

山岳トンネルの地質調査：調査の目的

山岳トンネルでは・・・

地山自体がトンネル構造の一部

掘削（内空の形成）に伴い、地圧再配分が発生

再配分により、トンネル周辺に応力が集中

内空を安定させるために、地山の耐力を積極的に利用

強度・変形特性などを地山情報は、設計・施工上、非常に重要

地山情報により、切羽の自立、地山の緩み、押し出しなどの減少が生ずるかを判断

山岳トンネルの地質調査：調査の目的

山岳トンネル調査の特徴

段階的な調査により、精度を向上させ、各段階に必要な情報収集が行われる

掘削する地山の条件により施工法が違い、必要な地盤情報も異なる

線状構造物なので、広範囲の調査が必要

施工箇所的大部分が地下深部⇒弾性波探査などの間接的情報の収集が主体

地質・地下水状況の完全な把握は困難⇒施工中にも調査を実施

それらの情報は、地山条件の変化に応じた施工に利用

山岳トンネルの地質調査：調査の段階・目的・精度

段階	目的	調査の内容	調査範囲と精度
計画調査	路線の選定	地山条件の全体的把握 特殊な地山条件の有無 立地条件の把握	1/25,000～1/5,000 比較路線を含む範囲
	線形、坑口部の設定 概略設計	地形、地質情報の把握 特殊な地山の分布と性状	1/5,000～1/1,000 路線周辺及び関係あると推定される箇所
設計	トンネル断面の設定 設計、施工計画	支保工設計に必要な地山条件の把握 施工計画や積算に必要な情報の取得	1/1,000～1/100 路線
施工	施工管理 設計変更 補償	地山状態の観察（切羽観察）や司法の挙動計測 挙動計測 切羽前方探査 トンネルの変状 周辺の環境変化 施工実績と地山条件の整理	トンネル内及び施工の影響を受ける範囲
維持管理	補償 維持更新	トンネルの変状 周辺の環境変化	トンネル内及び施工の影響を受ける範囲

山岳トンネルの地質調査

地山条件の調査段階と取得すべき情報

調査段階	調査目的	取得すべき情報
計画調査	候補路線の抽出 候補路線の比較	▼地形、地質、水文の把握 ▼特殊な地山の有無 ▼留意すべき設計、施工条件の有無 ▼湧水程度 ▼地下水の有無や位置の特定
設計	概略設計	▼詳細な地形、地質の把握 ▼水文構造や地下水挙動の把握 ▼弾性波速度分布の把握 ▼地山区分 ▼特殊地山の分布と性状
	詳細設計	▼岩盤の物性値や力学特性 ▼亀裂と魚分布と間隔 ▼地山評価 ▼支保パターン
施工	施工中	▼切羽、坑壁、地表等の性状や変位 ▼切羽前方の地質 ▼周辺への影響

山岳トンネルの地質調査

トンネル掘削における地山の分類・区分

地山区分	構成地質	性状・性質
硬岩地山	古生代・中生代・古第三紀の堆積岩、火成岩、変成岩、新第三紀の溶岩・高溶結凝灰岩など硬質の岩石で構成された地山	岩石の一軸圧縮強さ約20MN/m ² 。岩盤の性質は割れ目などの不連続面により大きく左右される
軟岩地山	新第三紀の堆積岩（第四紀初期の堆積岩を含む）、固結度の低い火山砕屑岩、硬岩が風化・変質した軟質な岩石で構成された地山	岩石の一軸圧縮強さ0.5～20MN/m ² 。岩盤の性質は不連続面が少ないので、岩石に物性に左右されやすい
土砂地山	第四紀の堆積岩、未固結の火山砕屑物、岩石の強風化部や脆弱部など軟質化した固結度のかなり低い岩石で構成された地山	大きな変形特性を有し、水を伴う場合、切羽の自立性低下が予想される

山岳トンネルの地質調査

トンネル掘削上留意すべき特殊な地山条件

地山条件	問題となる現象	取得すべき情報
地すべりなどの移動性地山および斜面災害が予想される地山	地山移動に伴う土圧増大と偏圧、斜面崩壊、地すべり、岩盤崩壊	地形、地質構造、力学特性、地下水位
断層破碎帯、褶曲じょう乱帯	切羽の崩壊、突発性湧水、湧水に伴う地表部湧水	力学強度、弾性波速度、地山強度比、地下水位、破碎帯などの分布
未固結地山	切羽の崩壊、トンネル底盤の脆弱化、地山の流出、地山流出に伴う地表陥没、地表部湧水	力学特性、相対密度、粒度分布、地下水位、水圧、透水係数、力学的強度
膨張性地山	支保工や覆工への強大な土圧、坑壁の押し出しによる内宮断面の縮小	力学強度、地山強度比、スメクタイト含有量、自然含水比、浸水崩壊度
山はねが予想される地山	切羽の崩壊	力学強度、ぜい弱度、AE
高い地熱、温泉、有毒ガス、重金属などがある場合	高圧熱水、有毒ガス発生、重金属の溶出、酸性水の発生	温度、ガス濃度、酸素濃度、重金属含有量、pH
高い水圧の大量湧水の発生が予想される地山	突発湧水、地山の脆弱性に伴う土圧の増大と偏圧、切羽の崩壊、湧水、水質汚濁	地下水位、湧水量、湧水圧

山岳トンネルの地質調査 留意すべき設計、施工条件

設計・施工条件	問題となる現象	取得すべき情報
小さな土被り	地表面沈下、陥没、偏圧	地すべり等の地形条件、力学強度、透水性、立地条件
都市域を通過する場合	地表面沈下、近接構造物の変位と変状、地下水位低下	力学強度、透水性、立地条件、近接構造物の位置
大深度を通過する場合	高圧湧水、土圧の増大	力学特性、透水性、水圧、地下水位
水底を通過する場合	大量湧水	力学強度、湧水量、透水性、水底の地形
斜坑及び立坑部	湧水、坑口からの地表水及び土砂の流入	湧水量、透水性、力学強度
坑口部	地すべり、斜面崩壊、偏圧、地表面沈下や陥没	地すべりなどの地形条件、力学強度
近接施工	偏圧、他の構造物への変状	力学強度
大きな断面	切羽の崩壊	力学強度

山岳トンネルの地質調査：坑口付近の地形と問題点

地形区分	坑口としての問題点
地すべり地形 （クリープを含む）	土塊そのものがルーズで、すべり面付近は粘土化し、地下水も多いため偏圧・地耐力不足・地表沈下など各種の障害が生じる。また、いったんすべり出した場合には、その防止対策に膨大な費用を要する
崖錐地形	現状（自然状態）では安定しているが、施工などによって、いったんバランスを崩した場合に、すべり・崩壊などが発生しやすい。不均質な構成物（小～巨礫、シルト、粘土など）からなるため、地耐力不足をはじめ施工が困難である
段丘地形 （扇状地を含む）	構成物がルーズで不均質（亜円礫、砂など）な上に大量の湧水を伴う場合が多く、容易に崩壊が発生するほか、地耐力不足などに問題がある
その他 火山山麓の地形 崩壊跡地形 土石流地形など	火山山麓には、未固結な火山碎屑物からなるルーズな若い地形があったり、溶岩端が大壁面を形成していたり、坑口としての問題の多い地形がみられる。その他土石流地形や崩壊跡地形などは、それらの現象が再現される可能性が高い地形と言える

山岳トンネルの地質調査：坑口の災害現象と問題点

災害現象	坑口としての問題点
地すべり	坑口の切土による斜面のバランスが崩れることによって、新たに発生する地すべりあるいは旧地すべり地の再活動などは、坑口計画そのものに重大な障害となる
崩壊・落石	急傾斜で岩盤が露出するなど、施工にとって好条件であっても、急斜面特有の落石や岩盤崩壊の可能性が高いところでは、事前にその規模を推定し、十分な対策が必要である
土石流	土石流の衝撃力やエネルギーは極めて大きく、その防止対策も非常に大掛かりなものとなる。このため坑口が荒廃溪流にかかる場合は、土石流を十分に考慮した坑口位置の選定が望まれる
なだれ	なだれも種類によって大きなエネルギーを有する。したがって、積雪地帯において坑口が沢地形や急斜面に位置する場合は、なだれ対策が大きなウェイトを占める
その他	洪水氾濫、火山噴火など

山岳トンネルの地質調査 トンネル掘削における環境に対する配慮事項

地下水への
影響

濁水

工事中の騒
音・振動

完成後の交通
騒音・振動

大気汚染

酸性水の発生

重金属の溶出

山岳トンネルの地質調査 トンネル掘削における地下水への影響

地下水が路線の計画高よりも高い場合

- ・坑内から湧水⇒表流水・地下水の枯渇⇒喝水問題（影響圏内にある井戸・ため池など）

湧水による利水への影響

- ・地下水の低下、河川水・湖沼水の減少・枯渇⇒樹木などの植物に影響

山岳トンネルの地質調査:トンネル掘削に伴う湧水の問題点

原因または影響	直接作用	予想される現象・影響
浸透水	軟岩の劣化 破砕帯・岩目の剥離促進 粘土の膨張 凝集力のない地山の流動化	土圧の増大 側壁の崩壊、落盤の誘因 吸水膨張、地山のクリープ 地山の崩壊、自立作用の阻止
湧水帯へ接近	遮水壁の破壊	切羽地山の崩壊・流出 坑道の埋没
過剰排水設備 (完成後もある)	排水不良	坑内冠水 ポンプおよび永久施設の水没
集中湧水	流速大、水深大	切羽設備の水没 作業危険 工事中止
立坑、斜坑	ポンプ排水	坑内冠水 ポンプおよび永久施設の水没
地下水の継続的流出	地下水面低下	各種水利用に対す水源枯渇 利用水位の低下（農業・酪農・飲料水・舟運・漁業） 沿岸部の海水の侵入、塩水化

山岳トンネルの地質調査

構内湧水が周辺環境に与える影響と現象例

周辺環境に与える影響	現象例
喝水	河川水、地下水、湧水、用水等の喝水
地盤沈下	構造物の変状 地表面沈下、陥没
水質変化	地表水、地下水の汚染（止水工法による汚染、坑内排水による汚染） 酸性水、温泉水、鉱泉水、重金属による汚染 地下水の塩水化
冷水	冷水による農作物への影響
地下水流動の遮断	地下水流動が遮断されたことによる喝水、植生変化等

山岳トンネルの地質調査：調査すべき項目

地形

地質構成および地質構造

地山の性状

岩石・土質の物理的・力学的性質および鉱物・化学的性質

表流水および地下水

＊各調査項目の具体的な内容は、調査段階や地山の種類によって変わる

『改訂3版 地質調査要領 効率的な地質調査を実施するために』を参考に作成

山岳トンネルの地質調査：主な調査手法

資料調査

空中写真判読

地表地質踏査

弾性波探査

電気探査

ボーリング調査

標準貫入試験

孔内載荷試験

透水試験

速度検層
(PS検層)

電気検層

密度検層

キャリパー検層

地下水検層

ボアホールテレビ

初期地圧測定

室内試験

山岳トンネルの地質調査：調査段階に応じた主な調査手法

- **路線選定段階**：資料調査、空中写真判読、地表地質踏査など
- **設計・施工計画段階**：地表地質踏査、物理探査、ボーリング調査、孔内試験・検層、室内試験など。室内試験は、試験の規格に注意
- **地山条件調査結果の整理**：路線選定、設計・施工計画、施工、維持管理の各段階とその目的に応じて、工学的な観点から適切に整理。地山等級、岩種区分などは道路、鉄道等では異なるので注意
- **施工段階**：安全でかつ経済的なトンネルを建設する場合には、施工段階での設計支保工パターンの見直しが必要。坑内で各種調査・計測が実施される。例：切羽観察、内空変位の測定、地表面の変位測定、坑内からの水平ボーリングや切羽前方探査、各種室内試験など
- **完成後**：変状が発生した場合には、埋設計器などによる継続観測、定期点検、補強対策など

山岳トンネルの地質調査：施工中の調査・試験

試験・調査項目	試験によって求められる事項	地山の状態			
		硬岩・中硬岩	軟岩	膨張性地山	土砂
坑内観察調査	岩質、地層分布、断層破砕帯、変質帯、湧水状況	◎	◎	◎	◎
坑内弾性波速度測定	ゆるみ領域、亀裂、変質の程度	△	△	△	
原位置試験	地山の物性値		○	◎	○
地山試料試験	地山の物性値	○	○	◎	○
先進コアボーリング調査	岩質、地質分布、断層破砕帯、変質帯、湧水状況、地山試料採取	△	△	△	

◎：多くの場合に実施 ○：実施した方がよい △：特別な場合に実施

『改訂3版 地質調査要領 効率的な地質調査を実施するために』を参考に作成

山岳トンネルの地質調査：施工中の計測

地山条件および区分		着目点	観察・計測項目										
			観	内	天	地	原	表	中	口	吹	製	覆
硬岩・中硬岩地山	割れ目は少ない	岩盤の肌落ち	○	○	○								
	割れ目が多いが粘土を介在しない	岩盤の肌落ち、緩み土圧	○	○	○								
	割れ目が多く破碎されている	岩盤の肌落ち、緩み土圧・真の土圧、切羽の自立性	○	○	○				○	○			
軟岩	地山強度比は大きい	岩盤の肌落ち	○	○	○								
	地山強度比は小さい	緩み土圧・真の土圧	○	○	○	○			○	○			
	地山強度比は著しく小さい	緩み土圧・真の土圧、切羽の自立性	○	○	○	○	○		○	○	○	○	
土砂地山		緩み土圧、切羽の自立性	○	○	○	○		○	○				
膨張性地山		緩み土圧・真の土圧	○	○	○	○	○		○	○	○	○	○

観：観察調査 **内**：内空変位測定 **天**：天端沈下測定 **地**：地山試料試験 **原**：原位置調査・試験 **表**：地表面変位測定 **中**：地中変位測定 **口**：ロックボルト軸力測定 **吹**：吹付けコンクリート応力測定 **製**：鋼製支保工応力測定 **覆**：復興応力測定

注1：土被りが小さいトンネルでは、上記項目に追加して、地表面変位測定を行う
注2：構造物が近接するトンネルでは上記項目に追加して、構造物の沈下測定、地下水位測定を行う
『改訂3版 地質調査要領 効率的な地質調査を実施するために』を参考に作成

山岳トンネルの地質調査：主な調査手法の特徴 資料調査

得られる情報：●計画地域の地形、地質、水文、災害履歴、施工性などの概要

目的と結果の利用：●候補路線の選定段階で回避すべき地形、地質、水文上の問題点、問題区域の概要を把握する ●地表地質踏査およびその後の精査で明らかにすべき問題点を抽出 ●計画トンネルを含む地域の地形、地質、水文などの概要を検討 ●断層破碎帯、地すべり地、崩壊地、未固結堆積物などの表層地質に把握 ●坑口部の地形、地質状況の把握

問題点：●地域により資料がない場合あり ●一般に図面類の精度が低い ●図面類の表現等が調査目的と必ずしも一致しない ●踏査が困難な市街地、平地、台地下の場合、ボーリングや井戸の掘削記録、周辺での工事記録等の既存資料が特に重要

適用段階：路線選定◎ 設計・施工計画○ 施工△

◎：重点的に実施 ○：実施 △：必要に応じて実施

『改訂3版 地質調査要領 効率的な地質調査を実施するために』を参考に作成

山岳トンネルの地質調査：主な調査手法の特徴

空中写真判読

得られる情報：●表層地質、特にトンネル坑口付近の不安定地形や地質 ●地質構造、特に断層、割れ目等の弱線 ●人口改変前の表層地質

目的と結果の利用：●候補路線の選定段階で回避すべき地形、地質、水文上の問題点、問題区域の概要を把握する ●地表地質踏査およびその後の精査で明らかにすべき問題点を抽出 ●計画トンネルを含む地域の地形、地質、水文などの概要を検討 ●断層破碎帯、地すべり地、崩壊地、未固結堆積物などの表層地質に把握 ●坑口部の地形、地質状況の把握

問題点：●計画地内を均一精度で調査が可能だが、誤判読の可能性がある、地表地質踏査で確認する必要がある ●各調査段階で再判読を行い、精度を上げていく必要がある ●空中写真の縮尺により判読の精度や難易度が異なる ●地形改変の進んだ地域の場合、地形改変以前の空中写真、地形図による原地形の復元や埋没している沖積低地などの把握が可能

適用段階：路線選定◎ 設計・施工計画○ 施工△

◎：重点的に実施 ○：実施 △：必要に応じて実施

『改訂3版 地質調査要領 効率的な地質調査を実施するために』を参考に作成

山岳トンネルの地質調査：主な調査手法の特徴

地表地質踏査

得られる情報：●表層地質の分布、性状、安定性 ●基盤地質の分布、性状 ●地質構造（褶曲、断層など）の分布、性状

目的と結果の利用：●各種調査、試験結果を合わせて地質平面図、断面図などを作成し、路線沿いの構成地質の分布、性状を明らかにする ●路線沿いの構成地質の安全性、施工性に関する定性的評価 ●以後の調査の方法、順序、位置などの検討資料の取得

問題点：●調査により作成された地質図類は一つの解釈であり、その後の調査で検証する必要がある ●使用する地形図の精度に大きく左右される ●以後の調査結果を反映させて修正されるものであり、その後の調査段階の要求に合わせて、別の角度からの踏査を実施することもある ●坑口部や活断層等の調査では、範囲を限定した壺掘りやトレンチなどによる精密な調査が有効である

適用段階：路線選定◎ 設計・施工計画◎ 施工○

◎：重点的に実施 ○：実施 △：必要に応じて実施

『改訂3版 地質調査要領 効率的な地質調査を実施するために』を参考に作成

山岳トンネルの地質調査：主な調査手法の特徴

弾性波探査

得られる情報：●地山の弾性波速度 ●断層、破砕帯などに起因する低速度帯の位置、規模、速度値

目的と結果の利用：●坑口付近、土被りの小さい区間の未固結堆積物、風化層の厚さ、性状の把握 ●施工基面掘削岩盤の状態（硬さ、風化変質、亀裂状況など）の把握 ●軟弱層、断層、破砕帯の位置、規模、状態や連続性の把握 ●地山分類の検討

問題点：●線状構造物であるトンネルの地質調査に非常に有効 ●解析上留意すべき地形条件、解析の困難な地質構造などが存在するため、その適用には注意が必要 ●低速度層が挟在する場合には、解析が不正確になる ●結果はあくまでも速度分布であり、詳細な地盤状況などの評価は、他の調査結果と合わせて総合的に評価する必要がある ●層厚の薄い層の把握などは困難 ●都市部では振源が限定され、また人工的な振動ノイズが大きい

適用段階：路線選定◎ 設計・施工計画◎ 施工○

◎：重点的に実施 ○：実施 △：必要に応じて実施

『改訂3版 地質調査要領 効率的な地質調査を実施するために』を参考に作成

山岳トンネルの地質調査：主な調査手法の特徴 電気探査

得られる情報：●地盤の比抵抗値および比抵抗値の断面的分布状態

目的と結果の利用：●軟弱挟在層の検出 ●地下水、帯水層の分布、性状検討 ●崖錐、風化層の深度把握

問題点：●探査地点の地形、地質条件で探査深度が大きく変わる ●地下深部ほど分解能が低下 ●比抵抗値を測定するものであり、地盤の力学的強度とは直接関係しない ●地下水調査や弾性波探査との併用が望ましい ●都市部ではノイズ源が多く存在する ●舗装道路等では電極配置に工夫が必要

適用段階：路線選定○ 設計・施工計画○ 施工△

◎：重点的に実施 ○：実施 △：必要に応じて実施

『改訂3版 地質調査要領 効率的な地質調査を実施するために』を参考に作成

山岳トンネルの地質調査：主な調査手法の特徴 ボーリング調査

得られる情報：●土砂、岩盤の成層状態と分布 ●地下水の有無、湧水圧とその水量 ●軟弱層、断層、破碎帯の位置、規模、性状や連続性 ●岩石の種類、風化や変質、割れ目、節理などの性状

目的と結果の利用：●計画路線沿いの地質を直接確認し、構成地質の分布性状の詳細を明らかにする ●採取岩石の硬さ、風化、変質状況 ●亀裂状況等より地山分類、掘削工法、支保、覆工などを検討 ●採取試料から室内試験により諸物性、力学特性を取得

問題点：●地下の地質を直接確認でき、最も確実な調査法 ●点の調査であり、地表地質踏査などの各種調査との併用が必要 ●都市部では調査用地の確保が困難な場合がある ●ボーリング孔を利用した孔内試験、物理検層、ボアホールテレビによる諸観察、計測および水位観測が可能 ●水平ボーリングはトンネル線上の地質状況や湧水に関する情報も得られるので、坑口付近の調査ならびに坑内切羽の前方地質の予測や水抜き孔として有効

適用段階：路線選定◎ 設計・施工計画◎ 施工◎

◎：重点的に実施 ○：実施 △：必要に応じて実施

『改訂3版 地質調査要領 効率的な地質調査を実施するために』を参考に作成

山岳トンネルの地質調査：主な調査手法の特徴

標準貫入試験

得られる情報：●地山の N 値と硬軟あるいは締り具合 ●土の試料採取、構成土に判別、分類

目的と結果の利用：●都市部における一般的な地山の安定性の検討 ●岩盤や支持層の深さの把握

問題点：● N 値50以上の硬い地盤では細かい判定はできない ●近年、軟岩岩盤への適用例が増えてきたが、一般に岩盤や礫層には適用できない

適用段階：路線選定◎ 設計・施工計画○ 施工△

◎：重点的に実施 ○：実施 △：必要に応じて実施

『改訂3版 地質調査要領 効率的な地質調査を実施するために』を参考に作成

山岳トンネルの地質調査：主な調査手法の特徴

孔内載荷試験

得られる情報：●地山の变形係数、弾性係数等

目的と結果の利用：●地山の变形解析

問題点：●構成地質、ボーリング孔径に見合った機種を選定する必要がある
●コア観察により代表的な地質状況の区間を選定する必要がある

適用段階：路線選定○ 設計・施工計画○ 施工△

◎：重点的に実施 ○：実施 △：必要に応じて実施

『改訂3版 地質調査要領 効率的な地質調査を実施するために』を参考に作成

山岳トンネルの地質調査：主な調査手法の特徴

透水試験

得られる情報：●地山の透水係数の水理特性

目的と結果の利用：●帯水層での突発湧水、恒常湧水の予測、評価 ●未固結地山での切羽安定性の評価

問題点：●測定値は概略であり、オーダーで評価する必要がある ●地盤条件により試験方法を選定する必要がある ●深度が大きくなると、砂質土ではケーシングの立て込みが困難になる

適用段階：路線選定○ 設計・施工計画○ 施工△

◎：重点的に実施 ○：実施 △：必要に応じて実施

『改訂3版 地質調査要領 効率的な地質調査を実施するために』を参考に作成

山岳トンネルの地質調査：主な調査手法の特徴

速度検層、PS検層

得られる情報：●地山の弾性波速度の鉛直分布

目的と結果の利用：●測定値から間接的に岩盤、土砂の区分の推定 ●弾性波探査ではわからない低速度層の把握

問題点：●地下水がないと測定できない場合がある ●地下水面下では低速度層の測定ができない場合がある ●都市部では振源が限られる

適用段階：路線選定○ 設計・施工計画○ 施工△

◎：重点的に実施 ○：実施 △：必要に応じて実施

『改訂3版 地質調査要領 効率的な地質調査を実施するために』を参考に作成

山岳トンネルの地質調査：主な調査手法の特徴

電気検層

得られる情報：●孔壁に近接する部分の見かけの比抵抗値

目的と結果の利用：●比抵抗値による地質分布の把握 ●帯水層の地下水賦存状況の評価

問題点：●地下水面下の測定に限られる ●ケーシング挿入区間は測定不能

適用段階：路線選定○ 設計・施工計画○ 施工△

◎：重点的に実施 ○：実施 △：必要に応じて実施

『改訂3版 地質調査要領 効率的な地質調査を実施するために』を参考に作成

山岳トンネルの地質調査：主な調査手法の特徴

密度検層

得られる情報：●地山の密度

目的と結果の利用：●地山の湿潤密度、乾燥密度、孔隙率の状況とそれらの深度方向の分布

問題点：●比較的強い γ 線源を用いる必要がある ●校正曲線作成のため検定実験が必要

適用段階：路線選定○ 設計・施工計画○ 施工△

◎：重点的に実施 ○：実施 △：必要に応じて実施

『改訂3版 地質調査要領 効率的な地質調査を実施するために』を参考に作成

山岳トンネルの地質調査：主な調査手法の特徴

キャリパー検層

得られる情報：●ボーリング孔の孔径の変化

目的と結果の利用：●地山の安定性の定性的評価 ●不安定地層の深度分布の把握

問題点：●ケーシングが挿入されたボーリング孔では測定できない

適用段階：路線選定○ 設計・施工計画○ 施工△

◎：重点的に実施 ○：実施 △：必要に応じて実施

『改訂3版 地質調査要領 効率的な地質調査を実施するために』を参考に作成

山岳トンネルの地質調査：主な調査手法の特徴

地下水検層

得られる情報：●地下水流動層の把握

目的と結果の利用：●地山中の地下水流動層の分布や流動性の把握

問題点：●単一電極、検層方式は測定に時間を要する ●深度が深くなると電解物質の攪拌が困難となる ●ケーシングが挿入されたボーリング孔では測定できない

適用段階：路線選定○ 設計・施工計画○ 施工△

◎：重点的に実施 ○：実施 △：必要に応じて実施

『改訂3版 地質調査要領 効率的な地質調査を実施するために』を参考に作成

山岳トンネルの地質調査：主な調査手法の特徴 ボアホールテレビ

得られる情報：●地層の成層状況 ●湧水状況

目的と結果の利用：●切羽の安定性検討 ●湧水箇所の性状検討

問題点：●孔内洗浄を十分に行う必要がある ●ケーシングが挿入されたボーリング孔では観察不能

適用段階：路線選定△ 設計・施工計画△ 施工△

◎：重点的に実施 ○：実施 △：必要に応じて実施

『改訂3版 地質調査要領 効率的な地質調査を実施するために』を参考に作成

山岳トンネルの地質調査：主な調査手法の特徴

初期地圧測定

得られる情報：●地山応力

目的と結果の利用：●地山の応力状態の把握

問題点：●測定結果は極めて局所的な応力状態を表しており、測定結果から地山全体の応力状態の推定が難しい

適用段階：路線選定△ 設計・施工計画△ 施工△

◎：重点的に実施 ○：実施 △：必要に応じて実施

『改訂3版 地質調査要領 効率的な地質調査を実施するために』を参考に作成

山岳トンネルの地質調査：主な調査手法の特徴

室内試験

得られる情報：●構成岩石の物理、力学特性（単体重量、弾性波速度、圧縮強度など） ●構成岩石の鉱物化学的特性（粘土鉱物含有量、スレーキング特性など） ●構成土質の物理、力学特性（粒度組成、含水比、圧縮強度、コンシステンシーなど）

目的と結果の利用：●未固結地山での切羽安定性の検討 ●地山弾性波速度と併せて割れ目などによる地山の劣化程度を把握 ●圧縮強度より地山の力学特性把握 ●膨張性地山の予測評価

問題点：●対象とする地山の問題点に合わせて試験項目を選択する ●結果は試験体の物性値であるので、地山の評価はこれらの試験結果に割れ目などの評価を考慮する ●軟岩試料では含水比により試験結果が大きく異なる場合がある ●力学試験では、試料採取時の試料攪乱の影響を受けやすい

適用段階：路線選定○ 設計・施工計画◎ 施工○

◎：重点的に実施 ○：実施 △：必要に応じて実施

『改訂3版 地質調査要領 効率的な地質調査を実施するために』を参考に作成

山岳トンネルの地質調査：水文調査

- トンネル掘削による地下水への影響を事前に予測するために実施
- トンネル掘削に伴う突発的な湧水の有無、湧水量、湧水に起因する設計・施工上の問題点、周辺地下水環境への影響の予測、地下水使用状況の把握などの目的で実施
- 重大な影響が予測される場合には、ルート変更などを検討、影響が回避できない場合には事前に対策を検討
- 主な調査項目は、資料調査、事例調査、水文地質調査、水収支調査、水文環境調査など
- 路線選定段階の水文調査範囲は、計画ルートに沿って片側数kmの範囲
- 路線確定後は、地形及び地質学的要素から影響範囲を予測し、予測範囲に0.5km程度の範囲を追加して調べる

山岳トンネルの地質調査：水文調査の概要（資料調査）

調査目的	調査内容	調査段階			
		路線 選定	設計、施 工計画	施工	維持 管理
地形、地質、水文、地下水利用に関する資料を収集し、調査地域の水理地質構造、地下水の概要、問題点を把握し調査計画を立案する	地形地質：水理地質構造	◎	◎	△	△
	水文気象：降水量、気温など				
	地下水利用：井戸、用水など				

◎：重点的に実施 ○：実施 △：概略または必要に応じて実施

山岳トンネルの地質調査：水文調査の概要（事例調査）

調査目的	調査内容	調査段階			
		路線 選定	設計、施 工計画	施工	維持 管理
地山条件類似した地域 近接地域の既往工事を参考に、対象トンネルにおける湧水、湧水の規模の評価、調査方法の適用性を検討する	既設工事の試料 地質、湧水量、施工状況 湧水影響範囲、対象工事	◎	◎	△	△

◎：重点的に実施 ○：実施 △：概略または必要に応じて実施

山岳トンネルの地質調査：水文調査の概要（水文地地質調査）

調査目的	調査内容	調査段階			
		路線 選定	設計、施 工計画	施工	維持 管理
《帯水層の構造》地下水の容器としての水理地質構造（帯水層の分布、規模）、地下水の性状（地層水、裂か水）などを水理地質図に取りまとめ、湧水地点、集水範囲を予測する、また有効な水文地質調査計画を立案する	地表地質踏査	◎	◎	○	△
	物理探査（電気探査など）	○	◎	○	△
	ボーリング調査	○	◎	○	△
	孔内検層	△	◎	○	△
	水質調査（現地、室内）	△	○	○	○
《帯水層の特性》帯水層の透水係数、貯留係数などの水理定数などを評価し、水理学的手法により湧水量と集水範囲を予測する	単孔式透水試験（ピエゾメーター法など）	△	◎	△	△
	湧水圧試験、注水試験	△	◎	△	△
	揚水試験、孔間透水試験	△	○	△	△
	トレーサー試験、流向流速試験	△	△	△	△
	減水深調査	△	△	△	△

◎：重点的に実施 ○：実施 △：概略または必要に応じて実施

『改訂3版 地質調査要領 効率的な地質調査を実施するために』を参考に作成

山岳トンネルの地質調査：水文調査の概要（水収支調査）

調査目的	調査内容	調査段階			
		路線 選定	設計、施 工計画	施工	維持 管理
調査地周辺の水循環系を把握するため水文気象、表流水量、地下水位調査などを実施し、水収支の検討を行い、施工による地下水動態を予測する	水文気象：降水量、気温	◎	◎	◎	◎
	表流水量：河川流量、湖沼貯水池、用水量、湧泉量	◎	◎	◎	◎
	地下水位：観測井、既設井	◎	◎	◎	◎
	蒸発散量	○	○	○	○
	トンネル湧水量、渇水影響	△	△	◎	◎

◎：重点的に実施 ○：実施 △：概略または必要に応じて実施

『改訂3版 地質調査要領 効率的な地質調査を実施するために』を参考に作成

山岳トンネルの地質調査：水文調査の概要（水文環境調査）

調査目的	調査内容	調査段階			
		路線 選定	設計、施 工計画	施工	維持 管理
資料調査～水収支調査から考えられる集水範囲及び近接地域における水源と水利用の実態を把握し、施工による影響を予測する	水源：湧泉、河川、湖沼、貯水池、井戸、有効雨量	◎	◎	○	○
	水利用：上下水道、工業農業用水	○	◎	○	○

◎：重点的に実施 ○：実施 △：概略または必要に応じて実施
『改訂3版 地質調査要領 効率的な地質調査を実施するために』を参考に作成

山岳トンネルの地質調査：水文調査の概要（予測手法）

調査目的	調査内容	調査段階			
		路線 選定	設計、施 工計画	施工	維持 管理
坑内湧水発生の有無、湧水量、湧水位置およびその集水範囲を予測する。予測手法の適用は、各調査、検討段階における情報の質や量、必要とする予測精度、内容に即して実施する	施工事例による方法	◎	○	△	△
	地形、水文地質条件による方法	○	◎	△	△
	水理公式による方法	○	◎	△	△
	数値解析による方法	△	△	△	△

◎：重点的に実施 ○：実施 △：概略または必要に応じて実施

『改訂3版 地質調査要領 効率的な地質調査を実施するために』を参考に作成

山岳トンネルの地質調査：主な積算参考資料

「設計業務等標準積算基準書」

国土交通省大臣官房技術調査課監修

「全国標準積算資料（土質調査・地質調査）」

全国地質調査業協会連合会

山岳トンネルの地質調査：積算時の留意事項

事前資料が十分にそろわない場合は、基本的な調査項目を計上する

机上（図面上）での判断では現場の実態に合わないことが多いため、必ず施工現場を確認の上、実態に合った積算を行う

国の標準的な積算歩掛がない項目については、全国地質調査業協会連合会発行『全国標準積算資料（土質調査・地質調査）』の利用や実績のある地質調査会社からの見積もり徴取を行い、調査にように不足が生じないようにする

山岳トンネル調査の場合は、山中の傾斜地での作業が多くなることから、調査地点への資材判裕ルート選定や搬入距離、足場仮設や給水条件設定が業務に与える影響が大きいため、積算には特に留意する

山岳地域での作業については、経済性と併せて環境保全に対しても留意した積算を行うことが望ましい

山岳トンネルの地質調査：設計施工段階の調査事例

検討項目	●坑口位置 ●坑口の施工性 ●インバートの必要性 ●坑口地山の安定性 ●地山分類 ●支保工構造の選定、支保工パターン ●湧水量及び湧水発生の可能性 ●施工方法（掘削方法・方式）
必要な地盤情報	●地山弾性波速度 ●電気比抵抗の分布 ●トンネル区間の地質・岩質 ●地層の連続性、不整合面の分布 ●断層など弱層の分布 ●未固結堆積物の分布 ●ボーリングコアの状態 ●坑口の地質状況 ●坑門付近地盤の支持力 ●湧水状況、地下水位の分布 ●岩石の強度、地山強度比 ●地山の膨張性 ●水源の分布、水利用状況
調査・試験内容	●地表地質踏査：ルート沿いに片側500m程度、坑口の外側200m程度 ●弾性波探査：主測線を計画トンネル直上に配置。カーブしたトンネルの場合は、ルートに沿って直線に分割。測線端は両坑口から30～50m延長した位置を起点・終点にする。測線の交点は、50m程度以上交差させる。交点より先の区間を短くすると交点付近の基盤の深度が把握できなくなる ●比抵抗法二次元探査：弾性波探査測線上で実施。弾性波探査結果との比較により、高精度の解析が可能 ●ボーリング調査：掘進長はトンネル計画高より3～5m深くする 鉛直ボーリング：坑口＋中間部：各坑口では1～2本、支持地盤を確認する深度 水平ボーリング：各坑口1本、掘進長は100～200m程度/孔が効率的。硬岩地山確認が望ましい ●湧水圧試験：中間部で実施。計画区間の透水性の把握が目的 ●岩石試験：一軸圧縮試験、超音波速度測定など。試験コアは、計画高付近のものもしくは坑内に現れる可能性のある岩石