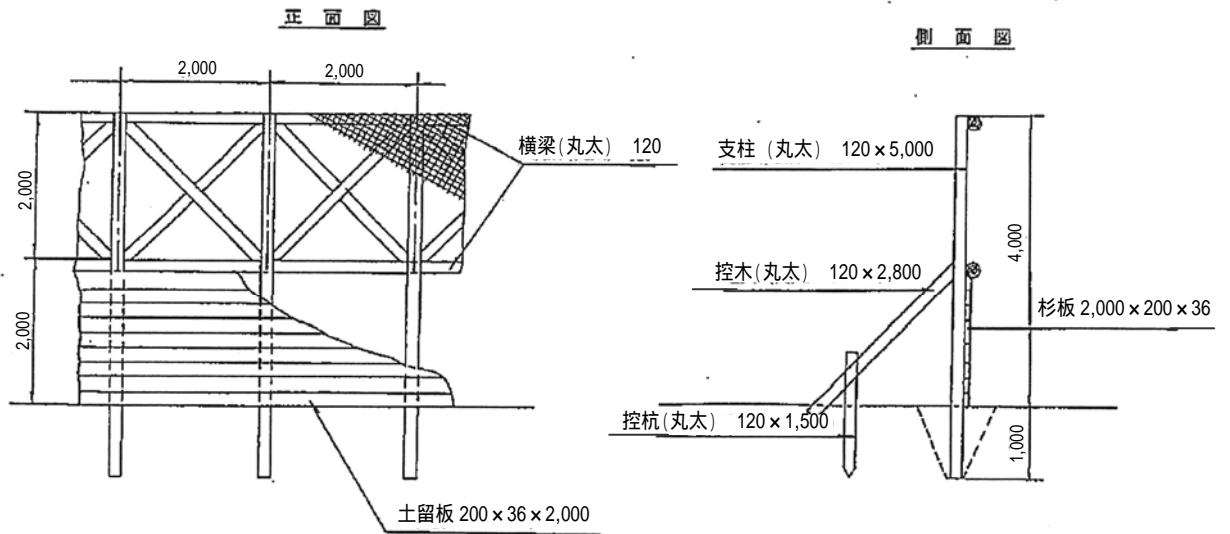
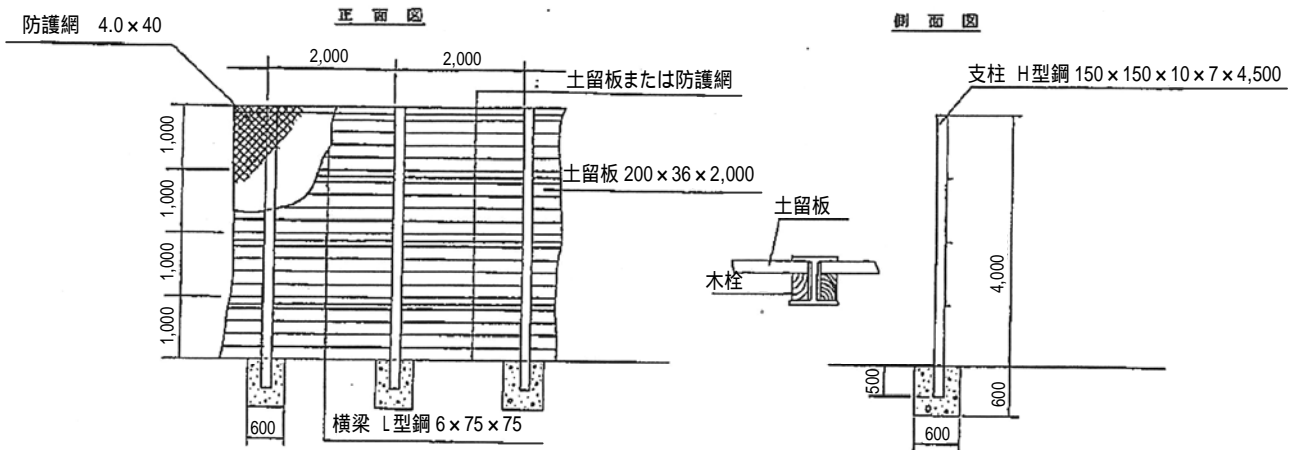


図10-10 工事中仮設防護柵標準図 (全国地すべりがけ崩れ協議会資料)

⑤, ⑥



⑦, ⑧



⑨, ⑩

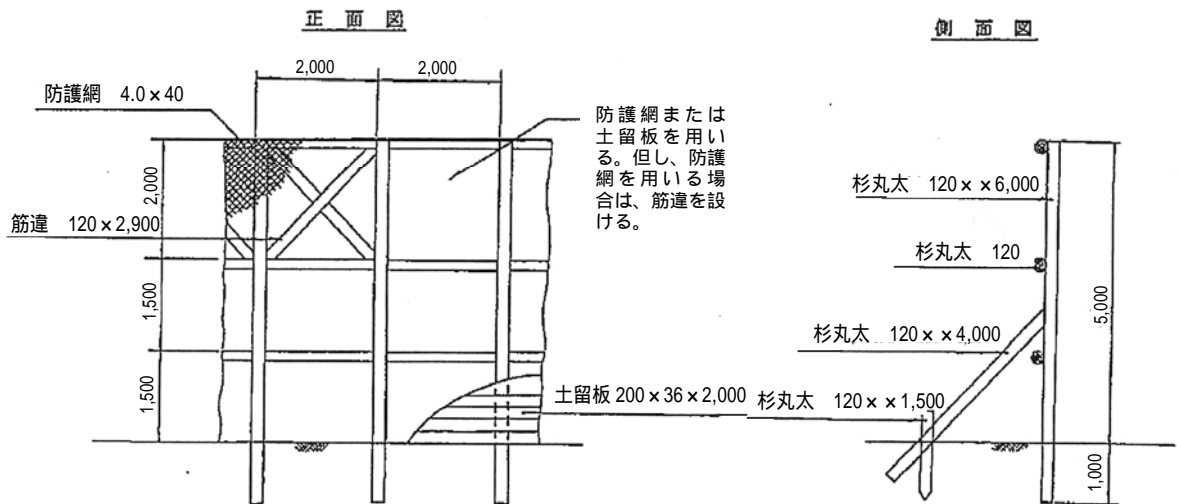


図10-11 工事中仮設防護柵標準図 (全国地すべりがけ崩れ協議会資料)

⑪, ⑫

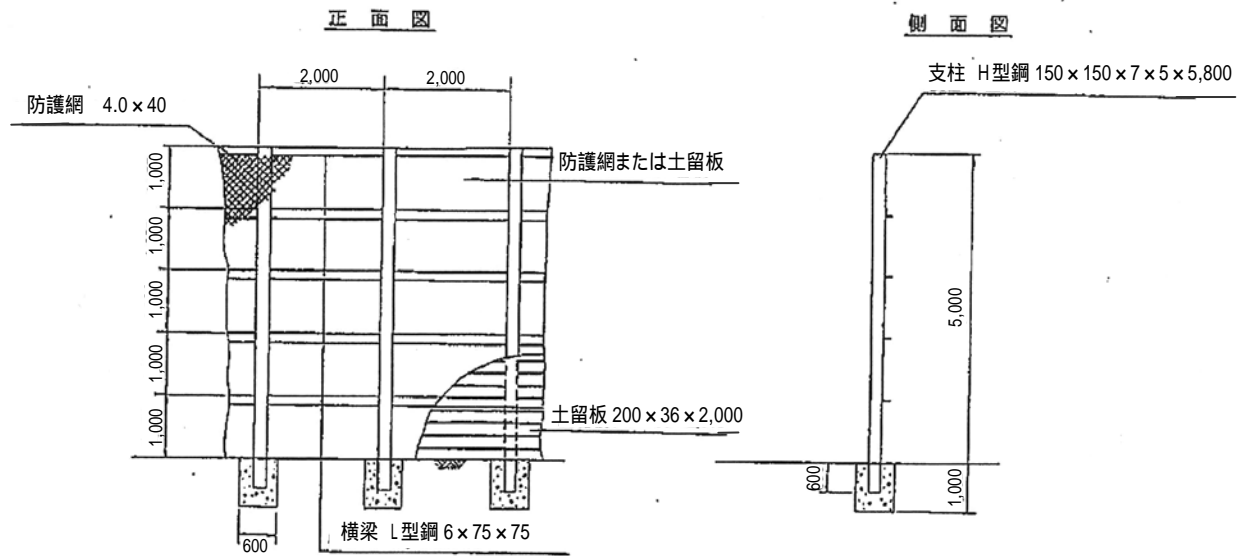


図10-12 工事中仮設防護柵標準図 (全国地すべりがけ崩れ協議会資料)

第7節 管理保安施設

斜面崩壊防止施設維持管理のため巡視あるいは補修を目的として設置される。

新斜面崩壊p294

解説

(1) 管理用施設の設計

斜面では、その地形条件により、あるいはその周辺に人家が密集していることが多いため、十分な管理用通路を確保することが困難な場合が多い。しかし施設の異常の確認のため、巡視および補修のため、管理用通路をできるだけ設ける。

(2) 保安用施設の設計

斜面崩壊防止施設が完成すると周辺との状況変化が生じ、子供や通行者などが誤って転落するなどの人身事故を招くことが考えられる場合は斜面の周囲を防護柵などで囲い、容易に立入りができないようにする。また、日ごろから住民に危険であることを周知徹底するため注意標識を設置することが望ましい。防護柵の位置、高さ、構造などは、それぞれの現地の状況を配慮して設計する。注意標識は耐久性のある材料を使用し、平易な文章、簡単な文字、絵などを用いて子供にもわかりやすく表示する。

参考としてフェンスの規格を以下に示す。(図10-13参照)

立入禁止、転落防止目的の場合 H=1.50m

基礎は必ず別途に設ける 0.2m x 0.2m x 0.45m

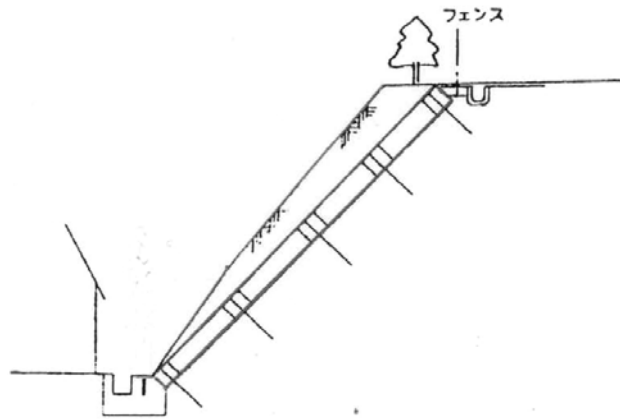


図10-13 フェンス設置例