トンネル坑口部に於ける調査設計の重要性

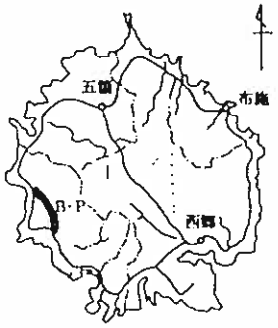
1、まえがき

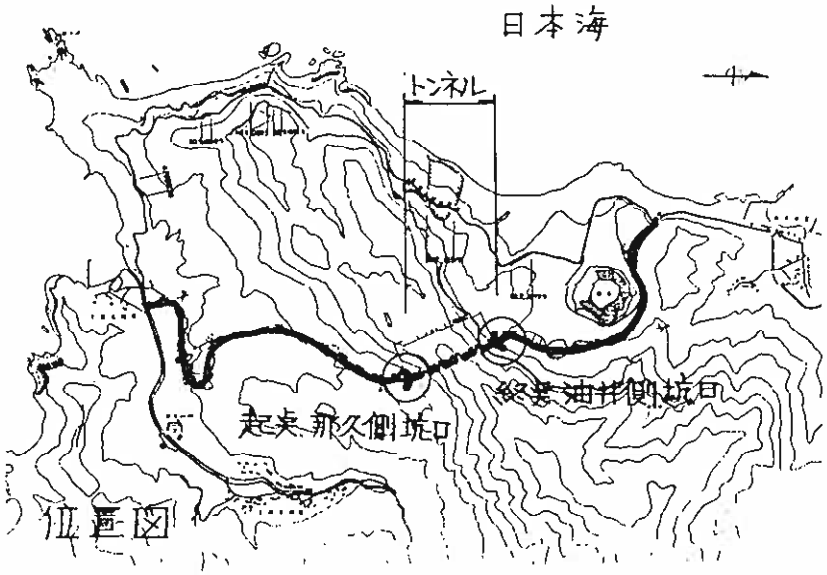
長野幸雄

山岳道路は、文化財等の社会的条件の制約よりも、自然条件、とくに、地形、地質その他の制約を強くうける。トンネル坑口部は一般に地形、地質などの地山条件からして不安定な場合が多く、設計変更あるいは、補助工法等、多大な費用と、時間を費やすことがある。したがって坑口位置の選定に際しては路線の選定と合わせ十分な調査、解析、検討が最も重要な課題と言える。

以下に主要地方道西郷都万五箇線、油井トンネル（道路災害関連事業）の一事例を紹介しながら山岳トンネル坑口部に於ける調査の留意事項を列記する。

位置図





図－1．位置図

2. 両坑口の地形

1) 那久側坑口

当坑口付近は比較的緩やかな地形をなしており、横尾山（標高400m）稜線の裾、やや谷形状に位置する。この付近現況は杉の老木が密生しているものの、石積の跡、階段状の平地などからして旧耕地跡と推察される。このさらに奥は転石群よりなる崩積性堆積物で覆われ直壁に近い急崖斜面となっている。

（トンネル坑口は、旧耕地跡と、崩積性堆積物で覆われている斜面とのほぼ境界付近に位置する）

2) 油井側坑口

油井側坑口付近は、那久側の地形とは異なりθ=60°以上、トンネル施工基面上約100mの急崖斜面で、その下部は、転石、玉石礫よりなる崖錐層が地表勾配30°～35°の傾斜で油井の池に至っている。（トンネル坑口位置は急崖斜面直下より20m程度離れている）

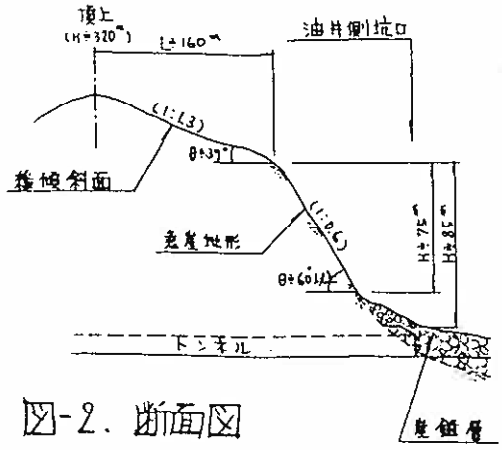


図-2. 断面図

3. 地質概要

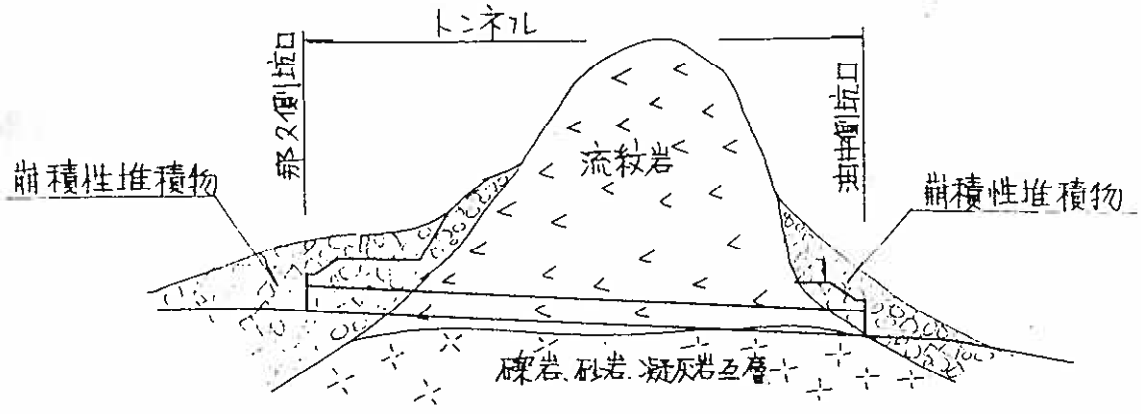


図-3. トンネル地層構造模式断面図

1). 那久側の地質

基盤となる流紋岩と、広範囲に分布する崩積性堆積物からなる。この崩積性堆積物は、粘土混じり礫状で φ20~40 mm の角礫が主体で、N値 10~26 回程度でやや緩い。

2) 油井側の地質

崖錐層は、粘土混じり礫状で、転石、玉石、礫の集合層である。礫間の空隙は、ボーリング掘進方向で 20~30 cm の長さで極めて多く、礫間に充填物のないルーズな礫層である。

4. 地形被覆状況と落石予備群

両坑口の法面は、坑口付近崖錐性堆積物の背面が非常に急崖な斜面となっている事である。

この急崖斜面、さらにその上部は、疎生状態の樹木に覆われている。落石予備群は、急崖斜面上部に浮石、転石状に(至30~50 cm)分布しているものの、可能性としては考えられるが即、下方への影響はない状況下にある。

5. トンネル坑口部の設計

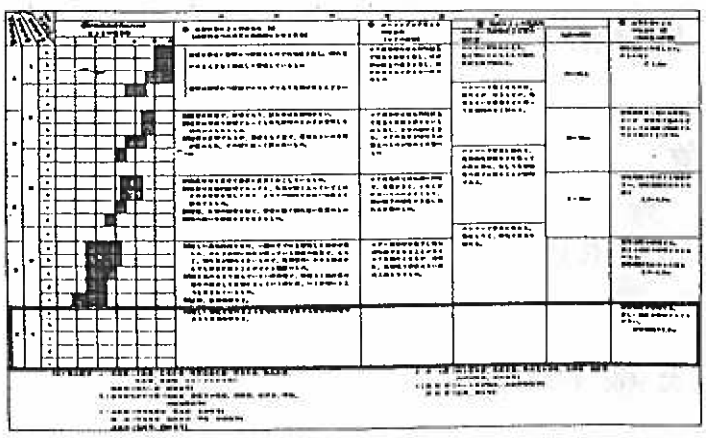
1). 那久側坑口.

那久側の坑口、地層状況は前記の通り崖錐が厚く堆積している事、又トンネル軸線は地山斜面に斜交している。

地質調査結果から見た岩質分類は、E区分に属し、施工時に於いて以下の事項が問題と考えられる。

- 偏土圧
- 掘削工法を上半先進工法とした場合 上半脚部の地耐力不足.
- 切羽、天端の崩落の危険性.
- 崖錐層内の切土斜面、安定勾配.

表-1. 岩質分類表



以上検討の結果、切土斜面を 1:0.5 勾配と決定し、種々補助工法を比較し、側壁導坑先進工法とする。尚 偏土圧に対しては、押え盛土で対応する事とした、又、坑口位置は、トンネル横断方向、5m ピッチで概算工費を算出し経済的位置（No.117+45.0）に決定した。（図-4, 図-5）

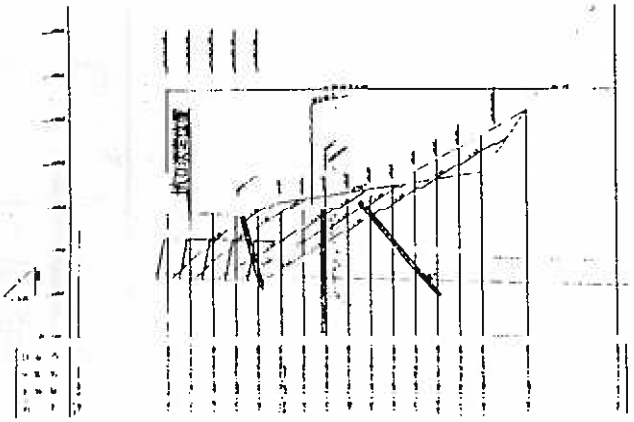


図-4　坑口位置

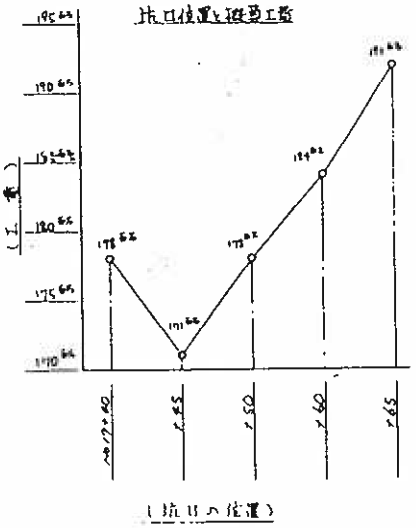


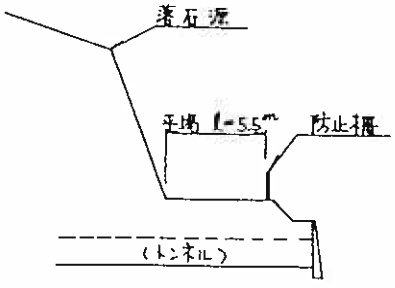
図-5、坑口位置と概算工費

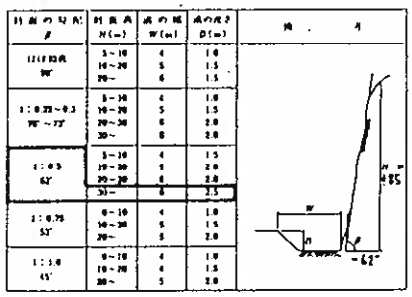
2). 油井側坑口

当坑口付近、基盤岩（砂岩、頁岩、礫岩、凝灰岩の互層）は、起点那次側坑口よりも浅くおよそトンネル側壁底面と一致する。地質調査結果からの岩質分類はD区分（上部の崖錐層）に属するが崖錐層の範囲が比較的短かいことより、安定勾配で掘削する工法を前提とし、トンネル掘削工法は上半先進リングカット工法とした。

一方トンネル背後は急崖な斜面が接近しているため、トンネル完成後、斜面上流域からの落石が考えられ、落石に対する配慮が必要となり、斜面脚部に必要相当の平場を設けた落石防止柵を計画した。（図-6）

表-2





(落石対策便覧)

図-6　落石防止柵断面図

以上の工法により起点側と同様、トンネル縦断方向、5mピッチで概算工費を算出し経済的な位置（No.22+10.0）に決定した。（図-7, 図-8）

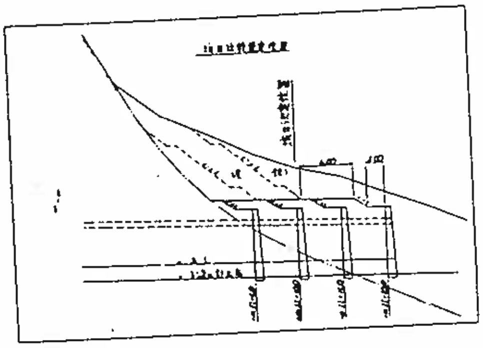


図-7. 坑口位置

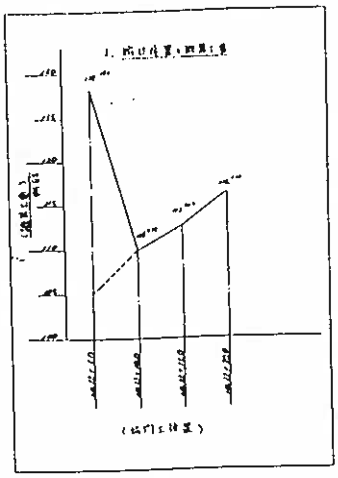


図-8. 坑口位置と概算工費

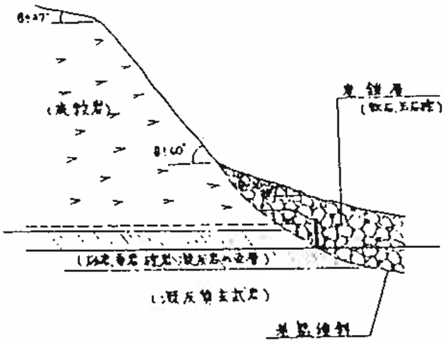
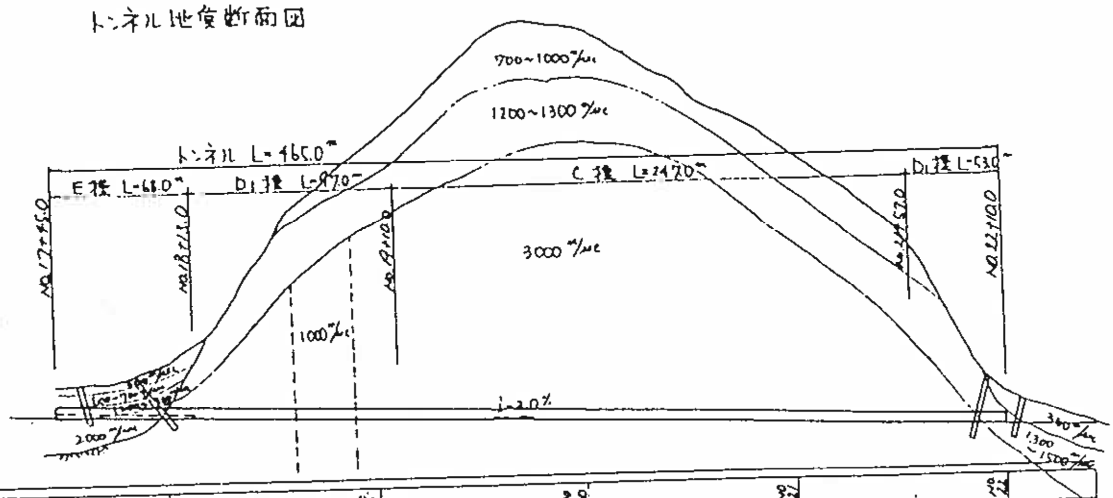


図-9. 地質図

以下に計画概要図を示す。

トンネル地質断面図



	測点						
地質	地質	崖錐及び崩積土	風化流紋岩	破砕帯	流紋岩および第三紀層（砂岩・礫岩・凝灰岩互層）	第三紀層	崖錐
	弾性波速度	1200m/sec～1300m/sec	2000m/sec	1000m/sec	3,000m/sec（第三紀層は2,000m/sec）	1300m/sec～1500m/sec	
	風化程度	転石混じり土砂状崩積土	[illegible] 風化流紋岩		流紋岩は第三紀層と不整合に接し、キャップロック構造を呈している。地質は流紋岩が主体である。		転石混り土砂
	岩質分類	E	D		C	D	E
設計	地山分類	E	D		C	D1	
	施工法	側壁導坑先進工法	上半先進リングカット工法		上部半断面先進工法	上部半断面先進リングカット	
	支保工	[illegible]	H200×200 ctc0.90m		H100×200 ctc1.20m	H-200 ctc 0.90m	
	覆工巻厚	60cm					
	矢板方式	縫地矢板	送り矢板		掛矢板	送り矢板	

図-10 トンネル地質断面図

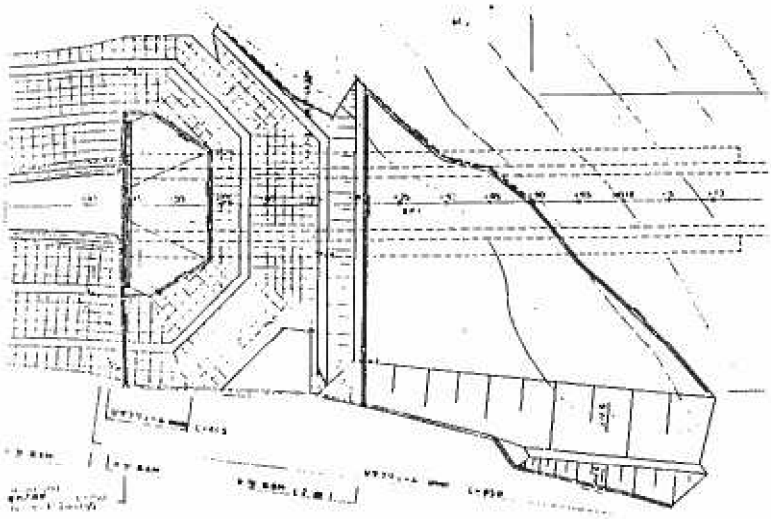


図-11 那久側坑口平面図

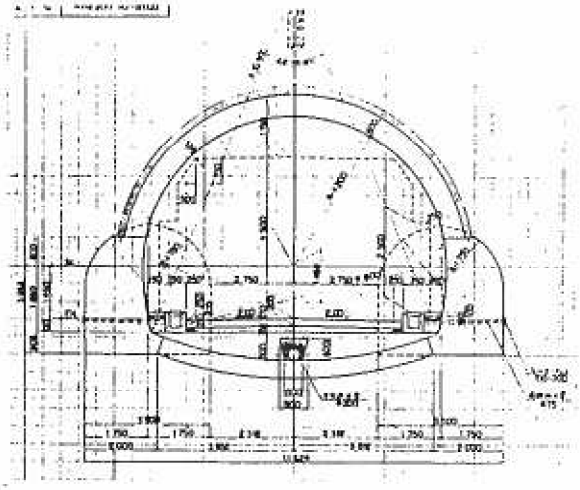


図-12 那久側坑口トンネル断面図
(側壁導坑先進工法)

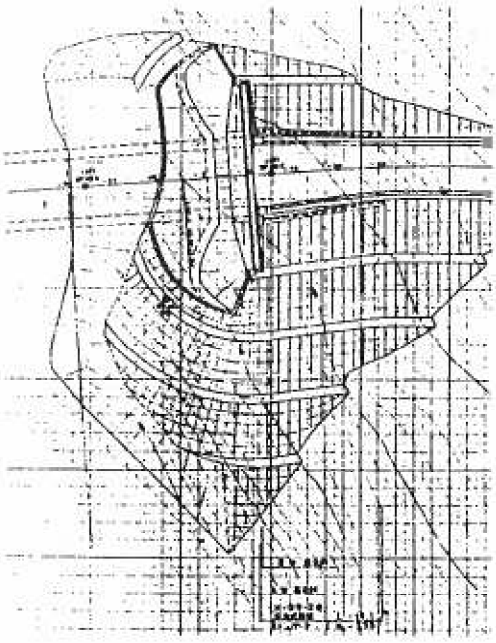


図-13 油井側坑口平面図

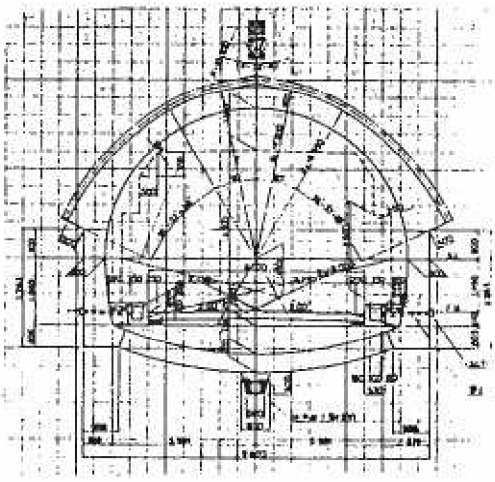
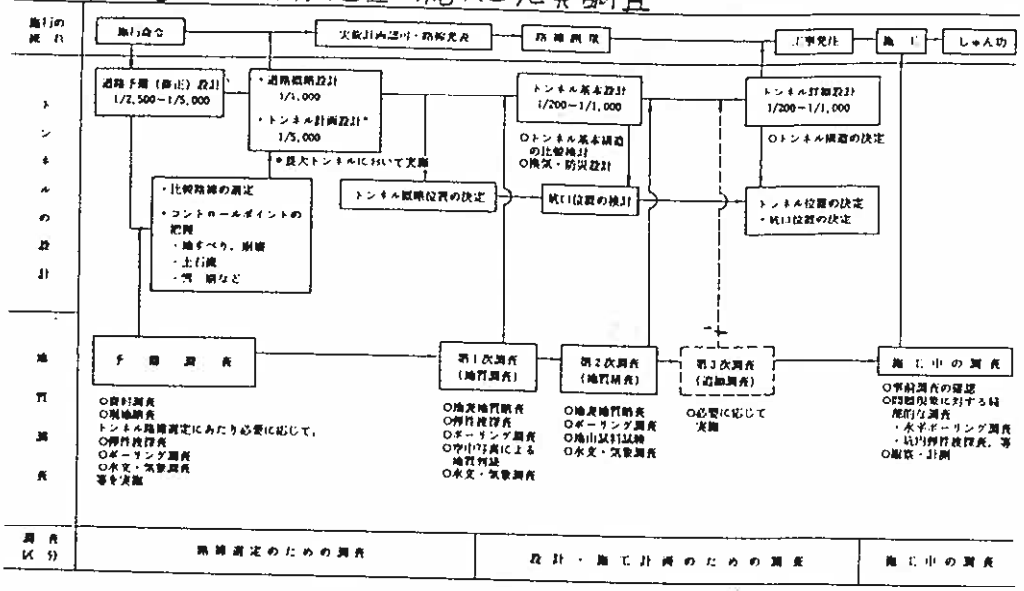


図-14 油井側坑口トンネル断面図
(上半先進リングカット工法)

6. 坑口条件と地質調査

1) トンネル施工の流れと地質調査

表－3　トンネル施工の流れと地質調査



表－4．調査の区分

区　分	時　期	目　的	内　容	範　囲
路線選定のための調査	比較路線の検討からトンネル路線の決定まで	地形・地質その他の環境条件に適合した路線を選定するために必要な資料と、次の段階の調査立案の基礎資料を得ること	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
設計・施工計画のための調査	トンネル路線の決定以降、工事着工まで	実施設計、工事計画、積算等に必要な基礎的資料を得ること	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えた調査、工事関係施設物、等のための調査、等	トンネル、これと関係あると推定される箇所およびこれらの周辺地
施工中の調査	施工中	施工中に生ずる問題点の予測および確認、設計変更、施工管理、補償および検日のための資料を得ること	地形・地質調査 環境調査、その他 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、工事による影響および対策の効果判定が主	トンネル内および施工により影響を受けるおそれがある範囲

2) 地形、地質からみた坑口

トンネル掘削時からはじまる風化、侵蝕および土石流、雪崩等気象、防災面上にも留意する必要がある。

地形上、トンネル軸線に対する非対称、不均等の他、縦断方向の偏圧にも注意する必要がある。又、地層や節理、片理、断層、破砕帯などの地質要因も偏圧をもたらすことがある。いずれにしても坑口位置の選定によりいくらかは軽減出来る。

坑口付近は、トンネル中央部にくらべ土被りが少く、トンネル掘削による地下水脈の移動、汚濁、渇水等の影響が急速かつ直接的に表われ易い。

以上の通りトンネル坑口部は、局部的な点としての見方ではなく坑口を含む地形単位で、ある程度の広がりをもつ地形を把握する必要がある。

3) 段階的にみた坑口の地質調査

坑口の地質調査を大別すると、1. 路線選定時の調査、2. 設計時点の調査、3. 施工段階の調査に分類される。

路線選定段階は、一般に 1/5,000 程度の地形図上で比較路線の優劣を比較するものであるが トンネル工事費が高く、路線選定の良否で工事費の増減する程度が大きいから 必要に応じ 弾性波探査や ボーリング調査を実施する方が望ましい。

設計段階の調査は、トンネル設計に直接必要な、地質情報を得るため、地表踏査、弾性波探査、ボーリングを中心に、全般的な地質情報を得る一次調査と、その結果予測される問題点を対象とした二次、三次調査と段階的に精度を上げてゆくのが望ましい。

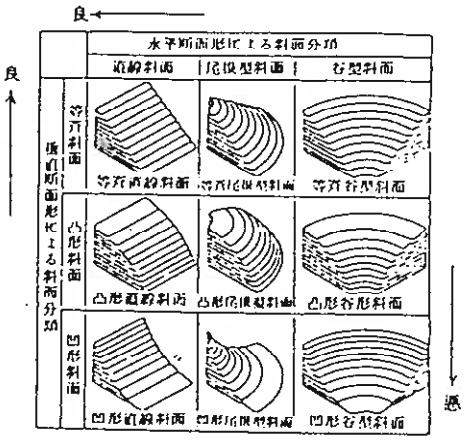
施工段階では、安全で経済的な施工を行うため 坑口の地形、地質を面石確認する必要がある。

以上三つの段階で、調査に携わった者は、設計、施工段階でも参画し、調査結果が、設計、施工に十分反映できるように進めることが望まれる。

4). 坑口の地形、地質分類.

トンネル坑口の形態的地形分類は、左図の様に分類される。坑口部の条件として、一般に凸形地形の等斉直線斜面が未固結堆積物が薄く災害につながる現象も比較的少ないと言える。

一方、構成物質からみた坑口の問題地形は、下表の通りである。



図－15　垂直断面形と水平断面形の組みあわせによる斜面形の分類
（鈴木隆介，1977）[7]

表－6　坑口の地形と問題点

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あるうえ、すべり面付近は粘土化し、地下水も多いため間隙水圧・地耐力不足・地表沈下など各種の問題が発生する。また、いったんすべりだした場合には、その防止対策に莫大な費用を要する。
崩壊地形	・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くずした場合に、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（崩状地を含む）	・構成物がルーズで不均質（亜円礫、砂など）なうえに大量の湧水をともなう場合が多く、掘削に崩壊が発生するほか地耐力不足などにも問題がある。
その他 火山山麓の地形 崩壊跡地形 土石流地形など	・火山麓には、未固結な火山砕屑物からなるルーズな若い地形があったり、崩岩塊が大量面を形成していたり、坑口として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、再びそれらの現象が再現される可能性が高い地形と言えよう。

坑口の地質分類と問題点

表-6．坑口の地質分類と問題点

地質	大区分	中区分	細区分および資料	坑口としての問題点
地質構成物	土砂	一次堆積物（主として火山噴出物）	ローム層 一次シラス （風化土）	主として火山から降下及び流下したもので，未固結ではあるが比較的自立する。ただし，湧水には極めて弱い。
		二次堆積物（上記以外の未固結堆積物）	崩丘堆積物 扇状地〃 崖錐〃 二次シラス，その他	二次的に流下・堆積した未固結堆積物で坑口条件としては極めて悪いものである。
	軟岩	未固結岩	第三紀末～第四紀の砂岩・泥岩・礫岩・凝結凝灰岩	締固や層理な少ないが，堆積物自体が軟らかいもの。比較的自立性はよいが，地耐力等に若干問題がある。
		風化・変質岩	マサ土・風成赤土 温色凝灰岩 蛇紋岩	母岩自体は堅固であったが，風化作用や変質作用をうけた結果，極めて軟質になったもの。粘土質物が多く水を含むと膨張する等，施工上極めて問題が多い。
		脆弱岩	亀裂の多い泥岩・結晶片岩・緑色片岩・千枚岩等	岩片自体は硬質であるが，亀裂が多い為め岩体（岩盤）としては全体的にもろいもの。自立性が悪く偏圧もうけやすい。
	岩盤	中硬～硬岩	第三紀以前の堆積岩 火山岩・変成岩 深成岩など	土砂や軟岩以外の堅固な岩盤。地質構造さえ問題がなければ，坑口条件としては最適なものである。
地質構造	大構造	断層	断層・水平変位・傾斜層 etc	変位量の大きい断層は周辺部にも派生断層等を生じており断層粘土と地下水等の影響で施工条件が極めて悪い。
		褶曲帯	断層作用 圧縮作用	各種の規模を有するが大きなものは数10m以上に達し地山全体が脆弱質となっている。
	小構造	節理等	湧水面・受け盤	岩盤内の閉口した節理であっても，応力が開放されることによって岩石間の粘着力がなくなる。

坑口の災害現象と問題点

表-7 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	坑口の切土により斜面のバランスがくずれることによって，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，すでに地形の項で述べたように，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所では，事前にその規模を想定し，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がかりなものとなる。この為め坑口が扇状堆積に掛かる場合は，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	なだれも雪質によっては極め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ートを占める。
その他	洪水氾濫・火山噴火など

7. まとめ

山岳トンネルは、路線選定上の制約などにより、トンネルとして避けるのが望ましい位置においても設計、施工する事例が多い。この事は施工時に於いて地すべり、斜面崩壊、偏圧など引き起し、その対策に多額な費用と、時間を費やすこともある。又トンネル完成後、雪崩、土石流、落石等の自然気象災害が発生することもあり、これらについて工事着手前に把握することは非常に難しい事ではあるが調査、設計、施工、相互に深く関連するものであり、より一層密度の濃い、総合的な技術的　解明と連携作業が重要と云える。