

(7) トンネル

ア 一般事項

トンネルの建設に当たっては、安全で合理的な計画、設計、施工及び維持管理の基礎資料を得るため、トンネルの規模に応じて、建設の段階ごとに、系統的に地形、地質、環境等に関する調査を実施するものとする。

トンネル建設のための調査は、トンネル建設箇所に特有の地表及び地山内の諸条件を事前に把握する目的で行うものであり、トンネルの計画・設計及び施工に欠かすことのできないものである。調査の実施に当たっては、トンネルの規模、地形・地質の特性、建設の段階等に応じて、その目的・内容及び時期を定め、所要の資料を入手するように努める。

イ 調査の種類

トンネルの調査は、一般に事業実施段階ごとに次の4段階に分類できる。^{注)}

- ① 計画調査…………… 主に路線選定を目的に行う調査
- ② 基本設計調査…………… 計画調査段階で概定された路線の決定を行い、トンネルの基本設計を行う。通常この段階で、測量、現地調査、地質調査が行われる。
- ③ 実施設計調査…………… 実施設計段階において設計精度の向上を目的に、必要に応じた調査を基本設計調査から追加するものである。
- ④ 施工中の調査…………… 施工中に生じる問題点の予測及び確認、設計変更、安全管理、補償及び今後の施工のための資料を得るために行う。

また、トンネルの調査はその対象により一般に次のように分類できる。

- ① 地山条件調査…………… 地形調査、地質調査（物理探査、ボーリング調査、岩石試験等）、水文調査
- ② 気象条件調査…………… 気象調査
- ③ 立地条件調査…………… 環境調査、施工条件調査、関連法令等に関する調査

これらの調査を、トンネルの計画・設計及び施工の段階で必要に応じて実施し、周辺の地形、地山の物理的・力学的性質、地下水の状況、気象、自然環境、社会環境、施工条件等の諸条件についての資料を得ていく。

また、これらの調査結果が、後に行う調査あるいは施工時の坑内観察結果等と相違する場合は、速やかにこれを見直すとともに、その原因を十分検討し、対策を講じることが必要である。

各事業実施段階における一般的な調査内容を、表-2.2.12に示す。

表-2.2.12 事業実施の段階と必要な調査¹²⁾

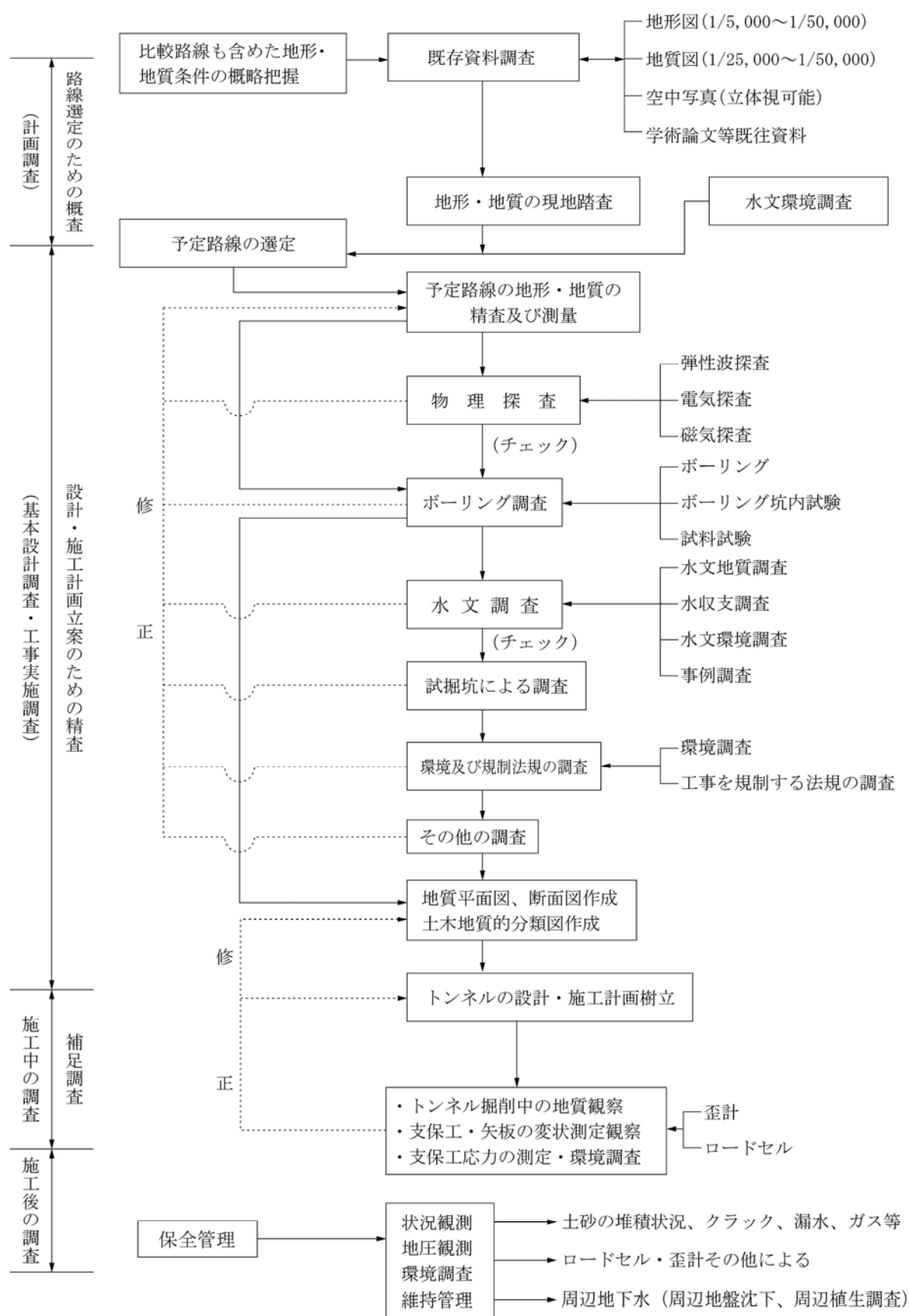
事業実施の段階と作業概要			対 応 す る 必 要 な 調 査				
区分	時 期	作 業 内 容	区分	目 的	内 容	範 囲	着 眼 点
構 想・計 画 段 階	比較路線の検討からトンネル位置の決定まで	路線の線形、トンネルの位置、延長、概略の構造、施工法、施工計画、建設費及びこれらの比較検討を行う。	路線選定のための調査	地形・地質、その他環境等の条件に適合した路線の選定と概略の構造、施工法、施設計画等を検討するために必要な資料及び次の段階の調査立案の基礎資料を得ること。	既往資料の収集・検討、5万分の1～2万分の1地形図の作成、地形・地質調査、環境調査、その他一般に概略的な調査	比較路線を含む広範囲	トンネルの建設上大きな支障となる地形・地質・環境・施工条件及びその他の支障物件 地形・地質・環境等の諸条件の概略の把握、及び問題の抽出
基 本・実 施 設 計 段 階	トンネル位置の決定後、工事着工まで	トンネルの詳細な構造、施工法、施設計画、施工計画、環境保全対策及び建設費を定める。	設計・施工計画のための調査	地形・地質、その他環境等の条件に適合した実施設計・施工計画の作成及び積算等に必要の基礎資料を得ること。	千分の1～5百分の1地形図の作成、地形・地質調査、環境調査、その他精密な地質調査、具体的な周辺対策を考慮した調査及び工事関係諸施設等のための調査等	トンネル建設関連箇所及びそれらの周辺地	地形・地質、環境等の全般的な諸条件、特に坑口付近の斜面の安定、破碎帯等の弱層部や土かぶりの小さい箇所等の地山条件、地下水の状況、作業坑等の施工場所の条件
施 工 段 階	施工中	施工を実施するとともに、支保構造等の現設計、施工法、環境保全対策等の妥当性及び設計変更の必要性を検討する。	施工中の調査	施工中に生ずる問題点の予測及び確認、施工管理、補償のための資料を得ること。	地質調査、環境調査、測量、計測等地質調査は坑内における調査が主、トンネル周辺の環境調査は、工事による影響及び対策の効果判定が主	トンネル内及び施工により影響を受けるおそれがある範囲	切羽の自立性、湧水の状況、当初設計条件と異なる地質等の状況、トンネルの内空変位や地表変位の状況、工事時の環境保全

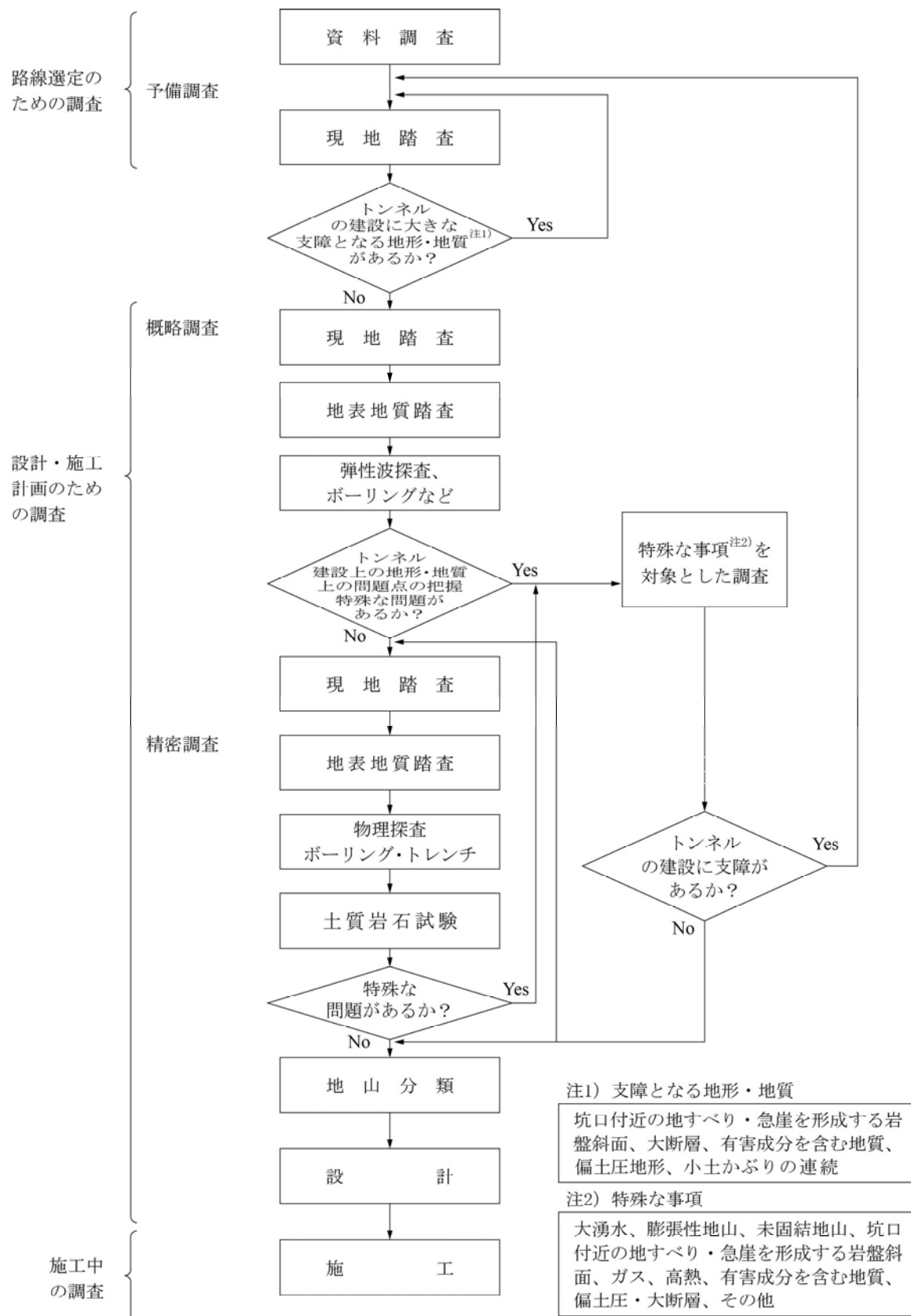
注) 施工後の調査は管理項目として、本調査段階に含まれていない。

リ 調査の流れ

調査は、まず、トンネル計画線付近の地形・地質の概要を知り、判明した問題点を順次明らかにするように調査の焦点を絞っていく。したがって、各段階における調査は、その目的を十分理解した上で、調査の範囲・方法を定め実施する必要がある、逐次、精度が高まるように事業実施段階に応じて必要な調査を適宜追加していくのが一般的である。

建設の段階に応じ、調査の段階的手順及び、地形・地質調査の流れを図-2.2.16、図-2.2.17に示す。

図-2.2.16 調査の段階的手順¹²⁾

図-2.2.17 地形・地質調査の流れ⁹⁾

エ 調査項目及び内容

各事業段階における調査項目及び調査内容については、土地改良事業計画設計基準・設計「水路トンネル」技術書（以下「設計基準「水路トンネル」」という。）の「第2章 調査」において詳細に記述されている。道路トンネルにおいても調査項目、調査方法及び基本的な考え方等は同じであるため、本技術書では設計基準「水路トンネル」に記述のない気象調査及び、豊浜トンネルの大規模な岩盤の崩落事故にみられるような岩盤が露頭した法面・斜面の調査以外は、設計基準「水路トンネル」に準ずるものとする。

なお、道路トンネルにおける地山分類の主な指標としては、弾性波速度、コアの状態（RQD等）、地山強度比等がある。したがって、一般的には、弾性波探査、ボーリング調査、岩石試験等がよく行われている。

地形・地質調査の段階と調査方法を表-2.2.13に、岩石等の試料を使う各種試験を表-2.2.14に示す。

表-2.2.13 地形・地質調査の段階と調査方法⁹⁾

調査の段階		調査方法	資料 調 査	空 中 写 真 判 読	現 地 調 査	地 表 地 質 踏 査	弾 性 波 探 査	電 気 探 査	電 磁 探 査	放 射 能 探 査	ボ ー リ ン グ	孔内検層・試験				点 載 荷 試 験	室 内 土 質 岩 石 試 験	坑 内 弾 性 波 反 射 法
												標 準 貫 入 試 験	物 理 検 層	孔 内 載 荷 試 験	孔 内 湧 水 圧 試 験			
予 備 調 査	硬 岩	◎	◎	◎														
	軟岩・土砂	◎	◎	◎														
概 略 調 査	硬 岩	○	○	◎	◎	◎	○	△	△	○							△	
	軟岩・土砂	○	○	◎	◎	◎	○	△		○	○	△	○				○	
精 密 調 査	硬 岩			◎	◎	◎	○			◎		△	△	△	△	△	△	
	軟岩・土砂			◎	◎	○	○			◎	◎	○	○	△			◎	
施工中の調査	硬 岩					○	△			○		△		△	○	○	△	△
	軟岩・土砂					△	△			○		△	△	△			◎	△

注) ◎：一般に実施する調査 ○：よく実施する調査 △：必要に応じて実施する調査

表-2.2.14 岩石等の試料を使う各種試験¹²⁾

	試験 の名称	試験 から 求める 値等	規格 (JIS)	ト 通 常 の ネ ル	ト 機 械 掘 削 ネ ル	対策を必要とするトンネル					
						湧水による崩壊が 考えられる			膨 張 性 地 質 が 考 え ら れ る 場 合	可 燃 性 ガ ス の 有 無	酸 欠 の 有 無
						透 水 性	未 固 結 層 の	有 無 流 砂 現 象 の			
物理的性質試験	土粒子の比重	比重・間隙比・飽和度	A 1202	○		○	◎	○	○		
	含水層	含水比	A 1203	○		○	○	○	○		
	粒度	粒径加積曲線	A 1204			○	◎		◎		
	単位体積重量	単位体積重量	A 1202	◎		○	○		◎		
	室内透水試験	透水係数	A 1218			◎	○	○			
	超音波試験	動弾性係数	A 1127	◎	○						
化学的性質試験	浸水崩壊度試験	吸水膨張率							◎		
	吸水膨張率試験	〃							○		
	化学分析試験	鉱物組成			○				○	○	○
	X線試験	〃			○				◎		
	ガス分析試験	岩石中の気体物質・化学分析								◎	○
力学的性質試験	一軸圧縮試験	一軸圧縮強度	M 0302	◎	◎				◎		
	一軸引張試験	一軸引張強度	M 0303						○		
	曲げ試験	曲げ引張強度			○						
	三軸圧縮試験	三軸圧縮強度		○	○				○		
	直接せん断試験	せん断強度			○				○		
	硬さ試験	すりへり硬さ			◎						
	破砕試験	砕けやすさ			○						
	衝撃試験	岩石の強さ			◎						
その他	水質試験		K 0101					◎			○

注) ◎：特に有効な試験法 ○：行うのが望ましい試験法

オ 気象調査

気象条件は、道路建設時のみならず供用後の維持管理にも大きな影響をもたらすため、トンネルの路線選定・坑口部の設計及び設備計画において特に重要な事項となるため、気象に関する資料の収集、現地調査、観測を適宜行わなければならない。

線形計画をたてる際には、路面の凍結・つららによる障害・霧による視程障害・外野輝度等に注意する必要がある。また、坑口位置の決定及びその構造設計では、坑口付近の出水・突風・吹きだまり・雪崩等に対する走行の安全性及び構造の安定性を検討する必要がある。また、環境対策では、坑口付近の風向・風速が排ガスの坑口拡散に影響を及ぼす。このような点に留意し、必要に応じて標記の各項目について調査し、気象条件を明らかにしておくことが大切である。

気象調査の主な調査項目は、次のとおりである。

- ① 降雨、降雪
- ② 気温、湿度、水温、地中温度
- ③ 風向、風速
- ④ 霧
- ⑤ 雪崩、吹きだまり、出水

カ 斜面上の岩盤調査

岩盤が露頭した法面・斜面（特に高さ 15m 以上）にトンネル坑口部を計画する場合、岩盤の状況について十分な調査を行う必要がある。岩盤崩壊の発生予測は現在の技術レベルをもってしてもいまだ困難であるが、以下の項目は過去の事例から岩盤崩壊との関連が高いと考えられるものであるため、専門家の参画も得ながら現地調査・点検評価を行うことが望ましい。

(ア) 開口亀裂の規模

岩石崩壊の前兆現象は引張り亀裂（縦亀裂）の規模と関連が高い。しかし、一般には斜面に見られる亀裂が引張り亀裂か、単なる開口亀裂であるかの判断は難しい。したがって、安全側に立ち、開口亀裂は全て点検する。

(イ) 連続した水平亀裂の目の方向

連続性のよい水平系の亀裂があった場合は、亀裂より上部の岩盤がずれて変位している可能性があるので点検する。特に亀裂が斜面の傾斜方向と同一の方向に傾斜した（流れ目方向）場合は、すべり破壊と関連が高いため留意すること。

(ウ) 小崩壊・落石

小崩壊や落石は、岩石崩壊との関連が考えられるので、現時点だけでなく過去の分も含めて対象とすること。

(エ) 亀裂の状況

岩石崩壊の規模等に関連すると考えられる岩質及び亀裂等の状況を点検する。硬い岩盤は安全に見えるが、亀裂等が広い間隔で規則的に見られるものは比較的大きな岩石崩壊が起こる可能性がある。一方、軟らかい岩盤で亀裂等が不規則に入っているものは岩盤が小割りになり、小さな規模での岩石崩壊の可能性がある。

「硬い岩」 : ハンマの打撃で反発のあるもの、金属音のするもの

「軟らかい岩」 : ハンマの打撃で鈍い音のするもの又は剥がれるもの

「規則的な亀裂、不規則な亀裂」(図-2.2.18)

(オ) 岩相の組合せ

亀裂と同様に岩石崩壊の規模等に関連すると考えられる、崖面を構成する軟質部や硬質部の岩相の組合せについても点検する。崖面全体が軟質であるよりも、斜面の下部に軟質部をもち上部が硬質な崖面（図-2.2.19）では、オーバーハングが形成されやすく岩石崩壊との関連が考えられるので留意する。

(カ) 流れ盤・受け盤

亀裂等の傾斜が斜面の傾斜と一致している流れ盤斜面（図-2.2.20）で、ともに勾配の急なものが岩石崩壊との関連が高いので留意する。

(キ) 地形

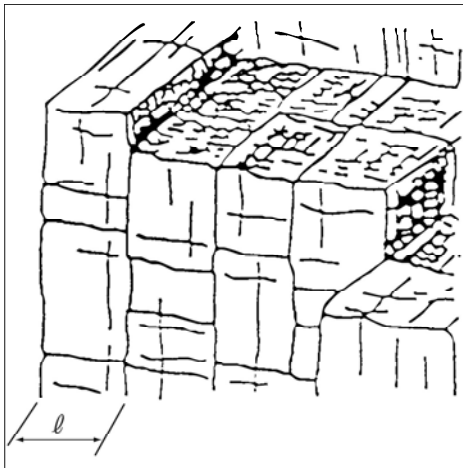
斜面傾斜角（図-2.2.21）が急である場合、特にオーバーハング部（図-2.2.23）を有する場合は岩石崩壊の関連が考えられるので点検する。また、斜面の高さ（図-2.2.22）や斜面形についても併せて点検する。

尾根部の斜面（図-2.2.24）では、側方部が拘束されていないため地山の緩みが進行する可能性があるので留意すること。

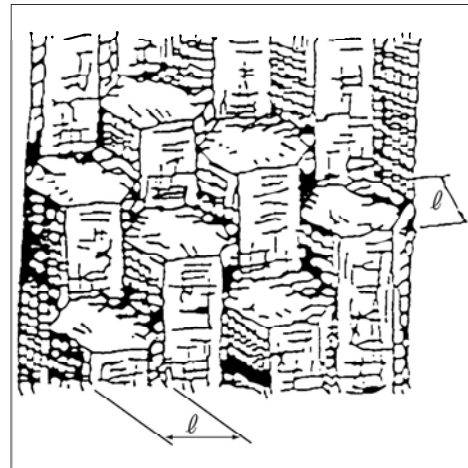
遷急線（崖の肩部、図-2.2.25）の明瞭性は落石や崩壊の発生に関連が考えられるので点検する。

(ク) 地下水、降雨

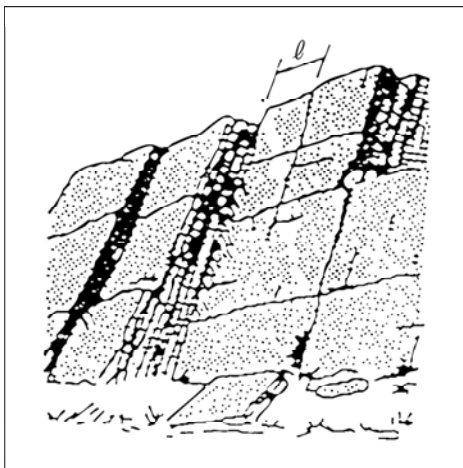
岩盤の亀裂に浸透した水は凍結して氷くさびを形成し、体積膨張して亀裂を更に開口させたり、岩盤を細片化して風化破碎を促進したりする可能性があるので、凍結や氷柱の有無を確認する。凍結融解については冬季の最低気温を参考にすることができる。



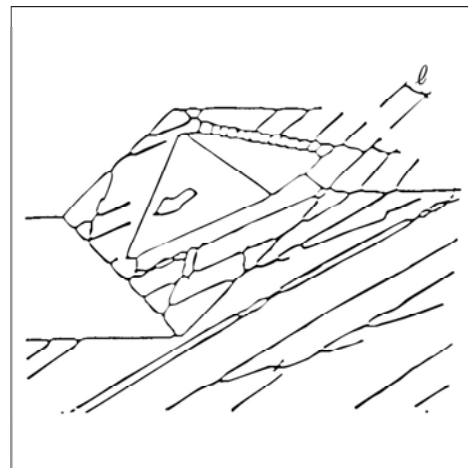
(a) ブロック状



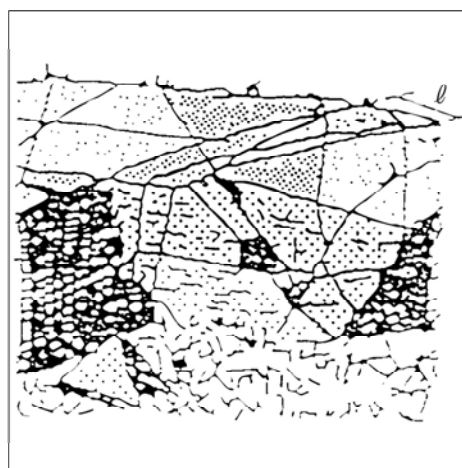
(b) 柱状



(c) 平板状



(d) くさび状 (2組以上の亀裂による)



(e) 不規則

図-2.2.18 規則的な亀裂(a、b、c、d)と不規則な亀裂(e)の例
 [lは亀裂の間隔を示す]

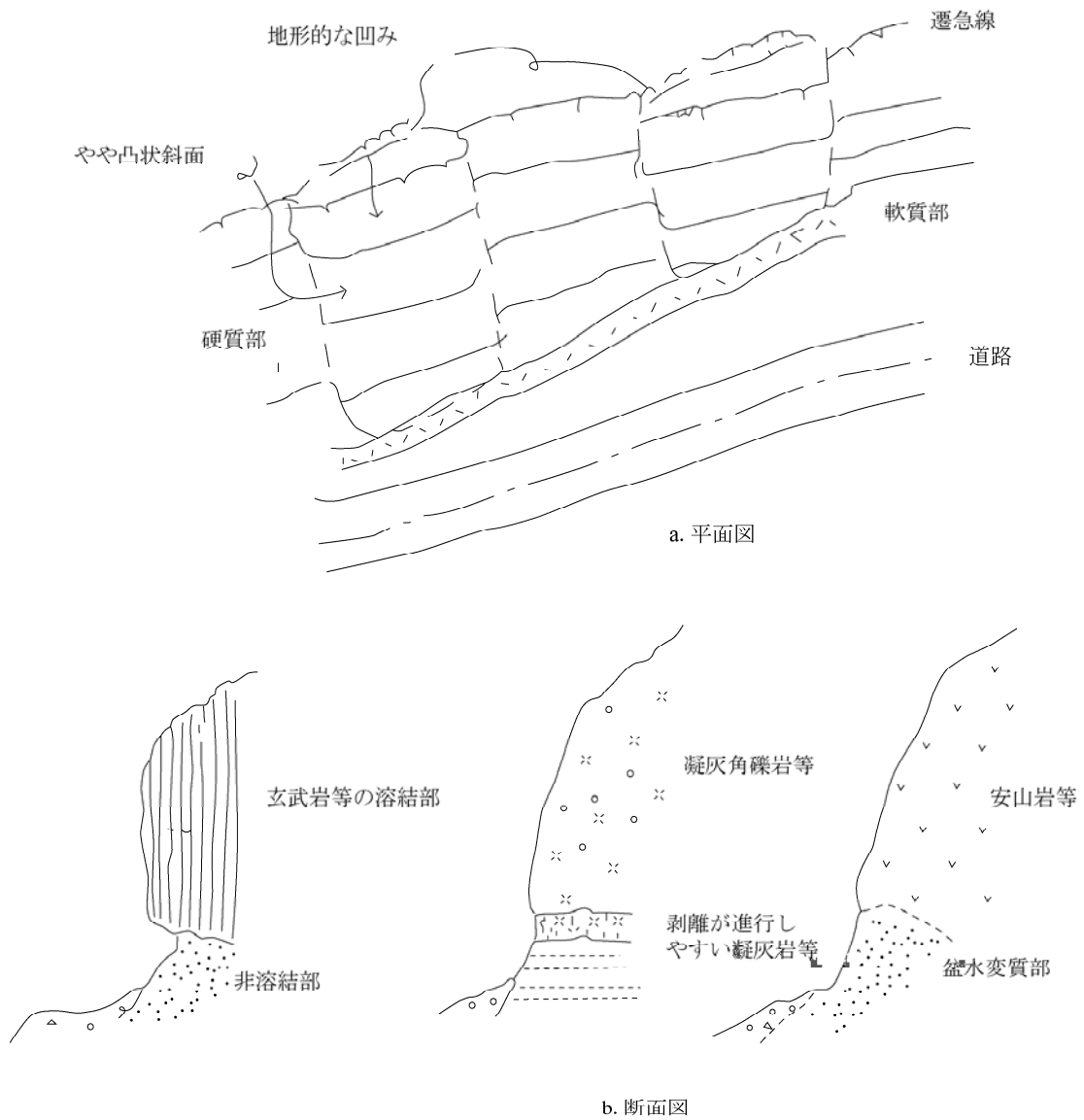


図-2.2.19 上部硬質、下部脆弱の例

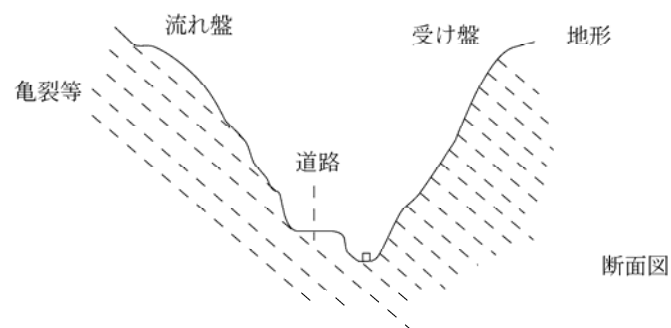


図-2.2.20 流れ盤、受け盤斜面

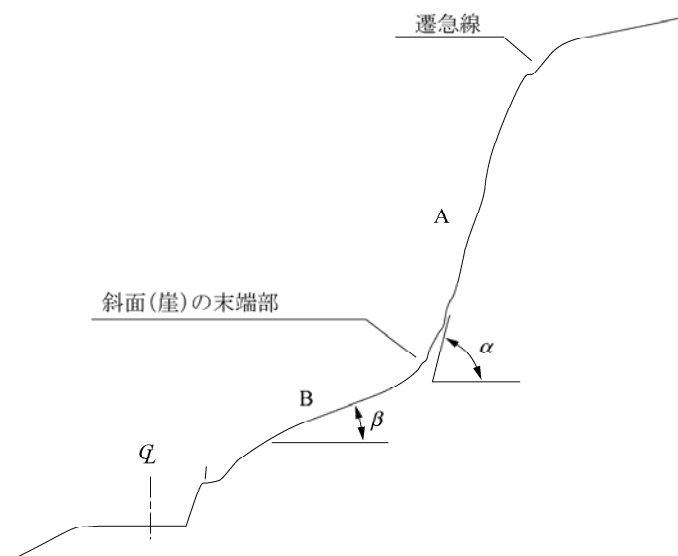


図-2.2.21 斜面傾斜角の説明

道路面、明かり巻き屋根面又は斜面（崖壁）末端部のいずれか上部にあるものから、斜面の遷急線までの平均傾斜 α を測定する。

緩傾斜となる斜面Bは、通常、土砂斜面であることが多く、また岩盤斜面であっても岩石崩壊としては斜面Aのほうが問題となるため、角度 β は対象としない。

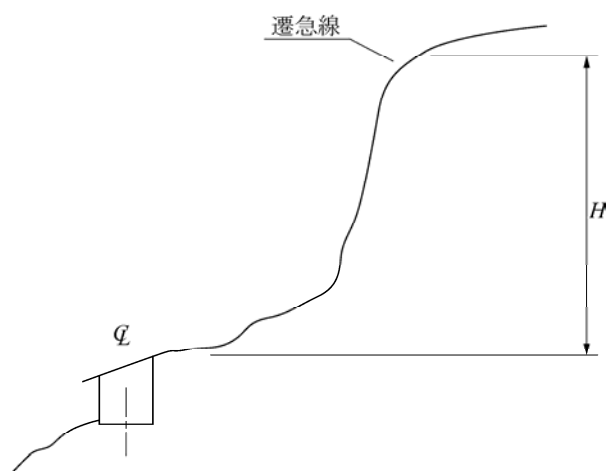


図-2.2.22 斜面高さの説明

トンネル明かり巻きあるいは落石覆工の屋根面から、斜面の遷急線までの高さを測定する。遷急線が不明瞭な場合には、斜面の高さは屋根面から稜線までの高さとする。

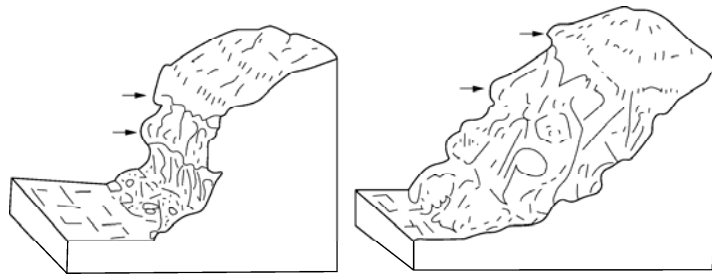


図-2.2.23 オーバーハング(矢印)

分類		水平断面形（等高線の平面形）による斜面分類		
		凸型斜面	直線斜面	凹型斜面
最大傾斜方向での垂直断面形	凸型斜面	A: 尾根型斜面 	C: 尾根型・谷型の中間斜面 	D: 谷型斜面
	直線斜面			
	凹型斜面	B: 崖錐堆積斜面 		

図-2.2.24 斜面型の分類

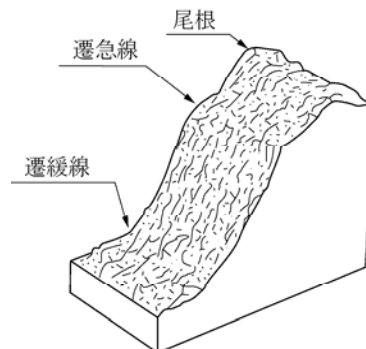


図-2.2.25 明瞭な遷急線