

JICA道路維持 法面保護工について

令和7年 11月12日

沖縄県建設技術センター
セミナー講師 堀田 孝

1. 斜面、法面、法面保護工とは(言葉の定義)

- 1) 斜面と法面の違い
- 2) Type1: 法面保護工とは
- 3) Type2: 法面保護工(法面防護工)とは

2. Type1: 法面保護工の種類と分類

- 1) 植生工
- 2) 構造物工
- 3) 法面排水工

3. 法面保護工の工法選定

- 1) 盛土法面における法面保護工選定フロー
- 2) 切土法面における法面保護工選定フロー
- 3) 法面排水工

4. Type2: 法面保護工(法面防護工)について

- 1) 地すべり地形の特徴と兆候
- 2) 地すべり防止対策工
- 3) その他の岩盤斜面崩壊の対策工法
- 4) 法面水抜き工法

5. 関連する解析及び工法紹介

- 1) 円弧すべり解析
- 2) 段差 解消工法

6. 法面に関するトラブル事例

- 1) 大規模な道路トンネル坑口の地すべり事例(2016年)
- 2) 奈良県国道168号線大規模な地すべり事例(2013年)
- 3) 盛土法面崩壊: 円弧滑り事例
- 4) 切土法面崩壊: 岩盤直線滑り事例

1. 斜面、法面、法面保護工とは(言葉の定義)

1) 斜面と法面の違い

① 斜面とは

山地、丘陵または台地の縁(ふち)などの傾斜地を斜面と言います。

以下の自然と人工的な傾斜地の両方を含みます。

- ・自然界に元々存在する山の尾根・谷・崖や太古の地すべり跡とかで、自然にできた斜面
- ・道路工事・造成工事などで人工的に作られた斜面



山地の斜面



崖の斜面



人工的に作られた斜面

② 法面とは

道路工事・造成工事などの盛土・切土工事にて人工的に作られた斜面のことを法面と言います。



道路工事の法面



造成工事の法面

2) 法面保護工とは（法面保護工には以下の2つのタイプがあります。）

Type1: 法面保護工（日本語で法面**保護**工と言います）、Type2: 法面保護工（日本語で法面**防護**工と言います）

2-1) Type1: 法面保護工とは（日本語で法面保護工と言います。）

法面保護工とは、法面（盛土や切土の人工的な傾斜面）の浸食や崩壊を防ぐための工法です。

特に降水量の多い日本では、法面表層部に降った雨水が法面の地表面を流れることで法表面を浸食したり地中に浸透することで法面自体を崩壊させます。

この盛土・切土工事で発生した法面はむき出しの状態では、雨水や風化の影響で侵食や崩壊を招きます。この様な現象から法面の表面を保護し、長期的に安定した法面を作る行為を法面保護工と言います。

恒久的に法面の安定を図る工法を「Type1: 法面保護工」と言います。

法面保護工には、大きく分けて、以下の3つの工法があります。詳しくは後の項で説明します。

- ① 「植生工」: 法面に植物を繁茂させることで法面を保護する工法である。また、周辺の自然環境と調和した植物を植えることで、環境及び景観を保全することができる。
- ② 「構造物工」: コンクリート等の構造物で法面を保護する工法である。
- ③ 「法面排水工」: 法面の風化・浸食の原因である地表水・浸透水を排除して法面を保護する工法である。



① 植生工



② 構造物工



③ 法面排水工

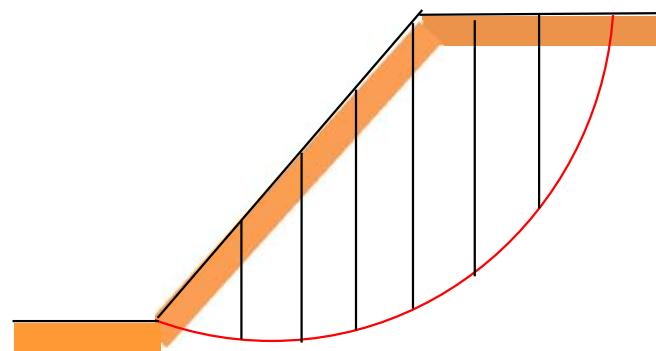
2-2) Type1: 法面保護工の設計的考え方

法面保護工とは 法面(斜面)を構造上、力学的に安定させる工法ではありません。

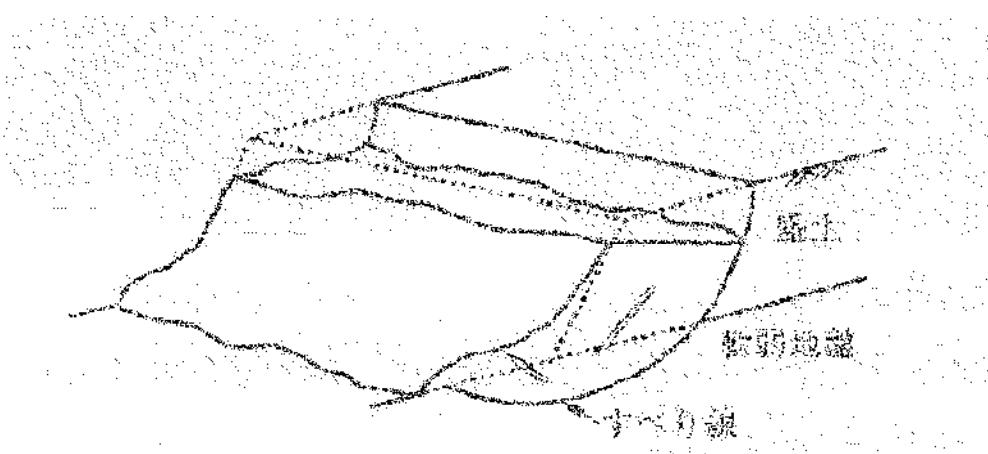
法面(斜面)はそれ自体、その法面の形状で力学的に安定していることが前提です。

そのうえで、法面表面を保護することによって法面の侵食・風化・崩壊のリスクを遅らせる工法です。

但し、設計上の位置づけとしては、土木本体構造物と同じ恒久的な構造物です。



円弧すべりの概念



法面崩壊の概念

3) Type2: 法面保護工とは(日本語で法面防護工と言います。)

3-1) Type2: 法面保護工とは(日本語で法面防護工と言います。)

法面を構造的に安定させる方法には、**法面防護工**という工法があります。

地すべりとか**大雨**により法面が崩壊したあるいは崩壊の恐れがある現場に対して緊急的な対策として斜面の安定させる工法があります。これを**法面防護工**と言います。

具体的には、落石防止工、法面抑え盛土工、法面吹付工、法面アンカーエンジニアリング工などです。



落石防止工



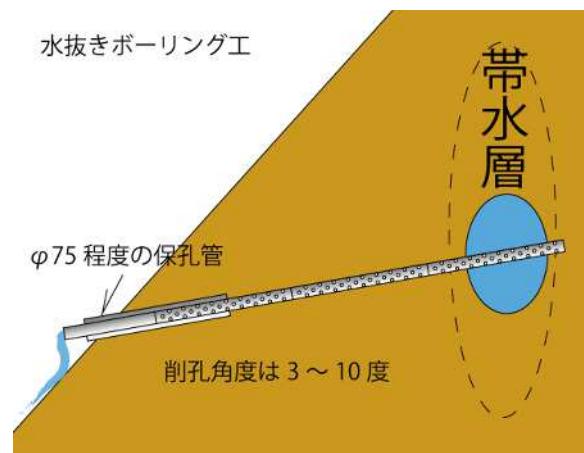
法面抑え盛土工



法面吹付工



法面アンカーエンジニアリング工



法面水抜きボーリング工



3-2) Type2: 法面保護工の設計的考え方

Type2: 法面保護工とは、崩壊した法面(斜面)あるいは崩壊の恐れがある法面を力学的に安定させることを目的とした工法です。あるいは更なる法面崩壊が発生しても人的被害を最小にすることを目的とする工法です。法面崩壊後の法面復旧工事の位置づけもあります。

すなわち、Type2: 法面保護工には、仮設構造物と本設構造物で設計された2つのタイプがあります。

- ① 仮設構造物として設計された法面防護工：工事期間中だけ構築される安全率の低い山留壁・桟橋などの仮設構造物として設計された構造物。



- ② 本設構造物として設計された法面防護工：橋梁、トンネル等の構造物と同じ高い安全率を有した恒久構造物として設計された構造物。



落石防止工

2. Type1 法面保護工の種類と分類

前頁で述べたように法面保護工には大きく3つに分類することができます。

1)植生工

2)構造物工

3)法面排水工

分類	工種		目的
1)植生工	播種工	①種子散布工	浸食防止、凍上崩落を抑制して植生により早期に全面被覆をする。
		②客土吹付工	
		③植生基材吹付工	
		④植生シート工	
		⑤植生マット工	
		⑥張芝工	芝を全面に張り付けることにより、浸食防止、凍土崩落を抑制して早期に全面被覆を図る。
		⑦筋芝工	植生と同時に植生基盤を設置することで、植物の早期生育、厚い生育基盤の長期間安定を確保する。
2)構造物工		①金網張工	生育基盤の保持や地下水による法面表層部の剥落防止を図る。
		①繊維ネット張工	
		②じゃかご工	法面表層部の侵食や湧水による土砂流出を抑制する。
		③プレキャスト枠工	中詰め材の保持と浸食を防止する。
		④モルタル・コンクリート吹付工	風化、侵食、表流水の浸透を防止する。
		⑤石張工	
		⑤ブロック張工	
		⑤コンクリート張工	
		⑥現場打ちコンクリート枠工	
		⑦グランドアンカーア	
3)法面排水工	①表面排水工	法肩、小段、縦、法尻排水溝	表面水による法肩・小段・法尻の侵食を防止するために排水溝
	②地下排水工	地下、水平排水溝	盛土と地山の境界に、盛土内の地下水を集めるために設置する

道路土工 切土工・斜面安定工指針(P192)に加筆追加した。

1) 植生工

法面に植物の種を蒔く、もしくは苗木を植えて植物を茂らせて法面表層部の保護を図ります。植物で法面を覆い、雨水による法面浸食や風化を抑制し、また、植物の根で土をしっかりと保持して土砂崩れを防止します。自然環境、景観保全、温暖化対策にも有効であり、構造物工等との組み合わせで用いられます。

分類	工種		目的
1)植生工	播種工	①種子散布工	浸食防止、凍上崩落を抑制して植生により早期に全面被覆をする。
		②客土吹付工	
		③植生基材吹付工	
		④植生シート工	
		⑤植生マット工	
	植栽工	⑥張芝工	芝を全面に張り付けることにより、浸食防止、凍土崩落を抑制して早期に全面被覆を図る。
		⑦筋芝工	盛土法面で、芝を筋(すじ)状に張り付けることにより、浸食防止、有害植物の侵入、芝の定着を促進する。

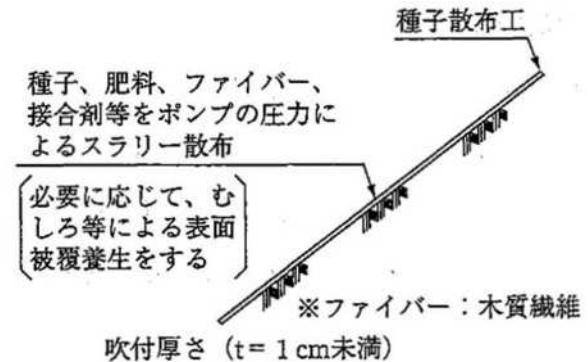
道路土工 切土工・斜面安定工指針(P192)に加筆追加した。

① 種子散布工

種子散布工は、種子・肥料・木質纖維(ファイバー)・水・安定剤を混ぜて法面にポンプ・吹付がんで吹き付ける工法です。



種子散布後、生育した法面

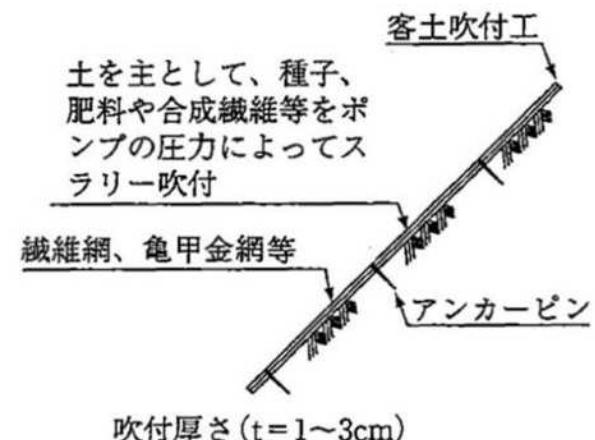


② 客土吹付工

客土吹付工は、種子肥料・土・水を混ぜた種肥土を、モルタルガン・エアシーダーで、圧縮空気を用いて1~3cmの厚みで吹き付ける工法です。緑化基盤材としてバーグ堆肥が使われ、基礎工には金網張工として繊維網が使われます。



客土吹付作業



③ 植生基材吹付工（厚層基材吹付工）

植生基材吹付工（厚層基材吹付工）は、基盤材・種子・肥料・土・接合材・水を混ぜて法面にモルタルガン・ポンプを用いて3~10cmの厚みで吹き付ける工法です。この工法は、基盤がしっかりと施工できるので、法面勾配1:0.5以下の緩勾配で使用され、土壤は岩盤層・崖錐・土砂などの侵食を受けやすい場所施工できます。



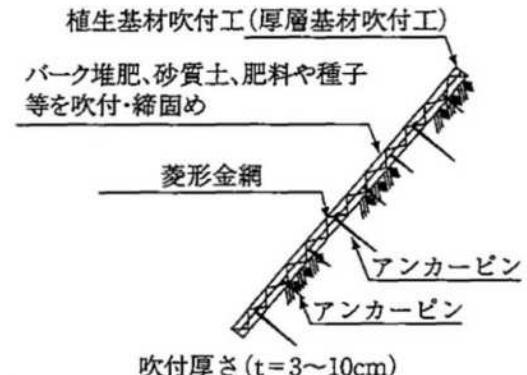
ラス張作業



植生基材吹付作業



植生基材吹付完了法面



①種子散布工・②客土吹付工・③植生基材吹付工の違いを以下の表に示します。

	①種子散布工	②客土吹付工	③植生基材吹付工
緑化目標	草本類	草本・木本類	草本・木本類
基材	木質纖維	土・バーグ堆肥	土・バーグ堆肥
仕上げ厚さ	1.0cm未満	1~3cm	3~10cm
適応土質	土壤硬度 23mm以下 土砂	土壤硬度 23mm以下 土砂・礫質土	土壤硬度 23mm以下 岩盤
適応勾配	1:1.0より緩勾配	1:0.8より緩勾配	1:0.5より緩勾配
耐降雨強度	10mm/hr	10mm/hr	10~100mm/hr
耐浸食性	小	中	大

※) 蒲く種の品種は周辺植物群落に合わせて計画する必要がある

④ 植生シート工

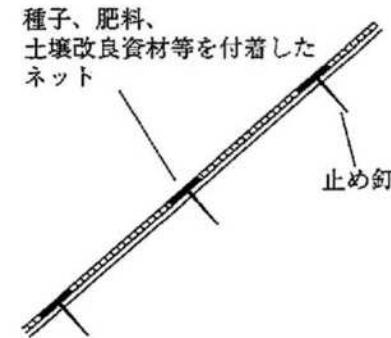
植生シート工は、植生シートを法面にどけくぎなどでシートを地面と密着固定させる工法です。
植生シートは「わら・むしろ・不織布・化織ネット・水溶性の紙」などでできています。



植生シート張作業



植生シート完成法面



⑤ 植生マット工

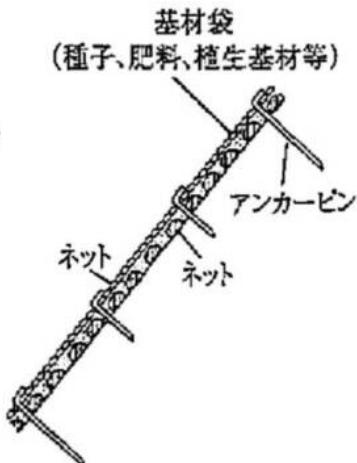
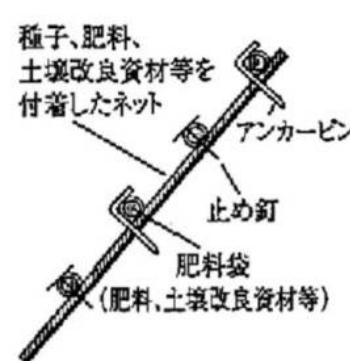
植生マット工は、植生マットを法面にアンカーピンや止め釘でマットを地面と密着固定させる工法です。
施工直後から、法面全体で大きな耐浸食性が期待できるのが特徴で、切土森面D用いられる工法です。



植生マット張作業



植生マット完成法面



⑥ 張芝工

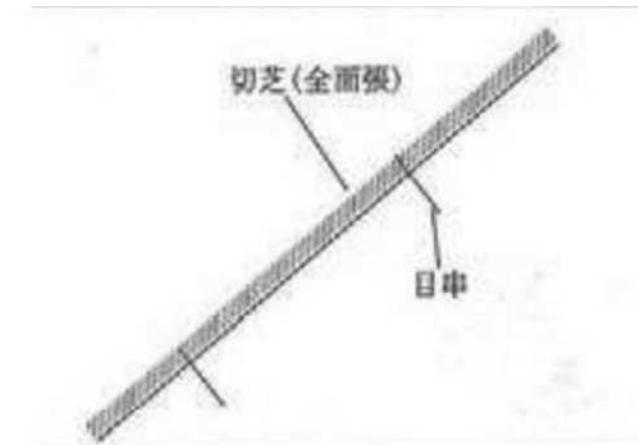
張芝工は、切り芝(ソッド)を人力(じんりき)にてベタ張りで隙間なく貼り付けて、法面前面に密着するように芝を張り付ける工法です。使用する芝は、野芝・高麗芝・切芝・ロール芝を用い、法面に目串で固定します。種子散布工は施工後の種子発芽に時間がかかりますが、この張芝は完成と同時に法面保護効果を発揮します。



張芝の状況



張芝作業

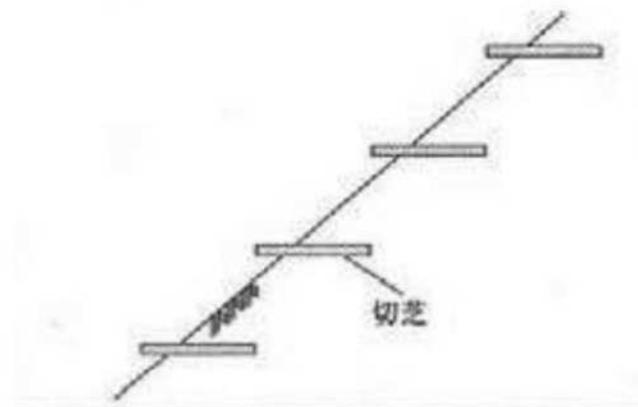


⑦ 筋芝工

筋芝工は、盛土法面の土羽打ちの際に野芝を水平に一部筋状に挿入する工法です。右図のように土羽打ちの際、野芝の2／3が土に埋めるように施工する必要があります。筋芝工が適用できる勾配は、法面勾配が1:1.5より緩勾配が最適です。



筋芝工の作業



【植生事前調査】

植生工を計画する場合、現地での植生事前調査が重要となります。

植生工は植物を植えるため、現地の気象、環境条件により植物の生育状態、生え具合が異なり、環境に合わない植物だと生育が不十分であったり、すぐに現地の雑草などの繁殖力の強い植物に取って替わられてしまいます。

植生事前調査の項目は

- ・周辺環境調査(周辺の植物調査)
- ・気象条件(気温、降雨、雪等)
- ・法面の物理的性質(土砂、岩、岩質)

特に、周辺の植物群落の調査には、各群落1地点ずつの調査枠(コドラー)、以下の写真参照)を設けて調査を行います。植物の「被度」^{※1)}と「群落」^{※2)}を調べます。

※1)「被度」とは調査枠内で各植物種が地上面を被う割合を表したもの。

※2)「群落」とは優先度の大小には関係なく、調査枠内における植物種の配分状態を表したもの。



調査枠(コドラー)

2) 構造物工

構造物工は、コンクリートや石材を用いて、法面浸食防止・風化抑制・法面の安定を図る工法です。

この構造物工は、法面の表面滑落・崩壊・落石等の不安定化が発生する恐れのある場合に用いられる工法です。

分類	工種	目的
2) 構造物工	①金網張工	生育基盤の保持や地下水による法面表層部の剥落防止を図る。
	①繊維ネット張工	
	②じゃかご工	法面表層部の侵食や湧水による土砂流出を抑制する。
	③プレキャスト枠工	中詰め材の保持と浸食を防止する。
	④モルタル・コンクリート吹付工	
	⑤石張工	風化、侵食、表流水の浸透を防止する。
	⑤ブロック張工	
	⑤コンクリート張工	
	⑥現場打ちコンクリート枠工	法面表層部の崩落防止を図る。多少の土圧を受ける恐れのある箇所の土留めとしての機能を果たす。岩盤の剥落を防止する。
	⑦グランドアンカーエ	

道路土工 切土工・斜面安定工指針(P192)に加筆追加した。

① 金網張工、樹脂ネット張工

金網張工・樹脂ネット張工は、生育基盤の保持や地下水による法面表層部の剥落防止を図るために行う工法です。

金網・樹脂ネットをアンカーピンで法面に張り付ける工法で、施工性に優れ、コスト面でも安価である工法です。

但し、金網・樹脂ネットを張るだけなので、土圧を受けないことが条件です。



金網張工



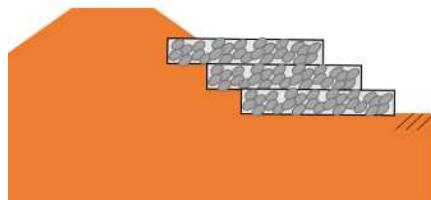
樹脂ネット張工

② ふとんかご、じゃかご工

鉄線で作られた鉄枠に転石・玉石を詰め込み、法面表層部の侵食や湧水による土砂流出を抑制する簡易な工法である。土砂の流出は転石・玉石で防止して、湧水だけが流出する構造である。

ふとんかごは直方体で積み上げられて法面法尻部の崩壊を防止するために主に法尻に設置される。

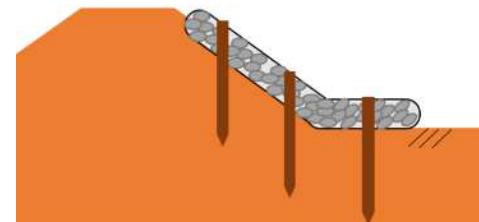
一方、じゃかごは平面的に設置されて法面表層部の崩壊を防止するために法面全体に設置される。



ふとんかご工



ふとんかご工



じゃかご工



じゃかご工

③ プレキャスト枠工

プレキャスト枠工は、コンクリート工場で生産されたプレキャスト枠を現場の法面に設置する。このプレキャスト枠で中詰め材の保持と法面の浸食を防止して法面を保護する工法である。



プレキャスト枠工＋緑化植生



プレキャスト枠工＋中詰め部プレキャスト版

④ モルタル・コンクリート吹付工

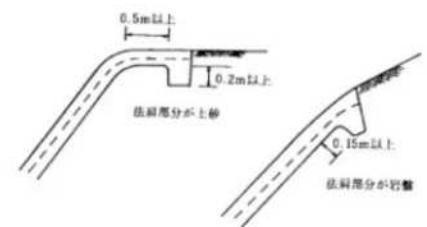
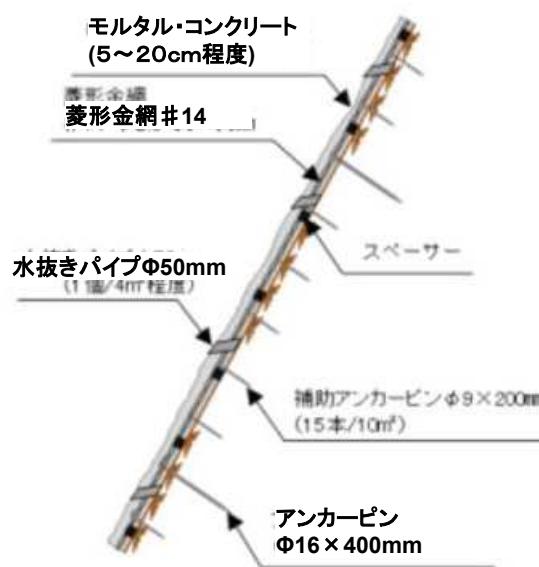
モルタル・コンクリート吹付工は、亀裂の多いがんの法面風化防止・小規模岩盤の法面剥落防止・崩壊防止の図るために行う工法です。

型枠なしで直接吹付けるので施工性に優れ、コスト面でも比較的安価であり、切土法面に多く採用される工法です。

但し、モルタル・コンクリートを吹付けるだけなので、土圧を受けないことが条件です。



モルタル・コンクリートの吹付作業



* 東北法面保護協会技術委員会

モルタル・コンクリート端部処理工

⑤ 張工(石張工、ブロック張工、コンクリート張工)

法面に石張・ブロック張・コンクリート版張を施し、法面の風化や浸食防止を行う工法。



石張工



ブロック張工



コンクリート張工

⑥ 現場打ちコンクリート枠工

現地の法面形状に合わせて、法面に型枠を設置してコンクリートポンプでコンクリートを打設するか吹き付けて枠を設置する工法である。枠内は必要に応じて様々な方法にて法面崩落(風化・浸食、表面部の崩落)を防止する対策を行う。



現場打ちコンクリート枠工 + 吹付工



現場打ちコンクリート枠工 + 吹付工
+ アンカーエ

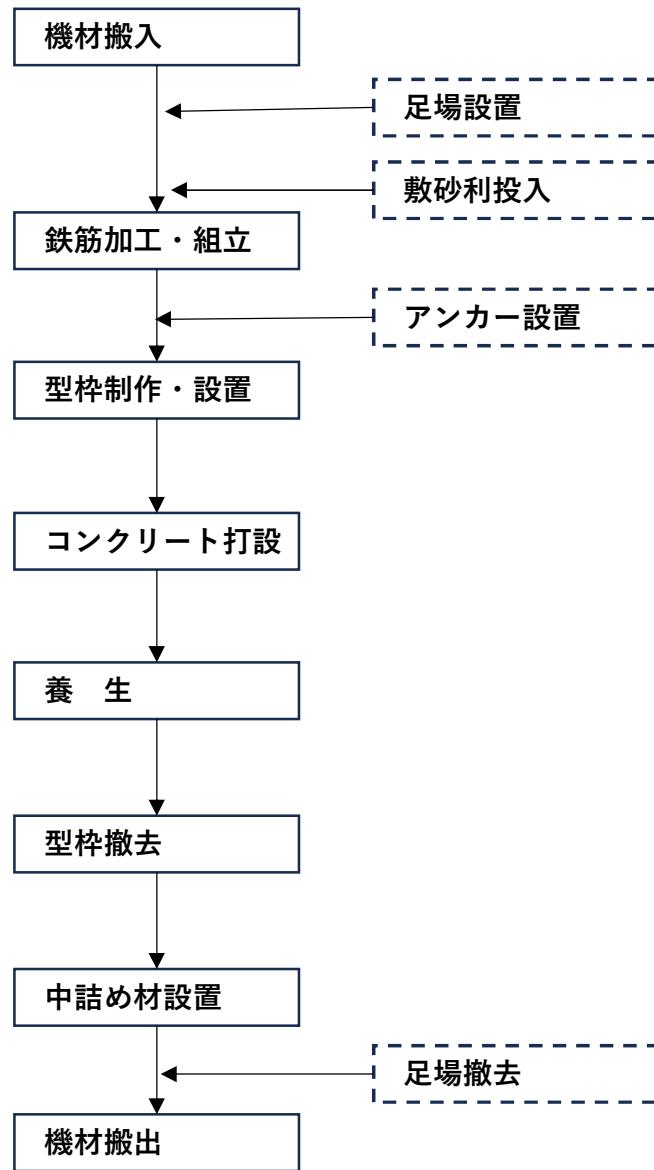


現場打ちコンクリート枠工 + 緑化植生工

⑥ 現場打ちコンクリート枠工の施工

現場打ちコンクリート枠工の施工順序を以下に示します。法枠内の中詰め材の種類は、右下に記述のある通り、10種類程度あり、現場の条件により、使い分けをします。

<現場打ちコンクリート枠工の施工手順>



①鉄筋組立作業



③コンクリート打設作業



②型枠設置作業



④中詰工:厚層基材吹付作業

<中詰め工の種類>

- ・ 土砂詰め工
- ・ 土のう積み工・植生土のう積み工
- ・ 植生基材吹付工
- ・ 空石張工
- ・ 平板ブロック張工
- ・ 練石張工
- ・ コンクリート張工
- ・ コンクリート吹付工
- ・ モルタル吹付工
- ・ 植生基材吹付工

⑦ グランドアンカーエ(石張工、ブロック張工、コンクリート張工)

表面の不安定な岩盤と下部の堅固な基盤をアンカーワークにより直接緊結して斜面の崩落、剥落を防止する工法である。軟岩・硬岩で亀裂があり、法面崩落の恐れがある岩盤法面に適用される。



コンクリート吹付+グランドアンカーエ

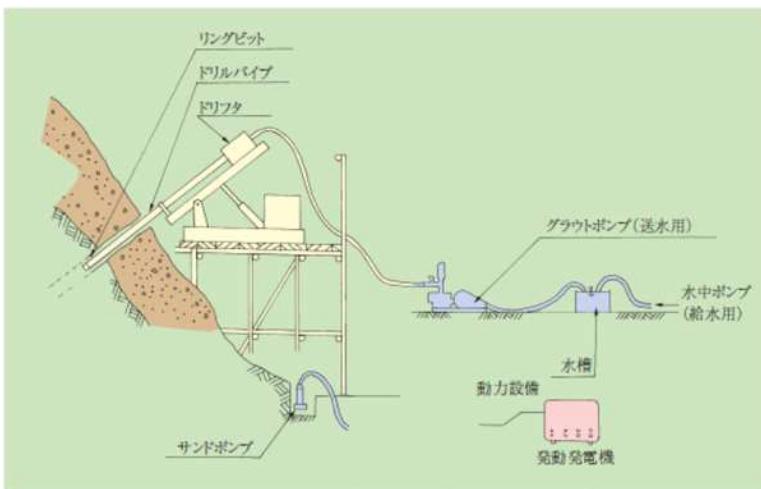
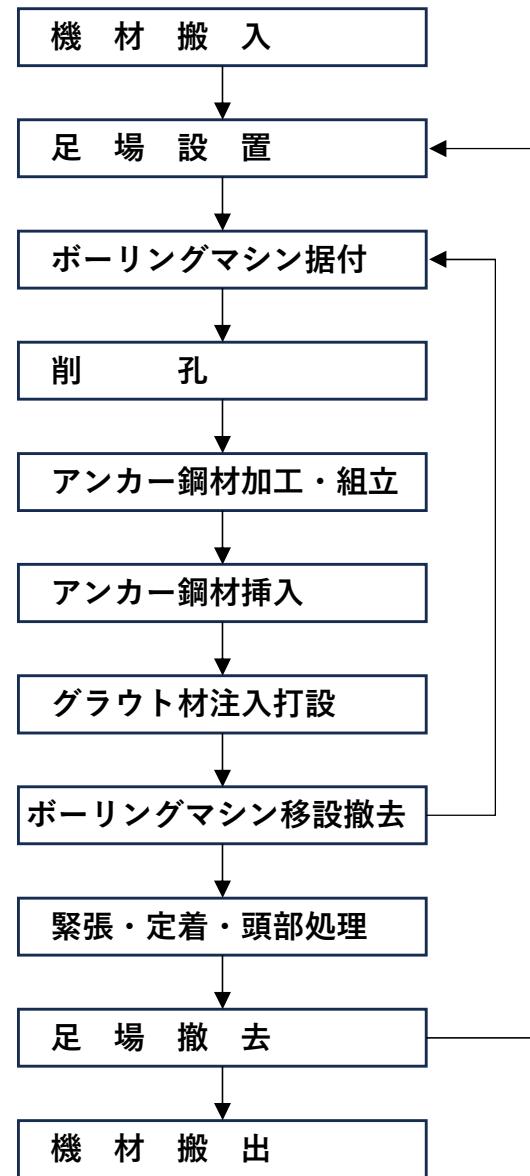


現場打ちコンクリートブロック+グランドアンカーエ

⑧ グランドアンカーアー工の設計

グランドアンカーアー工の施工順序を以下に示します。

<グランドアンカーアー工の施工手順>



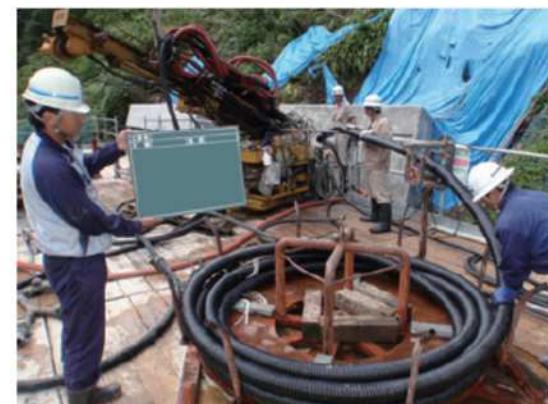
ボーリングマシンによる削孔機材の配置図



①削孔作業状況



③グラウト材注入作業状況



②アンカーフレーム挿入作業状況



④定着材、アンカーリンジ作業状況

3) 法面排水工

分類	工種		目的
3)法面排水工	①表面排水工	法肩、小段、縦、法尻排水溝	表面水による法肩・小段・法尻の侵食を防止するために排水溝
	②地下排水工	地下、水平排水溝	盛土と地山の境界に、盛土内の地下水を集めるために設置する

道路土工 切土工・斜面安定工指針(P192)に加筆追加した。

3-1) 地下水の影響による盛土の変状

地下水の上昇が「法面の崩れ、盛土の崩壊」に繋がる。

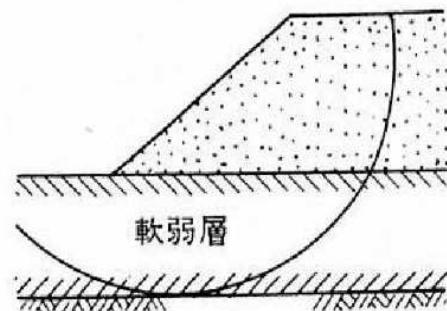


図-1 基礎を含む深いすべり

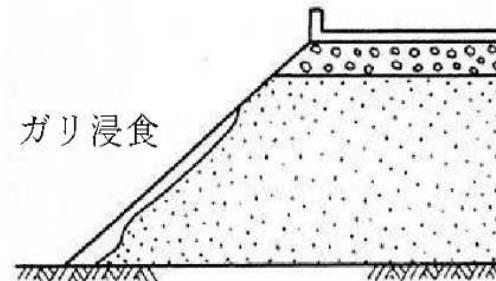


図-2 法面表層の浅いすべり

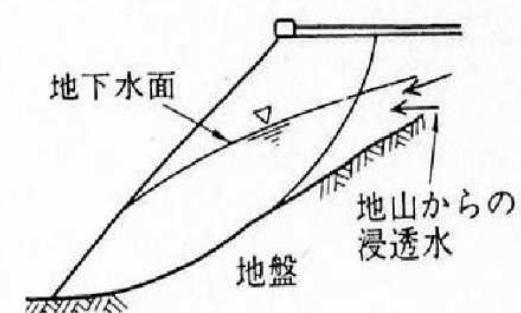
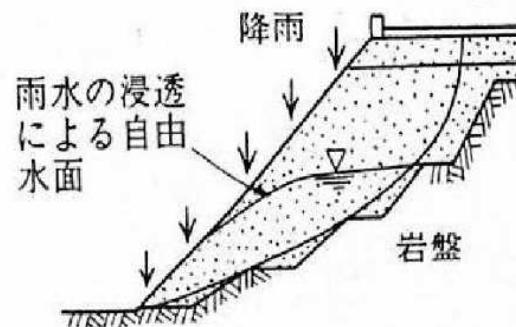
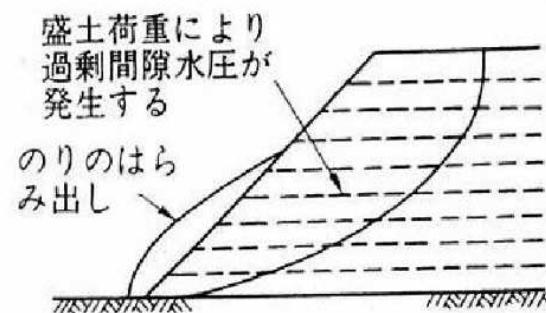
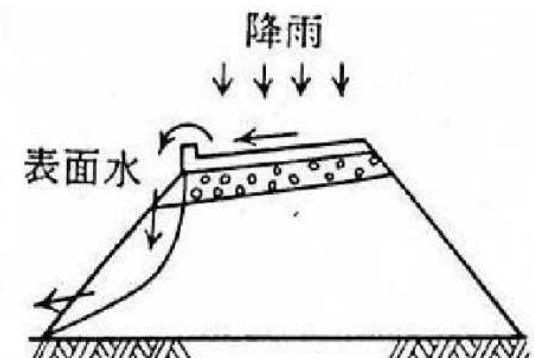
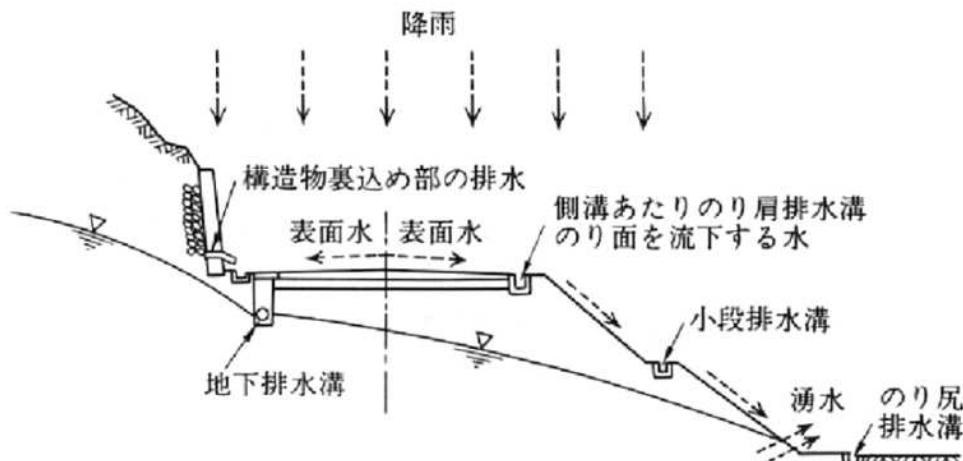
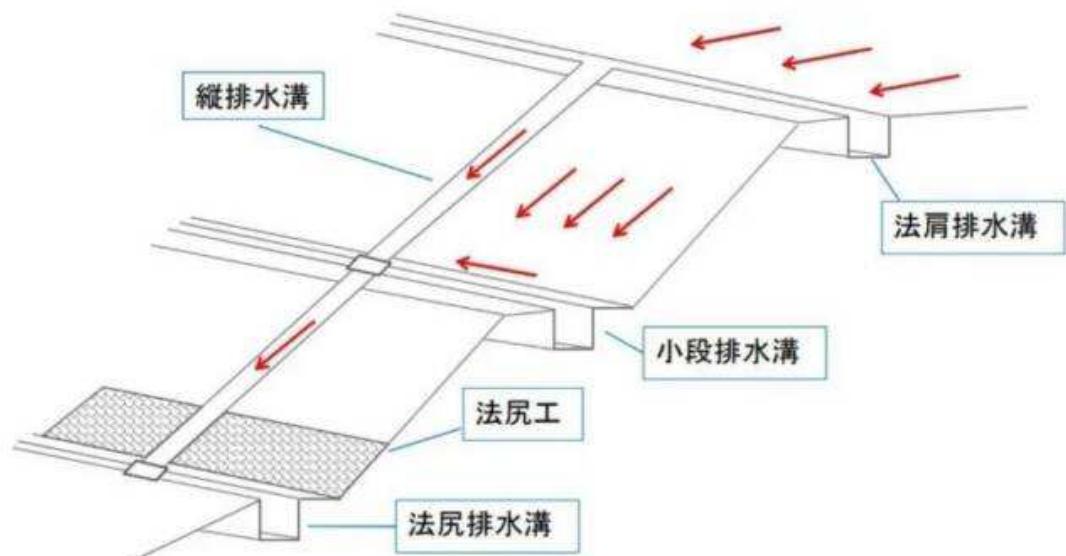


図-3 盛土内部を含むすべり

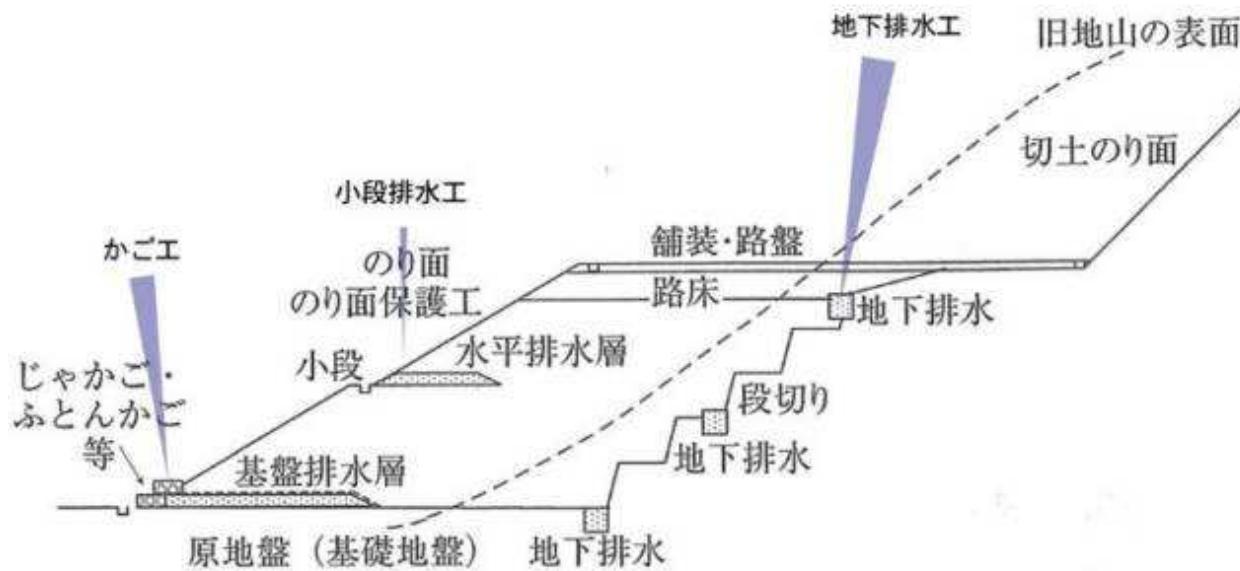
3-2) 盛土の排水機構



法面の表面排水

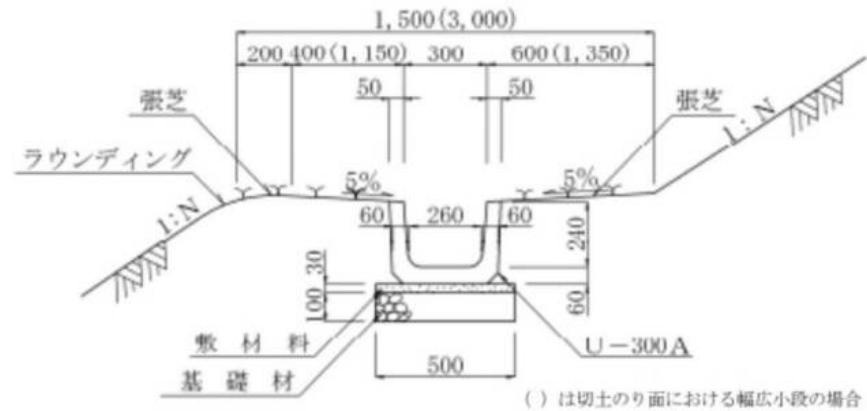
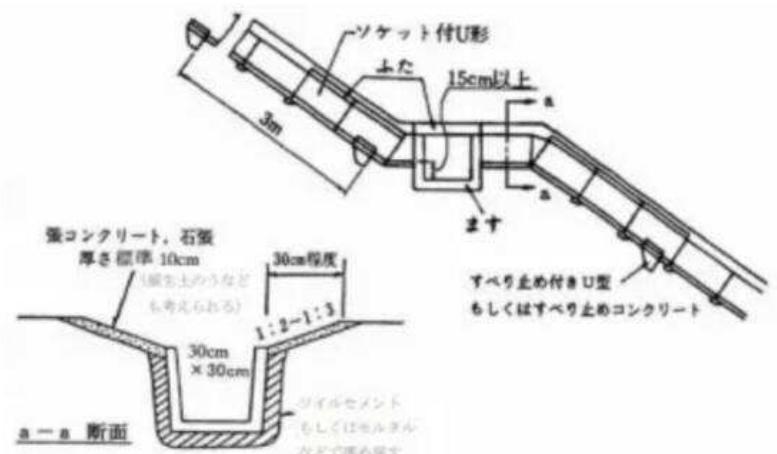


法面の表面排水の概念図

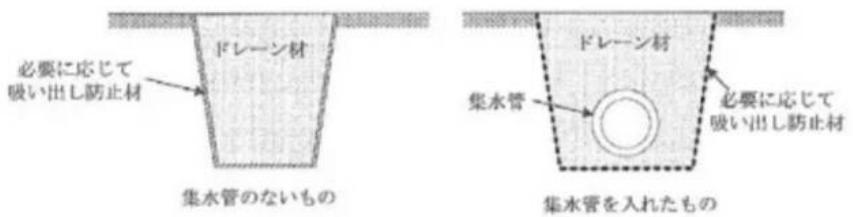
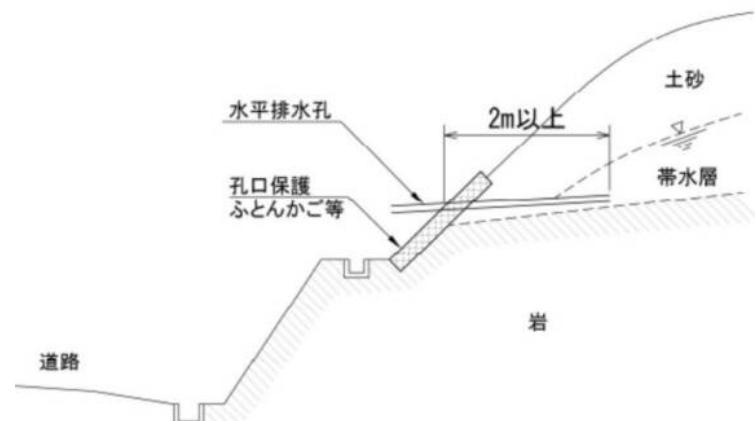


盛土内に必要な排水の概念図

① 表面排水工



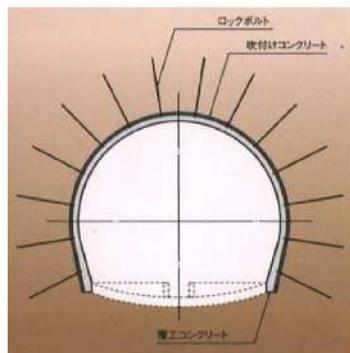
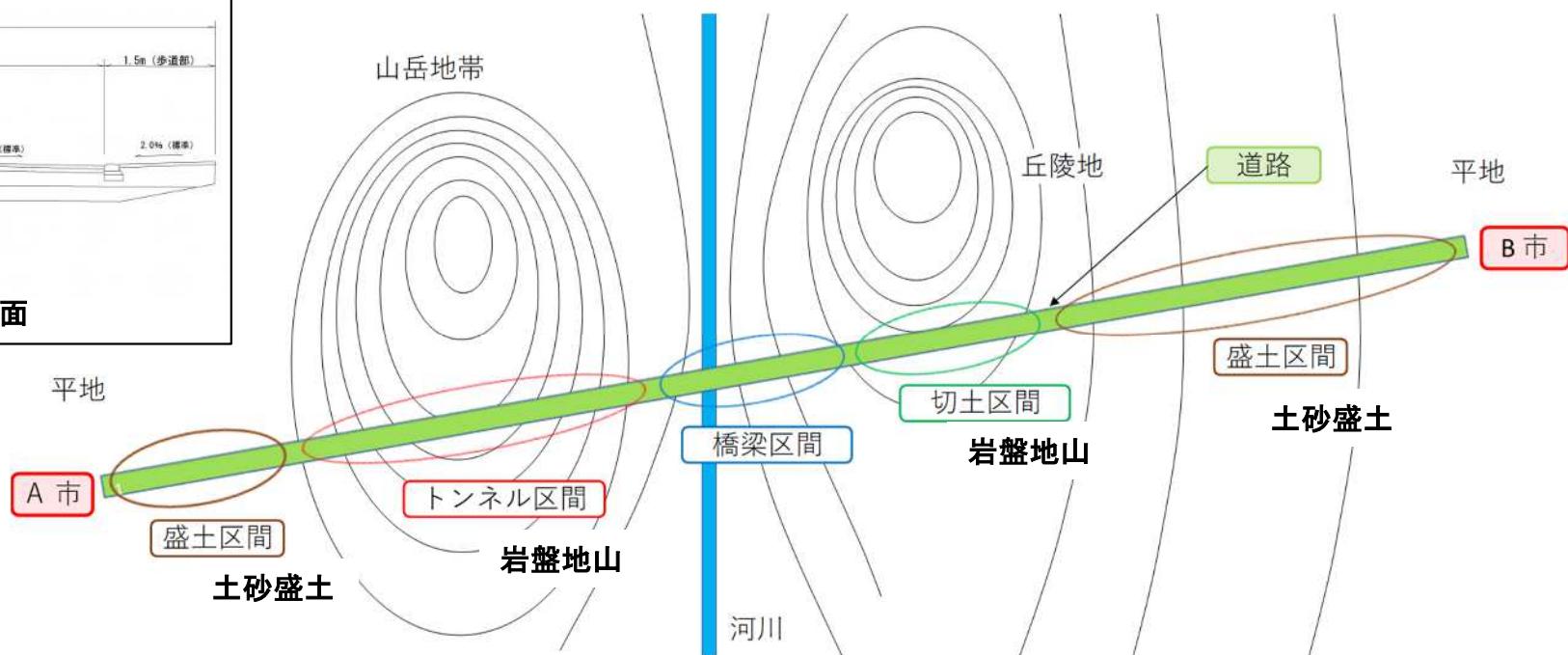
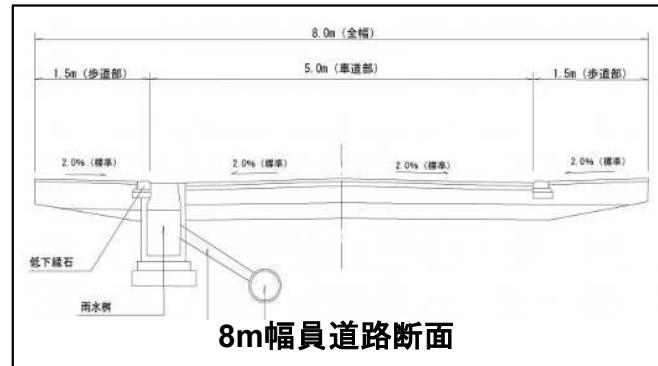
② 地下排水工



3. 法面保護工の工法選定

道路は、山岳地帯・河川横断・低地等、色々な場所を通過して構築されます。

道路構築の対象となる地盤・地質は岩盤・土砂など種々に別れます。従って、法面保護工も、岩盤用・盛土用の工法があります。これら多くの法面保護工をどのように工法選定していくのでしょうか？ここでは、それについて説明します。



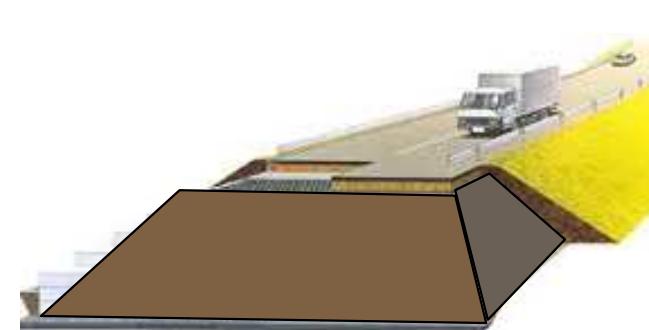
トンネル区間



橋梁区間

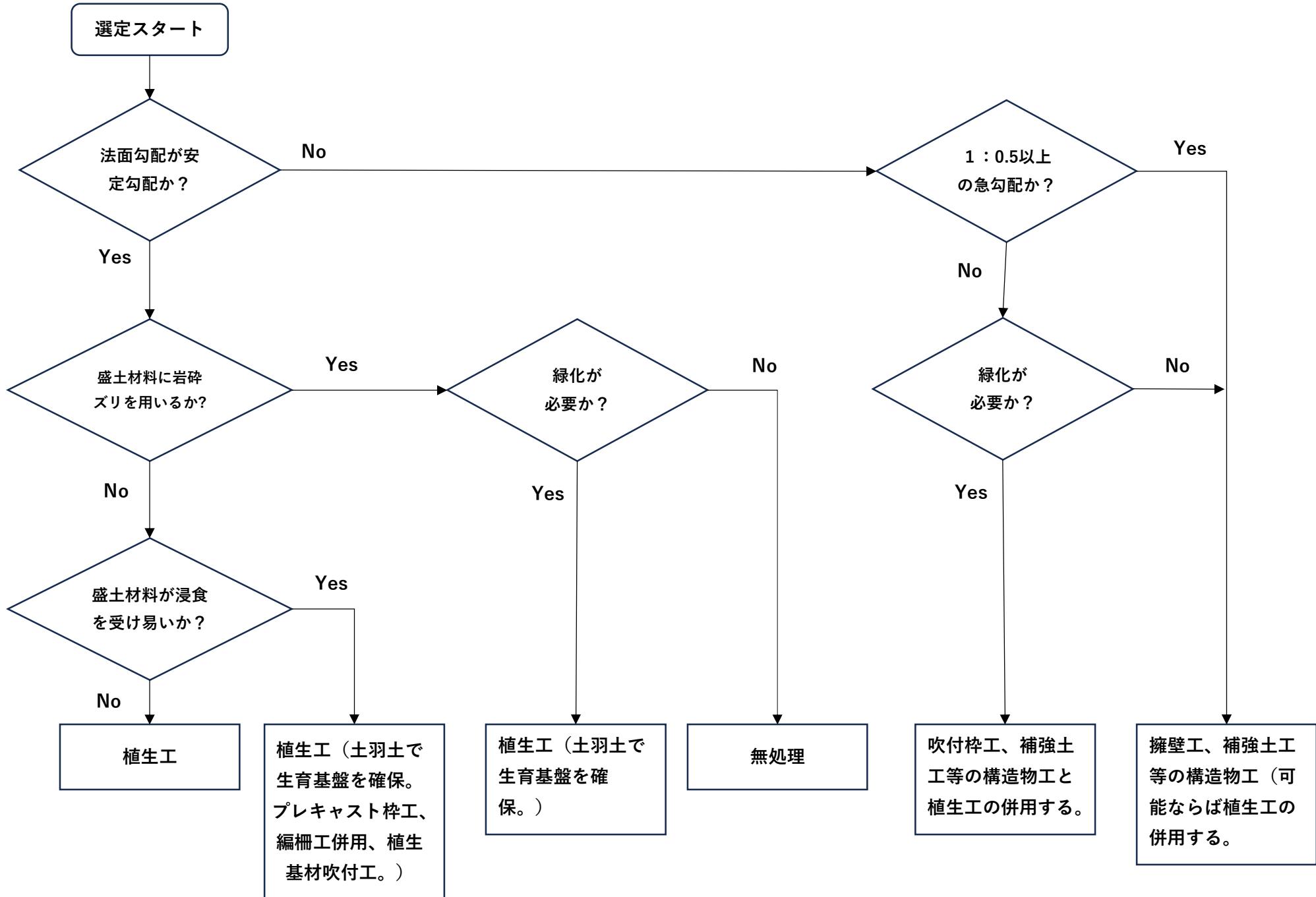


切土区間(岩盤地山)

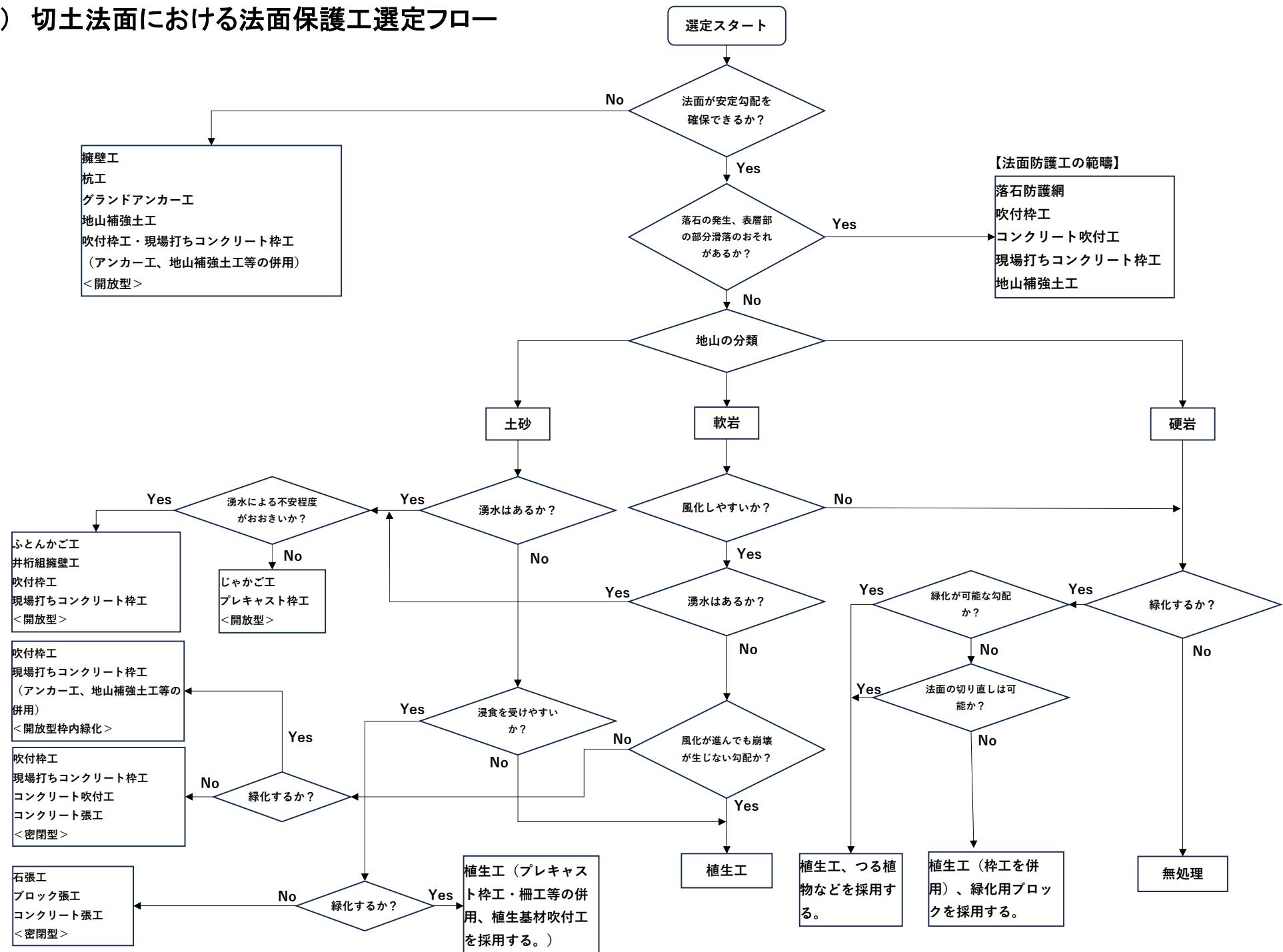


盛土区間(土砂盛土)

1) 盛土法面における法面保護工選定フロー



2) 切土法面における法面保護工選定フロー



4. Type2: 法面保護工(日本語で法面防護工と言う)について

1) 地すべり地形の特徴と兆候

地すべりが活動している目安

- ①急崖・段差・亀裂が鋭く角張ってる。
- ②亀裂・陥没凹地が二次堆積物で埋められてない。
- ③斜面末端部で、隆起や小規模な崩壊がある。
- ④地元での活動履歴の聞き込み調査

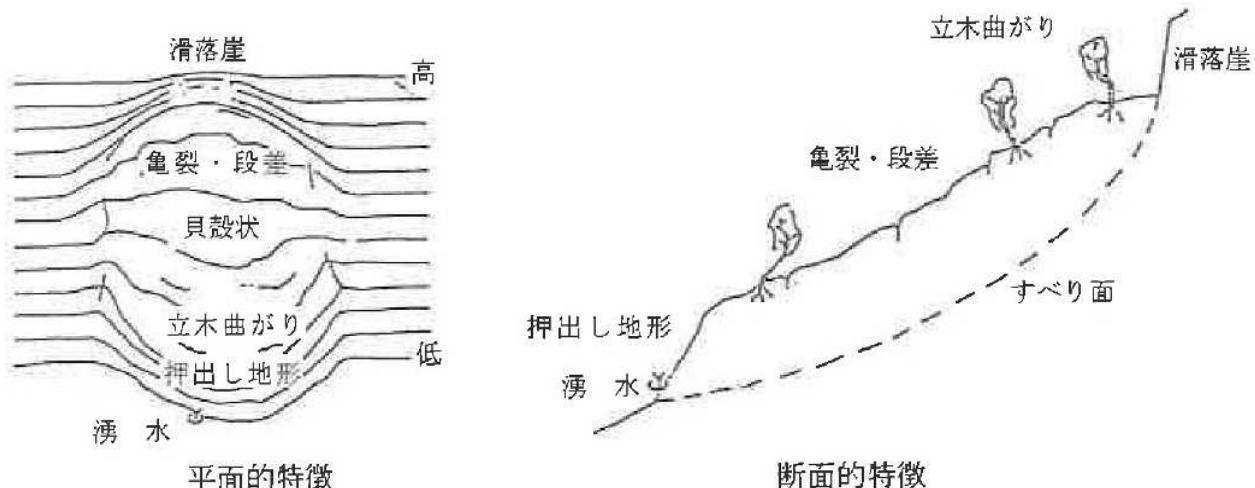


図1 地すべり地形の特徴

(1) 良い例

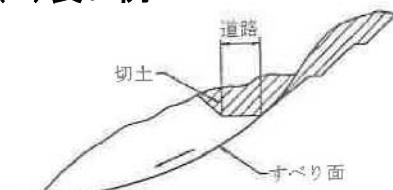


図2 頭部での切土

地すべり地の頭部を切土することで、地すべり力を低減する。

(2) 悪い例

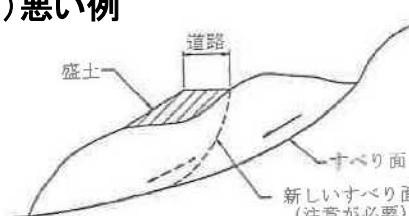


図4 中間部での盛土

地すべり中間部に盛土することで、地すべりを誘発する可能性がある。

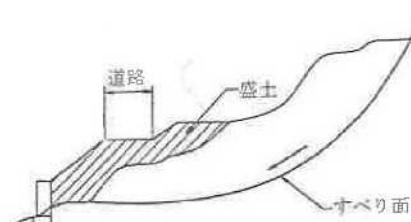


図3 末端部での盛土

地すべり末端部に盛土することで、抑え盛土となり地すべりを安定させる。

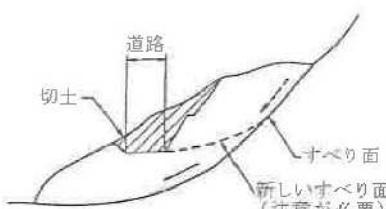


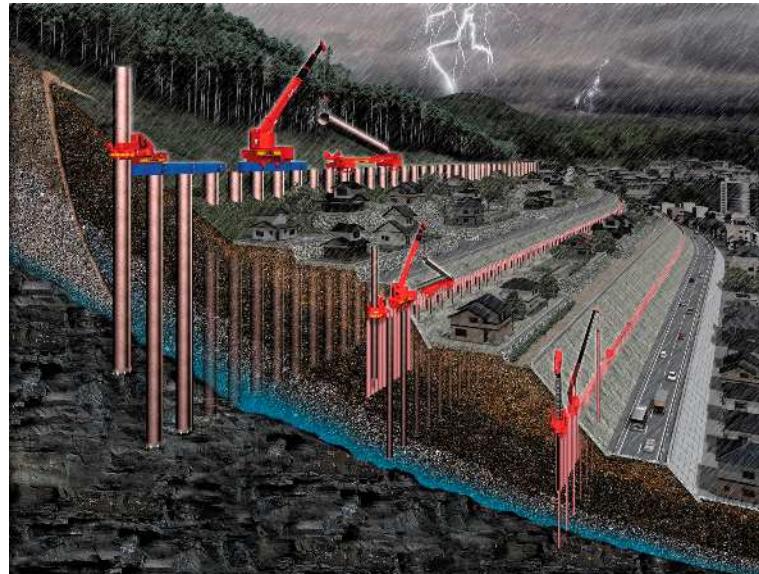
図5 中間部での切土

地すべり中間部を切土することで、地すべりを誘発する可能性がある。

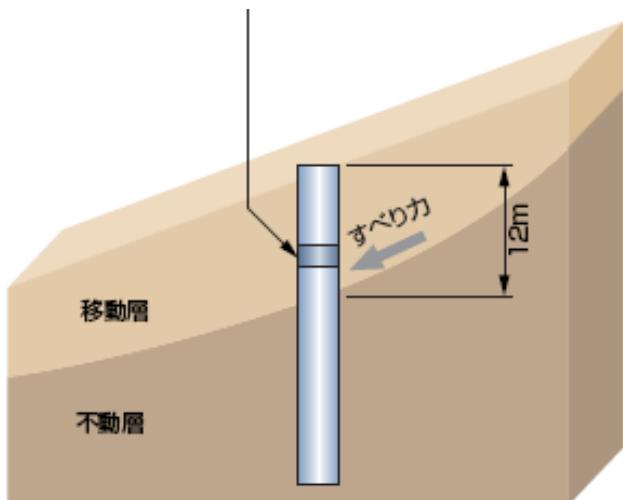
2) 地すべり防止対策工(type2:法面保護工)



鋼管杭による法面滑り抑止杭打込み01



鋼管杭による法面滑り抑止杭工法02



鋼管杭による法面滑り抑止杭の概念



抑え盛土による地すべり防止工法

3) その他の岩盤斜面崩壊の対策工法

岩盤斜面は岩盤の節理・亀裂、節理の方向、破碎帯の存在などで、岩盤崩壊の可能性が高くなる。

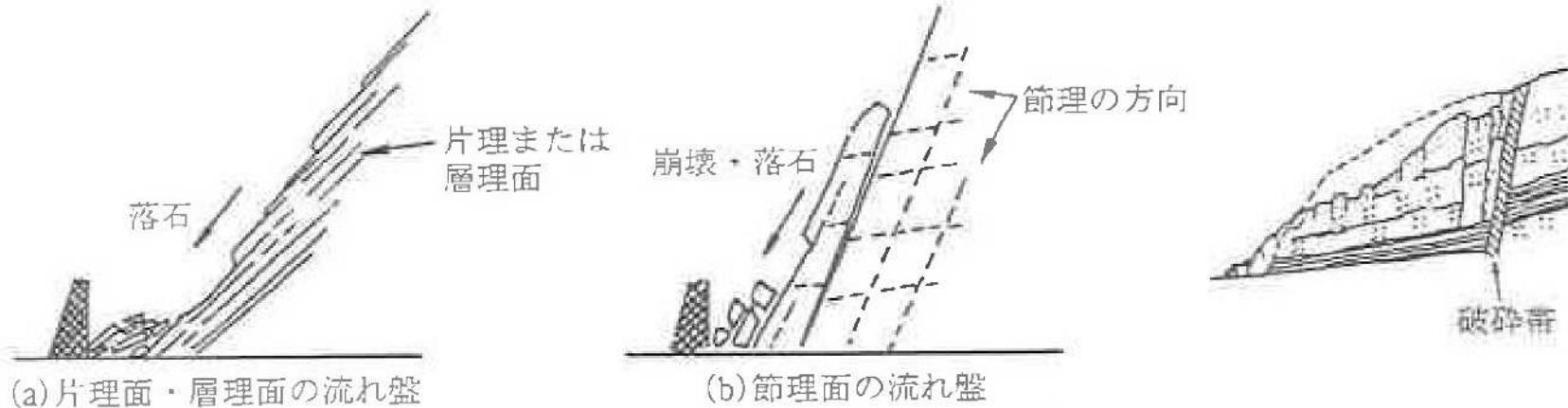


図1 岩盤斜面の崩壊原因



図2 落石防止壁

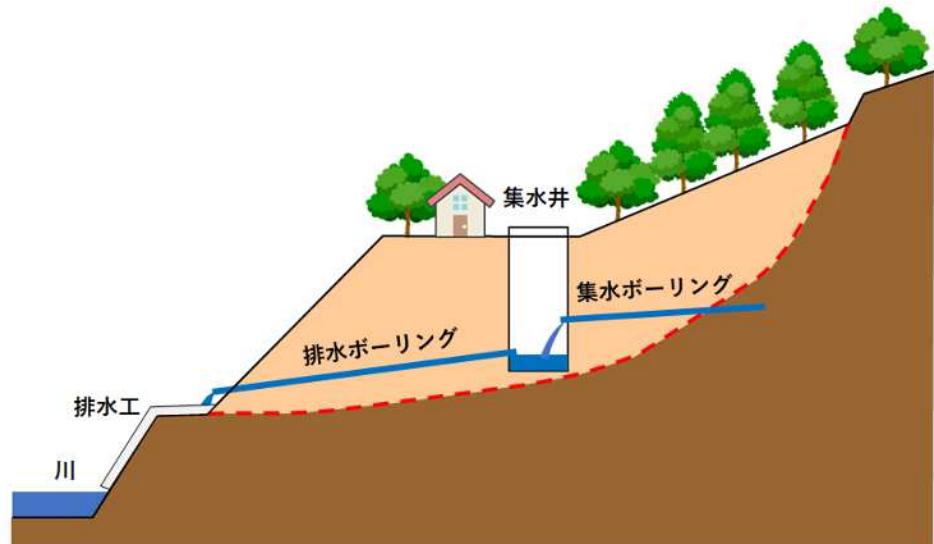


図3 法面防護工(ネット工)



図4 法わく工

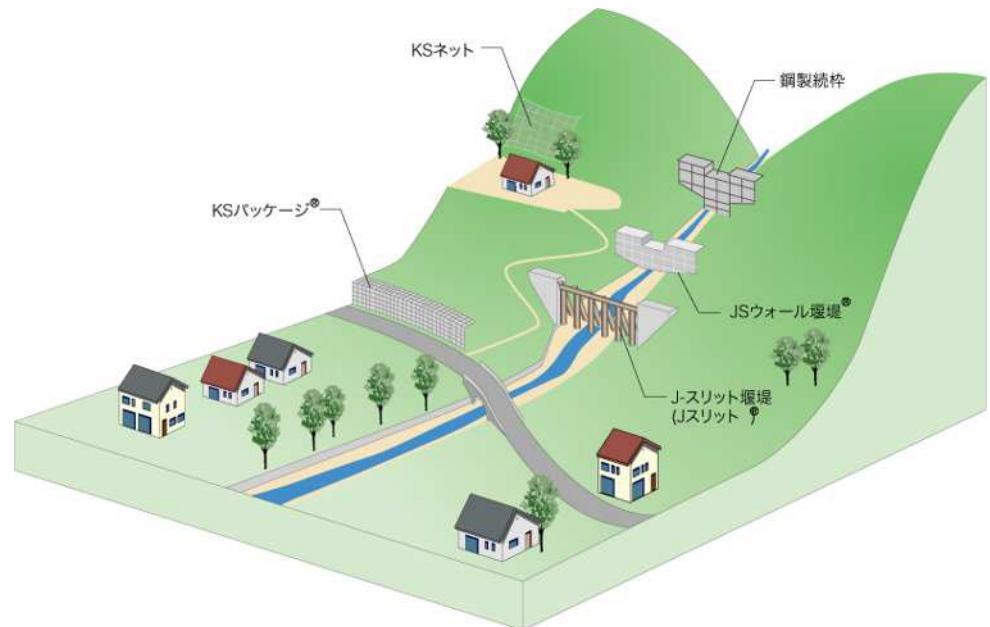
4) 法面水抜き工法



水平水抜きボーリングと集水井による斜面の地下水位低下方法



水平集水ボーリング法面内の水抜き



土石流防止の土堰堤と法面防護工

5. 関連する解析及び工法

1) 円弧すべり

【斜面が安定するとはどういう意味なのか？】

下図が斜面の安定を判断する土塊の円弧滑りの考え方です。

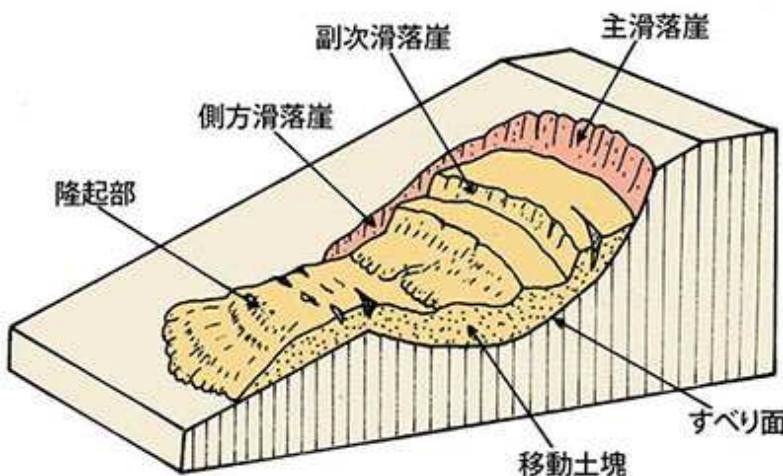
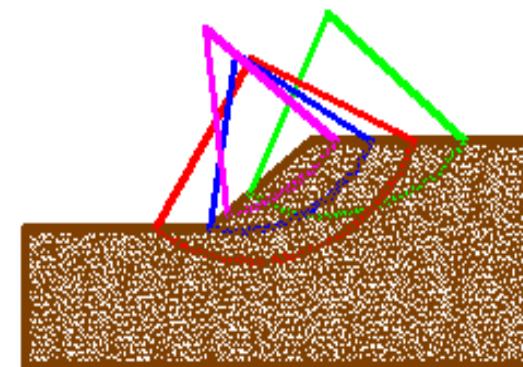


図15.5 地すべり地の模式図



ある斜面



想定される円弧滑りは無数にある。

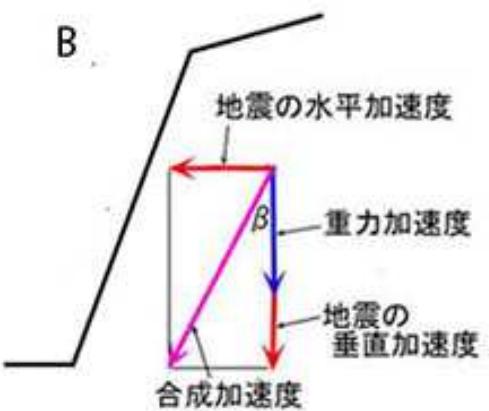
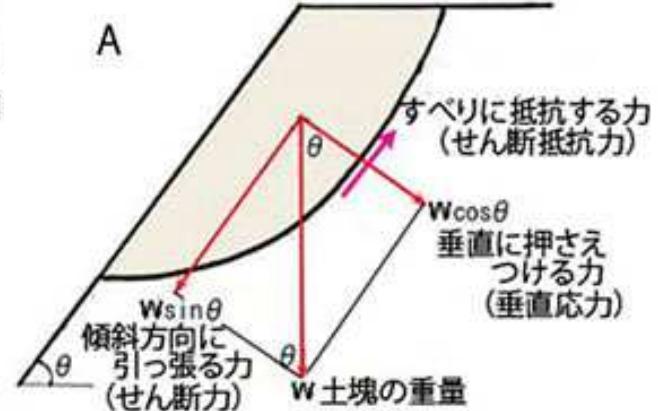


図15.1 斜面土塊に作用する力

斜面の安定を計算する。(斜面が安定するのか? 目の前の斜面が斜面の安全率を確保しているのか?)

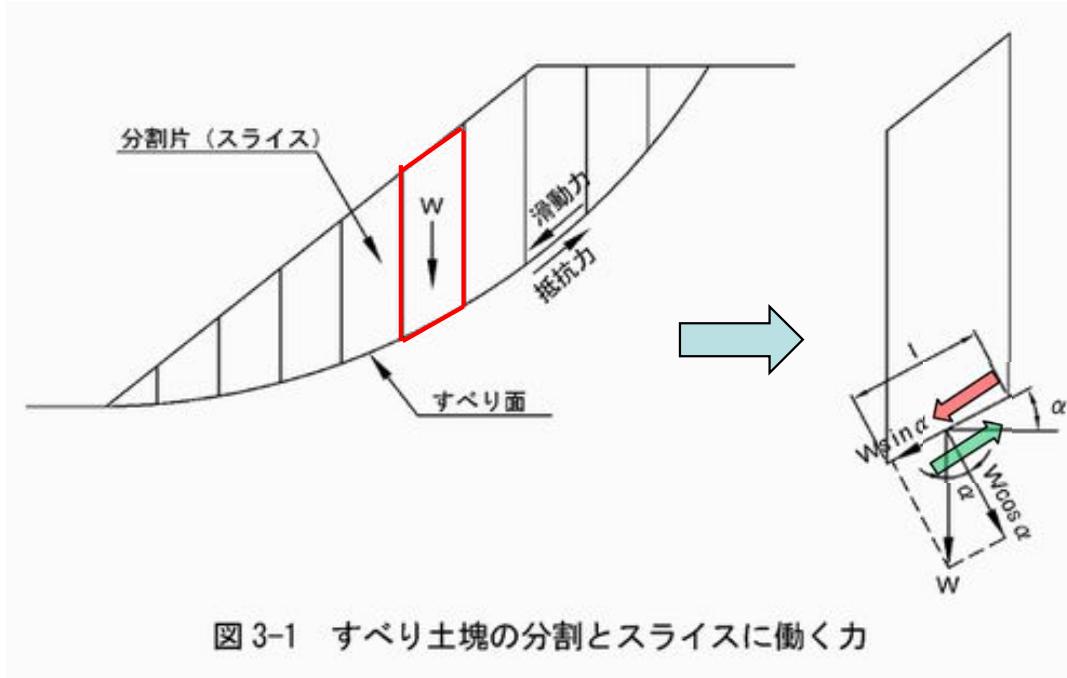


図 3-1 すべり土塊の分割とスライスに働く力

$$\begin{aligned}
 F_s &= \frac{\text{すべり面に抵抗しようとする力 (抵抗力)}}{\text{すべり面に沿って滑ろうとする力 (滑動力)}} \\
 &= \frac{\sum \{ \text{各ブロックの (粘着力) + (摩擦力) } \}}{\sum \text{各ブロックの (滑り力)}} \\
 &= \frac{\sum (c_i l_i + W_i \cos \alpha_i \cdot \tan \varphi_i)}{\sum W_i \sin \alpha_i}
 \end{aligned}$$

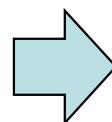
2) 段差解消工法

【地震対策:ボックスカルバート段差解消工法】

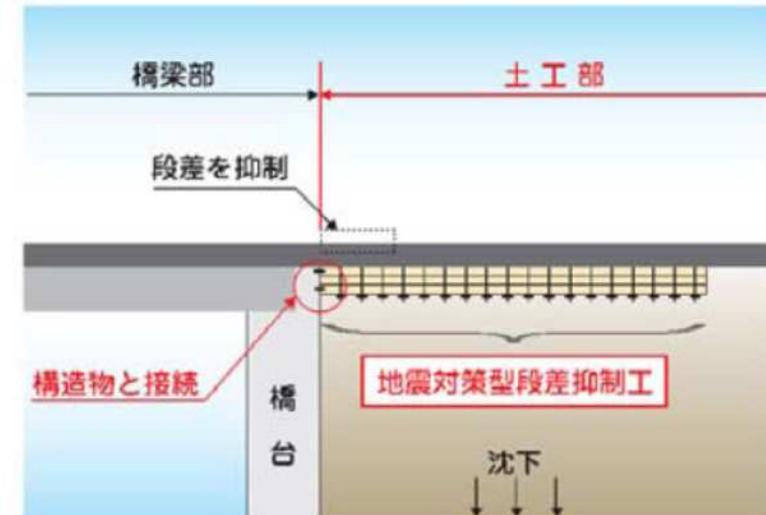
大地震が発生した場合、橋台・ボックスカルバートと道路盛土との間で、車の通行を妨げる段差が生じる。日本におけるその対策工法を紹介します。



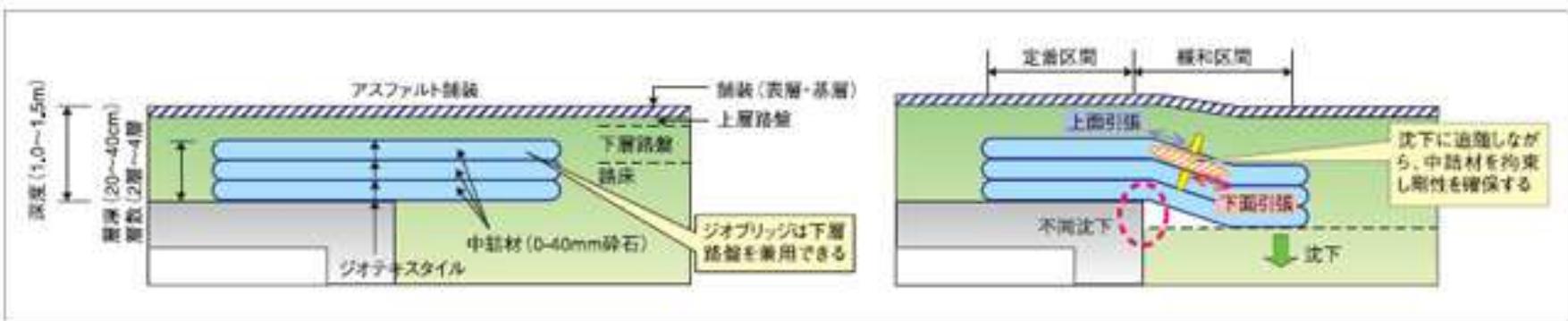
図-1 中越沖地震で発生した路面段差¹⁾



1. 橋台背面タイプ



●ジオブリッジ工法イメージ図



5. 法面に関するトラブル事例

1) 大規模な道路トンネル坑口の地すべり事例 (2016年)

2016 03-13 15:05:08

COURTESY EOTV 2016



2) 奈良県国道168号線 大規模な地すべり事例（2013年）



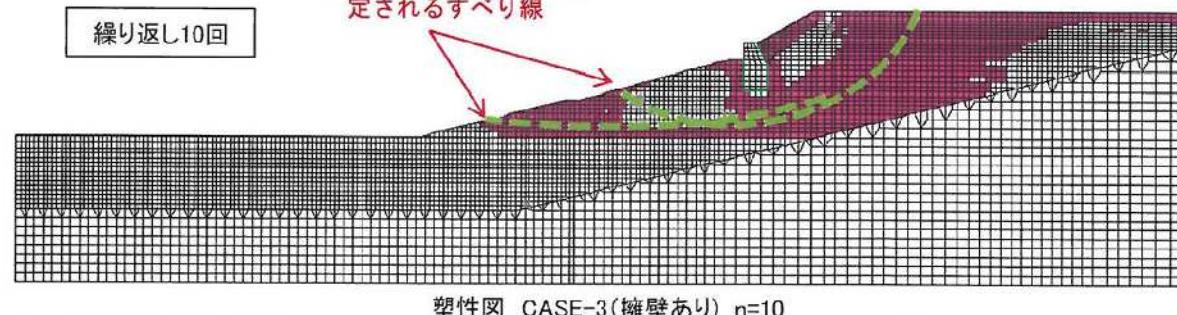
3) 盛土法面崩壊: 円弧滑り事例

道路部の高盛土を施工するために、土砂の盛立を行っていたところ、法尻擁壁が移動し、3次元的な盛土の円弧滑りが生じたは事故事例である。

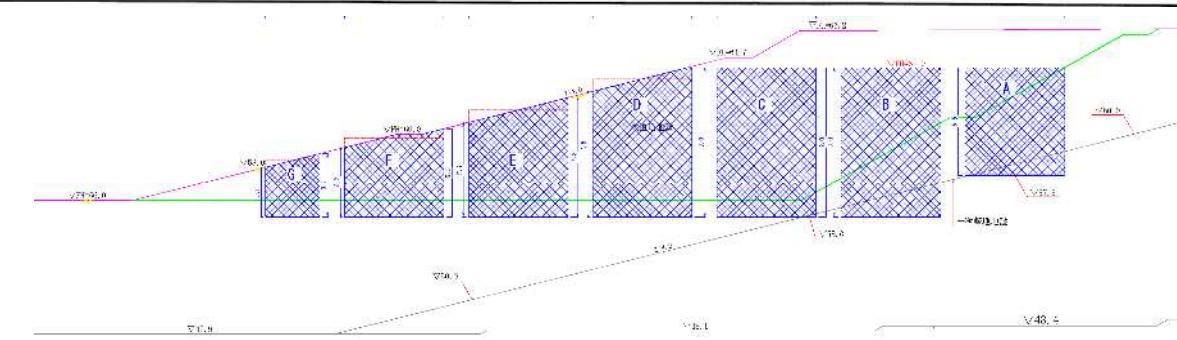


傾斜計の観測結果より想定されるすべり線

繰り返し10回



塑性図 CASE-3(擁壁あり) n=10



4) 切土法面崩壊: 岩盤直線滑り事例

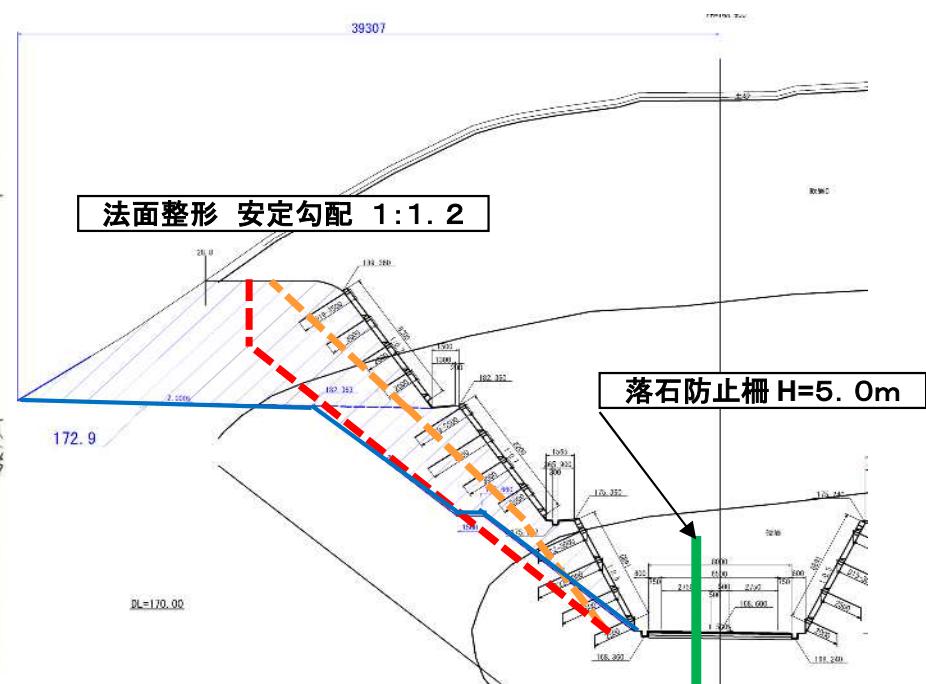
高速道路進入路で岩盤部の切土工事を実施し、法枠工を行ったが、しばらく放置後に、法面にクラックが生じて、崩壊した岩盤の直線滑りの事例である。



正面全景



斜め上部全景



長時間、ご清聴ありがとうございました。

このセミナーを聞いていただいて、皆さんの法面保護工の知識が高まり、「道路維持補修」のお役に立てれば 幸いです。

セミナー講師 堀田 孝