

第2章 調査・計画

第2章 調査・計画

2.1 総説

2.1.1 地域計画における斜面の位置づけ

急傾斜地崩壊対策の計画にあたっては、地域における当該斜面の位置づけを明確にしたうえで、斜面の災害に係る安全性をベースに地域の特性を考え、ふさわしい斜面のあり方を検討するものとする。

急傾斜地崩壊防止工事の計画にあたっては、まず、地域における当該斜面の位置づけを検討する。この場合、斜面からの土砂災害を防止することが基本となるが、地域の特性に配慮した斜面のあり方を検討する。地域特性とは都市計画法上の位置付けや実際の土地利用状況のことであり、地域への影響を考慮した施設配置、自然と融合が図れる施設の色彩といったものを配慮することとなる。このように地域計画における斜面の位置づけは、がけ崩れ災害防止のために、防止工事を促進するとともに、地域における望ましい斜面として整合を図るものである。

2.1.2 緑の斜面空間の創設と保全

急傾斜地崩壊対策の計画にあたっては、原則として景観および自然環境にできるだけ配慮して、既存木の保全や新たな植生の導入を積極的に検討するものとする。

居住区、特に都市部の緑豊かな斜面は、残された数少ない緑の空間として貴重な存在である。しかし、緑地空間は、雨水や寒暖の差による風化などで、がけ崩れの危険性が高くなっていることがある。このような斜面では、景観および自然環境にできるだけ配慮して、既存木の保全および新たな植生の導入を行うものとする。

2.1.3 目的および一般的留意事項

ここで扱う調査とは斜面崩壊防止工事を行なうための調査で、危険斜面の判定、崩壊形態の想定、被災状況の想定、崩壊原因の推定、対策対象区域の決定、対策工の設計・施工のための調査が主たる目的となる。

斜面の調査では、誘因となる降雨について、雨が地表に降ってからどのように集まり、それがどのような経路で斜面を流れ下るか、地下水としてはどのような経路で斜面のどの部分で地表に湧出するかということ（場合によっては、これ以外に地震によりどの程度の振動が発生するかということ）と、素因としての地形・地質・土質を調べることに主眼が置かれている。調査は現地踏査時の観察を中心に従来から地質・土質調査で用いられる方法が利用されている。これらの調査結果と従来の経験をもとに、崩壊形態の想定、崩壊危険度の予知・予測、環境の変化・保全、対策工の検討などに関して、担当者ができるだけ確かな工学的判断を下すという流れで進められる。この流れは作業過程および調査精度により一般に、

- ① 予備調査（資料調査および崩壊基礎調査）
- ② 本調査（現地精査および地盤調査）

の2段階に区分できる。なお②の本調査においては、崩壊形態の想定等のほかに2、3の工種の詳細設計に必要な土質調査等の調査がある。

自然斜面および切土のり面は不均一な地盤であり、かつ表面が植生で覆われていて地山が直接観察できない場合が多いので、施工前の調査段階で地山の安定性とそれを左右する土質・岩質、地層構成、地下水の状況あるいはすべり面の位置などを正確に把握することは困難な場合が多い。それにも増して、施工後における周辺地域の開発等に伴う環境条件の変化や異常気象（地震も考えられる）等の誘因の斜面の安全性への影響を事前に正確に予測することは非常に困難である。したがって調査の計画および実施においては、以下のような事項にも十分留意する必要がある。

- ① できるだけ広範囲に地形や地質を観察するとともに、類似した地盤条件で対策工が施工された箇所の状況や資料を調べて参考にする。
- ② 風化の進んだ地山、浸透水の集まる斜面あるいは崩壊または地すべりなどの痕跡が見られる場所に注目し、崩壊の危険度の高い斜面に重点を置いた調査を行う。
- ③ 地盤条件が複雑な斜面では、事前に十分と思われる調査を行ったとしても納得のいく設計ができるとは限らない。したがって、もし現地踏査などの結果、複雑な地質構造であると想定され、数点のボーリング調査等でははっきり地盤条件を確認できないことがわかった場合は、設計段階の調査をむやみに増やさないほうがよい。このような場合については、施工に際して応急的な処置や工法変更がとれるような余裕のある設計を行うとともに、表面整形や切り取りの途中で土質や岩質をよく確かめ、必要な場所で必要な時期に調査を追加するのが得策である。

2.1.4 調査の種類および流れ

急傾斜地調査では予備調査、本調査を行うものとする。

斜面崩壊防止工事の設計・施工のための調査は主に予備調査・本調査からなり、内容的には計画段階の予備調査と設計段階の本調査に分かれるが、現地踏査等では同じような作業が双方の段階で行われており、必ずしもこれらは明確には区別し難いことが多い。これらの調査の流れを図2-1に示す。予備調査は一般に資料調査と崩壊基礎調査に分けられる。また、ここでは本調査はさらに2つに分けられ、主に対策工法の計画のためのもの、主に設計および施工法の検討のためのものであるが、この区分も明確なものではない。

斜面崩壊防止工法を検討する際の最も基本的な事項は、どのような崩壊要因によってどのような形態の斜面崩壊が発生するかということ、それを防止するための構造物の基礎地盤はどうかということである。したがって対象斜面高が低く地形・地質が良好な場合などでは、一般に本調査の一部だけで十分な場合が多く、サウンディング等を実施しなくとも、地表地質調査により判断がつくことも多い。また、地層構造がやや複雑で地表地質調査だけでは明確にできない場合でも、簡易なサウンディングやボーリング（1、2本程度）等を実施することにより判断がつくことも多い。したがってさらに精密な調査が必要になるのは、グラウンドアンカー工や杭工等の設計に地盤定数等が必要な工種で既往資料のない場合、および予備調査段階で判明したもので

特に地盤が複雑もしくは不良な箇所や既崩壊履歴箇所等特殊な問題を含んだところであると考
えてよい。

以上のほかにも、斜面崩壊防止工事においては、施工時の調査、維持管理の調査および災害時
の調査が必要となるが、これらについては 2.6 で述べることにする。

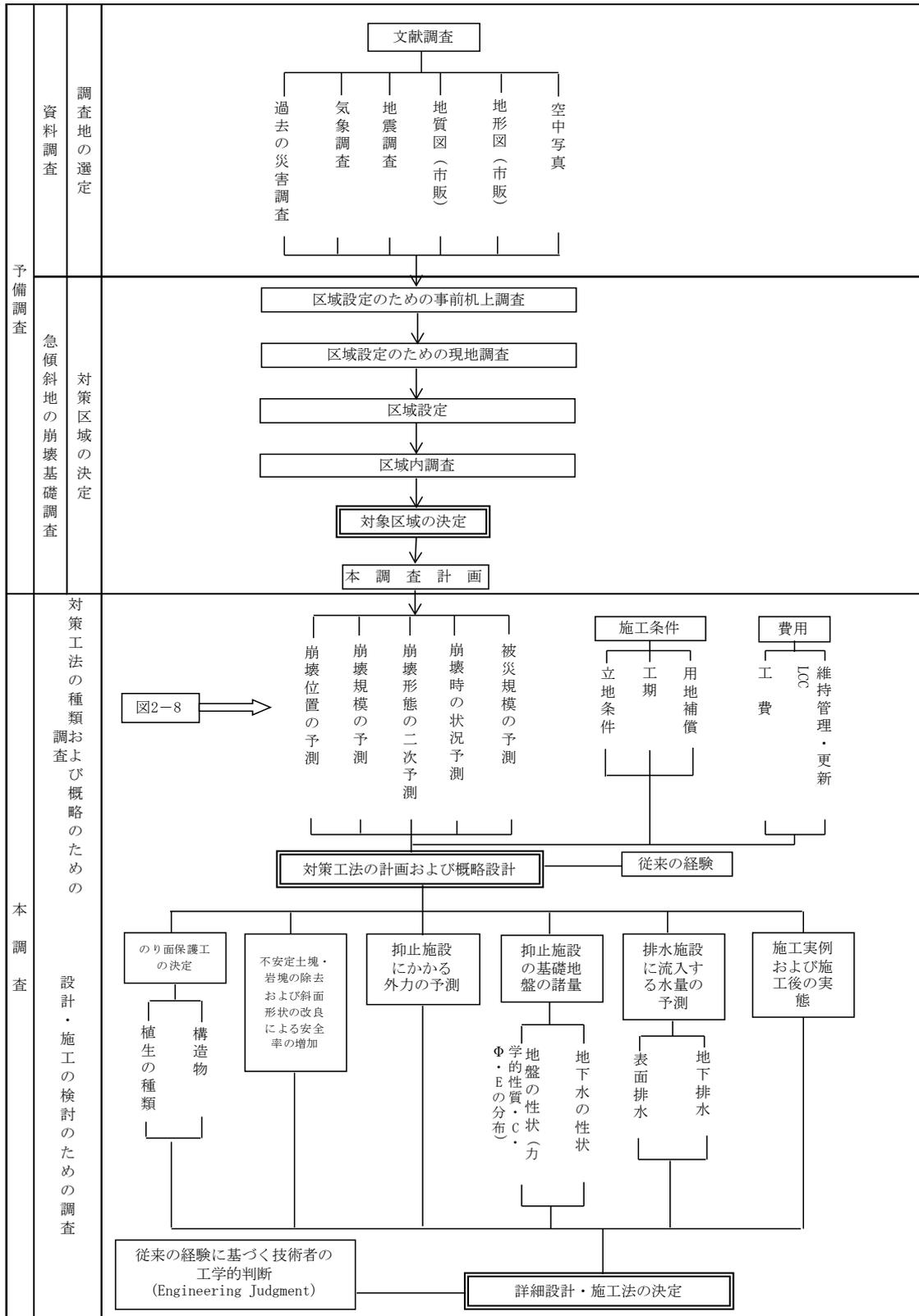


図 2-1 斜面調査の種類と流れ

2.2 資料調査

資料調査では、対象斜面の概要の把握および崩壊危険度の把握に必要な過去の災害記録、地質図、地形図等の資料を収集・整理するものとする。

2.2.1 目的および一般的留意事項

資料調査は既存資料の収集整理により、対象とする斜面周辺の概要を把握し、現地踏査による危険箇所点検調査・本調査の際の基礎資料を得ることを目的としている。

予備調査の段階では直接現地へ入って調査する前に、資料として入手できるものはなるべく集め、現地概査・本調査に生かすことが必要である。

資料調査で一般に収集されるべき資料は 2.2.2 で述べる程度のものであるが、これらの資料は単に収集するだけでなく、資料より得られる情報を十分整理、把握して、次段階で実施する踏査の際重点的に調査すべき要点をまとめておくべきである。

2.2.2 方法および調査項目

収集する資料は次のようなものである。

(i) 過去の災害記録

斜面周辺の斜面崩壊の形態、規模、被災の状況、発生日時およびこのときの気象条件。付近で過去に何度も崩壊が発生し災害を受けているようなところは、崩壊の危険性の高い地区と考えることができる。被災の程度、被災区域、崩壊時の状況等についての調査結果は、その地域での崩壊後の崩土の動き、崩土の広がり、崩土の規模等を知る手がかりとなる一方、被災のおそれのある範囲推定のための資料となる。

(ii) 斜面周辺の自然・社会環境に関する資料

法指定状況、植生、動物生息、土地利用計画、開発状況、文化財、人家戸数、人家配列、世帯数、住民数、公共建物・公共施設等の位置・数・大きさ、斜面下端と人家との距離、その間の防災構造物の位置・種類、道路・通路・水路等の配置・規模、斜面上の水路・工作物、その他斜面周辺の人為的な改変箇所などの位置・年月・規模。

(iii) 気象記録

付近の雨量観測所の位置、過去の災害または崩壊発生時の連続雨量・日雨量・時間雨量、10分間雨量等、過去の最大時間雨量・最大日雨量・最大連続雨量等の各年最大値、その他の気象資料（風、積雪、凍結）。

(iv) 地震記録

発生日時、震度(分布)、震源との距離、最大加速度(分布)、斜面崩壊等の災害の発生の有無、程度。

(v) 地質図（市販のもの）

地質図によって対象斜面の基盤地質、風化土層、崖錐の発達、地層の境界面、断層、破碎帯等の大まかな地質特性の予備知識を得る。

(vi) 地形図、土地条件図、土地利用図

地形図は以下の予備調査・本調査で得られる情報を書き込むために用い、また対象斜面の周辺の広い区域の地形特性と其中での対象面積の占める位置を知り、対象斜面への流入（地表水・地下水）、流出等の状況の大略を想定するのに用いる。近年ではレーザープロファイラにより微地形を高精度に反映した地形図作図も可能となり、対象箇所に近い場合の地形情報入手には有効である。

土地条件図は 1/25,000～1/10,000 の地形図を用い、地形分類と地盤高（特に低地の地盤）の区分を行なっている。地形分類として山地・台地・低地の 3 つに大分類し、山地部ではさらに斜面の形状および斜面傾斜角によって 9 種に色別分類されており、特に変形地（がけ、崩壊地、やせ尾根、禿禿地、地すべり等）は記号で分類してある。したがってのり面、斜面として問題のある箇所を判断するのに便利である。

土地利用図は、都市、村落、耕地、林地、産業施設、交通等の項目に分け、それぞれを細分類している。関連するものとしては、国立公園、自然公園、特別史跡、名勝、天然記念物、林地の種類（林種区分、林齢区分、樹高区分）、伐採跡地等で、色、記号等で容易に識別できる。

(vii) 空中写真

縮尺 1 万分の 1 程度の市販されている空中写真による判断が汎用的に行われているが、できるだけ大縮尺のものを用いるのがよい。白黒写真・カラー写真・赤外カラー写真等があり、それぞれの特徴に見合った使い方がされている。空中写真は情報収集時間の短縮、現地踏査が困難な地域にも使用可能で、実体視の際高低が誇張されるので、微小な地表面の変化や乱れが容易に見検できるなどの利点がある。近年では UAV を活用した空中写真撮影も多用されており、レーザープロファイラと同様に対象地区の詳細地形を判別可能としている。反面、写真判読で捕捉しきれない微地形や植生などから得られる変動地形情報は現地踏査で入手する必要があること、地表面または地表近くの現象しか情報として得られないなどの欠点があるので、これらの特徴を理解して使用することが大切である。

空中写真の判読要素と得られる情報は表 2-1 にまとめられる。すでに崩壊を起こした斜面は、その形態的特徴を直接とらえることができる。もし対象とする斜面の近くで類似した斜面で旧崩壊地形が判読できれば、これは崩壊の形態・位置の想定に役立つ。また掘削、降雨などにより崩壊を起こしやすい崖錐、断層破碎帯などの存在を推定することも可能である。もちろん現地踏査による確認を欠くことはできないが、写真上ではリニアメントとして現れる地形上（時には色調上）の特徴は、それを現地踏査等により断層破碎帯と確認できる場合には、その周辺は崩壊の危険性が高いと推定できる。また崩壊土は切土などにより崩壊を起こしやすいが、この分布を調べる際、斜面傾斜変換線の追跡による地形分類が効果を発揮することがある。

(viii) 文献、工事記録、地質・土質調査報告書

過去、周辺に発生した崩壊に対する調査研究はもとより、郷土史、古い言い伝えなどから有用な情報が得られることがある。また、既往の近隣地区の地質・土質調査報告書や工事記録などからは、調査対象地域の地質や地盤の調査に参考となる有益な情報が得られることが多い。以上のような資料からの情報整理の着眼点を表 2-2 にまとめる。

表 2-1 判読要素と得られる情報

判読要素		得られる情報
地形	大地形	谷、盆地、平野、台地、丘陵、山岳等の大地形の分類などから、対象斜面がどのような地形のもとに位置づけられているかが把握できる。
	斜面の状況	起伏の大小とその形状、開析の程度の確認、微地形の分類、傾斜変換線の分布などから斜面の性状が把握できる。
	水系の発達状況	対象斜面上部の水系、とくにガリ等の微水系や集水域を把握することができる。また斜面下部の水系では、洗掘の有無などの情報が把握できる。
土地利用の状況		作物、樹木の違いが、土質や基盤岩の違いを表すことがある。また人工改変や道路に関する情報も重要である。
線状模様 (リニアメント)		地形、色調などが線状に連続するのが認められることがあるが、これは断層の存在など地質構造の異常を示唆することが多い。

表 2-2 各種資料での調査の主要着眼点

区分	調査方法 調査の着眼点	既存資料の利用									現地踏査		
		地形図	地質図	ローザイラ	レーザ	空中写真	調査報告書	地質・土質	工事記録	災害記録		土地条件図	土地利用図
大地形	崩壊跡地	○		◎	◎			△	△	◎			◎
	地すべり地	○		◎	◎			△	△	◎		○	◎
	土石流跡地	○		◎	◎				△	○			◎
	線状模様 (リニアメント)	○	○	◎	◎					○			△
	傾斜変換線	○		◎	◎					◎			○
	崖錐	○	△	◎	◎			△		◎			◎
	小起伏面	○		◎	◎					○			◎
	河川攻撃斜面	○		◎	◎					○			◎
	非対称山稜	○		◎	◎					◎			◎
微地形	わずかな沢状の凹み	○		◎	○					○			◎
	斜面途中の平坦面	○		◎	◎					◎			◎
	断落ち、亀裂のある斜面	△	○	○	○					△			◎
	沼・池・湿地帯の有無と配列	○		◎	◎					○			◎
	斜面上部および斜面内に不安定土塊のある場合	△		△	○					○			○
土質	概略の土質構成					◎	◎	◎					◎
	問題のある土質・土層構成の把握					○	○	○					○
	概略の土性 (含盛土材料)					◎	◎	◎					◎
	問題のある土性の把握 (含盛土材料)		◎			○	○	○					○
地質	概略の岩質・地質構成		○			◎	◎	◎				○	◎
	問題のある岩質・地質構成の把握		◎			○	○	○					○
	概略の地質構造		○		△	◎	◎	◎				○	◎
	問題のある地質構造の把握				△	○	○	○					○
植生	植生区分	○			◎				△		◎		◎
	植生の疎密度			△	◎				△				◎
	周囲の植生との相違箇所				◎				△		◎		◎
	伐採跡地および山火事跡地				◎				△		◎		◎
水文状況	湧水箇所							○	○				○
	透水層の位置							○	○				◎
	地表水の状況	△			○	△	△	△					○
	地下水位の状況					△	△	△					△
	土地利用の現況	○		○	◎						◎		○

注) 予備調査時の精度として ◎よく判るもの ○ある程度判るもの △場合により判るもの

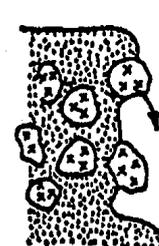
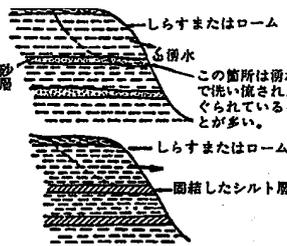
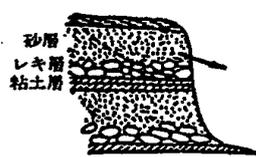
表 土	1-(1) 表土の崩落		1-(2) 表土の滑落	
	 <p>風、雨、地震力などにより発生する。表土の下層が侵食または人工により、えぐられ、表土が張り出した状態になっている部分が崩壊する。</p>		 <p>岩（風化岩を含む）、火山砕屑物、火山放出物（ローム、まさ、しらすなど）、崩積土、段丘堆積物など。</p> <p>表土のみが滑落するもので、すべり面は表土と下層（同時にすべらないものとする）との境にある。崩壊で最も例が多い。</p>	
崩 壊 土	2-(1) 崩積土の崩落		2-(2) 崩積土の滑落	
	2-(2)-a 基盤の境		2-(2)-b 不連続面	
	 <p>比較例の少ないもので地すべりの末端部などにとどき見られる。</p>	 <p>崩積土がその下盤である岩盤または、その風化帯を境界面としてすべり得る。下盤は層理を有する堆積岩（頁岩、砂岩、礫岩、片岩など）であることが多い。一般にがけ面全体が一度にすべることが多い。がけ下には湧水を見ることが多い。</p>	 <p>崩積土中の不連続面ですべるもの</p> <p>崩積土がその生成の過程において粒度が異なったり、火山灰をはさんだり、有機質土をはさんでおり、これを境界面としてすべるものである。</p> <p>現地調査においては、これらがけ面内になんらかの不連続面（はさみ層）を見つけたら、その粒度、色調、その箇所での湧水状況を記載するとよい</p>	
3-(1) 火山破屑物の崩壊		3-(2) 火山破屑物の滑落		
3-(1)-a しらす、ローム		3-(1)-b 風化集塊岩、凝灰角礫岩等	しらす、ローム	
 <p>しらすの崩落が最も特徴的であるが、ロームでも砂質の層をはさむ場合は同様の現象が見られる。特に地震に対して弱い。</p> <p>しらす、ロームでも一般に下部に湧水があり、その侵食によってえぐられるのが原因である。また、流水によって下部が侵食されている場合もある。</p>		 <p>岩礫以外の部分の風化、浸食が進み、残った岩礫が崩落する。</p>	 <p>しらすまたはローム</p> <p>この箇所は湧水で洗い流されえぐられていることが多い。</p> <p>しらすまたはローム</p> <p>固結したシルト層</p> <p>しらす、ロームとも滑落は一般に全体が均質でなくて、砂質の湧水、透水層があるか、または、固結したシルト層などの相対的な不透水層がある場合に見られる。</p> <p>降雨により、不透水層の上にあるしらすまたはローム中のパイピングや間隙水圧が上昇してすべりを誘発する。</p>	
段 丘 堆 積 物	4-(1) 段丘堆積物の崩落		4-(2) 段丘堆積物の滑落	
	4-(1)-a 不透水層	4-(1)-b 礫の抜け出し		
	 <p>例が非常に少ないが、シルト分を多く含んだ地層の周辺に湧水のある場合に発生することがある。</p>	 <p>礫層以外の侵食が進み残ったレキが崩壊する。</p>	 <p>円礫層が滞水層になっているので、この滞水層で地下水をのみ切れぬ場合にはすべりを起こす。地形的には、水を集めやすい所に発生しやすい。</p> <p>(注)土石流堆積物の崩壊は、崩積土または段丘堆積物とほぼ同じに取扱える。土石流堆積物は問題となるようながけ面を形成することが比較的少ない。</p>	

図 2-2(1) 地盤の状況（「新・斜面崩壊防止工事の設計と実例-本編」 p.23 から引用）

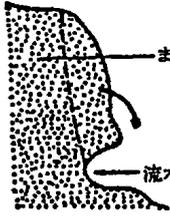
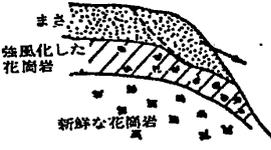
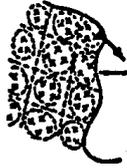
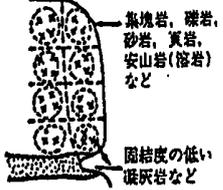
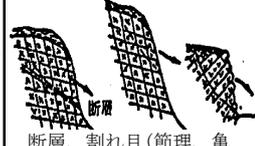
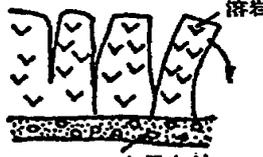
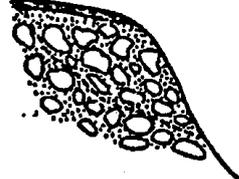
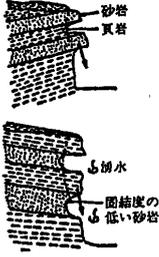
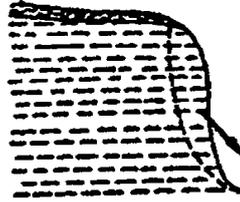
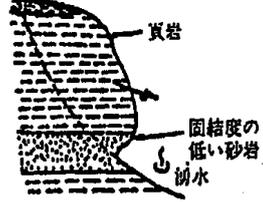
強 風 化 岩 +A5 9:W 111	5-(1) 強風化岩の崩落		5-(2) 強風化岩の滑落	
			5-(2)-a まさ	5-(2)-b 温泉余土
	 <p>まさまたは温泉余土</p> <p>流水によりえぐられた箇所</p> <p>例が非常に少ないが、がけの下部が流水によって侵食された場合に見られる。</p>		 <p>まさ</p> <p>強風化した花崗岩</p> <p>新鮮な花崗岩</p> <p>まさの滑落は、砂層化した強風化花崗岩が弱風化した花崗岩との境界面ですべるもので、その厚さは厚くて2m以下である。</p>	 <p>流理または層理に沿って特に著しく変質し、いわゆる温泉余土になっている。</p> <p>安山岩、集塊岩など、全体に変質を受け二次鉱物ができている。</p> <p>温泉変質地帯では熱水、熱気および温泉の作用によって、安山岩、集塊岩などが変質を受け全体に軟弱化しており、このうちでも特にある流理または層理に沿って粘土化(温泉余土)しているところの層沿いに滑落する。</p>
岩 I 軟 岩	6-(1) 岩 (I) の崩落		6-(2) 岩 (I) の滑落	
	6-(1)-a ブロック状	6-(1)-b 互層	6-(2)-a 境界面	6-(2)-b 断層、割れ目
	 <p>ほとんどすべての岩石について見られるが、わが国では花崗岩、石英斑岩、石英粗面岩、閃緑岩、那岩、安山岩、礫岩、集塊岩などの場合が多い。</p> <p>降雨、凍結などで割れ目が緩んだとき、ブロックの崩落(落石)が生じる。地震時にはよく起こる。</p>	 <p>集塊岩、礫岩、砂岩、頁岩、安山岩(溶岩)など</p> <p>固結度の低い凝灰岩など</p> <p>互層になっているとき下層が侵食に弱く、上層が残されているもの。</p>	 <p>砂岩</p> <p>頁岩</p> <p>砂岩</p> <p>頁岩</p> <p>砂岩と頁岩の組み合わせなど、特に強度、透水性の異なる互層に多い</p>	 <p>断層</p> <p>断層、割れ目(節理、亀裂)の方向性、密度、状態が主要要素で、これらの組み合わせによって種々のすべり面ができる。</p>
岩 I 硬 岩	6-(1) 岩 (I) の崩落		6-(2) 岩 (I) の滑落	
	6-(1)-c 下部が弱い	6-(1)-d 溶岩	6-(2)-c 礫岩、集塊岩	
	 <p>断層などがこのような状態にあれば特に崩落しやすい</p> <p>同一の地層でも、下部が侵食に弱く、上部が残っているもの。</p>	 <p>溶岩</p> <p>レキ層など</p> <p>溶岩(特に安山岩質)の末端部などで発生することが多く、非常に高いがけとなっており、その節理(柱状節理)面から剥落する。火山地帯の河岸や海岸で見かける。</p>	 <p>礫岩、集塊岩で、礫と粘土、石灰岩、火山灰などの膠結部の境界沿いに滑落するもの。</p>	
岩 II	7-(1) 岩 (II) の崩落		7-(2) 岩 (II) の滑落	
	7-(1)-a 互層	7-(1)-b 第三紀層	7-(2)-a 頁岩、層理面	7-(2)-b 砂岩、頁岩の互層
	 <p>砂岩</p> <p>頁岩</p> <p>湧水</p> <p>固結度の低い砂岩</p> <p>互層になっているとき、侵食に強い層が残り、それが崩落する。</p>	 <p>表面近くに(普通30cm以内)表面乾燥によるクラックが表面に平行して発生し、これを境にして崩落する。</p>	 <p>第三紀層の頁岩は非常に風化しやすい。層理面から風化が進むことが多く、層理沿いにすべることになる。下部に砂岩などの透水性の高い地層があるときは、この傾向が助長される。</p>	 <p>頁岩</p> <p>固結度の低い砂岩</p> <p>湧水</p> <p>新第三紀層で砂岩の固結度が低く湧水によって洗い流され、えぐられている場合などによく見られる。</p>

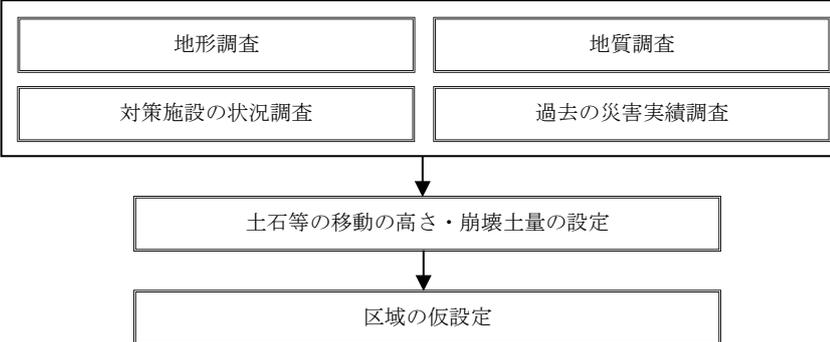
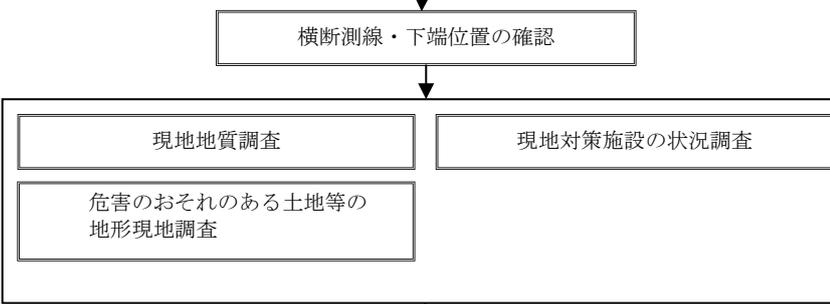
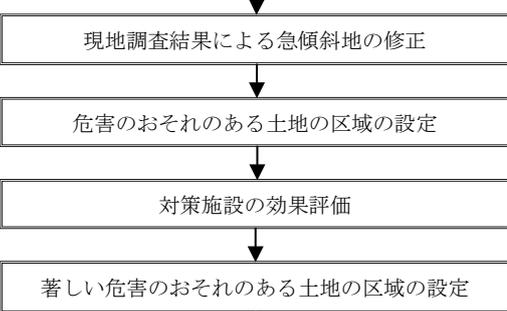
図 2-2(2) 地盤の状況 (「新・斜面崩壊防止工事の設計と実例-本編」 p.24 から引用)

2.3 急傾斜地の崩壊基礎調査

急傾斜地の崩壊基礎調査は、「基礎調査マニュアル（案）急傾斜地の崩壊編 平成 19 年 10 月（二訂版）」に基づき実施する。

下表に、調査の項目と手順を示す。

表 2-3 急傾斜地の崩壊基礎調査、調査項目と手順

<p>1. 区域設定のための の事前机上調査</p> <p>地形調査により急傾斜地の下端・上端を決定するとともに、区域を仮設定する</p>	
<p>2. 区域設定のための の現地調査</p> <p>机上設定した急傾斜地の下端等について確認するとともに、斜面の地質状況、対策施設状況等を把握する</p>	
<p>3. 区域設定</p> <p>事前区域調査・現地調査結果に基づいて区域を設定する</p>	
<p>4. 区域内調査</p> <p>確定した区域内の土地利用状況等について机上および現地にて把握する</p>	
<p>5. 調査結果の整理</p>	

2.4 本調査

2.4.1 目的および一般的留意事項

本調査は安全性の確保に加え、環境にも配慮した対策工法の種類を決定し、対策工の詳細な設計、施工法を検討するために行うものである。

本調査は防止工事の位置、工法、規模等の決定のために、崩壊地形、規模、崩壊要因の想定、崩壊危険度の予測および構造物の設計施工に必要な斜面の地盤条件、土質特性を調べることを目的とする。

この段階の調査は現地地形・地質精度および物理探査、ボーリング等を主とした地質・土質の精密な調査が主体となる。なお、本調査は斜面規模、崩壊形態の予想の難易、施工基盤の安定性によって表 2-4 に示す 3 つの調査レベルに区分することができる。

すなわち、一般に斜面高が小さくまた勾配も緩い斜面では、地層構造が単純で現地踏査で明らかにし得る場合には、それだけで設計・施工計画をたてることができる。しかし斜面規模が大きく、地層構造もやや複雑で現地踏査だけでは明らかにし得ない斜面では、簡易サウンディングやボーリングで地質構成、構造、風化の程度、不連続面や割れ目の発達などを確認する必要がある。さらに高さの大きい斜面については、現地踏査によって十分内部の状況が把握できる場合以外は、弾性波探査等の広域探査を実施して検討を立体的に進めることが必要である。

また、詳細な安定の検討が特に重要と考えられるのは、以下のような斜面の場合である。

- ① 現在までに地すべりや崩壊の履歴があり、不安定な状態にあると予想される斜面。
- ② 既存の斜面調査から、妥当と判断される標準勾配より急な切り取りを行う場合。
- ③ 崖錐堆積物や表層被覆層等の高透水性の土層と岩盤との境界面が急斜面になっていて、その傾斜と同一方向にのり面をつくる場合。
- ④ 地下水位が高く湧水が多い場合
- ⑤ 構造線、すなわち断層や破碎帯の存在が確認もしくは予想される場合、あるいは空中写真上でリニアメント等が認められる斜面。
- ⑥ 吸水膨張や風化等により強度が急速に低下しやすい岩（土砂）で構成される斜面。

2.4.2 調査の種類および計画

本調査では、原則として地盤調査および環境調査を行うものとする。

本調査の種類には、現地精査および以下の①から⑧に示すサウンディング、物理探査、土質試験等があり、本調査の中の個々の目的によって以下のように選択される。なお、現地における露頭観察は、①から⑧すべての基礎であって、観察結果に基づいて①から⑧の具体的な計画をたてる。

- ① 想定される崩壊の位置および規模の推定：サウンディング類、物理探査、ボーリング等。
- ② 滑落面の推定：サウンディング類、物理探査、ボーリング等。
- ③ 地質構成および各地質の力学特性、透水性の変化：サウンディング類、物理探査、ボーリング、土質試験、透水試験等。
- ④ 地表付近の水の挙動：透水試験、物理探査、間隙水圧測定等。

- ⑤ 地下水の挙動：地下水位観測、地下水追跡試験、地下水検層、間隙水圧測定、揚水試験等。
- ⑥ 土質の性質：土質物理試験、土質力学試験、サウンディング類等。
- ⑦ 岩盤の性質：岩石の物理試験、岩石の力学試験、物理探査、ボーリング等。
- ⑧ 斜面の挙動：伸縮計、傾斜計による地表変位調査、地中ひずみ計によるすべり面調査、間隙水圧測定、地下水位測定等。

この場合、2.4.1 で述べた留意点をよく認識したうえで現地精査を行い、表 2-4 および表 2-5 を参考に本調査の計画をたてる。表 2-5 は、崩壊形態分類ごとに適用される調査方法を整理したものである。表 2-4 は対象斜面の概要からみた調査レベルの目安を示したものである。

経費および工期の制約と、不均質な斜面において調査結果を用いて斜面の安定計算および対策工の設計計算を直接的に行う方法が十分には確立されていない理由から、実際にどんな本調査を行うのが最も妥当であるかは画一的には決めにくい。したがって個々の現場の実態および予定される対策工種に合わせて、現場技術者の判断により決定せざるを得ない。しかし当然ながら調査の粗密は対象斜面の状況に合わせて決定する必要があり、具体的にはいくつかの調査レベルを設定して対応するのが妥当であろう。以上の理由により、調査レベルの目安を示したものが表 2-4 である。

表 2-3 には対象斜面の状態に応じた調査レベルの目安をⅠからⅢの 3 段階に区分した。近隣に施工例が多いような対象斜面では、レベルⅠもしくはⅡまでの調査で、十分斜面の状況を把握できる場合が多い。

表 2-4 標準的な調査レベルの目安

調査レベル	調査対象斜面の概要	標準的な本調査内容 (予備調査にプラスする調査)
Ⅰ	<ol style="list-style-type: none"> 1. 斜面高さが小さくて勾配も緩い 2. 地層構造が単純で現地踏査で明確にできる。 3. 想定される崩壊規模が非常に小さい。 4. 崩壊歴がない。 5. 施工過程における斜面の不安定化の恐れがない。 	<p>地質構造、地表面の変状の把握および崩壊形態の想定を主目的とする現地精査（地表地質調査）に重点を置き、必ずしもサウンディング等を実施する必要はない。</p>
Ⅱ	<ol style="list-style-type: none"> 1. 斜面高がやや大きく勾配もやや急。斜面高は小さいが勾配が急 2. 地層構造がやや複雑で地表地質踏査だけでは明確にしにくい。 3. 想定される崩壊規模がやや大きい。 4. 小規模な崩壊歴がある。 5. 施工過程における斜面の不安定化の恐れがややある。 	<ul style="list-style-type: none"> ・地表地質調査 ・簡易サウンディング（簡易動的コーン貫入試験、ポータブルコーン貫入試験等） …2, 3測線（測線間隔は5～20m程度） ・ボーリング…1本以上 (構造物等の基礎の確認が必要な場合は特に重要となる。)
Ⅲ	<ol style="list-style-type: none"> 1. 傾斜高が大きく、勾配もやや急。 2. 地層構造が複雑で簡易なサウンディングだけでは明確にしにくい。 3. 想定される崩壊規模が大きい。 4. 中規模以上の崩壊歴や斜面の異常変状がある。 5. 施工過程における斜面の不安定化の恐れがある。 	<ul style="list-style-type: none"> ・地表地質調査 ・ボーリング…2, 3本以上 ・サウンディング（簡易動的コーン貫入試験、ポータブルコーン貫入試験、スウェーデン式サウンディング、標準貫入試験）…数測線（測線間隔は5～20m程度） ・弾性波探査（測線間隔は10～20m程度） ・土質試験

表 2-5 崩壊形態と各種調査方法

崩壊分類		調査方法	ボーリング	サウンドイング				物理探査			地下水調査				地表面調査	土質定数強度試験			斜面変位調査 傾斜計・ひずみ計・伸縮計
				土研式簡易貫入試験	S H型貫入試験	標準貫入試験	スクリーウエイト貫入試験	ポータブルコーン貫入試験	弾性波探査	電気探査	地下レーダー探査	地下水位調査	地下水追跡	地下水検層		透水試験	土質力学試験	土質物理試験	
		記号																	
表土	崩落	1-(1)	△											△					
	滑落	1-(2)	◎	◎					◎				○	○	○	○		△	
崩積土	崩落	2-(1)																	
	滑落	基盤との境界 崩積土中の滑落	2-(2)-a 2-(2)-b	◎ ◎	◎ ◎	◎ △	◎ ○	△ △	◎ △	○ △	○ ◎	◎ ◎	○ △	○ ○		○ ○	○ ○	△ △	
火山砕屑物	崩落	シラス・ローム等の崩落 風化した集塊岩、凝灰角礫岩等の崩落	3-(1)-a 3-(1)-b																
	滑落	シラス・ローム等の滑落	3-(2)	◎	○	◎	△	△	△	△	△	◎	○	△	○	○	○	△	
段丘堆積物	崩落	シルト層等の不透水層がある場合 礫を含むルーズな堆積物からの礫の抜け出し	4-(1)-a 4-(1)-b	○															
	滑落		4-(2)	◎	○	○	△		○	○	◎	○	○	○		△	△	△	
強風化岩	崩落		5-(1)																
	滑落	マサの滑落 温泉余土	5-(2)-a 5-(2)-b	◎ ◎	◎ △	○ ○	△ ○	△ ○	◎ ○	△ ○	◎ ◎	○ ○	△ △	△ △	○ ○	○ ○	△ △	△ △	
岩 I	崩落	割れ目で囲まれたブロック崩壊	6-(1)-a	△					△		○							△	
		互層になっているとき、下層が侵食に弱く上層が残されているもの	6-(1)-b	△					△	△								△	
		同一地層でも下部が侵食に弱く上部が残っているもの	6-(1)-c	△					△	△								△	
		溶岩の節理による崩落	6-(1)-d	△					△	△	△		△					△	
	滑落	地層の境界面での滑落	6-(2)-a	◎		△			◎	△	△	△	△	△				△	△
		断層割れ目の組み合わせによる滑落	6-(2)-b	◎					○	○	△	△	△					△	△
		礫岩、集塊岩で礫と粘土、石灰岩火山灰等の膠着部の境界沿いに滑落	6-(2)-c	◎		△			△				△					△	
岩 II	崩落	互層になっていたとき、侵食に強い層が残りそれが崩落	7-(1)-a	△					△	△									
		第三紀層の頁岩の表面剥離による崩落	7-(1)-b																
	滑落	頁岩の層理面沿いの滑落	7-(2)-a	◎	△		○			○	△		○	△				△	△
		砂岩、頁岩の二層にまたがる滑落	7-(2)-b	◎			○			○	△		○	△				△	△

◎一般によく用いられる方法 ○必要に応じてしばしば用いられる方法 △場合により用いられる方法
注) 崩壊分類については図2-2を参照のこと。

2.4.3 現地精査

予備調査時の現地踏査をもとに、特定斜面の工法検討のためにさらに詳細な踏査（現地精査）を行う。現地精査に際しては特に次の諸点に注意すべきである。

(1) 地形調査

現地精査の際、地形調査で大切なことは、次のような点である。

- ① のり面やそれに続く背後の自然斜面や台地面などにおける集水状況、すなわち降った雨が斜面のどこに集まり、どういう流下経路をとるか。
- ② 地すべり地形とは言えないまでも、斜面部に崩土や崖錐、削り残しの段丘や地すべり土塊等、未固結の堆積物が局所的に分布して、すべりや崩れの予備物質になっていないか。
- ③ 表 2-6 のような変状が、路面やのり面や自然斜面、斜面近傍の構造物等に表れていないかどうか詳しく観察し検討する。

具体的には斜面形状、オーバーハングの有無、斜面勾配、集水範囲、斜面の向き、比高、斜面長のほか、斜面勾配の変換点（その上下付近が崩れやすい）、小さな沢形地形、斜面上の細かなくぼみ、背後地の地形や土地利用とそこからの降雨時の表面水の流路など微地形を精査するとともに、それがどのようにしてできたかを地形、地質的に考察し、崩壊形態の想定と危険度判定に結びつける。

また斜面途中の平坦地や緩斜面、段落ち、亀裂分布とその成因等にも注意する。

表 2-6 建物や構造物等に表れた変状の徴候

建物・構造物	変動・変状・破壊の状況
建物	①壁にクラックの発生 ②壁の剥離 ③床下のタタキにクラックや段差（落差の形成） ④建物の傾動 ⑤建物の土台（地盤）に段差
擁土留壁	①縦方向クラックの形成 } 圧縮クラック ②縦方向段差の形成 } (地すべり末端付近に多い) ③水平方向クラックの形成 } 引張クラック ④水平方向段差の形成 } (地すべり頭部付近に多い) ⑤壁面全体の傾動（脚部の動く方向が地すべりの動きの方向） ⑥壁面全体の沈下
側溝	①横断方向にクラック形成 } 圧縮によるもの ②横断方向に段差形成 } (地すべり末端付近に多い) ③側溝の圧損
道路	①路面がある幅にわたって帯状に隆起もしくは沈降（起伏形成） ②路面横断方向にクラック形成 ③切土のり面にクラック形成 ④路面の水平移動（線形のはらみ出し） ⑤切土のり面からの湧水 ⑥山側端部舗装の盛り上り
トンネル	①横断方向にクラック形成 } 圧縮によるもの ②横断方向に段差（落差）形成 } (地すべり先端付近に多い) ③側溝の圧損 ④水路トンネルからの水漏れ
井戸	①井戸にクラック形成 ②井戸の切断 ③井戸の傾動 ④地下水位の変動（急増や急減） ⑤井戸水の濁り（白濁、赤褐色、臭気）
その他	①砂防ダムの袖部にクラック形成 ②砂防ダムの破損 ③ため池の減水 ④墓石の傾動 ⑤川水の濁り ⑥局所的隆起・陥没

※寒い地方では、凍上によって側溝が圧損を受けることがあるので、注意を要する。

(2) 地質調査

斜面周辺の微地形を調べ、近隣の崩壊地で崩壊した地層の崩壊面をよく調べる。崩壊は同じような地層で起こることが想定されるため、近隣の崩壊事例を対象斜面に適用できる。岩石の異方性が強い岩盤斜面については、地層の走向・傾斜測定を実施し対象斜面が流れ盤か受け盤かを判定する。地表の山腹斜面より緩い地層の傾斜をもつ流れ盤斜面は、崩壊の素因となるからである。これに対し、受け盤側には小崩壊が発生しやすい。ただし、未固結・半固結の地層では受け盤構造と崩壊に明瞭な関連がない。露頭では風化の程度、硬さ、雨滴侵食や流水による侵食への抵抗度、断層の正確な位置と状態、弱層の分布、岩の割れ目の状態、土層・地層の境界等を調べる。また境界面はすべり面となる通水経路を形成するので、2つ以上の地層があれば、その境界面が傾斜のどこに表れるか、またそれが地形的な境界（例えば傾斜変換点）として表れているかどうかを調べる。表土層、崖錐堆積物、強風化層は崩壊しやすいからその規模と分布を調べる。

(3) 湧水調査

地表から浸透した水は一部土層中の間隙などの水みちを通り、斜面上に湧水として出てくるものがある。いつもはあった湧水の量が降雨により急増したり濁ったりする箇所は、そこを中心に崩壊が発生する例が多い。湧水の状態を斜面を含む区域内で三次元的にとらえ、表土層の下の基盤の谷地形あるいは断層・破碎帯の位置、延長方向等の関係で検討することが大切である。付近に井戸があればその水位の変化を調べておく。降雨により水面が急激に上昇するような場合、その斜面の崩壊危険度は一般に高い。

(4) 植生調査

樹種・密度を調べる。一般にタケ・スギは地下水の豊富な所にあり、マツ、ヒノキ等は比較的透水性の良い地盤にある。勾配が近似した周辺斜面に樹木が繁茂しているのに、植生が草本のみからなる斜面は崩壊履歴があり、不安定な斜面となっている可能性がある。植生の分布にも注意する必要がある。植林の場合は経営目的のためか治山のためか、伐採を最近行ったかを調べる。伐採後樹木の根系は腐食し始め、数年から10年後最も地表の状態が悪くなるとされている。樹木の曲がりが見られる場合は、これが雪によるものか土層のクリープによるものかを識別する。

樹木の樹高が高くなると、強風等の風倒や地割れを機に雨水が浸透して崩れやすくなる。

なお、緑化工のための植生調査は第5章を参照すること。

(5) その他の調査項目

(i) 表土層、崩壊土層等の分布・厚さ

自然斜面の崩壊の約半数は表土層・崩積土層の滑落である。表土層・崩積土層の分布、厚さ、締まり具合、構成物質、基盤との境界面の勾配、境界面での降雨時の浸透水の浸み出しの有無等を調べる。また凍上等による表面近くの土層の緩み、落石の原因となる浮石の有無にも注意する。

(ii) 斜面の改変

斜面上の盛土、斜面末端の切土、斜面上への水の放流等は危険である。特に、切土斜面上の台地または自然斜面で、集水地形になっていないかどうか、あるいは、台地上の排水溝の破損等によって、流水が切土斜面上に流入していないかなどをよく調べる。盛土、切土、流路変更等の斜面を変える行為があるかどうか、その位置、規模、施工時期等を調べる。また、これらの目的が危険防止のためのものか土地利用のためのかを調べる。危険防止のためであれば、それが十分に防止効果をもっているかどうかを確認しておく必要がある。

(iii) 防災工事

斜面上に既往の防災工事が施してある場合は、その斜面は崩壊履歴があるか、あるいは危険であった斜面であることが多い。その目的が崩壊防止、崩壊の復旧あるいは土地利用を行ったためのものかの違いはあるが、いずれの場合でも完全なものでない限り崩壊の危険性を持っている。防災工事の種類、施工時期、位置、安定度、斜面上に変状が表れていないか、防災工事を施さねばならなかった本質的な原因がどこにあったか等を調べておく。

(6) 現地精査による崩壊形態の想定

本調査段階での現地精査の着眼点についてこれまで述べたが、これらをもとに崩壊形態の想定を行なうことは本調査で最も重要であり、対策工を検討する際の基本となる。本調査時の崩壊形態の想定についてまとめると次のようになる。

まず、斜面形成の地質的・地形的解釈、すなわち、どのような地質・地形変遷を経て現在ある斜面になったのかについて解釈をたて、その後次の 5 つの方法による調査の結果を総合的に検討して、できるだけ崩壊形態を正しく想定する。

- ① 近隣の崩壊地の性状の調査：対象斜面と対比する。
- ② 不連続面（崩壊面）の想定：強度を規制する不連続面（例えば地層境界、風化境界、亀裂面、断層面等）は露頭観察、ボーリング、サウンディング、物理探査等で把握する。水に関する不連続面は、主に露頭および湧水箇所観察、原位置透水試験で把握する。
- ③ 斜面形状より崩壊面を想定：微地形を精査することにより、崩壊面が想定できることがある。図 2-3(a)のようにオーバーハングしていれば、その崩壊面は予想しやすい。図 2-3(b)のような縦断形状の斜面では、傾斜変換点が崩壊の頭部になりやすい。

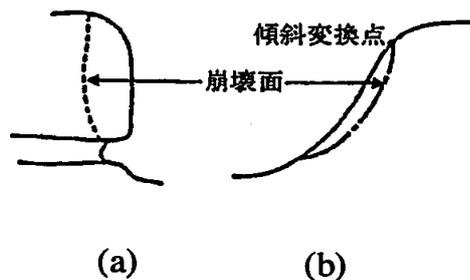


図 2-3 崩壊面の想定

④ 現在見られる斜面の変状より崩壊面を想定:斜面上部に見られる亀裂あるいは斜面中部～下部のはらみ出し等が見られる場合は、確認された変状から崩壊面の形を推定する。

⑤ 崩壊要因を対象とする斜面に当てはめてみる:降雨による崩壊要因には、1)表面流水による侵食、2)間隙水圧の上昇、3)含水による地盤の強度低下、4)含水による地盤の重量増、5)パイピングによる局部崩壊とその進行、6)風化の6つがある。これらを対象斜面に当てはめ、その斜面がある崩壊要因を受けやすいと判断されたら、その崩壊要因によりどのような崩壊形態になるかを想定する。

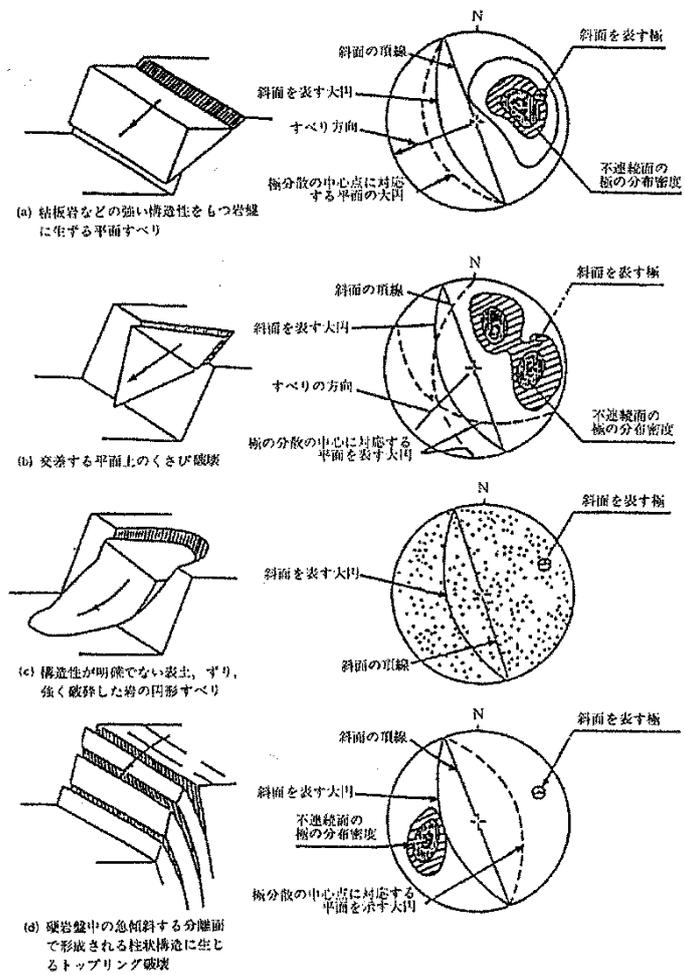


図 2-4 割れ目分布パターンと斜面崩壊タイプ

⑥ 岩盤斜面では対象地とその周辺域の割れ目系統（断層や層理、節理、片理等）の走向・傾斜を多数箇所測定して、その結果をシュミット・ネットに投影し、割れ目方向の集中度から、斜面破壊形態のタイプを想定することも効果的である(図 2-4)。

2.4.4 地盤調査および土質試験等

(1) ボーリング

ボーリングは主に斜面の土層・地層構成の把握、土質試験用 資 試料の採取、標準貫入試験・透水試験等の原位置試験、地下水測定等のために行われる。特に採取したコア観察を行うことにより、地下深部の地質状況を直接把握することができ、他の調査に比べ、多くの情報を得ることができる。このほか場合によっては各種の検層、ボーリング孔を利用した変形試験、パイプひずみ計等による地中動態調査などの目的で行われることがある。

斜面は足場が悪くボーリング機械の設置が困難なことが多いが、地下構造の詳細把握が必要な場合は、多少経費がかかってもボーリングを行う。

ボーリングの実施地点は一概に決め難いが、現地踏査、地表地質調査の結果、斜面の安定上問題となる箇所に実施する。

ボーリングは原則としてオールコアリングで行い、コア採取率をできるだけ上げるように

することが大切である。コア箱に整理するときは、採取率がたとえ悪くても空間をつめずに実際の採取状況が正確にわかるようにする。コアの判定は最も重要なので、岩種、コアの形（棒状、塊状、砂状、土状）、構成粒子の大きさ、コアの長さ（亀裂間隙）、硬さ（締め具合）、色、岩組織、風化・変質の程度などの状態を正確に記載する。

斜面の安定には、地表水や地下水が密接に関係してくる。したがってボーリングの際に地下水位、湧水・漏水の有無について正確な記載を行うことが必要である。例えば、ボーリングの記録によく“全送水量漏水”という記載がある。このような場合には、必ず地下水位（孔内水位）を測定しておくことが重要である。地下水位が地表面下 -2m であるか -20m であるかによって、全量漏水の意味は異なってくる。いずれにせよ漏水が著しいということは、ボーリング孔内水と地層中の水、割れ目の水とが連絡していることを示しているのであるから、そのときの孔内水位は正確な地下水位を示すと考えられるのである。孔内水の急激な変化は崩壊面となり得る水理構造的な不連続面の特定に有効である。

(2) サウンディング

サウンディングは土質調査に従来使用されているもの、または斜面で使いやすいようにこれを簡易化・軽量化したものが用いられている。調査目的はいずれも、想定される崩壊位置および規模の推定、崩壊危険土層の厚さ・分布・滑落面の推定、基盤面地形・土層構成・土層の強度・密度およびその不連続等を調べることである。自然斜面の地盤は材料としてみた場合不均質であり、また同種の地質でも地域差があるから、サウンディングに際しては近隣の露頭等の肉眼での観察とサウンディング値との相関を求めておくことが大切である。またこれをあわせて、代表地点でのボーリングコアとサウンディング値、あるいは弾性波速度値などの各種試験値間の対比も重要である。

一般に斜面でよく用いられるサウンディングの種類には、簡易動的コーン貫入試験（土研式簡易貫入試験、表層構造調査用の簡易貫入試験（SH型貫入試験）等）、標準貫入試験、スクリュウウエイト貫入試験等があり、調査密度はサウンディングの種類と斜面の状況（対象土質、強度範囲、探査深度、作業性）に応じて判断する。サウンディングにはそのほかにも静的・動的試験がいくつかあるが、いずれも原理的には同じである。

(3) 土層観察・サンプリング

斜面の本調査でよく用いられるサウンディング、物理探査等は間接的に地下構造を推定しようとするものであり、これらの結果を肉眼で確かめるために土層観察は必要である。付近に露頭があり地層断面が見られる所は最もてっとり早い、それが無い場合あるいはあっても試験地の中央部にはない場合には、ボーリング、オーガボーリングによる土層観察を行う。

土層観察に関して、オーガボーリングは作業が簡単であり、浅い地層の観察を行う場合は非常に有効である。テストピットは深さが 2m 程度までの地層を観察するには地層配列をあるがままの状態を観察でき、また土質試験用試料を採取することができるので非常に有効である。掘削に際しては、斜面地盤を緩めて不安定にしないよう注意が必要である。

サンプリングは土質試験のための試料を採取することを目的として行うものであるから、

設計・施工において必要とされる土質試験結果を考慮して、そのための試験法に適したサンプリングを実施しなければならない。

一般の斜面調査で行う土質試験はほとんどの土の物理的性質を評価する試験であるから、そのためには攪乱試料の採取でよく、標準貫入試験のサンプラーを利用するかオーガを用いてよい。サンプリングをする深さは土層の変わるごとに各層の中央部に近い所を原則とし、特に自然含水比の測定のためには表面より 1m 以深の試料を採るよう心がける。

斜面の安定解析に用いる土質定数は不攪乱試料を用いた土質試験から求めることが望ましいが、不攪乱試料のサンプリングはやや高価となる。通常のボーリングやオーガボーリングの試料は乱されていて、不攪乱試料による土質試験を行うには不向きであるが、特殊なサンプラーを用いればボーリングによっても不攪乱試料を採取することができる。

ある程度大量の試料が必要な場合にはピットを掘って試料を採取するのが適切であり、不攪乱試料を採るときには試料を塊状に切り出すブロックサンプリングを行うことを検討してもよい。

地層の固結度が低いマサ土や火山灰質土などではネイルサンプリングによる試料採取も有効である。

(4) 物理探査

斜面調査に使える物理探査は弾性波探査、電気探査（とくに高密度電気探査）、電磁探査（地下レーダ探査）である。これらは、ボーリング、サウンディング等の調査法と比較した場合、地下情報を短時間で広範に調査できる利点がある。その反面得られるものが間接値であるので、それから地下構造を解析するにはかなりの熟練を伴う。また斜面では人家等が近くて弾性波探査時に火薬を使わず、木槌等による打撃を起震源として使用せざるを得ない等の制約を受ける場合もある。

物理探査では弾性波探査が最もよく用いられる。弾性波探査の目的は、地層の不連続面（想定崩壊面）の位置・形状、弾性波速度値による各地層の種類と強度等の目安（評価）および地下構造の推定にある。

斜面における弾性波探査は、一般的には、①等高線沿いに近い方向と、②これに直交する方向または最急勾配の方向とする（ボーリングやサウンディングの地点があれば、その地点を測線が通るようにするのが望ましい）。主測線長は探査目標深度等によっても異なるが、一般的には対象となる地下構造の予想測定深度の 7 倍以上必要である。普通、斜面で人力（かけや等）を起震力にする場合、波の到達時間が読み取れるのは、最大数 10m 離れた受震器までである。しかしこの場合は立上がりシャープでないことが多いから、中間に 1～2 点副起震点を設けることが望ましい。

弾性波探査の結果はあくまでも数値情報(速度値)である。このため大変有効に利用できる反面、地表地質調査やボーリング、テストピット、トレンチ等の結果と合わせて総合的に検討しないと誤った判断を下すことになる。このため、ほとんどの調査がそうであるように、個々の調査にかかわらず、広い視野での総合的な判断を行うことが大切である。

弾性波探査の測定間隔は 5～10m であるから、時間の測定精度を 1×10^{-2} sec 程度とすると、

0.5km/sec 程度の有意差のある速度ということになる。また、速度層の有意差を検出しようの
は、1：2 程度の速度差が認められる場合であるから、

- ① 第 1 層：0.3～0.6km/sec
- ② 第 2 層：0.6～1.2km/sec
- ③ 第 3 層：1.2～2.4km/sec
- ④ 第 4 層：2.4～4.8km/sec

程度の区分が可能である。この速度差は複雑な地質構造でない限りは、地質の相違よりも風化
程度に依存する要素が強く、一般的な解析方法の制約から地表面にほぼ平行な速度層境界が
求められる。花崗岩地帯を例にとれば第 1 層が表層土に、第 2 層が強風化帯に、第 3 層が弱
風化帯や第三紀地層などに、第 4 層が比較的新鮮な岩盤に対比されるのが一般的である。断
層破碎帯や固結度が非常に低い地層を挟有する場合は、垂直方向の低速度帯として検出され
る。なお、地下水位の存在により、有意な速度差が検出できない場合もあるので留意する必要
がある。また、弾性波探査を人家の近くで実施する場合には、住民への周知と認可を得たうえ
で、実施時の防災に努めなければならない。

電気探査には自然電位法・強制分極法・比抵抗法などがあるが、斜面調査では比抵抗法がよ
く使われる。電気探査は単位体積の電気抵抗（比抵抗値）を測定し、その特徴から地質状況を
判定するもので、垂直探査法と水平探査法がある。最近では多芯ケーブル・多電極を使ってこ
れら両者を同時に行う高密度電気探査法が、低コストで精度のよい成果をもたらすためによ
く用いられる。電気探査では、普通、①地下水位、②地質構造、③地すべり土塊と基石との境
界、④断層の位置、⑤空洞の位置などが把握できる。

地下レーダ探査も比較的手軽に行うことのできる物理探査で、岩盤斜面の亀裂分布状況や
斜面表層部の風化土層の厚さなどが把握できる。

電気探査や弾性波探査の解析手法としては、ジオトモグラフィーが最近よく使われる。

(5) 表流水・地下水の調査

これは誘因に関する調査である。斜面あるいはその周辺に降雨があった場合、まず地表水の
斜面への流入は斜面の表面侵食や表土層の重量化とせん断力の低下をもたらす。これに関し
ては、後背地より斜面へ流入する流路、すなわち地表水の集中する部分あるいは底流水が伏流
する地点の位置、およびその流量・流速を知る必要があるが、これらは対象斜面とその上流側
の現地踏査時に微地形および地表の植生等による被覆状況の調査によりある程度推測するこ
とができる。一方、地表踏査によって、斜面における湧水地点を詳しく把握する。湧水地点は、
地下水の“露頭”であって、その付近の地下水位を描く際の鍵となる。

一方、地表より浸透した水は、地盤の含水によるせん断強度低下、重量増、間隙水圧の発生
をもたらす。地下水調査で大切な点は、①平常時での地下水位、②その地下水の移動形態と経
路、③降雨時の地下水位変動の状況などであり、一般に地下水位変動の大きいところほど崩れ
やすいので、崩壊発生の目安となる。浸透水の挙動は、相対的な不透水層の地形（例えば基盤
となる岩の凹状など）および地盤の性質によって左右され、これらはサウンディング、地層観
察、湧水箇所等の調査等の結果が大いに参考になるが、これとは別に地層の浸透、透水などの水

の動きに対する性質を直接的に調べる方法として、原位置における透水試験、地下水検層、地下水追跡等がある。浸透・透水に関する不連続面を調べることはすべり面を想定する際の手順の一つであり、また地層へ浸透した水がどのようにして斜面の途中で湧水として出てくるかを知る手がかりにもなる。

地下水は、その動きが極めて複雑であるから、地下水調査においては、前述したことのほか以下の点に着目しておく必要がある。

- ① 周辺の地域の地下水調査を行い、特に湧水の状況には注意する必要がある。
- ② 降雨および季節により変動が多いので、調査の時期・期間について十分検討しておく必要がある。
- ③ 地質構成、地質構造、地形との相関において地下水の挙動が説明できるよう、関連の調査に注意を払う必要がある。断層の上下に必ずボーリング地点を配置し、断層による地下水位のギャップを正しく把握しておくことが大切である。

(6) 土質試験

斜面の安定計算や対策工の設計条件の設定などで、地盤の諸性質の把握が必要な場合には、土質試験を実施する。特に風化岩盤の侵食性や風化に対する耐久性などを検討するためには、岩石の諸性質の試験を実施する。また、地山の固結度や強度が低い地質、あるいは割れ目の多い破碎帯などでは力学試験を実施して、土層もしくは破碎された岩盤の性質を定量的に把握しておくほうがよい。

物理試験は地盤の基本的な性質を知るための効果的な方法であり、以下の試験項目、方法がよく用いられる。

- ① 土粒子の密度試験 (JIS A 1202)
- ② 土の含水比試験 (JIS A 1203)
- ③ 土の粒度試験 (JIS A 1204)
- ④ 土の液性限界試験 (JIS A 1205)
- ⑤ 土の塑性限界試験 (JIS A 1205)

なお、塑性指数 (PI) の低い砂質土等では液性限界・塑性限界試験が実施できない場合がある。PI の低いマサ土では、スランプコーンによるコンシステンシー試験を実施して、液性限界に相当する流動限界を求める方法も提案されている。

安定解析を行う場合で、土の斜面に対しては、次のような力学試験や物理試験を対象斜面の状況を考慮して実施する (これらの試験は主に不攪乱試料を用いて行う)。

- ① 土の一軸圧縮試験 (JIS A 1216) : 原則として PI (塑性指数) > 30 の粒性土で不攪乱試料が採取できた場合に行う。
- ② 土の三軸圧縮試験 (JGS 0520~0524) : 一軸圧縮試験よりも精度の高い土質定数が得られるが、やや高価である。試料の土質などを考慮して試験条件を選択する必要がある。
- ③ 土の一面せん断試験 (JGS 0560,0561) : 斜面が不連続面で崩壊する場合は本試験による強度定数のほうがより実現象を表すことができる。三軸圧縮試験よりも試料の量が少なく実施できる。

- ④ 土の透水試験 (JIS A 1218) : 浸透解析を行った後に安定解析を行う場合に実施するが、不攪乱試料に対して実施することは容易でないことから、攪乱試料を原位置の密度近くになるように締め固めたいくつかの供試体に対して行う。
- ⑤ 砂置換法による土の密度試験 (JIS A 1214) : 原位置試験。安定解析において単位体積重量は重要な定数であるので、できるだけ求める。
- ⑥ 土の湿潤密度試験 (JIS A 1225) : 一軸圧縮試験や三軸圧縮試験と供試体を併用することができ、単位体積重量が得られる。

岩の斜面に対しては、亀裂係数を求める場合や岩盤斜面の安定検討を行う場合には次のような試験を実施する。

- ① 岩石の一軸圧縮試験 (JGS 2521) : 一軸圧縮強度が得られる。
- ② 岩石の三軸圧縮試験 (JGS 2531~2534) : 粘着力、内部摩擦角が得られる。
- ③ 岩石の密度試験 (JGS 2132) : 単位体積重量が得られる。
- ④ 岩石の含水比試験 (JGS 2134)
- ⑤ 超音波伝播速度測定 (JGS 2110) : 地山岩盤の弾性波速度との関係から亀裂係数を求めることができる。
- ⑥ 岩石のスレーキング試験 (JGS 2124) : 風化のしやすさ等を推定することができる。類似した試験方法が各機関から提案されているので、現場条件により試験方法を選定するとよい。
- ⑦ X線回析試験 : 含有粘土鉱物から風化のしやすさ等を推定することができる。

なお、斜面から採取した試料の土質試験のうち三軸圧縮試験などの力学試験は、自然斜面が一般に不均質で異方性があり供試体の強度と地盤の強度特性が結び付き難いこと、地盤が不飽和であり含水比によって強度が変化すること、降雨時の斜面安定計算法が確定していないこと、および不攪乱試料の採取が容易でないこと等により行われることが少ない。また行われる場合でも、構造物基礎の地盤調査などに比べて実用上同等の精度は期待し得ず、一応の目安を得る程度にとどまる。地盤強度に関しては、斜面調査ではサウンディングのほうにウエイトが置かれることが多い。

(7) 斜面挙動調査

斜面挙動調査は斜面土層が移動するおそれのある場合、あるいは斜面上に亀裂があったり、構造物等に表 2-6 に示すような変状があり拡大し崩壊に至るおそれのある場合、すべり面沿いの動きがみられる場合など、斜面変動が予想される場合に行うものとする。この場合 GPS や伸縮計による地表変位調査、地中ひずみ計によるすべり面調査等を行う。最近では、地盤の変位によって発生する弾性波等をキャッチして、地盤の破壊を予測する AE 法の研究が進められている。現在、斜面の挙動を把握するためには表 2-7 のような計器類が使われ、計測は次第に自動観測体制に移りつつある。また、斜面崩壊防止工事施工時には安全管理用として、警報装置を取り付けたものが用いられることが多い。

表 2-7 斜面変動把握のための計器の種類

計器の種類	計測の対象	計測方法
(1) 落石の計器	落石の有無 落石の頻度 落石の衝撃力 落石による振動	落石受板、落石ネットなどで検知するか、あるいはビニール被覆線の断線により検知する。 検知板に当たった落石の回数、衝撃力を電氣的に計測する。 落石防護柵に振動計を設置し落石の衝撃を振動でとらえる。
(2) 地表変位計	地表の変位	伸縮計、変位杭などで地表の変位を計測する。
(3) 地盤傾斜計	地表の傾斜	気ほう（泡）管式傾斜計などで地表の傾斜を計測する。
(4) 地中ひずみ計	地中のひずみ	パイプひずみ計などで地中のひずみを計測する。
(5) 孔内傾斜計	地中の変位	ガイドパイプの変形量を定量的に累積的に計測する。
(6) 間隙水圧計	地山の間隙水圧	水圧を電氣量に変える電氣式のもの、マンメータで直接求める方法がある。
(7) 音または振動（A E 法）	地山内で発生する微小音または振動	音、振動を電氣量に変え、増幅して、強さ、頻度、波形、周波数などを計測する。
(8) 雨量計	累積雨量 雨量強度 実効雨量	雨量計と時間記録器との組合せにより、累積雨量、雨量強度、実効雨量を計測する。

施工中あるいは施工完了後ある期間において、斜面変動へ至る異常の発生が確認された場合の調査について述べる。自然斜面の崩壊やすべりに対する安全率は常に一定でなく、降雨量あるいはより本質的にいえば降雨量に密接に関係する地下水位、間隙水圧によって常に変化すると考えることができる。したがって、切土工等の施工と大雨とが時期的に一致していたり、切土量が多く安全性を著しく低下させる場合には、当然施工中に崩壊が発生することも予想される。また、工事完成後の斜面も施工中に異常がなくても、その後の強度の大きい降雨を経験するまでは本当に安全であるかどうか不明である。崩壊発生前の問題として、疑わしい斜面について伸縮計あるいは傾斜測定用ケーシングを設置し、異常の発生を速やかに知るための計測を行うことが望ましい。異常の発生が早期に発見できれば、調査も対策も立てやすいことは言うまでもない。

2.5 環境・景観調査

2.5.1 目的および一般的留意事項

環境調査は、崩壊防止施設の設計にあたって、環境や景観との調和を図ることを目的として必要に応じて行うものとする。

環境・景観調査は、「2.9 環境対策」の方針を踏まえて、その基礎資料を得るものとして位置づけられる。

2.5.2 調査内容

環境・景観調査の方法は、既存資料の収集、現地踏査、調査結果の整理・分析等から、また、調査の種類は、自然環境調査、社会環境調査、景観資源調査からなり、必要に応じてこれらの中から選択するものとする。

(1) 自然環境調査

自然環境調査は、対象斜面とその周辺の自然環境の現状を把握する目的で行うもので、以下の調査項目からなる。

(i) 法指定状況調査

以下のような既存資料に目を通し、該当するものについて整理する。

- ① 自然環境保全法（自然環境保全地域の指定状況）
- ② 自然公園法（自然公園地域の指定状況）
- ③ 都市緑地保全法（緑地保全区域の指定状況）
- ④ 文化財保護法（天然記念物の指定状況）
- ⑤ 鳥獣保護および狩猟に関する法律（鳥獣保護区の指定状況）
- ⑥ 種の保存法（生息地等保護区の指定状況）
- ⑦ その他の法令および関連自治体の自然環境に関する条例等

(ii) 植生調査

既存植生図、土地分類図、主要動植物地図、優れた自然図、日本の重要な植物群落、我が国における保護上重要な植物種の現状、特定植物群落報告書などの資料のうち、該当するものを収集する。

(iii) 動物生息調査

動物調査報告書、自然環境保全基礎調査、主要動植物地図、優れた自然図などの資料のうち該当するものを収集する。

以上の調査結果は、自然環境図のように地域を対象としたものは、縮尺 1/50,000～1/25,000 の図面に、既存植生図のように対象斜面とその周辺部を対象としたものは、縮尺 1/2,500～1/500 の図面に整理するものとする。

(2) 社会環境調査

社会環境調査は、対象斜面とその周辺の社会環境の現状を把握するために行うもので、土地利用や人文文化財に関する法指定状況のほか、地域特性・地域要望等を調査する。おもな調査

項目は以下のとおりである。

1) 法指定状況資料

以下の資料のうち、該当するものを収集し整理する。

- ① 都市計画法（地域地区等の決定状況、土地利用計画）
- ② 文化財保護法（史跡、名勝の指定状況）
- ③ 古都における歴史的風土の保存に関する特別措置法
- ④ 砂防法（砂防指定地の指定状況）
- ⑤ 地すべり等防止法（地すべり防止区域の指定状況）
- ⑥ 森林法（保安林の指定状況）
- ⑦ 土砂災害防止法（土砂災害警戒区域・特別警戒区域の指定状況）
- ⑧その他の法令および関連自治体の環境・景観関連条例等

2) 土地利用計画調査

土地利用状況、土地利用計画などの資料を収集する。

3) 開発状況調査

行政区画の現状、将来開発計画などの資料を収集する。

4) 人文文化財調査

人文文化財などの資料を収集する。

以上の調査結果は、対象斜面を含む地域の場合には、縮尺 1/25,000～1/5,000 の図面に、個別斜面を対象とした場合は、縮尺 1/2,500～1/500 の図面に整理するものとする。

(3) 景観資源調査

斜面对策を検討する際には、予め対象斜面周辺の景観資源を調査し、地域の個性的な景観が損なわれたり、貴重な景観資源が失われたりすることのないように十分注意をする必要がある。

調査すべき景観資源には、大規模なものから小規模なものまであり、斜面景観への配慮の方法も異なるが、それらをまとめると表 2-8 に示すものが挙げられる。

表 2-8 地域の景観資源の例

規模	地域の景観資源
大	ふるさとの風景
↑ ↓	鎮守の森 塔 港 橋
	寺 神社 城跡 歴史的建築物 教会
	公共建築物 倉 古い洋館 屋敷林
	石垣 歴史的街並 高級住宅地 外観の統一された建築
小	異国情緒のある建物 土塀 広場 用水路
	野外彫刻 看板 せせらぎ 花壇 建物の色・材質

2.6 その他の調査

2.6.1 施工時の調査

施工時の調査は、施工途中および土工完了後の調査と豪雨時の調査に分けられる。

施工途中の調査はのり面の安定に主眼を置き、設計時に予想した地質・土質構成、割れ目、風化の程度、地層の傾斜の方向等の地質構造が同じであるかどうか、また設計時の予測と異なっている場合には当初の設計のり面勾配で長期の安定が保たれるかどうかなどに着目し、観察により行う。のり面の侵食や風化が早く進行することがわかった場合には、早期にのり面保護工を施工する。多量の湧水がある場合には水抜工法、排水工の新設、断面の変更等を検討し、のり面の安定を確保する。さらにのり面保護工施工箇所については、はらみ出し、亀裂の有無等も調査しておかなければならない。また斜面の部分的な湿潤箇所（植生が他の箇所より良好に繁茂していることが多い）がある場合には、浸透水排除のために地下水排除工等を検討しなければならない。

施工中に斜面崩壊・変化が生じた場合には直ちにその原因を調査し、設計時との相違を把握する。浅い崩壊の場合は目視による調査で十分であるが、深い位置で起こる崩壊の場合にはボーリング等による調査を実施し、地層構成、地質構造、すべり面の位置、地下水位等の状況を把握し、崩壊原因を明らかにする。

土工完了後の調査の着眼点は、表 2-6 に示すような斜面やのり肩付近やのり面保護工の亀裂の有無、はらみ出し等の有無、路面形状、排水施設の変状等である。点検調査の結果これらの変状が発見された場合は、直ちに周辺を踏査し、必要があればボーリング調査、斜面挙動調査を実施し、変動の規模や範囲、経時変化等を確認して対策をたてる。

豪雨時については豪雨中または豪雨後に目視による調査を実施し、のり面の安定状況を確認しておかなければならない。のり面・斜面崩壊は大部分が降雨中または降雨直後に起こり、特に降雨の激しい時点では小規模な崩壊の発生が多いが、大規模崩壊や地すべりは雨量強度よりも累積雨量が大きくなった時点で発生することが多い。したがって豪雨があった場合には、工事再開前に十分安全を確認したのち、工事を再開する。また豪雨時には地下水・地表水の実態を把握し、排水工設計の適否をチェックする必要がある。

2.6.2 災害調査

災害調査は、災害後の対策および今後他の類似箇所において崩壊防止工事を実施するための参考資料を得ることを目的とする。

調査にあたっては災害の規模の大小等によって大いに左右され、統一的な調査計画を示すことが難しいが、次の留意事項を参考にするとよい。

- ① 災害の発生およびこれのおそれのある箇所は、踏査による詳細な調査を行い、資料としてスケッチ、現況写真、亀裂分布図等を作成するとよい。また必要に応じて測量を行い、地形図、断面図等を作成するとよい。
- ② 崩壊箇所の現況を把握するため、一般には崩壊の危険性が高いと考えられる断面に対してサウンディングまたはボーリングを行い、すべり面、地下水、土質などを調査する。必要に応じて斜面挙動調査を行い現況を把握するとともに、崩壊箇所の変状が進行中の

ものはその進行状態を観測する必要がある。

- ③ 比較的規模の小さい崩壊箇所のすべり面を探知するには、簡易なサウンディングなどを数多く実施するとよい。
- ④ 斜面崩壊の多くは水に起因することが多いので、降雨、表面水、地下水等の流れに重点を置いて調査する。
- ⑤ 既存の構造物とは異なる構造物を対策工として施工することがあるので、これに合致した調査計画をたてることが大切である。対策工の検討にあたっては、当初設計時の調査のみでは資料数の不足していることが多いので、調査地点を増加して正確な土質状況を把握する必要がある。

以上いずれも災害発生時または発生直後に調査を行うことが多いので、調査作業の安全に十分留意する必要がある。

2.6.3 維持管理調査

斜面崩壊防止施設は、降雨や地震などによる損傷や、時間経過に伴う劣化が生じる。また、施設の設置以降に、地震等に伴う崩壊・土砂流出の発生や風倒木の発生により、施設周辺の状況が変化することも多い。施設の損傷はこのような周辺環境に大きく影響されるため、点検の際には施設のみならず周辺状況についても把握する必要がある。さらに、施設を構成する材料はコンクリートだけでなく、鋼材、ブロック、石、土砂など多種であり、材料の損傷や劣化の特性はさまざまである。

斜面崩壊防止施設の維持管理に関する調査は、定期点検、臨時点検および詳細点検から構成される。

定期点検：計画的に定めた一定の時期や期間ごとに、施設の機能の低下や性能の劣化などの状況を把握するために行う調査

臨時点検：豪雨や地震発生時等の不定期に、施設の機能の低下や性能の劣化などの状況を把握するために行う緊急的な調査

詳細点検：定期点検や臨時点検では得られないより詳細な情報を得るために実施する調査

定期点検および詳細点検結果から、施設の長寿命化に向け予防保全型管理を実施していくための健全度評価を行う。健全度評価は施設の部位ごとの変状レベルを評価したうえで施設周辺斜面の状況も踏まえ、施設あるいは施設群全体について総合的に健全度を評価する。具体的な点検の内容や評価方法については第 13 章施設の維持管理に記載する。

2.7 斜面安定と工法

2.7.1 総説

(1) 設計計画

斜面崩壊防止工事の計画にあたっては、斜面の調査を行い、現状の安定性を把握し斜面の保全性を高めるために必要な措置について検討するものとする。

斜面崩壊防止工事を計画する区域は斜面崩壊の原因、機構および規模に応じて有効適切な工事を必要とする範囲とする。特に急傾斜地崩壊防止工事にあつては、急傾斜地崩壊危険区域内であり、これに十分留意することが必要である。

斜面崩壊防止工事の計画の策定にあたっては、傾斜の調査を行い、現状の安定性を把握し、斜面の近衡を保持するために必要な措置について検討するものとする。

崩壊を防止するためには、崩落または滑動する力を減殺するか、滑動面での抵抗力を増大するか、あるいは崩落または滑動する力に打ち勝つだけの抵抗力を付加する必要がある、工事計画にあたっては、現地の実情に即し適切なものとしなければならない。崩壊防止工事の対象となる斜面の多くは長年の間に形成された斜面であり、平常時においてはバランスを保って安定しているが、豪雨等により力の均衡が破れ崩壊するものである。

崩壊防止工事は、現在不安定な斜面の安定度を現状より高めるために行う。したがって工事の計画にあたっては、施工中においても現状の安定度を著しく減じないような工法を選ぶことを原則とする。

斜面崩壊の誘因は一般に降雨、地震等であるが、地形、地質等多数の要因が関与し、その機構は複雑で多くの問題があるので、計画にあたっては事前に十分な調査を行い、崩壊の要因、機構を把握し、有効、適切な計画をたてなければならない。

(2) 工事施工計画

崩壊を防止するためには、崩落または滑動する力を減殺するか、滑動面での抵抗力を増大するか、あるいは、崩落または滑動する力に打ち勝つだけの抵抗力を付加する必要がある、工事計画にあたっては、現地の実状に即し適切なものとしなければならない。

工事の実施にあたっては、斜面の特性、特に急傾斜地崩壊防止工事にあたっては保全対象の人家の配置を十分考慮のうえ、斜面崩壊防止工事全体計画を策定するものとする。また、施工期間が複数年次にまたがる場合は、年次計画をたてるものとする。

工事実施の順位は、崩壊の危険性、崩壊により予想される被害の程度等を考慮し、緊急を要する区間から重点的に施工するよう配慮するものとする。

工事実施にあたっては、斜面等の状況に十分注意を払い、特に調査結果に基づいて判断した地盤と施工時の掘削により観察される地盤との間にある差を把握し、許容しえない差がある時は、一部設計の手直しを行う。また、状況の変化に応じ工法および工事数量等について計画の修正を行うものとする。

2.7.2 工法分類および工法選定の一般的基準

(1) 工法の分類

斜面の地形、地質、地下水の状態などの自然条件を変化させることによって、斜面の保護を図る工法と、構造物を設けることによって斜面の崩壊、または滑動を抑止する工法があり、それらを工事の目的にあわせて検討するものとする。

斜面崩壊の要因は地表面侵食、含水による土層の強度低下と重量増、間隙（水）圧の上昇、パイピング、風化であり、これらの雨水の作用の処理という観点から、斜面崩壊防止工は表 2-9 のように分類できる。なお、この表にはそれぞれの工法の主な目的、適用範囲や特色等もあわせて整理してある。これは 2.7.2(2)で述べる工法選定の参考となる。

崩壊防止工事は大別して抑制工と抑止工とに分けられている。

抑制工は斜面の地形、地質、地表水、地下水の状態等の自然条件を変化させることによって、斜面の安定を図ることを目的とする。

抑止工は構造物を設けることによって、斜面の崩落、または滑動を抑止することを目的とする。

表 2-9 斜面崩壊防止工の分類 (1/2)

分類	主な目的	工種	工種細分	目的もしくは工種詳細	適用範囲および特色等	
抑制工 (1)	雨水の作用を受けないようにする。	排水工	地表水排除工	地表水を集水し斜面外へすみやかに排水したり、地表水の斜面内への流入を防止する。のり肩排水路工、小段排水路工、のり尻排水路工、縦排水路工、浸透防止工、谷止工	最も基本的な工法の1つ。単独で用いられることはまれで他の工法と併用される。	ほとんどの工事で用いられる。工費も割安で効果も大きい。集水を目的とした排水路とそこからの流水を斜面外に排除する排水路に大別される。 地すべり性崩壊が予想される箇所や地下水が多い斜面で用いられる。一般に地すべり防止工事に比べて小規模な場合が多い。
			地下水排除工	斜面内の地下水を排除し、間隙水圧を低下させ斜面を安定させる。暗渠工、横ボーリング工、その他（しゃ水壁工、集水井工）		
		構造物によるのり面保護工	植生によるのり面保護工	植生工	種子散布工、客土吹付工、植生基材吹付工、植生マット工、植生ネット工、土のう工、張芝工、植生ポット、植栽工等があり、雨水浸食防止、地表面温度の緩和、凍土の防止、緑化による美化効果を目的としている。	①植生を主体とする場合は湧水の少ない切土のり面で原則として標準のり勾配が確保できること。 ②斜面周辺環境との調和をはかる点では優れている。
				吹付工	モルタル・コンクリート吹付工	
			張工		石張工、コンクリートブロック張工、コンクリート版張工	のり面の風化、浸食および軽微な剥離・崩壊等を防止する。
				コンクリート張工		
			補強土工	連続長繊維補強土工	連続長繊維補強土工は、軽微な土圧に抵抗する吹付砕工や擁壁工の代替機能を有し、崩壊を防止する。また、既設構造物の施設更新（補強）を目的とする場合もある。	連続長繊維補強土工は植生工を併用するため全面緑化が可能である。凹凸がある斜面・のり面でも施工でき、自然の改変を最小限にとどめることが可能である。また、グラウンドアンカー工や地山補強土工との併用で地山の安定を図ることも可能である。
				のり砕工	現場打コンクリート砕工、吹付砕工	のり面に現場打コンクリート砕工、プレキャスト砕工などを組み、内部を植生、コンクリート張等で被覆し、のり面の風化浸食を防止する。プレキャスト砕工の中には、抑止力を期待する工法も開発されている。現場打コンクリート砕工も抑止工的役割をもっていることがある。なお現場打コンクリート砕工には、吹付砕工も含まれる。
			プレキャスト砕工			
			その他	押え盛土工	押え盛土工	崩壊想定部下部に盛土し、滑動力に抵抗させ安定を図る。
その他ののり面保護工	その他ののり面保護工	プラスチックソイルセメント工、ネット工、液状合成樹脂吹付工、マット被覆工、アスファルト斜面工等があり、侵食防止を目的とする。		耐久性や環境面等で急傾斜地崩壊防止工事には適さないこともあり、あまり使用されていない。しかし、仮設的もしくは部分的には用いられることもある。		
抑制工 (2)	雨水の作用を受けて崩壊する可能性の高いものを除去する。	不安定土塊の切土工	切土工 (A)	オーバーハング部の切取り、表層の不安定土層の切取り、浮石等の除去を行い、崩壊する危険のある土層、岩塊を取り除く。	防止工の最も基本的な工法の1つで、完全に実施されれば最も確実な方法の1つである。排水工、植生工、構造物によるのり面保護工等と併用される場合が多い。	

表 2-9 斜面崩壊防止工の分類 (2/2)

抑 止 工	雨水等の作用を受けても崩壊が生じないように力のバランスをとる。	斜面形状を改良する切土工	切土工(B)	斜面を雨水等の作用を受けても安全であるような勾配あるいは高さまで切り取る。	防止工の最も基本的な工法の1つで、完全に実施されれば最も確実な方法の1つである。排水工、植生工、構造物によるのり面保護工等と併用される場合が多い。一般に人家が斜面上下部に近接していたり、切土量が巨大になる場合などでは完全に実施できない場合が多く、他の工法(擁壁工等)と併用される場合が多い。
		擁壁工	石積・ブロック積擁壁工	斜面下部の小規模な崩壊を抑止する。	のり勾配が1:1.0より急な(一般には1:0.3~1:0.5)土砂斜面で背面の地山がしまっているなど土圧が小さい場合。
			もたれコンクリート擁壁工	崩壊を直接抑止するほか、侵食風化に対するのり面保護効果もある。	礫質工以下の十分な固結度をもたない地山にも適用できる。設置位置が狭隘でも場所をとらず、地形の変化にも適応性がある。
			重力式コンクリート擁壁工	崩壊を直接抑止するほか、押え盛土の安定、のり面保護工の基礎ともなる。	斜面下部(脚部)の安定を図る目的で用いられ、崩壊に対する抑止効果をもつ。斜面中段部でも用いられる。
			井桁組擁壁工	湧水が多く、地盤が比較的軟弱な斜面の小崩壊を防止し、安定を図る。	透水性が良好で屈撓性があるので、湧水量が多く、地盤が比較的軟弱な場合や地すべり性崩壊に適している。
		アンカー工	グラウンドアンカー工	強風化岩、亀裂の多い岩盤、表層土の崩壊滑落を防止するため、現場打コンクリート砕工、吹付砕工、コンクリート擁壁工、連続長繊維補強土工等の他の工法と併用され、これらの安定性を高める。また亀裂、節理、層理の発達した岩盤を内部の安定な岩盤に緊結して崩壊、剥落を防止する。	斜面上下部に人家が近接していて、切土工、待受式擁壁工等が施工できず、さらに斜面勾配が急で斜面長も長く、現場打コンクリート砕工、吹付砕工、コンクリート擁壁工等の安定が不足する場合、特にアンカー一体定着地盤・岩盤が比較的堅固で斜面表面より浅い位置にある場合に適する。
地山補強土工	地山補強土工		グラウンドアンカー工と同様の目的で実施されるが、崩壊規模が比較的小さく、短尺な補強材で対策可能な場合に用いられる。		
		杭工	杭工	斜面上に杭を設置して、杭の曲げモーメントおよびせん断抵抗によりすべり力に抵抗し斜面の安定度を向上させる。	急傾斜地崩壊防止工事では、特別な場合に使用する。すなわち地すべり性崩壊の予想される斜面や流れ盤となっている岩盤斜面の崩壊防止などに用いる。
そ の 他	落石を防止する	落石対策工	落石予防工	落石の発生予防を行う工法で、除石工、根固工等がある。	一般には崩壊防止施設にプラスして設置される。 発生阻止工法と積雪分散工法に大別される。 直接防護工法と間接防護工法に大別される。
			落石防護工	落石から人家等を防護する工法で、防護網工、防護柵工、防護壁工等がある。	
	雪崩を防止する	雪崩対策工	雪崩予防工	雪崩の発生を未然に防ぐ工法で、階段工、予防柵、予防柵等がある。	
			雪崩防護工	雪崩が発生したとき、被害を最小にする工法で、阻止工、減勢工、誘導工等がある。	
抑制工と抑止工の両方の目的をもつ工種	柵工	土留柵工	比較的緩斜面で表土層等が薄い場合の崩壊を防止し、またその拡大を防止するために用いる。	比較的長大な斜面に適する。斜面内の現存植生を保全しながら施工できる。	
		編柵工	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る。	比較的緩傾斜の切土後の斜面において、植生工、およびのり砕工等と併用される場合がある。	
		かご工	かご工	のり面の侵食防止と、押え盛土の目的をもつ。	急傾斜地崩壊防止工事として、斜面全体をこれによって被覆することは好ましくない。暫定的な使用として施工区域と隣接地山部分とのすり付けを、これを用いてなじみよくする場合がある。
崩壊が生じて被害が出ないようにする工種	待受工	待受式コンクリート擁壁工	斜面を直接抑止することが困難な場合、斜面下部(脚部)より離して設置し、崩壊土砂を待受ける。	①できるだけ、他の斜面条件を改善する工法と組み合わせる実施するのが望ましい。 ②長大斜面でよく用いられる。 ③既存植生を積極的に残す必要がある場合には有効的である。	
		待受式高エネルギー吸収型崩壊土砂防護柵工		地盤の強度や景観上の理由により待受式コンクリート擁壁工が施工できない場合に用いられる。	
防止工施工時の防護工	仮設防護工	仮設防護柵工	崩壊防止工事施工中上からの崩土や落石から人家等を防護する。	仮設防護柵の設置は、急傾斜地崩壊防止工事においては、義務的なものである。	

(2) 工法選定の一般的基準

(i) 工法選定の一般的留意事項

崩壊斜面防止工事を計画するにあたっては、対象となる斜面の地形、地質などから崩壊の要因と崩壊の形態を想定し、安全性、耐久性、施工性、周囲の環境などを考慮して、有効、適切な工法を選定しなければならない。

崩壊斜面防止工事を設計するにあたっては、対象となる斜面の地形、地質などから崩壊の要因と崩壊の形態を想定し、安全性、耐久性、施工性、周囲の環境との調和などを十分考慮して、有効、適切な工法を選定しなければならない。

この場合、工法は、必要に応じ各種工法を適切に組み合わせて計画する。同一箇所の中でも地形、地質および人家などの状況が一様でない場合は、斜面の性状等を十分考慮のうえ、短い区間であってもその特性に適した工法を採用するものとする。

特に急傾斜地崩壊防止工事を実施する斜面は人家と密接しており、ひとたび崩壊が発生すれば直ちに人命の損傷につながる危険性が極めて高いため、特に安定性、耐久性などに十分配慮しなければならない。また、崩壊防止工事を実施する斜面は居住区域と近接しているため、斜面の安定性を保持するうえで許容しうる範囲内で植生工を併用し、周辺の環境に調和するように配慮することが望ましい。

抑制工のうち切土工は、特に斜面の安定および環境との調和を十分考慮して計画するものとする。また、抑制工のうち地表水排除工は原則として全箇所、全区間に計画するものとする。また、地下水排除工は湧水が多い場合、地下水位が高い場合等、必要に応じて計画するものとする。

(ii) 工法選定の一般的流れ

斜面崩壊防止工法を選定するにあたっては、どのような要因・形態で崩壊するかを把握して計画しなければならない。

斜面崩壊防止工事設計の基本は、どのような要因、どのような形態で崩壊するかを把握することである。

調査により崩壊の形態と崩壊の要因が想定されれば、環境・景観、斜面の高さ、規模、施工条件等と既往の施工実態、概算工事費等を勘案して斜面全体を施工対象とした工法が採用しうるかどうかを判断する。工法選定のフローチャートを図 2-5 に示す。

図中考えられる工法については、一般型、待受型とも崩壊要因と崩壊形態が想定されれば、これに対して、斜面全体の安定が図れるような崩壊防止工（主に抑止工）を行い、次に表面侵食、風化、部分的崩落の防止に対する防止工（主に抑制工）を行うように計画する。

複数の崩壊形態が想定されるときは、おのおのに対しても同じ次の手順を踏む。

典型的な検討の流れは以下のとおりである。

- ① 最小限の不安定土塊の除去：オーバーハングをしているような危険度の高い土塊、すなわち除去する以外に方法がないか、あるいは除去した方が明らかに経済的な場合。
- ② 斜面形状の改良：指針に定める標準のり勾配を考慮してなるべく緩く切り取りすることが望ましいが、斜面長が大きかったり、用地が十分でないときは制約を受けがちであ

る。

- ③ 上記の斜面に対して、部分的に不安定なところがあれば、これに対して抑止施設を設置する。このとき、基礎地盤の強度と必要な抑止力の大きさの算定を行う。
- ④ 斜面全体の安定を考慮して、適当な抑止施設を検討する。
- ⑤ 力のバランス以外に地下水の影響を受けることが調査結果から分かれば、排水ボーリング等これに対する施設を計画する。
- ⑥ 表流水による侵食、風化、局所的な崩落防止を行うためののり面保護工を検討する。この際、背後地から流入する水があれば排水工を検討する。

実際は①～⑥のすべてを行うのではなく、一般型、待受型とも崩壊形態、崩壊要因、工事対象範囲、適正投資額等を勘案して、このうちいくつかを計画することになる。

特に待受型については、図 2-6 に示すように抑止工を計画できない場合が多く、保全対象を防護する施設を重視することになる。

また、環境保全・景観等より、切土を適用しない場合は、工法選定の一般的流れは次のようになる。

- ① 斜面全体の安定を考慮して適当な抑止施設を検討する。
- ② 上記の斜面に対して、部分的に不安定なところがあれば、これに対して抑止施設を配置する。
- ③ 力のバランス以外に地下水の影響を受けることが調査結果から分かれば、排水ボーリング等これに対する施設を計画する。
- ④ 表流水による侵食、風化、局所的な崩壊防止を行うための、のり面保護工を検討する。この際、背後地から流入する水があれば排水工を検討する。

実際は①～④のすべてを行うことにならない場合がある。

(iii) 工法選定の具体的な流れおよび主な着眼点

一般の自然斜面は、地形および地質条件等が非常に複雑であり、対策工を選定する場合もケースバイケースで対応せざるを得ないのが実態である。参考のために図 2-5 に示した工法選定のフローチャートのほか図 2-6 に工法選定の概念図をまとめた。

しかし、実際の工法選定では、場合によっては図のとおりではスムーズに作業が進められないこともあるので、適用にあたっては詳細な判断をする等、十分留意する必要がある。また、表 2-10、表 2-11 には崩壊形態別に工法選定のための主な着眼点と、一般によく用いられる工種を整理した。また、表 2-12、表 2-13 にのり面保護工の選定の目安を示した。

(iv) 工法選定の具体的な流れ（補足）

急傾斜地崩壊防止工事を計画するにあたっては、安全性、耐久性、施工性、周囲の環境などを考慮して、有効、適切な工法を選定しなければならない。ここで、経済性や施工性のみに特化した計画とすべきではなく、安全性、耐久性などを十分考慮した計画とすべきである。

また、急傾斜地崩壊防止工事は人家裏山で施工されることから、工事完成後は再度、重機が斜面に近づくことは難しく、維持管理性も重要な要素である。

「1.5 鳥取県の急傾斜地崩壊対策事業」に記したとおり、土砂法の制定により、対策は土砂災害特別警戒区域（以下、レッド区域という）の解除が必要条件である。レッド区域の解除が可能な工法は以下のとおりであり、条件に応じて選定する。

- (1) 斜面全体の対策（30°以上の斜面を5m未満とする）
 - ① 切土工及び法面保護工（のり枠等）による安定化対策
 - ② 法面保護工及び抑止工（グラウンドアンカー工や地山補強土工）
- (2) 待受型の対策
 - ① 待受擁壁、背後斜面对策なし
 - ② 待受擁壁及び背後斜面を法面保護工等で保護（土砂量を軽減）

工法選定において、一般には図2-5 工法選定のフローチャート及び図2-6 工法選定の概念図に示されるとおり、まずは斜面全体を対象とした一般形の対策（切土工やのり枠工など）を検討することとなる。このとき、長大斜面を理由に工事費が大きくなることが想定される場合などは、待受型の対策（待受式コンクリート擁壁工など）と比較検討する。

一般形と待受型の比較検討において、経済性により待受型の対策が有利となるような場合でも、上述のとおり、後の崩土撤去といった維持管理性を考慮すれば、一般形の対策を選定することが適当だと考えられる場合もある。

待受型の対策については、斜面の安定を考慮すれば、斜面下端より人家側に設けることが望ましい。斜面内に設けることとなるのは、人家と斜面が近接してスペースがない場合、施工時の安全対策として仮設防護柵等の設置スペースが取れない場合などが考えられる。このとき、人家軒先（宅地と斜面との境界）をコントロールして施設配置する。急傾斜地崩壊防止工事により宅地造成はしてはならない。

また、斜面の内外いずれに施設配置することになると、必要最小限の施工機械や施工スペースを考慮した施設配置とすべきである。施工性を過大に重視して大型重機ありきで計画すれば、不必要な切土が発生することとなり、崩壊を助長することになりかねない。

待受型施設の背後の切土斜面については、無処理（安定勾配切土に植生工などレッド区域の解除とはならない工法）、または一般形の対策を計画して残斜面を減じる場合の比較検討が考えられる。

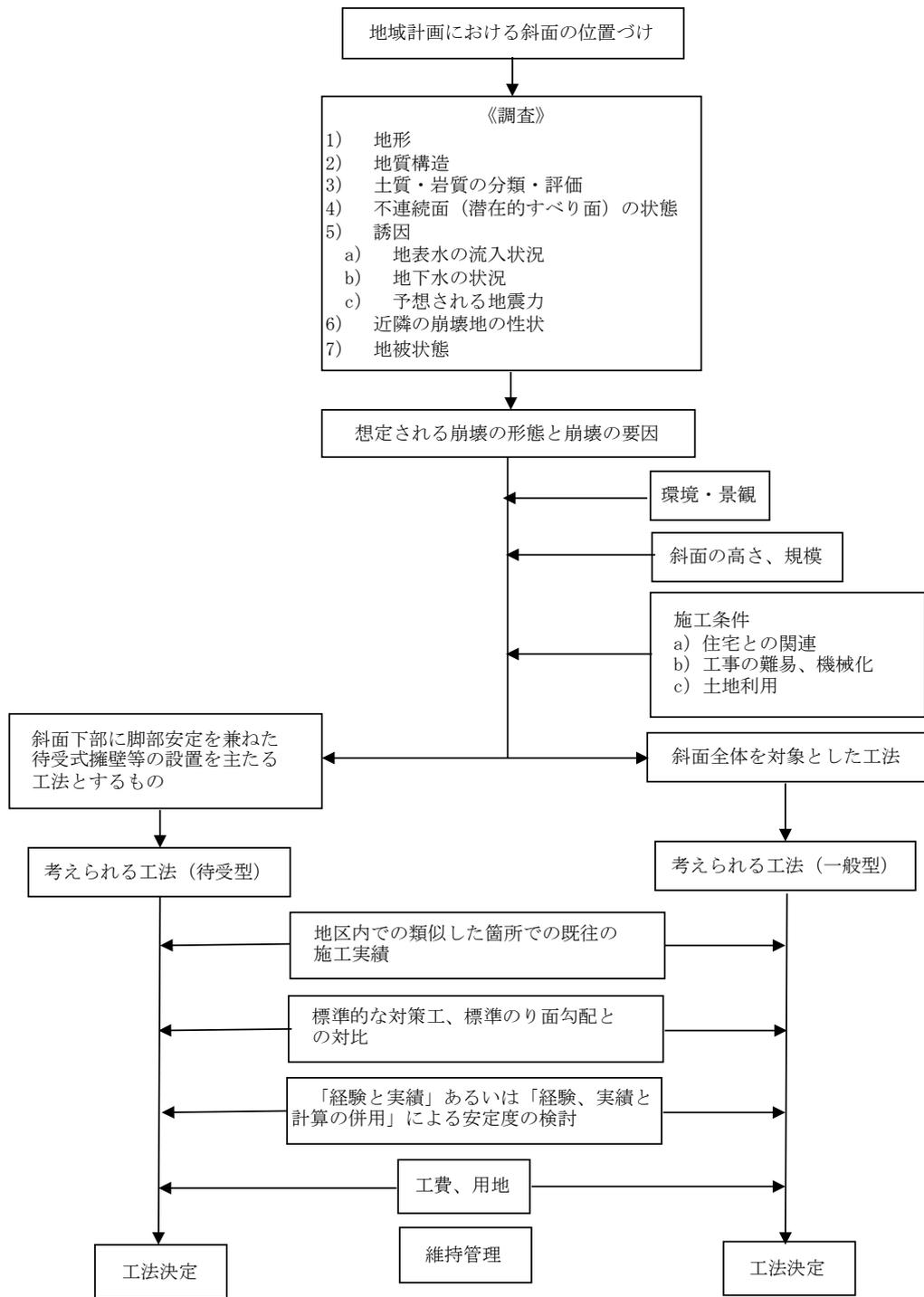
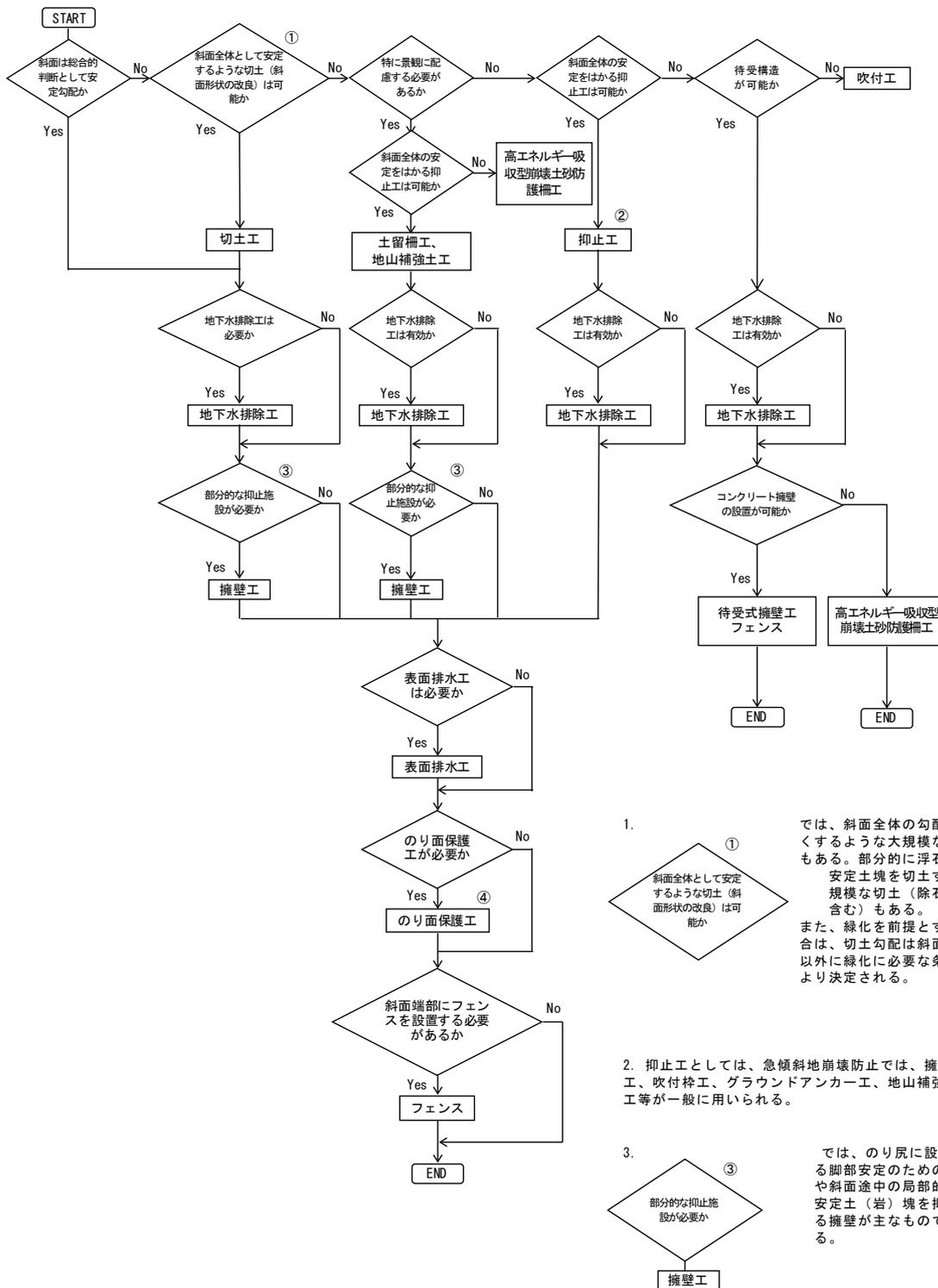
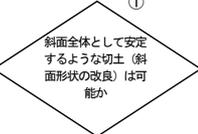


図 2-5 工法選定のフローチャート



1. 

では、斜面全体の勾配を緩くするような大規模な切土もある。部分的に浮石、不安定土塊を切土する小規模な切土（除石も含む）もある。
また、緑化を前提とする場合は、切土勾配は斜面安定以外に緑化に必要な条件より決定される。
2. 抑止工としては、急傾斜地崩壊防止では、擁壁工、吹付砕工、グラウンドアンカー工、地山補強土工等が一般に用いられる。
3. 

では、のり尻に設計する脚部安定のための擁壁や斜面途中の局所的な不安定土（岩）塊を抑止する擁壁が主なものである。
4. のり面保護工は、のり面または斜面の安定が侵食または風化するのを防ぐものである。のり面保護工には植生によるものと構造物によるものがあるが、植生が可能ならこれを優先する。のり面保護工の種類と選択については、表2-12、表2-13を参照されたい。

図 2-6 工法選定の概念図

表 2-10 崩壊形態と適用工法

崩壊形態 凡例 A：表土 B：崩積土 C：火山砕積物 D：段丘堆積物 E：強風化岩 F：岩 I G：岩 II		分類 番号	急傾斜地崩壊防止工																						
			排水工		切土工	植生工	吹付工		張工		のり枠工		擁壁工			グラウンドアンカー工	地山補強土工	杭工	落石対策工	雪崩対策工	柵工		待受工		
			地表水排除	地下水排除			モルタル・コンクリート吹付	連続長繊維補強土	石張・コンクリートブロック	コンクリート版	コンクリート	プレキャスト	現場打コンクリート	吹付	石積・ブロック積						もたれコンクリート	重方式コンクリート		井桁組	土留柵工
土砂の崩落	A 表土	1-(1)	○	◎	△	○					△							△			◎	◎			
	B 崩積土	2-(1)	○	△	◎	△	○			△	△							△			○	○			
	C シラス、ローム等の崩落 風化した集塊岩、凝灰角礫岩等の崩落	3-(1)-a	○	△	◎	△	○	△	△	△	△	△							△			○	○		
		3-(1)-b	○	△	◎	△	○	△	△	△	△	△							△	△		◎	◎		
D 固結したシルト層等の不透水層がある場合 礫を含むルーズな堆積物からの礫の抜け出し	4-(1)-a	○	△	◎	△	△	△	△	△	△	△							△	△		△	○	○		
	4-(1)-b	○	△	◎	△	○	△	△	△	△	△							△	△		◎	◎			
	E 強風化岩	5-(1)	△	△	◎		○	○	△	△	○	△	○	△	△				△	△		△	○	○	
		6-(1)-a	△	△	◎	△	○	○	△	△	○	△	○	△	△				△	△		○	○		
F 互層になっているとき、 下層が侵食に弱く上層が 残されているもの	6-(1)-b	△	△	◎	△	○	○	△	△	○	△	○	△	△				△	△		○	○			
	6-(1)-c	△	△	◎	△	○	○	△	△	○	△	○	△	△				△	△		△	○	○		
	6-(1)-d	△	△	◎	△	○	○	△	△	○	△	○	△	△				△	△		○	○			
	7-(1)-a	○	△	○	△	○	○	△	△	○	△	○	△	△				△	△		△	○	○		
G 第三紀の頁岩の表面剥離による崩落	7-(1)-b	○	○	△	○	○	△	△	○	△	○	△	△	△				△	△		○	○			
	7-(1)-c	○	○	△	○	○	△	△	○	△	○	△	△	△				△	△		○	○			
土砂の滑落	A 表土	1-(2)	◎	△	◎	○	○				○	△		○	○	△		△	△	△	○	△	○		
	B 基盤との境界 崩積土中の滑落	2-(2)-a	◎	△	○	○	○	△	△	△	○	○		△	○	△	△	△	△	△	△	△	○	○	
		2-(2)-b	◎	△	○	○	○	△	△	△	○	△		△	△	△	△	△	△	△	△	△	○	○	
	C シラス、ローム等の滑落	3-(2)	◎	△	○	○	○	△	△	△	△	△		△	△	△	△	△	△	△	○	△	△	○	
D 段丘堆積物	4-(2)	◎	△	○	○	○	△	△	△	△	△		△	△	△	△	○	△	△	△	△	△	△		
岩の滑落	E マサの滑落 温泉余土	5-(2)-a	◎	△	◎	○	○	△	△	△	○	○		△	○	△	△	△	△	△	○	△	△	○	
		5-(2)-b	◎	△	○	○	○	△	△	△	△	○		△	○	△	△	△	△	△	△	△	△	○	
	F 地層の境界面での滑落 断層・割れ目の組合せによる滑落	6-(2)-a	○	△	○	△	△	△			○	△	○	△	◎	○	△	○	○	△	△	△	△	△	△
		6-(2)-b	○	△	○	△	△	△			○	○	△	△	◎	○	△	○	○	△	△			△	△
	G 礫岩・集塊岩で礫と粘土・石灰岩・火山灰などの膠結部の境界沿いに滑 頁岩の層界面沿いの滑落 砂岩、頁岩の二層にまたがる滑落	6-(2)-c	○	△	△	△	△	△			○	△	○	△	△	◎	○	△	○	△	△			△	△
		7-(2)-a	○	△	△	△	△	△			○	△	○	△	△	◎	○	△	○	△	△			△	△
7-(2)-b	○	△	△	△	△	△	△			○	△	○	△	△	◎	○	△	○	△	△			△	△	

凡例 ◎：最もよく使われる ○：しばしば用いられる △：場所によって用いられる 無印：ほとんど用いられない

表 2-11 崩壊形態と斜面崩壊防止工法選定のための主な着眼点

崩壊形態	<p style="text-align: center;">急傾斜地崩壊防止工事工法選定の流れおよび一般的着眼点</p> <p>実際には、前表にあるような工法を組み合わせで対策工の計画を立てるが、不均質、異方性の自然斜面であり、また工費、用地および施工条件等がからんでケース・バイ・ケースになる場合が多い。</p>
土砂の崩落	<p style="text-align: center;">崩壊形態大分類別の工法選定の着眼点</p> <p>いずれも上部が突き出した斜面に発生するもので、風によって突出部の林木が揺れて根切れを起こして崩落する場合や地震、融雪によって起こることもある。このような崩落に対しては突出部の切均しや立木の伐採が最も一般的な工法であるが、立木伐採の場合、根株が残っていると、根が腐って根切れを起こしやすくなるので、これも除去する必要がある。</p> <p>不安定な土壌を除去した後の斜面が、全体として安定を保ちうるものであれば、表面侵食に対して手当てすればよい。標準のり勾配よりも急な場合が多いので、該当する地山状態に対応するのり面保護工よりランクが上ののり面保護工を選択せざるをえないことが多い。</p>
岩の崩落	<p>多くは割れ目（節理、亀裂など）の発達や膠結物質の風化によって起こるものが多く、その発生位置が定まらないのが特徴である。発生位置が定まり、かつその範囲が限られる場合は、ロックアンカーやロックボルトが有効であるが、発生位置が定まらなかったり、また定まっても範囲が広い場合は、斜面全体の切均しが用いられる。</p> <p>切土後の斜面に対しては、地山の評価、状態に応じて張工や吹付工などが用いられる。また、そのような斜面に対してもまだ落石の可能性が考えられる場合は、落石防止網などの落石防護工が併用される。</p>
土砂の滑落	<p>急傾斜地では、崩壊の半数以上が土砂の滑落であり、この中でも表土の滑落がそのほとんどを占めている。土砂の滑落形が想定される場合は、土砂の除去、斜面整形が理想的であるが、斜面の上部にも住居があれば土砂を完全に除去し、かつ地山の評価に見合った勾配、形状で斜面を整形するのは実際上不可能なことが多い。</p> <p>土砂が完全に除去される場合は、あとは表面侵食に対する防護として、のり面保護工を施工すればよいから、その処理は比較的簡単である。それ以外の場合は、少なくとも必要最小限の切土を行った斜面（のり面）に対して、適切な崩壊防止工を設置することになる。</p> <p>まず、地表水が集中して斜面を流れると土砂の滑落が生じやすいから、原則としてどのような場合でも斜面上部と斜面内での地表水排除工が計画されるべきである。このとき、地形や背後斜面の排水状況も考慮に入れて排水系統について十分な配慮が必要である。</p> <p>また、土砂層の厚さが大きかったり想定される崩壊の規模が大きい場合は、一般に地下水による間隙水圧の上昇の影響も大きいので、地下水の集中しやすい所での地下水排除工を考慮する必要がある。</p> <p>次に、抑止力によりその斜面を安定させる工法も併用する。最も一般的なものは、斜面末端部の擁壁である。斜面の上部を切土して、下部に擁壁を設け場合によっては直接擁壁で抑止するほか、擁壁を用いて押え盛土により間接的に抑止力を与えることもある。</p> <p>次に、表面侵食に対してのり面保護工を計画するが、のり面保護工には局部的な崩壊、表面近傍の薄い崩壊に対する抑止効果を期待する場合がある。その選択は表2-11、2-12を標準として決めるが現場打のり枠工は、抑止効果も期待する場合最も一般的に用いられるものであり、それ以上の抑止力が必要な場合は、もたれコンクリート擁壁あるいはグラウンドアンカー工、または杭工との併用などが計画される。</p>
岩の滑落	<p>岩の滑落に対しても、基本的には土砂の滑落と同じような流れで対策工が検討される。すなわち、表面の非常に風化が進んだ部分を除去するなど、必要最小限の切土をまず計画し、その後地山の評価に見合った勾配、形状で斜面を整形するのが原則である。しかし、斜面の下部だけでなく上部にも住居があれば、切土できる範囲が制限されるから、この場合は重力式擁壁、もたれコンクリート擁壁、現場打コンクリート枠工、場合によってはこれらとグラウンドアンカー工、杭工との併用が検討される。場合によっては、ロックボルト工、注入工も用いられる。</p> <p>地表水排除工は、土砂の滑落と同じように計画される。また岩の滑落の場合は、土砂の滑落に比べて規模が大きく、想定すべり面も深いことが多いが、このような場合は地表面からの浸透水だけでなく地下水が崩壊に関与することが多いから、横ボーリング等の地下水排除工が計画される。のり面保護工は、この場合でも風化防止、表面侵食防止だけでなく、部分的な抑止力も期待することがあるから、地山の評価と切土勾配を勘案して、のり面保護工を選択することになる。</p>

表 2-12 植生によるのり面保護工選定の目安

土質・岩質		使用植物別の工種	
		大本類（先駆植物）	草本類
砂		客土吹付工、植生基材吹付工、植生マット工	張芝工※、植生マット工※、客土吹付工※、植生工基材吹付工、土のう工
砂質土、砂礫土、岩塊または玉石混じりの砂質土	締まっているもの	客土吹付工、植生基材吹付工、植生マット工	張芝工※、植生マット工※、客土吹付工※、植生ネット工、植生工基材吹付工
	締まっているもの	客土吹付工、植生基材吹付工、植生マット工	植生マット工※、客土吹付工※、植生基材吹付工、土のう工
粘土、粘性土、岩塊または玉石混じりの粘質土・粘土	締まっているもの	客土吹付工、植生基材吹付工、植生マット工	張芝工※、植生マット工※、種子散布工、客土吹付工※、植生工基材吹付工
	締まっているもの	客土吹付工、植生基材吹付工、植生マット工	張芝工※、植生マット工※、種子散布工、客土吹付工※、植生基材吹付工、土のう工
岩		客土吹付工、植生基材吹付工、植生マット工	植生マット工※、種子散布工、客土吹付工※、植生基材吹付工、土のう工

- 注1) ※印は肥料分の少ない斜面では追肥管理が必要
 注2) 客土吹付工は多雨、強雨地域では流亡しやすいので検討する。
 注3) 土のう工は肥沃な土を使用した場合には追肥の必要はない。
 注4) 詳しくは第5章5.3.4項を参照

表 2-13 構造物によるのり面保護工の選定

のり面の状態	工法
のり面に多少の漏水があり、のり面勾配が1:1.0より緩い場合	プレキャスト枠工
のり面勾配が1:1.0より急な場合、のり長が長大な場合や亀裂性岩盤ののり面で長期安定に不安がある場合等	現場打コンクリート枠工
土砂・崖錐・土丹・崩れやすい粘土ののり面で勾配が1:1.0より緩い場合	石張工、ブロック張工、コンクリート版張工
土砂・崖錐・土丹・崩れやすい粘土ののり面で勾配が1:1.0より急な場合	石積・ブロック積擁壁工、もたれコンクリート擁壁工
節理の多い岩盤ののり面で風化・侵食・岩片剥離のおそれのある場合で勾配が1:0.5より緩い場合	コンクリート張工、コンクリート版張工
風化しやすい岩等ののり面で湧水がない場合	モルタル・コンクリート吹付工
のり面に湧水が多く、土砂が流出するおそれのある場合等	かご工
のり面表層の土砂が流出するおそれのある場合等	編柵工

(3) 斜面崩壊防止工の安定度と工法設計

自然斜面は、地形・地質・土質等が複雑であるため、その安定性の検討は計算により難しい場合が多いが、崩壊の型が滑落型であり滑落面の推定が可能で、かつ土質強度および間隙水の状況を把握できる場合は、安定計算を行ない安全性の検討を行うものとする。この場合に用いる計算式および計算方法は地すべりの場合に準ずるものとし、計画安全率は 1.2 以上を標準とするものとする。

現地調査により崩壊形態を的確に想定し、同時にこの崩壊をもたらす要因についても検討する。

崩壊の要因は地表面侵食、含水による土層の強度低下と重量増、間隙（水）圧の上昇、パイピング、風化であり、これらの水の作用がどのように防止工により処理されるかによって防止工の安定度を判断する。すなわち、従来の経験、実態、良好な実績との対比および計算によって安定性の検討を行う。この際、崩壊防止工の施工実例集などは良い参考となる。

抑制工については地表水排除工に対して確率降雨量・比流量を計算し、排水路等の断面を設計することができる。また、現場打コンクリート枠工についても、局所的な小規模の崩壊より算出される外力を用いてのり枠の設計をすることができる。この場合の外力は、後で述べる擁壁と同様な方法で求めることができる。

計算で設計した工法についても、経験や他の施工実績と対比して最終的な決定を行うことが自然斜面を対象とした急傾斜地崩壊防止工事では求められる。

上記以外の抑制工については、現地調査結果を基に経験、実績をベースにした検討が主であり、技術者が工夫した計算が場合によっては、これを補う目的で実施されているのが現状である。

抑止工に関しては、擁壁工、アンカー工、土留柵工についてはできるだけ設計時の外力を算定し計算により設計するものとする。

杭工、押え盛土については、実際に施工されることはまれであるが、適用にあたっては地すべり防止工での設計法が準用できる。

擁壁、アンカーなどの抑止工について計算が行えるのは、想定したすべり面に沿う崩壊に対してである。この場合、盛土の擁壁にかかる土圧では、土質試験で得られる強度値（ c 、 ϕ ）を用いてテルツァギやクーロンの式で計算した値が十分実績があるのに対して、自然斜面ではすべり面の想定やその強度値の把握が難しいのが現状で、このため、盛土の土圧に相当する擁壁や杭などにかかる設計外力の算定時に不確定要素に対する安全率を計画安全率（ F_{sp} ）としている。

本指針では、構造物の種類ごとにその方法を述べているが、いずれも基本的にはすべり力と、すべりに抵抗する力、および抑止力（設計外力、 P_r ）のつり合い条件に計画安全率（ F_{sp} ）を見込み、これより設計外力（ P_r ）を求めるものである。

抑止工はこのように計算で設計可能なことが多いが、計算で設計したものを経験や既往の施工実績で対比して、妥当性を確認することが望まれる。

斜面对策の必要抑止力については、現状の安全率（ F_s ）を以下のように設定し、計画安全率（ F_{sp} ）を乗じて求める。

- ① 斜面に異常・変状や崩壊の兆候が見られる場合 $F_s = 0.95$
- ② ただちに崩壊に結びつくような兆候が見られない場合 $F_s = 1.00$

2.7.3 斜面の安定度の検討

安定度の検討は、危険度判定、崩壊形態の想定、対策工の設計などにおいて最も基本となるものである。盛土、フィルダム等の人工斜面では安定度の検討は計算、すなわち滑動力と抵抗力の比である安全率を計算する形で行われるのに対して、自然斜面の場合は、地山が均質で地山を構成する土（岩）のせん断特性が土質試験等によって明らかになっている場合に限って、安定計算結果が主な判断根拠となり得ると原則的にされている。

したがって、自然斜面の安定度の検討は、従来の経験や資料をもとに現場技術者の判断で行なわれることが多く、理論的検討あるいは計算のみで斜面の安定度を決められるような場合はほとんどないと考えてよい。これは自然斜面が人工の斜面と次のような点において異なるからである。

- ① 人工斜面に比べて、自然斜面の構成する地盤の強度および水に関する性質が異方性、不均質性を示すこと。
- ② 浸透水および地下水の動きが地形・地質構造に非常に左右されること。
- ③ 風化によって生成した土あるいは火山放出物起源の土（シラス、ローム）など、いわゆる陸成土が対象となることが多く、これらの土を構成している粘土鉱物の水に対する性質が、海成土を構成している粘土鉱物に比較して一般的傾向として不安定であること。
- ④ 降雨時も不飽和状態であることが多く、水の浸透やせん断特性などに関して不確定な要素が入ること。
- ⑤ 背後地の地形、斜面と断層との距離など、対象斜面自体のほか、周辺の条件も考慮に入れる必要があること。
- ⑥ 植生の被覆効果、樹木の風による地盤のゆれの影響等、従来土質力学や岩盤力学で取り扱われているもの以外の事項の比重が相対的に大きいこと。

安定度の判定を行う方法は次の3つの方法がある。

- ① 従来の経験、実態、標準のり勾配との対比による安全性の検討。
- ② 現地調査による崩壊形態の予測に基づく想定。
- ③ 計算による安定性の検討。

2.8 長大斜面对策

2.8.1 総説

地形学的に明確に定義されているわけではないが、急傾斜地崩壊対策事業の中では、一般的に直高 30m 以上の斜面を「長大斜面」と称している。長大斜面对策は、斜面崩壊対策の中でも非常に難しい問題の1つである。その原因は主に2つの理由からである。

第1は、崩壊が斜面のどの部分から、どのような形態で発生して移動するのか推定すること

が一般に困難であること（これは必ずしも長大斜面に限ったことではないが、長大斜面の場合はさらに推定が困難となる）。

第 2 は、仮にその推定が可能であったとしても、対象とする崩壊に見合った対策工の設計の考え方を基準化することが難しいためである。この理由の中には、長大斜面のどの程度の高さまでどのような構造物を配置すべきか、といった計画上のあるいは経済的な条件の関連する問題と、例えば地形条件から施工が困難であったり、崩壊土砂の衝撃力に耐え得る構造物をつくることが困難な場合が多い、といった物理的な制約条件に関する問題が含まれている。

2.8.2 長大斜面对策の計画上の問題点

(1) 崩壊の位置および範囲

崩壊の位置や範囲を推定することは長大斜面に限らず、斜面崩壊対策の計画上、非常に重要な要素となる。特に長大斜面においては、斜面全域にわたって切土等の対策工を施工することは事実上不可能であるため、対象とする斜面における崩壊の発生しやすい高さや、横断方向の範囲を推定することが重要である。その際に参考になる項目を以下に列記する。

- ① 基本的には十分な調査を実施することが必要である。特に長大斜面对策の計画立案にあたっては、その重要性から、本章の調査手法を可能な限り活用すべきである。
- ② 長大斜面对策にあたっては、特に崩壊源となりやすい斜面の上部に着目した対策が重要である。
- ③ 崩壊した部分の地形的な特性を過去の事例からみると、傾斜が 10 度以下の場合にはほとんど崩壊は発生しないものと考えられる。したがって、上方の緩傾斜の斜面に表土等のルーズな層が厚かったり、あるいは降雨時に水が集中するということがなければ、一般に斜面上の遷急点（線）は、1つの侵食前線を表しているといえることから、その直上部には引張応力が作用しやすい。
- ④ 斜面から湧水の見られる場合、その部分から表土の侵食が徐々に進行して上部斜面が不安定となり、豪雨時に大きく崩壊を起こすような現象が発生する危険性がある。このような箇所には、事前に何らかの措置を講じておくことが有効である。
- ⑤ 同様の土質や地形の条件下にある周辺の斜面での崩壊事例がある場合には、その箇所や範囲を確認することも参考となる。

(2) 崩壊の形態

「新・斜面崩壊防止工事の設計と事例」を参照すること。

(3) 移動形態

「新・斜面崩壊防止工事の設計と事例」を参照すること。

2.8.3 長大斜面对策の基本的な考え方

2.8.2 で述べた長大斜面对策の計画上の問題点は、実際には長大斜面に限ったことではなく、ほとんどの急傾斜地崩壊対策に言えることでもある。ところが、一般に、斜面長が限られている

場合には、比較的容易に対策工事の範囲を決定し同時に工種を計画することができる。

しかしながら、特に長大斜面では、これらの問題点に関連して、対策工の施工範囲を斜面のどの程度の部分までとするのかを決定することがしばしば困難となる。

そのため（場合によっては施工範囲が決定できたとしても）、採用する工種を決定することも難しくなる場合が多い。さらに、地形や地質的な制約あるいは経済的な制約から、採用できる工種が限定されることもある。

そこで、これまでに実施されてきた長大斜面对策に関する調査結果や施工事例等から、対策工を計画する際の基本的な考え方を整理すると以下ようになる。

- ① 地形・地質概査から、どのようにして現在の斜面ができたかについて地形・地質学的解釈を行い、過去の記録から周辺も含めて災害の履歴を調べる。
- ② 次に、現地踏査・地質調査報告書によって想定地すべり面の検討を中心に崩壊形態、崩壊規模、崩壊要因を可能な限りの確に想定する。この場合、一般には、2.8.2 で述べたような傾向を念頭に置く必要がある。
- ③ 崩壊形態、崩壊規模、崩壊要因が明瞭に把握でき、かつ施工が可能であれば、崩壊要因を除くための工法を崩壊発生想定部において計画する。また必要に応じて斜面の中間部や下部にも対策を講じる。
- ④ 崩壊形態、崩壊規模、崩壊要因がそれほど明瞭に把握できない場合、斜面を全面的にカバーする工法を計画することが望ましい。
- ⑤ 崩壊形態、崩壊規模、崩壊要因が明瞭に把握できても崩壊発生想定部における対策工の施工が不可能であるような場合、主として下部においていわゆる待受け的な工法を計画する。また、必要に応じて斜面上中部にも何らかの対策工を計画することが望ましい。このような場合には、崩壊の要因が完全に除去されたわけではないことから、警戒避難等を組み合わせた対応が必要となる場合が多い。

以上のような基本的な考え方に基づいて対策工が計画されるが、実際には斜面長が長い場合、いくつかの工法を組み合わせることで計画を立案する機会が多い。また、近年では「特定利用斜面保全事業」のような行政上の制度もつくられている。

この事業は、斜面の上部を切土することによって、新たに生み出される土地の公共的な利用と防災を同時に可能にするもので、条件によっては長大斜面自体を積極的に縮小することも可能な場合もある。

さらに、長大斜面对策の際の留意事項として次のような諸点が挙げられる。

長大斜面では対策工で斜面全体をカバーすることができないので、対策工自体が残りの自然斜面にマイナスの影響を与えないように留意することが必要である。例えば設置した水路工等より溢水が生じた場合、自然斜面をいためることになる。また杭等の設置により表面流が集中する箇所が発生し、その部分が侵食される場合がある。これに対しては、家屋のほりついていないところへ水が集まるように排水路を設置したり、水路の両側を水路に向かって傾斜をつけ、しかもこの表面をソイルセメントなどで被覆し、水路より溢水しても侵食を受けない構造の縦水路を斜面の最急勾配の方向に設置したり、あるいは杭については杭列よりも高い標高で Y 型

の排水路を設置し、杭列の位置ではこの縦水路が杭列と交差するようにするなど、マイナスの要因をなくして、部分的に実施した対策工がプラスの効果のみを有するように設計することが大切である。

長大斜面では、上方の台地部の土地利用状況の変化および斜面自体についても、植林の伐採等その利用状況の変化に注意する必要がある。

斜面安定上、有害な土地利用計画があれば、事前になるべく早く情報をキャッチできるよう日頃から心がけ、これを中止させるべきである。もしこの土地利用計画が社会的に避けられないものであれば、これに見合った崩壊防止工を計画したり、あるいは避難体制を強化するなどの対策を立てるのが望ましい。

2.9 環境対策

2.9.1 総説

急傾斜地崩壊対策の立案にあたっては、景観・環境への配慮を的確に行うものとする。

斜面崩壊防止工事は、がけ崩れの発生危険性のある斜面に対して種々の構造物を施すこと等によってその危険性を取り除いたり軽減することを目的として実施されるものである。

とくにこのような現象の発生は、人命が失われるような災害に直接的に結びつくため、ややもすると威圧的な構造物を前面に押し出したような対策工事に傾きがちであったことは否めない。とは言うものの、このような基本的な考え方は、人命や資産の保護を第一に考慮する必要のある事業の中では、今後とも基本原則であることに変わりはない。

しかしながら、環境問題に対する関心、豊かさを求めるニーズ、価値観の多様化等によって、斜面崩壊防止工事を取り巻く状況も激変してきている。とりわけ、開発の著しい都市域にあっては、開発に不向きな斜面が残された貴重な緑地空間を形成している場合が多く見受けられる。

このような背景から、機能一辺倒ではなく、景観や環境への配慮を含めた斜面崩壊防止工事への要請が非常に強まっている。

このような社会的条件の変化から、建設省（現国土交通省）においても平成6年1月に「環境政策大綱」を策定し、「環境」を建設行政における内部目的化すること、「環境の創造と継承」・「環境の保全」・「地球環境問題への対応」の3つを環境政策の理念とすること、環境に関する計画や事業を推進すること等を規定している。

ところで、斜面崩壊防止工事を実施するうえでの環境の問題について考えてみると、「地球環境」といった極めてグローバルな捉え方よりも、現状ではむしろ限定されたある地区における環境（もちろんこれは、周辺の地域との関連性を度外視して、対象地区のみを閉鎖的に取りあげる、という意味ではない）の問題としての認識の方がふさわしいものと考えられる。

これは、総体として見ればグローバルな環境への寄与が非常に大きく期待されるとはいえ、一般的に急傾斜地崩壊対策事業が対象とする個々の斜面の規模が限られていることから、それぞれの斜面において大気や水など、グローバルな環境に影響する因子の正確な評価がしにくいいためである。

また、事業自体の性格も、特に斜面周辺の住民の生活基盤に深く根ざしていることから、前述

のような環境に対する視点が基本になるものと思われる。

「環境政策大綱」でも述べられているように、環境は種々の自然物と人工物から構成されているが、それらに評価を与えたり価値を見出す行為は、とりもなおさず人間によって行われる。それらの評価項目には例えば大気や水の汚染状況のように客観的かつ定量的に示すことのできるものや、美しさや快適さなどのように主観的判断によらざるを得ないものがある。しばしば用いられる「景観」というキーワードは、環境の一部を形成しているという捉え方も可能であるが、同時に、前述した環境に対する主観的判断による評価項目の一つと見なすこともできると考えられる。

以上のような諸点を念頭に置いたうえで急傾斜地崩壊対策事業に伴う環境対策を考えてみると、主として周辺との景観上の調和、居住環境および自然環境への配慮が特に重視すべきものとなる。

景観への対策の中では、構造物の配置形態、材質、色彩等を工夫して景観上の違和感をなくすような工夫が講じられる場合もあるが、緑化によって人工的な構造物をできるだけ目立たせないようにする手法が多用される傾向にある。

一方、環境への対策では、構造物の周辺に生活する住民の居住環境や動植物等への生態系への配慮が必要となる。

ここで特に注意すべき点は、ほとんどの場合、環境対策にはすべての人を同等に満足させるような手法があるわけではない、という事実である。とりわけ、景観の考え方は十人十色といっても決して過言ではないほど個人によって異なるため、十分な議論を尽くして最大公約数となるような計画を立案する必要がある。

なお、鳥取県においては鳥取県景観形成条例（平成19年鳥取県条例第14号）第20条第1項の規定により、鳥取県公共事業景観形成指針を定めている。

県の公共事業の実施に当たっては、必要に応じて鳥取県景観審議会、鳥取県景観アドバイザー、関係市町村、住民等に意見を聞くものとしている。特に、景観評価の対象事業については、事業の各段階で景観形成に関する方針や具体的対策をとりまとめ、県民の意見や第三者の意見を求めるものとする。対象事業以外の公共工事においても、できる限りそれに準じた手法により景観評価を実施するものとする。

急傾斜地崩壊対策事業では、次表に掲げるものが景観評価の対象となる。ただし、景観行政団体である市町村が公共事業景観形成指針（以下「市町村指針」という。）等を別に定め、それより小規模なものも景観評価の対象とすることとしている場合には、当該市町村内で行われる事業については、当該市町村の定める規模以上のものを対象とする。

景観形成重点区域又は自然公園の区域内での事業は、原則としてすべて景観評価の対象とする。ただし、災害復旧等の緊急を要する事業及び軽易な維持修繕事業、周囲の景観形成に与える影響が少ないと判断される軽微な事業変更、外観変更を伴わない修繕事業、環境影響評価法及び鳥取県環境影響評価条例に基づく環境影響評価の対象事業については、この限りでない。

表 2-14 景観評価対象事業

事業の種類	景観評価を義務付ける対象事業	参考： 鳥取県公共事業環境配慮指針
急傾斜地、雪崩防止、山腹工事	計画区域面積が1ヘクタール以上の事業	計画区域面積が1ヘクタール以上の事業

急傾斜地崩壊対策施設において、特に留意すべき事項を以下に記す。

(1) 基本方針

急傾斜地崩壊対策施設や山腹工は、土砂崩れから人家を保全し、地域住民の生命・財産を保護することを目的としていることから、設置箇所や構造についての配慮は困難である。しかし、地域環境と密接に関係する施設であるため、施設の設置にあたっては、地域環境への影響を考慮し、地域の自然と融合が図れるよう景観上の配慮を行うこと。

(2) 具体的方向

① 擁壁工

- ・ 擁壁工については、人家背後に設置されることから、不特定多数の人目を引くことは少ないが、擁壁工のコンクリート面が目につきやすい場合には、コンクリート壁面の表面処理や自然環境に配慮した間伐材等の活用、つる性植物等による被覆、植生ブロックの設置、施設周辺の植栽等の対策を行うこと。

② 法面工

- ・ 法面は、原則として緑化することとし、コンクリート吹き付けは避けること。
- ・ 緑化は、原則として在来種で行うこと。

以下、斜面崩壊対策が十分な安全性を有することを前提として、環境対策の基本的な考え方を記述する。

2.9.2 景観・環境対策の基本的な考え方

環境対策として、景観対策・居住環境対策・自然環境対策を必要に応じて行うものとする。

(1) 景観対策

景観の評価は、各個人の有する価値観や美的判断に大きく左右される。社会的な背景もあって、各個人の持つ価値観はますます多様化の方向に進んでいる。加えて、周辺が都市域であるのか、あるいは農山村部であるのか、自然公園や風致地区または観光地であるのか、といった条件によっても景観対策の考え方は大きく異なっている。

例えば、農山村部であれば周辺の環境に調和的な景観を最終的な目標におき、都市部であれば、景観を積極的に創造することを心がけたりする、というようなことが考えられる。しかしながら、景観対策にはすべての人を満足させるような回答が準備されているわけではない。

したがって、できる限り、構造物の計画や設計の段階で最大公約数を求めるための努力が

なされるべきである。

景観の評価を一律の尺度で測ることは難しいが、例えば、熊谷らは景観の評価項目として次のようなものを挙げている。そして、これらの評価項目を、対象と地域の大小から表 2-15 に示すように適用すべきであることを提案している。

表 2-15 評価段階と評価項目

評価レベル 評価項目	地域レベル 地区（立地）選定	地区レベル 施設配置	地点レベル 施設設計
調和性	○	○	○
統一性		○	
親近性			○

- ① 調和性：自然景観（背景）と施設の調和の度合いで、評価度として「乱し度」（自然景観を施設が乱しているかどうか）、「連続度」（自然景観と施設の連続度）、「目立ち度」（自然景観に対する施設の目立ち度）を考慮する。
- ② 統一性：特にいくつかの施設が複合して作られる場合に、施設間の統一性が総合評価に大きく関係する。評価軸として「複雑度」（施設の種類や大きさの複合を表す）および「整然度」（施設の並び方に左右される）が挙げられる。
- ③ 親近性：施設のもつ親しみやすさの度合いで、評価軸として「見慣れ度」が挙げられる。

(2) 居住環境対策

一般的に斜面崩壊防止施設は多くの人家に近隣して構築されるため、従来から、その地域の住居の居住環境を悪化させないことが必要最小限の条件となっている。しかしながら、景観対策と同様に、居住環境の快適さに対する考え方もまた個人によって差異がある。

したがって、このような要請に対しての事業の計画の際には住民の意見を十分に聴取することが求められる。

例えば、居住環境を狭い意味で解釈すると、人家に面した構造物の圧迫感をできるだけ減じることや、コンクリート構造物からの太陽光の反射を減じることなどが対策の大部分を占めることになる。これらの問題は、2.9.3(1)で述べる景観対策の手法とほとんど同様の方法で解決することができる。

居住空間をもう少し広い区域のものとしてとらえると、ある地域社会のアメニティを向上させるために積極的に斜面を利用する、という考え方もできる。例えば緑地空間としてうおいとやすらぎの場を創出したり、地域のシンボル等としての利用 ~~方法~~が考えられる。特定利用斜面保全事業に代表されるように、地域のアメニティを考慮した事業の展開が、今後さらに強く求められるものと思われる。

(3) 自然環境対策

一般に、種々の工事から自然環境を保全するためには、段階的に自然環境をできる限り保護する、自然環境を復元する、積極的に新しい環境を創造するといった手立てが考えられる。急傾斜地崩壊対策事業においても、基本的にはこのような段階を考慮に入れて自然環境対

策を考える必要がある。

急傾斜地崩壊対策事業では、現地の地形や水文条件などの一部を若干変化させる行為を伴うとはいえ、最も大きな影響を被るのは元来その斜面に形成されていた生態系である。したがって、自然環境対策の最終的な目標は、とりもなおさず生態系の保護あるいは復元になるものと考えられる。

しかしながら、事実上工事が実施される限り、生態系を保護することはほとんど不可能であることから、通常は生態系の復元と創造が最終目標となるものと考えられる。斜面の植生や性状にもよるが、急傾斜地崩壊対策事業においても、生態系に対する調査の重要性は徐々に高まってきている。

このような社会的な要請のもとで、斜面崩壊防止工事の実施される斜面の生態系を、工事の施工後に復元するためには、まず施工以前にその斜面の現況調査を実施する必要がある。そして、その結果に基づいて現況の分析、問題点や貴重種の抽出等を行う。特に貴重種等が存在する場合、原則的にはこのような調査を経た後、施設の計画と生態系との何らかの調和措置を執ることが望ましい。

亀山によれば、生態系の保全水準は次の3レベルに分けて考えることができる。

- ① 生態系の全体の保全：生態系のまとまりを全体として保全する。この保全水準では、自然生態系の場合には人手を加えず保全し、人為的な影響を排除して保護する。
- ② 生態系の部分の保全：生態系の中の特定な部分を取り出して保全しようというものであり、水辺の植物群落の保全や野鳥の生育環境の保全などのテーマで行なわれる。
- ③ 生態系の構成要素の保全：生態系を構成している特定の動物や植物の要素を対象にして保全を図ろうとするもので、カブトムシの森づくりやバッタの草原づくりなどのテーマで行われる。この場合、それらの動植物の生育環境の整備への人為的な関与の程度はさまざまである。

このような生態系を復元するためには生物に関する知識と生態系を構築する理論を知ることが不可欠であるが、現実には種々の生物とそれら相互の関連を対象とすることから経験的な判断によらざるを得ない場合が多い。

時間の経過に伴って生物が徐々に住みつく過程を注意深く見守りながら生態系を育成していくことが基本である。

2.9.3 景観・環境対策の手法

環境対策は、周辺の自然環境・居住環境・景観と調和的になるように行うものとする。

(1) 景観対策の手法

景観を良好なものにするためには、ほとんどの場合、自然のままの斜面を保つことが有力な手段となる。しかしながら、一般的な急傾斜地崩壊対策事業の中で、このような手段をとることは不可能に近い。

したがって、周辺の景観に構造物をなじませるためのいくつかの手法の選択が必要となる。前述したように、景観対策のひとつとして、構造物自体の形態・材質・色彩を周辺の景観と調

和的になるように種々の処理を施すことが挙げられる。

代表的なものを列記すると以下のとおりである。

① 構造物の形態の工夫

構造物本来の機能を保ちながら、その形態を自然に溶け込ませるようなデザインとする方法。一般には直線をできるだけ避けて曲線の多い構造物とするような場合が多い。切土工で用いられるラウンディングも同様の考え方に基づいている。

② 自然石等の利用

構造物を天然の材料によって構築する。違和感が少なく、景観上最も好ましい手法の一つである。

③ 化粧型枠の利用

擁壁や張コンクリートの表面に、主として擬石タイプの化粧型枠を利用する。比較的無難な工法で景観上も周囲と馴染みやすいが、型枠部の表面の気泡の処理等施工に手間がかかる。

④ 着色コンクリートの利用、カラー塗料や樹脂の吹付け

擁壁等の構造物に着色したコンクリートを用いたり、カラー塗料を吹付ける。見本色と構造物の施工後の着色面の印象が異なったり、季節によって色彩の印象が変化する場合もあるため、カラーの選択に注意を要する。

⑤ 構造物表面の壁画・レリーフ

事例は多いとはいえないが、主としてコンクリート張工や擁壁工の表面に、絵画を描いたりレリーフを制作したりする。地域のシンボルやランドマークとなりやすいが、付近住民の広い同意が必要である。

さらに、種々の斜面崩壊防止工事に付随して、花壇や通路の手摺に擬木を用いるような場合もある。

以上のように、構造物自体に何らかの処理を講じて周囲の景観と調和させるという手法にはさまざまなものがある。これらの選択にあたっては、住民の意見を広く問い、人工物であっても可能な限り質の高い施設を構築するという姿勢が今後さらに強く求められるようになるものと思われる。

一方、対策工が施工された斜面等を緑化することによって景観を保全する、という考え方は概して広い支持を受けやすく、いろいろな施工法が考案されるに至っている。これは主として、植生が自然界の産物であることに起因しているものと思われる。

緑化工の基本的な考え方をまとめると、①安定性の確保、②地域環境との調和、③永続性の確保、④維持管理の軽減、ということになる。ここでは景観対策として比較的施工例の多いものについて簡単に述べる。

① 小段や構造物前面の緑化

のり面の小段や擁壁等の構造物の前面に植物を導入することによって人工的な構造物をできるだけ被覆し違和感を減じる。施工条件は良好な場合が多いが、特に擁壁のような構造物をツル性の植物で被覆するような場合には、その伸長を誘導する方策

が必要となると同時に、斜面の向きにも配慮が必要である。

- ② のり枠工の枠内を利用した緑化
比較的大きなスペースを確保できるため、草本はもちろんのこと、木本類を導入したり、残したりすることができる。近年、木本を導入した緑化の有効性、重要性が報告されるようになってきていることもあり、施工例が増加している。
- ③ 擁壁や張コンクリート、ブロック等の表面に植物導入のためのスペースを設けての緑化植物を導入するためのスペースを確保するために、特殊なブロックを用いたりボックスを設けたり、場合によっては既存の擁壁や張コンクリートの表面に柵やボックスを設けるものである。草本類、低木、ツタ等を導入するのに適している。
- ④ 壁面や吹付コンクリート表面に植生基材の吹付工等を施しての緑化
主としてツル性植物や草本による緑化を行う場合に限られる。既存の構造物をほとんどそのまま利用できる反面、地山への根系の侵入がなく、しかも地山からの養分の供給が得られないことから、十分に緑化基礎工や植生基盤の整備が不可欠である。

斜面崩壊防止工事に伴って景観対策を実施する場合には、2.9.2でも述べたような評価基準や、上述の工法を十分に比較検討することが必要である。

(2) 環境対策の手法

急傾斜地崩壊対策事業における居住環境の対策は、景観対策と共通する部分が多い。したがって、(1)で記述したような具体的な手法を用いることによって、ある程度解決することができる。

中でも、植生の導入は広い賛同が得やすく、図 2-7 および 8 に示すような種々の効用が期待されることから、施工箇所の条件に応じて適用範囲が非常に広いといえる。さらに、積極的に斜面を利用して、居住環境の改善に役立てようとする事業も展開されており、緑地空間としての利用、避難場所としての整備、レクリエーションやコミュニケーションの場としての整備など、地域の実情に合わせた、さまざまな「積極的な居住環境対策」が求められている。

一方、自然環境対策においては、主たる目的は生態系の保全となる。亀山の示した具体例を引用すると、生態系保全緑化には次のような手法が挙げられる。

- ① 生態系の保全：自然生態系で現状に手を加えず人為的な影響を排除することによって行われる。
- ② 生態系の復元と再生：生態系を復元・再生することは生態系の保全よりもさらに難しい。それは、生態系が消失する過程で多くの生物が生育環境を失い、その地域における生息分布域が狭められてきているからである。
- ③ 生態系の創出：新しくつくられた環境には時間の経過とともに生態系が形成されるようになる。それが発展できるような条件を整えることが生態系を創出する条件となる。
- ④ 生態系の移設・代替：農林生態系などの人為的管理のもとに成立している生態系では生態系の構成員である生物に別の生育環境をつくって生態系を移設・代替しよう

とする手法がある。

- ⑤ 生態系の改善：都市生態系や農林生態系のなかには生物が生息しにくい環境になっている部分がある。このような部分を改善して生物の生育環境を保全するのがエコ・アップテクノロジーである。

生態系の保全に関する代表的な手法は以上のとおりであるが、急傾斜地崩壊対策事業の中で全ての手法が適用可能なわけではない。2.9.2 (3) で述べた保全レベルも勘案して対象とする地区の状況に合わせて目標を設定する必要がある。

2.9.4 樹木等の防災上の評価

景観や環境対策として植生を利用することが非常に効果的であることは述べてきたが、斜面上の植生、特に樹木等の防災上の効果を考えると、プラスの面とマイナスの面がある。プラスの効果としては、①表面流による侵食に対する抵抗力の増大、②根系の緊縛力による地面の強度増加、が挙げられる。一方、マイナスの効果として、①風による樹木の揺れや転倒による地盤の緩み、②土壌の浸透能の増大が挙げられる。

一般的には樹木は山腹斜面の崩壊抑止あるいは土砂流出防止に効果があり、立木密度が高く壮齢材の割合が多い方がその効果は大きいとされている。しかし場合によっては樹木がマイナスであったといわれることがあり、例えば昭和 46 年 9 月 6～7 日、千葉県での秋雨前線ならびに台風 25 号によるがけ崩れでは、以前は薪炭用に使っていた雑木類を最近では使わなくなったため樹木が大きくなりすぎ、これが強風に揺られて崩壊を促進したという話がある。

樹木を伐採して新しい苗木を植えた場合、古い樹木の根系の腐食と新しい樹木の根系の生長が共に進行するため、樹種にもよるが、一般に伐採してから数年から 10 年後が最も条件が悪いとされている。

2.10 地震対策

2.10.1 総説

近年、地震時に斜面崩壊による被害がめだち、平成 28 年 4 月の熊本地震や平成 30 年 9 月の北海道胆振東部地震ではとくにこの傾向が顕著であった。

自然斜面は一般に不均質、異方性を示し、その地形、地質、土質などの素因は複雑である。したがって、降雨による斜面崩壊防止対策についてもその技術的水準は必ずしも満足のいくものではないが、災害の事例が多いので資料や経験が豊富であり、これらをベースに問題に対処しているのが現状である。しかしながら地震による斜面崩壊に対しては、地震時の自然斜面の挙動に関して、研究的にも不明な点が多くまた災害の事例自体が少ないので、降雨による斜面崩壊に比べて、わからない点が多い。

地震時の自然傾斜の安定についても、地震時にどのような斜面がどのように崩壊したかという実態と、各種の斜面崩壊防止工の被害の実態をもとに、設計・施工面で耐震性の向上を図っているのが現状である。しかしながら地震応答解析による斜面の耐震性の検討も試みられるようにな

り、斜面の安定および防止工の設計に関して、数値的取扱いが実際面で大きな役割を果たすようになるのも遠いことではないと思われる。

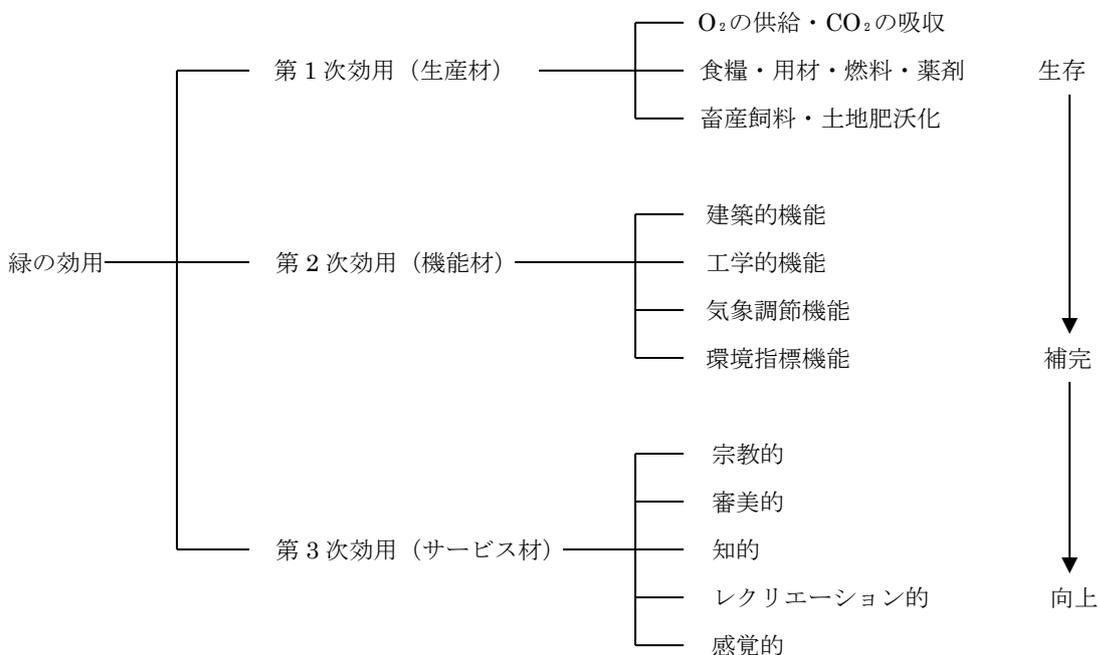


図 2-7 人と緑の関わり

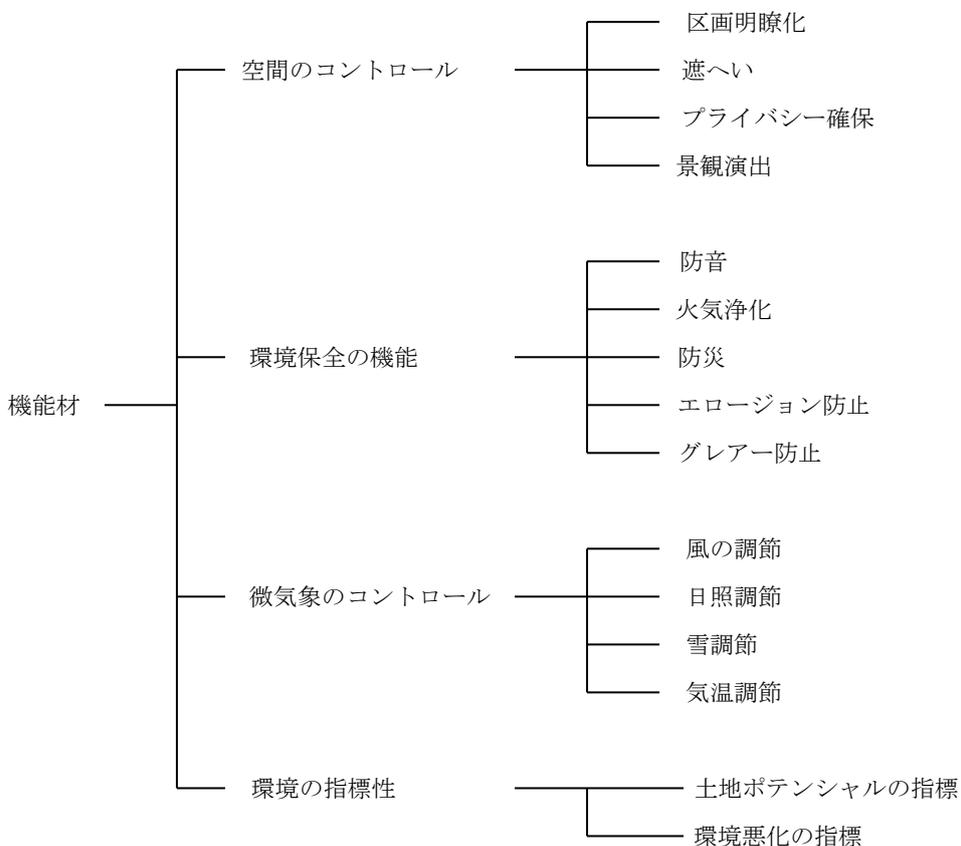


図 2-8 緑の機能材としての効用

2.10.2 調査

調査方法は降雨に対するものとほぼ同じ流れで行われるが、若干異なる点もあるのでこれを中心に述べる。

(1) 資料調査

直接現地へ入って調査する前に資料収集を行い、以下の概査、本調査に生かすことが必要である。収集する資料は次のようなものである。

- ① 過去の災害記録
- ② 当該斜面周辺の環境記録
- ③ 気象記録
- ④ 地震記録：発生日時、震度、震源地との距離、最大加速度、斜面崩壊等の災害の有無、被害程度
- ⑤ 地質図
- ⑥ 地形図
- ⑦ 空中写真

(2) 概査

概査は斜面崩壊防止対策工事等の全体計画策定に必要な調査であり、前述の資料調査結果をもとに現地踏査および空中写真判読調査等を行う。一般に 1/2,000~1/3,000 の地形図を用い、成果は地質図等で示される。概査は本調査を行うために必要であるばかりでなく、対象斜面を含む地形・地質がどのような地形・地質学的変遷を経て形成されたかについて解釈をたてるものであり、それだけで崩壊危険度、崩壊規模、形態、位置等の想定がかなりの程度までできる場合があるため、重要な調査である。

現地踏査および空中写真判読調査に際しては特に次の諸点に注意すべきである。

- ① 地すべり地形
- ② 断層、破碎帯
- ③ 地質の走向、傾斜
- ④ 遷急線の位置、分布
- ⑤ 谷地形
- ⑥ 段丘地形：傾斜途中にある緩傾斜の地形については、これが上方からの崩土が堆積したものの段丘であるかの識別が地震を考える際には特に重要である。
- ⑦ 過去の崩壊：特に地震によるものに着目する。

(3) 本調査

現地踏査、サウンディング、ボーリング、土層観察、サンプリング、物理探査、地下水調査、土質試験、斜面変位調査等により地質構造、土質岩質の評価、すべり面の位置と性質、地表水の流入状況、地下水の状況等を調べ、これらより崩壊の形態、危険度を想定する。

地震応答解析など特に数値的検討を行う際には、表 2-16、17 に示した項目について現地調査および室内試験を実施するのが望ましい。

表 2-16 地盤の動的特性の動的地盤調査法（現地調査）

区分	種別	地下構造	圧縮変形係数E	せん断変形係数G	ポアソン比 ν	地盤反力係数K	減衰定数h	弾性波速度		地盤振動特性（卓越周期）	密度
								Vs	Vp		
地表踏査	物理探査	屈折法	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
		反射法	<input type="checkbox"/>								
		表面波	<input type="checkbox"/>								
		共振法（起振器）					<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>
		常時微動測定法									<input type="checkbox"/>
	その他	載荷試験		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>				
ボーリング孔内調査	物理検層	PS検層	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
		孔間速度測定	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
		音波検層						<input type="checkbox"/>			
		密度検層（RI法）									<input type="checkbox"/>
	原位置試験	常時微動測定法									<input type="checkbox"/>
		サウンディング	<input type="checkbox"/>								
		孔内水平載荷試験		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>				
		孔内動載荷試験		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>	

注) ・サウンディングは、標準貫入試験、土研式簡易貫入試験、SH型貫入試験、スクリーウエイト貫入試験等がある。
 ・○印は直接求まるもの、□印は間接的に求まるもの。
 ・上表を参考とするが、印を付した欄以外でもデータが得られる場合もある。

表 2-17 動的土質定数を求める試験法（室内試験）

試験法	圧縮変形係数E	せん断変形係数G	ポアソン比 ν	減衰定数h	動的せん断強度	歪範囲
動的三軸圧縮試験	<input type="checkbox"/>	$10^{-4} \sim 10^{-1}$				
動的単純せん断試験		<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	$10^{-4} \sim 10^{-2}$
超音波パルス法	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			微小
共振法土質試験	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		$10^{-6} \sim 10^{-4}$
ねじり試験		<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	$10^{-4} \sim 10^{-2}$
リング式ねじり試験		<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	$10^{-4} \sim 10^{-2}$

注) ○印は直接求まるものであり、また□印は間接的に求まるものである。

2.10.3 地震時の斜面安定の検討

地震時の斜面安定は誘因（地震力）と素因（地形、地質、土質）に支配される。過去の事例、実態を参考にし、現地踏査、地盤調査などの現地調査結果より総合的に斜面の安定度を検討しているのが現状である。これに震度法によるすべり計算、有限要素法などを用いた地震応答解析の結果を対比して、検討時の参考とするのが望ましい。

(1) 既往資料に基づく踏査時の経験的検討

これまでの地震に伴う斜面崩壊の調査結果から次のようなことが言える。

- ① 雨に弱い斜面は地震にも弱いという傾向が一般にみられる。したがって斜面崩壊が雨により多発する地域は、地震に際しても多発しやすい。
- ② 傾斜の急な斜面が弱い。特にオーバーハングしている斜面は弱く、雨に対しては安定している岩盤が地震では崩壊する例がときどき見受けられる。
- ③ 浮石、転石等がある斜面は弱い。
- ④ 斜面途中の盛土は崩壊しやすい。
- ⑤ 基盤の上の表土層や強風化層などが基盤との境界で崩壊しやすい。これは雨に対してもみられることである。
- ⑥ 地震時には、垂直断面からみて凸型の斜面により多くの崩壊の発生する傾向が認められる。したがって遷急線を含む斜面には特に注意する必要がある。
- ⑦ 山腹斜面などでは降雨の浸透水が途中で斜面の表面に湧出する地点が崩壊の頭部になる例が多いが、地震時ではこの地点より上方の稜線あたりから崩壊する例が多い。

(2) 斜面崩壊対策工の設計における地震力の考え方

一般的には斜面崩壊対策工の設計時には、大規模な擁壁工等の特殊なものを除いて地震力を考慮に入れていない。むしろ、現状では地震時の斜面の安定性を推定し、相対的に危険な斜面を抽出したり、あるいは対策工の施工範囲を決定するために前述のような手法が用いられる場合が多い。

2.11 設計参考図書

各工法の設計は、本指針および「新・斜面崩防止工事の設計と実例 参考編」の他、下表に示す図書を参考とすること。

表2-18 参考図書

書名	発行年月	著者または発行所	適用
道路土工要綱 (平成21年度版)	H21.6	(社)日本道路協会	排水工
道路土工-切土工・斜面安定 工指針 (平成21年度版)	H21.6	(社)日本道路協会	排水工 切土工 植生工 張工 擁壁工 グラウンドアンカー工 地山補強土工 落石対策工
道路土工-擁壁工指針 (平成24年度版)	H24.7	(社)日本道路協会	擁壁工
落石対策便覧	H29.12	(社)日本道路協会	落石対策工
のり枠工の設計・施工指針 (改訂版第3版)	H25.10	(社)全国特定法面 保護協会	のり枠工
地山補強土工法設計・施工 マニュアル	H23.8	(社)地盤工学会	のり枠工 地山補強土工
切土補強土工法設計・施工 要領	H19.1	(株)高速道路総合 技術研究所	グラウンドアンカー工 地山補強土工
グラウンドアンカー設計・ 施工基準, 同解説	H24.5	(社)地盤工学会	グラウンドアンカー工
グラウンドアンカー設計施 工マニュアル	H25.7	(社)日本アンカー 協会	グラウンドアンカー工

【第2章 参考文献】

- 日本河川協会：建設省河川砂防技術基準（案）同解説 計画編 平成9年10月
- 全国治水砂防協会：新・斜面崩壊防止工事の設計と実例 本編 令和元年5月