

第16章 地質調査の手引き（案）

16-1 総 則

16-1-1 調査の目的

1. 本章は、道路の基本設計および詳細設計を行うための地質調査に適用する。
2. 調査の計画では、基本設計のための調査に重点を置くこととし、詳細設計に必要な調査は補足調査に留めるものとする。
3. 調査および試験は、設計対象物がどの段階（計画・設計・施工・維持管理）にあるかを把握し、その内容・頻度を的確に行う必要がある。

- (1) 道路設計では、通常の場合 $S = 1/50,000 \sim 1/10,000$ で路線選定を、 $S = 1/5,000 \sim 1/2,500$ で概略設計を、そして $S = 1/1,000 \sim 1/500$ で基本設計（予備設計）と詳細設計の順で精度が高められていく。

そのため、地質調査においても各段階の設計に合わせた精度で調査・試験を行うものとし、道路本体と道路構造物の基本設計に合わせた調査と工事実施に伴う詳細設計に合わせた調査について取りまとめたものである。

- (2) 地質概査は、道路を計画する地域の地質全体を把握する重要な調査である。この調査は路線選定や概略設計では既存資料を基に進めるが、 $1/5,000 \sim 1/2,500$ の地形図を用いた地表・地質踏査を実施し、軟弱地盤、地すべり、土石流、岩石崩壊等重要なコントロールポイントを把握する必要がある。基本設計の段階では路線に沿った地表・地質踏査を実施して総合的な地質資料を作成するものである。

- (3) 近年の示方書や指針の改訂では、地質・地盤を考慮した設計手法が確立されてきており、構造形式の選定や規模の決定を行う上で詳細な地盤情報が必要不可欠なものとなっている。

そのため、的確な地盤情報を事前に把握する必要から地質調査は、基本設計段階の調査に重点を置くこととし、詳細設計の調査はあくまで基本設計の調査を補足する程度の内容に留めることを基本とする。

- (4) 調査目的は、表 16. 1 に示すように設計対象物毎にその判断すべき内容が異なる。そのため、設計対象物に適した調査および試験項目は表 16. 2 を標準として選定する。

- (5) 調査および試験の内容やその実施頻度は、設計対象物の立地条件・規模・重要度等により異なることから、その実施については表 16. 2 以降に取りまとめた。

- (6) 建設工事において地質等に起因した問題が発生し、コストや工期に大きな影響を与える可能性があるため、地質調査にて把握した問題については、「地質リスク調査検討」の実施を考慮すること。

- (7) 建設副産物のリサイクルを目的として、地質調査の段階で発生土に対する調査（材料調査・土壌汚染調査）を行う必要がある場合は、その再利用目的に応じた調査・試験を別途計画することとする。

表 16. 1 設計対象物の調査目的

設計対象物		概略設計のための調査		基本設計のための調査 〔橋梁予備設計のための調査〕	詳細設計のための調査	施工のための調査
		文 献 ・ 資 料 調 査	現 地 調 査			
段 階		設 計 目 的				
主 な 手 法		①既存資料の収集 ②既存資料の読み取り	①地表地質踏査	①地表地質踏査他 ②ボーリング等 ③弾性波探査	①ボーリング ②物理検層 ③特殊調査試験	①ボーリング ②物理探査 ③計測・観測
道 路	斜面崩壊性の切土			・ 崩壊の危険性の判定 ・ 標準的な切土法面勾配の決定 ・ 概略の地質・土質とその構造の把握	・ 切土法面勾配の検討 ・ 盛土材としての適否の判断	・ 安全性の確認
	軟弱地盤盛土			・ 軟弱地盤を含む盛土の安定、沈下の検討 ・ 基本的な地盤対策工の検討	・ 地盤対策工の設計	・ 動態観測
	函 渠 ・ 擁 壁			・ 標準的な基礎型式の検討	・ 支持層の傾斜把握	・ 動態観測（プレロード）
軟 弱 地 盤 の 橋 高 架		・ 地すべり履歴の有無と規模の区分 ・ 土石流の有無 ・ 火山の有無 ・ 大規模な断層、破碎帯の有無 ・ 軟弱地盤の有無と概略規模 ・ 液状化被害の有無 ・ 油田、ガス田、温泉、鉱山等の有無 ・ 過去の大規模災害履歴 ・ 既設構造物の施工記録		・ 橋台位置の選定 ・ 橋台側方移動の判定 ・ 液状化の判定 ・ 基礎形式およびその規模の決定	・ 同左の橋台、橋脚毎の詳細把握 ・ 各下部毎の詳細検討	・ 動態観測（プレロード）
山 間 地 の 橋 梁				・ 橋台位置の選定 ・ 基礎形式およびその規模の決定		
ト ン ネ ル				・ 坑口位置の選定 ・ 掘削工法の検討 ・ 地山分類の概略決定 ・ 問題点の把握	・ 地山分類の詳細決定 ・ 各部の詳細設計 ・ 施工計画 ・ 施工上の問題点の把握	・ 地山分類の確認 ・ 事前調査で未確認の問題点の調査（先進ボーリング等）

※ 太枠内が本編の範囲

※ 各対象物の設計において発生土が生じる場合は、その利用についての検討を行う。

16-1-2 ボーリングとサンプリング及び各種試験の関係

ボーリング削孔径とサンプリングおよび各種試験の関係は設計対象物と対象範囲により異なる。そのため図 16. 1 ～ 図 16. 3 のフローチャートにより調査を行うことを原則とする。

1. サンプリングを行う場合のフローを図 16. 1 に示す。

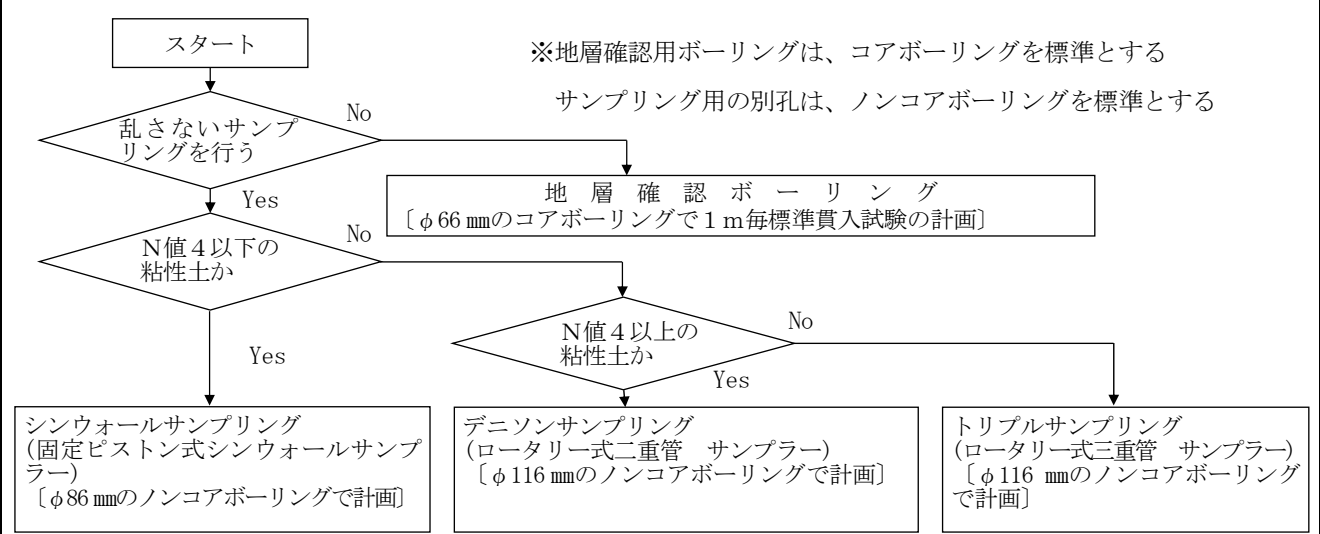
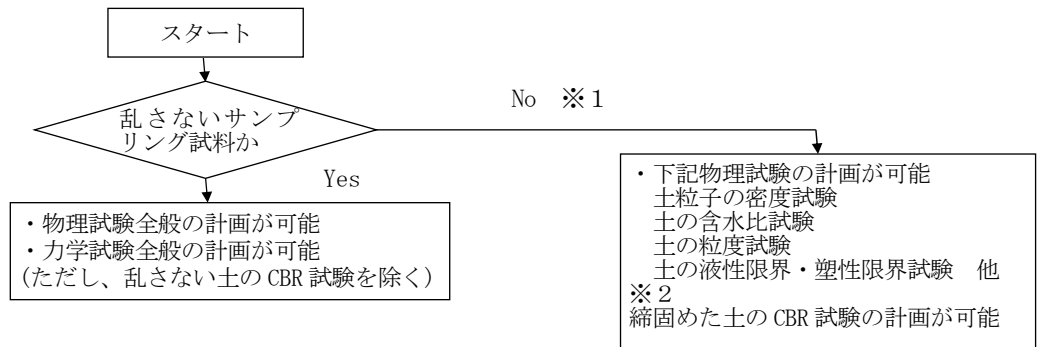


図 16. 1 サンプリングとボーリング孔径選定フローチャート

2. サンプリング試料を用いた試験項目のフローを図 16. 2 に示す。



※ 1 乱したサンプリング試料とは、標準貫入試験実施時に採取した試料
※ 2 CBR 試験試料は 50～100 kg 前後必要なため通常掘削して採取する。

図 16. 2 サンプリング試料と土質試験項目選定フローチャート

3. 棒状コア試料を用いた試験項目のフローを図 16. 3 に示す。

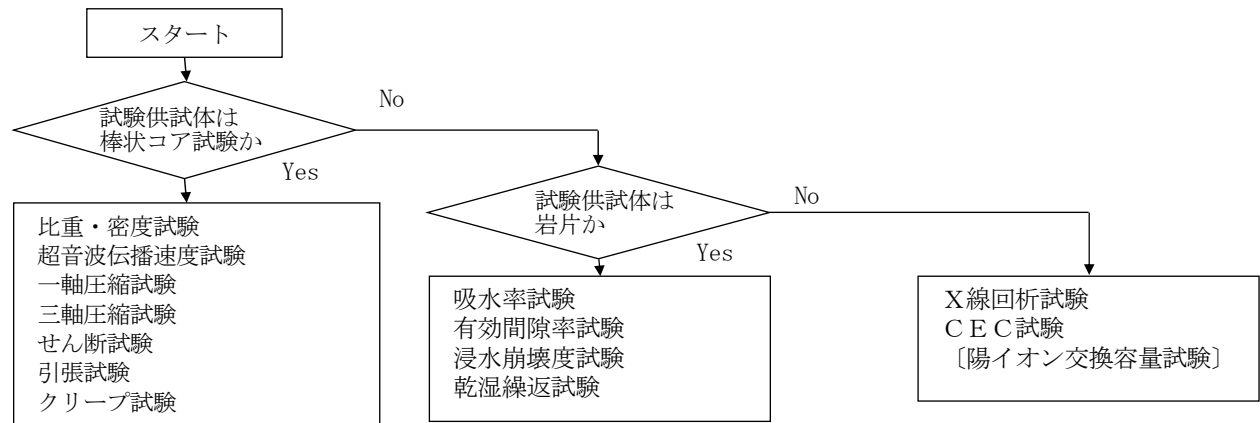


図 16. 3 サンプリング試料と岩石試験項目選定のフローチャート

地盤調査の中で試料採取の占める役割は大きい。構造物の設計を行う場合、土の変形やせん断強さ等の力学特性を始め、土の基本的性質を知るための土質試験は、土に関する問題解決に不可欠なものである。

土質・岩石試験は、その設計対象物と対象地盤により求める内容や頻度が異なる。そのため表 16. 1、表 16. 2 を参考に図 16. 1 ～図 16. 3 のフローチャートに基づき必要な調査・試験を行うものとする。

ボーリングやサンプリングを計画するにあたっては、調査の目的を明確にするとともに、地盤評価に適した手法を選定することとする。

支持層の評価にあたっては、各構造物の調査方法を参照することとするが、礫の影響などによるN値の評価、支持層中の挟み層、支持層下位の粘性土の評価等に留意する必要がある。

オールコアボーリングでは、コアの状態に関する十分な情報を明記しなければならない。特に、コア状にならない区間、コア採取不能な区間について、詳細な記述が必要である。

サンプリングは、その地盤・目的に適した手法を選定することはもちろんのこと、試料の運搬にも細心の注意を払い、試験結果に影響する乱れを無くさなければならない。特に塩ビパイプを用いるトリプルサンプラー（ロータリー式三重管サンプラー）等では、持ち運びに関してもたわみによる試料の乱れを防ぐことが必要である。

なお、表 16. 3 に試料採取や原位置試験における留意点、表 16. 4 に我が国で広く用いられているサンプラーとその適用例を示した。

表 16. 3 サンプリングおよび原位置試験とボーリング孔径

	サンプラーまたは試験名	孔径 (mm)	留 意 点
サン プ リ ン グ	固定ピストン式 シンウォールサンプラー	86	各種の原位置試験を行った箇所の下でサンプリングする場合は、それらの試験による孔底付近の乱れを避ける目的で試験最終深度より 30 cm 以上再掘進を行う。またスライムは完全に除去する。試験採取後の運搬保管にも細心の注意が必要。
	デニソン型サンプラー (ロータリー式二重管サンプラー)	116	
	トリプルサンプラー (ロータリー式三重管サンプラー)	※116 以上	
原 位 置 試 験 ・ 検 層	標準貫入試験	66	スライムの除去を行う。1 m 毎の実施にこだわらず、必要に応じて追加または深度を変更して良い。
	現場透水試験	66～86	孔底を利用する場合と孔周を利用する場合とがあるがいずれの場合も泥水を使用することは避けるべきであり、使用した場合は清水でよく洗浄する。
	地下水位測定	66	
	電気検層	※66 以上	孔壁の保持と泥水の調整。 電気検層と速度検層は孔内水の有無により試験が制限される場合がある。
	孔内水平載荷試験 (横方向K値)	※66 以上	
	速度検層 (P S 検層)	※66 以上	

※使用する器具の型式による。

表 16. 4 我が国で広く用いられるサンプラーとその適用

サンプラー	ピストンの状態	必要なボーリング孔径	概略の適応土質	採取試料の状態	特 徴 と 留 意 点
標準貫入試験用 サンプラー (レイモンドサンプラー)	な し	66 mm以上	礫、玉石を除く すべての土	乱した試料	打ち込みによって試料を採取する。 採取試料は観察するとともに物理試験 用とすることができる。 砂礫や砂層では、含水比が変化した状態 で採取されることに留意する。
固定ピストン式 シンウォール サンプラー	固 定	86 mm以上	軟らかい 粘性土 N値 0 ～ 4 (水圧式はN値 0 ～ 8)	乱さない 試料	我が国では、軟らかい粘性土の乱さない 試料採取に最も信頼度の高いサンプラ ーとして広く用いられている。従来から のエクステンションロッド式と水圧式 に分けることができる。ライナーの剛性 は高いが採取後の試料の取り扱いに注 意が必要である。
デニソン型 サンプラー (ロータリー式二重管 サンプラー)	な し	116 mm以上	中位～やや硬 い粘性土 N値 4 ～ 14	乱さない 試料	内管と外管よりなり、外管は回転して地 盤を削ると同時に、内管は試料を採取す る。内管には普通シンウォールチューブ を使用する。 ライナーの剛性は高いが採取後の試料 の取り扱いに注意が必要である。
トリプル サンプラー (ロータリー式三重管 サンプラー)	な し	116 mm以上 (使用する器 具の形式に よる)	中位以上の 粘性土 N値 4 以上 砂質土 適: N値 10 以下 臆: N値 10 以上	乱さない 試料	デニソン型サンプラーの改良型で、サン ドサンプラーとも呼ばれる。粘性土も採 取可能である。ライナーは硬質塩化ビニ ール管またはアクリル樹脂製である。 ライナーの剛性が低いため、採取後の試 料の取り扱いや使用するライナーの内 外面の変形・損傷に対する注意が必要で ある。

16-1-3 一軸圧縮試験と三軸圧縮試験の適用

せん断強度を得るための土の一軸圧縮試験と三軸圧縮試験における、一般的な適用土質と試験条件およびその利用につ
いては、表 16. 5 を参考とする。

表 16. 5 一軸圧縮試験と三軸圧縮試験における、一般的な適用土質と試験条件およびその利用

試験の種類	一般的な適用土質	試験条件	得られる定数	試験結果の利用と留意点
一軸圧縮試験	粘性土	非圧密 非排水	一軸圧縮強度 q_u	・ 試料採取時の乱れの影響を受けやすい。 ・ 三軸圧縮試験 UU 法における側圧が 0 の場合に対応し、$c_u = q_u/2$ の関係が成立する。 ・ 一様な飽和軟質粘性土（主に沖積粘性土）において三軸圧縮試験 UU 法に代えて実施する。 ・ 改良土などの確認試験として実施する。
三軸圧縮試験 UU 法	粘性土	非圧密 非排水	粘着力 c_u 内部摩擦角 ϕ_u	・ 非排水せん断強さを推定する。 ・ 粘性土地盤の盛土の安定計算（破壊速度が大きく排水を伴わない破壊現象）、支持力計算、土圧計算等の検討に用いる。 ・ 一様な飽和粘性土での設計常数においては、$\phi_u = 0$ として用いることが多い。 ・ 粘性土の盛土材料の強度確認として実施する。
三軸圧縮試験 CD 法	砂質土	圧密 排水	粘着力 c_d 内部摩擦角 ϕ_d	・ 砂質土地盤の盛土の安定計算、支持力計算、土圧計算等、砂・砂質土のような過剰間隙水圧が生じない破壊現象等の検討に用いる。 ・ 盛土の緩速施工、粘性土地盤の掘削時の長期安定検討に用いることもできる。 ・ 設計常数においては、$c_d = 0$ として用いることが多い。 ・ 砂質土の盛土材料の強度確認として実施する。
三軸圧縮試験 CU 法	粘性土	圧密 非排水	粘着力 c_{cu} 内部摩擦角 ϕ_{cu} c_u/p	・ 強度増加率 $m (c_u/p)$ を求める。 ・ c_{cu}、ϕ_{cu} が直接設計常数として用いられることはない（粘性土地盤を圧密させてからの短期安定問題に用いることができるが、本要領では推奨しない）。
三軸圧縮試験 — CU 法	粘性土	圧密 非排水	粘着力 c' 内部摩擦角 ϕ'	・ CU 法の一つで、試験中に供試体の間隙水圧を測定するものである。 ・ 土の強度と間隙水圧を分離して検討する有効応力解析に用いる。

※試験方法、試験条件については、土質、粒度組成、検討目的を十分に理解した上で、最適な試験方法を選定する。

※供試体の直径については、混入する礫径等によって異なるため、「地盤材料試験の方法と解説：地盤工学会」を参考に設定する。

16-1-4 参考文献

調査にあたって次の関係図書を参考とする。

関 係 図 書	発 行 年 月	発 行
＜共通＞		
北陸地方整備局 調査関係共通仕様書	HP 最新版	北陸地方整備局
【改訂版】地盤調査の方法と解説	H25. 3	(公社) 地盤工学会
地盤材料試験の方法と解説(第一回改訂版)	R 2. 12	(公社) 地盤工学会
岩の試験・調査方法の基準・解説書	H18. 7	(公社) 地盤工学会
軟岩の調査・試験の指針(案)	H 3. 11	(公社) 土木学会
軟岩評価－調査・設計・施工への適用	H 4. 11	(公社) 土木学会
地質調査要領	H27. 9	(一社) 全国地質調査業協会連合会
＜土工・擁壁・カルバート＞		
道路土工 軟弱地盤対策工指針	H24. 8	(公社) 日本道路協会
道路土工 盛土工指針	H22. 4	(公社) 日本道路協会
道路土工 擁壁工指針	H24. 7	(公社) 日本道路協会
道路土工 カルバート工指針	H22. 3	(公社) 日本道路協会
道路土工 仮設構造物工指針	H11. 3	(公社) 日本道路協会
道路土工要綱	H21. 6	(公社) 日本道路協会
＜のり面＞		
道路土工一切土工・斜面安定工指針	H21. 6	(公社) 日本道路協会
北陸地方ののり面工・斜面安定工マニュアル(案)	S 61. 9	(社) 北陸建設弘済会
岩盤斜面の調査と対策	H11. 10	(公社) 土木学会
＜橋梁＞		
道路橋示方書・同解説(I～V)	H29. 11	(公社) 日本道路協会
杭基礎設計便覧	R 2. 9	(公社) 日本道路協会
＜トンネル・アンカー＞		
トンネル標準示方書(山岳工法編)	H28. 8	(公社) 土木学会
トンネル標準示方書(シールド工法編)	H28. 8	(公社) 土木学会
トンネル標準示方書(開削工法編)	H28. 8	(公社) 土木学会
道路トンネル技術基準(構造編)・同解説	H15. 11	(公社) 日本道路協会
グラウンドアンカー設計・施工基準・同解説	H24. 5	(公社) 地盤工学会
落石対策便覧	H29. 12	(公社) 日本道路協会
＜発生土リサイクル＞		
建設汚泥再生利用マニュアル	H20. 12	国立研究開発法人 土木研究所
建設発生土利用技術マニュアル	H25. 11	(一財) 土木研究センター
発生土利用促進のための改良工法マニュアル	H 9. 12	(一財) 土木研究センター
小規模発生土のセメント安定処理の手引き(案)	H12. 3	北陸地方建設副産物対策連絡協議会
土壌・地下水汚染のための地質調査実務の知識	H16. 2	(一社) 全国地質調査業協会連合会

(注) 使用にあたっては、最新版を使うものとする。

16-2 道路設計のための調査

16-2-1 予備設計のための調査

ここでは、道路の予備設計を実施するために必要な土質・地質調査および各種土質試験等の調査計画をまとめたものである。

予備設計では、主要構造物の計画や道路縦断および敷幅の確定を目的としており、次のような地形や地盤条件の場合における調査を取りまとめたものである。

- (1) 軟弱地盤上の盛土
- (2) 斜面崩壊の危険性のある地山の切土
- (3) 函渠、擁壁の土工部（構造物箇所）

なお、調査位置は基本的に道路センターとし、全体計画に必要な道路縦断方向の連続的な地層の分布を把握することとした。

(1) 軟弱地盤上の盛土

1) 調査の目的

軟弱地盤上の盛土では、盛土の安定および沈下量が問題になるため、軟弱土層の厚さや分布状況、土質強度、圧密特性等を把握するために調査を実施する。

平野部等の軟弱地盤上に建設される道路については、軟弱地盤対策をいかに合理的にかつ効果的に実施するかがトータルコストに大きく影響する。

軟弱地盤対策工は、盛土施工の工期を十分に長く取ることができ、かつ緩速載荷工法や載荷重工法が採用できれば最も安価な対策工法となる。従って、トータルコストの安い道路を建設するには、事業の計画段階から軟弱地盤対策を意識し、事業の進捗に応じて必要な地盤調査・設計を実施していくことが重要である。

図 16. 4 に示すように、軟弱地盤対策では事業展開を先取りする形で必要な調査・設計が終了していることが大切である。特に、予備設計段階では「地盤の詳細調査」を行い、計画ルート全線の基本的な軟弱地盤対策および施工工程を決定し、実施設計段階では予備設計成果を踏まえて必要な「補足調査」を行い、年度別の工事計画を確定しておくことが大切である。また、緩速載荷工法や載荷重工法などは、多年度にまたがった施工管理が必要となる。

後背湿地や小おぼれ谷、枝谷、旧湖沼跡、三角州低地、埋立地等到大規模な盛土や短期間の盛土を行うと、すべり破壊や過大な沈下が発生し問題となるため、必要な調査を行うものである。

そのため、調査の目的は軟弱土層の分布範囲、層厚、土層構成、基盤および各土層の傾斜と連続性を把握し、安定および沈下計算に必要な諸定数を決定することにある。

表 16. 6 に軟弱地盤の区分と一般的な土質を示す。

表 16. 6 軟弱地盤の区分と一般的な土質

地 形 的 分布地域	地盤区分	土層・土質 区分			土 質			
					wn (%)	e _n	qu (kN/m ²)	N値
枝 谷	泥炭質地盤	高有機質土 {Pt}	ビート (Pt)	繊維質の高有機質土	300 以上	7.5 以上	40 以下	1 以下
後背湿地			黒 泥 (Mk)	分解の進んだ高有機質土	300 ~200	7.5 ~5		
小おぼれ谷	粘土質地盤	細粒土 F	有機質土 {O}	塑性図のA線の下, 有機質土	200 ~	5 ~	100 以下	4 以下
三角州低地			火山灰質粘性土{V}	塑性図のA線の下, 火山灰質二次堆積粘性土	100 ~	2.5 ~		
臨海埋立地			シルト {M}	塑性図のA線の下, ダイレイタンシー大	100 ~	2.5 ~		
自然堤防 海岸砂州			粘性土 {C}	塑性図のA線の上またはその付近, ダイレイタンシー小	50 ~	1.25 ~		
	砂質地盤	砂粒土 S	砂質土 {SF}	74 μ m以下15~50%	50 ~30	1.25 ~0.8	—	10 ~15 以下
			砂 {S}	74 μ m以下15%未満	30 以下	0.8 以下		

- 注) 1. W_nは含水比、e_nは間隙比、q_uは一軸圧縮強度、N値は標準貫入試験による。
 2. 砂質地盤は、地震時の液状化が問題となる。盛土の耐震検討は道路の重要度、近接構造物などに応じて、実施の有無を検討する。

2) 調査方法

1. 地層確認を行う場合は、標準貫入試験を併用したφ66 mmのコアボーリングを標準とし、必要に応じてオランダ式二重管コーン貫入試験（以下ダッチコーンという）等も活用する。
2. 乱さない試料のサンプリングは、ボーリングの削孔径をφ86 mmとし、サンプリングの方法はシンウォールサンプリングを標準とする。

- ① 地層を確認するためのボーリングは、調査で広く採用されている機械ボーリング（以下ボーリングという）とし、標準貫入試験を併用したφ66 mmのコアボーリングを標準とする。コア試料は、写真撮影後、代表土質を試料ビンにて保管するかコアを保管するかを決定する（他の調査ボーリングのコア試料についても共通事項とする）。また、北陸地方では、地層の構成が複雑な場合が多いことから、各ボーリングの中間位置にダッチコーン等を行い、地層の連続性や強度の分布を把握し、ボーリングの補足調査として利用する。

ダッチコーンは、地盤強度をかなり精度よく求めることができるが、地盤条件等によっては他のサウンディング調査を用いることも検討する必要がある。

- ② 土質強度や圧密特性を求めるために土質試験（力学試験）を行う場合は、乱さない試料のサンプリングが必要である。軟弱粘性土や腐植土（N≒4以下）のサンプリング用のボーリングは、削孔径をφ86 mmとする。

サンプリングの方法は、固定ピストン式シンウォールサンプリングを標準とするが、硬い粘性土（N≒4～20）の乱さないサンプリングにはデニソンサンプリングを、砂質土の乱さないサンプリングにはトリプルサンプリングを使用する。トリプルサンプリングはやや硬い粘性土にも有効である。なお、ボーリングの削孔径は個々に異なるため、必要に応じて計画する。

3) 調査頻度および調査深度

1. 地層確認のボーリングは、道路センターで実施することとし、箇所数は下記を標準とする。
 - (1) 軟弱層の分布が想定される 200～500m以下の短区間は最低 2～3 箇所とし、500m以上の長区間は路線延長 200～500m毎に 1 箇所とする。
 - (2) おぼれ谷や枝谷等では、各谷に最低 1 箇所とする。
2. ボーリングの深度は、下記を標準とする。
 - (1) 支持層の確認は、支持層（N値 50 以上）に達してから、層厚を最低 5 m（標準貫入試験で 6 回）確認する。
 - (2) 乱さないサンプリングの場合は、軟弱層の深さまでとする。
3. 標準貫入試験は、深度 1 m毎に 1 回を標準とする。
4. 乱さない試料のサンプリング用のボーリングは、ボーリング位置から 1～2 m程度離れた別孔で実施することを標準とする。なお、サンプリングの回数は、層厚 3 m程度に 1 回を標準とする。
5. ダッチコーン等は、各ボーリングの中間位置で道路センターに行い、路線延長 100～200m毎に 1 箇所を標準とする。また、調査深度は軟弱層の深さまでとする。

① 道路縦断方向の軟弱層の分布を把握するため、道路センターで機械ボーリングを計画する。調査の間隔は一応の目安であり、必要に応じて検討する。

また、明らかに道路横断方向で軟弱層厚の変化が予想される場合には、計画法尻付近にも追加する必要がある。

図 16. 5 に土質調査の計画例を示す。

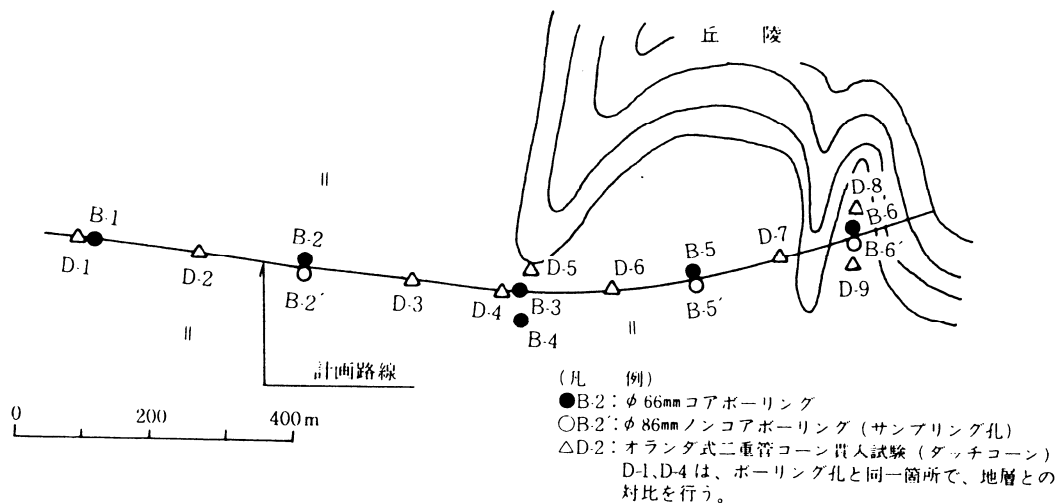


図 16. 5 ボーリングとダッチコーンの計画例

② 地層確認のボーリングは、支持層（N値 50 以上の砂・砂礫層や岩盤）を層厚 5 m以上確認することを標準とするが、支持層が深い場合には、設計対象物にもよるが N 値 30 程度の中間層で終了することもできる。

サンプリング用のボーリングは、軟弱層を採取したい最も深い試料の上面までとする。

③ 標準貫入試験は、地層確認深さまで実施する。

- ④ サンプリング用のボーリングは、地層確認のボーリングに併設（1～2m位離す）して行うこととし、コアの採取は必要としない。これまでは、地層確認のボーリング孔を利用してサンプリングを行うことが多かったが、採取したい地層の分布が正確に把握されていない段階でのサンプリングは、層厚が薄い場合等で必要な試料が得られないことがあった。なお、層厚が1m程度と薄い場合でも、盛土の安定や沈下に影響すると考えられる場合は、サンプリングを行う必要がある。

図 16. 6 に試料採取の計画例を示す。

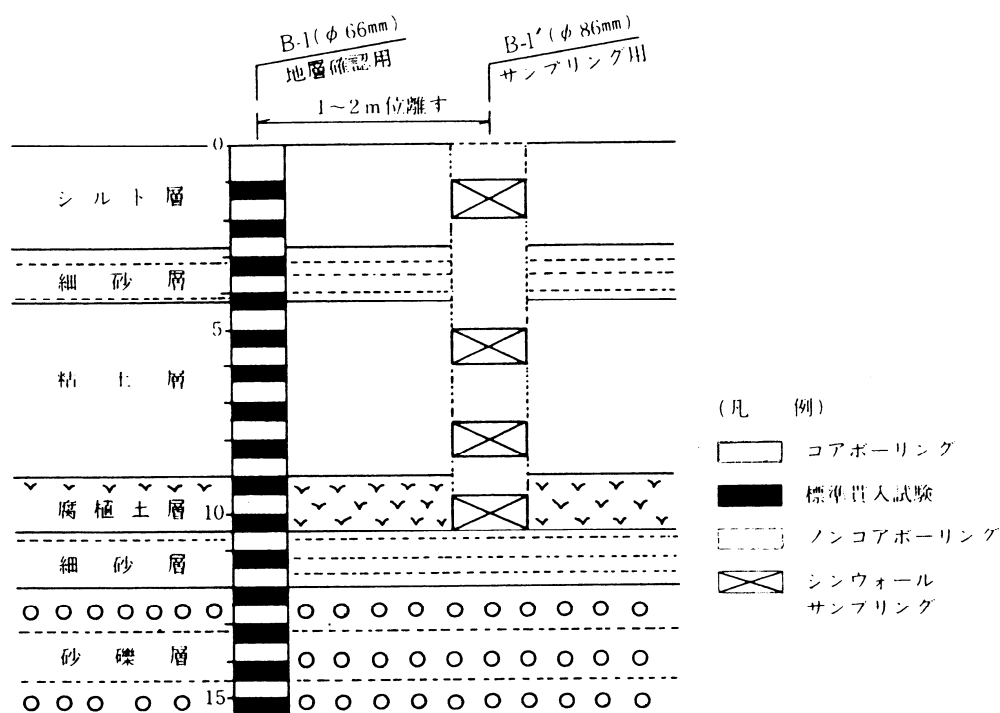


図 16. 6 ボーリングとサンプリングの計画例

- ⑤ ダッチコーンは、コーン支持力 q_c を求め粘着力 c_u 等に換算し、鉛直方向の連続的強度分布や軟弱層・中間砂層の厚さを把握するものである。しかし、ダッチコーンは、直接土質を確認できないため、単独で用いた場合に地層が複雑な区間では土質の推定を間違える場合が多い。そのため、地層確認のボーリングに併設（1～2m位離す）して、土質とコーン支持力の関係を対比（数箇所以上）し、その結果をもって地層の分布を精度よく把握する必要がある。

ダッチコーンは、ボーリング間の中間位置（道路センター）で、軟弱層厚を確認できる深さまで行うこととするが、層厚の変化が大きい区間ではさらに密にし、地層の傾斜が予想される区間では道路横断方向（法尻付近）にも行うことが望ましい。

なお、ダッチコーンの他、調査目的・地盤の状況に応じて、電気式静的コーン貫入試験や動的コーン貫入試験、スウェーデン式サウンディング等、その他サウンディングを用いることも有効である。

4) 土質試験

1. 土質試験は、乱さないサンプリング試料をもって実施する。

〔試 験 名〕	〔求まる土質定数〕	〔主な利用法〕
① 土粒子の密度試験	土粒子の密度 ρ_s	土層区分
② 含水比試験	自然含水比 W_n	〃
③ 粒度試験	均等係数 U_c 、曲率係数 U'_c (粒径加積曲線)	〃、(液状化の判定)
④ 液性・塑性限界試験	液性限界 W_L 、塑性限界 W_p 塑性指数 I_p	〃、(〃)
⑤ 密度試験	湿潤密度 ρ_t	〃 安定・沈下計算
⑥ 一軸圧縮試験	一軸圧縮強さ q_u 変形係数 E_{50}	安定計算等 (横方向地盤反力係数)
⑦ 圧密試験	圧縮指数 C_c 、圧密降伏応力 P_c ($e - \log p$ 曲線、 $\log \bar{p} \sim \log C_v$ 曲線)	沈下計算
⑧ 三軸圧縮試験 (CU)	強度増加率 m	緩速載荷工法等の検討

軟弱な粘性土や腐植土層では乱さないサンプリング試料により一般物理試験 (①～⑤) および力学試験 (⑥～⑧) を実施する。一般物理試験では土層の区分を判定し、一軸圧縮試験から粘着力 c_u を設定して安定計算を行う資料とする。三軸圧縮試験 (CU 条件) は、強度増加率 m を求めるもので、緩速載荷工法あるいは載荷盛土やバーチカルドレーン工法等で地盤を圧密させ、強度増加を計りながら盛土を行うための検討資料とするが、強度増加率 m を一般値より設定することが妥当な場合 (強度増加率の大小の影響が普通あるいは小さい場合) は省略することができる。なお、砂分が多い試料や腐植土、 N 値のやや高い粘性土において一軸圧縮試験での強度設定が不適当と考えられる場合は、三軸圧縮試験 (UU 条件) も検討する必要がある。また、施工後に浸透水の影響を受ける地盤や地下水位が大幅に変動するような地盤では、三軸圧縮試験 ($\overline{CU}$ 条件) より c' 、 ϕ' を求め、有効応力で安定計算を行うことが望ましい。

以上、乱さないサンプリング試料の土質試験を述べたが、標準貫入試験試料を用いて①～④の一般物理試験を行うことも可能なため、土質区分が必要な場合には、同試料をもって試験するものとする。

また、液状化の判定が必要なゆるい飽和土層では、標準貫入試験試料を用いて粒度試験 (③) を行い、平均粒径 D_{50} ・10% 粒径 D_{10} 及び細粒分含有率 FC を求め、 $D_{50} \leq 10 \text{ mm}$ かつ $D_{10} \leq 1 \text{ mm}$ で $FC > 35\%$ の場合には液性・塑性限界試験 (④) を行い塑性指数 I_p を求めておく必要がある (図 16.11 参照)。

(2) 斜面崩壊の危険性のある地山の切土

1) 調査の目的

斜面崩壊の危険性のある切土部では、切土する地層を把握し、切土のり面勾配を検討する。さらに、切土した土砂が盛土材料として適しているかを検討する。

切土斜面が崩積土や強風化岩層、砂層、亀裂の多い岩盤、流れ盤斜面等から成る場合、斜面崩壊や地すべりの危険性があるため、切土部の調査を行う必要がある。調査の目的は切土箇所の地層やその傾斜を確認し切土のり面勾配を決定するもので、切土のり面勾配を土質・岩質と切土高さから標準的に決めるだけでなく、固結度や風化の耐久性、地層の構造、地下水の状況等を考慮した定量的判断法で決定することを基本とする。

また、切土した土砂が盛土材料として適しているかどうかを、土質試験により検討するものである。
(定量的判定法……「北陸地方ののり面工・斜面安定工マニュアル(案)」を参照とする。)

2) 調査方法

1. 切土部およびその周辺に分布する地質やその傾斜等を知るために、地表地質踏査を実施する。
2. 地層確認を行う場合は、標準貫入試験を併用したφ66mmのコアボーリングを標準とする。

なお、長大切土法面や切土区間が長く、地質状況を面的に把握する必要がある場合には、弾性波探査等の併用を検討するものとする。

- ① 地表地質踏査を行うことにより切土部およびその周辺の地質図等が作成され、切土部の地質や地すべりの分布、露頭の位置、湧水箇所等の把握ができる。また、斜面の安定度がある程度知ることできる。
- ② 地層確認のボーリングは、標準貫入試験を併用したφ66mmのコアボーリングを標準とする。
また、崩壊地等の地下水位が高い斜面や砂質土等からなる透水性の大きい斜面では、切土したのり面が地下水の影響で崩壊する危険性がある。そのため、ボーリング孔を利用して簡易揚水試験を行い、地下水処理の検討資料とする。
- ③ 山岳地の長大切土斜面(切土高20m以上)や風化層等が厚く堆積する斜面では、弾性波探査により基岩深度等を面的に把握する必要がある。また、地山が硬軟互層状を呈する場合は、ボーリング孔を利用した速度検層も有効である。
- ④ 礫が殆どなく、比較的薄い崩壊土の場合は、その厚さや強度を把握するために、斜面上でサウンディング調査を計画することも必要である。

3) 調査頻度および調査深度

1. 地表地質踏査は、切土部およびその周辺を含めた広い範囲を対象とする。
2. 地層確認のボーリングは、各切土箇所（切土高 5～10m以上）で最低 1 箇所、また路線延長方向に長い切土区間では 100～500m毎に道路センターで各 1 ヶ所行うことを標準とする。なお、調査深度は計画路床下 3 m位までとする。
3. 標準貫入試験は、深度 1 m に 1 回を標準とする。

- ① 地表地質踏査は、切土部の地質を把握するだけでなく、切土後の周辺部への影響も把握するため、広い範囲を対象とし実施する。その結果は、 $S = 1/2,500 \sim 1/1,000$ の地形図を用いて地質平面図を作成する。
- ② 地層確認のボーリングは道路センターで実施することを標準とするが、片切り斜面では山側とする。また、1 箇所のボーリングで横断方向の地層分布や傾斜等が把握できない場合には、横断方向にボーリングを追加することが必要である。
- ③ 調査深度は、計画路床下 3 m 程度とし、地層の状態によっては、調査深度の増減が必要である。
- ④ ボーリング孔を利用して簡易揚水試験を行う場合は、深度 3 m 毎に 1 回、地下水面下で行う。
- ⑤ 弾性波探査を行っている斜面でボーリングを行う場合は、測線の交点で行うと地質と弾性波速度との関係を対比できるため、解析上有利である。

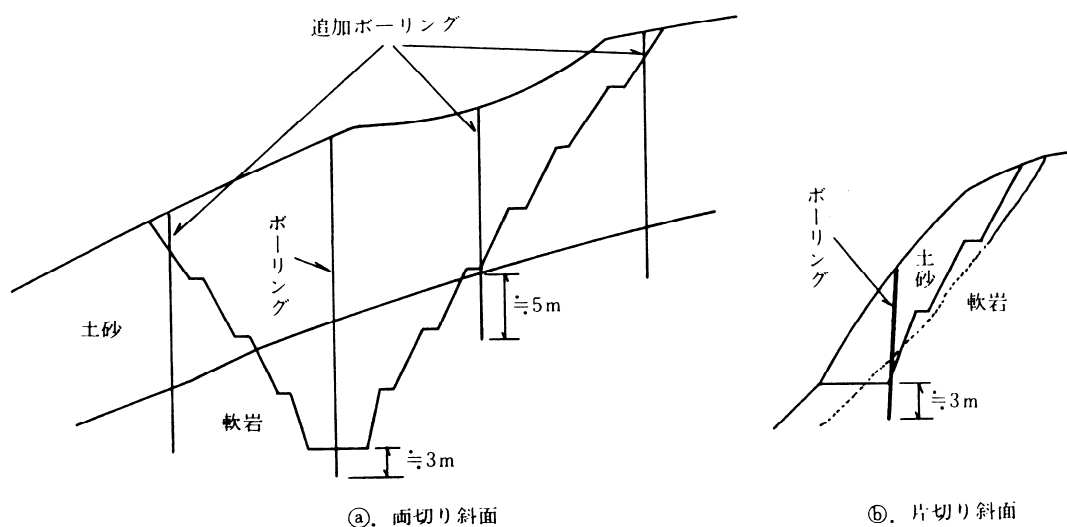


図 16. 7 ボーリングの計画例

- ⑥ 標準貫入試験は、深度 1 m 毎に 1 回を標準とするが、硬岩等では省略することができる。
- ⑦ 弾性波探査は、稜線に直交または平行となるように配置し、道路の縦・横断方向に 3 測線程度設けることが望ましい。なお、測線長は少なくとも計画路床まで確認できる長さとするが、一般に切土高の 10 倍程度で 1 展開（受振器間隔 5 m で、55 m または 115 m）を考慮した長さとするのが望ましい。

4) 土質岩石試験

1. 切土のり面勾配を定量的に検討するために土質岩石試験を行うが、その試験は下記を標準とする。
 - ①土粒子の密度試験 ②含水比試験 ③粒度試験 ④乾湿繰返し試験（泥岩等の軟岩について）
 - ⑤超音波伝播速度試験（弾性波探査や速度検層を実施する場合、硬岩～軟岩）
2. 盛土材料として適しているかどうかを判定するために土質試験を行うが、その試験は下記を標準とする。
 - ①土粒子の密度試験 ②含水比試験 ③粒度試験 ④液性・塑性限界試験 ⑤締固め試験

北陸地方ののり面・斜面災害の多くは、新第三紀層の堆積軟岩（泥岩等）に発生している。そのため、風化に対する耐久性を定量的に検討するためにボーリングコア試料等を用いて乾湿繰返し試験を実施し、吸水量増加率を求めることとした。なお、硬岩地山については、亀裂発達状況や風化程度がのり面崩壊の主な原因となるので、地山弾性波速度や亀裂係数 C_r が安定勾配の指標となる（亀裂係数を求めるためには、弾性波探査もしくは速度検層と岩石の超音波伝播速度試験が必要）。

$$C_r = 1 - \left(\frac{V_{p1}}{V_{p0}} \right)^2$$

V_{p1} : 地山の弾性波速度
 V_{p0} : 岩片の弾性波速度

また、土砂については現地でのブロックサンプリング試料や標準貫入試料で①～③の物理試験を行い、含水比および細粒分含有率を求める。

切土材料は、高有機質土を除いて盛土材料に転用するのが一般的であるが、北陸地方は年間を通して降水量が多いため、材料によっては施工が困難な場合も少なくない。そのため、ブロックサンプリング試料やボーリングコア試料等を用いて、①～④の物理試験で土質分類をし、締固め試験で材料の適否を判定する必要がある。さらに、高盛土を行う場合には盛土自体の安定が問題となるため、締固めた供試体を用いて透水試験、三軸圧縮試験（UU条件あるいはCU条件、CD条件）等を検討する必要がある。

また、切土材料が路床材料として適するかどうかを判定するため、変状土の設計CBR試験を行うとよい。

(3) 函渠、擁壁の土工部（構造物箇所）

1) 調査の目的

函渠や擁壁計画箇所では、基礎工の設計に必要な支持層の深度および土質定数を把握する調査を実施する。

函渠や擁壁の基礎工としては、一般に直接基礎・置換基礎・くい基礎があり、支持層深度による標準的な基礎形式を決定するものである。また、函渠にプレロード工法を適用する場合は、軟弱地盤技術解析のための土質定数を設定する必要がある。

2) 調査方法

支持層確認および乱さない試料のサンプリング用のボーリングとサンプリング方法は、「軟弱地盤における盛土の調査」に準ずる。

3) 調査頻度および調査深度

1. 支持層確認のボーリングは、1 構造物に 1 箇所、道路センターで実施することを標準とする。なお、軟弱地盤上の調査として路線延長 200～500m 毎に 1 箇所ボーリングを行う計画としているため、それと重複しないようにするとともに、近傍にある場合にはその位置をもって計画する。
2. 調査深度は、支持層（N 値 50 以上）に達してから層厚を最低 5 m（標準貫入試験で 6 回）を確認する。
3. 標準貫入試験は、深度 1 m 毎に 1 回を標準とする。
4. 乱さないサンプリング用のボーリングおよびサンプリング回数は、「軟弱地盤上の盛土の調査」に準ずる。

- ① 函渠は、計画箇所の道路センターでボーリングを行うことを標準とする。また、擁壁は道路の法尻部に計画することが多いため、その計画箇所の中間位置で行うことが適当と考えられるが、基本調査では地質縦断面図を作成することが大切であるため、あくまでも道路センターで行うこととした。なお、地形条件等から明らかに支持層が傾斜していると考えられる場所では、必要に応じて計画箇所の両端で行うこととする。

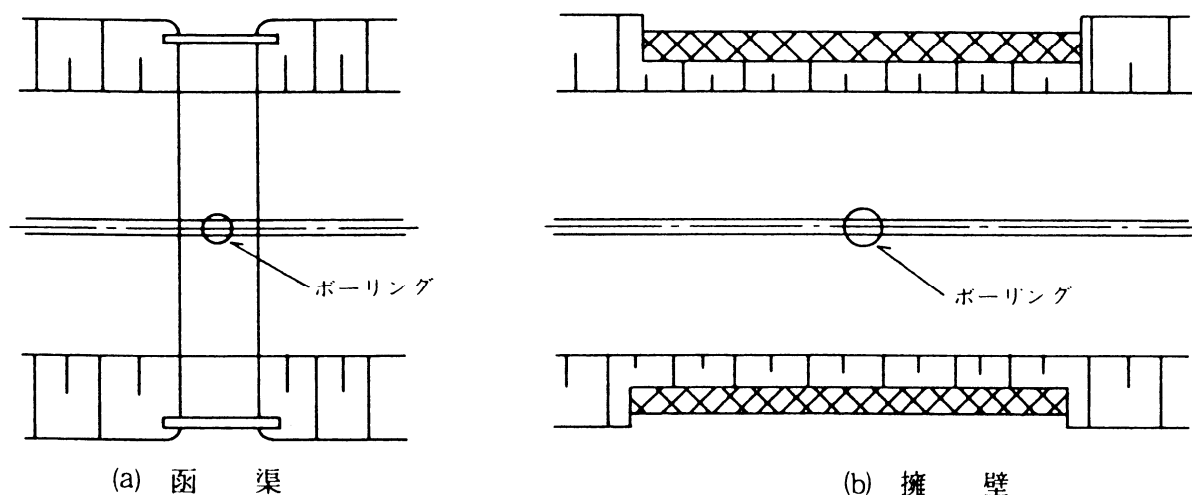


図 16. 8 ボーリングの計画例

- ② 設計対象物は、橋梁のような大きな荷重を受けるものではないが、支持層として必要な層まで確認することとした。なお、支持層は N 値 50 以上の砂・砂礫層や岩盤でも層厚 5 m 以上を確認することを標準とする。しかし、調査地によっては支持層が深い場合があるため、その場合には N 値 30 程度の間層で終了することもできる。

4) 土質試験

函渠についてプレロードを検討する場合は、乱さないサンプリング試料で下記試験を実施する。

- ①土粒子の密度試験
- ②含水比試験
- ③粒度試験
- ④液性・塑性限界試験
- ⑤密度試験
- ⑥一軸圧縮試験
- ⑦圧密試験
- ⑧三軸圧縮試験（CU 条件）

プレロードの検討に使用する土質試験は、「軟弱地盤上の盛土の調査」と同様とし、三軸圧縮試験は強度増加の検討が必要な地層までを対象とする。

16-2-2 詳細設計のための調査

ここでは、道路の詳細設計を実施するために必要な土質・地質調査および各種土質試験等の調査計画をまとめたものである。

調査位置は道路センターおよび計画法尻付近とし、道路計画地の立体的な地層の分布や支持層位置等を的確に把握するものである。

詳細設計とは、工事を発注するための設計である。そのため、「予備設計の調査」で行った軟弱地盤上の盛土、函渠、擁壁の土工部（構造物箇所）の調査資料を基に軟弱地盤対策工、函渠および擁壁の基礎工を詳細設計する資料を補足的に得るものである。

(1) 軟弱地盤上の盛土

1) 調査の目的

軟弱地盤では予備設計の結果、盛土の安定や沈下量が問題となった箇所や盛土高が高くなる橋台背面部等について、詳細検討および軟弱地盤対策工を設計するための調査資料を得るものである。

予備設計の段階で、軟弱土層の縦断的分布が把握され、概略検討の結果、計画安全率を満足しない箇所や残留沈下量が大きい箇所、軟弱層厚の変化が大きい箇所、さらには盛土高が高くなる橋台背面部等で詳細な盛土の安定や沈下検討および軟弱地盤対策工を設計するために必要な補足調査資料を得るものである。

2) 調査方法

地層確認および乱さない試料のサンプリング用のボーリングとサンプリング方法、さらにダッチコーン等については、「予備設計の調査」に準ずる。

- ① 地層確認のボーリングは、標準貫入試験を併用したφ66mmのコアボーリングとする。また、乱さない試料を採取するボーリング径はφ86mmで、サンプリングの方法はシンウォールサンプリングを標準とする。
- ② ボーリング調査間を補足するサウンディングは、ダッチコーンを標準とするが、盛土での排水層としてサンドシームの位置を詳細に把握する必要がある場合は三成分（多成分）コーン（電気式静的コーン貫入試験）も有効である。
なお、N値が0と極めて軟弱な地盤ではシンウォールサンプリングを行っても各種の地盤の乱れによって実際より小さな値となる場合がある。そのため、φ66mmのコアボーリングにベーン試験（直接、現場でせん断強度を求める）を併用して行うことも有効である。

3) 調査頻度および調査深度

1. 地層確認のボーリングは、問題のある箇所では予備調査を補完するように道路センターおよび計画法尻付近で実施する。なお、箇所数は下記を標準とする。
 - (1) 道路縦断方向で軟弱層厚の変化が大きい箇所や予備調査で問題となった箇所では、道路センターにおいて路線延長方向に 100m 程度に 1 箇所とする。
 - (2) 予備調査で問題となった箇所や盛土高の高い橋台背面部等では、道路横断方向（両法尻付近）で各 1 箇所とする。
2. 乱さない試料のサンプリング用のボーリングは必要に応じて行うこととしその深度、および地層確認のボーリングのための深度、標準貫入試験の回数は「予備設計の調査」に準ずる。
3. ダッチコーン等は各ボーリング間を補足し、立体的に軟弱層の分布が把握できるように必要に応じて道路センターおよび両法尻付近で 20～100m 程度に 1 箇所、軟弱層の深さまで行うことを標準とする。

- ① 詳細設計の調査では、問題箇所での軟弱層の分布を精度よく把握することに加えて、横断方向での分布も把握する必要がある。特に、粘性土層と腐植土層が互層する地盤では、盛土両法尻付近でボーリングを行うことが望ましい。
- ② サンプリング用のボーリングは、基本調査で 200～500m に 1 箇所行っているが、それ以下の短い区間でも土質や強度特性等が変化している場合もあるため、必要に応じて行うこととする。また、予備調査で地層確認のボーリングをした近くで、今回採取したい地層がある場合には、サンプリング用のボーリングを単独で行ってもよい。
- ③ ダッチコーンは、予備調査で 100～200m に 1 箇所（一部横断方向の法尻箇所）で行っているが、予備調査で問題のあった箇所、盛土の高い橋台背面部、軟弱層厚の変化が大きな箇所等について、必要に応じて道路センターおよび盛土両法尻付近で行い、軟弱層厚および強度の分布を立体的に調査するとよい。図 16. 9 にボーリングとダッチコーンの計画例を示す。

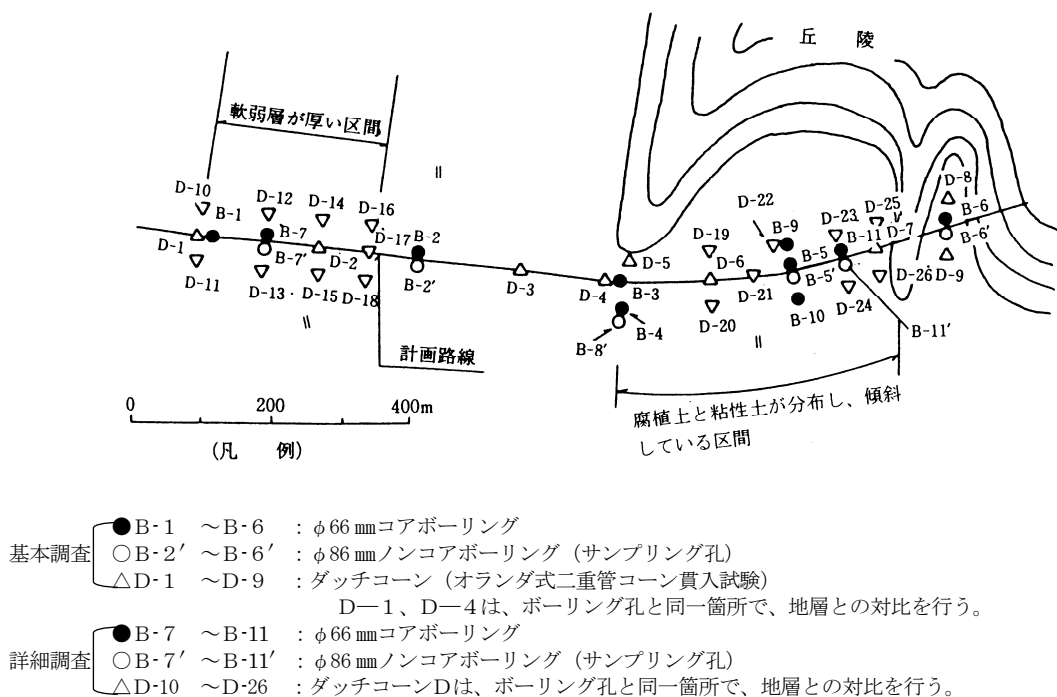


図 16. 9 ボーリングとダッチコーンの計画例

4) 土質試験

土質試験は、乱さないサンプリング試料あるいは標準貫入試験試料を用いて、必要に応じて下記試験の一部もしくは全部を実施する。

〔試 験 名〕	〔求まる土質定数〕	〔主な利用法〕
①土粒子の密度試験	土粒子の密度 ρ_s	土層区分
②含水比試験	自然含水比 W_n	〃
③粒度試験	均等係数 U_c 、曲率係数 U'_c (粒径加積曲線)	〃 、(液状化の判定)
④液性・塑性限界試験	液性限界 W_L 、塑性限界 W_p 塑性指数 I_p	〃 、(液状化の判定)
⑤密度試験	湿潤密度 ρ_t	〃 、 安定・沈下計算
⑥一軸圧縮試験	一軸圧縮強さ q_u 変形係数 E_{50}	安定計算 (横方向地盤反力係数)
⑦圧密試験	圧縮指数 C_c 、圧密降伏応力 P_c ($e - \log p$ 曲線、 $\log \bar{p} \sim \log C_v$ 曲線)	沈下計算
⑧三軸圧縮試験 (CU)	強度増加率 m	緩速載荷工法等の検討

土質試験は基本的には予備設計のための調査に準ずる。

なお、重要構造物に近接した盛土やすべり破壊の防止等に深層混合処理工法を用いる場合は、サンプリング試料で配合試験を行い、添加材の種類と混合量を決定しておくことも必要である。

(2) 函渠、擁壁の土工部（構造物箇所）

1) 調査の目的

函渠や擁壁箇所では、基礎工設計に必要である詳細な地質資料を得るものである。

函渠は、計画箇所の地層および支持層とその傾斜を確認する。また、プレロード工法等の軟弱地盤対策を検討する場合は、軟弱地盤技術解析のための土質定数を設定する必要がある。

擁壁は、計画箇所の地層および支持層とその傾斜を確認する。また、くい基礎を採用する場合は、孔内水平載荷試験を行い変形係数 E_{50} を求め、擁壁を含む円弧すべりの計算を行う場合は、軟弱地盤技術解析のための土質定数を設定する必要がある。

2) 調査方法

1. 支持層確認および乱さない試料のサンプリング用のボーリングとサンプリング方法は、「軟弱地盤における盛土の調査」に準ずる。
2. 支持地盤が地表部に現われている所では、平板載荷試験を行うことを標準とする。
3. 軟弱地盤の擁壁計画位置では、ボーリングに併設したサンプリング孔で、孔内水平載荷試験を行うことを標準とする。

- ① 中間に締まった砂や砂礫層の下に支持層となる基礎地盤がある場合は、支持層の深さを確認するために適切なサウンディングを用いてもよい。
- ② 支持地盤が地表付近に現われている場合は、直接基礎として支持層面で平板載荷試験を行う。しかし、試験値の適用深さは載荷幅の3倍程度であるため支持層の深さ方向はボーリングの結果から確認しておく必要がある。
- ③ 地盤の変形係数は、N値や一軸圧縮試験から求めることもできるが、軟弱地盤では地盤の変形挙動が最も反映される原位置の孔内水平載荷試験から求めることを標準とする。

3) 調査頻度および調査深度

1. 支持層確認のボーリングは、構造物を計画する両端で行うことを標準とする。調査深度は、「予備設計の調査」に準ずる。
2. 乱さないサンプリング用のボーリングおよびサンプリング回数は、「軟弱地盤上の盛土の調査」に準ずる。
3. 標準貫入試験は、「予備設計の調査」に準ずる。
4. 孔内水平載荷試験は、「橋梁設計のための調査」に準ずる。

- ① 函渠は4車線以上の道路の場合、両端で行うことを標準とする。

擁壁は延長 50m以上の場合、計画位置の両端で行うことを標準とし、延長が長い場合は 50mに1箇所、短い場合や支持層の傾斜が大きい場合は必要に応じて計画する。なお、山間地で深礎杭を基礎工とする場合は、深礎杭1本おきにボーリングを行うことを標準とする。

- ② 擁壁位置での円弧すべりの計算に用いるサンプリングは、計算に必要な地層までを対象とする。

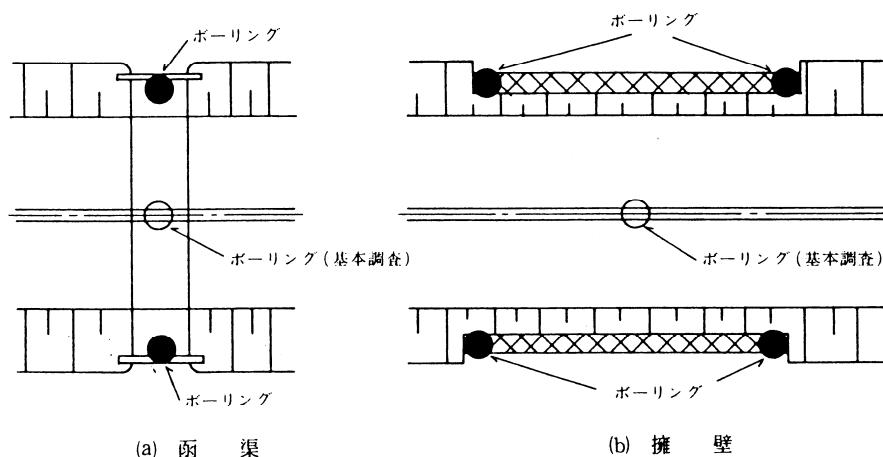


図 16.10 ボーリングの計画例

4) 土質試験

1. 函渠についてプレロード工法等の軟弱地盤対策を検討する場合は、乱さないサンプリング試料で下記試験を実施する。

①土粒子の密度試験 ②含水比試験 ③粒度試験 ④液性・塑性限界試験 ⑤密度試験 ⑥一軸圧縮試験
⑦圧密試験 ⑧三軸圧縮試験（CU条件）

2. 擁壁を含む基礎地盤の安定検討を行う場合は、乱さないサンプリング試料で下記試験を実施する。

①含水比試験 ②密度試験 ③一軸圧縮試験

プレロード工法等の軟弱地盤対策を検討するための土質試験は、「予備設計のための調査」を補足するものである。

円弧すべりを検討するに最小限の土質試験を行うものとするが、地層区分を明確にするためには①、③、④を行うものとする。

16-3 橋梁設計のための調査

16-3-1 橋梁予備設計のための調査

ここでは、橋梁の予備設計に必要な地質調査および各種試験についてまとめたものである。

予備設計では橋台位置の選定や支間割り、上部形式、基礎形式の選定を行うことを目的とするが、基礎構造が橋梁計画に大きな影響を及ぼすため、調査を行うものである。

(1) 軟弱地盤の橋梁

1) 調査の目的

軟弱な粘性土地盤では、橋台の側方移動や杭の水平変位、ネガティブフリクション、背後地盤の残留沈下が問題となるため、土層の厚さや分布状況、土質強度、圧密特性等を把握するものである。

また、飽和したゆるい砂やシルト地盤等では、地盤の液状化による土質定数の低減が問題となるため、液状化判定に必要な調査・試験を行うものである。

軟弱地盤の場合、橋台の側方移動が問題になる他、基礎形式およびその規模は横方向地盤反力係数により大きく左右される。そのため、詳細設計の実施に必要な調査を行うものである。また、ネガティブフリクション、背後地盤の残留沈下を念頭においた調査も同時に行う。

また、地下水位が現地盤面から 10m以内にあり、かつ現地盤面から 20m以内の深さに存在する飽和土層（沖積層の飽和砂質土層、N値の低い洪積土層、低塑性のシルト質砂層あるいは砂質シルト層、礫質土層等）については、液状化の判定を行った上で設計土質定数を決定するため、これに必要な調査を行うものである。

2) 調査方法

1. 地層確認を行う場合は、標準貫入試験を併用したφ66mmのコアボーリングを標準とする。
2. 乱さない試料のサンプリング用のボーリングは、削孔径φ86mmを標準とし、サンプリング方法は、シンウォールサンプリングを標準とする。
3. 地盤の変形係数は、孔内水平載荷試験により求めることを標準とする。
4. 液状化の判定は、「道路橋示方書・同解説Ⅴ耐震設計編」に準拠する。

- ① 軟弱層では、軟らかい粘性土が主体であるため、サンプリングはシンウォールサンプリングを標準とした。
 なお、対象地盤によりサンプリング方法およびボーリング削孔径が異なるため、図 16. 1 を参照とする。
- ② 橋梁等の重要構造物では、横方向地盤反力係数を原位置試験から求めることを原則とする。
 なお、N 値および土質試験データがある場合は、次の方法も参考として決定する。
- イ. N 値より $E_0=2,800\text{N (kN/m}^2\text{)}$ として求める。
- ロ. 室内試験（一軸または三軸圧縮試験）の応力～歪曲線より求める。

表 16. 7 孔内水平載荷試験機の種類

試験機種	加 圧		変 位 測 定 法		載 荷 部 分				
	加圧材料	使用圧力の目安 (kN/m^2)	方 法	手 段	載荷板	形 式	直径 (mm)	長 さ (cm)	室構成
土研式	コンプレッサーによる圧さく空気圧	700～800	間 接	注水量	薄肉弾性ゴム	円 筒	110	200	1
プレシオメーター	ボンベ貯蔵の CO_2 ガス圧	標準 4,000	間 接	注水量	厚肉弾性ゴム	円 筒	56	50 (ただし測定部分 20)	3
LLT	ボンベ貯蔵の N_2 ガス圧	2,500～ 3,000	間 接	注水量	厚肉弾性ゴム	円 筒	80	60	1
KKT	油 圧	—	ピアノ線を介して 直 接	ダイヤルゲージ	剛板 2 枚	対向 2 面 または 近似円筒	115	30 または 50	—
エラストメーター	ガス圧、水圧 限 定 な し	20,000	直 接	電氣的 機械的	厚肉弾性ゴム	円 筒	60	520	1

注) 使用圧力は使用機種マニュアルに従う。

- ③ 液状化の判定は「道路橋示方書・同解説Ⅴ耐震設計編」に準拠して行うものとするが、図 16. 11 にフローチャートを示す。

調査方法としては、1 m 間隔の標準貫入試験を伴うボーリングを行い、標準貫入試験試料を用いた粒度試験（あるいは粒度試験と液性・塑性限界試験）を行うことを標準とする。なお、現地盤面から 3 m 以内にある粘性土層およびシルト質土層については、一軸圧縮試験を行うことを標準とする。

また、耐震設計上の地盤種別を区別する場合、地層のせん断弾性波速度が必要であり、原位置でこれを求めるためには P S 検層が必要となる。（なお示方書では実測値がない場合には N 値から求めても良いとしている）。

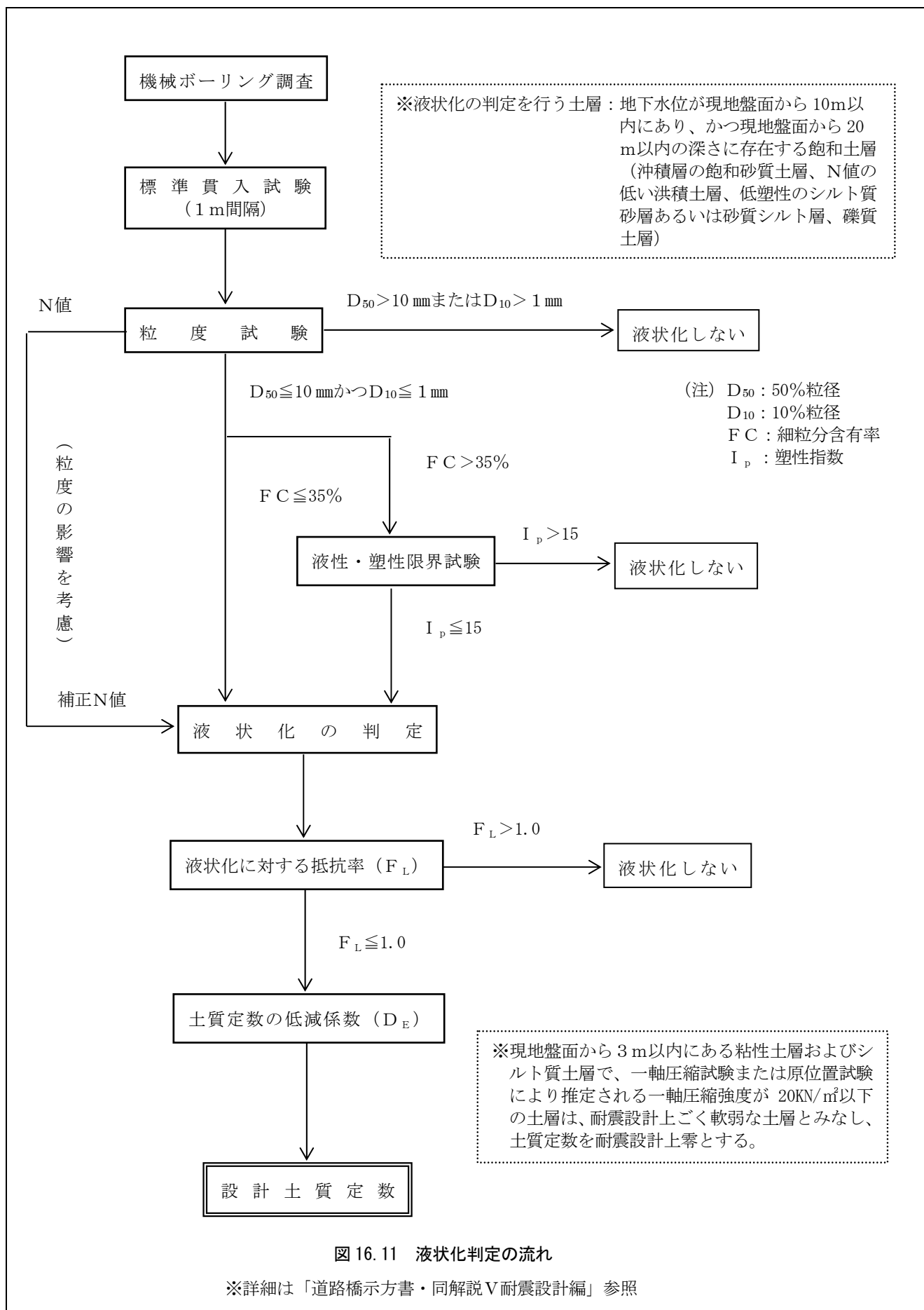


図 16.11 液状化判定の流れ

※詳細は「道路橋示方書・同解説Ⅴ耐震設計編」参照

3) 調査頻度および調査深度

1. 地層確認のボーリングは、道路センターで、50m程度に1箇所行うものとする。
2. 調査深度は、支持層（N値 50 以上）に達してから層厚を最低 5 m（標準貫入試験で 6 回）を標準とする。
3. 標準貫入試験は、深度 1 m 毎に 1 回を標準とする。
4. 乱さない試料のサンプリング用のボーリングは、ボーリング位置から 1 ～ 2 m 離れた別孔で行うことを標準とする。なお、サンプリング頻度は下記を標準とする。
 - (1) 軟弱層全層で各層または深度 3 m ～ 5 m 毎に 1 回。
 - (2) 地表に軟弱な粘性土が分布する場合は地表から 3 m 以内で 1 回。
 - (3) 摩擦杭が考えられる場合は、軟弱層以深においても深度 5 m 毎に 1 回。
 - (4) 支持層下位に分布する粘性土についても必要に応じてサンプリングを行い、圧密沈下の検討資料とする。
5. 孔内水平載荷試験は、サンプリング孔内で、深度 3 m ～ 10 m 間で 3 回を標準とする。

- ① 高架橋の支間割りは、一般に 20m ～ 30m 程度が用いられているため、調査間隔はその 2 倍程度の 50m とした。
- ② 支持層は、一般に砂層で N 値 30 以上、粘性土で N 値 20 以上とされているが、ここでは N 値 50 以上の基盤層の確認を標準とした。

- ③ 乱さない試料のサンプリングの必要な箇所は以下を標準とする。

イ. 橋台部では、側方移動の検討を行う必要から、深度 3 m 毎に 1 回とした。

側方移動の検討は種々の手法があるが I 値による判定を行う場合、地盤側のデーターとしては、次のものが必要となる。

ア. 軟弱層の厚さ……………ボーリングで確認。

イ. 軟弱層の平均粘着力……………一軸圧縮試験より $c_u = 1 / 2 q_u$ として求める。

ロ. 地表面から 3 m 以内に軟弱な粘性土およびシルト層が分布する場合は、N 値 0 でも $q_u > 20 \text{ kN/m}^2$ 以上の場合があるため耐震設計上の配慮から、3 m 以内で 1 回とする。

ハ. 摩擦杭では過圧密地盤を明確にするため、軟弱層以深においても深度 5 m 毎に 1 回とする。

ニ. 薄い支持層の下位に圧密沈下のおそれのある地層が分布する場合は、必要に応じてサンプリングを行い、沈下についての検討を行う。

- ④ N 値 0 の地盤でも変形係数は深さ方向に増加する傾向があり、深度方向の分布を把握することで経済的な設計が可能となる。

また、3 m ～ 10 m 間に 3 回実施するのは、平均的な変形係数を求める意味と杭の水平抵抗に支配的な地盤の深さが地表面から $1 / \beta$ 程度のためである。

なお、 $1 / \beta$ は一般に 10 m 以内となっている。

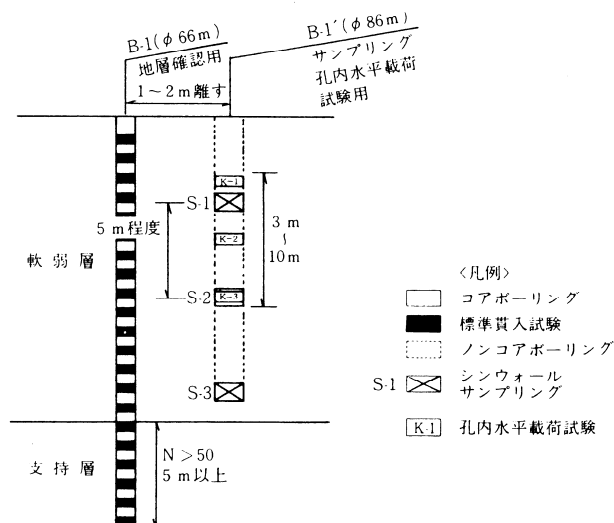


図 16.12 試験等配置の例

4) 土質試験

土質試験は、乱さないサンプリング試料について、下記試験を実施する。

〔試 験 名〕	〔求まる土質定数〕	〔主な利用法〕
① 土粒子の密度試験	土粒子の密度 ρ_s	土層区分
② 含水比試験	自然含水比 W_n	〃
③ 粒度試験	均等係数 U_c 、曲率係数 U'_c 平均粒径 D_{50} 、10%粒径 D_{10} (粒径加積曲線)	土層区分、液状化の判定
④ 液性・塑性限界試験	液性限界 W_L 、塑性限界 W_p 塑性指数 I_p	〃 、 〃
⑤ 密度試験	湿潤密度 ρ_t	〃 、 〃 安定・沈下計算
⑥ 一軸圧縮試験	一軸圧縮強さ q_u 変形係数 E_{50}	安定計算、耐震設計上の軟弱層の判定 (横方向地盤反力係数)
⑦ 圧密試験	圧縮指数 C_c 、圧密降伏応力 P_c ($e - \log p$ 曲線、 $\log \bar{p} \sim \log C_v$ 曲線)	沈下計算 過圧密層の判定
⑧ 三軸圧縮試験 (CU)	強度増加率 m	プレロードの検討

橋台の側方移動の検討を行う場合は、①～⑥、摩擦杭として過圧密層を判定する場合は、①～⑦の土質試験を標準とする。プレロードの検討が必要な場合は⑧を追加する。

液状化の判定を行う場合は、原則として③を行い、必要に応じて④を行うことを標準とする。なお、深度3m以内の粘性土層およびシルト質土層については⑥を検討する。

(2) 山間地の橋梁

1) 調査の目的

山間地等では支持層（岩盤）が道路方向や横断方向に傾斜していることが多い。そのため、下部工位置の選定では支持層の傾斜を立体的に把握するとともに岩盤の強さや風化状態を知る必要がある。

山間地等での基礎工は、深礎杭が選定されることが多く、その設計にあたっては、岩盤の傾斜、強さ、風化状態が重要な要素となる。

2) 調査方法

1. 地層確認は、標準貫入試験を併用した $\phi 66 \text{ mm}$ のコアボーリングを標準とする。
2. 岩盤の変形係数はボーリング孔を利用し、孔内水平載荷試験を実施する。
3. 岩盤の場合はボーリングコアを用いて岩の一軸圧縮試験を実施する。

- ① 標準貫入試験の実施不可能な岩盤の場合は、オールコアボーリングのみ実施し、岩種、硬軟、コア採取率、RQD、風化変質の程度等を調べ、岩級区分を行う。
 - ② 深礎杭の設計では岩盤および上位層の変形係数が、杭長を決定する上で最も重要となる。このため、ボーリング孔を利用した孔内水平載荷試験により変形係数を求める。
 - ③ 岩盤の設計定数（ c 、 ϕ ）を決定する場合は、岩盤の分類（岩級区分）を明確にするため、変形係数の他に岩の一軸圧縮試験を実施する。
- 3) 調査頻度および調査深度

1. ボーリングは、谷底および両斜面で横断方向に3箇所（道路センターおよび両肩部）実施する。
2. 調査深度は、支持層（N値 50 以上または岩盤）に達してから層厚を最低 5 m（標準貫入試験で 6 回）を確認する。ただし、直接基礎が想定される場合は、基礎底面より基礎幅の 2～3 倍の深度まで調査することが望ましい。
3. 孔内水平載荷試験は、道路センター上の孔内で、各地層および風化の異なる岩層毎に各一回実施する。
4. 岩の一軸圧縮試験はボーリングコアを使用し、孔内水平載荷試験を実施した岩盤について行うことを標準とする。

- ① ボーリングは、支持層（岩盤）の分布を立体的に把握する必要から上記仕様としたが、平坦な段丘地形を伴っている場合や露岩を肉眼で確認可能な場合、または 2 車線道路の場合等では、センターと片側の 2 箇所とする等その状況によって適宜変更する。

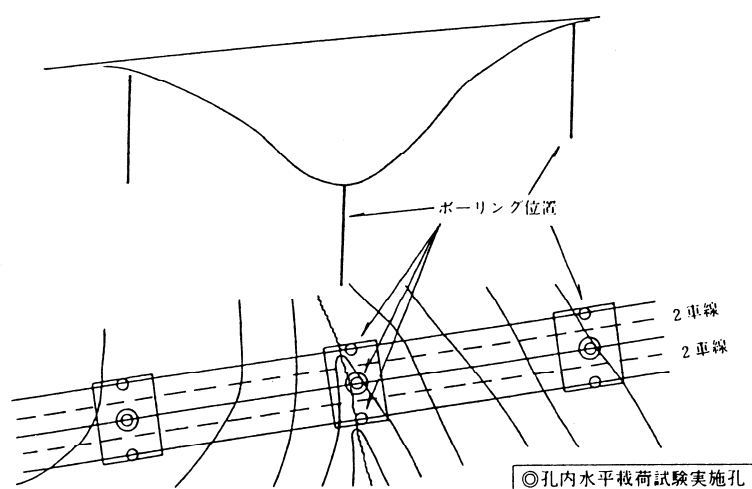


図 16.13 4 車線道路の例

- ② 支持層の確認深度は、軟岩では N 値 50 以上、中～硬岩では岩級区分における C_M クラスの岩盤まで確認する。ただし、支持層出現深度が浅い場合で直接基礎が想定される場合は、構造物全体の安定を確実にするために、荷重の影響範囲に問題のある地層の分布の有無を確認することを目的として、基礎底面より基礎幅の 2～3 倍の深度まで調査することが望ましいとした。
- ③ 下部工の基礎型式を基礎杭とした場合の長さは、横方向地盤反力係数によって決定されるため、各層ごとに実施する。
- ④ 岩の一軸圧縮強度は、掘削機械の選定や、岩級区分を行うために必要となる。

表 16. 8 岩級区分の目安

名称	特 徴
A	極めて新鮮なもので造岩鉱物および粒子は風化、変質を受けていない。亀裂、節理はよく密着し、それらの面に沿って風化の跡はみられないもの。 ハンマーによって打診すれば澄んだ音を出す。
B	岩質堅硬で開口した（たとえ1mmでも）亀裂あるいは節理はなく、よく密着している。ただし造岩鉱物および粒子は部分的に多少風化、変質がみられる。 ハンマーによって打診すれば澄んだ音を出す。
C _H	造岩鉱物および粒子は石英を除けば風化作用を受けてはいるが岩質は比較的堅硬である。一般に褐鉄鉱などに汚染され、節理あるいは亀裂の間の粘着力はわずかに減少しており、ハンマーの強打によって割れ目にそって岩塊が剥脱し、剥脱面には粘土質物質の薄層が残留することがある。 ハンマーによって打診すれば少し濁った音を出す。
C _M	造岩鉱物および粒子は石英を除けば風化作用を受けて多少軟質化しており、岩質も多少軟らかくなっている。節理あるいは亀裂の間の粘着力は多少減少しており、ハンマーの普通程度の打撃によって、割れ目にそって岩塊が剥脱し、剥脱面には粘土質物質の層が残留することがある。 ハンマーによって打診すれば多少濁った音を出す。
C _L	造岩鉱物および粒子は風化作用を受けて軟質化しており岩質も軟らかくなっている。節理あるいは亀裂の間の粘着力は減少しており、ハンマーの軽打によって割れ目にそって岩塊が剥脱し、剥脱面は粘土質物質が残留する。 ハンマーによって打診すれば濁った音を出す。
D	岩質鉱物および粒子は風化作用を受けて著しく軟質化しており岩質も著しく軟らかい。節理あるいは亀裂の間の粘着力はほとんどなく、ハンマーによってわずかな打撃を与えるだけでくずれ落ちる。剥脱面には粘土質物質が残留する。 ハンマーによって打診すれば著しく濁った音を出す。

16-3-2 橋梁詳細設計のための調査

橋梁の詳細設計では各下部工単位の設計に必要な地質調査および各種試験についてまとめたものである。なお、詳細設計の調査は予備調査を基に詳細設計を行う資料を補足的に得るものである。

(1) 軟弱地盤の橋梁

1) 調査の目的

橋梁の基本計画（橋長・径間長・スパン割等）は、予備設計で完了しているため、ここでは各下部工の詳細設計に必要な調査を行うものである。

詳細設計の調査では、予備調査を基に横断方向の支持層の傾斜についても把握する必要があるため、道路方向に加え横断方向も調査する。

2) 調査方法

1. 地層確認を行う場合は、標準貫入試験を併用したφ66mmのコアボーリングを標準とする。
2. 乱さない試料のサンプリング用のボーリングは、削孔径φ86mmを標準とし、サンプリング方法は、シンウォールサンプリングを標準とする。
3. 地盤の変形係数は、孔内水平載荷試験により求めることを標準とする。
4. 液状化の判定は、「道路橋示方書・同解説Ⅴ耐震設計編」に準拠する。
5. 掘削時の地下水の影響が懸念される場合の現場透水試験等、必要な試験を選定し、実施する。

調査方法は、16-3-1・(1)・2)に準ずる。

3) 調査頻度および調査深度

1. 地層確認のボーリングは、道路センターで各下部工位置で1箇所、また橋台部は両肩位置で各1箇所行うことを標準とする。
2. 調査深度は、支持層（N値 50 以上）に達してから層厚を最低 5 m（標準貫入試験で 6 回）を確認する。
3. 標準貫入試験は、深度 1 m 毎に 1 回を標準とする。
4. 乱さない試料のサンプリング用のボーリングは、ボーリング位置から 1 ～ 2 m 離して別孔で行うことを標準とする。なお、サンプリング頻度は下記を標準とする。
 - (1) 軟弱層全層で各層または深度 3 m ～ 5 m 毎に 1 回。
 - (2) 地表に軟弱な粘性土が分布する場合は地表から 3 m 以内で 1 回。
 - (3) 摩擦杭が考えられる場合は、軟弱層以深においても深度 5 m 毎に 1 回。
 - (4) 支持層下位に分布する粘性土についても必要に応じてサンプリングを行い、圧密沈下の検討資料とする。
5. 孔内水平載荷試験は、サンプリング孔内で、深度 3 m ～ 10 m 間で 3 回を標準とする。
6. 現場透水試験等、必要な試験は実施位置、実施頻度を地盤状況に応じて適宜設定する。

① 調査頻度および調査深度は、16－3－1・(1)・3) に準ずる。

② 橋台は、一期施工において二期線分まで施工することが多いため、横断方向の支持層を把握する必要がある。そのため、両肩部でボーリングを実施する。

4) 土質試験

土質試験は、乱さないサンプリング試料あるいは標準貫入試験試料を用いて、必要に応じて下記試験の一部もしくは全部を実施する。

〔試験名〕	〔求まる土質定数〕	〔主な利用法〕
① 土粒子の密度試験	土粒子の密度 ρ_s	土層区分
② 含水比試験	自然含水比 W_n	〃
③ 粒度試験	均等係数 U_c 、曲率係数 U'_c 平均粒径 D_{50} 、10% 粒径 D_{10} (粒径加積曲線)	土層区分、液状化の判定
④ 液性・塑性限界試験	液性限界 W_L 、塑性限界 W_p 塑性指数 I_p	〃 、 〃
⑤ 密度試験	湿潤密度 ρ_t	〃 、 〃 安定・沈下計算
⑥ 一軸圧縮試験	一軸圧縮強さ q_u 変形係数 E_{50}	安定計算、耐震設計上の軟弱層の判定 (横方向地盤反力係数)
⑦ 圧密試験	圧縮指数 C_c 、圧密降伏応力 P_c ($e - \log p$ 曲線、 $\log p \sim \log C_v$ 曲線)	沈下計算 過圧密層の判定
⑧ 三軸圧縮試験 (CU)	強度増加率 m	プレロードの検討

土質試験は、16－3－1・(1)・4) に準ずる。

(2) 山間地の橋梁

1) 調査の目的

橋梁の基本計画（橋長・径間長・スパン割等）は、予備設計で完了しているため、ここでは各下部工の詳細設計に必要な調査を行うものである。

調査の目的は、16-3-2・(1)・1) に準ずる。

2) 調査方法

1. 地層確認は、標準貫入試験を併用したφ66mmのコアボーリングを標準とする。
2. 杭あるいは深礎杭の場合、地盤の変形係数はボーリング孔を利用して、孔内水平載荷試験を実施する。
3. 地下水状況の把握のための試験（現場透水試験、湧水圧試験等）等を必要に応じて追加する。

調査方法は、16-3-2・(1)・2) に準ずる。

3) 調査頻度および調査深度

1. ボーリングは、各下部工位置において、道路センターおよび両肩部で行うことを標準とする。ただし、深礎杭を計画する場合は、各杭の位置で1箇所ボーリングを実施する。
2. 調査深度は、支持層（N値 50 以上または岩盤）に達してから、層厚を最低5m（標準貫入試験6回）を確認する。
3. 杭あるいは深礎杭とする場合は孔内水平載荷試験を実施する。なお、試験は各下部工位置でボーリング1孔を選定し、各地層および風化の異なる岩層ごとに各1回実施する。

① 調査頻度および調査深度は、16-3-2・(1)・3) に準ずる。

② 予備設計の調査を準用する場合は、調査を適宜省略する。深礎杭の場合は杭の中心位置で行うことを原則とする。

③ 孔内水平載荷試験は、各下部工位置のセンターでのボーリング孔で行うことを原則とする。

なお、深礎杭の場合は、最も地質条件の悪いボーリング孔を選定して行う。

16-3-3 動的解析のための調査

ここでは、橋梁設計における動的解析に必要な地盤定数を得るための調査・試験について示すが、橋梁設計のためには当然ながら既述した16-3-1、16-3-2の調査を実施しなければならない。

(1) 調査の目的

橋梁の動的解析に必要な地盤定数を得ることを目的とする。

動的解析を行うための地盤のモデル化に必要な地盤条件は、地層の構成や湿潤密度等の基本的性質に加えて地震時に発生する地盤ひずみに応じたせん断変形係数 G 、減衰定数 h 、およびポアソン比 ν などの動的変形係数である。

また、詳細な液状化の判定を行う場合は、動的強度特性（液状化強度）も必要となる。

(2) 調査の方法

動的解析に必要な調査は標準貫入試験(N値)、土質試験(物理試験)等の他に、下記を標準とする。

1. P S 検層
2. 密度検層
3. 乱さない試料採取
4. 土質試験（繰返し三軸試験，繰返しねじりせん断試験等）

一般に、動的解析に必要な土質定数は表 16. 9 に示すとおりである。

表 16. 9 必要土質定数と試験方法

必 要 土 質 定 数	試 験 方 法
せん断弾性波速度，ポアソン比	P S 検層
湿潤密度	密度検層，密度試験
動的変形特性 $G \sim \gamma$ 曲線（せん断変形係数 $\sim$ ひずみ） $h \sim \gamma$ 曲線（減衰比 $\sim$ ひずみ）	繰返し三軸試験 繰返しねじりせん断試験
動的強度特性 繰返し応力振幅比（液状化強度）	繰返し三軸試験

- ① 動的解析に必要な初期せん断変形係数 G_0 は、P S 検層や密度検層より得られるせん断弾性波速度 V_s および密度 ρ から求め、 G および h のひずみ依存性は室内繰返し試験から求めることを基本とする。また、ポアソン比 ν が必要となる場合は、P S 検層より得られる弾性波速度 V_p 、せん断弾性波速度 V_s を用いて求める。
- ② P S 検層の方法は一般に、板たたき法とサスペンション法がある。板たたき法では、弾性波速度の細かい変化は検出できず、数 m 間の平均的な弾性波速度分布が把握される。一方、サスペンション法では、板たたき法よりも細かい速度の変化を把握することができるが、地下水位より浅い深度では測定できない。このような両方法の損失を考慮し、対象とする土性に見合った方法を選定する必要がある。
- ③ 動的強度特性を求めるための繰返し三軸試験法は、「土質試験の方法と解説」（(公社)地盤工学会）に準拠する。なお、繰返し三軸試験結果の妥当性を評価するためには、各供試体毎に粒度試験や相対密度試験を併せて実施しておく。

(3) 調査頻度および調査深度

1. P S 検層は、せん断弾性波速度が 300m/ s 程度以上の地層（目安として、粘性土層の場合はN値が 25 以上、砂質土層の場合はN値が 50 以上）を確認できる深度までとする。
2. 密度検層は、P S 検層と同じ深度までとする。
3. 乱さない試料採取および土質試験（繰返し三軸試験，繰返しねじりせん断試験等）は、各地層毎または層厚 5 m 程度に 1 回を標準とする。

16-4 トンネル設計のための調査

16-4-1 トンネル調査一般

トンネルの地質調査は、一般的には地表地質踏査→弾性波探査（物理探査）→ボーリング調査（原位置試験・検層含む）→室内試験（土質岩石試験）の順に段階的に進めた方が合理的な場合が多い。それぞれの調査段階で問題点を検討し、次の段階での適切な調査箇所を選定することが望ましい。例えば、地表地質踏査結果に基づいて弾性波探査の測線配置を検討し、地表地質踏査と弾性波探査結果に基づいてボーリング調査地点および原位置試験項目を検討することが、手戻りを避けより効果的な成果に繋がる。また、トンネルは線状構造物であり、工事着手前にトンネル区間全体について十分な精度で地質・地下水状況等を把握することは困難な場合が多く、各調査段階において残された問題点を明確にしておくことが重要である。

また、トンネル湧水に関しては、施工上の問題（切羽崩壊等のトラブル）と周辺の水利用への影響（湧水問題等）の両方から検討する必要があり、特に周辺の水利用に対する影響が予測される場合には水文調査の実施が必要となる。水文調査が必要となるようなトンネルでは、施工前のデータ（水利用状況・河川流量・井戸の水位等）が必要となるため、事前の地質調査の段階で提案しておくことが大切である。なお、水文調査については「トンネル標準示方書〔山岳工法編〕・同解説」等を参照されたい。

- 1) トンネルの地質調査は、図 16.14 の流れに沿って進め、各調査段階での目的・項目・手法および範囲は表 16.10 に示す内容を基本とする。
- 2) トンネル区間の全般的な地形・地質状況を明らかにするために、地表地質踏査や弾性波探査・ボーリング調査等を行う。
- 3) 調査結果に基づき地形・地質上の問題点を把握し、坑口位置、掘削方法、地山分類を概略検討するもので、トンネル建設上大きな問題となる次頁に示す特殊な地山条件の有無を把握するものである。

特殊な地山条件

- ① 地すべり等の移動性地山および斜面災害が予想される地山
- ② 断層破碎帯、褶曲じょう乱帯
- ③ 含水未固結地山
- ④ 膨張性地山
- ⑤ 山はねが予想される地山
- ⑥ 高い地熱、温泉、有毒ガス、可燃性ガス等がある地山
- ⑦ 高い水圧や大湧水の発生が予想される地山

その他、低土被り、近接施工などの特殊な立地条件

これらは、概略設計の段階である程度把握できるが、地表地質踏査を広範に実施することにより特殊な地山条件を現地で把握するものである。

また、地山の種類により、明らかにすべき地山情報の種類や精度も異なるため、表 16.11 に調査項目を示し、表 16.12 にはその解明に有効な調査方法を示した。なお、地山の種類を一概に決めることが困難な場合は種々の方法を組合わせて実施することとし、表 16.13 に、調査成果を基に決定する地山分類の方法(トンネル標準示方書に加筆修正)を示す。同表による地山分類を適用する際には、トンネル標準示方書に示される留意事項を参照されたい。

- 4) 先行トンネルに併設して、段階的に施工される後行トンネルの設計においてもトンネル計画位置での調査について十分に検討する必要がある。
- 5) 事前調査における可燃性ガスに対する留意事項を以下に示す。

①資料の収集

地形、地質資料等により周辺における可燃性ガス発生に関する情報を収集するとともに、周辺における過去又は施工中のトンネル工事等における可燃性ガスの発生状況、ガス爆発災害、ガス爆発防止対策の資料を収集する。

②ボーリング調査

可燃性ガスが発生する可能性がある想定される場合は、地表から鉛直ボーリング調査を行い、孔口からの可燃性ガスの湧出量を測定するとともに、ボーリングコアの分析、泥水の分析を行うことにより、可燃性ガスの成分、含有量等について精密な調査を行う。

必要に応じ、坑口からの長孔水平ボーリングを実施し、ガス湧出量、湧出圧、成分等の調査を行う。

路線選定の
ための調査

設計施工の
ための調査

予備調査

詳細調査

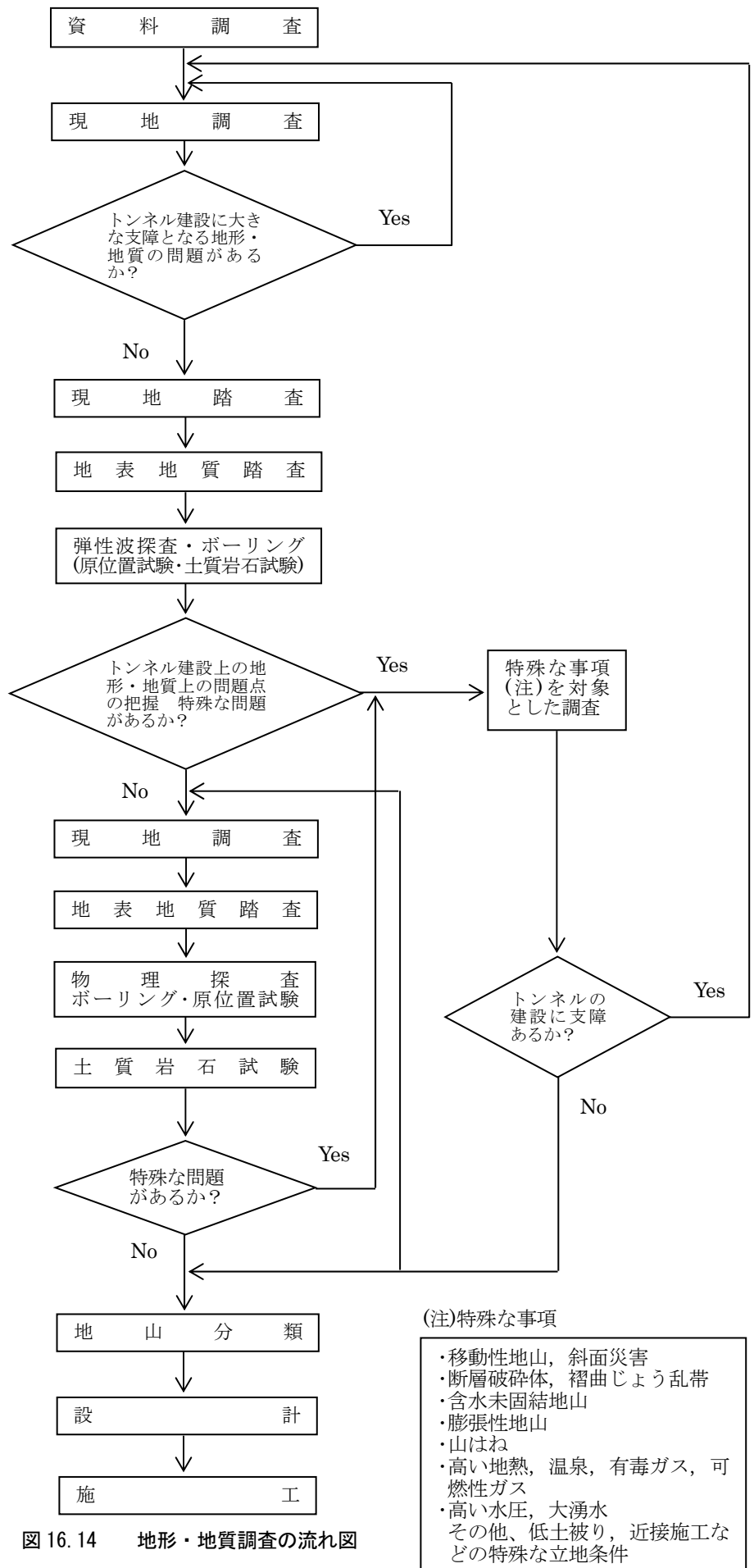


図 16.14 地形・地質調査の流れ図

表 16.10 地形・地質調査の段階と調査項目・手法・範囲

調査の段階	調査目的	調査項目	調査手法	調査範囲
1) 路線選定のための調査	地形・地質その他の条件に適合した路線を選定するための基礎資料を得るために実施する。特に坑口付近の地山条件、施工条件等を把握する。			
2) 予備調査	予備調査は、計画路線を選定し、坑口・延長・断面等の設計の基本的事項を設定するために実施するもので、詳細な地形条件、坑口付近の地すべり等の不安定地形、岩質、地質構造および周辺部の環境条件を明らかにし、地形・地質上の問題点を抽出する。 また、接続する道路、工事用道路、その他の付帯工事などの比較検討に重大な影響を与える地形・地質条件を明らかにする。	地すべり・斜面崩壊等の不安定地形、岩質分布および区分、崖錐等表層堆積物の種類分布および厚さ、風化帯の厚さと性状、断層破砕帯の位置と性状、変質帯の有無とその性状、湧水の有無等。	現地踏査、地表地質踏査、弾性波探査、ボーリング等の概略的調査。	比較路線を含む広範囲。概ね中心線を中心に片側500m～2,000m程度。
3) 詳細調査	詳細調査は、前段までの調査による地質上の問題点を明らかにし、実施設計・施工計画および施工等に必要な基礎資料を得る。すなわち、坑門工の型式、地山分類、掘削方式および掘削工法、支保構造、計測計画等を検討する資料を得る。 なお、トンネルは線状構造物であり、計画区間全線にわたって正確な地質情報を得ることは難しいため、精密調査後あるいは施工中においても随時補足調査を行って地山条件の把握に努める。	岩石の固結度・強度・節理等の割れ目の方向性と頻度、断層破砕帯の規模および性状、膨張性岩石の分布および性状、湧水量、土水圧、地下水位、および土圧発生要因等。	現地調査、地表地質踏査、弾性波探査、ジオモグラフィ等の物理探査、ボーリング、必要に応じて調査坑、トレンチ、検層および土質岩石試験等がある。この段階では問題点がかなり明らかになっているので、ボーリングの比重が高いが、地表地質踏査は各種調査結果の裏付けや評価を行ううえで重要である。	トンネル計画線とこれに関連する箇所およびその周辺。
4) 特殊事項の調査	大湧水、膨張性地山、地熱、ガス等によりトンネルの計画・施工上問題となった特殊な事項について設計施工のための資料を得る。	問題点の内容と大きさによって決める。	問題点の内容と大きさによって決める。	問題点の内容と大きさによって決める。

表 16.11 地山の種類と調査項目

	地 形	地質構造	岩質・土質	地下水	力学的性質	物理的性質	鉱物・化学的性質	記 事
硬岩地山	地すべり 崩壊地 偏土圧地 形	地質分布 断層・褶 曲	岩石名 岩相* 割れ目 風化・変質	滞水層 地下水位	一軸圧縮強度	地山弾性波 速度 超音波速度		特にもろく土砂状 のものは、土砂地 山に準ずる。
軟岩地山	地すべり 崩壊地 偏土圧地 形 土かぶり	地質分布 断層・褶 曲	岩石名 岩相 割れ目 風化・変質	滞水層 地下水位 透水係数	一軸圧縮強度 粘着力 内部摩擦角 変形係数 ポアソン比	地山弾性波 速度 超音波速度 密度	浸水崩壊度	同上 浸水崩壊度が著し い場合は、膨張性 地山に準ずる。
土砂地山 **	地すべり 崩壊地 偏土圧地 形 土かぶり	地質分布	土質名 固結度	滞水層 地下水位 透水係数	一軸圧縮強度 粘着力 内部摩擦角 変形係数 ポアソン比 N値	密度 粒度組成 含水比 土粒子の密 度 比抵抗分布		均等粒径であって 粘土分をほとんど 含まない場合は、 流動性の検討を要 する。
膨張性 地山	地すべり 崩壊地 偏土圧地 形 土かぶり	地質分布 断層・褶 曲	岩石名 岩相* 割れ目 風化・変質		一軸圧縮強度 粘着力 内部摩擦角 変形係数 ポアソン比	密度 粒度組成 液性限界 塑性限界 含水比 地山弾性波 速度	含有粘土鉱物 浸水崩壊度	

* 岩石の粒度、鉱物組成、空隙状態を指す。

** 土砂地山で粘性土の場合は、軟岩地山、膨張性地山の欄も参考とする。

表 16.12 地形・地質調査項目と調査方法

調査項目	調査事項	調査方法							孔内試験				室内土質岩石試験
		資料調査	空中写真判定	現地調査	地表地質踏査	弾性波探査(注)	電気探査	ボーリング	標準貫入試験	物理検層	孔内載荷試験	孔内湧水圧試験	
地形	地すべり・崩壊地	◎	◎	◎	◎	○	○	○	○	○			
	土石流・なだれ等の発生地およびこれが予想される所	◎	◎	◎	◎								
表層堆積物	種類（表土、風化土、崖錐堆積物、崩壊堆積物、段丘堆積物等）	◎	◎	◎	◎			○					
	構成物質（粒度、粒形等）	○		○	◎			◎	◎				◎
	分布・厚さ			○	◎	◎	○	◎	○	○			
	固結程度			○	◎	◎	○	◎	◎	○	◎		○
	含水状態および透水性			○	◎		◎	◎		○		◎	○
岩質	岩石の種類と地質年代	◎	○	○	◎			◎					
	岩相（鉱物組成、粒度、組織、空隙状態等）	○		○	◎			◎					◎
	岩石の物理的力学的性質（吸水率、硬度、圧縮強度、超音波伝播速度等）	○			○			○		○			◎
	岩盤の弾性波速度					◎				○			○
	岩盤の強度、変形性（膨張性の有無等を含む）				○	○		◎		○	◎		◎
	風化・変質の程度	○		◎	◎	◎	○	◎	○	○			◎
地質構造	地質の分布	◎		○	◎			◎					
	地層の成層状態（走向、傾斜、褶曲の位置・規模等）	◎		○	◎			○					
	断層、破碎帯の位置、規模、性状	○	◎	○	◎	◎	○	◎		○			
	層理、片理、割れ目等（分布、方向、頻度、狭在物等）	○		○	◎			◎					
湧水・地下水	地表水の状況（トンネル工事の影響が予想される範囲の用水状況）	○		◎	◎								
	地下水面、帯水層および遮水層				○		◎	◎		○		○	
	地下水の湧水圧、湧水量							◎				◎	
地下資源	種類、分布	◎			○			◎		◎			
	トンネル計画の関連	○		◎	○			◎					

注）トンネル坑口において、地盤状況が複雑と予想される場合には、近年発展したジオトモグラフィ手法（弾性波、比抵抗）も有効である。

表 16.13 山地分類

地山等級	岩石グループ	代 表 岩 石 名	弾性波速度Vp (km/sec)	地 山 による影響	の 状 態	コアの状態、ROD	地 山 強度比	トンネル掘削の状況と変位の目安
B	H塊状	花崗岩、花崗閃緑岩、石英斑岩 ホルンブエルス	1.0 2.0 3.0 4.0 5.0	・新断で破壊または、多少の風化変質の傾向がある。 ・水による劣化はない。	・不連続面の間隔は平均的に50cm程度。 ・層理、片理の影響が認められるが、トンネル掘削に対する影響は小さい。	コアの形状は岩片状～短柱状～棒状を示す。 コアの長さが概ね10～20cmであるが5cm前後のものもみられる。 RODは70以上。	—	岩石の強度は、トンネル掘削によって作用する荷重に比べて非常に大きい。 不連続面の状態も良好でトンネル掘削による緩みはほとんど生じない。掘削面から部分のみに肌荒れする場合もあるが、掘削にとりまな内空変位は15mm程度以下の微小な塑性変形にとどまる。 切羽は自立する。
	M塊状	安山岩、玄武岩、流紋岩 石英安山岩						
	L塊状	第三紀層の砂岩、礫岩						
	M層状	蛇紋岩、凝灰岩、凝灰角礫岩 粘板岩、中古生層頁岩						
	L層状	黒色片岩、緑色片岩 第三紀層泥岩						
C I	H塊状	花崗岩、花崗閃緑岩、石英斑岩 ホルンブエルス		・比較的新鮮で堅硬または、多少の風化変質の傾向がある。 ・固結度の比較的良好い軟岩。 ・水による劣化は少ない。	・節理の間隔は平均的に30cm程度。 ・層理、片理が顕著で、トンネル掘削に影響を与えるものが多い。	コアの長さが概ね5～20cmであり、5cm以下のものもある。 RODは40～70。	—	岩石の強度は、トンネル掘削によって作用する荷重に比べて大きい。 不連続面の状態も比較的良好でトンネル掘削によるゆるみは部分的なものにとどまる。比較的すべりやすい不連続面に沿って、局部的に抜け落ちる場合もあるが、掘削に伴う内空変位は15～20mm程度以下の小さな塑性変位にとどまる。 切羽は自立する。
	M塊状	安山岩、玄武岩、流紋岩 石英安山岩						
	L塊状	第二紀層の砂岩、礫岩					4以上	
	M層状	蛇紋岩、凝灰岩、凝灰角礫岩 粘板岩、中古生層頁岩						
	L層状	黒色片岩、緑色片岩 第三紀層泥岩						
C II	H塊状	花崗岩、花崗閃緑岩、石英斑岩 ホルンブエルス		・比較的新鮮で堅硬または、多少の風化変質の傾向がある。 ・風化、変質作用により岩質は多少軟化している。 ・所結度の比較的良好い軟岩。 ・水により劣化やゆるみを部分的に生じる	・不連続面に鏡肌や薄い夾在粘土が大部分にみられる。 ・不連続面が開いているものが多く、開口幅も比較的大きくなる。 ・傾斜の狭い小断面を挟むもの。	コアの長さが概ね10cm以下のもので多く、5cm以下の薄片が多量に取れる状態のもの。 RODは10～40。	—	岩石の強度は、トンネル掘削によって作用する荷重に比べて大きくはないが、概ね塑性変形をとめる程度はある。 岩石の強度は大きくて不連続面の状態が悪く、掘削によりすべりやすくなり不連続面に沿って崩落しやすいようにしてゆきながら掘削が進んでいく。掘削にとりまな内空変位は、弾塑性境界である30mm程度発生するが切羽が2D離れるまでほぼ収束する。 切羽はほぼ自立する。
	M塊状	安山岩、玄武岩、流紋岩 石英安山岩						
	L塊状	第三紀層の砂岩、礫岩					4以上	
	M層状	蛇紋岩、凝灰岩、凝灰角礫岩 粘板岩、中古生層頁岩						
	L層状	黒色片岩、緑色片岩 第三紀層泥岩						
D I	H塊状	花崗岩、花崗閃緑岩、石英斑岩 ホルンブエルス		・岩質は多少硬い部分もあるが、全体的に強い風化・変質を受けたもの。 ・層理・片理が非常に顕著なもの。 ・不連続面の間隔は平均的に10cm以下で、その多くは開口している。	・不連続面に鏡肌や粘土を挟むことが多い。 ・小規模な断面を挟むもの。 ・傾斜を多く見えた土砂、崖壁等。 ・水により劣化やゆるみが著しい。	コアは細片状となる。 ときには、角礫組じり砂状あるいは粘土状となるもの。 RODは10程度以下。	—	岩石の強度は、トンネル掘削によって作用する荷重に比べて大きくなり、弾性変形とともに一部塑性変形を生じる。 岩石の強度は弾性変形をとめると足りるほど大きくなり、不連続面の状態が非常に悪く、掘削により多くのすべりやすくなり不連続面に沿って崩落の確率が極めて多くなる。掘削によらずに内空変位は、岩石の強度が作用する荷重に比べて小さい場合には、インペートで早期に閉合しないならば30～60mm程度発生し、切羽が2D離れても収束しないことが多い。 切羽の自立が難しく、地山条件によってはリングカットや緩吐きを必要とする。
	M塊状	安山岩、玄武岩、流紋岩 石英安山岩					4～2	
	L塊状	第三紀層の砂岩、礫岩						
	M層状	蛇紋岩、凝灰岩、凝灰角礫岩 粘板岩、中古生層頁岩						
	L層状	黒色片岩、緑色片岩 第三紀層泥岩						
D II	H塊状	花崗岩、花崗閃緑岩、石英斑岩 ホルンブエルス					2～1	岩石の強度は、トンネル掘削によって作用する荷重に比べて小さく、弾性変形とともに大きな塑性変形を生じる。 岩石の強度が小さいことに加えて、不連続面の状態も非常に悪く、掘削により多くのすべりやすくなり不連続面に沿って崩落の確率が極めて多くなる。掘削によらずに内空変位は、インペートで早期に閉合しないならば60～200mm程度発生し、切羽が2D離れても収束しない。 事前に変形が大きいと予想される場合は変形余裕を見込む。切羽の自立が難しく、地山条件によってはリングカットや緩吐きを必要とする。
	M塊状	安山岩、玄武岩、流紋岩 石英安山岩						
	L塊状	第三紀層の砂岩、礫岩						
	M層状	蛇紋岩、凝灰岩、凝灰角礫岩 粘板岩、中古生層頁岩						
	L層状	黒色片岩、緑色片岩 第三紀層泥岩						

注-1) 本分類表では、おもに地山の良好なものを地山等級A、劣悪なものを地山等級Eとする。
注-2) H、M、Lの区分：岩石の物理的・化学的な性質に基づいて、一時的な状態で次のように区分する。
目：qu≧80N/cm² M：20N/cm²≦qu<80N/cm² L：qu<20N/cm²
注-3) 塊状、層状の区分：塊状：断面が支配的な不連続面となるもの。層状：層理面が支配的な不連続面となるもの。

16-4-2 トンネル予備設計のための調査

ここでは、トンネルの予備設計を実施する上で必要な、地質調査、岩石試験等についてまとめたものである。

(1) 調査の目的

トンネル予備設計に必要な全体の地形条件、坑口付近の地形、岩質、地質構造等を明らかにするものである。

(2) 調査方法

地山の地形、岩質、地質構造を把握するため、地質踏査、弾性波探査およびボーリング調査を行う。

1. 地表地質踏査

計画路線を含む広範囲の地域を対象に、既存資料の確認の他、地形・地質・地下水・植生・土地利用等について行う。

2. 弾性波探査

人工地震波により地山の弾性的性質の差異を求めるもので、探査方法は屈折法を標準とする。

3. ボーリング調査

坑口付近においてはボーリングにより直接的に地質およびその厚さや性状等を調べるものである。

予備調査段階での調査は、トンネル計画ルート周辺全体の地質概要と問題点を把握することが主目的となるため、一般的には地表地質踏査と弾性波探査が主体となり、ボーリング調査は両坑口部付近等に限定される場合も多い。なお、坑口部以外でボーリング調査を行う場合は、地質状況にもよるが、詳細設計を考慮して原位置試験の実施について検討する必要がある（原位置試験については詳細調査を参照）。また、室内試験は単位体積重量・一軸圧縮強度・超音波伝播速度程度の基本的な項目を実施しておく必要がある。もしもボーリング調査を行わない場合であっても、弾性波探査の解析精度向上のためにもブロックサンプルによる超音波伝播速度試験を行うことが大切である。

1) 地表地質踏査

地質平面図は、今後の調査の基礎となるものであり、作成者の能力や経験に大きく影響されるため、豊富な経験を有する地質技術者が担当する必要がある。

解明すべき項目は、地すべり斜面崩壊等の不安定地形・岩質分布および崖錐堆積物の分布・厚さ、変質帯の有無と性状、断層破碎帯の位置と性状、湧水の位置と性状である。

地質平面図は、地質の分布のみでなく、露頭の位置や岩質、風化程度・地層の走向傾斜・断層の位置・性状等をできるだけ詳細に記載する。

2) 弾性波探査

弾性波探査は、地下の線状構造物であるトンネルの地質調査の手法としては有効であるが、調査しようとする所が深い場合（一般には200～500m程度）には信頼性の限界を越える。

また、以下のような地山では解析上問題があるため、解析結果には特に注意が必要であり、地表地質踏査結果やボーリング調査結果も併せて解析する必要がある。

- ① 地形の凹凸が激しい場合
- ② 測線が急崖（急斜面）上を、平行に走る場合
- ③ 種々の火山噴出物、熱水変質帯等、地山の変化が非常に著しい場合

- ④ 速度の速い層が上部にある場合や測線に平行に高速度層がある場合
- ⑤ 地下水面下の未固結砂礫層、蛇紋岩等、速度値から地山の性状が想定しにくい場合
- ⑥ 断層や岩脈などの低速度帯や高速度帯の方向や傾斜角がわからない場合
- ⑦ 地山内の弾性波速度は、地山の密度・弾性係数・ポアソン比等に関連し、地質とは直接関係がない。そのため、異なる岩種でも同じような速度値を示す場合もあり、同一岩種でも風化程度・割れ目の頻度等によって速度は異なることがある。
- ⑧ 新第三紀層等のように、未風化部と風化部の弾性波速度の差が小さい場合には、正しい地山評価が困難となる。なお、地質構造が明確で、かつ土被りが小さい場合等で地表地質踏査で必要な資料を得られるときには、弾性波探査を省くことができる。

3) ボーリング調査

ボーリング調査は、地質踏査や弾性波探査の結果を裏付けるために行うが、費用と時間がかかるため、地山状況が最も効果的に判るように配慮しなければならない。

(3) 調査頻度、調査深度および範囲等

1. 地表地質踏査の範囲と精度は、下記を標準とする。

(1) 踏査範囲は、一般に路線を中心に片側約 500m～2,000m程度を標準とし、トンネルの規模・既往資料の精度・露頭状況等により決定する。

(2) 使用する地形図は、 $S=1/5,000 \sim 1/1,000$ のものを標準とする。

2. 弾性波探査の測線配置と延長および起受振点間隔は下記を標準とする。

(1) 測線は、トンネル路線沿いの主測線と副測線を配置する。

(2) 測線長は、調査しようとする深さの少なくとも 5 倍以上とする。

(3) 起受振点間隔

起振点は、測線両側に主起振点を、30～100m間隔に補助起振点を設ける。受振点間隔は 5 m を標準とする。

3. ボーリング調査

(1) 地質確認等のボーリングの箇所数は、下記を標準とする。

- ・各坑口に最低 1 箇所

- ・トンネルが長い場合は、代表部を確認する目的で、必要に応じて実施する。

(2) 坑口付近のボーリングの削孔径は、 $\phi 66 \text{ mm}$ とし、深度 1 m 毎に 1 回の標準貫入試験を行う。

(3) ボーリングの調査深度は、トンネル計画高より 5 m 程度深くすることを標準とする。

1) 地表地質踏査では調査範囲を一律に決めることは困難であるが、概ね中心線を中心に片側 500m～2,000m程度の地質平面図が描けるような範囲とし、道路方向には両坑口から少なくとも 100m程度外側までとする。

なお、複雑な地質が予想される場合は、それらの問題が解明できる範囲とする。

調査の範囲は初期に広範囲のものを作成し、目的に応じ段階的に狭い範囲を高精度とするように絞りこんでいくことが望ましい。

2) 弾性波探査の主測線の両端は、坑口から少なくとも 30m以上外側に延ばす。

副測線は、坑口付近、沢部、断層破碎帯等の地質的問題が予想される箇所、あるいは地質構造が路線方向と平行で

主測線で把握することが困難な場合に設ける。

- 3) ボーリング調査において坑口周辺に地すべり地や厚い崖錐堆積物が存在する場合は、別途計画する。

ボーリング深度は、計画高付近で堅硬なコアが確認される場合でも、トンネル計画高より5m程度深くし、深層まで風化している場合や地質が脆弱な場合は、5mよりさらに深く調査を行うことも検討する。また、坑口部以外のボーリングについては、原位置試験の実施を検討する（原位置試験は詳細設計のための調査に準ずる）。

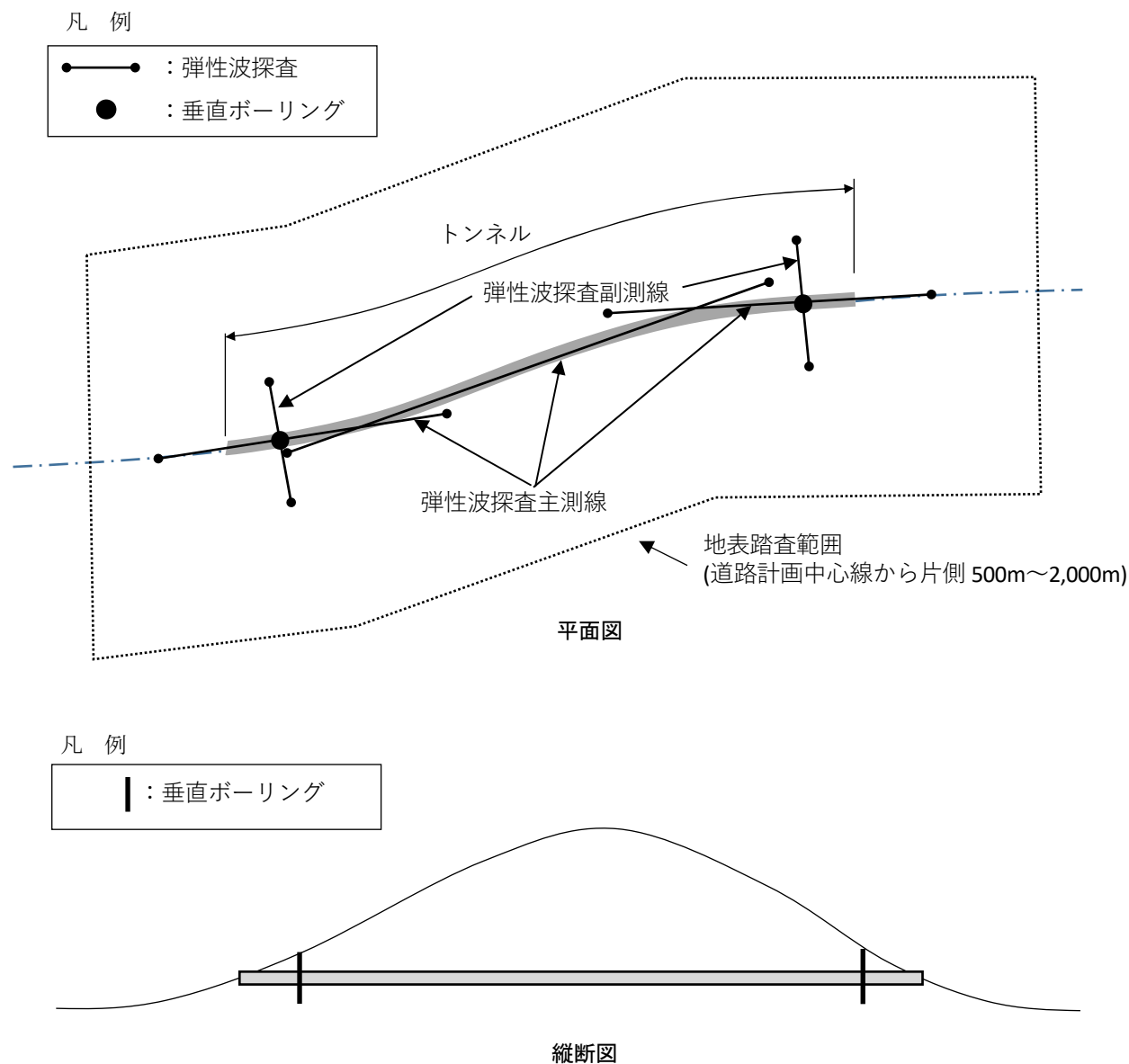


図 16.15 予備設計のための地質調査配置例

(4) 土質岩石試験

ボーリングコアもしくはブロックサンプルを用いて、岩石や未固結堆積物の物理的、力学的性質を把握するものとし、下記項目を行う。

1. 未固結土砂部……土粒子の密度、粒度、含水比
2. 岩石……単位体積重量、一軸圧縮強度、引張強度、超音波伝播速度

膨張性地圧が懸念される地山では、X線分析や浸水崩壊度試験等を実施しておくことが望ましい。

予備調査段階では、トンネルルート全体の地質資料として弾性波探査結果が重要な位置を占める。弾性波探査で得られた各速度層の解釈はボーリング調査で検証することになるが、予備調査段階ではボーリングが坑口部に限定されることも多く、良好な試験試料（コア試料）が得られないこともある。従って、良好な試験試料が得られない場合やボーリング調査が実施されない場合等については、ブロックサンプルにより超音波伝播速度試験を行うことが大切である（地山弾性波速度の解釈に際しては、トンネル周辺地山の新鮮岩のP波速度が基本となる）。

16-4-3 トンネル詳細設計のための調査

ここでは、トンネルの詳細設計を実施する上で必要な地質調査、岩石試験等について予備調査を補足するものである。

(1) 調査の目的

詳細設計や施工計画に必要な資料を得るもので予備調査を基に不足資料を補足するものである。

詳細設計の調査では、下記項目の検討資料を得る必要がある。

- ① 坑門工の型式
- ② 地山分類
- ③ 掘削方式
- ④ 掘削工法
- ⑤ 支保構造
- ⑥ 補助工法
- ⑦ 計測計画等

なお、上記項目を検討するために下記の調査を行うものとする。

- Ⓐ 岩石岩盤の固結度・強度
- Ⓑ 節理等の割れ目の方向性と間隔
- Ⓒ 断層破碎帯の規模と性状
- Ⓓ 膨張性岩石の分布と性状
- Ⓔ 含水未固結地山の分布と性状
- Ⓕ 湧水量、地下水位
- Ⓖ 含ガス層・含油層等の分布と性状
- Ⓖ 土圧発生の要因等

調査は、予備設計の段階と基本的に同様とし、地表地質踏査、物理探査、ボーリング調査が基本であり、原位置試験や岩石試験等がこれに加わる。

なお、予備設計のための調査でも述べたように、トンネルは線状構造物であり、工事着手前にトンネル区間全体について十分な精度で地山条件を把握することが困難な場合が多いことから、施工時に確認を要する問題点が残された場合にはその問題点を明確に指摘しておく必要がある。

(2) 調査方法

1. 地表地質踏査

調査方法は予備設計の調査に準ずる。

調査結果により、予備調査で作成した地質平面図や地質断面図等を新しい地盤情報を基により高精度に修正する。

2. 物理探査

弾性波探査は変質帯や粘土化帯の分布する地山状況の場合に精度が落ちたり解釈が困難なことがある。そのような場合は、ジオトモグラフィ手法等の調査手法も検討する。

3. ボーリング調査

地表地質踏査、物理探査・前段階のボーリング調査等によって見出された問題点を解明し、坑口部の設計や断層破碎帯他の問題箇所の施工法の検討の基礎資料とする。

4. 原位置試験

原位置で試験を行うことで、割れ目や含水状態など地山条件に合った地山の物性値をより詳細に把握する。

5. 岩石試験

ボーリング試料を用い、岩石や未固結堆積物の物理的、力学的性質や鉱物化学的性質等を把握し、地山評価の際の基礎資料とする。

1) 地表地質踏査は、予備設計段階で実施されている場合、不要と考えられがちであるが、各段階で見い出された問題点を解明するのに必要である。

2) トンネル調査での物理探査は、一般的に弾性波探査を実施する事が通例となっているが、地山等が複雑な場合、近年では〈参考1〉に示すジオトモグラフィ手法(弾性波・比抵抗)を用い、弾性波探査で把握困難な変質帯や粘土化帯の分布概要を把握する方法が採られている。この方法は、従来の物理探査手法より精度の高い応用手法であり、その利点は地下深部の岩石の持つ物性値をより精度を高く把握することができることであり、図 16.16 に例として弾性波トモグラフィおよび比抵抗トモグラフィの測定概念図を示す。

また、トンネル調査における各探査手法の適用性および留意点を〈参考2〉にまとめた。

〈参考1〉 ジオトモグラフィ

ジオトモグラフィは、X線 CT スキャナーの原理を応用して、ボーリング孔間やボーリング孔と地表の間で詳細な測定を行って、物性分布を求める手法であり、弾性波、比抵抗、電磁波を用いる3種類の方法があり、そのうち弾性波法および比抵抗法がトンネル調査に適している。

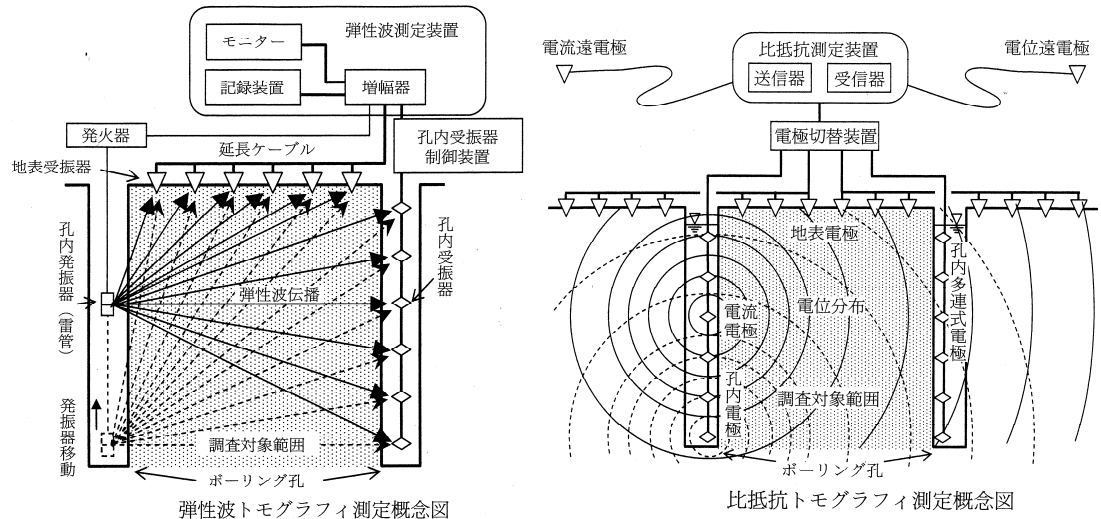


図 16.16 弾性波トモグラフィおよび比抵抗トモグラフィの測定概念図 ※地盤工学会

〈参考2〉 トンネル調査における各探査手法、ジオトモグラフィ手法の適用性と適用上の留意点

表 16.14 各探査手法の適用性と適用上の留意点

探査手法：屈折法地震探査 ※一般に「弾性波探査」と呼ばれる	
適用性	- 弾性波探査のうち屈折法を用いるもので、一般に「弾性波探査」と呼ばれるものが屈折法地震探査である。 - 屈折法地震探査で求められる弾性波速度は、地盤の力学的性質の一つであり、各種の岩盤分類などを適用することで地山等級の判定に利用できる。ほとんどのトンネル調査で実施される。
留意点	- 屈折法地震探査の原理上の限界より、高速度層の下にある低速度層の検出は困難。 - 深度と層厚の関係より、層厚が薄い場合（一般には下位に分布する速度層が、上位の速度層より層厚が薄い場合）には、検出困難。 - 断層、破碎帯の位置は検出できるが、傾斜方向の判定が困難（トモグラフィ的手法を利用した高精度弾性波探査などによりある程度は判定可能となってきた）。 - 深部ほど解析精度は低下する。特に土被りの大きなトンネルでは注意が必要。 - 大深度探査には爆薬による発破が必要。 - トンネル建設時に問題となる地下水情報がほとんど得られない。 - この他、近年では高密度弾性波探査と呼ばれる波路をコンピュータ解析する手法が用いられることが多い。
探査手法：電気探査	
適用性	- 屈折法地震探査で述べられたような問題があり、屈折法地震探査では目的が十分達成できないと想定される場合に計画を検討する。 - 断層、破碎帯など地盤の弱部の探査に有効。 - 地下水、帯水層の分布や性状などの把握に有効。 - 爆薬の使用が困難な現場においても計画が検討される。
留意点	- 電気探査で求められる比抵抗は、地盤の電氣的性質であり、地盤の力学的性質に直接結びつく物理量ではない。そのため、比抵抗のみで地山等級の判定を行うことは、一般に難しい。 - 送電線、電車などの電氣的ノイズを受けやすいため、一般に都市部では適用しにくい。 - 深部ほど解析精度は低下する。特に土被りの大きなトンネルでは注意が必要。 - この他、近年では比抵抗法二次元探査（高密度電気探査）と呼ばれる手法が用いられることが多い。

ジオトモグラフィ手法：弾性波トモグラフィ	
適用性	・屈折法地震探査が持つ適用限界（深部ほど速度が大きくなるという前提条件が成り立たない場所では適用できないことなど）は弾性波トモグラフィにはなく、屈折法探査に比べて地盤速度の分布を高精度かつ詳細に把握できる。そのため予備、概略調査段階よりも、詳細調査段階で利用すると有効である。 ・地質構造が複雑でボーリング調査だけでは地質解析が困難な場合の解釈支援に適用。 ・良好な地盤（高速度層）や脆弱な地盤（低速度層）の分布を詳細に把握する場合に適用。 ・トンネル掘削前後で探査を行い、トンネル掘削による緩みゾーンの把握に適用。
留意点	・対象断面を取り囲む形で起振点、受振点を配置することが困難な場合には、解析結果に偽像が発生し、この部分の解像度が低下する。 ・起振点、受振点の配置と、対象とする構造の位置関係によって、解像度は大きく異なる。 ・以上のような問題をできるだけ最小とするため、事前に既往資料等により速度モデルを作成し、数値解析を実施しこれらの問題について検討しておく必要がある。
ジオトモグラフィ手法：比抵抗トモグラフィ	
適用性	・比抵抗トモグラフィは、地層の不均質性の精査、および地盤に含まれる流体の状態、性質によって敏感に応答する性質を用いて地盤状況の調査、モニタリング等に用いられることが多い。そのため、予備、概略調査段階よりも、詳細調査段階、施工段階および施工管理段階で利用すると有効である。 ・地層の不均質性の精査例として、変質帯調査、断層破碎帯調査、空洞調査や地盤改良効果判定等に適用される。 ・地盤に含まれる流体に着目する調査例として、水質調査、亀裂系調査、地下水流路調査や地下水低下工法効果判定等に適用される。
留意点	・弾性波トモグラフィ同様、あらかじめ既往資料等により地盤モデルを作成し、数値解析により探査の妥当性も含めた検討を行う必要がある。 ・海水等比抵抗が極端に低い流体が対象範囲に浸透している場合には、低比抵抗体により対象物がマスキングされてしまう恐れがあり、このような場合には適用の是非を含めた検討が必要である。
＜参考文献＞ 物理探査学会(2000)：物理探査適用の手引き（とくに土木分野への利用） 物理探査学会(1998)：物理探査ハンドブック （一財）災害科学研究所トンネル調査研究会(2001)：地盤の可視化と探査技術	

3) 詳細調査でのボーリングは、坑口部の設計や地山分類等に直接利用するもので坑口部では、予備調査に加え特に斜面の安定や坑口基礎の問題箇所で行う。

さらに、坑口部ではトンネル天端付近での詳細な地質、地盤を把握するために水平ボーリングを行うものとし、断層破碎帯や沢部等の土被りの浅い箇所では、垂直ボーリングや斜めボーリングを行う。

4) 原位置試験

① 湧水圧測定

トンネル湧水が懸念される場合、湧水圧測定を実施する。

② 孔内水平載荷試験

孔内水平載荷試験は、地山の強度や変形特性を把握するもので、その値は地山状態に近いものが得られ柱状コアが採取困難な断層破碎帯や未固結堆積物、および風化部等の亀裂の多い箇所ですべて有効である。

③ 速度検層

トンネル沿いの速度構成を把握することが難しい場合、ボーリング孔を利用した速度検層（P波）を実施する。

④ その他

新第三紀層から成る背斜構造を横断するような場合には、可燃性ガスや石油の存在が懸念されるので、ボーリング坑口部での可燃性ガス濃度測定を行い、ガスが検知された場合にはガス圧測定やガス分析・油分分析等について検討する必要がある。

(3) 調査頻度および深度、範囲等

1. 地表踏査範囲と精度は、下記を標準とする。

- (1) 踏査範囲は、路線を中心に片側 500m 程度とする。
- (2) 踏査に用いる地形図は、 $S=1/1,000 \sim 1/500$ とする。

2. 弾性波探査を計画する場合の、測線配置、延長および起受振点間隔は、予備設計の調査に準ずる。

3. ボーリング調査

(1) 地質確認のボーリング箇所数は下記を標準とする。

- 1) 坑口斜面の安定検討および支持力不足の予想される箇所それぞれ 1～2 本を計画する。
- 2) 断層破砕帯では垂直ないし斜めボーリングを行う。
- 3) 沢部の土かぶりの薄い箇所では垂直ボーリングを行う。
- 4) 各坑口部のトンネル天端付近で水平ボーリングを行う。
- 5) トンネル掘削の影響が及ぶと想定される以下の箇所で垂直ボーリングを行う。

①地すべり：すべり面の深さ、すべり面および地すべり土塊の状況を把握する。

②斜面崩壊：崖錐層の厚さおよび性状を把握する。

③偏土圧が作用する斜面：地層の構成および状況を把握する。

- 6) トンネル掘削の影響が予想される近接構造物の基礎地盤または周囲の地山で垂直ボーリングを行う。

(2) 坑口のボーリング削孔径は $\phi 66 \text{ mm}$ とし、深度 1 m 毎に 1 回の標準貫入試験を標準とする。

(3) ボーリングの深度は、下記を標準とする。

- 1) トンネル位置で行う垂直ボーリングはトンネル計画高より 5 m 程度深くする。
- 2) 水平ボーリングは、50m 程度を標準とするが、延長の長いトンネルでは地山が安定する位置までとする。
(100m～200m 程度)

4. 原位置試験

- (1) 硬岩地山を除き坑口部のボーリング孔を用いて孔内載荷試験を各岩質毎で実施する。
- (2) 多量の湧水が予想される地山では、湧水予想箇所毎に湧水圧試験を行う。
- (3) 断層破砕帯ではボーリング孔を用いた速度検層を行う。

- 1) 詳細設計での地表地質踏査は、トンネルセンターより片側 500m～200m 程度の地質平面図が描ける範囲の地質踏査を行う。

精度としては、 $S=1/1,000$ とするが、坑口部では、 $S=1/500$ で詳細に行うものとする。

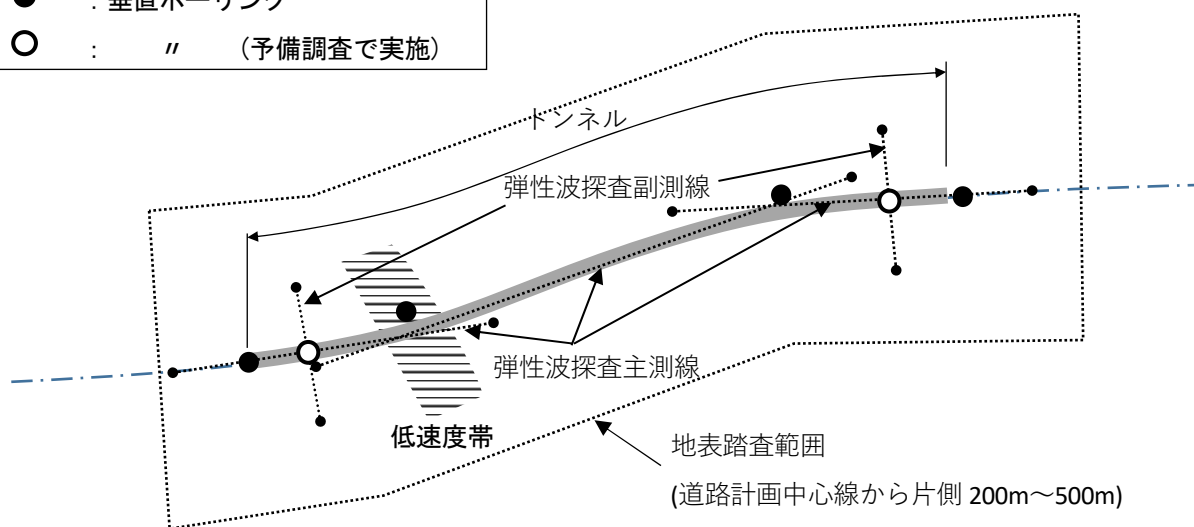
- 2) 物理探査としての弾性波探査は、予備調査に準ずる。
- 3) 坑口付近では、基礎地盤に問題のある場合に支持層の確認ボーリングを行う。また、坑門掘削が大きい場合は、斜面上での調査も検討する。

斜めボーリングは、断層破砕帯や傾斜した地層等の確認に有効であるが、図 16.18 に示すようにボーリング位置および方向によって効果が著しく異なるので、施工にあたっての位置や角度には特に注意する。

- 4) トンネルの位置で実施する垂直ボーリングは、トンネル掘削時にトンネル内に地下水を引き込み施工の障害となることがあるので、トンネル掘削幅から 5m～10m 程度外側で行う。

凡 例

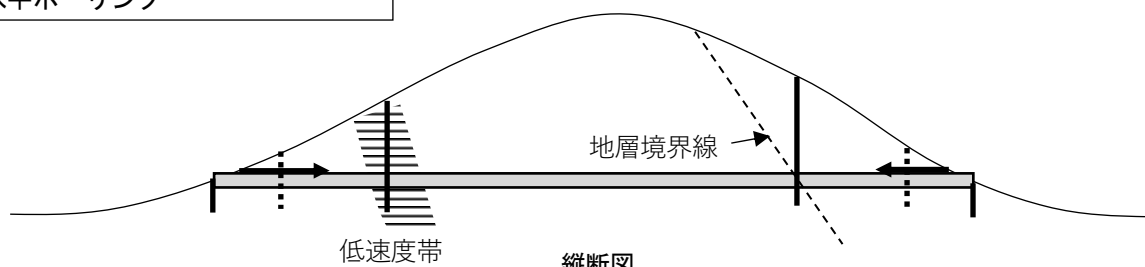
-● : 弾性波探査(予備調査で実施)
- : 垂直ボーリング
- : " (予備調査で実施)



平面図

凡 例

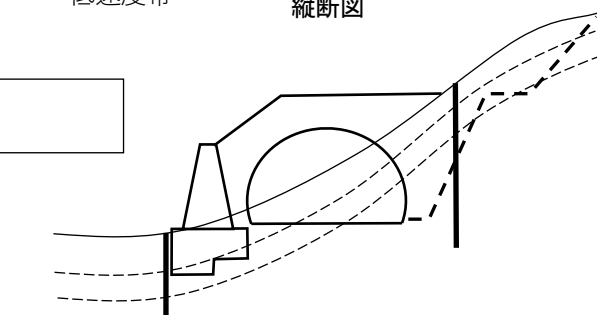
- | : 垂直ボーリング
- ⋮ : " (予備調査で実施)
- : 水平ボーリング



縦断面図

凡 例

- | : 垂直ボーリング



斜面斜交型坑口を設ける場合のボーリング配置

断面図

図 16.17 詳細設計のための地質調査配置例

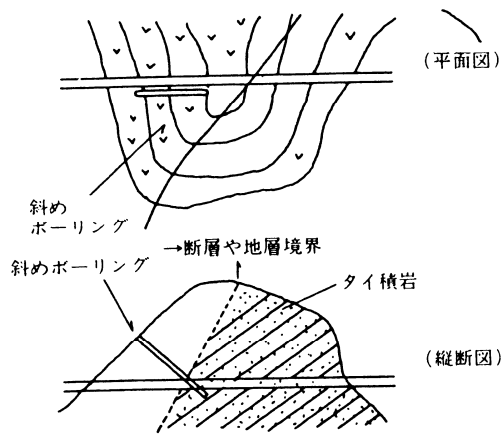


図 16.18 斜めボーリング位置模式図

4) 原位置試験は表 16.15 に示すような適用条件があるので、特にボーリング削孔径等に注意して行う。

表 16.15 原位置試験の適用性

ボーリングの方法 検層と試験の種類	孔内水			ケーシング		適用孔径 (mm)	調査により判明する事項
	空	清水	泥水	有	無		
温度検層	×	○	○	△	○	66～86	孔内温度より地下水の逸水・湧水箇所の検出等
放射能検層	○	○	○	○	○	66～86	断層・破碎帯の検出
電気検層	×	○	○	×	○	66～86	見かけ比抵抗値から地層の対比等
キャリパー検層	○	○	○	×	○	66～86	孔径の深度分布、崩壊箇所の検出等
速度検層	△	○	○	×	○	66～86	地山弾性波速度の鉛直分布、低速度層の把握等
湧水圧測定	×	○	×	×	○	66～86	湧水圧、透水係数の把握
微流速測定	×	○	○	×	○	66～86	逸水・湧水箇所の検出、透水係数の算出
孔内載荷試験	○	○	○	×	○	66～86	地山の変形係数、弾性係数の把握

注1) 標準孔径であり、機種により異なる。

注2) ○適 △可能（一部を含む） ×不能

① 孔内載荷試験

試験位置は、天端上方、天端付近、計画高付近等の複数とし、同一岩種でも数点を実施する。

② 湧水圧測定

孔内水位が殆どない場合等で、湧水圧が測定不能な場合は、現場透水試験を行う。

③ 速度検層

受振点間隔は一概に決められないが、未固結堆積物や風化、変質部では1～2m、軟岩～硬岩部では2～5m程度を標準とする。

④ その他

上記以外で比較的实施頻度が高いものは電気検層である。また最近ではボアホールテレビも利用される場合がある。

原位置試験は、調査対象トンネルの問題点を解明するために行うものであり、個々のトンネルの問題点を明確に把握した上で試験項目を選定する必要がある。

(4) 土質岩石試験

ボーリングコアや標準貫入試験試料を用いて、岩石や未固結堆積物の物理・力学特性や鉱物化学特性を求めるもので、詳細設計では試験結果が設計を左右することがあるため、試験項目や数量は特に注意して決める。

土質岩石試験は、地山状況により表 16. 16 に示すように実施項目が異なる。

1) 物理試験

未固結地山や膨張性地山および坑口付近が未固結堆積物や強風化帯の場合は、一般的な物理特性を把握するため以下の試験が必要である。(乱された試料でもよい)。

- ① 土粒子の密度
- ② 含水比
- ③ 粒 度
- ④ コンシステンシー

また、これ以外の物理試験としては地山区分により下記の試験が必要となる (棒状コア試料が必要)。

- ⑤ 単位体積重量試験 (一般的にはノギス法による)
- ⑥ 超音波伝播速度試験

2) 力学試験

一軸圧縮試験は、地山の評価に特に重要であり、各岩種毎に数点実施する。なお、一軸圧縮試験では、圧縮強度、静弾性係数、破壊歪を求めるものとする。また、静ポアソン比はFEM解析等を実施する場合の参考となるので求めておくことが望ましく、軟岩や膨張性地山ではせん断強度 (三軸圧縮試験) を求めておくことが望ましい。

力学試験に際しては棒状コア試料が必要となる。

3) 鉱物化学試験

軟岩や膨張性を有する可能性のある地山については、膨張性の判定を行う必要があるため、一般に下記の試験が行われるが、少なくとも2項目以上の試験を行って総合的に判定する必要がある (表 16. 17 参照)。

- ① 浸水崩壊度試験 (簡易スレーキング試験)
- ② 吸水膨張試験
- ③ X線回析試験
- ④ CEC試験 (塩基置換容量試験)

また、硬岩地山でも断層・破碎帯や熱水変質帯あるいは貫入岩との境界部等の粘土化部については、膨潤性粘土鉱物を含有する可能性があるため、鉱物化学試験の実施を検討する必要がある。

なお、試験試料は、③④は乱されたコア (土砂状コア) でもよいが、①②については少なくとも厚さ2cm程度の円柱状供試体が1試料当たり3個は必要である。

4) その他

土質岩石試験は、トンネル周辺地山の各種物性値を把握するために行うものであるが、トンネルによっては水質・ガス・油等が大きな問題となることもあり、この場合には水質分析・ガス分析・油分分析等を別途検討する必要がある。

表 16.16 主な室内土質岩石試験項目と試験方法

試験項目	試験によって得られる 物 体 性	地 山 区 分				試 験 の 規 格				
		硬岩	軟岩	土砂	膨張性 地 山	J I S	注1) KDK	注2) JHS	土木学会	注3) JGS
単 位 体 積 重 量 試 験	単位体積重量	△	○	○	○		S0501			T191
含 水 比 試 験	自然含水比		○	○	○	A1203	S0501			T121
粒 度 試 験	粒度分布			○	○	A1204				T131
土 粒 子 の 密 度 試 験	土粒子の密度			○	○	A1202				T111
コンシステンシー 試 験	液性限界、塑性限界、塑性指数			△ △	○ ○	A1205 A1206				T141
一軸圧縮試験	一軸圧縮強度、静弾性係数、静ポアソン比	○	○	○	○	A1216 M0302	S0502 S0503			T511 一軸圧縮試験
三軸圧縮試験	粘着力、内部摩擦角		△	△	△		岩石の三軸圧縮試験方法 S0913 S0502		軟岩の三軸圧縮試験	T520 T524 三軸圧縮試験
一軸引張圧裂試験	引張強度	△	△		△	M0303	引張試験方法			引張り試験
超音波伝播速度試験	P波速度、S波速度、動弾性係数、動剛性率、動ポアソン比	○	○		○	(A1127)	S0503			超音波速度試験
スレーキング試験 〔 浸水崩壊度 試験 〕	浸水崩壊度		○		○			110 111	簡易スレーキング試験法	
陽イオン交換容量試験	モンモリロナイト等の含有量の推定		△		△				陽イオン交換容量（CEC）の測定	CEC試験
X線分析	粘土鉱物の種類		△	△	○				X線粉末回析による鉱物の同定法	X線分析
吸水膨張試験	膨張率、膨張圧		△		△				吸水膨張試験	吸水膨張試験

- (注) 1. KDK : 国土交通省(旧建設省)土木試験基準 (案)
2. JHS : 日本道路公団土木試験方法
3. JGS : (公社)地盤工学会基準 (土質試験の方法と解説、岩の調査と試験)
4. ○ : よく実施する項目 △ : 場合によって実施する項目

表 16.17 地山の膨張性を示す指標の例

	仲 野 (1975)	日本鉄道建設公団 (1977)	大塚ほか (1980)	佐藤ほか (1980)	吉川ほか (1988)
膨 張 性 を 示 す 指 標	地山強度比 (G_n) $= \sigma_c / \gamma H$ σ_c: 一軸圧縮強度 γ: 単位体積重量 H: 土被り厚 ① $G_n \leq 2$ 押出し性～膨張性 ② $2 < G_n \leq 4$ 強度の押出し性～ 地圧が大きいと推 定される ③ $4 < G_n \leq 6$ 地圧が大きいと推 定可 ④ $6 < G_n \leq 10$ 地圧があると推定 可 ⑤ $10 < G_n$ 地圧がほとんどな いと推定可	地圧発生の可能性が 非常に大きいもの ① 岩石中の主要粘土 鉱物がモンモリロ ナイト ② $2 \mu m$ 以下粒子含 有率が30%以上 ③ 塑性指数 $\geq 70\%$ ④ 陽イオン交換容量 $\geq 35 \text{ meq}/100\text{g}$ ⑤ 浸水崩壊皮 D ⑥ ボーリングサンプ ル中破砕部多い 膨圧発生の可能性あ り ① 岩石中の主要粘土 鉱物がモンモリロ ナイト ② $2 \mu m$ 以下粒子含 有率が20%以上 ③ 塑性指数 $\geq 25\%$ ④ 陽イオン交換容量 $\geq 20 \text{ meq}/100\text{g}$	① 変形係数 $\leq$ $800 \text{ MN}/\text{m}^2$ ② 一軸圧縮強度 $\leq$ $4 \text{ MN}/\text{m}^2$ ③ 単位体積重量 $\leq$ $20.5 \text{ kN}/\text{m}^3$ ④ 自然含水比 $\geq 20\%$ ⑤ 液性限界 $\geq 100\%$ ⑥ 塑性指数 $\geq 70\%$ ⑦ 液性指数 $\geq 20\%$ ⑧ $2 \mu m$ 以下粒子含 有率 $\geq 30\%$ ⑨ 陽イオン交換容量 $\geq 35 \text{ meq}/100\text{g}$ ⑩ 膨張率 $\geq 20\%$	① 自然含水比 $\geq 20\%$ ② 単位体積重量 (乾 燥) $\leq 1.8 \text{ kN}/\text{m}^3$ ③ (第1回吸水量/ 自然含水比) ≤ 2.0 ④ 浸水崩壊度 C~D ⑤ モンモリロナイト 含有量 $\geq 30\%$ ⑥ RQD $\leq 30\%$	著しい膨張性を呈す る地山 ① ボーリング時 ・無水掘りが必要 ・コア膨張が顕著 ② $G_n \leq 1.5$ (< 0.5 で 顕著) ③ モンモリロナイト 含有量 $\geq 20\%$ かつ 自然含水比 $\geq 20\%$ ④ 浸水崩壊度 D 膨張性を呈する地山 ① ボーリング時 ・コア採取率低い ・コアディスキング が顕著 (< 0.5 で顕 著) ② $1.5 \leq G_n < 2.0$ ③ モンモリロナイト 含有量 $\geq 20\%$ または 自然含水比 $\geq 20\%$
備 考	新第三紀泥岩	赤倉トンネル 新第三紀中新世 椎谷層 第四紀洪積世 灰爪層	鍋立山トンネル 新第三紀中新世 椎谷層 定性的に上記 ②～⑤、⑩は膨張性 との相関あり ⑧、⑨等は相関性低 い	青函トンネル算用師 工区 新第三紀中新世泥岩	新第三紀泥岩

16-5 その他の設計のための調査

16-5-1 アンカー工法設計のための調査

ここでは、アンカー工法を設計するための地質調査についてまとめたものである。

グラウンドアンカーには、永久アンカーと仮設アンカーとがあり、永久アンカーの定着対象地盤を岩盤（軟岩を含む）とした場合の設計に必要な地質調査の計画を示す。

なお、アンカー工法は、橋梁や洞門工の基礎の補強や地すべりの抑止工、不安定切土のり面の抑止工等に利用される。

(1) 調査の目的

アンカー工法の設計に必要なアンカー体（定着部）およびアンカー頭部を施工する地山の土質定数、地質、風化の程度、地層の傾斜、地盤強度、地下水位、腐食性の高い地盤かどうか等を把握するほか、アンカー力を決定するための解析や、施工上の留意点等についても調査する。

アンカー長およびアンカーの配置、アンカー頭部の構造等を設計するためには、計画地の地質の状態を調査する必要がある。また、設計条件や施工上の留意点等についても調査する必要がある。

- 1) 定着部の深度や分布状況等を調査する。永久アンカーでは、良好な岩盤の確認を原則とする。
- 2) 定着部のN値、一軸圧縮強度等、必要な定数を調査する。
- 3) 岩盤、岩質、亀裂、風化変質特性等を調査し、定着部としての評価、施工上の留意事項等を整理する。特に、削孔後の孔壁の強度低下や、亀裂によるグラウト材の漏出等に関しては、十分な調査を実施する。
- 4) 超硬岩や玉石層等では、施工時の削孔効率も勘案した調査および整理が必要となる。
- 5) 地下水が存在する場合、グラウト材の希釈や流出の他、水質による固化不良についても調査する。
- 6) アンカー力を決定するための調査を行う。特に地すべりの場合等では、すべりの形態や必要抑止力、安全率等を、安定解析も併用して実施する必要がある。
- 7) アンカー打設のための切土による斜面の安定性の変化や、施工中の斜面崩壊や落石等の安全に関する事項も含め、施工における地形地質上の留意点も併せて調査する。

(2) 調査方法

1. 地層確認は、標準貫入試験を併用したφ66mmのコアボーリングを標準とする。
2. 永久アンカーを設計する場合の諸定数は、計画地での試験結果から求める。その計画・試験・解析方法については、「グラウンドアンカー設計・施工基準」（地盤工学会）に準ずる。

- 1) 地層確認のボーリングは、標準貫入試験を併用したφ66mmのコアボーリングとする。

なお、鋼材の腐食性を調べるためにはボーリング孔を利用してコロージョン試験を、コンクリートの腐食性のために、土中水や湿潤土を用いてPH値等の化学試験を必要に応じて計画する。さらに、岩盤の強度を把握するには、ボーリングコア試料を用いて、一軸圧縮試験を行う。

- 2) 風化変質特性については、乾湿くり返し試験等を実施する。
- 3) 亀裂状況の確認は、亀裂が著しい場合にはボアホール観察やルジオンテスト等の実施を検討する。
- 4) 地下水については、地下水検層等を実施する。また、必要に応じて水質試験を行う。
- 5) 調査成果をもとに安定解析を実施し、安全率や必要抑止力等を算出する。

(3) 調査頻度および調査深度

1. ボーリングは道路横断方向のアンカー定着部およびアンカー頭部付近の2箇所とし、道路横断方向に施工延長が長い場合には50～100mの1断面毎に行うことを標準とする。また、調査深度はアンカーの計画深さまたは岩盤の層厚を最低5m確認することを標準とする。
2. 基本調査試験は、定着部の岩盤の状態や施工規模等によって必要な箇所数を決定する。

- 1) ボーリングは、地層の傾斜や風化の程度、基岩線の位置を把握するため道路横断方向のアンカー定着部およびアンカー頭部付近の2箇所で、鉛直方向に行うことを標準とし、道路縦断方向に施工延長が長い場合には、地質の分布を立体的に把握する必要がある。なお、溪流部等では中央部の岩盤線が深くなっている可能性もあるため、調査計画においては十分留意する。また、鉛直方向だけでなく、必要に応じて傾斜方向（アンカーの施工方向）にボーリングを行うこともある。なお、切土のり面や橋梁の基礎工等に用いる場合には、それらの調査資料をうまく活用するとよい。ボーリングの計画例を図16.19に示す。

標準貫入試験は、深度1m毎に1回を標準とするが、硬岩や中硬岩については省略することができる。

- 2) 基本調査試験は、アンカーの計画・設計前が望ましいが、本体工事開始後に実施する場合は基本調査試験の結果に基づいて設計の照査を行うこととする。

基本調査試験は計画地に最低1箇所を標準とするが、アンカー定着部の地質が大きく変化する場合や施工規模等によっては、必要な箇所数を行うこととする。

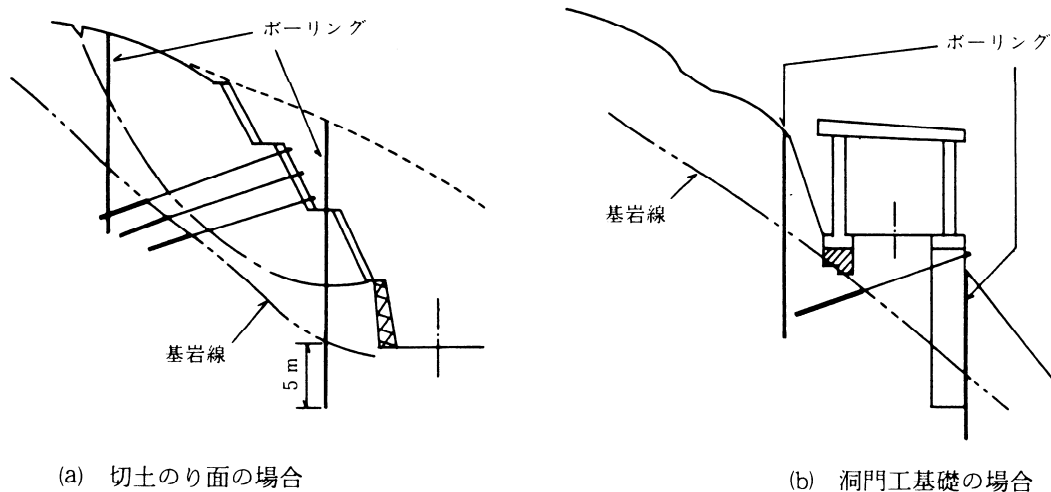


図 16.19 ボーリングの計画例

16-5-2 ロックシェッド設計のための調査

ここでは、ロックシェッドの設計条件のうち、落石に関する条件を決定するための調査および基礎地盤の調査について整理する。なお、その他の防災工においても、必要に応じて下記の調査から設計条件を設定するものとする。

(1) 落石調査

ロックシェッドの設計に際しては、対象となる斜面を踏査し、落石予備物質および斜面状況を調査しなければならない。

ロックシェッドの設計では、落石の重量、落下高さ、斜面の等価摩擦係数等が必要となる。このため、基本的に下記の事項を調査しなければならない。

- 1) 調査に際しては、大～小縮尺の地形図、空中写真、地質図、既往調査資料、災害記録、各種点検記録(落石調査の記録)、施工記録、土地利用状況の資料、地すべり防止区域等各種規制の資料、気象資料、植生状況や植林計画等の資料を収集整理し、地形地質上の問題点や土地利用上の課題等を抽出整理する。
- 2) 落石発生斜面の範囲を、地形図や空中写真判読により設定し、地表概査により確定する。
概査時には、既設対策工の変状や道路付近に残された落石等を確認すれば、詳細踏査の立案に有効となる。
- 3) 設定された範囲で、詳細踏査用に1/200程度の平面図を作成する。
- 4) 踏査においては、当該斜面上で対象となる落石予備物質を全て抽出し、平面図に位置を図示する。予備物質として調査する岩塊等の、大きさの下限値は、斜面状況を勘案して設定する。各予備物質に対する調査項目は、予備物質の重量、想定落下高さ、形状、岩種、埋没度等は特に重要となる。落下高さは、落石予備物質の標高と道路の標高の差とする。各予備物質は、スケッチや写真撮影を行い整理する。
- 5) 踏査では斜面形状を併せて調査し、落下経路を設定する。当該斜面に複数の落下経路が想定される場合には、その境界を明瞭にする。これらを平面図に図示する。
- 6) 落下経路においては、踏査により内部の土質、植生等を調査し、等価摩擦係数を設定する。等価摩擦係数の区分は落石対策便覧に準じるものとする。
- 7) 落石の他、崩壊や湧水等が観察された場合、平面図に図示しておく。
- 8) 踏査により、道路に影響を及ぼす可能性のある崩壊や地すべり、あるいは大規模落石等が確認された場合には、平面図に図示するとともに、別途に詳細な調査を検討する。

(2) 構造物基礎地盤調査

ロックシェッドの支持地盤を確認するとともに、各地層の性状を明らかにする調査を実施する。また、施工上留意すべき事象についても調査を行い、整理しておく。

ロックシェッドの基礎地盤調査に関しては、橋梁等と同様の事項が多いため、それらの項を参考に実施する。ただし、ロックシェッドに固有の調査項目も存在するため、それらについては十分注意して調査を行うものとする。

- 1) 山側受け台の掘削時から本体の施工時まで斜面上部からの落石の可能性、基礎掘削による切土斜面の安定性を調査し、施工上の留意点を整理しておくべきである。
- 2) 山側受け台および谷側支柱部の地質および支持層深度は、十分な精度で実施しなければならない。
- 3) 原位置試験および室内試験から、設計に必要な土質定数を設定しなければならない。

- 4) ロックシェッドは急斜面上に位置する道路に設置されることが多く、谷側斜面の状況を十分調査して、基礎設計に反映させなければならない。
- 5) 溪流周辺では、基礎掘削部や深礎掘削部に湧水が発生する可能性があり、注意を要する。
- 6) 地質が軟岩の場合や風化変質しやすい場合、あるいは断層周辺の変質帯である場合、掘削後急激に強度低下する場合があります、このような地質に該当するかどうかを調査で明らかにし、対応を検討しておくことが必要となる。