

南アルプストンネル山梨工区・長野工区
の進捗状況等について

令和4年10月

東海旅客鉄道株式会社

目次

(1) トンネル掘削の進め方	1
(2) 山梨工区の進捗状況及び地質・湧水等の状況	1 3
(3) 長野工区の進捗状況.....	1 9
(4) 今後の掘削の考え方.....	2 1

(1) トンネル掘削の進め方

1) 山岳工法について

- ・山岳工法は、掘削から支保工の構築完了までの間、切羽付近の地山が自立することを前提として、発破、機械などにより掘削し、支保工を構築することにより内部空間を保ちながら、トンネルを建設する工法です。

山岳工法の施工が成立するためには、掘削時の切羽の自立が前提となるため、一般に岩盤からなる地山が分布する山岳部で標準的に採用される工法です。

- ・現在は、山岳工法のひとつとしてNATM (New Austrian Tunneling Method: 新オーストリアトンネル工法) が広く用いられており、中央新幹線の山岳トンネル工事においても採用しています。
- ・山岳工法でトンネルを掘削する方式には、発破、機械などによる方式があり、岩盤の強度等で分類します。先述したNATMにおいても、条件に応じて、発破や機械による掘削方式を使い分け施工を行ないます。
- ・次項より、NATMにおける標準的な掘り方と南アルプストンネルにおける取組みについて記述いたします。

ア. NATMによる標準的な掘り方

- ・NATMによる標準的な掘り方を図 1 に示し、項目ごとの実施内容を以下に記述します。作業員の安全確保と構造物の品質確保の観点で非常に重要な内容です。

① 観察・計測の計画

- ・トンネル掘削によって生じる地山の挙動は、地山条件や施工方法等に大きく影響されるものであるため、それらの条件を設定のうえで事前に予測を行ない設計に反映します。したがって観察・計測の計画においては、当初の設計、施工方法の考え方を十分に反映させたものとするのが重要です。たとえば、大きな変位が問題となるトンネルでは変位計測を中心とした計測計画が重要になります。一方、トンネル切羽の安定性が問題となるトンネルでは切羽の観察に重点をおかなければなりません。

観察・計測は、日常の施工管理のための計測と、地山条件や周辺環境に応じ、追加して実施する計測に分けて計画していきます。

- ・トンネル切羽付近で発生する湧水についても、湧水量や水温、電気伝導度などを定期的に計測し、状況の変化に対応した計画を検討していきます。

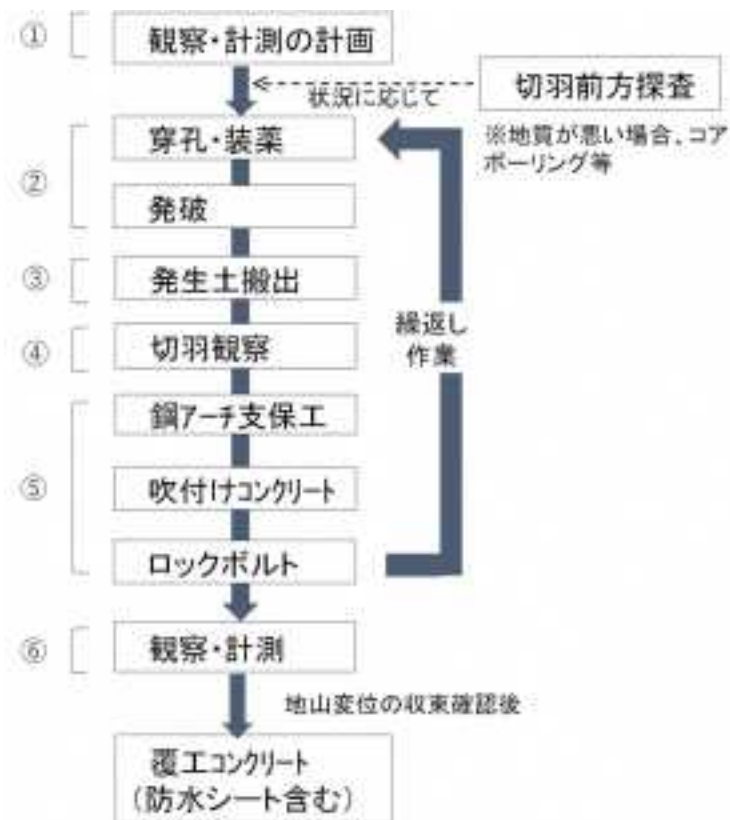


図 1 NATMによる標準的な掘り方

② 穿孔・装薬、発破

- ・山岳部におけるNATMでは、原則発破による掘削を行ないます。
- ・まず、トンネル切羽面から約1～2m程度の長さで(岩盤の強度等に応じて決定)トンネル掘削機械(ドリルジャンボ)により穿孔を行ないます。穿孔が完了した孔の中に順次火薬を装填し、発破を行ないます(写真1)。

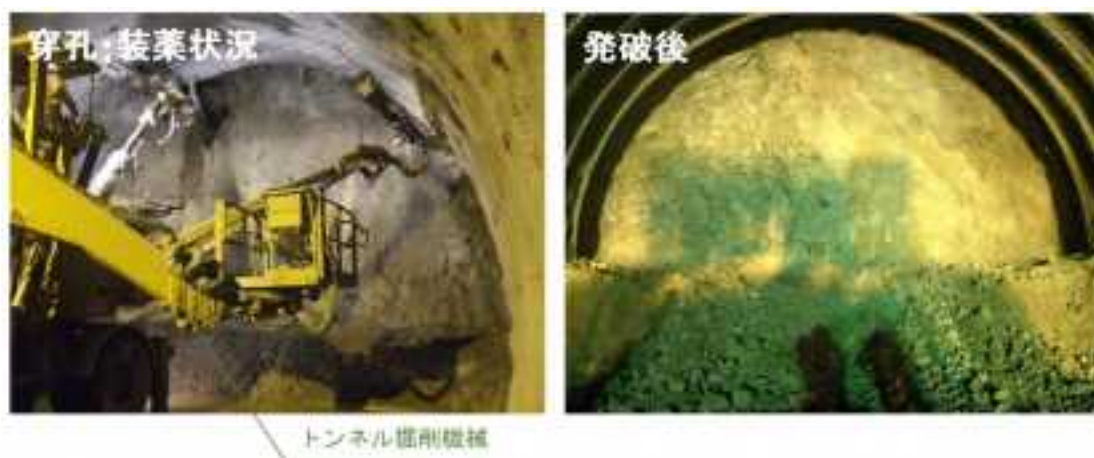


写真 1 トンネル切羽面での装薬状況及び発破後の状況

③ 発生土搬出

- ・発破完了後、トンネル切羽付近に堆積した発生土をトンネル坑内から坑外の仮置き場まで搬出します。

搬出方法は、ダンプトラックによるタイヤ方式やレール方式、トンネル延長の長いトンネルではベルトコンベヤ方式による方法があります。静岡工区ではダンプトラックによる運搬を、工事途中からベルトコンベヤによる運搬に切り替えることで計画しています（写真 2）。



写真 2 発生土の搬出状況

④ 切羽観察

- ・発破後にトンネル切羽面の観察を行ないます。
観察結果は、切羽観察記録簿を用いて1日1回を基本に記録します（図 2）。
- ・切羽観察記録簿には、切羽のスケッチや写真情報のほか、地質の状況や地層の走向傾斜、割れ目の間隔や密着状態、湧水状況、岩石の硬さ等を項目ごとに記載します。
- ・トンネル湧水は、切羽面や切羽に接する地山の周方向の面から湧出するため、その量を含めきめ細かく観察します。

- ・切羽での地質観察は、発注者をはじめ、工事請負者や地質を専門とする方など十分な知識を有する技術者等が常駐して行ないます。
- ・観察の結果から地山判定を行ない、トンネル掘削支保などの施工方法を計画し、次の掘削を進めます。

地質観察記録様式(その1)

確認日	確認者	現場代理人	主任技術者
測定者(請負)		確認者(施工管理者)	
トンネル名 土 質 岩 種 特殊条件 切羽で採用している補助工法			
地質構造 1.互層 2.不整合 3.割削層 4.褶曲 5.断層 6.その他			
掘削地点の地山の状態と季節			
観察項目		特記事項	
A	切羽の安定	1.安定	2.鏡面から岩塊が抜け落ちる
B	素直面の状態	1.自立	2.時期が経つと緩み崩壊する
C	圧縮強度(N/mm ²)	1.100以上 ポイントロード 4以上	2.100~50 4~2
D	風化実質	1.風化の目安 熱水実質 などの目安	2.風化の目安 熱水実質 などの目安
E	破砕部の切羽に占める割合	1.5%未満	2.20%未満
F	割れ目の間隔	1.割れ目の間隔 RQD	2.割れ目の間隔 RQD
G	割れ目の状態	1.割れ目の状態	2.割れ目の状態
H	割れ目の形態	1.割れ目の形態	2.割れ目の形態
I	湧水 目視での量	1.湧水 目視での量	2.湧水 目視での量
J	水による劣化	1.水による劣化	2.水による劣化
割れ目の方向性	縦断方向(切羽縦面) 横断方向(切羽横面)	1.縦断方向(切羽縦面) 2.横断方向(切羽横面)	

表面結晶地山の場合は、下記項目の追記を要す

地層の状態
1.単一土層 2.互層(ア水平(傾斜) 3.レンズ状の扶層(アなし(あり)) 4.その他

特殊な状態
1.産層層 2.段丘堆積物 3.火山破層岩 4.泥炭層 5.岩盤との境界部 6.断面外の上部に軟弱層あり 7.埋土・盛土 8.その他

不連続面
1.割れ目層 2.シーム 3.断層 4.不整合 5.その他

土質
1.粘性土 2.砂質土 3.礫質土 4.特殊土(アまき土(火山灰) カ シラス エ有機質土) 5.その他

粘性土
1.軟弱(10>N) 2.中位(30>N≧10) 3.硬(15>N≧8) 4.非常に硬(30>N≧15) 5.固結(N≧30)

砂質土
1.緩い(10>N) 2.中位(30>N≧10) 3.密な(50>N≧30) 4.非常に密な(N≧50)

礫質土
1.ルーズ 2.締まっている

地山の特性
N値
透水性
1.透水層 2.不透水層 3.両者の互層 4.その他

地下水頭(掘削時)
F.L.以上 m 湧水の水素イオン濃度(pH)

切羽観察図の例 (スケッチまたは写真のいずれでも良いが、以下の例に準ずること)

トンネル掘削方向 N45E

切羽写真並行

写真を添付する場合は、手書きスケッチと同様に層理、節理、断層等の走向傾斜および湧水等の記述を明記すること。

記載者氏名

図 2 切羽観察記録簿の例

⑤ 鋼アーチ支保工、吹付けコンクリート、ロックボルト

- ・切羽観察が終わったら、速やかに鋼アーチ支保工を建て込みます。続いて吹付けコンクリートを地山に吹付け、鋼アーチ支保工と一体化させ、その後ロックボルトを打設し、さらに地山と一体化します(写真 3)。
 - ・鋼アーチ支保工については、吹付けコンクリートが硬化して強度を発揮するまでの間は、鋼アーチ支保工の剛性やじん性を向上させる効果を期待します。吹付けコンクリートの強度発現後においては、吹付けコンクリートと一体となって地山に密着し、トンネルの安定を図る効果などがあります。
- なお、鋼アーチ支保工は、地山の状況によって施工を行なわない場合もありま

す。

- ・吹付けコンクリートについては、前述する効果のほか、トンネル切羽付近の周面方向に開口亀裂や規模の小さい弱層部などがある場合、地山としっかりと一体化させることで、弱層の影響を低減する効果などがあります。

開口亀裂からトンネル湧水が滴水として出ている場合などは、吹付けコンクリートで水みちを塞ぐことで、トンネル内への湧出を防ぐ効果が期待できます。

- ・ロックボルトについては、岩盤内の亀裂に交差して配置することで、亀裂面のせん断強度を向上させ、物性を改良することや、不安定な岩塊を深部の地山と一体化させる効果などがあります。



写真 3 支保工の施工状況

⑥ 観察・計測

- ・観察・計測の目的は、施工中に切羽の状況や既施工区間の支保部材、周辺地山の安全性を確認するとともに、調査段階で予期できなかった要因を抽出し、観察・計測結果に基づき、現場の実情に合った設計に修正して、安全で経済的なトンネルを構築することにあります。

トンネル建設において、工事の安全性と経済性を確保するためには、掘削によるトンネル周辺地山の挙動と各支保部材の効果を正しく把握することが重要です。しかしながら、事前の設計段階では、得られる地山の情報に限界があるため、大局的に地山を評価して設計せざるを得ません。

よって、施工中の観察・計測により得られた実際のトンネル周辺地山の挙動や支保部材の効果を定量的に正しく把握し、設計、施工方法を修正することが不可欠です。

- ・観察・計測としては、観察調査（切羽の観察は、④で記述済み）、変位計測を行ないます。一般的なトンネル掘削における変位計測は、主にトンネルの内空変位測定、天端沈下測定、脚部沈下測定を行ないます（図 3）。

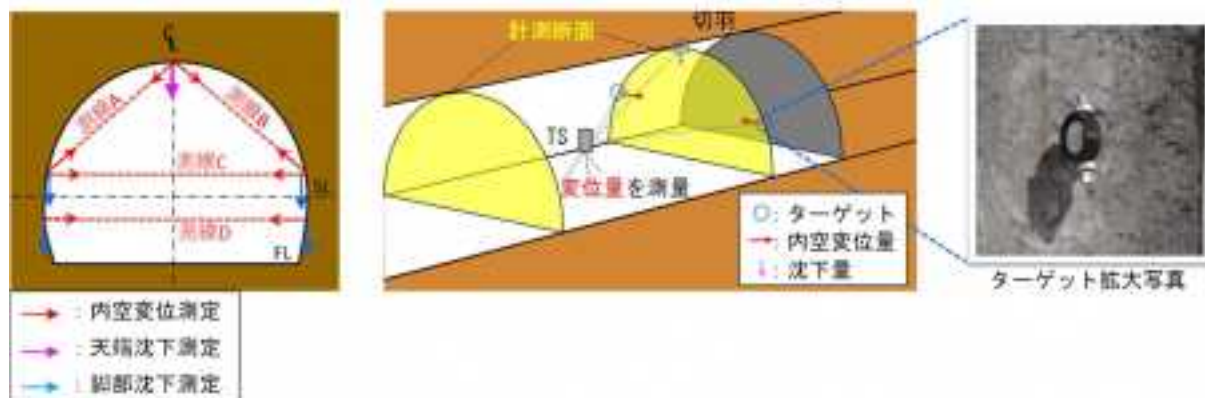


図 3 変位計測の断面及び測線と計測プリズムの一例

- ・変位計測は、開始が遅れると変位（地山と支保工の挙動）が進行し、それだけで得られる情報の質が低下することから、初期値の測定は、掘削直後の切羽に近い位置でできるだけ早期に行なう必要があります。
- ・変位計測の実施間隔や測定測線の考え方は、地山の条件やトンネル断面の大きさ、掘削方法などを踏まえて適宜、変更していきます。
- ・変位計測は、計測位置とトンネル切羽がある程度の距離を確保できるまで継続し、ひとつの目安として、計測位置と切羽がトンネル直径の5倍程度離れた際に、変位量が1 mm/日以下であれば変位は収束したものとみなします。このことが覆工コンクリート等の施工を行なう目安となります。

イ. 南アルプストンネルにおける掘り方

- ・前述したNATMによる標準的な掘り方に対し、南アルプストンネルでは急峻な地形が連続しており、事前の地質調査等で得られる地質情報に限界があるため、トンネル施工の前の段階で前方の情報を早期に把握する必要があります。
- ・そこで南アルプストンネルでは、地質や湧水に関する不確実性に対応するため、トンネル掘削に先立ち、高速長尺先進ボーリングによる調査をトンネル全延長において実施することを掘削フローに組み入れ、トンネル前方の地山や湧水の状況を慎重に確認しながら掘削する体制を組み、山梨県及び長野県のトンネル工事を進めています（図 4）。
- ・また、トンネル掘削時の地山に大きな緩みを発生させると、岩盤中の亀裂等から地下水を導きやすくなるため、山梨工区では、坑内の変位計測を綿密に行ない、高速長尺先進ボーリングや切羽観察の結果とあわせた総合的な検討を行ない、地山を緩めない掘削方法や支保パターンのきめ細かい管理、運用を行なっています。



図 4 南アルプストンネルにおける掘削フロー

- ・高速長尺先進ボーリングにより、トンネル前方の約500～1,000m程度の区間を精度よく調査することで、地山の弱い箇所や調査中の口元湧水量が変化する箇所などを概括的に把握することができるため、NATMでのトンネル掘削計画や湧水処理設備等の計画を検討するための指標となります。
- ・また、口元湧水量を把握することができるため、例えばこれからトンネル掘削を進める区間での湧水量を予測することや、ボーリング湧水圧から透水係数を換算することなどにより、湧水への必要な対策を検討することができます。
- ・先進坑掘削時の切羽周辺からトンネルに平行する形で前方に向かって高速長尺先進ボーリングを実施し、トンネルを掘削する箇所の地質や湧水の状況を連続的に把握します（図5）。
- ・高速長尺先進ボーリングの実施時には掘削のスライムや掘削時に要するエネルギー等から地質の状況のほか、破碎帯等が存在する場合にはその位置や延長を確認します。また、ボーリング孔からの湧水量やその変化を掘進状況に応じて確認します。
- ・高速長尺先進ボーリングの結果、破碎帯等や湧水量の変化が著しい場所、地質の変化が想定される場所においては、コアボーリングを行ない、地質の性状を詳細に調査します。
- ・これらの結果を支保パターンの検討や湧水対策といったトンネルの掘削計画に反映し、地質、湧水に関わるリスクの低減を進めてまいります。

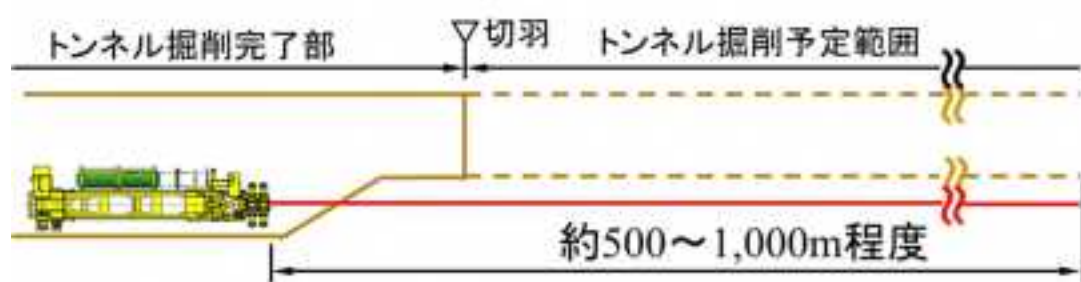


図5 高速長尺先進ボーリングの実施イメージ

2) 高速長尺先進ボーリングについて

- ・高速長尺先進ボーリングは、南アルプストンネルの掘削のために、トンネル施工や地質に関する専門家のご意見を伺いながら、長い年月をかけ、J R東海とメーカーで共同開発した最新の調査手法です。



写真 4 高速長尺先進ボーリング（山梨工区）

- ・本手法は、長距離を、早く、正確に掘ることを目的として、海洋石油探査の技術を参考に、トンネルのボーリングに技術応用しました（写真 4）。
- ・高圧水をウォーターポンプにより、ダウンホールモーターと呼ぶ先端駆動装置へ向かって一気に送り、同装置を介してボーリング先端のビットを高速で回転させ、エネルギーロスなくボーリング掘削できることで、飛躍的に高速かつ長距離の掘

削が可能です。ボーリング孔の先端部の直径は約10cmです。

- ・本手法では、コアの採取を行なうことはできませんが、掘削時に排出されるスライム（ボーリング時に細かく破碎された岩石片）の観察により地質の変化を確認できます（写真5）。



写真 5 ボーリング試料

- ・また、ボーリング掘削時の湧水量や各種エネルギーデータを計測することで、トンネル前方の地質の良否を判定することができます（表1、図6）。その結果、より安全なトンネル掘削の計画を検討することが可能な工法です。

表 1 高速長尺先進ボーリングで得られるデータ

	測定項目	記事
ボーリングマシン	削孔深度	<ul style="list-style-type: none"> ・速度の乱れや標準偏差から割れ目発達状況を評価 ・マシン推進力やロッド回転トルクなどから岩の硬さを評価
	削孔速度	
	ロッド回転トルク	
	ロッド回転数	
	マシン推進力	
湧水測定	湧水量	

・構成岩種、割れ目発達状況、岩の硬さから岩盤の地山分類を評価

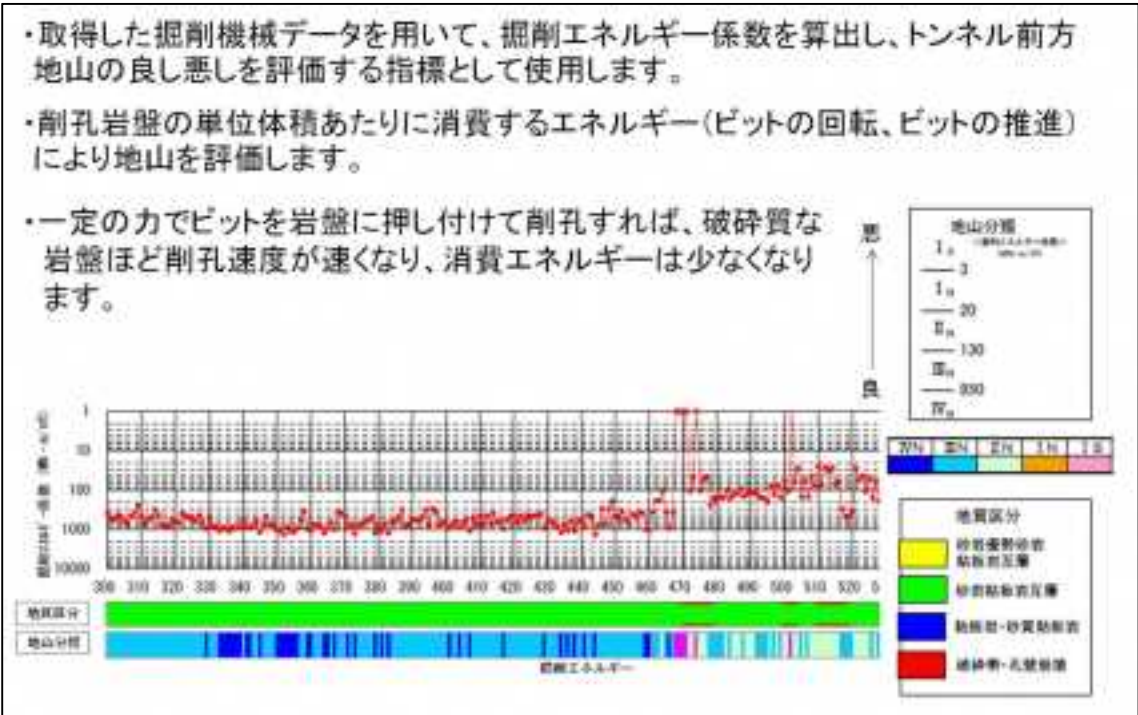


図 6 掘削エネルギー係数による地山評価

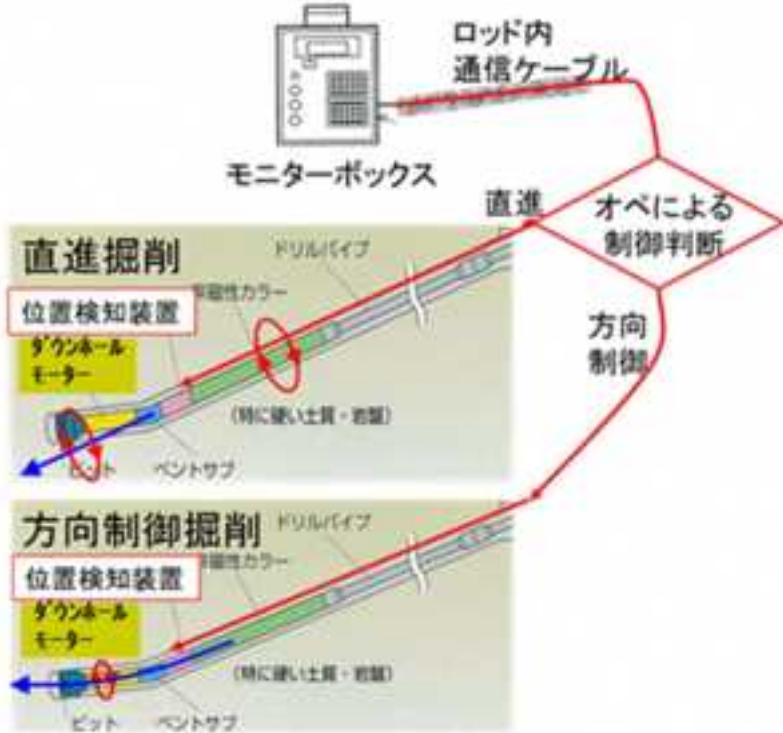


図 7 ボーリングの方向制御イメージ

- ・傾斜計と磁気コンパスが内蔵された位置検知装置を兼ね備えることにより、掘削している段階でもボーリングの先端位置を常に的確に把握することができ、精度よく前方の状況を把握することができます。
- ・さらに、掘進方向の制御として、ベントサブと呼ぶ孔曲り装置により、鉛直方向及び水平方向の掘削方向をコントロールしながら掘進することができるなどの特徴があります（図 7）。
- ・例えば、大井川（東俣）から県境付近の断層帯に向かって実施した斜め下向き的高速長尺先進ボーリングでは、水平方向、鉛直方向ともに、全長1,200mの掘削延長全ての範囲において、計画線より離れ5m以内の精度を維持しました。

(2) 山梨工区の進捗状況及び地質・湧水等の状況

- ・南アルプストンネル山梨工区について、現時点（令和4年10月25日現在）の進捗は図8の平面図に示すとおりとなっております。
- ・このうち広河原斜坑は図9のように延長約4.2km、高さ約8m、幅約11m、掘削断面積約70m²であり、掘削を完了しています。その後、広河原斜坑の終点から名古屋方に向けて、先進坑（高さ約6m、幅約7m、掘削断面積約35m²）の掘削を進めており、現時点では山梨・静岡県境付近から約920mの地点に達しています。



図8 山梨工区の進捗状況とトンネル湧水量(令和4年10月時点)

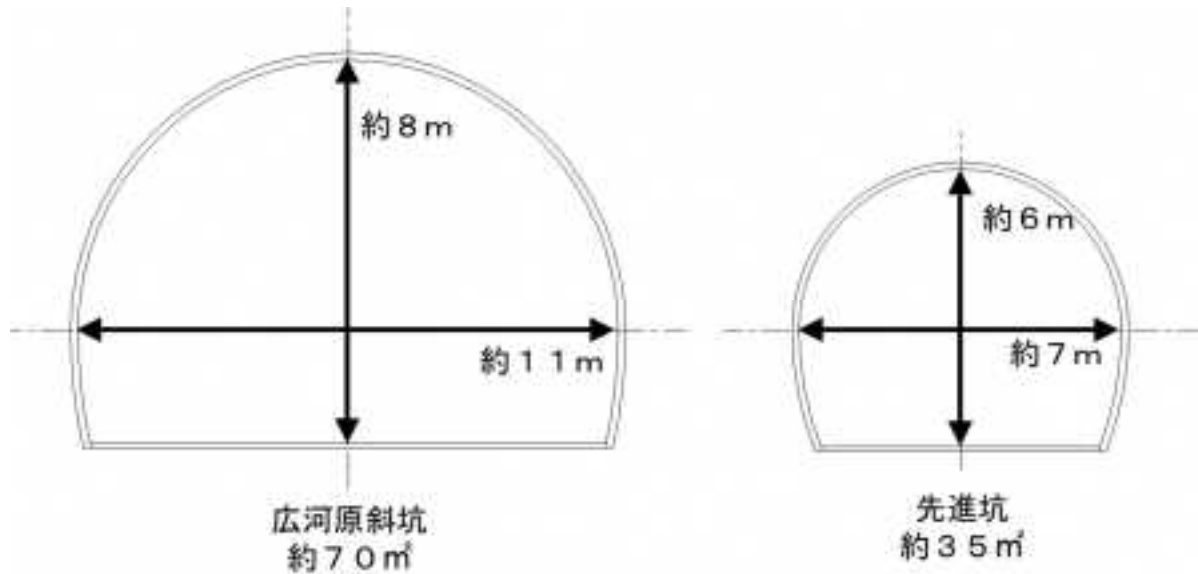


図 9 広河原斜坑及び先進坑の断面図

- ・地質については、まず既往の文献調査を実施して地質構造や地質分布を概略的に把握し、より細かな地質構造を把握するために航空レーザー測量図や空中写真により地形等の確認を行なって、地形判読図を作成しました。地形確認の際には空中写真から、直接・間接に地下の地質や構造等を反映していると思われる線状の特徴であるリニアメントを判読しました。また、沢筋や尾根部を中心に地質状況を現地で観察し、露頭の観察等により地質構造を把握する地表地質踏査を行ないました。その結果に基づき、図 10 に示す地質平面図を作成しました。そのうえで、広河原斜坑及び先進坑の掘削にあたっては、前述した高速長尺先進ボーリングによる調査を行ない、地質や湧水等の状況を把握したうえで実施しています。
- ・高速長尺先進ボーリング等の結果から、実際の地質は図 11 のとおりであることを確認し、支保パターンの詳細等を決定したうえで、掘削を行なっています。
- ・掘削中にも切羽の観察を実施し、地質の状況を確認しております。代表的な地質における切羽の状況を写真 6、写真 7 に示します。いずれの写真においても切羽においてほとんど湧水は見られていません。

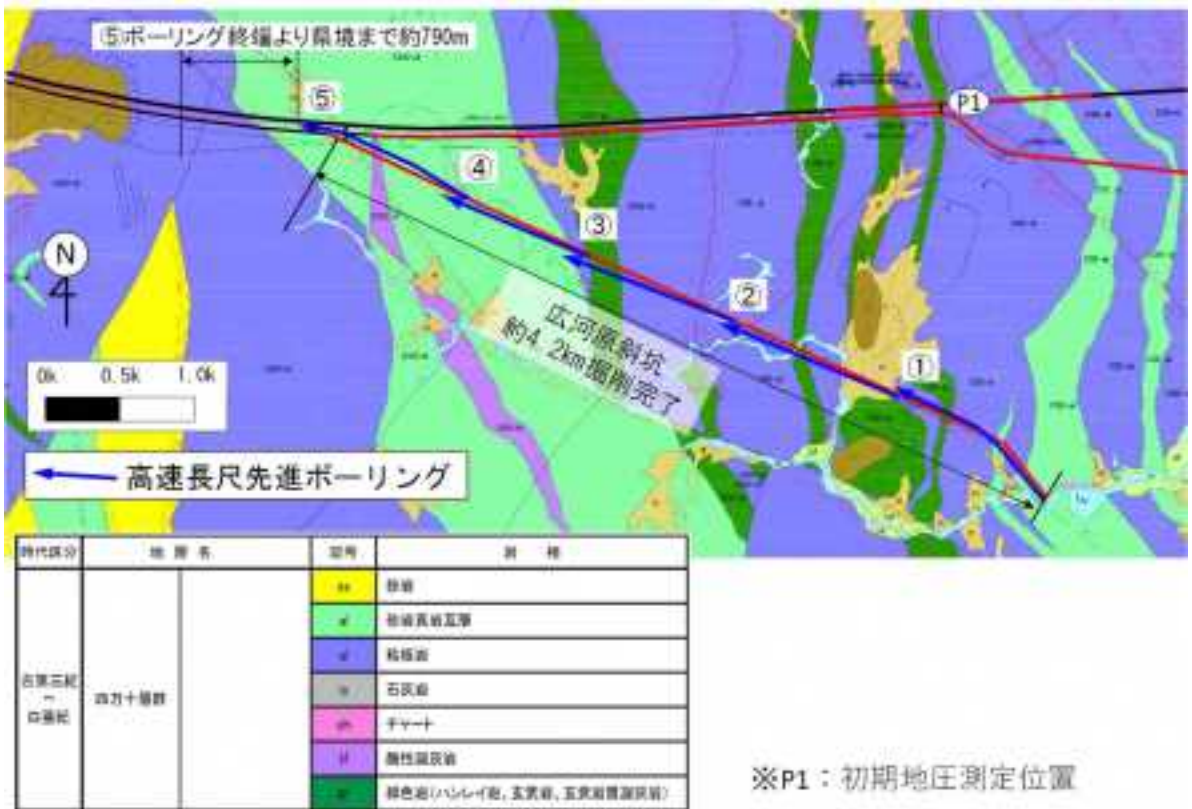


図 10 地質平面図並びに高速長尺先進ボーリングによる調査の実施位置（広河原斜坑）

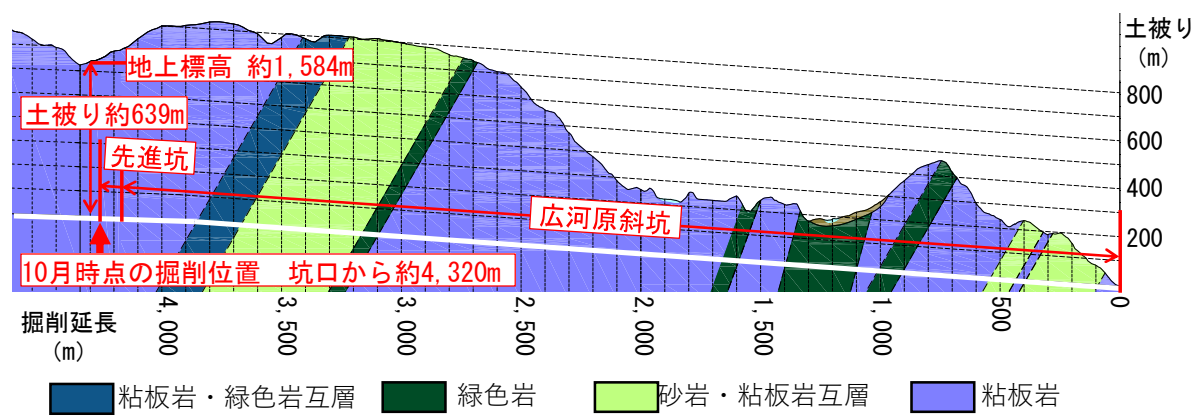


図 11 広河原斜坑及び先進坑の地質縦断面図



写真 6 広河原斜坑 3 k 6 9 9 mにおける切羽状況

土被り：835m（地表標高 1,748m）

地質：切羽全体に厚さ 5～20 cm 程度の層状の凝灰岩（緑色岩）が占める。
一部に後生的な極薄層の石英脈が入る。湧水は滲水程度。

走向：トンネル掘削方向（北西）に対し右に約 65° で斜交

傾斜：約 80° の差し目（西落ち）

岩質：岩盤の一軸圧縮強さは 40～80MPa 程度



写真 7 先進坑 2 k 7 7 2 mにおける切羽状況

土被り：866m（地表標高 1,792m）

地質：厚さ 5～10cm 程度の層状の凝灰岩（緑色岩）が全体を占める。
切羽右下に薄層の砂岩粘板岩互層。湧水は滲水程度。

走向：トンネル掘進方向（西方）から右に約 60° で斜交。

傾斜：約 70° の差し目（西落ち）。

岩質：岩盤の一軸圧縮強さは 50～100MPa 程度。

- 山梨工区において、これまでに先進坑や広河原斜坑等を掘削中に切羽に出現した粘板岩、砂岩とその互層、緑色岩（凝灰岩）といった地層の構造については、走向がおおむね南北方向（N30°W～N15°E 程度）で、傾斜は西落ち70度程度（60°W～90°W 程度）と、一定方向への集中を確認しています。
- また、産業技術総合研究所が公開している『地殻応力場データベース』などでは、山梨工区を含む南アルプス地域には、おおむね東西方向に卓越する広域的な地殻応力が働いていることを確認できます。そこで、図10に“P1”と示す位置の、土被り720m程度の本坑トンネル内で、岩盤中の地圧（初期地圧）を測定するためのボーリング調査を実施しました。その結果、当該箇所の鉛直方向の地圧を16MPa程度と考えた場合、おおむね東西水平方向に40MPa程度、南北水平方向に20MPa程度の地圧が作用していることを確認しました。鉛直方向の地圧よりも、水平方向、特に東西水平方向に大きな地圧が働いています。
- こうした地質構造や初期地圧の状態に対し、本坑や先進坑を東西方向に掘削しており、それを模式的に表したものが図12です。本線および先進坑は地層に対しておよそ直交し、東西方向の大きな地圧に対しておよそ平行する方向に掘削しています。地質構造や地圧作用方向の点から見た場合、より安定する方向にトンネルを掘削していると考えています。

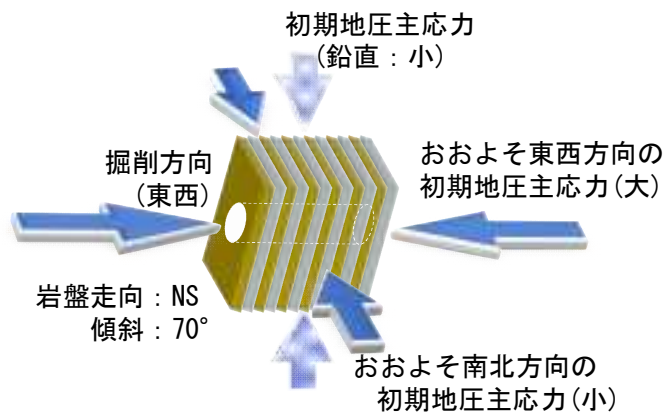


図 12 モデル化した地質構造、初期地圧作用状況と、本坑・先進坑の掘削方向

(出典) 佐藤岳史, 中原史晴, 青木智幸, 林為人, 岸田潔 (2022): 大土被りトンネル掘削時の変位挙動に対する異方向性を持つ初期地圧の影響, 土木学会論文集 F1, Vol.78 (1), pp. 55-73. に加筆改訂

- ・なお、岩盤に作用する初期地圧の測定にあたっては、コア変形法（DCDA法）という手法を採用しました。トンネル内から鉛直下向きにボーリングを行なって円柱状コアを採取した後、コアの直径が最大・最小となる方位から初期地圧の作用する方向を同定したほか、測定したコア径と力学試験結果等から初期地圧の大きさを推定しました。
- ・現時点の湧水量としては、図 8 に示す通り広河原斜坑・先進坑 4.3 km の区間合計で約 $0.6 \text{ m}^3/\text{分}$ ($0.01 \text{ m}^3/\text{秒}$) となっています。

(3) 長野工区の進捗状況

- ・南アルプストンネル長野工区について、現時点（令和4年10月25日現在）の進捗は図13の平面図に示すとおりとなっております。



図13 長野工区の進捗状況とトンネル湧水量（令和4年10月時点）

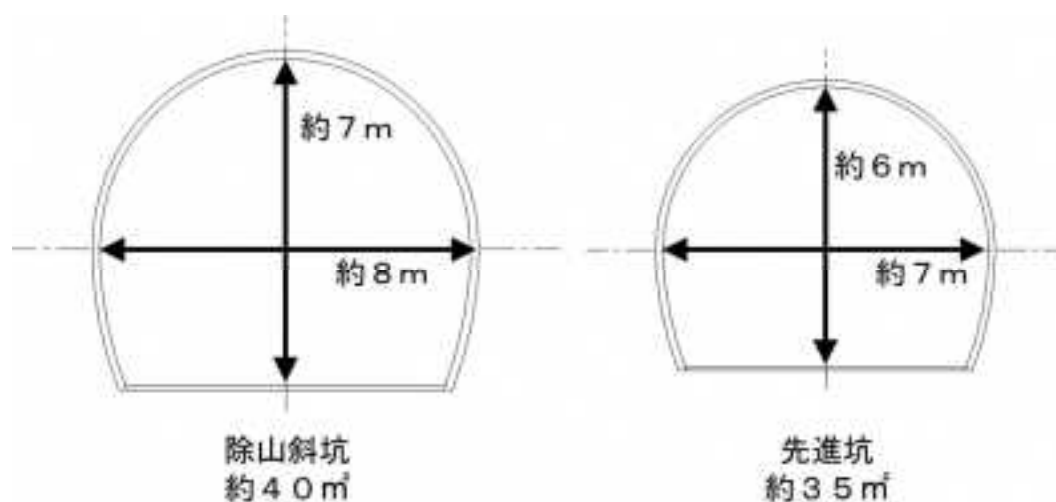


図14 除山斜坑及び先進坑の断面図

- ・このうち除山斜坑は図 14のように延長約1.9 km、高さ約7 m、幅約8 m、掘削断面積約40 m²であり、掘削を完了しています。その後、除山斜坑の終点から品川方に向けて先進坑の掘削を開始したところです。先進坑は高さ約6 m、幅約7 m、掘削断面積約35 m²であり、今後掘削する箇所想定している地質縦断図は図 15のとおりです。
- ・現時点での切羽位置は静岡・長野県境付近から約3.9 kmの地点となっています。

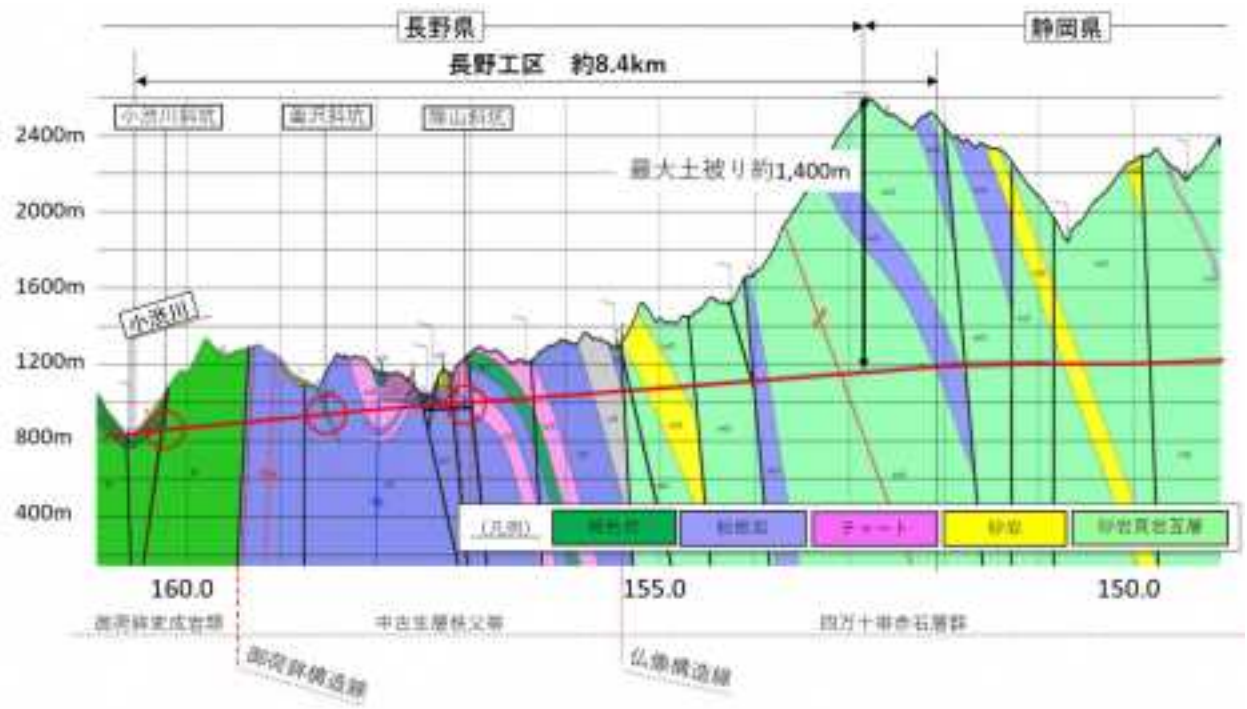


図 15 長野工区の地質縦断図

(4) 今後の掘削の考え方

- ・山梨工区における山梨・静岡県境付近までの区間の掘削については、図 16、図 17に示す手順により進めてまいります。
- ・まず、高速長尺先進ボーリングによる調査を実施済みの約100mの区間の先進坑を掘削します。この区間は調査の結果、地質や湧水等の状況がこれまでに掘削を進めてきた区間と同様であることを確認しています。
- ・次に、掘削に伴う地質や湧水の不確実性に対応するため、さらに高速長尺先進ボーリングによる調査を進めます。
- ・現状では地質を図 18のとおり想定していますが、高速長尺先進ボーリングによる調査で地質及び湧水の概略的な性状を確認した後、その結果を踏まえてトンネル掘削時の地山挙動や湧水状況を想定しながら、県境までの先進坑の掘削を進めます。
- ・高速長尺先進ボーリングの結果から、岩盤の状態や湧水量に大きな変化の可能性がある箇所においては、先進坑内からコアボーリングを始めとする追加の地質調査を行なうなどし、地山性状を慎重に確認しながら掘削をします。また、ボーリング孔を利用した湧水圧や岩盤の透水係数の推定・確認や、トンネル湧水と表層部の水の関連性等の分析について検討します。
- ・先進坑掘削中に、トンネル近傍の地山に大きな緩みが発生した場合、岩盤中の潜在亀裂や地層の層理面などが開口し、より地下水を導きやすくなります。先進坑内での計測管理を綿密に行ない、高速長尺先進ボーリングや切羽観察の結果と総合しながら、地山を極力緩めないように、掘削方法や支保パターンをきめ細かく管理し、適用していきます。必要に応じ薬液注入等の補助工法も併用しながら、掘削を進めます。これらの取組みにより、湧水量を抑制します。
- ・また、山梨県・静岡県の県境より静岡県側における地質、湧水の不確実性に対応するための高速長尺先進ボーリングによる調査を考えております。実施にあたっては、具体的な計画を丁寧にご説明しながら進めてまいります。
- ・本坑については先進坑掘削時に把握した地質、湧水の状況を踏まえ、品川方も含めた掘削の計画を策定し、必要な措置を実施したうえで県境まで掘削を進めます。
- ・調査及び掘削の計画や先進坑掘削時の地質と湧水の状況、高速長尺先進ボーリングによる調査等の結果については、山梨県、早川町及び静岡県等に報告します。
- ・なお、長野工区についても同様の考え方にに基づき、今後県境付近の掘削の計画を具体化してまいります。

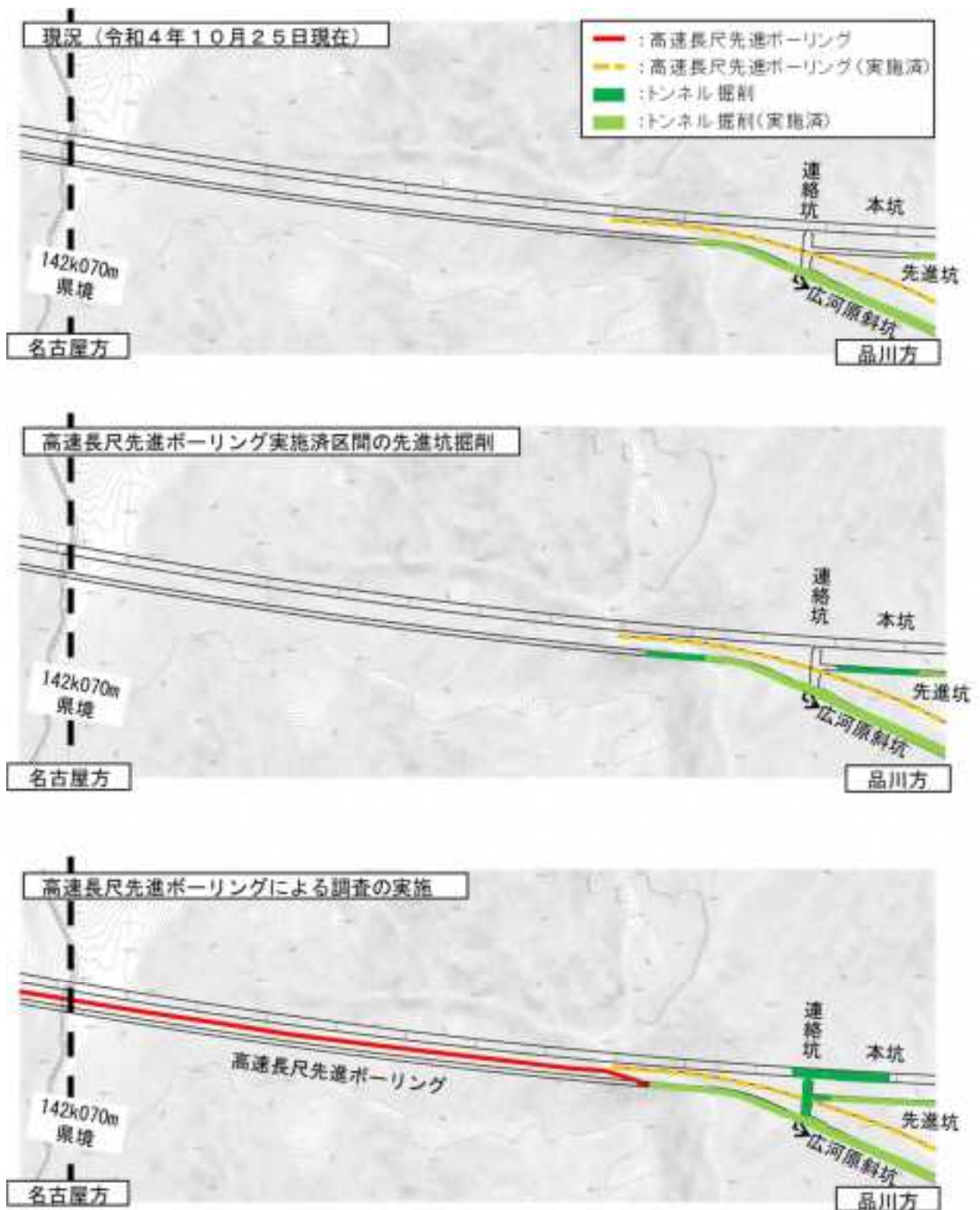


図 16 山梨工区における山梨・静岡県境付近までの掘削の考え方 (1)

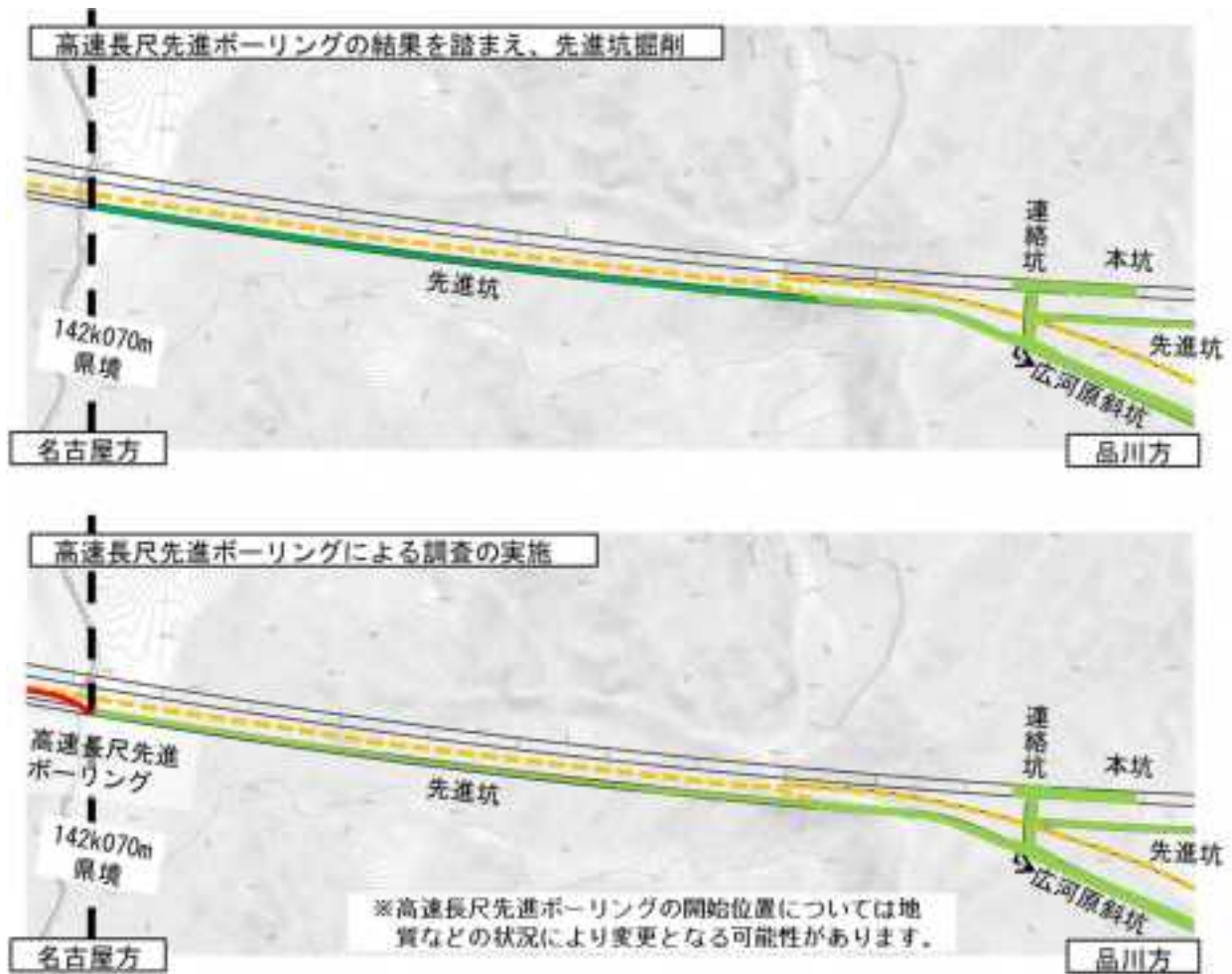


図 17 山梨工区における山梨・静岡県境付近までの掘削の考え方（2）

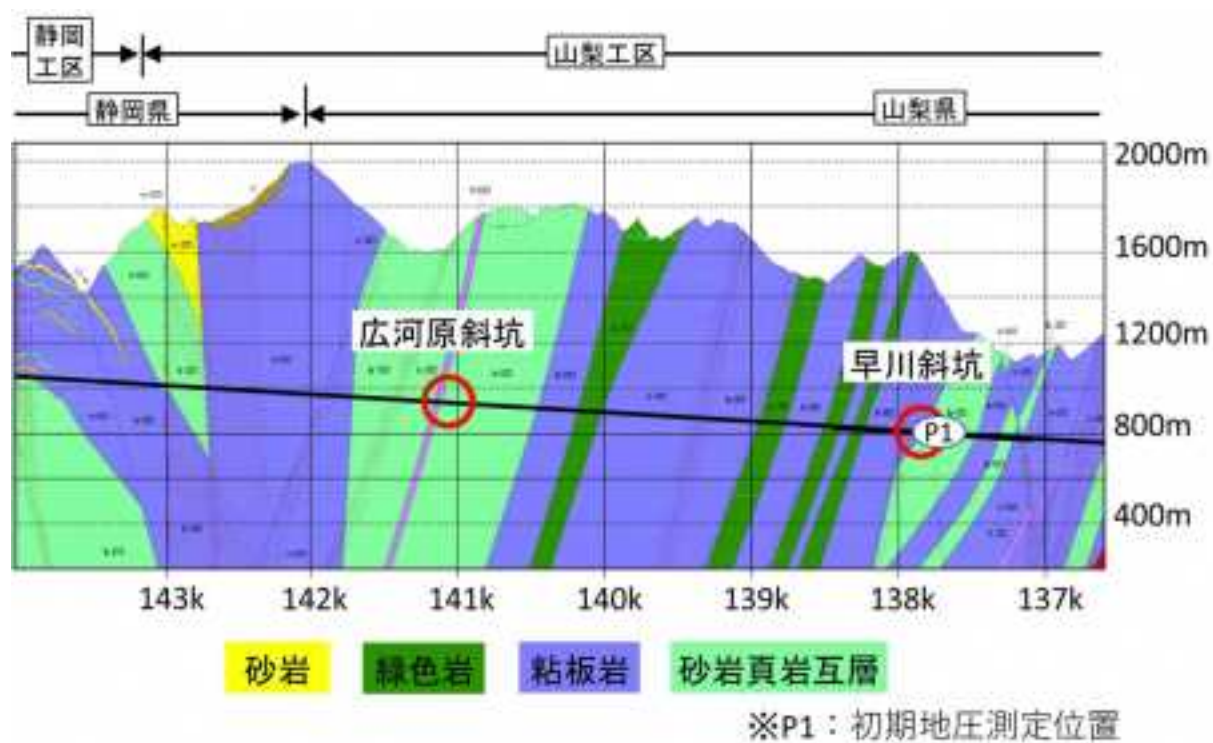


図 18 山梨工区の地質縦断図