

中央新幹線南アルプストンネル山梨工区
山梨・静岡県境付近の調査及び工事の計画について

令和5年8月

東海旅客鉄道株式会社

目次

(1) 県境付近における断層帯調査の進め方	1
1) 断層帯調査の概要	1
2) 高速長尺先進ボーリング	5
3) コアボーリング	27
4) ボーリングにおける湧水量の測定方法.....	32
5) ボーリングにおける湧水への対応.....	34
6) 調査状況の報告	58
7) まとめ.....	60
(2) 先進坑掘削の進め方.....	62
1) 先進坑掘削計画.....	62
2) 断層帯調査と先進坑掘削手順.....	65
(補足)	67
1) 高速長尺先進ボーリングによる広河原斜坑の地質、湧水状況の確認結果.....	67
2) 山梨県内断層と静岡県内の県境付近の断層帯との繋がりについて.....	70
3) 県境から100mの設定根拠（青函トンネルの事例）	74
4) 高速長尺先進ボーリングの実施に伴う水の動きに関わる検討について	76

(1) 県境付近における断層帯調査の進め方

1) 断層帯調査の概要

- 山梨・静岡県境付近の断層帯を上向きに掘削する際に山梨県側に流出するトンネル湧水について静岡県との対話が続くなか、流域市町から地域の皆さまのご懸念を解消すべく技術的なデータに基づく議論を求める声が高まっています。
- 県境付近の断層帯については、平成24年度に東俣付近からの斜めボーリングを行いました(図1、図2)。調査は東俣付近から開始し、県境から静岡県側に約300mの地点まで実施しましたが、調査の終点から県境までの区間ではボーリング調査を行っておらず、この区間まで破碎質な地質が連続している可能性は排除できないと考えています。

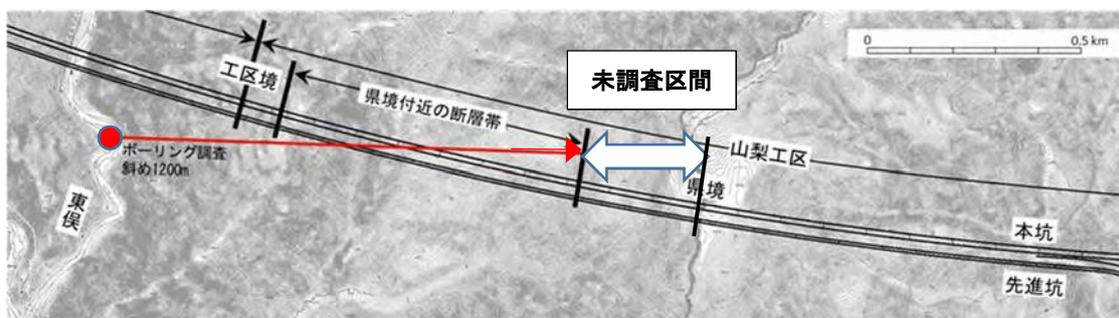


図1 平面図及び斜めボーリングの実施位置

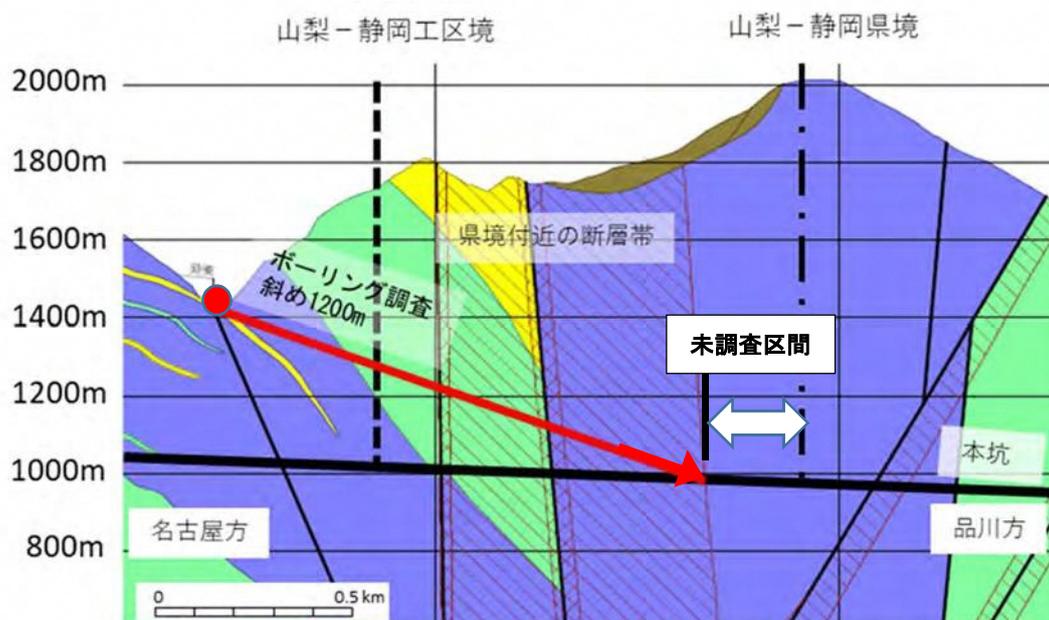


図2 地質縦断図及び斜めボーリングの実施位置

- ・トンネル掘削にあたっては、水資源利用へのリスクを想定し、工事前及び工事中におけるモニタリングの結果を踏まえ、対応してまいります。一方で、継続的に技術的なデータを得て検討を進め、トンネル湧水に関する不確実性を低減し、その結果を公表することも、地域の皆さまのご懸念を解消するためには重要と考えています。

- ・断層帯調査および先進坑掘削ステップを以下の手順で進めてまいります。また、概要を図 3 に示します。

① 山梨県内の地質、地下水の調査を目的に、県境付近に向けた高速長尺先進ボーリングを実施します。地質の状況によりボーリングの削孔延長は影響を受けますが、1, 200 m程度の延長を掘削した事例もあり、ボーリングが県境に達する時点において、静岡県側から山梨県側へ流出する湧水と同量の水を静岡県側に戻す方法が実施可能となった場合には、県境を越えて未調査の約300 mについてもボーリング調査を進め、結果を公表することが、地域の皆さまのご懸念を解消するために望ましいと考えます。

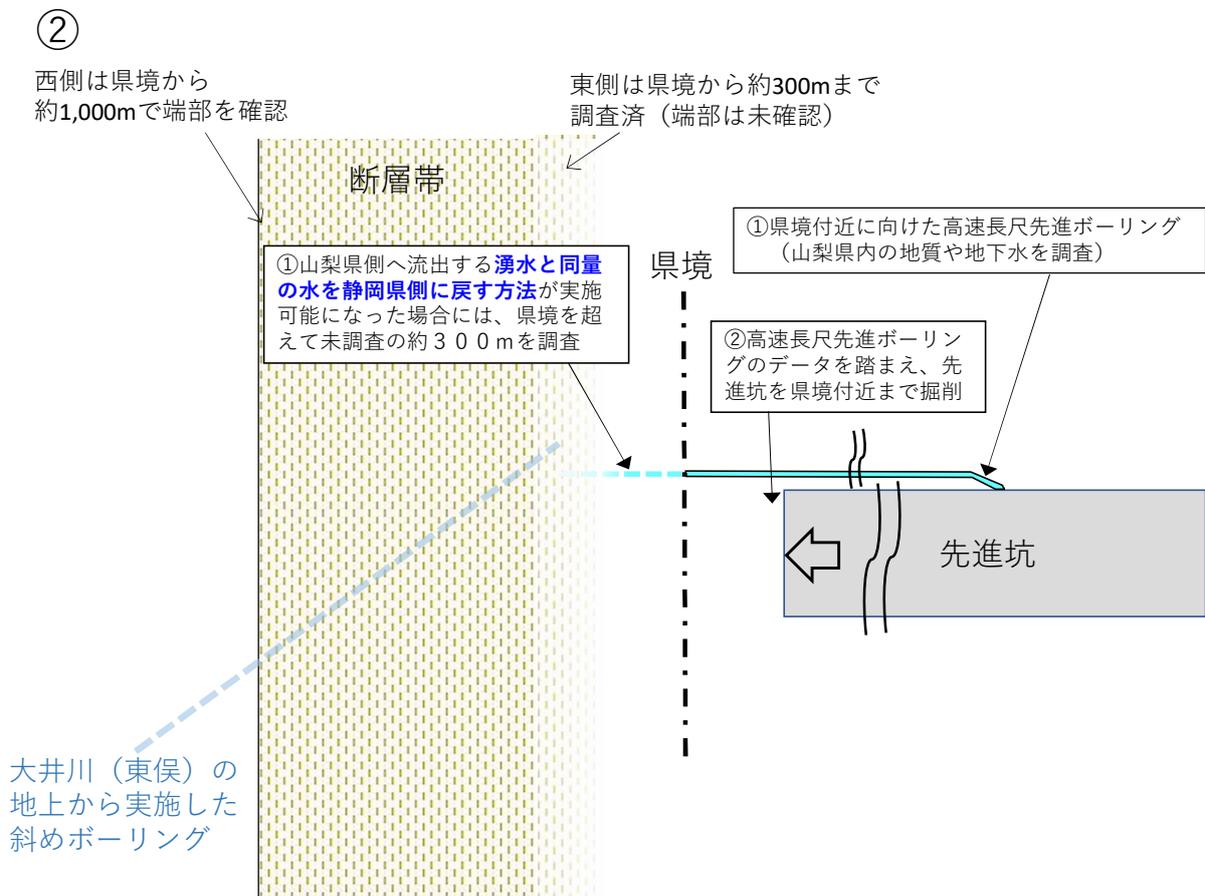
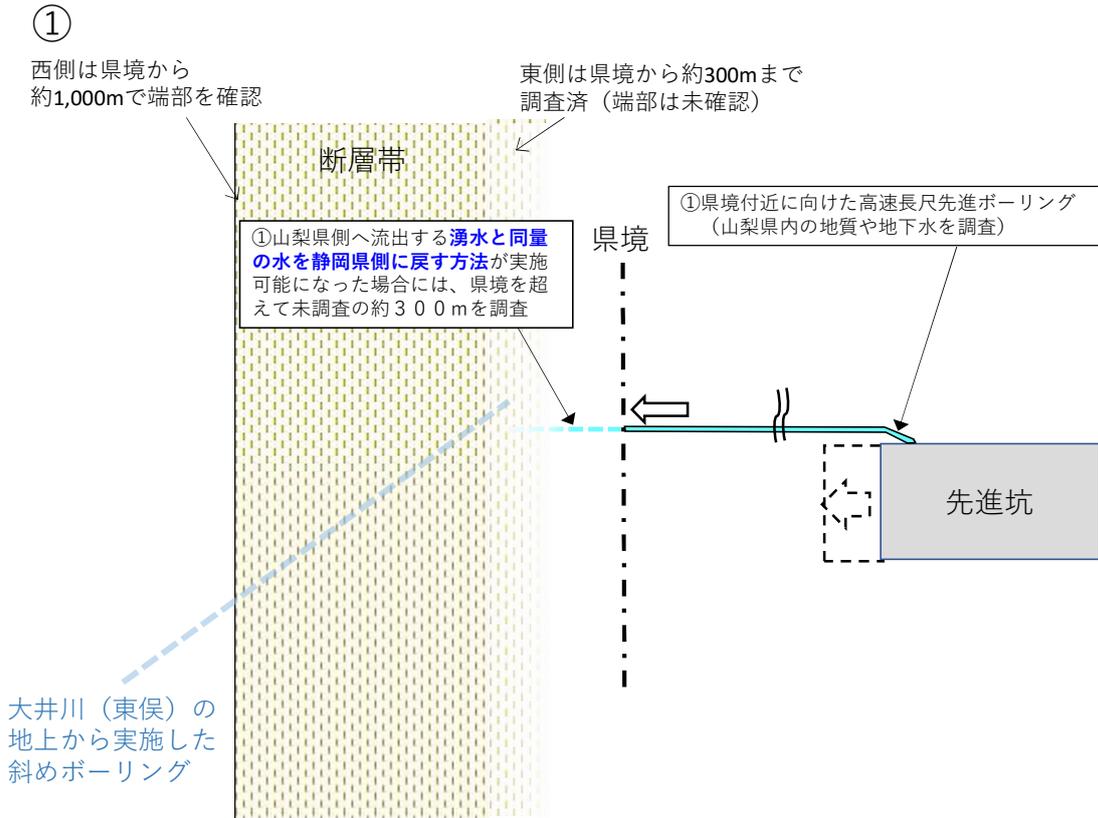
調査中・調査完了後とも湧水は量を測定のうちでボーリング孔の口元（孔口）から流し、静岡県内の湧水については同量の水を静岡県側に戻します。

② 上記の山梨県内の調査データを踏まえながら、山梨県内の先進坑を県境付近まで掘削していきます。

③ 県境付近から断層帯の調査を目的とした高速長尺先進ボーリングを、県境を越えて静岡県内で実施します。県境を越えたボーリングについては、第10回地質構造・水資源専門部会（令和4年12月4日）でお示ししていましたが、今回、その内容についても具体的に計画いたしました。

トンネルの掘削を計画している区間に並行し、近い箇所では静岡県内の地質や地下水の状況を連続的に把握し、技術的なデータを取得することが可能となります。また、湧水量の多い箇所や地質が変化する箇所等では、施工可能な延長も考慮したうえでコアボーリングを実施します。

調査中の湧水は量を測定したうえで孔口から流し、同量の水を静岡県側に戻します。調査が完了した後は、湧水の流出を防ぐため、孔口付近で止水します。



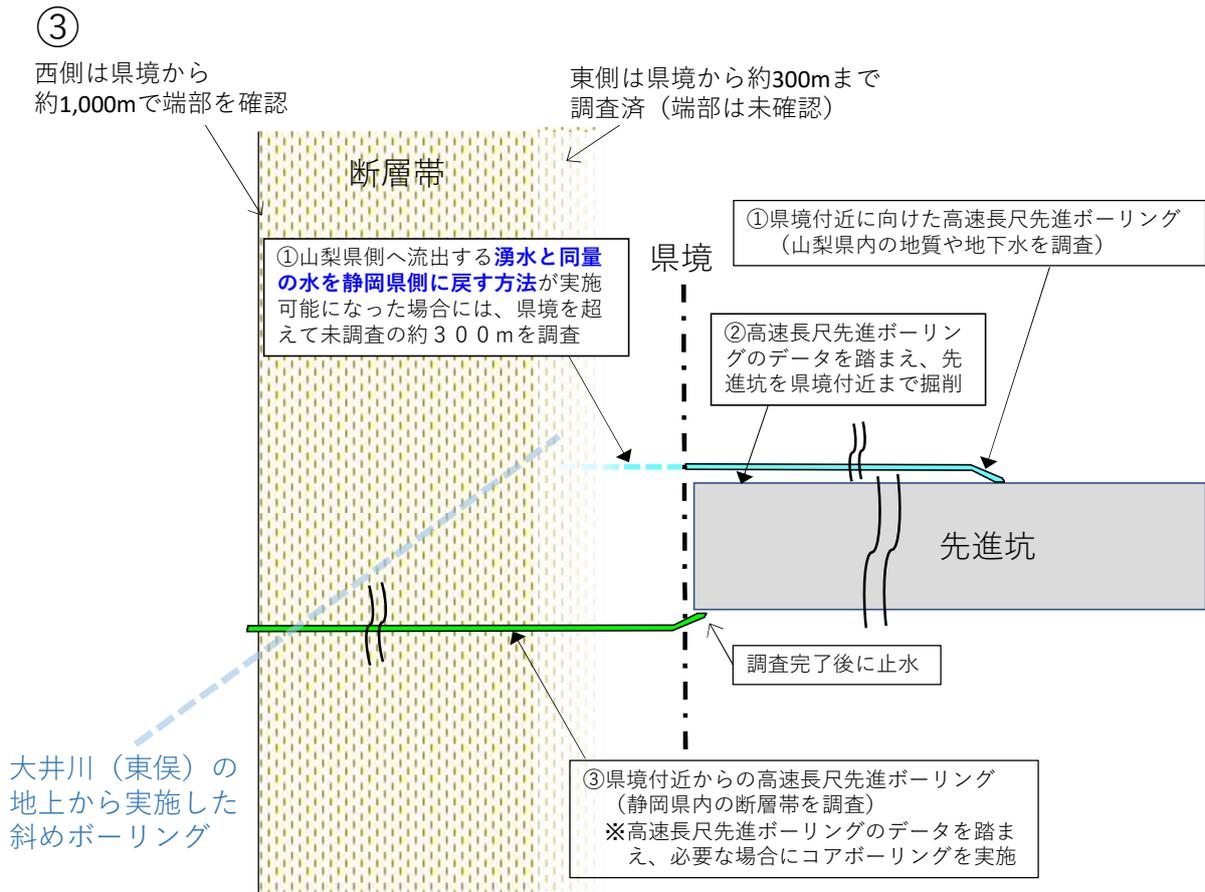


図 3 断層帯調査の概要（平面図）

2) 高速長尺先進ボーリング

ア. 概要

- ・南アルプストンネルでは、第9回地質構造・水資源専門部会（令和4年10月31日）でご説明したように、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して、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、事業を進めています。
 - ・高速長尺先進ボーリングによる調査では、トンネル切羽前方の500～1,000m程度の区間を早くかつ精度よく確認することで、地山の悪い箇所や調査中の湧水量が変化する箇所などを予め把握することが可能です。
 - ・高速長尺先進ボーリングは、トンネル施工の確実な見通しを得るために切羽前方の地質情報を常に把握するよう、以下の3点を目的に技術開発が行われました¹。
 - ①トンネル施工の確実な長期見通しを得るために、切羽前方約1,000m程度の地質情報を先進ボーリングにより常に把握できること
 - ②切羽前方の地質情報を正確に把握するため、トンネル計画線と一定の距離を保って掘削できるよう方向制御すること
 - ③切羽の安定した掘削を可能ならしめるよう、切羽前方の高圧・大量の湧水を事前にできるだけ抜いて（水圧を低減させておいて）おくこと
- 今回の調査は、山梨県内のトンネル工事を安全に実施するとともに、県境付近の断層帯の地質及び湧水に関する情報を把握し、不確実性を低減するとともに、地域の皆さまのご懸念を解消していくために実施するものです。
- ・調査・計画の段階において、可能な場合には地上からのボーリングを実施いたしますが、山梨・静岡県境付近については土被りが800m以上もあるうえ機材運搬に必要となるアクセスが困難であることから、山梨県側から掘削した先進坑を利用した高速長尺先進ボーリングおよびその後のコアボーリングがそれに代わる手段となります。
 - ・また、地上からのボーリングとは異なり、高速長尺先進ボーリングは、トンネルを掘削する区間に沿った地質及び湧水の状況を、水平方向に連続的に把握できるという利点があります。（図4）

¹ 「長大山岳トンネル施工を見据えた長尺先進ボーリング技術の開発」 2011年1月第16回地下空間シンポジウム「世界に挑む日本の技術～成長戦略と地下技術との関わり～」より

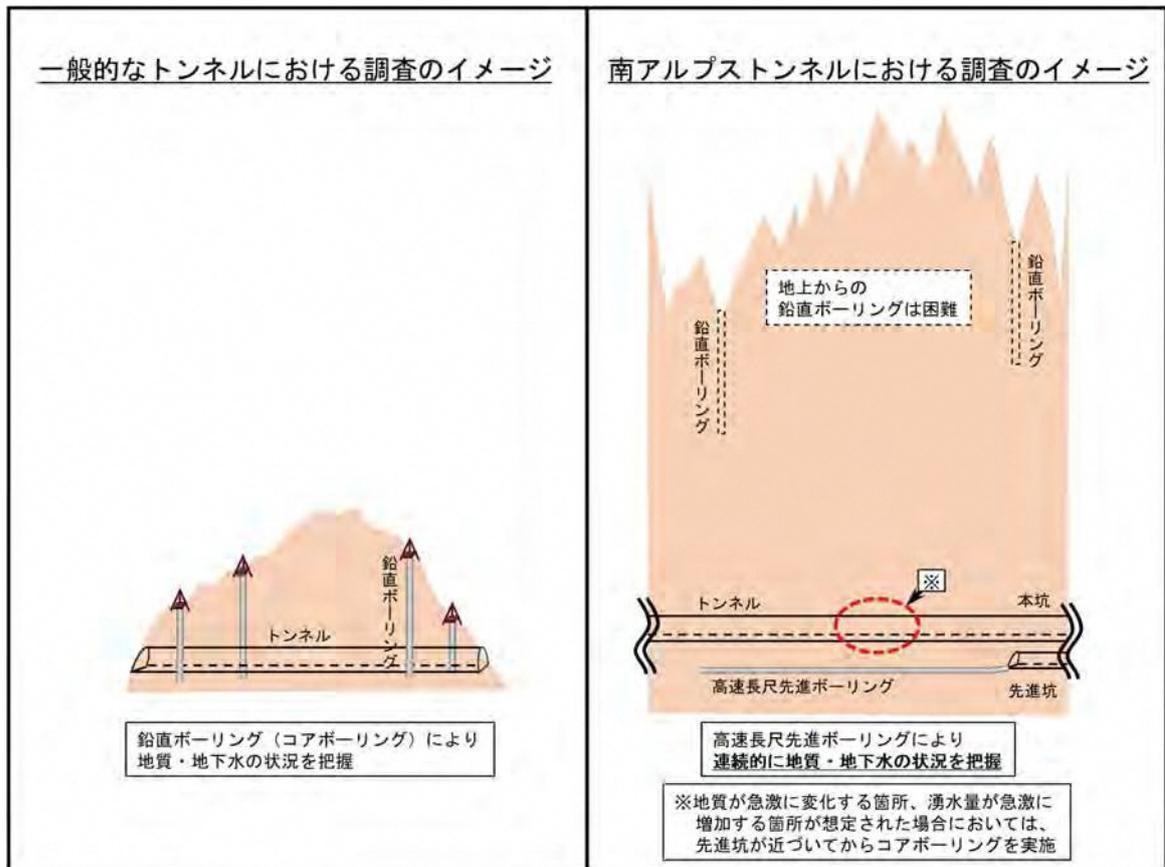


図 4 ボーリング調査のイメージ

- ・第9回地質構造・水資源専門部会（令和4年10月31日）で委員からご要請がありました山梨県内の工区における湧水量に関する資料として、南アルプストンネル山梨工区の広河原斜坑において実施した高速長尺先進ボーリング中の孔口湧水量を図5に示します。
- ・高速長尺先進ボーリングによる調査では、湧水量のほか、削孔中に排出される岩石片（スライム）を採取して地質を把握します。広河原斜坑の高速長尺先進ボーリング調査において採取したスライムの代表例を図6に示します。採取したスライムを観察することにより、ボーリング②の削孔深度870～880mが緑色岩と粘板岩の地質の境界であることやボーリング⑤の削孔深度335～435mにおいては、粘板岩緑色岩互層より徐々に粘板岩主体となることを把握することができました。また、これらの地質の境界付近において湧水量が増加していることが図5より分かります。

- このように、場所ごとの地質及び湧水の情報事前に複合的に捉えることに加え、マシンデータより得られる情報をトンネル掘削計画に逐次フィードバックすることで、広河原斜坑を安全にかつ環境に配慮して掘り進めることができました。

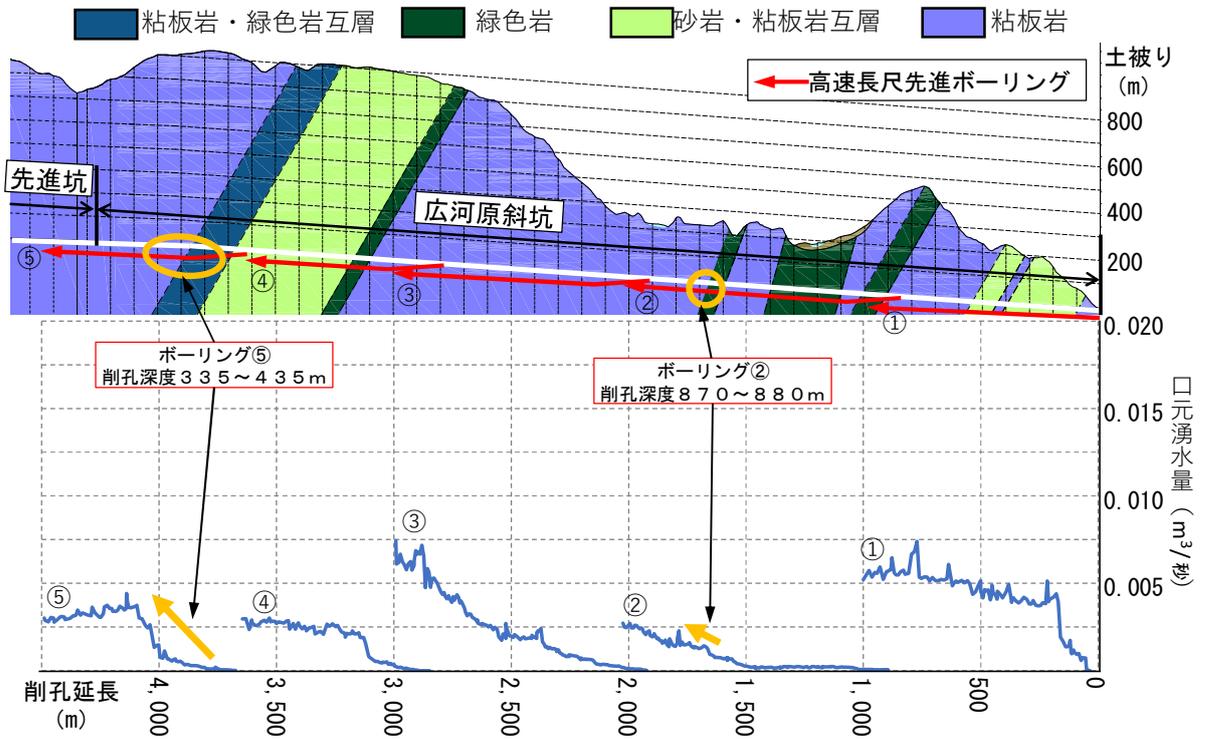
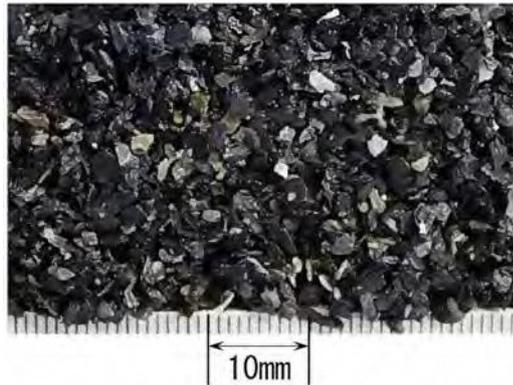


図 5 広河原斜坑における高速長尺先進ボーリングの孔口湧水量



ボーリング②

削孔深度	870～875m
岩種	緑色岩（玄武岩質）
記事	粒径はφ3mm～5mmが主 最大粒径はφ7mm



ボーリング②

削孔深度	875～880m
岩種	粘板岩
記事	粒径はφ2mm～3mmが主 最大粒径はφ4mm



ボーリング⑤

削孔深度	335～340m
岩種	粘板岩緑色岩互層
記事	粒径はφ3mm～6mmが主 最大粒径はφ12mm



ボーリング⑤

削孔深度	345～350m
岩種	粘板岩緑色岩互層
記事	粒径はφ3mm～6mmが主 最大粒径はφ12mm



10mm

ボーリング⑤

削孔深度	355～360m
岩種	粘板岩
記事	粒径はφ3mm～6mmが主 最大粒径はφ10mm



10mm

ボーリング⑤

削孔深度	375～380m
岩種	粘板岩
記事	粒径はφ3mm～6mmが主 最大粒径はφ10mm



10mm

ボーリング⑤

削孔深度	400～405m
岩種	粘板岩
記事	粒径はφ1mm～4mmが主 最大粒径はφ10mm



10mm

ボーリング⑤

削孔深度	430～435m
岩種	粘板岩
記事	粒径はφ2mm～5mmが主 最大粒径はφ8mm

図 6 広河原斜坑における高速長尺先進ボーリングのスライムの代表例

イ. 調査内容

- ・高速長尺先進ボーリングの削孔計画を図 7 に示します。孔口より深度 500 m から 700 m 程度の区間までは直径 200 mm で削孔を行い、当該区間に保護管を設置したのち、以降の区間は直径 120 mm で削孔を行います。なお、削孔および保護管を設置する延長は地質の状況等に応じて変更します。
- ・高速長尺先進ボーリングの削孔断面積は約 0.01～0.10 m² であり、本坑の約 100 m² や先進坑の約 35 m² に比べて小さな断面です (図 8)。

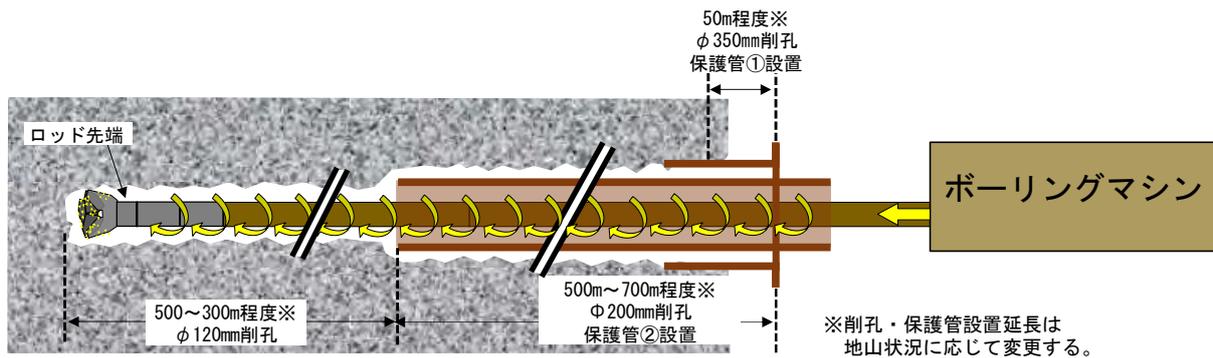
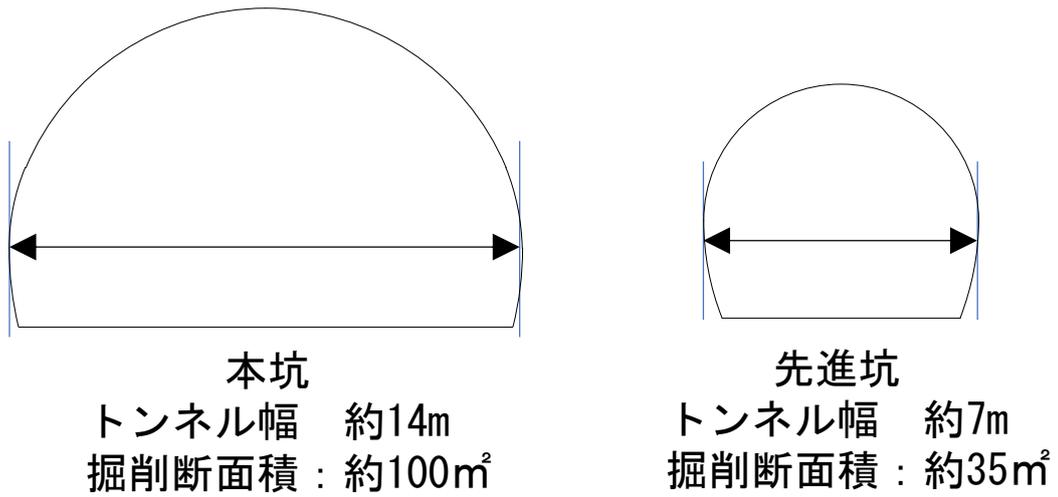


図 7 高速長尺先進ボーリング削孔計画



高速長尺先進ボーリング
 直径：約0.12m～0.35m
 削孔断面積：約0.01m²～0.10m²

図 8 トンネルと高速長尺先進ボーリングの断面積

- ・高速長尺先進ボーリングにおいて調査する項目や高速長尺先進ボーリングの調査によってわかることと、不確実性の低減等に向けたデータの活用方法を表 1 に示します。

表 1 高速長尺先進ボーリング調査の項目等

	調査項目	測定方法	測定頻度	調査によってわかること	活用方法
地質・地山	岩石片（スライム）の観察による確認	・ 孔口より排出されるスライムを容器で採取	・ 約5mに1回	・ 地質分布の確認	<ul style="list-style-type: none"> ・ 既往地質図との比較（場所毎の地盤区分の確認） ・ 掘削計画（湧水対策等）への反映 ・ 他の調査結果と組み合わせて概略的な地下水流向の推察
	掘削速度	・ マシン制御盤にて測定（ロッド回転トルク、回転数、マシン推進力は掘削エネルギー係数等に換算）	・ 削孔中常時	・ 割れ目発達状況等、同一岩盤内での地山の良し悪しの把握	
	ロッド回転トルク				
	ロッド回転数				
	マシン推進力				
	ボーリングのコントロール状況の記録	・ ボーリングオペレーターの観測手簿確認 ・ コントロール軌跡図確認	・ 手簿は1日2回程度記録し、定期的の確認 ・ 軌跡は常時記録し、定期的に確認	・ 他の調査結果と組み合わせて概略的な地層の走向・傾斜の把握	
コアチューブによるコア採取	※表2のコア観察、物理特性・力学特性の項目で記載	（状況により実施）	※表2のコア観察、物理特性・力学特性の項目で記載	※同左	
湧水	孔口湧水量（削孔中）	・ 容器法による測定 ・ 電磁流量計による変動傾向の把握	・ 容器法は1日2回を基本。湧水量が大きく変化する箇所やビット交換時なども追加で実施 ・ 電磁流量計は常時記録	・ 湧水の増加傾向から湧水量の多い区間の把握	<ul style="list-style-type: none"> ・ 地表水との連続性が疑われる箇所を推定 ・ 掘削時の影響に関するリスク分析、対策
	孔口湧水量（削孔完了時）	・ タービン式流量計	・ 常時		
	孔口湧水の水質（水温、pH、電気伝導度）	・ デジタル水温計、pH計測器、導電率計による計測	・ 容器法による湧水量の測定と同時に実施	・ 掘削の進捗に伴う変化の傾向を、湧水量とも関連付けて確認	
	湧水圧測定	・ 孔口で止水し調査区間平均湧水圧を測定 ・ 孔内での湧水圧測定への挑戦	・ 孔口での止水測定は、孔口部、削孔段取り替え時で実施 ・ 孔内測定は深度100m付近で挑戦	・ 調査区間の平均透水係数を算出 ・ 場所毎の圧力変化から地下水の流動傾向を概略的に確認	
	湧水の化学的な成分分析	・ 溶存イオン8項目、酸素・水素安定同位体比、不活性ガス（SF6）、トリチウム等	・ 湧水圧測定時に採水 ・ 湧水量測定で変化がある時は追加実施	・ シュティフダイアグラム作成、涵養標高・涵養年代の算出	

※青字は、県境付近に向けて令和5年2月から実施しているボーリングにおいては実施しない項目です。

- ・今回県境付近に向けて高速長尺先進ボーリングを行う区間の地質縦断図を図 9 に示します。

地質縦断図では、これまで地表踏査等を中心とした既往調査の結果から、山梨県内において孔口から約100～200m付近に想定断層（以下、断層①と呼ぶ）と孔口から約600～700m付近に想定断層（以下、断層②と呼ぶ）が存在するものと考えています。

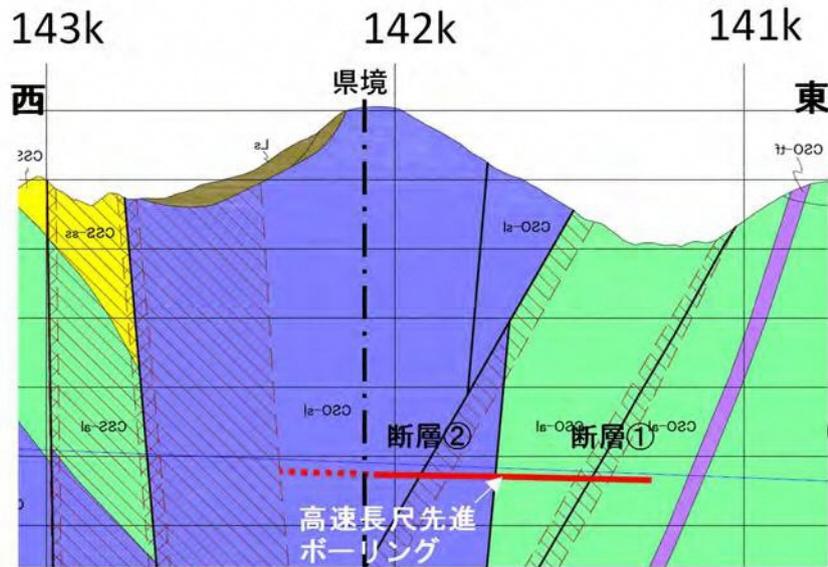


図 9 地質縦断図

- ・高速長尺先進ボーリングの具体的な削孔手順を図 10 に示します。また、表 1 に記載した調査項目のうち、県境に向けた高速長尺先進ボーリングにおける、湧水圧測定、コアチューブによるコア採取、湧水の化学的な成分分析の実施箇所を図 11 に示します。

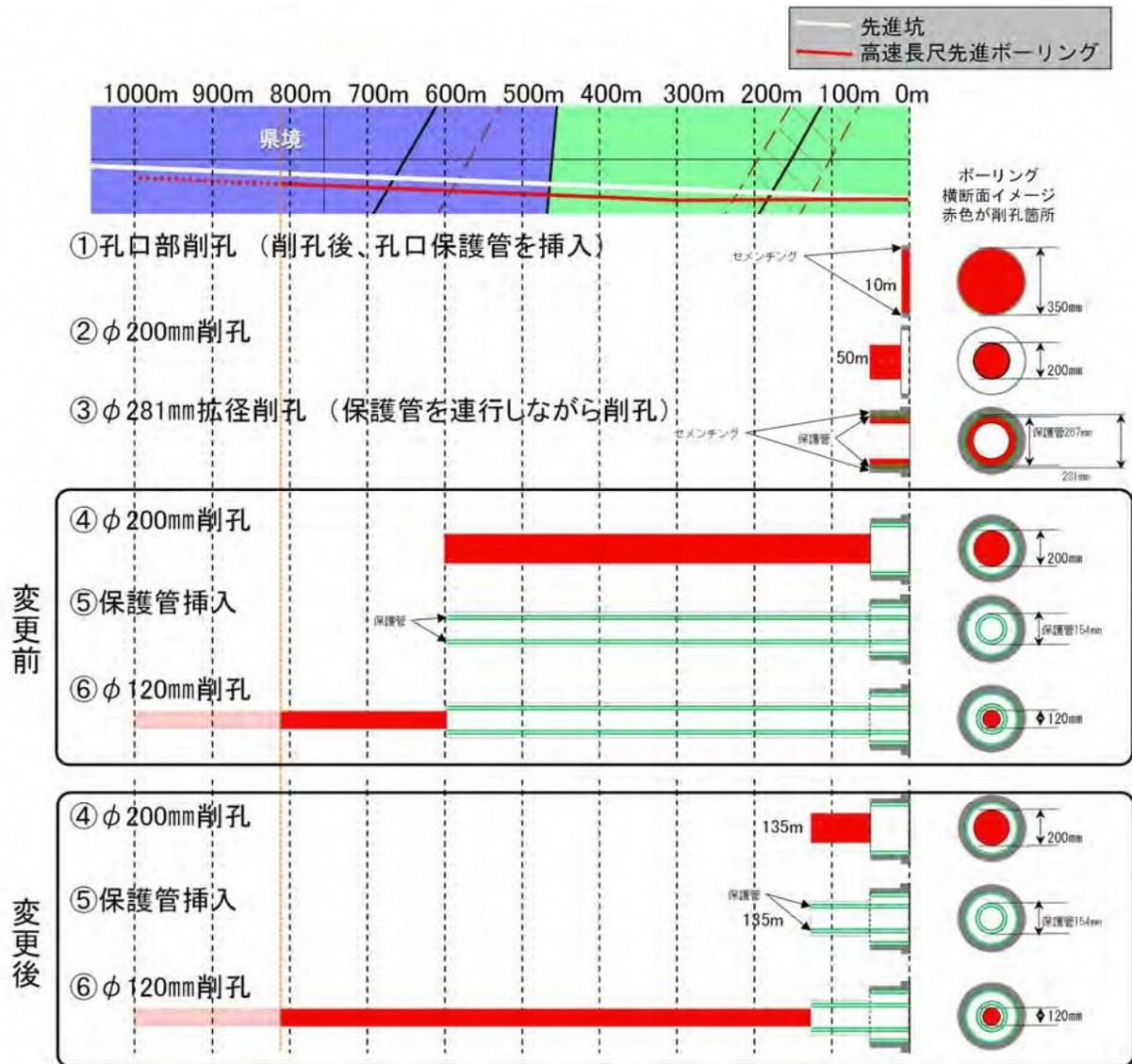


図 10 高速長尺先進ボーリングの具体的な削孔手順
 (県境に向けた高速長尺先進ボーリング実施時)

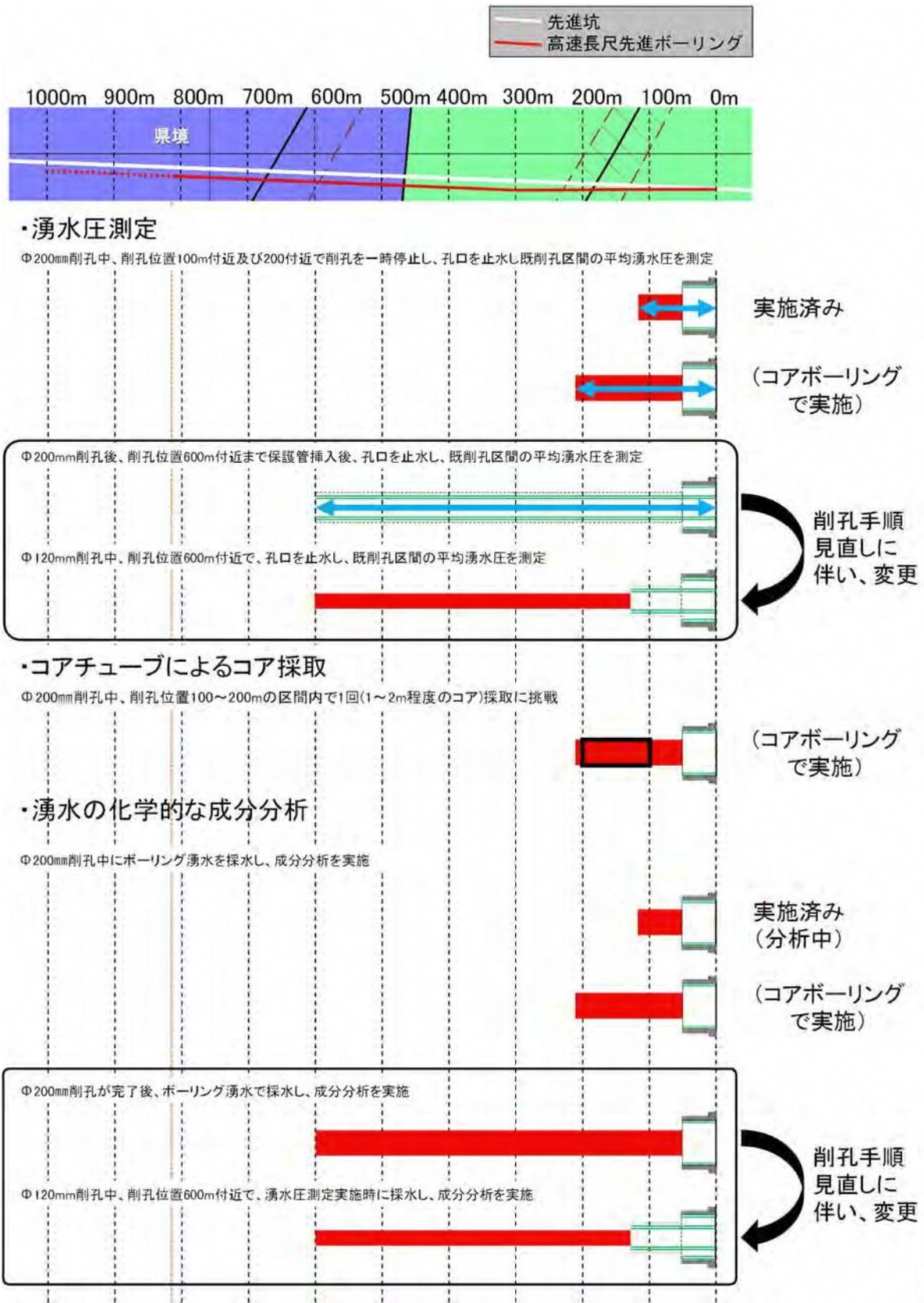


図 11 湧水圧、コア採取、成分分析の実施箇所
 (県境に向けた高速長尺先進ボーリング実施時)

- ・削孔を進めた結果のデータは、別冊P 1～38で示しておりますが、湧水量は非常に少ないものの、削孔位置115m付近より脆い地質が出現し、セメンチング²を繰り返しましたが一部崩壊する箇所があったため、図10のとおり当初の削孔手順を見直して掘削を継続することとしました。これに伴い、湧水圧測定、コア採取、成分分析の各調査項目についても図11のとおり変更します。
- ・この削孔位置115m付近における脆い地質については、詳細な状況を把握するため、高速長尺先進ボーリングとは別にコアボーリングを実施します。実施内容は、P27(3)コアボーリングに記載しています。
- ・この山梨県内の断層①は断層②と類似性があることを想定しています(詳細はP35参照)。
- ・今後削孔を進め、断層②においても脆い地質が出現した場合は、高速長尺先進ボーリングによる調査を変更する場合があります。
- ・その際、詳細な地質の確認のために今回と同様に断層②においてもコアボーリングを実施することが考えられますが、コアボーリングの削孔精度を考慮すると、より調査箇所まで近づいてから実施する必要があり、高速長尺先進ボーリングによる調査が完了している箇所付近まで、先進坑の掘削を進めます。
- ・そのうえで、コアボーリングによる調査を行うとともに、その先の区間における調査のために高速長尺先進ボーリングを並行して行います(P63の図47)。
- ・高速長尺先進ボーリングによる調査を行い、破碎帯等による地質の変化がある場所や湧水量の変化が著しい場所においては、先進坑を当該箇所まで掘削し、コアボーリングによる調査を行い、適切な補助工法等を選定のうえで先進坑の掘削を進めていくという流れは、これまで静岡県内における対応として専門部会等でご説明してまいりましたが、山梨県内についても同様に対応し、慎重に調査及び工事を進めてまいります(P62の図46)。

² ボーリングで削孔した孔の崩壊を防ぐ目的で、セメントを注入する作業

- 掘削エネルギー係数による地山評価の例を図 1 2 に示します。

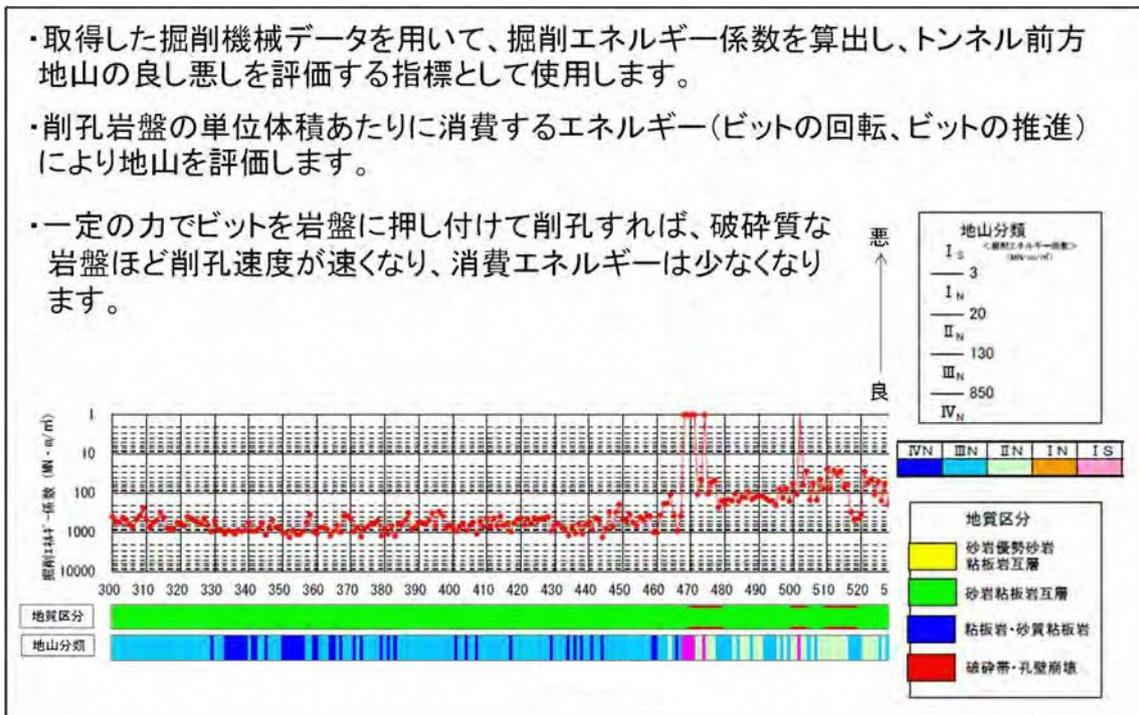


図 1 2 掘削エネルギー係数による地山評価の例

- 実際の調査事例として、過去に大井川（東俣）から山梨県側に向けて行った高速長尺先進ボーリングの調査結果を図 1 3 に示します。上のグラフでは掘削エネルギー係数の推移などにより地質の状態が推察でき、下のグラフでは孔口湧水量の推移がわかります。

地質の状態の推察にあたっては、ボーリング削孔時の記録（例：回転停止等 緑字で表記）などについても、この情報だけで確定的に扱うことができるものではありませんが、参考として定期的に確認することとしています。

- 先進坑を県境付近まで掘削のうえで高速長尺先進ボーリングやコアボーリングを実施することにより、トンネルを掘削する区間に沿った地質や地下水の状況を、水平方向に連続的に把握し技術的なデータを得ることができるため、トンネル湧水に関する不確実性を低減し、地域の皆さまのご懸念の解消につなげていくことができると考えます。

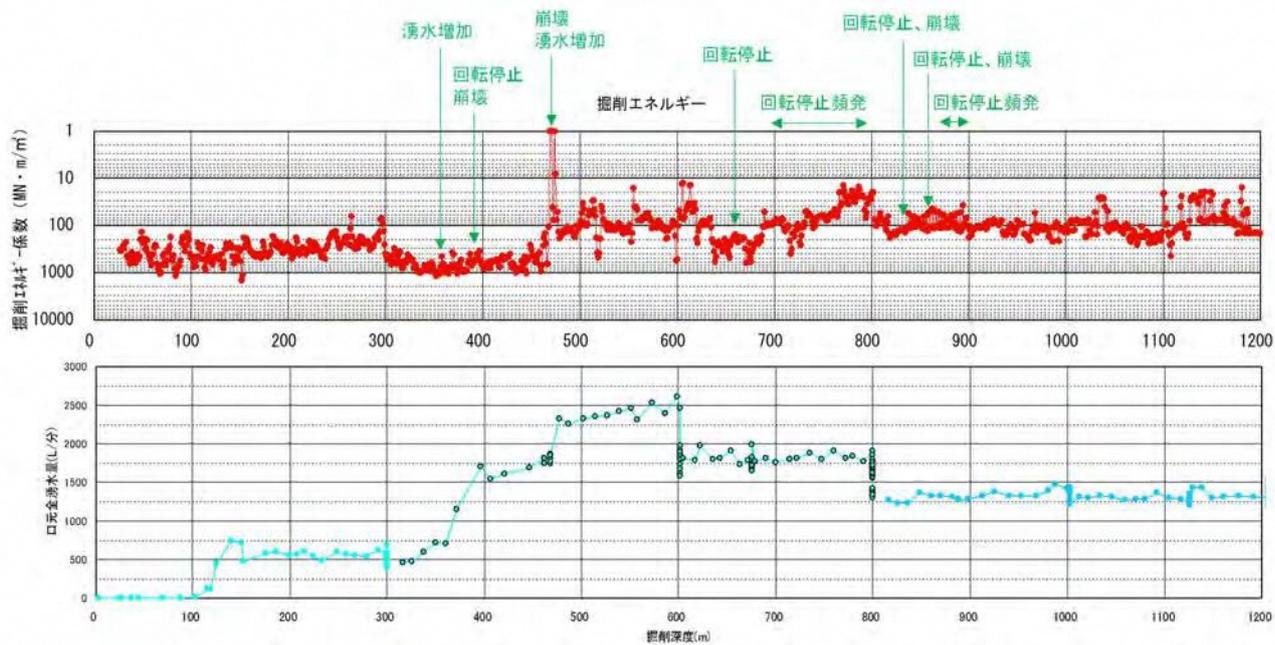


図 13 高速長尺先進ボーリングの調査結果

- また、新技術への挑戦として、コアチューブによるコア採取など、高速長尺先進ボーリングでは難しいコアの採取も試みる計画です。(写真 1)

- コアの採取

ボーリング先端の削孔ビットをトリコンビットからコアチューブ付きのリングビットへ換装し、マシン給圧等により1～2m程度のコアを採取する方法で実施します。これまで高速長尺先進ボーリングでコア採取を実施した実績は少なく、確実にコアが採取できない可能性があります。コア採取が成功した場合は、断層特有の破砕物の有無等を確認します。

なお、県境付近に向けて令和5年2月から実施している高速長尺先進ボーリングにおいては、並行してコアボーリングを実施することから、実施しません。



写真 1 コア採取ツール (コアチューブ：参考)

- ・掘削速度、ロッド回転トルク、コントロールボーリング記録等

掘削データの新たな活用方法の挑戦として、概略的な地層の走向・傾斜の推察に取り組みます。具体的には先端ビットが地山内の地層の走向や傾斜により、わずかに先行して着岩することで、そこが回転支点となり、ボーリング孔がある一定方向へ動こう（上下左右）とする動きが見られます。これを修正するためにコントロールボーリングを行いますが、この特性を活かし、他の調査結果と組み合わせて概略的な地層の走向や傾斜等を推察します。また、削孔時のデータから地質の脆い箇所や送水量・排水量のバランスなどを総合的に見ていくことで、地質の変化や脆い箇所などを精度よく把握し、地質・地山に関する場所ごとの情報を更新していきます。

- ・湧水量、水質の測定

湧水については、孔口での湧水量測定に併せて、水温、pH、電気伝導度も測定する計画とします。また、孔口で湧水圧の測定を行うとともに、湧水の化学的な成分分析を実施します。

湧水の観点では、孔口湧水量を測定し増加量や増加している区間を確認するとともに、孔口湧水の水温やpH、電気伝導度などの測定を併せて行い、調査時における湧水変化を量と質をもって連続的に把握することで、地表水との連続性が疑われる箇所を推定し、さらには、湧水の化学的な成分分析等を行うことで掘削時の影響に関するリスク分析、対策を検討します。図 14 は、広河原斜坑における高速長尺先進ボーリングの湧水量のグラフです。湧水量だけではなく、湧水の増加量や増加している区間などがわかります。図 15 は、湧水の水質（電気伝導度）を計測した結果です。この広河原斜坑のデータでは湧水量がやや増加している箇所を含め、水質が急激に変化している箇所はありませんが、仮にそうした箇所があれば地表の水との連続性が疑われるため、重点を置いて管理する必要がある箇所となります。

なお、孔壁を補強するためのセメンチングを行った後においては、しばらく削孔水を循環させ、その影響を取り除いた上で測定を行うものの、セメントミルクに含まれている物質の影響が残る場合があるため、そうした影響を含めて考察を行います。



図 1 4 広河原斜坑における高速長尺先進ボーリングの湧水量計測結果

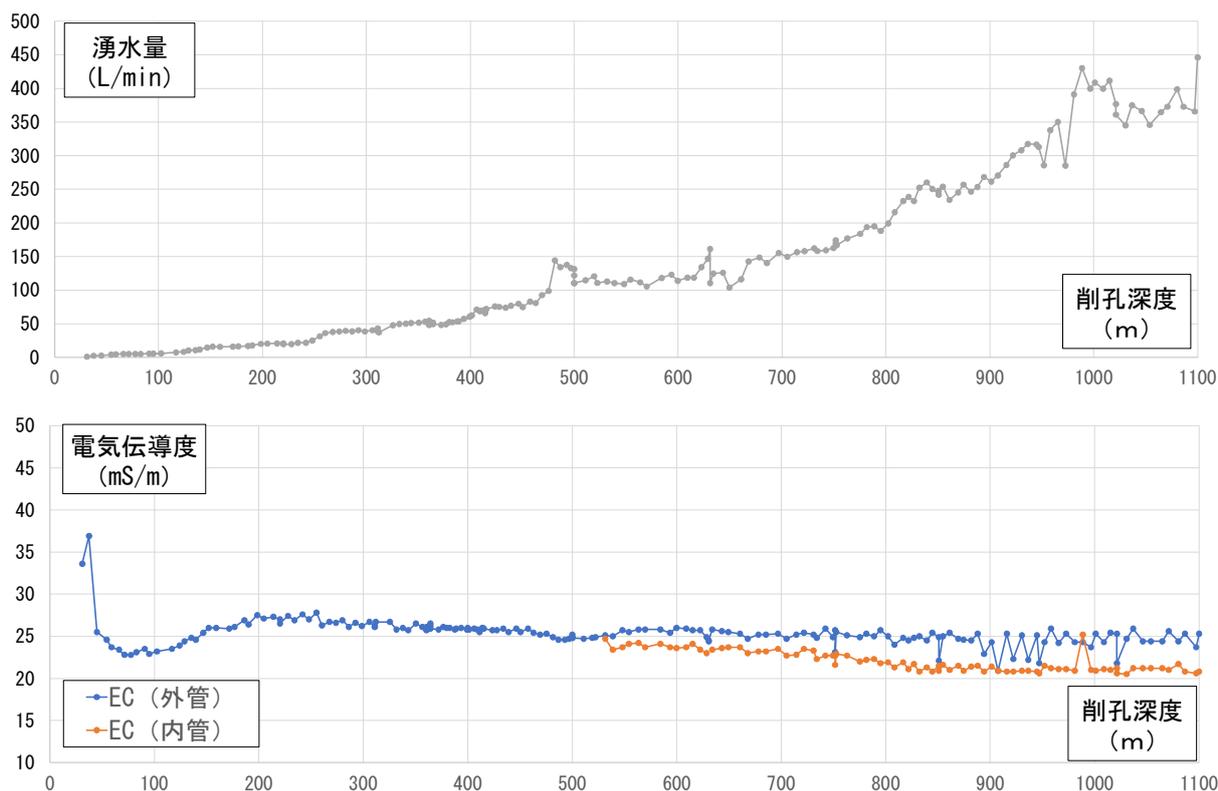


図 15 広河原斜坑の高速長尺先進ボーリングの湧水の水質計測結果

・湧水圧の測定

山梨県境までのボーリングにおいて、削孔位置100m付近の湧水圧測定は、孔口から100m付近に想定する断層が挟在する付近で平均湧水圧を測定します。断層部を挟んで平均湧水圧を測定することで、当該区間の被圧水頭の確認や平均透水係数を算出します。

表1 高速長尺先進ボーリング調査の項目等における「孔内での湧水圧測定への挑戦」について、水平方向のボーリング孔で湧水圧を測定する方法について基準等が無い場合、JGS1322（地盤工学会基準 注水による岩盤の透水試験方法）を参考に試験を実施します。具体的な手順は図16に示すとおりです。高速長尺先進ボーリングの削孔が断層②に到達し、断層部の粘土層を確認した後に、湧水圧測定へ取り掛かる計画とします。なお、高速長尺先進ボーリングにおける孔内での湧水圧測定については、湧水量が多い場合やボーリング孔の延長が長いとパッカーが上手く挿入できないまたは膨らまずに止水区間を作れないなど、湧水圧を測定できない場合があります。

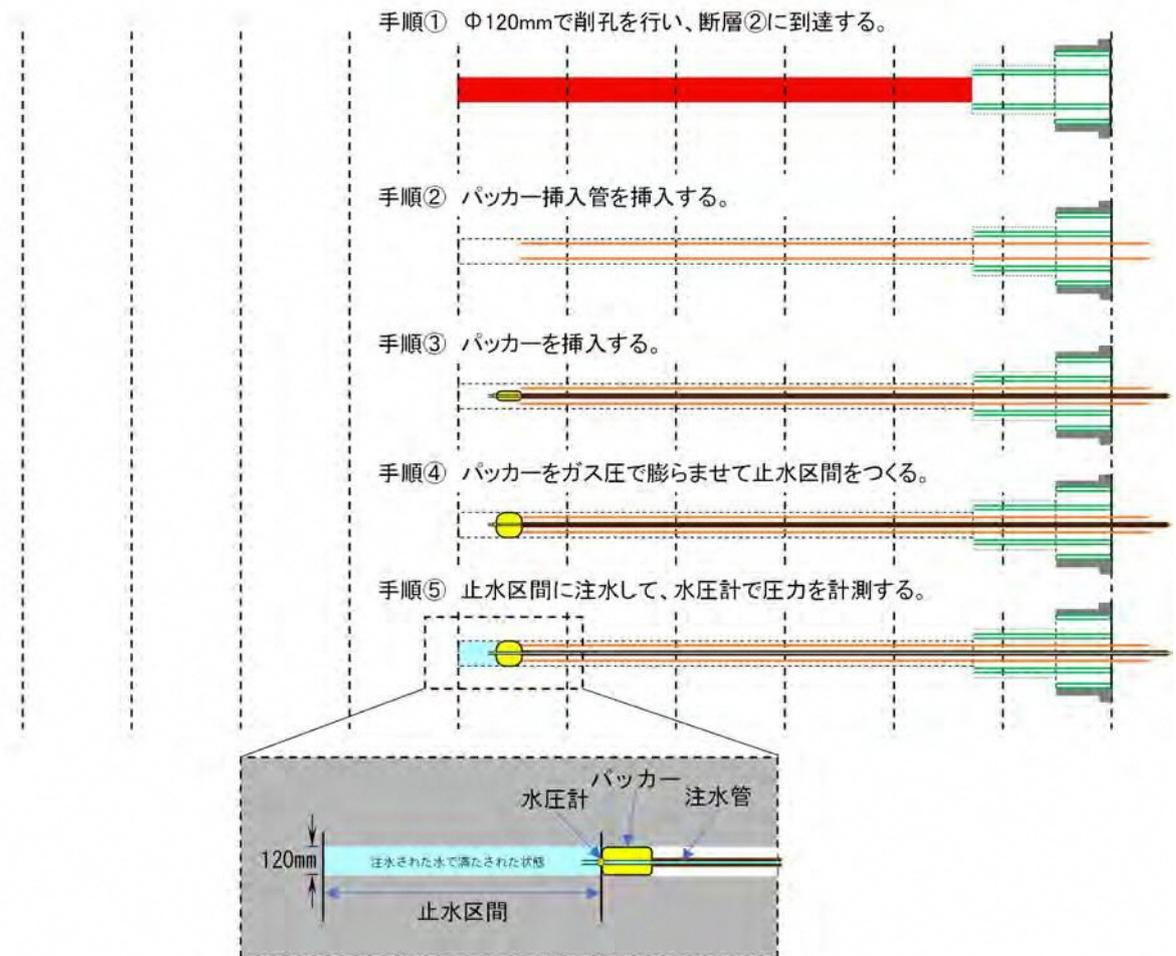
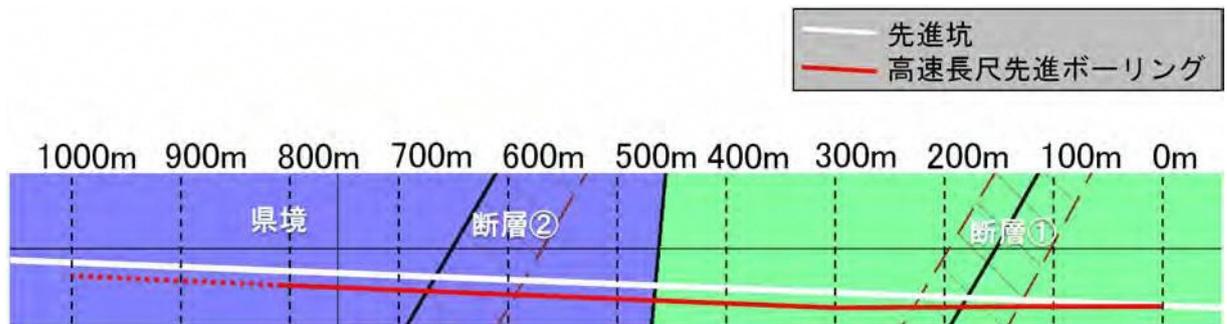


図 16 孔内での湧水圧測定の手順

・湧水の化学的な成分分析

溶存イオン計8項目（ナトリウムイオン (Na^+)、カリウムイオン (K^+)、カルシウムイオン (Ca^{2+})、マグネシウムイオン (Mg^{2+})、塩化物イオン (Cl^-)、重炭酸イオン (HCO_3^-)、硫酸イオン (SO_4^{2-})、硝酸イオン (NO_3^-)) の測定その他、酸素・水素安定同位体比の測定による涵養標高の推定、トレーサーを用いた地下水の涵養年代に関する測定を行います。

トレーサーとしては、深層の地下水であることから半減期が約5,730年と長

い¹⁴C（炭素）の放射性同位体を使用しますが、地表からの水を引き込んでいないかの判断に資するため、半減期が約12.3年と短い³H（トリチウム）の放射性同位体も分析し、判断を行うためのバックデータとして活用します。さらに、トリチウムが検出された場合は、SF₆（六フッ化硫黄）でさらに涵養年数の短い期間に対する分析を行います。

県境までの山梨県内のボーリングにおいては、φ200mm削孔中に2回（堅岩部及び断層部と想定）、φ200mm削孔完了後に1回（断層部と想定）ボーリング湧水を採水し、分析を行う計画としています。これらの分析により堅岩部と断層部における現状での違いを把握するとともに、地表からの水を引き込んでいないかの判断に活用します。

なお、孔壁を補強するためのセメンチングを行った後においては、しばらく削孔水を循環させ、その影響を取り除いたうえで採水・分析を行うものの、セメントミルクに含まれている物質の影響が残る場合があるため、そうした影響を含めて考察を行います。

- また、これまで行っている水収支解析においては、既往のボーリング調査における湧水圧試験の結果や有効間隙率試験の結果を参照しつつ、河川流量の実測値と予測値との再現性の検証において最も再現性が良かった透水係数、有効間隙率の組合せからこれらを設定していました。今回、高速長尺先進ボーリング時に実施する湧水圧測定の結果等から現地での平均的な透水係数を把握します。（水収支解析のイメージを図 17 に示します。）

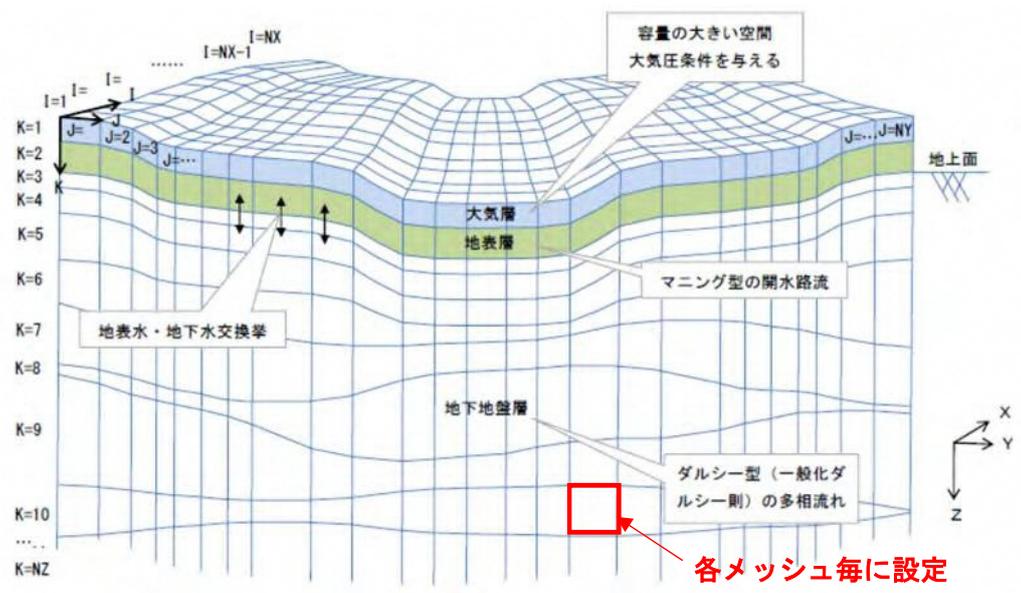


図 17 水収支解析モデル（静岡市モデル）

- 断層帯については、一つの大きな幅をもった区間として設定していました。高速長尺先進ボーリングで地質分布の確認を行い、路線に沿って断層帯の延長や、断層帯と堅岩部の分布状況を把握してまいります（図 18）。

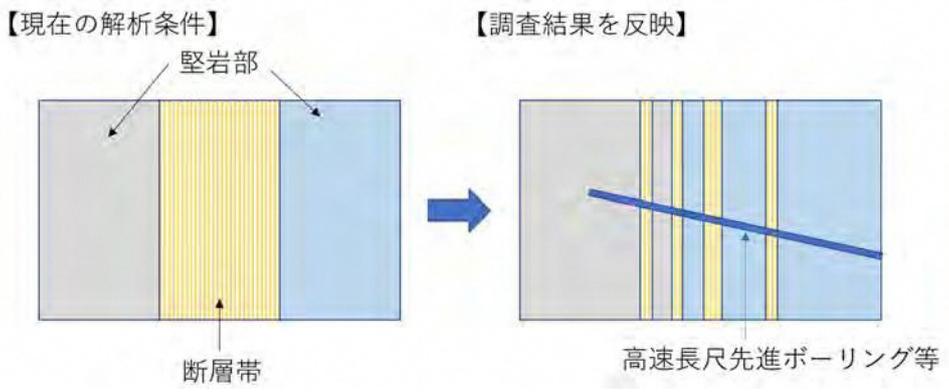


図 18 調査による地盤区分の把握のイメージ

- ・地質・地山と湧水の基礎的なデータを個々に見るのではなく総合的に考察・分析・評価することで、トンネル掘削に関する影響について不確実性の低減を可能な限り図るよう、調査結果をまとめていきます。
- ・調査の結果は専門部会で報告し、地域の皆さまのご懸念の解消につなげてまいります。

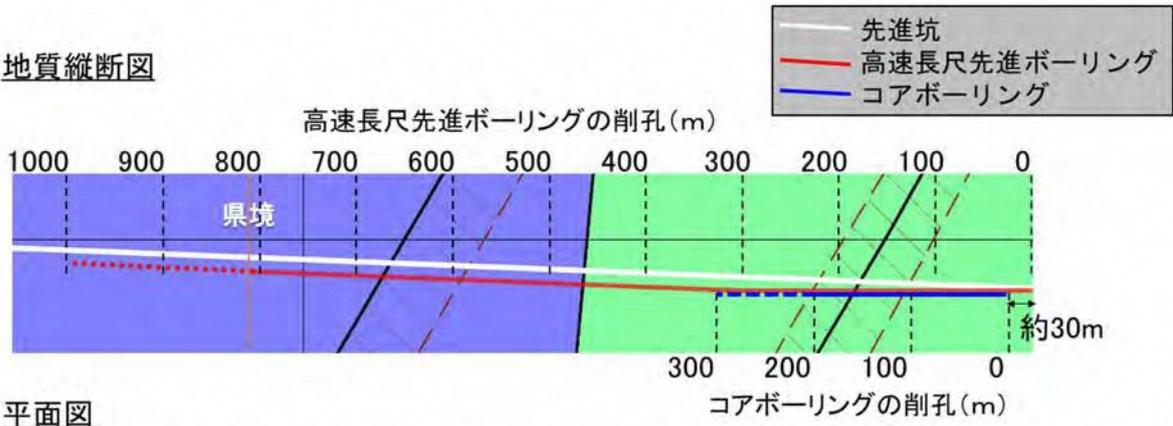
3) コアボーリング

- ・高速長尺先進ボーリングによる調査で、地質の脆い区間や湧水量が急激に増える区間などが確認された場合は、コアボーリングにより詳細を確認します。
- ・コアボーリングで計画する調査項目やコアボーリングの調査によってわかることと、不確実性の低減等に向けたデータの活用方法を表 2 にまとめます。
- ・県境に向けた高速長尺先進ボーリングを実施した結果、ボーリング湧水量は非常に少ないものの、削孔位置 1 1 5 m 付近より地質の脆い区間が確認されました。地質等をより詳細に確認するため、高速長尺先進ボーリングとは別にコアボーリングを実施します。
- ・別にコアボーリングを行うことから、現在進めている山梨県境に向けた高速長尺先進ボーリングにおけるコア採取を兼ねる計画とします。
- ・コアボーリングの削孔精度が確保できる延長は 2 0 0 m 程度であり、今回の場合、既往の地質縦断図から削孔位置 1 1 5 m 付近の断層を含む地質の脆い区間は、概ね現在の先進坑の切羽付近から 1 0 0 ~ 2 0 0 m 程度の位置であることから、先進坑を掘削して近づけた後に実施するのではなく、現在の切羽付近から直接実施する計画としました。
- ・なお、削孔自体は 2 0 0 m を超える延長で実施できるよう準備し（最長 3 0 0 m 程度）、脆い区間の確認が完了した箇所ですべて終了します（図 1 9）。
- ・コアボーリングの具体的な削孔手順を図 2 0 に示します。孔口より深度 2 0 m 付近までは直径 2 4 2 mm、1 段目（深度 1 2 0 m 付近まで）は 1 3 8 mm、2 段目（深度 2 2 0 m 付近まで）は 1 1 3 mm、3 段目（深度 2 2 0 m 付近以降）は 8 3 mm の孔径で削孔を行い、それぞれの区間でコアを採取します。地質の状況等によっては削孔手順を変更する場合があります。

表 2 コアボーリングの調査項目

調査項目		測定方法	測定頻度	調査によってわかること	活用方法	
地質・地山	コア観察	<ul style="list-style-type: none"> 採取したコアの観察（岩種、風化、割れ目状態、変質等）（断層粘土の挟在、褶曲構造） コア採取に関するデータの整理（採取率、最大コア長、RQD等） 	<ul style="list-style-type: none"> 全試料延長 	<ul style="list-style-type: none"> 地質等変化箇所など特定箇所における地質性状の詳細把握 岩盤の割れ目の幅や間隔の把握 地質の脆い区間の規模（幅等）を把握 	<ul style="list-style-type: none"> 既往地質図との比較（場所毎の地盤区分の確認） 地質弱部の評価 	
	物理特性・力学特性	<ul style="list-style-type: none"> 採取コアを整形し各種試験を実施（物理試験） 密度、含水比、有効間隙率、超音波速度（力学試験） 一軸圧縮試験、三軸圧縮試験（必要な場合） 	<ul style="list-style-type: none"> 地質の脆い区間や湧水量が変化した箇所実施 	<ul style="list-style-type: none"> 岩石が持つ強度や特性の把握 	<ul style="list-style-type: none"> 有効間隙率の状況確認 地質弱部の評価 	
湧水	孔口湧水量（削孔中）	<ul style="list-style-type: none"> 容器法による測定 電磁流量計による変動傾向の把握 	<ul style="list-style-type: none"> 容器法は1日2回を基本。湧水量が大きく変化する箇所やビット交換時なども追加で実施 電磁流量計は常時記録 	<ul style="list-style-type: none"> 湧水の増加傾向から湧水量の多い区間の把握 	<ul style="list-style-type: none"> 地表水との連続性が疑われる箇所を推定 掘削時の影響に関するリスク分析、対策 	
	孔口湧水量（削孔完了時）	<ul style="list-style-type: none"> タービン式流量計 	<ul style="list-style-type: none"> 常時 			
	孔口湧水の水質（水温、pH、電気伝導度）	<ul style="list-style-type: none"> デジタル水温計、pH計測器、導電率計による計測 	<ul style="list-style-type: none"> 容器法による湧水量の測定と同時に実施 	<ul style="list-style-type: none"> 掘削の進捗に伴う変化の傾向を湧水量とも関連付けて確認 		
	湧水圧測定	<ul style="list-style-type: none"> 孔口で止水し調査区間平均湧水圧を測定 特定箇所における孔内湧水圧測定 	<ul style="list-style-type: none"> 湧水量が変化した箇所とその前後で実施 孔内湧水圧測定は高速長尺先進ボーリングの結果を踏まえ実施 	<ul style="list-style-type: none"> 特定の調査区間における透水係数を算出 場所毎の圧力変化から地下水の流動傾向を確認 		<ul style="list-style-type: none"> 特定の調査区間における透水係数の確認 地下水移動量の把握
	湧水の化学的な成分分析	<ul style="list-style-type: none"> 溶存イオン8項目、酸素・水素安定同位体比、不活性ガス（SF₆）、トリチウム等 	<ul style="list-style-type: none"> 湧水圧測定時に採水 湧水量測定で変化がある時は追加実施 	<ul style="list-style-type: none"> シュティフダイアグラム作成、涵養標高・涵養年代の算出 		<ul style="list-style-type: none"> 特定の調査区間における湧水の起源について考察 掘削時の影響に関するリスク分析、対策

地質縦断面図



平面図

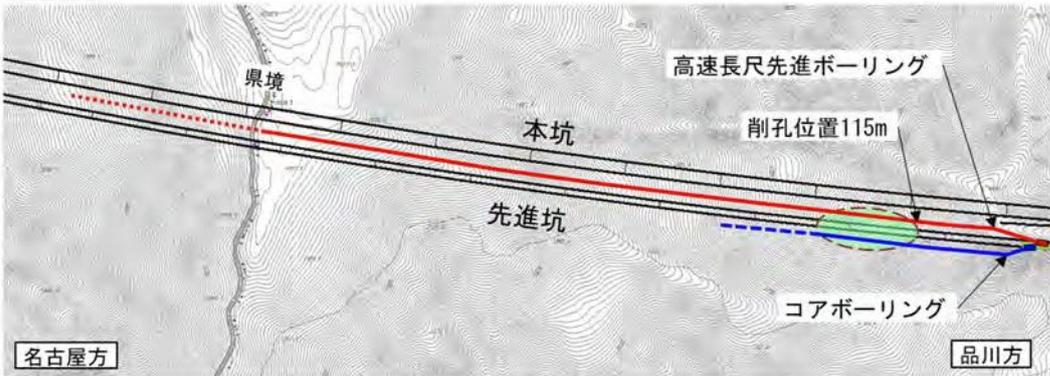


図 19 県境に向けたコアボーリング計画

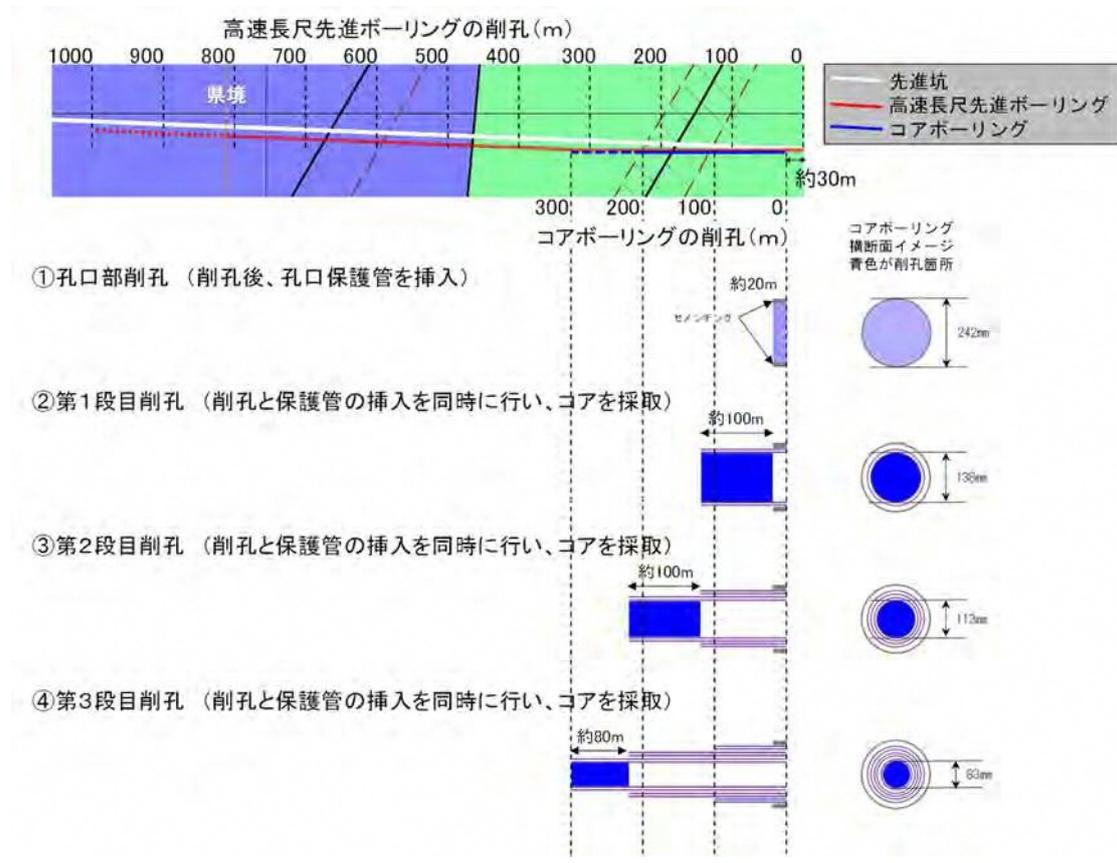


図 20 コアボーリングの具体的な削孔手順

- ・コアボーリングでは、取得したコアサンプルによる物理特性・力学特性の確認や、ボーリング孔を利用した現場透水試験等によって現地での水理定数のデータ（透水係数、有効間隙率）を直接把握することができるため、不確実性の低減につなげることができると考えています。
- ・一方、コアボーリングは高速長尺先進ボーリングのようなコントロール機能を有していないことなどから長距離の削孔は難しく、削孔深度が深くなるにつれ、左右に大きく曲がったり、下向きに大きく垂れ下がるなど、削孔精度に大きな課題があるため、この点も考慮のうえで実施を検討いたします。
- ・調査結果の報告は、高速長尺先進ボーリングと同様に行います。詳細は、6) 調査状況の報告でご説明します。
- ・今回進めている山梨県境に向けたのボーリングにおいては、図 21 のように高速長尺先進ボーリングとコアボーリングを同時に行う場合があります。

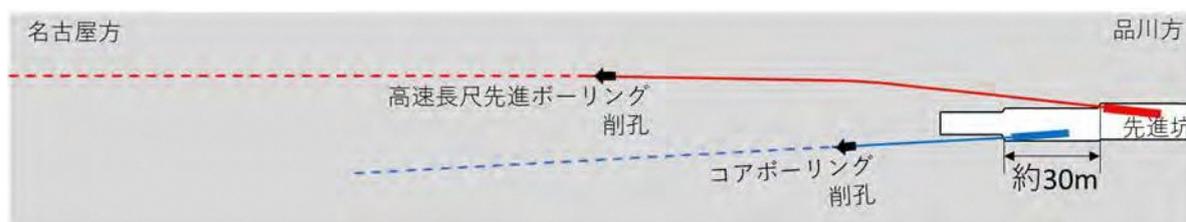


図 21 高速長尺先進ボーリングとコアボーリングの平面イメージ図

- ・表2に記載した調査項目のうち、孔口湧水量、孔口湧水の水質については高速長尺先進ボーリングと同様に実施し、結果を報告・公表します。
- ・湧水圧測定、湧水の化学的な成分分析の実施箇所を図22に示します。なお、前回までの専門部会のご意見を踏まえ、測定方法及び実施箇所を変更しております。

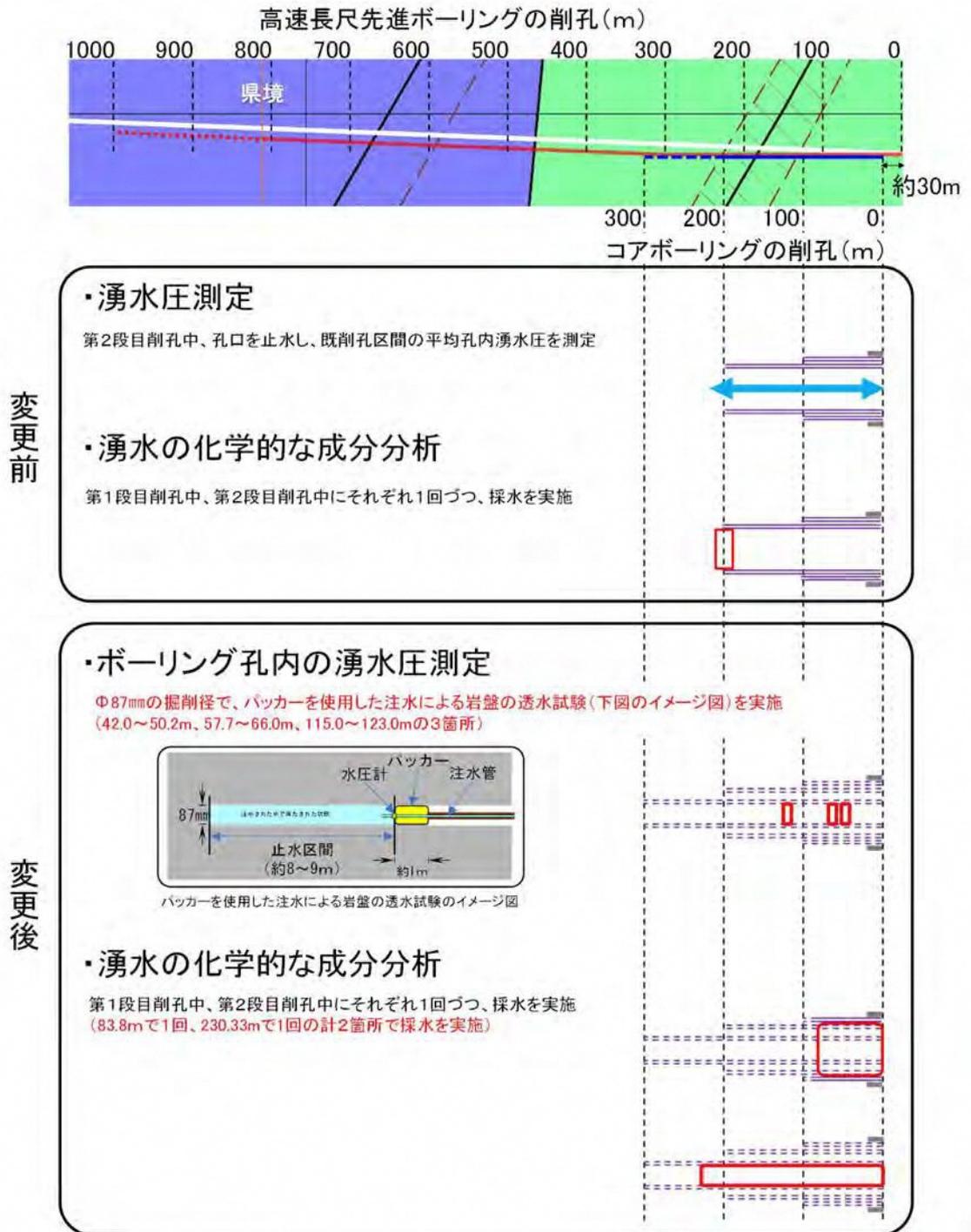


図 22 コアボーリングの湧水圧、成分分析の実施箇所

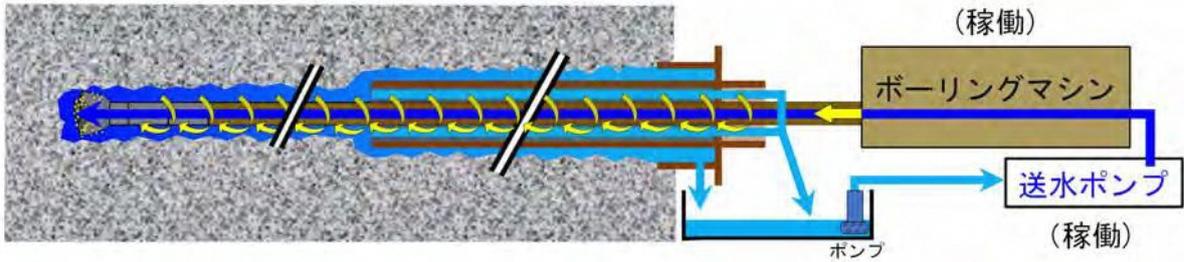
4) ボーリングにおける湧水量の測定方法

- ・ボーリングにおける湧水量の具体的な測定方法は、図 23 のとおりです。
- ・湧水量は、1日2回の容器による計測に加え、電磁流量計による常時計測を行うことにより、湧水の状況を常時把握できるようにします。
- ・ボーリングの削孔作業時は、送水ポンプにより送水しながら削孔するため、削孔のために送水した水とボーリング孔内に流入する湧水が、あわせてボーリング孔口から出てくるため、孔口において湧水のみを測定することはできません。
- ・そこで、ボーリングの削孔期間中は1日2回、削孔作業を一時中断のうえ送水ポンプからの送水を停止し、孔口からの水量が落ち着いたのちにそれを湧水として容器にて測定します。
- ・また、上述の容器による測定に加え、削孔用に送水する水（削孔水）と孔口より出る湧水（削孔水と地下水が混じった状態）をそれぞれ電磁流量計により計測します。削孔水と孔口より出る湧水では孔内でのリターン時間によるタイムラグが生じるものの、差を取るにより湧水量を算出することが可能（※）です。これにより湧水量の変動傾向を常時把握します。

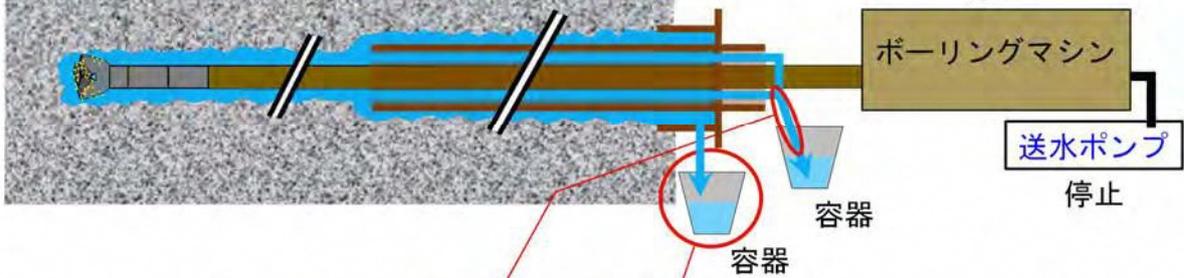
※現在実施中の高速長尺先進ボーリングにおける削孔作業時においては、任意の削孔水量を機械的に設定します。よって、地山や削孔の状況等によって多少の誤差は生じるものの、削孔作業中は一定量の削孔水が送水され続けます。そのため「削孔水と地下水が混じった状態」から「削孔水（一定量）」を差し引くことにより、湧水量を算出することが可能となります。算出結果の一例をグラフに示します。（図 24）また、電磁流量計による流量測定では、測定部の管路を流水が満たす必要があり、そのためには 100L/min 程度の流量が必要です。現在、湧水量は少なく、削孔水を送水しなければ測定できない状態となっておりますが、グラフの緑色ラインあたりまで湧水量が増加すれば、削孔水を送水しなくても測定できる状態となります。

- ・このように、ボーリングの削孔期間中、湧水量の測定は1日2回の容器による計測を基本としつつ、電磁流量計による湧水量の変動傾向を常時把握することで、湧水量の急激な変化の有無を合わせて把握していきます。
- ・ボーリングによる削孔が完了し、ボーリングマシンなど削孔に必要な機器を撤去した後は、流量計を設置のうえ湧水を常時計測します。
- ・高速長尺先進ボーリング（ノンコアボーリング）、コアボーリングに関わらず、上述の測定方法により、湧水量を測定します。

ボーリング削孔中の水の流れ



ボーリング削孔中の容器による湧水量計測 (削孔を一時停止し、約1時間後) 停止



容器による計測 (写真)

ボーリング削孔中の電磁流量計による湧水量計測

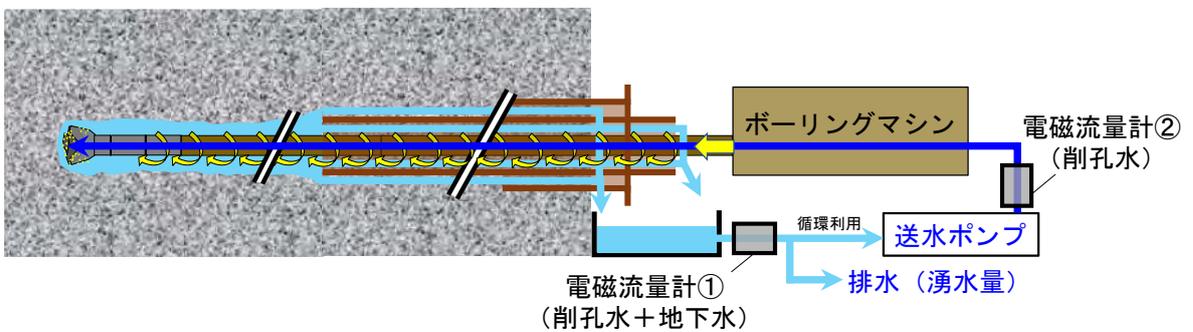
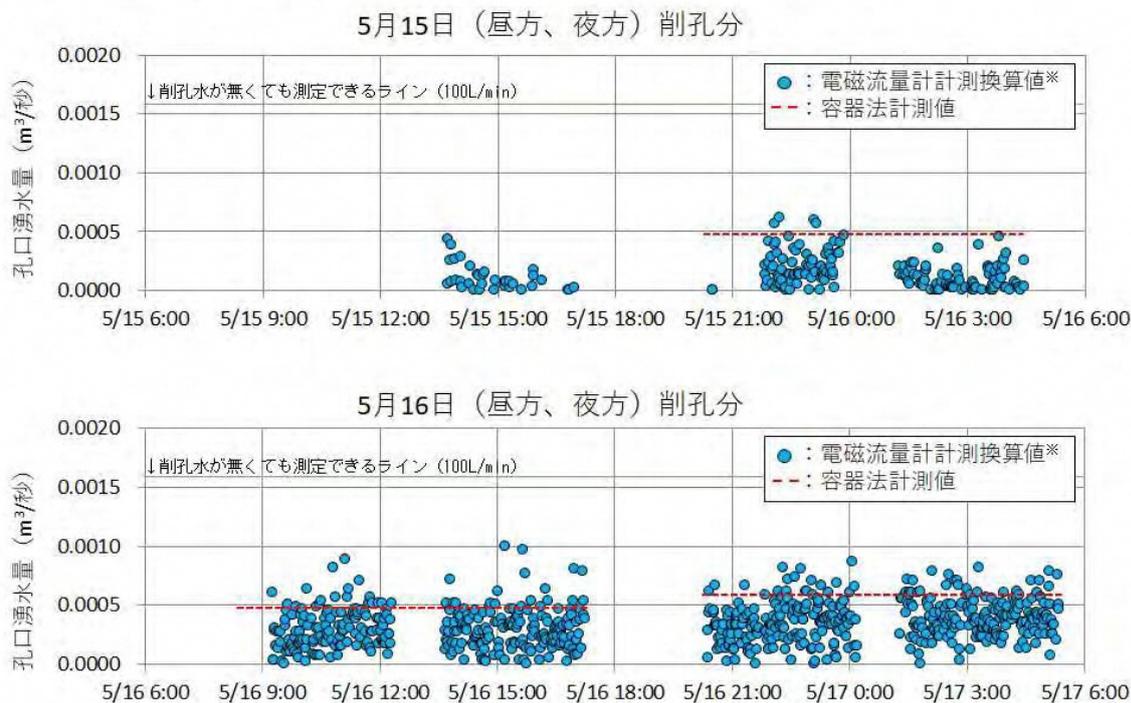


図 2 3 ボーリングにおける湧水量の測定方法 (高速長尺先進ボーリングの場合)

電磁流量計による削孔中の湧水量計測



※グラフ中の電磁流量計計測換算値は、計測生値から送水量400L/minを差し引いたもので、削孔中のみプロットしている。

図 2 4 電磁流量計による削孔中の湧水量計測

5) ボーリングにおける湧水への対応

【山梨県内において県境付近に向けて実施する高速長尺先進ボーリング】

○県境から約300m以内の区間を調査するにあたって

- ・第12回地質構造・水資源部会専門部会において、慎重に削孔を進める県境に近い区間について、孔口から500m以降（県境から約300m以内）と設定しました。
- ・この区間を慎重に管理してボーリングを行うにあたり、既往の調査等で知得している様々なデータ等の検証や本ボーリング調査でこれまでに得られた結果の評価を行い、この区間で発生する湧水の量について考察を行いました。

＜既往調査、データの検証＞

- ・高速長尺先進ボーリングを行う区間と山梨県内の断層①と断層②の位置を地質縦断図を図25に示します。

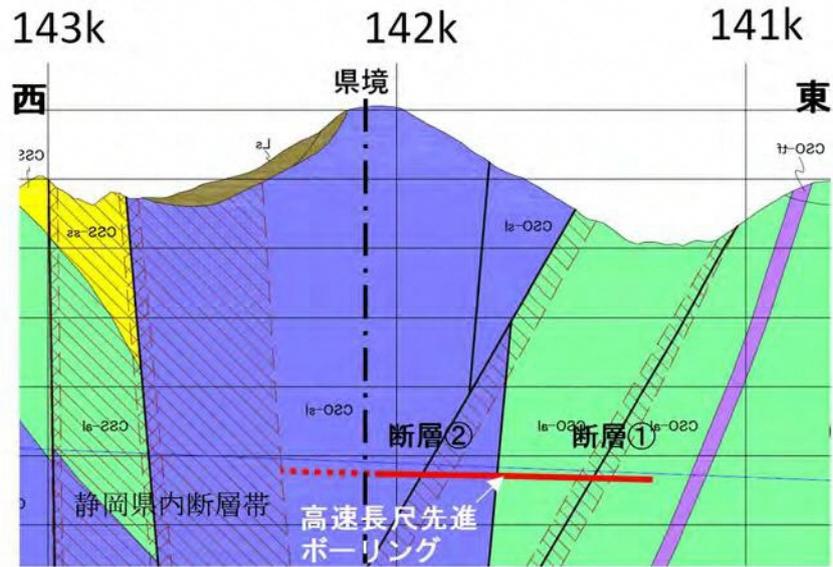


図 25 地質縦断図

- ・断層①と断層②は、既往調査の結果から元々1つの断層が途中で分岐していると考えており、その地質平面図を図 26 に示します。
- ・断層①および断層②ともに、走向方向は西北西 - 東南東方向で一致しており、静岡県内断層帯のような南アルプス四万十主帯を構成する主要断層の走向方向（北北東-南南西）とは異なるものであること、また、山梨県側で西側に約70°で傾落している傾向も同じであり、地質平面図より、静岡県内断層帯と断層①の関係は、静岡県内断層帯と断層②の関係と類似していると考えています（図 26）。

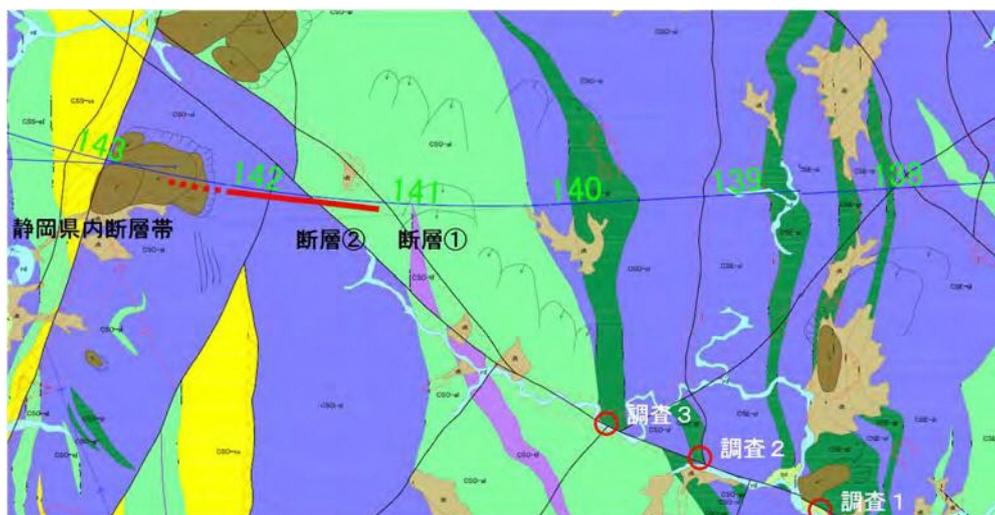


図 26 地質平面図

- ・断層の性状を現地で確認するため、断層が分岐する前の状況確認を中心に当社および地質の専門の調査会社と現地踏査による地質調査を令和5年4月18日に行いました。

現地状況を踏まえ、現地踏査で露頭確認した位置を○印で示します(図26、図27)。



図 27 地表踏査位置図

- ・まず、調査1地点で、粘板岩と緑色岩の断層露頭を確認できました。この断層露頭は、断層①と断層②が内河内川下流側で分岐する前の状態で分布している箇所となります。地表走向は西北西-東南東(N50W80)で、地質平面図で考える走向と同様であることを確認しました。露頭の確認では、明瞭な断層粘土等は確認できませんでしたが、地層境界を中心に幅約30mで葉片状の割れ目が発達していることから、破碎の幅をもった断層が卓越しているものと考えます(写真2)。
- ・一方で割れ目の発達に対して、地山からの湧水は見られず、ドライ状態でした。



写真 2 調査 1 地点露頭状況（内河内川左岸側）

- ・次に調査 2 地点です。調査 2 は八丁峠という急坂登山道の途中であり、調査 2 の手前から西北西方向に断層鞍部が確認できました。また露頭部では、粘板岩と緑色岩の露頭を確認しました。調査 1 との平面走向の連続性が確認できたほか、地山からの湧水は確認できませんでした（写真 3）。
 なお、地形が急峻なため、露頭部を直近で確認することはできませんでした。



写真 3 調査 2 地点断層鞍部遠望と露頭状況

- ・最後に調査3地点です。八丁峠尾根部から内河内川へ登山道を降りた位置で露頭を確認しました。岩盤のゆるみにより明瞭な岩盤の性状は確認できませんでした。が、調査1、調査2と同様に地山からの湧水は見られませんでした。
- ・今回の踏査の結果、断層①と断層②が分岐する前の性状として地表部で湧水は見られず、また今回の高速長尺先進ボーリング調査で断層①の脆い区間を調査した時にも湧水量が少ない状態であったことから鑑みると、この断層は湧水が少ないのではないかと考えています。

<山梨県内高速長尺先進ボーリング調査結果の評価（地質・湧水量）>

- ・高速長尺先進ボーリングにおいて、孔口から115m付近で断層①と考えられる地質（スライム）の変化を捉えました。これは、図25の地質縦断図で想定する位置から東側へ30m程度ずれて出現したこととなります。
- ・孔口から122mまでの削孔時スライムを全般確認したところ、地質縦断図では砂岩頁岩互層と考えていましたが、全て粘板岩の単一岩盤で推移しています（資料4-3（別冊）（2）4）地質の状況参照）。

注）頁岩、粘板岩ともに基岩は泥岩であり、岩石の性質が非常に似ているため明確な区別が難しい岩種です。しかし、高速長尺先進ボーリングのスライムは、広河原斜坑掘削時に確認した粘板岩と同じであるため、粘板岩として判定しています。

- ・孔口から122mまでの粘板岩区間における掘削エネルギー係数は脆い区間を除いて、500～1000MN・m/m³と比較的硬質側で推移しています。
- ・孔口から138mの地点以降の地質も、一部硬軟を繰り返す箇所はあるものの、硬い粘板岩が主体となっていることを確認しました（図28）。

○高速長尺先進ボーリングの掘削エネルギー

- ・掘削エネルギーとは取得した掘削機械データを用いて削孔岩盤の単位体積あたりに消費するエネルギーを算出したものです。
- ・一定の力でビットを岩盤に押し付けて削孔すれば、破碎質な岩盤ほど削孔速度が速くなり、消費エネルギーは少なくなります。

【削孔位置（0m～300m）（県境まで815m～515m）】

※孔口部の0～10mは10m以深と掘削方式が異なり比較できないため、掘削エネルギーを算出していません。

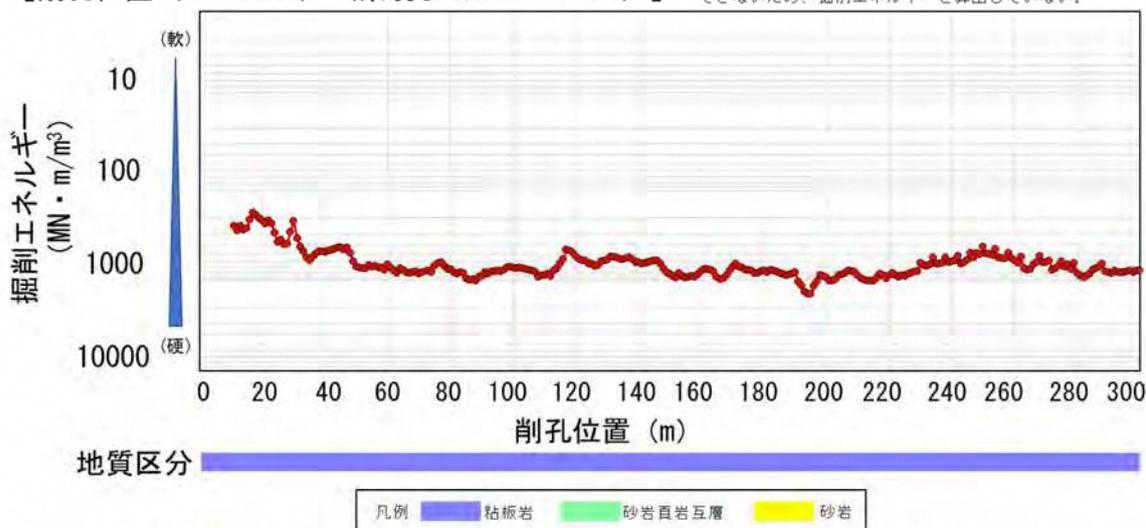


図 28 掘削エネルギー係数（孔口から300mまで）

- ・地質縦断図では、断層②から静岡県内断層帯にかけて粘板岩が連続すると考えており、本ボーリング調査で確認している粘板岩は、静岡県内の断層帯まで連続して推移する傾向と考えます。
- ・過去に大井川（東俣）から山梨県側に向けて行った斜め下向きボーリング調査において、山梨県よりの区間（削孔区間800m～1200m：今回の調査区間の西側に位置する区間）でも、同様に粘板岩主体の地質であったことから、その中間に位置する断層②から県境付近の区間も同様に粘板岩主体の地質であると考えます（図 29）。

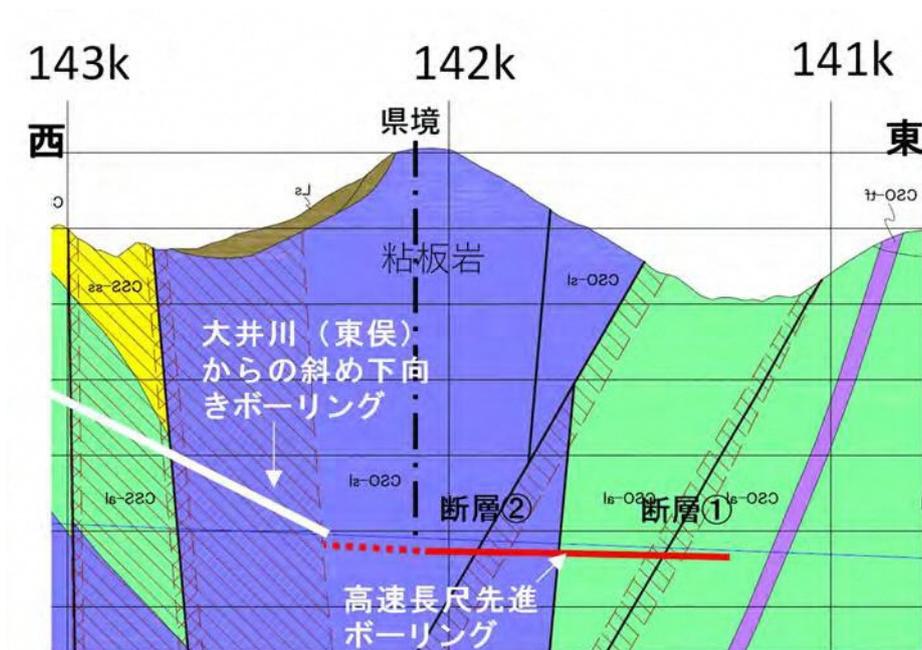


図 29 地質縦断図（大井川東俣からの斜め下向きボーリング入り）

- ・孔口から122mまでの区間におけるボーリング湧水量（孔口）は「資料4-3（別冊）（2）2）孔口湧水量」に示しており、平均約0.00011m³/秒（約7ℓ/分）となっています。
- 同区間においては、断層①と脆い区間の一部を確認しましたが、この区間においても、湧水量の増加は見られていません。
- ・その後、令和5年5月27日までに、静岡 - 山梨県境から459m（孔口から356m）の地点まで削孔を行っており、湧水量は掘削の進捗によりやや増加したものの、断層を含め、最大で0.00090m³/秒（1秒間に900ml）と引き続き少ない状況が続いています。

- ・参考に広河原斜坑で実施したボーリング調査中の最大湧水量（図 1 4 : 概ね 0. 0 0 2 5 m³/秒～0. 0 0 6 7 m³/秒程度）に比べ、同等の状況になっていません。
- ・こうした湧水の状況は、P 5 で示すとおり、東西方向に大きな地圧を受けて圧縮されているため、岩盤内の透水性を左右する亀裂が密着し、水が非常に浸透しにくい状況であることを裏付けているといえます。
- ・過去に大井川（東俣）から山梨県側に向けて行った斜め下向きボーリング調査において、山梨県よりの区間（削孔区間 8 0 0 m～1 2 0 0 m : 今回の調査区間の西側に位置する区間）でも、同様に破碎質であるものの湧水量の増加は少ない状況であり、その中間に位置する断層②から県境付近の区間も、同様に湧水量は少ないと想定されます。
- ・このように湧水の状況は、P 4 5 以降の「○調査中の管理」において湧水の管理値を定めていますが、実際の湧水の状況はこれよりも非常に小さい値となっています。
- ・湧水量の管理値の算出について、P 4 8 の脚注に示しており、この算出式を用いて静岡県は高速長尺先進ボーリングによる初期の湧水量を先進坑の 6 割程度と計算されましたが、あくまで突発的な湧水を予測するための式であり、継続的にその量が湧出する訳ではありません。実際には湧水量が時間とともに減少していくのが一般的です。
- ・さらに、高速長尺先進ボーリングの大きさは、約 1 2 0～2 0 0 mm、断面積は約 0. 0 1～0. 1 0 m²であり、先進坑の約 3 5 m²、本坑の約 1 0 0 m²に比較して非常に小さくなっています（図 8 参照）。
- ・静岡県内の断層帯では、水収支解析の結果として先進坑掘削時の湧水量を平均 0. 1 2～0. 2 1 m³/秒、最大 0. 2 9～0. 6 8 m³/秒と予測していますが（令和 5 年 3 月 2 0 日第 1 2 回地質構造・水資源部会専門部会 資料 1 「中央新幹線南アルプストンネル工事における県外流出量を大井川に戻す方策等について」）、一方でこの断層帯を対象に東俣から斜めボーリング（掘削径約 1 2 0 mm）を実施した際の湧水量は平均 0. 0 2 m³/秒程度、最大 0. 0 4 m³/秒程度に収まっています（P 1 8 図 1 3）。
- ・こうしたことから、高速長尺先進ボーリングによる湧水量は、トンネル掘削時ほどの量になることはないと考えています。

<山梨県内高速長尺先進ボーリング調査結果の評価（湧水圧試験）>

- ・山梨県内の断層①を含む孔口から50m～122mの区間で湧水圧測定を行いました。
- ・湧水圧測定の結果、孔口湧水圧は約0.04MPa、当該調査区間における平均透水係数は $2.39 \times 10^{-7} \text{ m/秒}$ と算出されました。

この透水係数は、非常に小さい値であり、先述した地質や湧水量の傾向からも透水性の小さい岩盤であることを補完する結果であると考えます。（図 30）

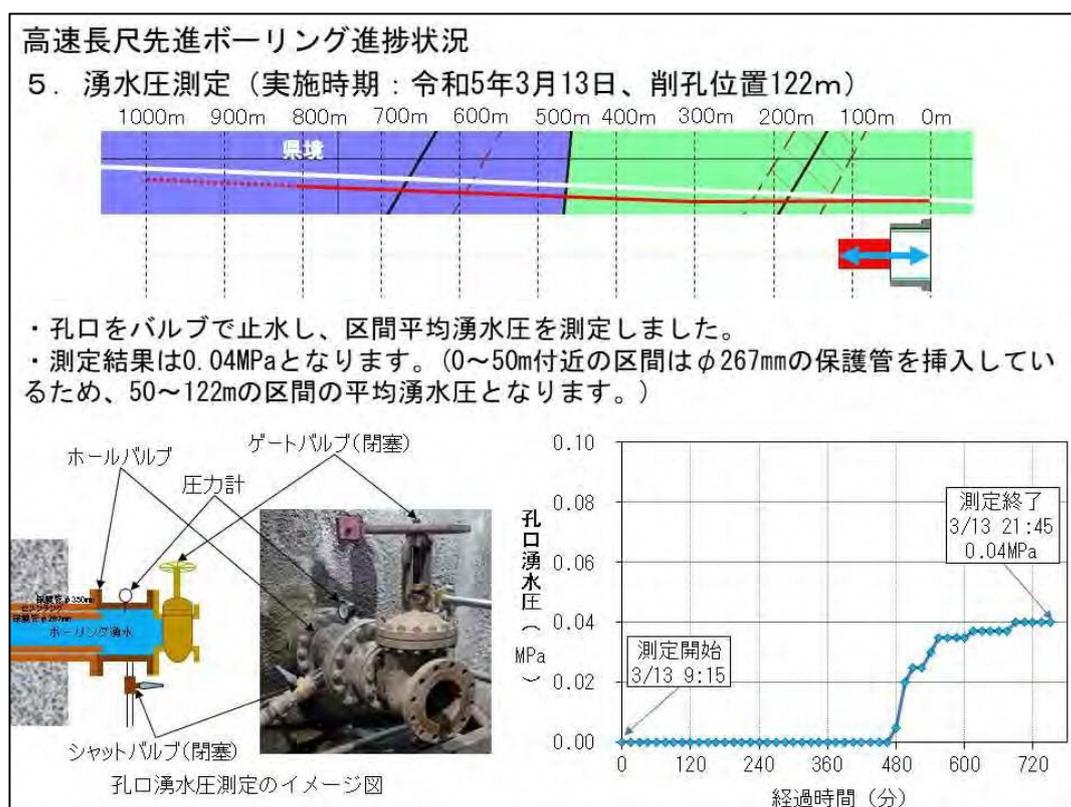


図 30 湧水圧測定結果

- ・今後、孔口から600m付近までの区間やコアボーリングでも湧水圧測定ならびに透水係数の算出を行う計画です。

<山梨県内の断層①付近でのコアボーリングによる確認>

- ・ P 2 7 3) コアボーリング に関する計画をお示ししました。
コアボーリングは、断層①とその前後の脆い区間での詳細を確認することとし、地質や地下水の状況を詳細に把握し、先進坑掘削時の湧水に関する不確実性を低減するとともに、先進坑掘削を安全に行うため、トンネル支保工の設計に用いるデータの評価・活用を行います。
- ・ コアボーリングで取得したコアの観察により地質弱部等の詳細（岩種、風化、割れ目状態、変質等）を確認したり、コアによる物理特性や力学特性を各種試験により把握したりすることで、より詳細なデータの取得・評価を行います。

<現調査時点におけるまとめ>

- ・過去のボーリング結果や今回の調査結果から四万十帯犬居層群～寸又川層群にかけての地質と湧水量の傾向として現調査時点で考えられることをまとめます。
 - 既往調査の結果等を総合すると山梨県内の断層①と断層②は類似性がある。
 - これまでの高速長尺先進ボーリングの結果、山梨県内の断層①を含めた区間においても、孔口湧水量は広河原斜坑施工時よりもさらに少ない。
 - 山梨県内の断層①の前後は、高速長尺先進ボーリングで比較的堅硬な粘板岩であることを確認しており、断層①を含む湧水圧試験の結果は透水性が低いことを示している。

- ・以上のことから、今後、山梨県内の断層②を超えて高速長尺先進ボーリングを行った場合においても、断層①の調査状況から鑑み、静岡県がご懸念されているような大量の湧水や自然環境への影響が生じる可能性は小さいと考えます。

○調査中の管理

- ・山梨県内を削孔中に生じる湧水について、調査中は削孔に必要な水をポンプで循環させる必要があることから、孔口から流します。
- ・調査中はP 3 2に示す方法で継続的に湧水量を測定します。
- ・特に地質や湧水の変化に注意しながら、慎重に削孔を進める県境に近い区間（図 3 1）において想定されるリスクについては、図 3 2のリスクマップ及び図 3 3～図 3 4のリスクマトリクスのとおり想定しました。その内容を考慮して、以下のとおり慎重に管理を行います。

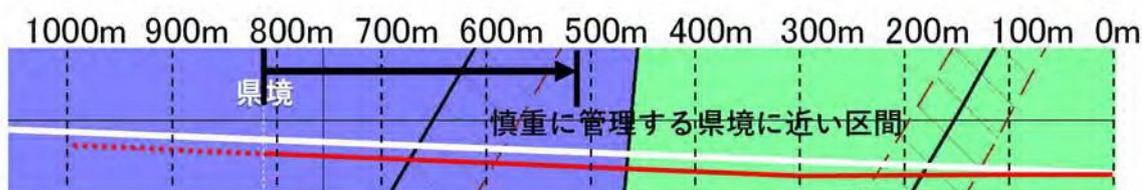


図 3 1 慎重に管理する県境に近い区間

（ボーリングの管理項目と管理値）

- ・ボーリングを実施する際には、P 2 0に示すように湧水の湧水量、水温、p H、電気伝導度を測定しますが、リスク要因となる湧水の発生量（削孔の進捗とともに、増加する湧水の量）に着目して管理値を設定し、管理を行います。
- ・水資源・生態系へのご懸念に配慮し、静岡県内で水資源・生態系の調査を行っている沢のうち、断層帯に関連する箇所（図 3 5に示すスリバチ沢を予定）において流量の測定を月 1 回程度の頻度で追加して実施します。
- ・なお、静岡県側の地表面の水分量が減少する可能性があるという懸念が示されていますが、この点については、トンネル工事全体のモニタリングとして、県境付近の断層帯に近い箇所（図 3 5に示す伝付峠）に設置している地表水分計のデータ（常時計測）の結果が現状と変わらない変化を示すことを必要の都度確認してまいります。
- ・ボーリング湧水の湧水量、水温、p H、電気伝導度については、これまでよりも頻度を上げて「日毎」に報告を行います。その内容を踏まえて、管理の内容について静岡県等と対話しながら、削孔を進めてまいります。

リスクマップ(ボーリングに伴う湧水の発生)

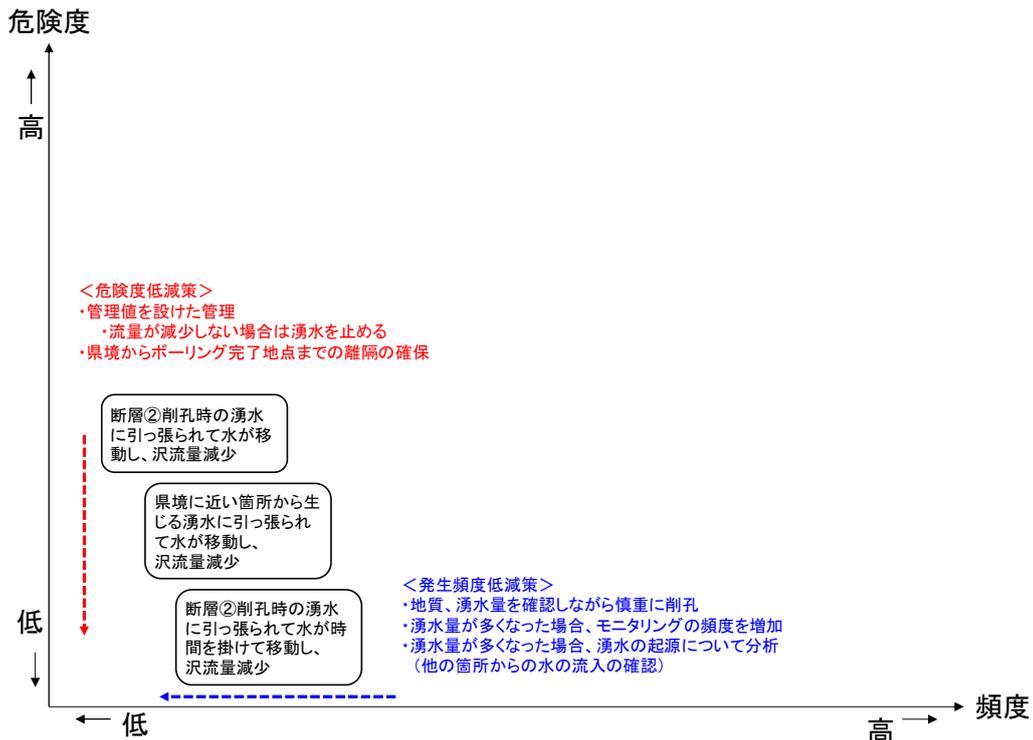


図 3 2 ボーリングに伴う湧水の発生に関わるリスクマップ

リスクマトリクス(ボーリングに伴う湧水の発生)①

※()は先進坑・本坑掘削時の実施事項

リスク要因	想定される現象	調査方法	対処方法
断層②でのボーリングに伴う圧力低下	削孔箇所周辺の透水性が高い(1×10^{-5} m/sオーダー)場合、周辺の水が急速に(数日オーダー)湧出する	ボーリング湧水量の計測	<ul style="list-style-type: none"> ・地質、湧水量を確認しながら慎重に削孔 ・管理値に基づく湧水量の管理 ・管理値を超えて1週間湧水量が減らない場合にはボーリングを中止して湧水を止める
	断層②と県境付近の断層帯が透水性が高い(1×10^{-5} m/sオーダー)状態で連続する場合、水が県境付近の断層帯から断層②に移動する	ボーリング湧水の水質のモニタリング 【他の箇所からの水の流入の確認】	<ul style="list-style-type: none"> ・モニタリング結果を踏まえ、慎重に削孔・ボーリング湧水量が多くなった場合(管理値の80%)となった場合には、湧水の化学的な成分分析を実施し、湧水の起源について分析
	県境付近の断層帯に関連する沢の流量が減少する	沢の流量のモニタリング(スリパチ沢)	<ul style="list-style-type: none"> ・モニタリング結果を踏まえ、慎重に削孔 ・ボーリング湧水量が多くなった場合(管理値の80%)、沢の流量のモニタリングの頻度を増加
断層②でのボーリングに伴う圧力低下	削孔箇所周辺の透水性が低い(1×10^{-7} m/sオーダー)場合、周辺の水が時間(数か月オーダー)を掛けて湧出する	ボーリング湧水量の計測	<ul style="list-style-type: none"> ・地質、湧水量を確認しながら慎重に削孔・掘削 ・管理値に基づく湧水量の管理 ・管理値を超えて1週間湧水量が減らない場合にはボーリングを中止して湧水を止める
	断層②と県境付近の断層帯が透水性が高い(1×10^{-5} m/sオーダー)状態で連続する場合、水が時間(数か月~数年)を掛けて県境付近の断層帯から断層②に移動する	ボーリング湧水の水質の継続的なモニタリング(先進坑・本坑湧水の水質のモニタリング) 【他の箇所からの水の流入の確認】	<ul style="list-style-type: none"> ・モニタリング結果を踏まえ、慎重に削孔・掘削 ・ボーリング湧水量が多くなった場合(管理値の80%)、湧水の化学的な成分分析を実施し、湧水の起源を分析(先進坑・本坑掘削に伴い全体としての湧水量が増加し、時間の経過とともに減少が見られない場合も同様)
	県境付近の断層帯に関連する沢の流量が徐々に(数年オーダー)減少する	沢の流量の継続的なモニタリング(スリパチ沢)	<ul style="list-style-type: none"> ・モニタリング結果を踏まえ、慎重に削孔・掘削 ・ボーリング湧水量が多くなった場合(管理値の80%)、沢の流量のモニタリングの頻度を増加(先進坑・本坑掘削に伴い全体としての湧水量が増加し、時間の経過とともに減少が見られない場合も同様)

図 3 3 ボーリングに伴う湧水の発生に関わるリスクマトリクス①

リスクマトリクス(ボーリングに伴う湧水の発生)②

※()は先進坑・本坑掘削時の実施事項

リスク要因	想定される現象	調査方法	対処方法
県境付近でのボーリングに伴う圧力低下	ボーリング孔先端が県境に近づいた場合は、岩盤を通じて静岡県側の水が時間(数か月オーダー)を掛けてボーリング孔に湧出する	ボーリング湧水量の計測(先進坑・本坑の湧水量の計測)	・地質、湧水量を確認しながら慎重に削孔(掘削) ・上記の結果から透水係数を設定して湧水量を想定し、離隔を確保したうえでボーリングを終了 (先進坑・本坑掘削時に湧水量が増加し、必要な場合にはコアボーリングを実施して、湧水低減措置を検討)
	水が時間(数か月～数年)を掛けて県境付近の断層帯から移動する	ボーリング湧水の水質の継続的なモニタリング(先進坑・本坑湧水の水質のモニタリング) 【他の箇所からの水の流入の確認】	・モニタリング結果を踏まえ、慎重に削孔(掘削) (先進坑・本坑掘削に伴い全体としての湧水量が増加し、時間の経過とともに減少が見られない場合は、湧水の化学的な成分分析を実施し、湧水の起源について分析)
	県境付近の断層帯に関連する沢の流量が徐々に(数年オーダー)減少する	沢の流量の継続的なモニタリング(スリバチ沢)	・モニタリング結果を踏まえ、慎重に削孔(掘削) (先進坑・本坑掘削に伴い湧水量が多くなった場合は、沢の流量のモニタリングの頻度を増加)

図 3 4 ボーリングに伴う湧水の発生に関わるリスクマトリクス②

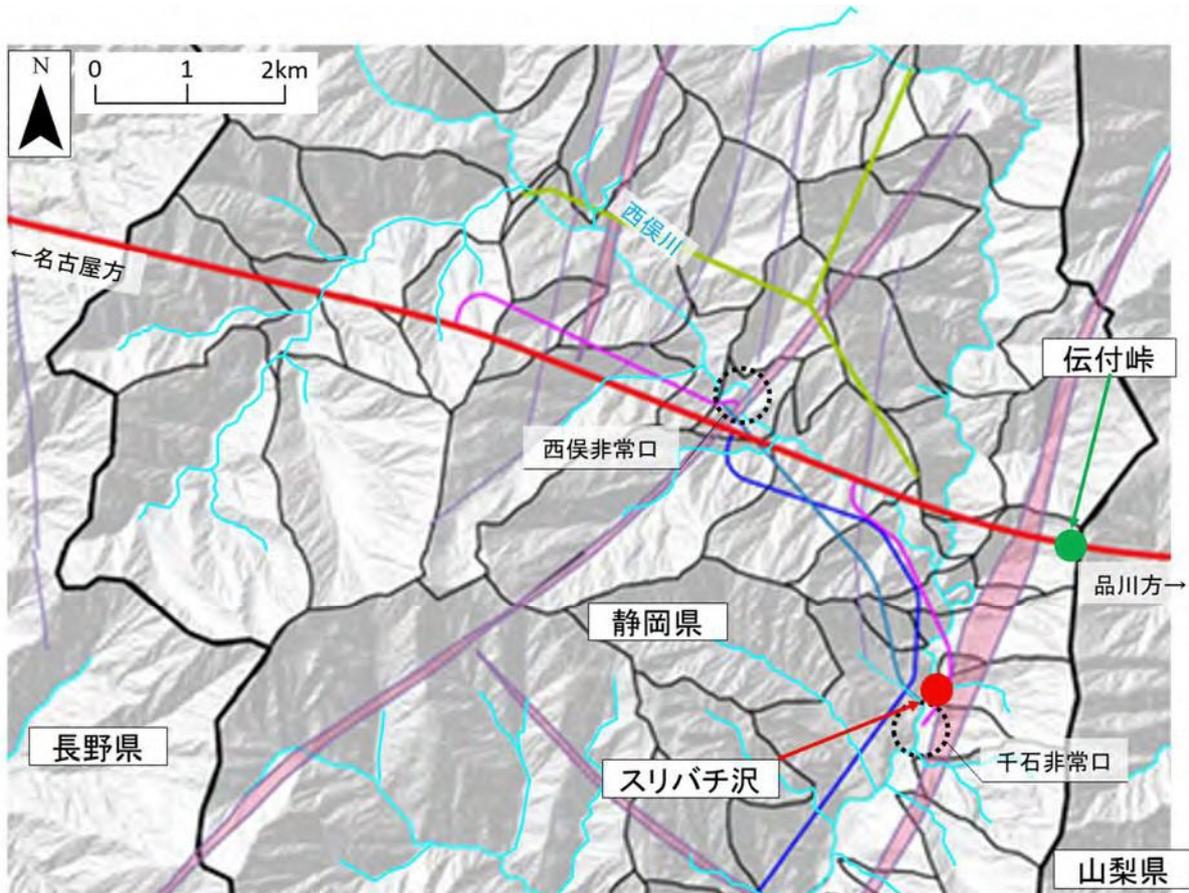
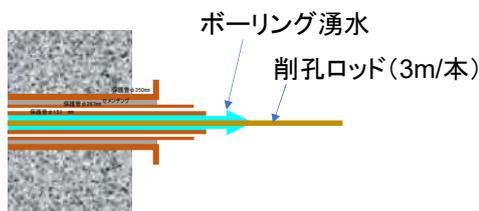


図 3 5 沢流量の測定の実施箇所

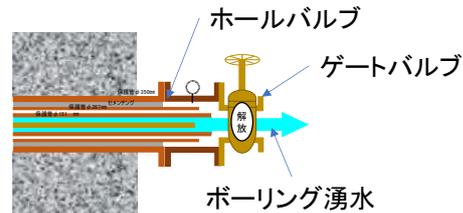
(管理値を超えた場合の対応)

- ①湧水量が10mあたり0.04m³/秒(管理値の80%と設定)を超える場合
- ・削孔速度を下げるなど、より慎重な削孔を行います。
 - ・断層帯に関連する沢の測定頻度を1週間毎に増加して実施します(図35)。
なお、頻度はその後の湧水量の状況に合わせて変更します。
 - ・地表からの水をボーリングにより引き込んでいないか確認するため、湧水について化学的な成分分析を実施します。
- ②湧水量が管理値(10mあたり0.05m³/秒)³を超える場合
- ・削孔を中断するとともに、孔口湧水量を確認します。
 - ・1週間程度の間、孔口湧水量の減少傾向(2日間連続して減少)を確認した場合には削孔を再開します。減少傾向が確認されない場合は、今回のボーリングを終了し、湧水についてはバルブを閉めて止水します。**基本的には削孔ロッドを全て回収した後にバルブを閉めますが、大量湧水のため緊急で対処が必要な場合は、図36のとおりに対処することも可能です。**

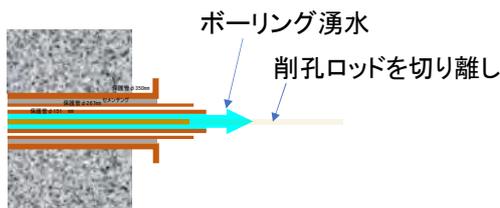
①大量湧水の発生



③ホールバルブとゲートバルブを設置する。



②削孔ロッド(3m/本)を切り離す



④ゲートバルブを閉塞する。

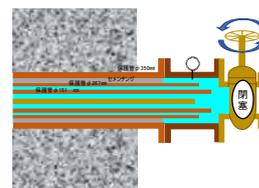


図 3 6 止水の手順

³ 平成31年3月13日「静岡県中央新幹線環境保全連絡会議地質構造・水資源専門部会」において提示した管理値を準用し、以下により算出しました。

$$q=2\pi \cdot K \cdot H / \ln(4H/d)$$

q: 単位当り湧水量 (m³/秒・m)、K: 透水係数(m/sec)、H: 水頭差(ヘッド)(m)、d: トンネル直径(m)

Kを1.0×10⁻⁵m/sec、dを先進ボーリング径0.12m、Hを山梨・静岡県境付近の最大土被り1,000m

10mあたり Q=q×10≒0.06m³/秒 ⇒0.05m³/秒

静岡県側の水が山梨県側に水が流れるのではないかとのご懸念に対し、まずは山梨県側であってもリスク低減として静岡県側で実施する場合と同等の管理を行うという観点から設定するものです。

- ・ボーリングを終了した場合には、ボーリング孔の存在により周辺の地山内の水圧が高くなっていることを考慮し、先進坑掘削時の安全性を確保するためボーリング孔との離隔を確保するよう先進坑の掘削位置を変更します。
- ・そのうえで、これまでのボーリングによって確認した地質や湧水の状況を踏まえ、管理値を超えた地点の手前まで先進坑の掘削を進めます。
- ・その後、管理値を超えた地点より先の区間でコアボーリング等の調査を行い、管理値を超えた地点より先の区間の地質や湧水の詳細を確認するとともに、その結果を踏まえ、必要となる箇所では薬液注入等を実施し、その効果を確認します。その後、管理値を超えた地点より先の区間で新たに高速長尺先進ボーリングによる調査を行い、地質や湧水の状況を確認します。
- ・確認の後、管理値を超えた地点より先の区間の先進坑掘削を再開し、県境まで掘削を行います。
- ・これらの取扱いを、図に整理すると図 37 のとおりです。
- ・新たに行う高速長尺先進ボーリングについても、図 37 の管理フローにおける「今回のボーリング削孔」と同様の管理を行います。

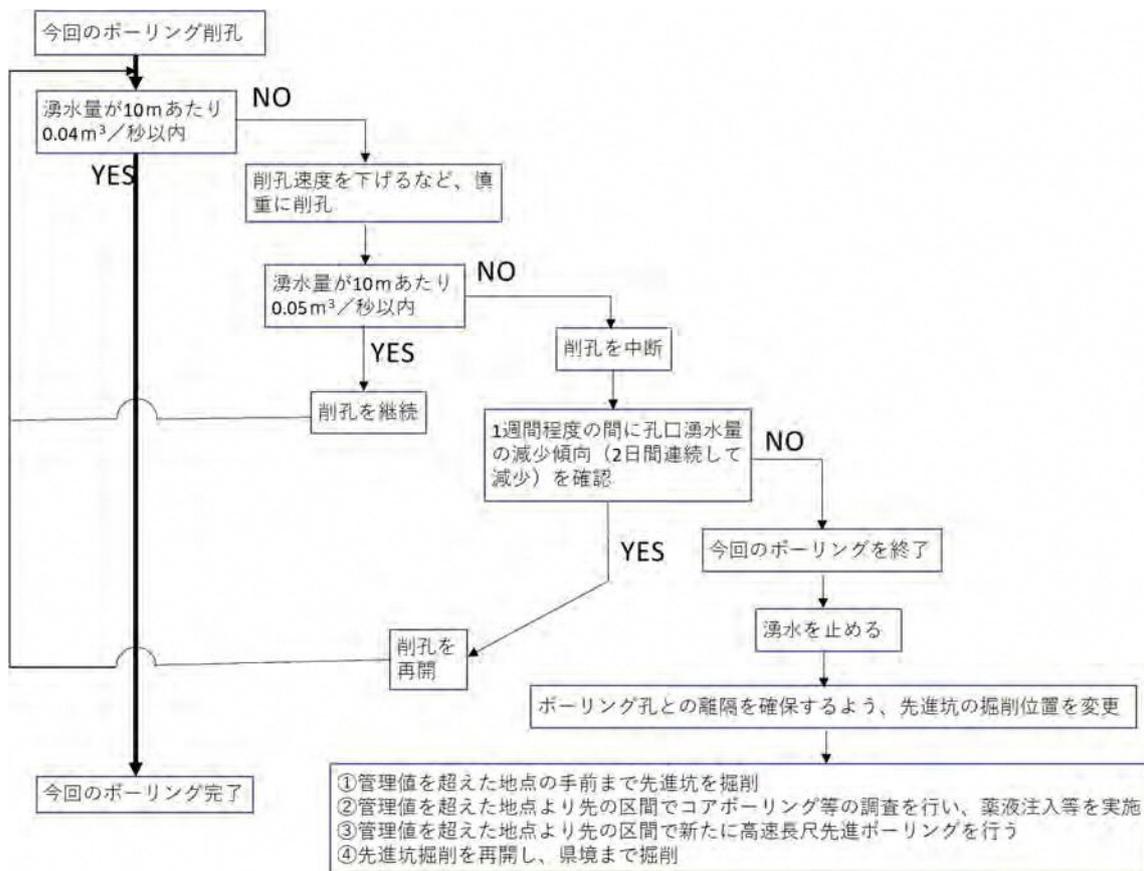


図 37 山梨県内の高速長尺先進ボーリングにおける調査中の管理フロー

- ・静岡県や専門家からのご意見を踏まえ、次のように対応します。
- ・湧水量について、容器法による1日2回の測定を基本としつつ、電磁流量計による湧水量の変動傾向を常時把握していきませんが、電磁流量計の計測値が急激に変動する場合は、慎重に削孔を行います。
- ・水質について、セメンチングの影響等も考慮のうえで、それまでの傾向（数値の増減や、変動幅）と異なる傾向が確認され、地表部や、地下深い部分からの水の流入が疑われる場合には、専門家にご相談し、必要な措置を取ります。

（結果報告の項目、方法、頻度）

- ・ボーリング湧水の湧水量、水質（水温、pH、電気伝導度）、断層帯に関連する沢の流量については基本的に測定を行った翌日までにメール等にて報告を行います。電磁流量計において計測値の急激な変動が見られた場合も、その内容を報告いたします。
- ・湧水量が10mあたり $0.04\text{ m}^3/\text{秒}$ を超える場合は、削孔中に生じる事象（回転停止等、日報に記載する内容）についても報告します。

(静岡県側の水が山梨県側へ流出した場合の取扱い)

- ・ 地表の水の流域界は地形の条件に従って設定されるものであり、山梨県・静岡県境のように尾根線に行政界がある場合は、それによって地表の水が行政区域ごとに区分されることになります。
- ・ しかしながら、地下においては地層の傾斜などから、地下水の流れの境界が必ずしも地形から決まる地表水の流れの境界と一致しない場合があります、山梨県・静岡県境のように尾根線に行政界がある場合に地下水の分水界が行政区域の境と一致しません。そうした場合に、元々山梨県内にある地下水なのか、静岡県内から地下を伝わって流れてきた水なのかを、地下深くにおいて実際に確認することは、大変困難な状況です。(図 38)

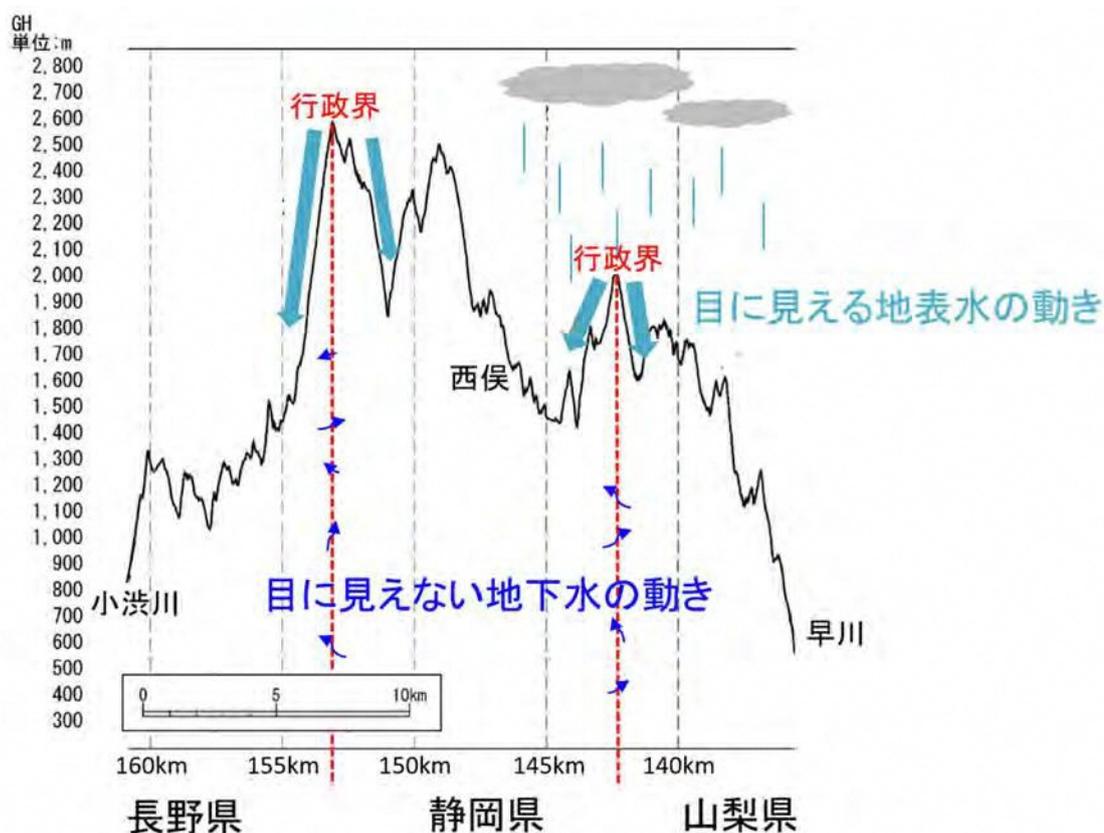


図 38 水の動きのイメージ図

- ・今回のボーリングを行うにあたり、削孔中の湧水量については、P 3 2 4) ボーリングにおける湧水量の測定方法 に記載する方法で継続的に測定します。
- ・P 3 4～4 2に記載した内容から、県境までの高速長尺先進ボーリングに伴って静岡県がご懸念されているように大量の湧水や自然環境への影響が生じる可能性は小さいと考えております。
- ・しかしながら、流域の皆様方のご懸念に対応するため、リスク対応として湧水量に管理値を設定し管理を行います。そのうえで、削孔に伴って生じる湧水については、以下の通り対応してまいります。
- ・ボーリングで削孔した部分が大気と同じ圧力となることに伴って人為的に地下水の流れに変化が生じ、それによって新たに静岡県側から山梨県側に新たに水が流出している可能性があると考えられる場合には、山梨県、静岡県をはじめとした関係者間で協議を行います。
- ・協議にあたっては、令和5年4月26日の第13回静岡県地質構造・水資源部会専門部会において委員から提供された資料「山梨県側の高速長尺先進ボーリングの湧水が静岡県側の地下水である根拠を科学的に示す方法」に基づいて検討する内容も踏まえて行います。検討の具体的な内容は、P 7 6以降に記載しています。
- ・その結果、ボーリングに伴って新たに静岡県側から山梨県側に水が流出していると判断される場合には、山梨県、静岡県をはじめとした関係者間で協議を行います。協議の結果、水を戻すこととなった場合には、方法や時期についても表 3に示すトンネル湧水の戻し方等を参考にして、山梨県、静岡県をはじめとした関係者間で協議し、理解の得られた方法で戻します。

表 3 トンネル湧水の戻し方（参考）

項 目	A 案	B 案
戻し方	山梨県内で発生するトンネル湧水を先進坑貫通後に大井川に戻す方策	工事の一定期間、発電のための取水を抑制し、大井川に還元する方策
戻す・還元する時期	先進坑貫通後の一定期間 河川流量の少ない時期に重点を置いて戻すなどの対応も可能	先進坑掘削中の一定期間 (約10ヶ月と想定)
水質管理	山梨県内で発生したトンネル湧水をポンプアップするため、放流前に確認または処理が必要	不要
設 備	山梨県内で発生するトンネル湧水を汲み上げるための設備を設置	東京電力R Pと協議のうえ決定

※第12回静岡県地質構造・水資源部会専門部会（令和5年3月20日）資料より

注) この部分は、令和5年1月31日付けで静岡県から当社に送付された文書には「山梨県側へ流出する水の戻し方」と記載されている内容に対して記載を行っているものであり、記載内容を踏まえて標題を変更しています。

○調査完了後

- ・調査完了後の山梨県内の湧水については、その後に実施する先進坑掘削の安全を考慮し、その量を継続的に測定のうちで孔口から流します。
- ・ボーリング削孔時の湧水量の状況や、断層帯に関連する沢の流量測定結果などから、現状とは違った地下水の状況がボーリング実施に伴って生じ、それによって新たに静岡県側から山梨県側に水が流出している可能性があると考えられる場合の取扱いは、調査中と同様に考えています。

【高速長尺先進ボーリングについて、県境を越えて実施する場合】

- ・ボーリングが県境に達する時点において、皆様からのご懸念を受け止め、静岡県側から山梨県側へ流出する湧水と同量の水を静岡県側に戻す方法が実施可能となった場合には、未調査の約300mの区間まで県境を越えて削孔することを考えています。湧水に戻す方法や時期については、第12回地質構造・水資源専門部会資料1「中央新幹線南アルプストンネル工事における県外流出量を大井川に戻す方策等について」でご提示している方法等を参考に議論を進めてまいります。

これまでのボーリング時の湧水量の実績から判断すれば突発湧水の発生時を含め、戻すことは可能と考えています。

- ・ 静岡県内の湧水と同量の水を戻すにあたり、実際にはボーリング孔口で測定する湧水は山梨県内と静岡県内の両方で発生する水が混ざって出てきます。山梨県内の湧水と静岡県内の湧水の区分については、削孔時に測定される孔口湧水量の削孔延長あたり増加量に着目し、山梨・静岡各県区間の湧水増加量の累積量の比により按分する方法などが考えられ、図 39 にそのイメージを示します。

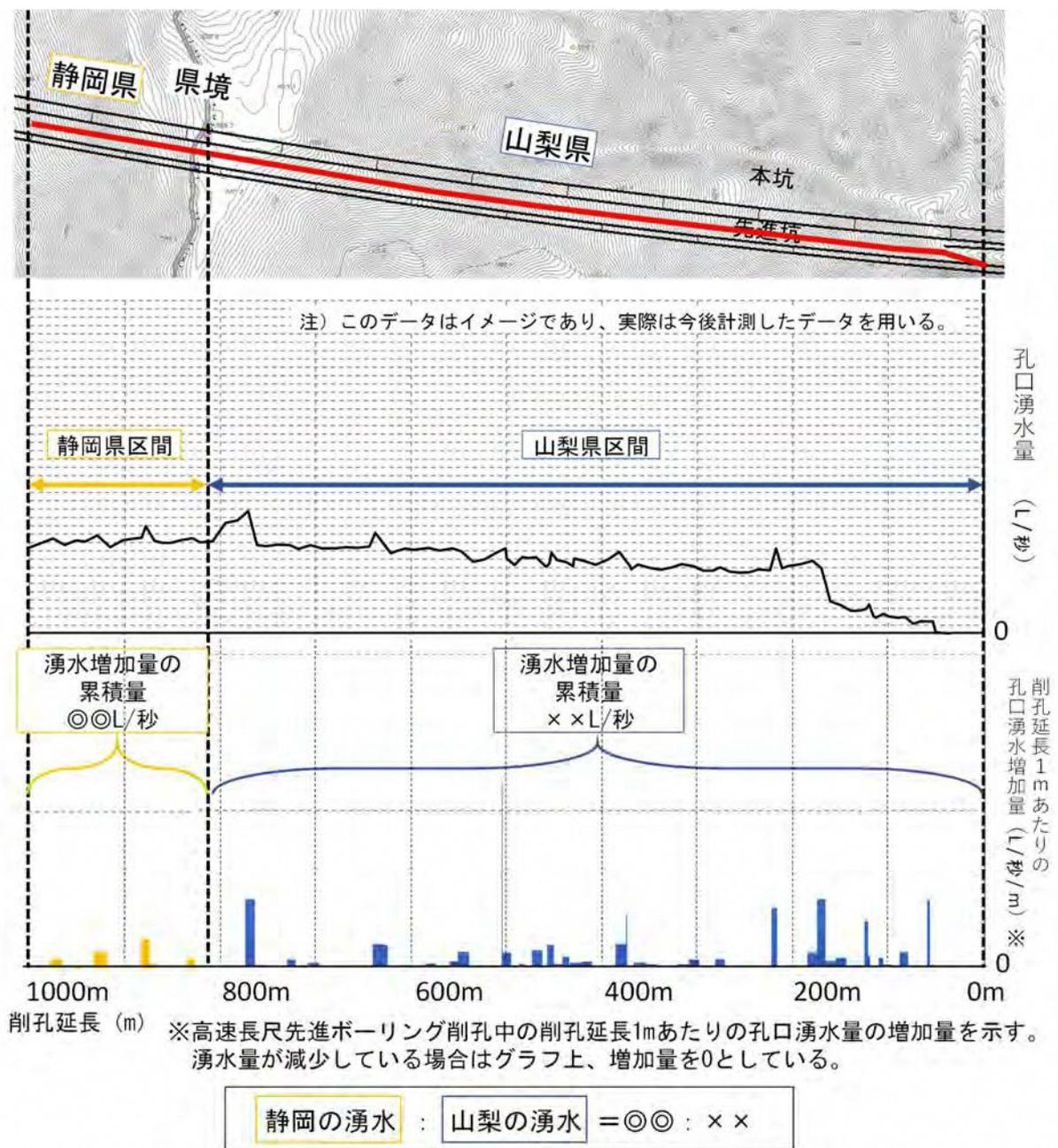


図 39 山梨県内の湧水と静岡県内の湧水の区分のイメージ

【県境付近から実施するボーリング調査】

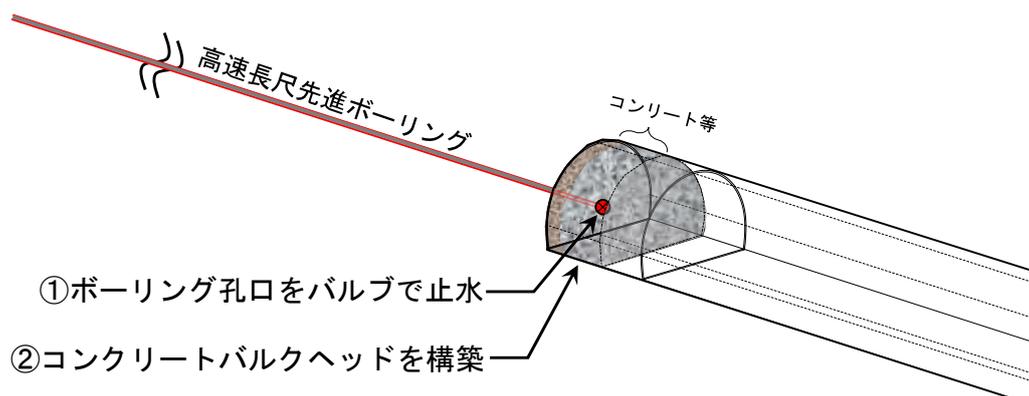
○調査中の管理

- ・削孔中に生じる静岡県内の湧水について、調査中は、削孔に必要な水をポンプで循環させる必要があることから、湧水は調査後に同量を戻せるよう量を測定したうえで孔口から流します。
- ・調査中は継続的に湧水量を測定します。調査中に湧水量が管理値（10mあたり $0.05 \text{ m}^3/\text{秒}$ ）を超える場合は、削孔を中断し対応を検討します。

- ・調査中に流した湧水は、静岡県側に同量の水を戻すこととし、その取扱いについては、静岡県等と議論していきます。削孔中に突発湧水が生じた場合は、これまでに実施された工事、例えば青函トンネルなどの事例も参考にしながら、流出を止めるよう措置いたします。

○調査完了後の扱い

- ・調査が完了した後は、湧水の流出を防ぐため、孔口付近で止水します。止水の方法としては、高水圧に対応可能な性能を持つバルブの使用や孔口周りの止水処理（セメンチング）の強化や、孔口に近いトンネル自体の構造の高強度化などを考えていますが、このほかにも隔壁（バルクヘッド）などの工事の事例や深地層の研究機関等で研究が進められている方法も参考にしながら、確実な止水の方法を採用してまいります。（図 40、図 41）具体的な計画は、実施までの間に専門部会でご報告します。



※上図は実際のトンネル工事の実績等を参考にしたコンクリートバルクヘッドのイメージ例となります。

図 40 隔壁（バルクヘッド）のイメージ



図 41 孔口バルブのイメージ

【水資源・生態系への影響について】

- ・ これまでも、断層帯に関連する沢においては水資源や生態系のモニタリングを実施してきており、その結果は年度ごとに取りまとめて、静岡県等に報告しています。
- ・ 今回ボーリングによる水資源や生態系への影響に関するご懸念に配慮し、水資源・生態系の調査を行っている沢において、静岡県内で実施するボーリングの調査中、調査完了後に流量の調査を追加して実施します。
- ・ 具体的な内容は、県境を越えた調査を行うまでに専門部会でご報告します。

(参考) ボーリング時の湧水量について

- ・ 当該箇所の周辺でこれまでに実施したボーリングの湧水量は、表 4 に示すとおりであり、仮に同程度の湧水量が発生し、静岡県側から山梨県側に流れても、静岡県内の地下水に影響を与え、大井川の水資源利用に影響を与える可能性は小さいと考えられます。
- ・ しかしながら、地域の皆さまからのご懸念を受け止め、調査完了後に発生する静岡県内の湧水については、同量の水を静岡県側へ戻す、あるいは流出を止めるようにいたします。

表 4 周辺で実施したボーリングの湧水量

既存のボーリング地点		ボーリング長 (m)	完了時湧水量 (m ³ /秒)	井川ダムにおける大井川の 平均流量 ⁴ に対する割合
山梨県	広河原斜坑①	1,000	0.005	0.01～0.02%
	広河原斜坑②	1,170	0.003	0.01%
	広河原斜坑③	1,100	0.007	0.02～0.03%
	広河原斜坑④	801	0.003	0.01%
	広河原斜坑⑤	851	0.003	0.01%
静岡県	東俣～県境付近 (斜めボーリング)	1,200	0.02	0.04～0.07%

⁴ 井川ダムにおける大井川の平均流量は約 12 億 m³/年±3 億 m³/年（国土交通省「リニア中央新幹線静岡工区有識者会議」で提示した「大井川水資源利用への影響の回避・低減に向けた取組み」による）。

6) 調査状況の報告

- ・南アルプストンネル山梨工区にて実施する高速長尺先進ボーリングによる調査の状況は、図 4 2 に示すとおり、山梨県、早川町及び静岡県等に報告します。
- ・調査の着手時に報告を開始します。
- ・基本は、日々のボーリング先端位置及び代表的な地質の状況（試料写真）と孔口湧水量、水質検査結果を1週間毎に取り纏め、山梨県、早川町には山梨西工事事務所より、静岡県等には静岡工事事務所より、翌週中にメール等で報告します。また、関係者の方々へ送付した資料は、当社ホームページにて公開しております。
- ・これまでの調査結果の報告資料やボーリング調査結果については、資料2-3「中央新幹線南アルプストンネル山梨工区 山梨・静岡県境付近の調査及び工事の計画について 別冊」にとりまとめました。
- ・県境から約300m以内の区間においては、P45で述べたとおり、ボーリング湧水の湧水量、水温、pH、電気伝導度については、これまでよりも頻度を上げて「日毎」に報告を行います。
- ・管理値を超える湧水が発生した際は、速やかに報告します。
- ・ボーリング先端が県境に到達した際は、その旨を速やかに報告します。
- ・県境を越えて未調査の約300mについてボーリング調査を進める場合も、報告は同様に行います。
- ・ボーリングが完了した際には、速やかに報告します。
- ・ボーリング完了後、取得データ、採取した試料及び地質や湧水の評価について取り纏め、報告します。

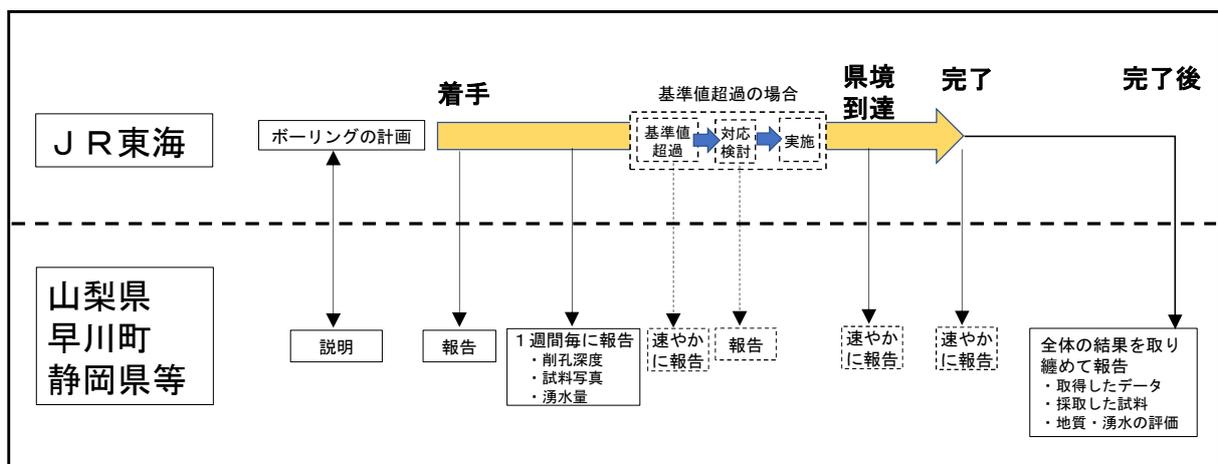


図 4 2 報告に関する流れ

- ・ 静岡県とはボーリング調査開始前から、対話を行いながら進めています。対話の内容を資料4-3「中央新幹線南アルプストンネル山梨工区 山梨・静岡県境付近の調査及び工事の計画について 別冊」に示します。
今後も対話を行いながら、ボーリング調査を進めてまいります。

7) まとめ

○これまで、山梨工区の広河原斜坑（延長4.2km）を高速長尺先進ボーリングを実施しながら掘り進める過程で、山梨県内の岩盤が東西方向に大きな地圧を受けて圧縮しており、断層や脆い区間を含め、水が非常に浸透しにくく湧水量も少ないことを確認していました（図43）（P70～72参照）。

○令和5年2月から開始した高速長尺先進ボーリングにおいても、事前に地質縦断面図で想定した断層を確認し、断層に伴う脆い区間を含め、湧水量が少ない状況を確認しています。

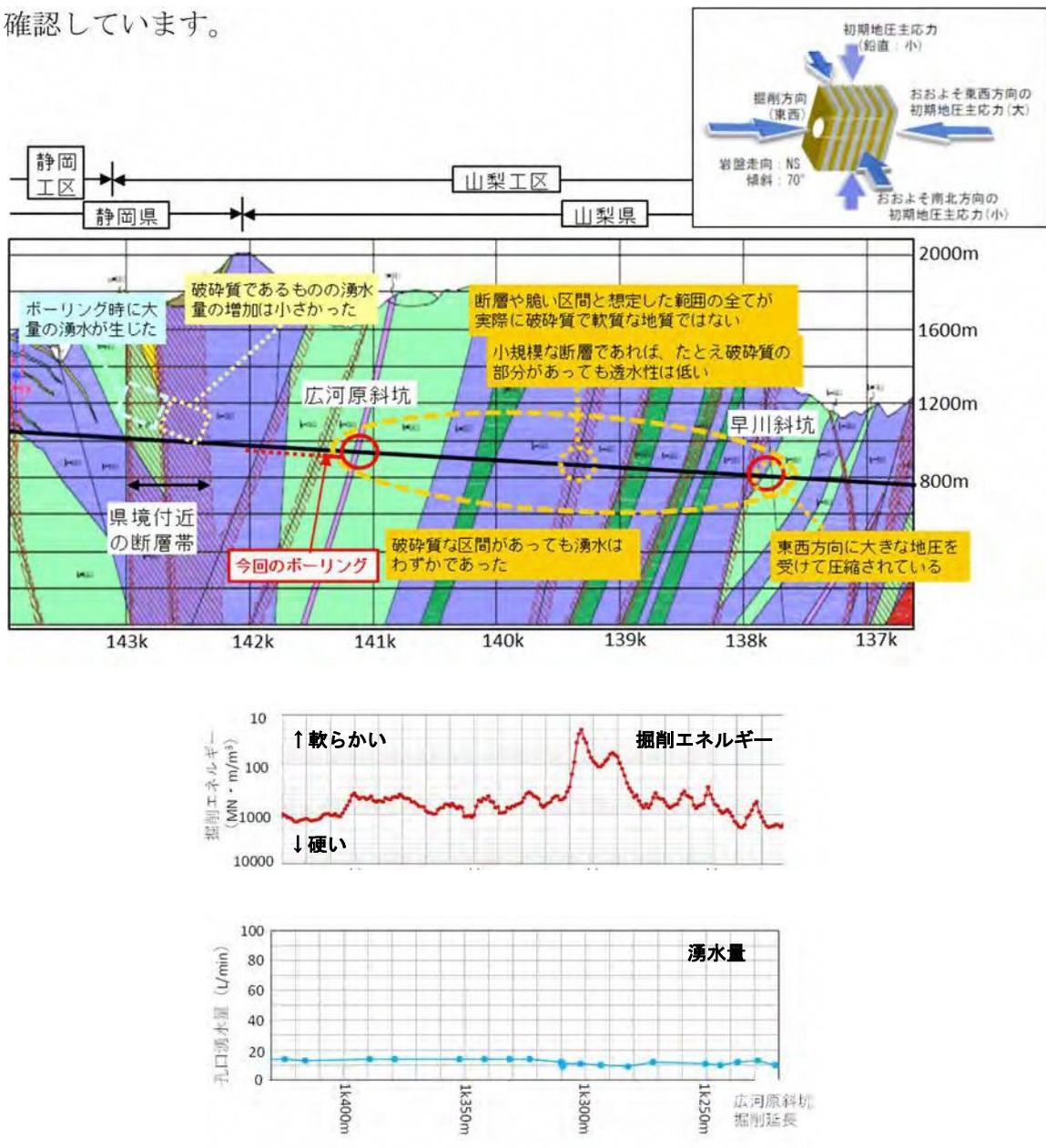


図 4.3 これまでの調査やトンネル掘削から確認されている事柄

○今後削孔を計画している静岡県境までの区間については、静岡県内から県境付近に向けて実施した斜めボーリング調査の結果などから、山梨工区の広河原斜坑の掘削や、今回のボーリングで確認した地質と同様な地質が続くと想定しています。そのため、今後の実施する高速長尺先進ボーリングに伴い、大量の湧水が発生する可能性は小さいと考えています。

○しかしながら、リスクを想定した検討を行い、その結果を反映して県境に近い区間（県境から300m以内）においては、以下のように慎重に管理を実施してまいります。

- ・湧水量及び水質（水温、pH、電気伝導度）については継続的に測定を行い、結果は「日毎」に報告・公表します（図44）。
- ・湧水量が管理値に近づいた場合は慎重に掘削を行うこととし、管理値を超過した場合は速報します。
- ・管理値を超える湧水が発生した場合は削孔を一時中断し、1週間程度の間には湧水の減少が見られない場合にはボーリングを中止して、止水することとします。
- ・念のため、静岡県側の沢の流量についてもモニタリングを行い、その結果を反映して丁寧に削孔を行います（図45）。



図 4 4 ボーリング湧水の水質測定



図 4 5 沢の流量測定

○当社としては、こうした考えに基づき、県境から300m以内の区間を含め、ボーリングを実施してまいります。

○これまでと同様、測定結果については報告・公表を行い、静岡県等と対話をしながら進めてまいります。

(2) 先進坑掘削の進め方

1) 先進坑掘削計画

- 南アルプストンネルの先進坑の掘削についてはこれまでも図 46 のようにお示ししていますが、山梨県内においても、地質、地下水の調査を目的に実施する高速長尺先進ボーリングにより地質と湧水の状況を把握したところから先進坑を掘削し、山梨・静岡県境の付近まで進めます。

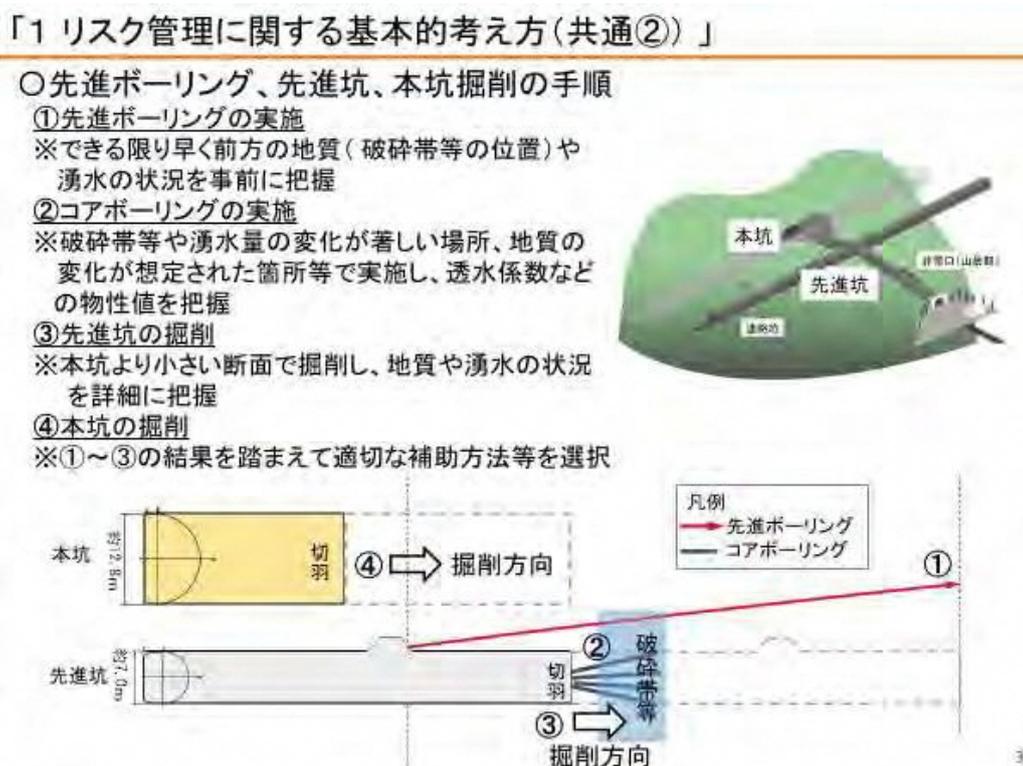


図 46 先進坑等の掘削手順

(令和元年 8 月 20 日地質構造・水資源専門部会意見交換会資料)

- これまで高速長尺先進ボーリングを実施してきた区間においては、P 44 「(1) 県境付近における断層帯調査の進め方 5) ボーリングにおける湧水への対応 <現調査時点におけるまとめ>」で調査結果をお示ししたとおり、今回の高速長尺先進ボーリングにおける湧水量や地質構造の観点、湧水圧試験による平均透水係数から、今後も湧水量は少なく推移し、先進坑掘削時の湧水量は少ないと考えています。

そのため、高速長尺先進ボーリング調査の実施中も、調査により地質や湧水の状況を確認した区間においては、図 47 のように順次ボーリング調査と並行して先進坑の掘削を進めてまいります。

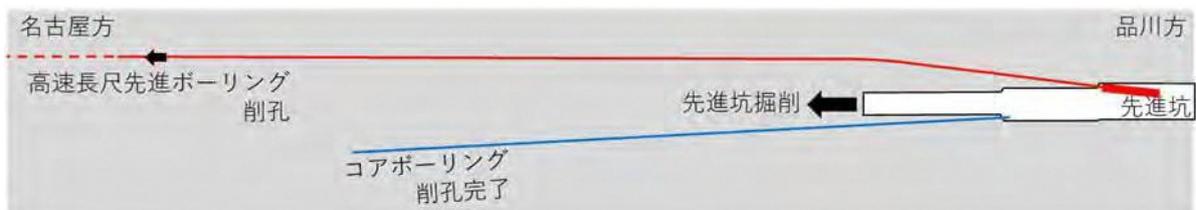


図 4 7 ボーリング調査と先進坑の平面イメージ図①

- ・ 県境付近における先進坑の切羽は、高速長尺先進ボーリングで得られるデータ（湧水量・湧水圧の測定を行い、県境付近における岩盤の透水係数を推定します）から、静岡県側から山梨県側に流れる水の量が極めて少なくなるよう、県境から一定の離隔を確保した手前の地点で停止します。停止位置の決定にあたっては、先進坑掘削時の地山・湧水の状況についても参考にします。具体的な内容は、専門部会で報告します。
- ・ なお、万が一、ボーリング管理値を超える湧水が発生した場合の先進坑の掘削については P 4 9 に記載したとおりです。

（先進坑による地質や湧水の更なる確認）

- ・ 現在実施している高速長尺先進ボーリングによって静岡 - 山梨県境から 4 5 9 m（孔口から 3 5 6 m）までの区間の地質と湧水の状況を把握することができました。P 6 7（補足）1）高速長尺先進ボーリングによる広河原斜坑の地質、湧水状況の確認結果（③ 広河原斜坑掘削時）で、お示したとおり、高速長尺先進ボーリングで予め湧水量が少ないことを確認した区間では、トンネル切羽からの湧水も少ないことが、これまでの広河原斜坑坑内で実施した高速長尺先進ボーリングと広河原斜坑掘削の実績から分かっています。
- ・ また、コアボーリングを実施したことで、詳細な地質とコアボーリングの湧水量が高速長尺先進ボーリングと同様に少ないことを確認しています。図 4 8 に示す 3 箇所で行った湧水圧試験結果からは透水性が小さいことが確認されました。一部区間に脆い地層の区間があるものの、地山は全体的に締まって安定しており、地下水の量は少ないと考えられます。
- ・ 今後、図 4 8 にしめす区間の先進坑を掘削し、地質及び湧水の更なる確認を進めてまいります。なお、先進坑の掘削を進めるにあたっては切羽後方の湧水量等を常時計測し、変動や傾向を常に把握してまいります。切羽後方の湧水量等については定期的にご報告します。

- ・また、念のため、静岡県側の沢の流量についても、継続的に測定を行い、測定的都度報告します。

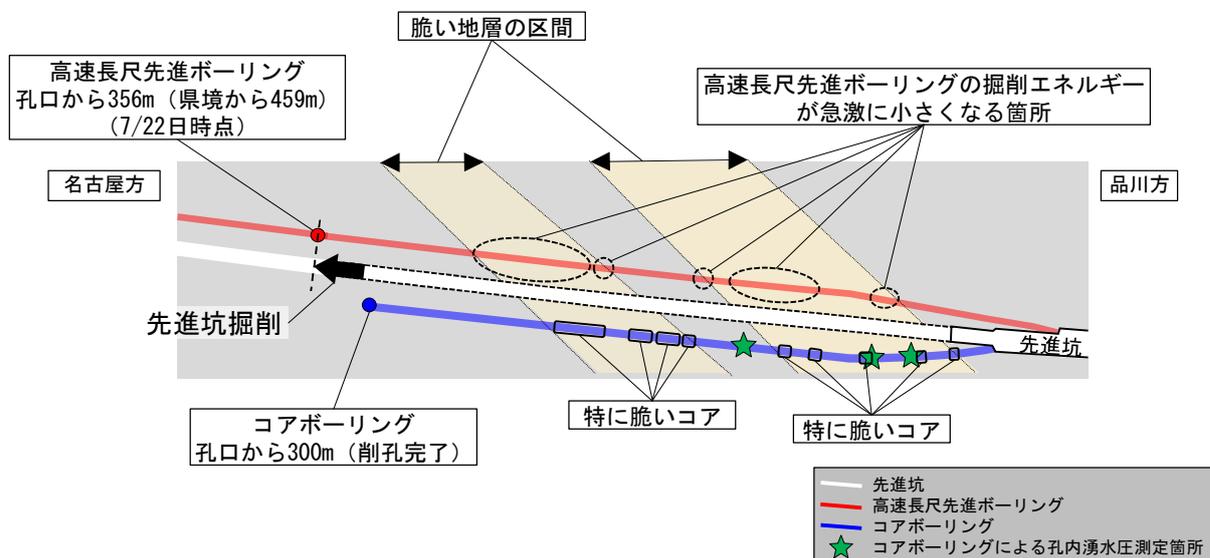
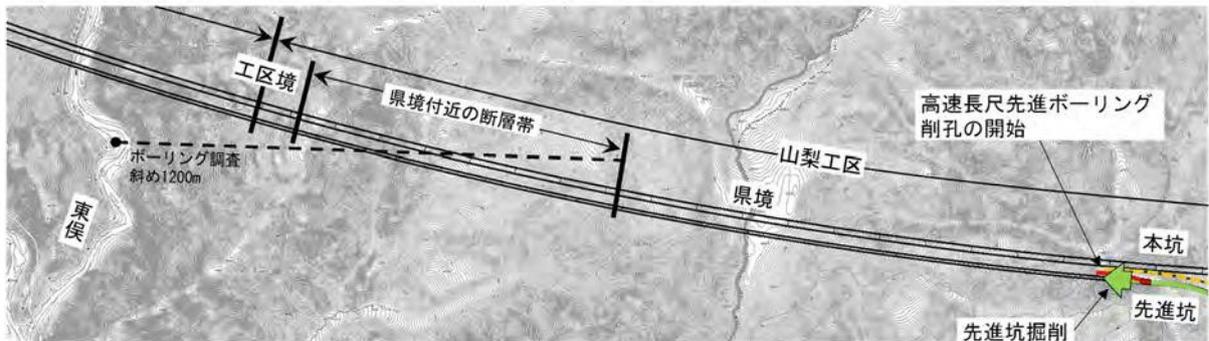


図 4 8 ボーリング調査と先進坑の平面イメージ図②

2) 断層帯調査と先進坑掘削手順

・今後の先進坑に関する掘削手順を、断層帯調査を含め、図 4 9 に示します。

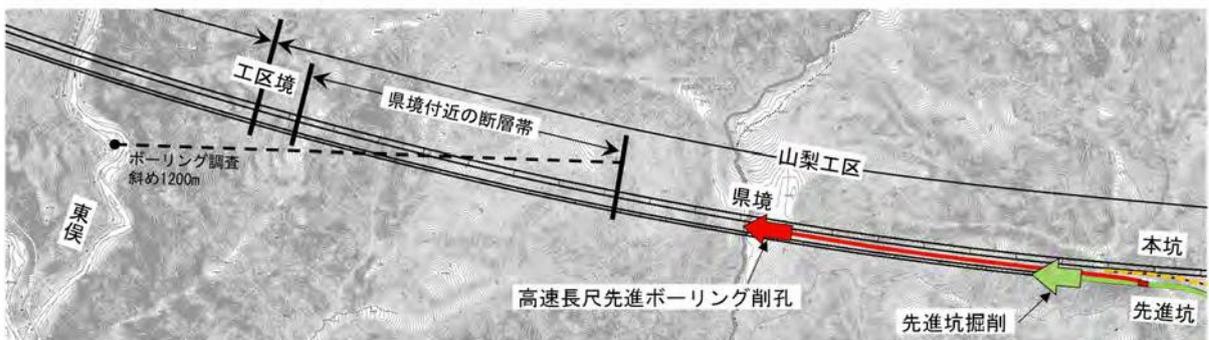
①現在 高速長尺先進ボーリング調査の開始



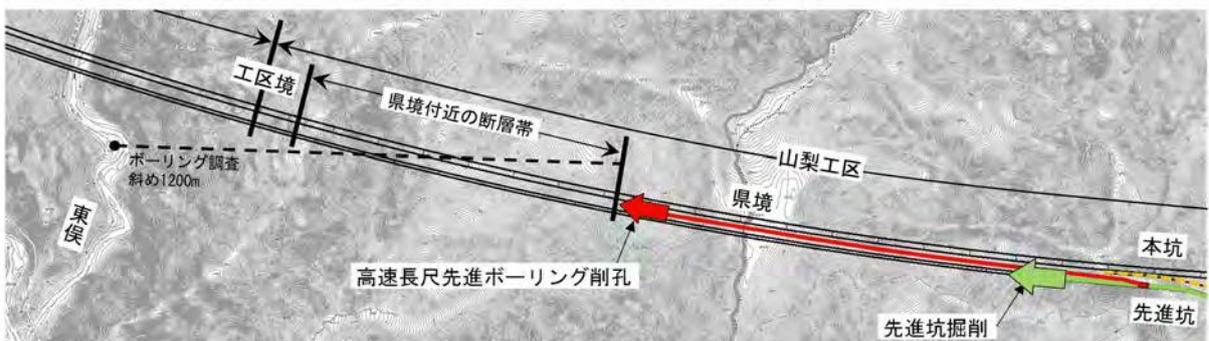
②高速長尺先進ボーリング調査、先進坑を掘削



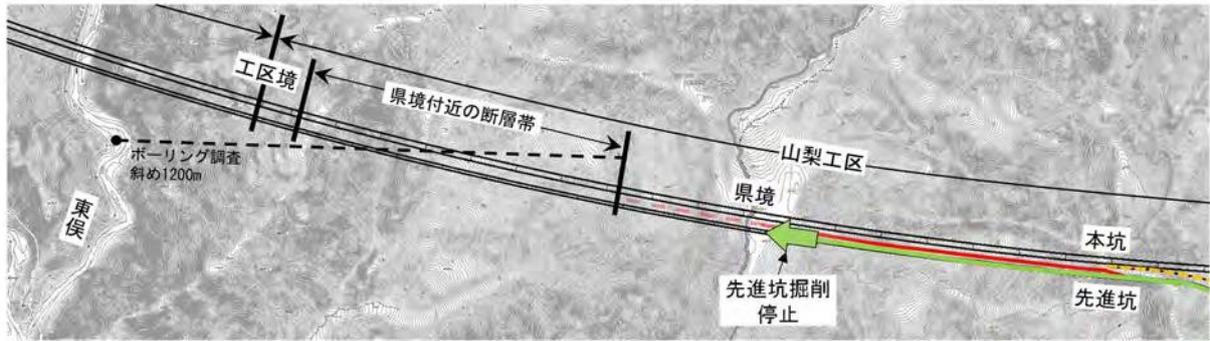
③高速長尺先進ボーリング調査県境到達



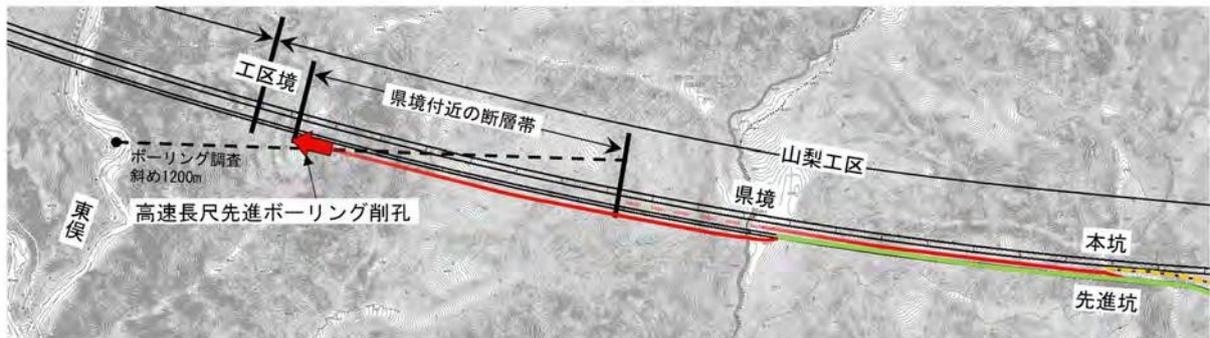
③' 湧水を静岡県側に戻す方法が実施可能になった場合、未調査区間を調査



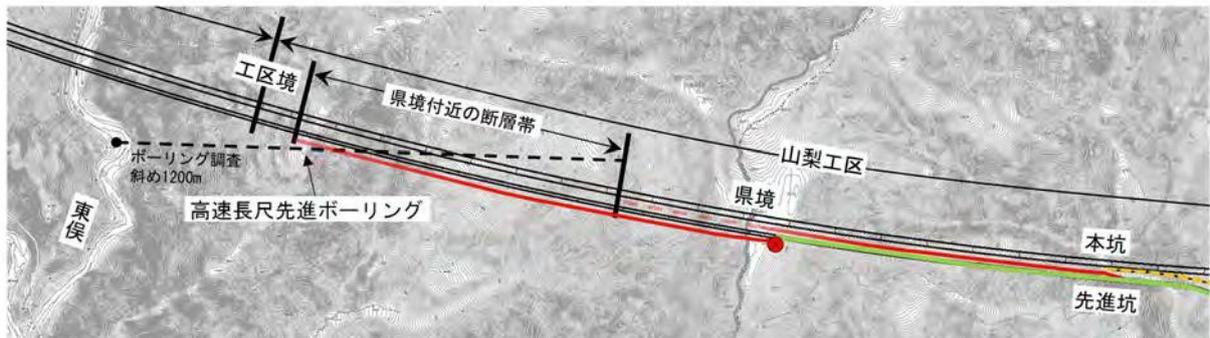
④ 県境手前で先進坑掘削を停止



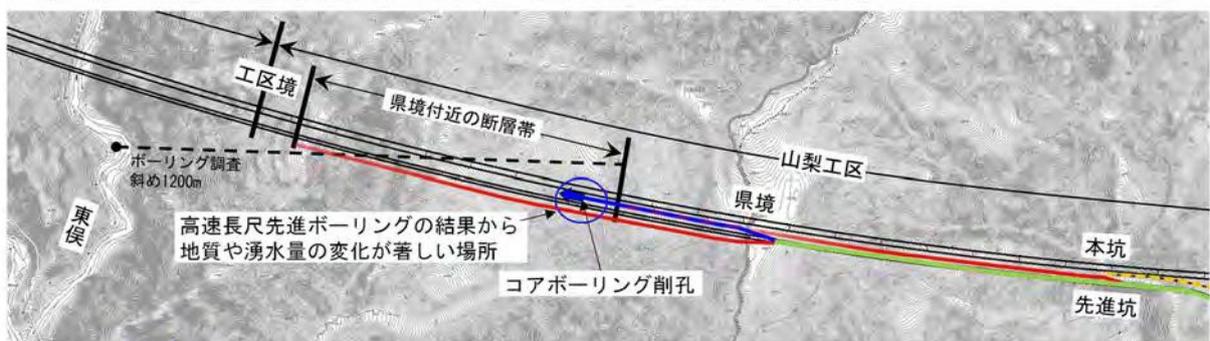
⑤ 先進坑より県境を越えて高速長尺先進ボーリング調査を実施



⑥ 調査完了後高速長尺先進ボーリング孔口を止水



(参考) 追加の地質調査 (コアボーリング) を実施する場合



注) 図上の ○ 「地質や湧水量の変化が著しい場所」は例であり、実際のものではありません

図 4 9 高速長尺先進ボーリングによる断層帯調査と先進坑掘削手順

(補足)

1) 高速長尺先進ボーリングによる広河原斜坑の地質、湧水状況の確認結果

- ・高速長尺先進ボーリング削孔データの活用方法について、広河原斜坑での実績をもとに、地表踏査の結果などと比較しながらご説明します。

① 調査開始前

- ・文献調査および地表踏査の結果、広河原斜坑 1k300m 付近直上の地表面に、おおむね南北方向に延びる破砕帯を確認していました (図 50)。また、その破砕帯は広河原斜坑と内河内川の交差箇所にあたり、土被りも 200m 程度であったことから、広河原斜坑掘削時に湧水が発生する可能性があるかと想定していました。

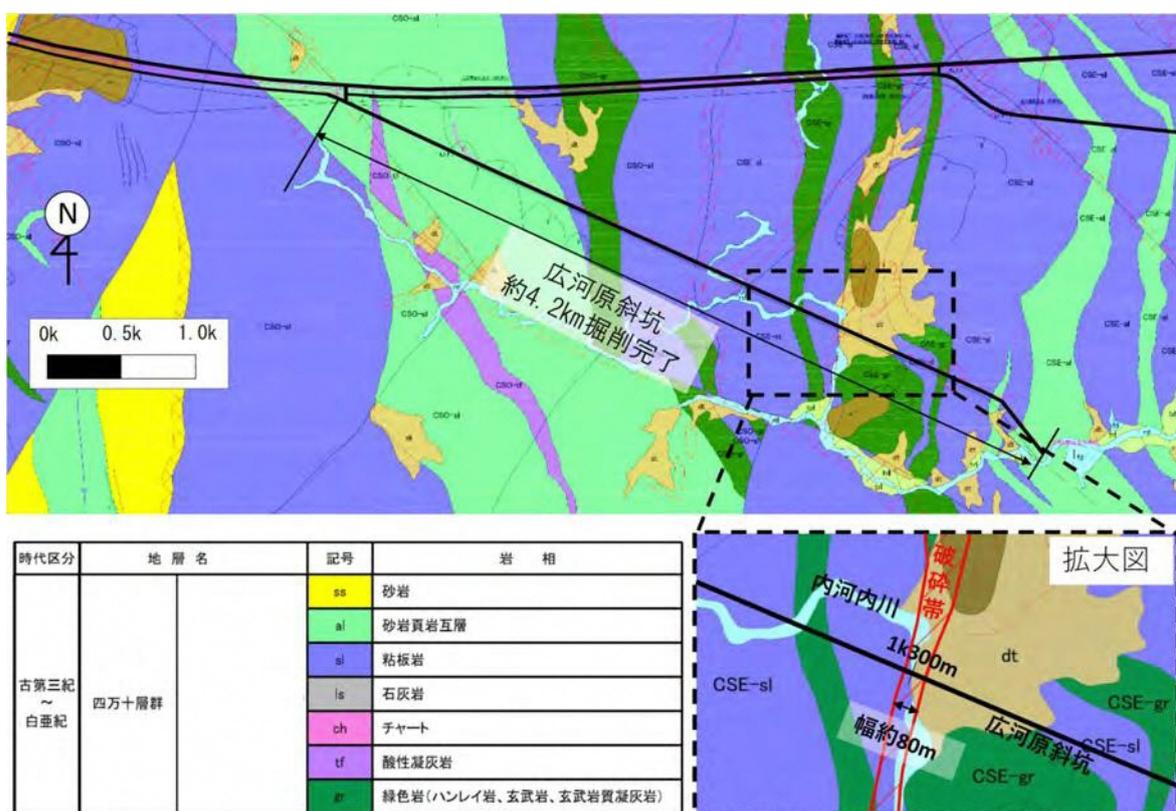


図 50 地質平面図

② 高速長尺先進ボーリング実施時

- ・事前調査で破砕帯が認められた箇所直下の、トンネル掘削高さの地質と地下水の賦存状況を調査するため、広河原斜坑 0k854m を孔口として水平方向に延長 1170m の高速長尺先進ボーリングを実施したところ、広河原斜坑 1k250m～1k410m 付近

の区間で、掘削エネルギーが全般的に低下傾向を示しました。これにより 1k250m～1k410m 付近において、地表面と同様にトンネル掘削高さにおいても破碎質な地山が分布することが推定されました。(図 5 1)

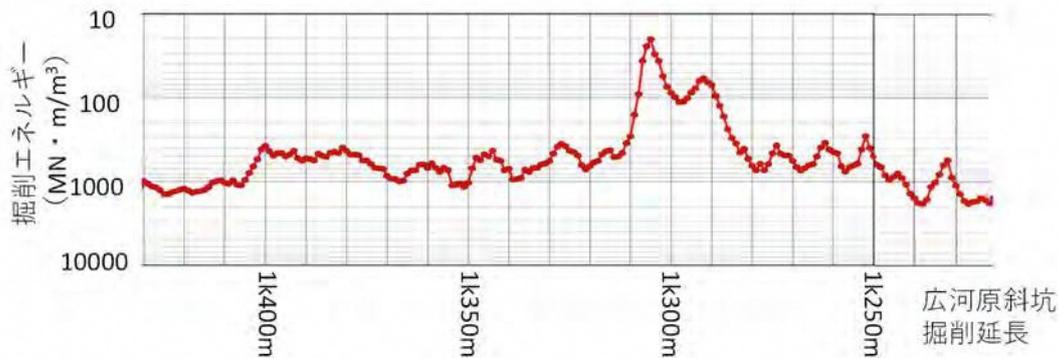


図 5 1 高速長尺先進ボーリング（広河原斜坑 0k850m～）の掘削エネルギー

- ・ボーリングのエネルギー値は、1k250m～1k280m 付近では 300MN・m/m³～700MN・m/m³ の幅で変動した後、1k280m～1k310m 付近で 700MN・m/m³→20MN・m/m³→400MN・m/m³ へと、大幅な減少と増加を示しました。1k310m～1k390m 付近は 400MN・m/m³～1000MN・m/m³ の幅で変動した後、1k400m～1k410m 付近では 400 MN・m/m³→1000MN・m/m³ へと上昇傾向を示しました。1k410m から先は 150m 以上に渡り、おおむね 1000MN・m/m³ 程度を維持しました。エネルギー値の変動傾向から、1k250m～1k410m 付近に推定される破碎帯の内部は、一様に軟質な岩盤という訳ではなく、硬質な岩盤と軟質な岩盤が交互に分布していることが想定されました。
- ・他方で、ボーリング掘削中の孔口湧水量は 1k250m 掘削時点で 13L/min、1k410m 掘削時点で 11L/min と増加しておらず、破碎帯と推定された区間には、地下水が少ないことが確認されました。(図 5 2)

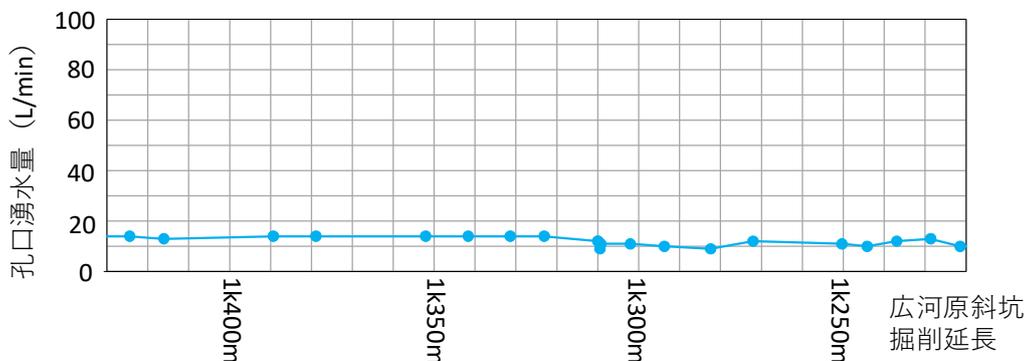


図 5 2 高速長尺先進ボーリング（広河原斜坑 0k850m～）の孔口湧水量

③ 広河原斜坑掘削時

- ・ 広河原斜坑 1k250m～1k410m 付近にてトンネル掘削時に確認した、切羽面全体に占める破砕質部分の割合は、5%未満、5～20%または20～50%であり、切羽面の大半を破砕質部分が占めるということはありませんでした。また、切羽および掘削済み箇所からの湧水は少なく、1k200m 掘削時点から 1k400m 掘削時点までの広河原斜坑全体の湧水の増加量は 12L/min でした。このように、破砕帯では破砕の程度が進んだ岩盤も一部に認められたものの、全体的に締まって安定しており、地下水の量は少なかったことが、掘削により確認されました。

④ まとめ

- ・ 広河原斜坑 1k300m 付近の破砕帯における実績では、高速長尺先進ボーリングによる調査の結果、
 - ・ 掘削エネルギーよりトンネル掘削高さにおける破砕質な地山が分布する区間があること
 - ・ 破砕質な地山であっても一様に軟質という訳ではなく、硬軟の岩盤が混在して分布していること
 - ・ 孔口湧水量から河川直下に関わらず地下水が少ないことが確認されました。その後トンネル掘削を行った結果、切羽全体に占める破砕質な部分の割合は想定より少なく、地下水の量も少ないことが確認されました。
- ・ 以上のように、高速長尺先進ボーリングでは地表踏査等の事前調査で確認できないトンネル掘削位置近傍の地山の硬軟と地質の分布、および地下水の賦存状況を直接的に推定することができるため、調査として有効であると考えます。

2) 山梨県内断層と静岡県内の県境付近の断層帯との繋がりについて

- ・静岡県から、令和5年2月22日付けの文書で、県境から山梨県側の断層および脆い区間（以下、山梨県内断層）が静岡県内の県境付近の断層帯と繋がっていることで、本調査ボーリングにより静岡県内の地下水が流出してしまう懸念が示されました。（図 5 3）

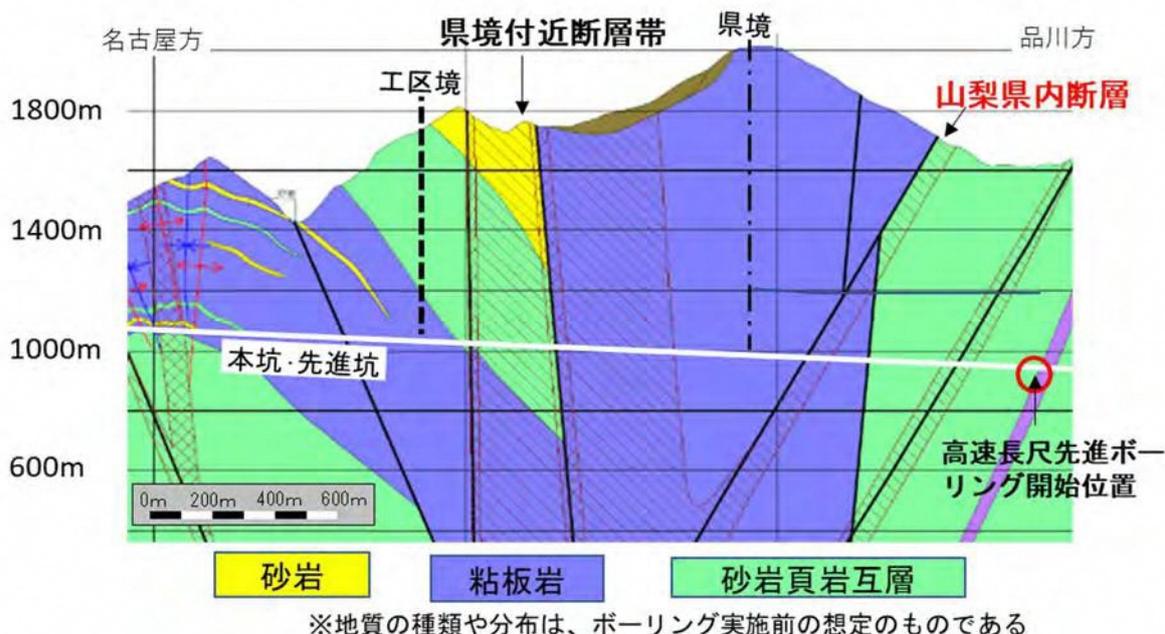


図 5 3 地質縦断図（山梨県内断層と県境付近断層）

- ・山梨県内のボーリングによる直径20cmの孔に、山梨県内の断層帯に含まれる水が引き込まれ、その影響によってサイフォンの原理で断層帯を介して静岡県内の水が山梨県側に移動するためには、山梨県内断層と静岡県内の県境付近の断層帯の間に水が移動しやすいルートが確保され、それらが連続的に繋がっている必要がありますが、以下の①～④の理由から、そういった状況とは想定しにくいと考えています。

- ① 「1) 高速長尺先進ボーリングによる広河原斜坑の地質、湧水状況の確認結果」で確認したように、地質縦断図において、山梨県内断層として断層や脆い区間と想定した範囲の全てが、実際に破碎質で軟質な地質となっている訳ではないと考えられる。

②南アルプスは、これまでの掘削結果から確認してきたように（第8回地質構造・水資源部会専門部会資料参照）、東西方向に大きな地圧を受けて圧縮されているため、岩盤内の透水性を左右する亀裂が密着し、水が非常に浸透しにくい状況だと考えられる。

- ・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。

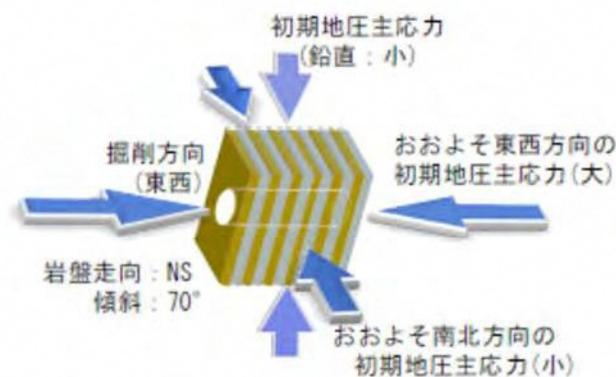


図 12 モデル化した地質構造、初期地圧作用状況と、本坑・先進坑の掘削方向

(出典) 佐藤岳史, 中原史晴, 青木智幸, 林為人, 岸田深 (2022): 大土被りトンネル掘削時の変位挙動に対する異方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

(参考) 第8回地質構造・水資源部会専門部会資料 抜粋

そのため、「1) 高速長尺先進ボーリングによる広河原斜坑の地質、湧水状況の確認結果」で確認したように、小規模な断層であれば、たとえ破碎質の部分があっても透水性は低く、水が移動しにくい状況になっていたと考えられ、実際に、今回の調査区間より東側のボーリング及び先進坑掘削の際は、破碎質な区間があっても湧水の発生はわずかであったため、山梨県内断層においても同様であることが想定される。(ただし、静岡県内の県境付近の断層帯のように規模の大きなものは、③のとおり、透水性が高いこともある)

③過去に大井川（東俣）から山梨県側に向けて行った高速長尺先進ボーリングにおいて、図 13 に示すように、大井川寄りの区間では大量の湧水が生じたが、山梨県寄りの区間（削孔区間 800m～1200m：今回の調査区間の西側に位置する区間）では、破碎質であるものの湧水量の増加は小さかった。

・①～③について、これまでのボーリング削孔・トンネル掘削により判明している事柄を図 54 にまとめてお示しします。

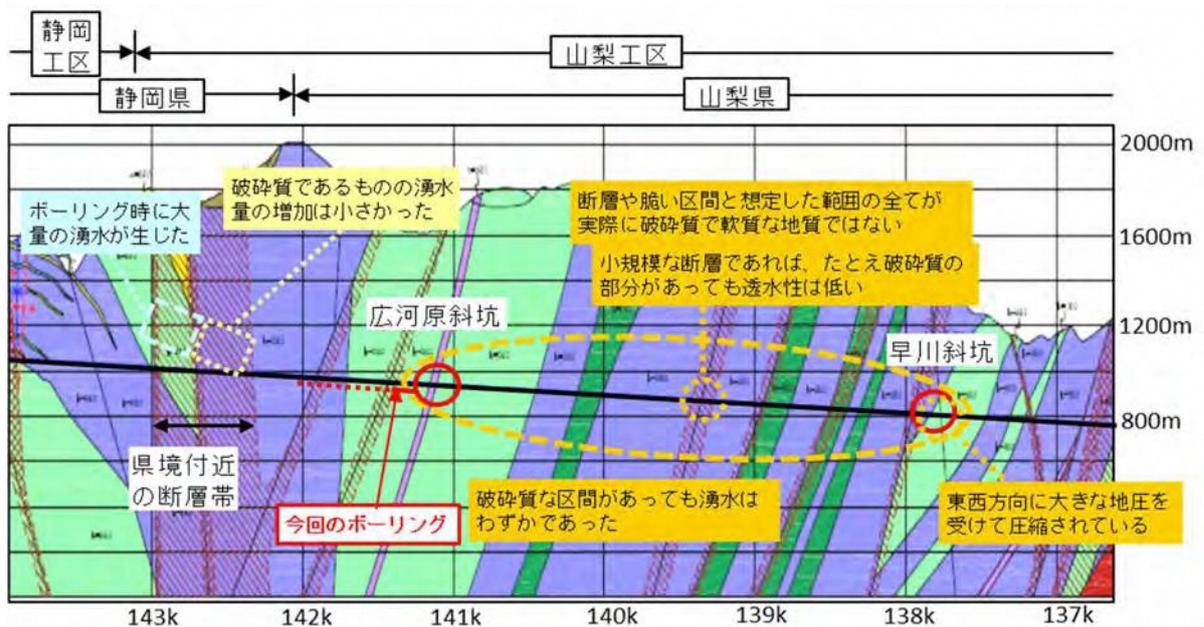
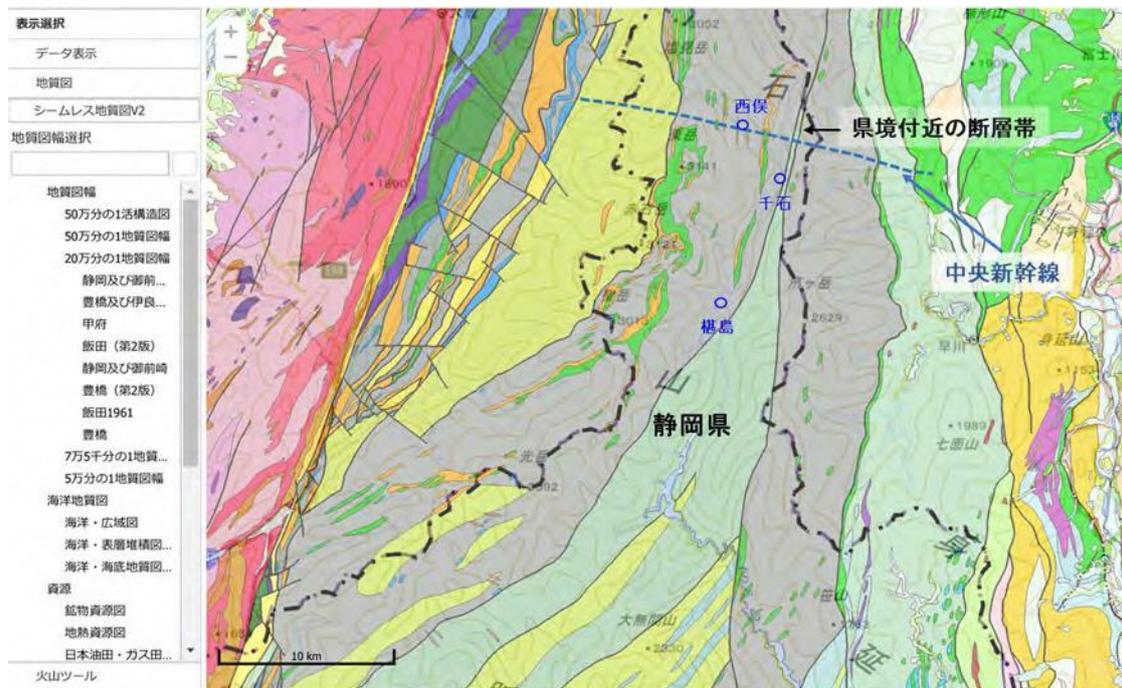


図 54 これまでのボーリング削孔・トンネル掘削により判明している事柄

- ④断層は面的に広がっており、断層に含まれる地下水には、断層が延びる南北方向への流れや深部に向けての流れも含め、様々な方向への流れがあり得ると考えられる。(図 55)



※産業技術総合研究所 地質調査総合センター地質図NAVIより抜粋、一部加筆

図 55 シームレス地質図（20万分の1）

- ・ 上述の状況については、今後進めるボーリングにおいて実施する地質や湧水の調査結果からさらに確認を進めて行くとともに、P45からP52に示すようにリスク管理を徹底して進めてまいります。

3) 県境から100mの設定根拠(青函トンネルの事例)

- ・令和5年2月20日付で当社より静岡県にご回答した内容で、県境から約100mを慎重に調査する区間として設定した理由は以下のとおりです。
 - ・地表踏査の結果等をもとに作成し既に地質構造・水資源部会専門部会でお示ししている地質縦断図に基づいて、県境から約100mの区間の地質については、粘板岩が連続しており、脆い区間にも該当しないことから、主に堅岩部(風化していない新鮮な岩盤)により構成されていると考えています。
 - ・今回はボーリングを行うものですが、トンネル掘削においては、前方に湧水が予想され対策をとる場合には、トンネル前方に一定の区間(突発湧水の生じた青函トンネルの場合、普通の地山で10~15m程度、断層部でも20~30m程度)を確保することで、前方からの湧水による影響を避けることがあります。この実績を参考にすれば、トンネルと比較して断面積の非常に小さいボーリングにおける約100mという目安は、工学的観点から十分に余裕を持ったものであると考えています。
- ・以前当社は、国土交通省有識者会議(大井川水資源)において、静岡-山梨県境付近に想定する大規模な断層帯で、突発的な湧水が生じてトンネル内が水没し、作業員の方々の安全上に係わってくるリスクの説明の際、青函トンネルの作業坑掘削時における事例を活用しました。

しかし、今回当社が山梨県側からの高速長尺先進ボーリング調査において約100mの区間を設定した理由で用いたのは、上述した事例ではなく、青函トンネルで数多く実施した薬液注入時の事例です。
- ・トンネル内から薬液注入を行う時は、地質や湧水、注入圧力の状況に応じて、次回注入を行う箇所の手前にカバーロックと呼ぶ健全な岩盤区間を設け、ボーリング等で地盤中に設置した注入管を通して注入材料を注入します。カバーロックを含めた注入と掘削の概要図を図56に示します。

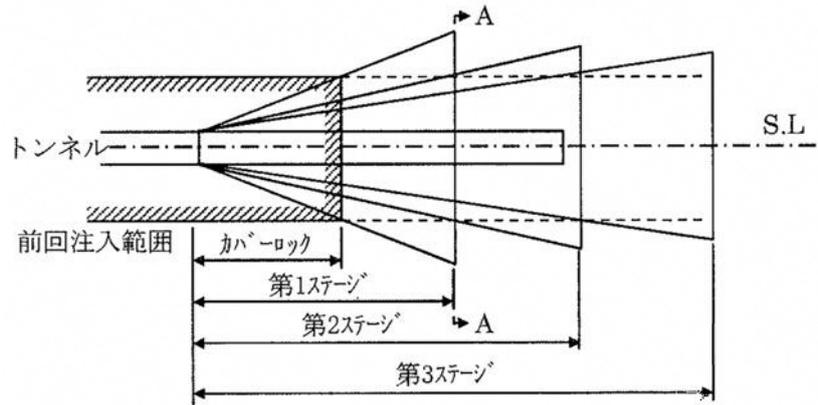


図 56 注入と掘削の概要図

- ・先述いたしました、例えば青函トンネルの場合、普通の地山では10～15m、断層部でも20～30m程度のカバーロックを確保することで、トンネル前方からの湧水による影響を避けつつ、安全に薬液注入を行うことができました。
 なお、青函トンネルの地質は、新第三紀の堆積岩（頁岩、凝灰岩等）、火山岩類（安山岩や玄武岩等）が主体として出現しており、特に海底部の施工範囲は堆積岩が主体で、南アルプスの付加体より若い地層年代での施工事例となります。
- ・仮に一部破碎質な区間があった場合でも、それがまとまって存在することは、これまでの調査結果からは考えにくく、100mの区間を設定しておけば、その中にカバーロックとして機能する延長は十分に含まれているものと考えました。
- ・今後、高速長尺先進ボーリングで様々なデータを得ながら調査し、確認していきます。

4) 高速長尺先進ボーリングの実施に伴う水の動きに関わる検討について

- ・これまでのボーリング調査等の結果から、県境までの高速長尺先進ボーリングに伴って大量の湧水等の影響が生じる可能性は小さいと考えておりますが、リスク対応として湧水量に管理値を設定し管理を行います。
- ・一方、ボーリング削孔時の湧水量の状況などから、ボーリングに伴い新たに静岡県側から山梨県側に水が流出している可能性があると考えられる場合には、関係者間で協議を行います。

(はじめに)

- ・令和5年4月26日の第13回静岡県地質構造・水資源部会専門部会において委員から提供された資料「山梨県側の高速長尺先進ボーリングの湧水が静岡県側の地下水である根拠を科学的に示す方法」に基づき、以下の通り検討を進めます。
- ・なお、項目によっては、検討の基となる山梨県側の水と静岡県側の水で測定結果に差が認められない等の理由で分析が困難となることも考えられるため、専門家の意見も踏まえて各項目の結果をもとに総合的に判断を行います。
- ・検討にあたっては、路線に沿って県境に近い区間や静岡県側も含めてデータを取得し、反映していくことが必要であり、ご提供を頂いた資料の趣旨にも適うものと考えています。

(南アルプスの地質の特徴と断層)

- ・静岡 - 山梨県境付近を含め、当社が作成した地質縦断図は図 57のとおりです。
- ・南アルプス地域の地質は、プレートが沈み込む境界である海溝部において、大陸プレートの下に沈み込む海洋プレート表層の堆積物や岩石が、陸側に押し付けられてできた付加体によって構成されております(図 58)。地質年代としては、付加体の層序を考慮すると、全体的に山側に古い地質があり、海側に新しい地質が分布しているという特徴があり(図 59)、中央新幹線の路線沿いにみると、品川方から名古屋方に進むにつれて新しい地層から古い地層となります。

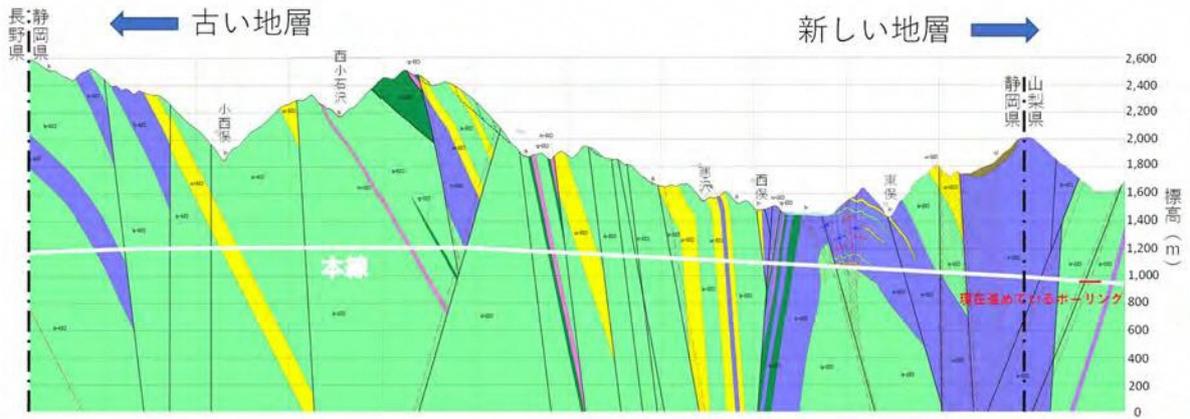


図 57 路線沿いの地質縦断図

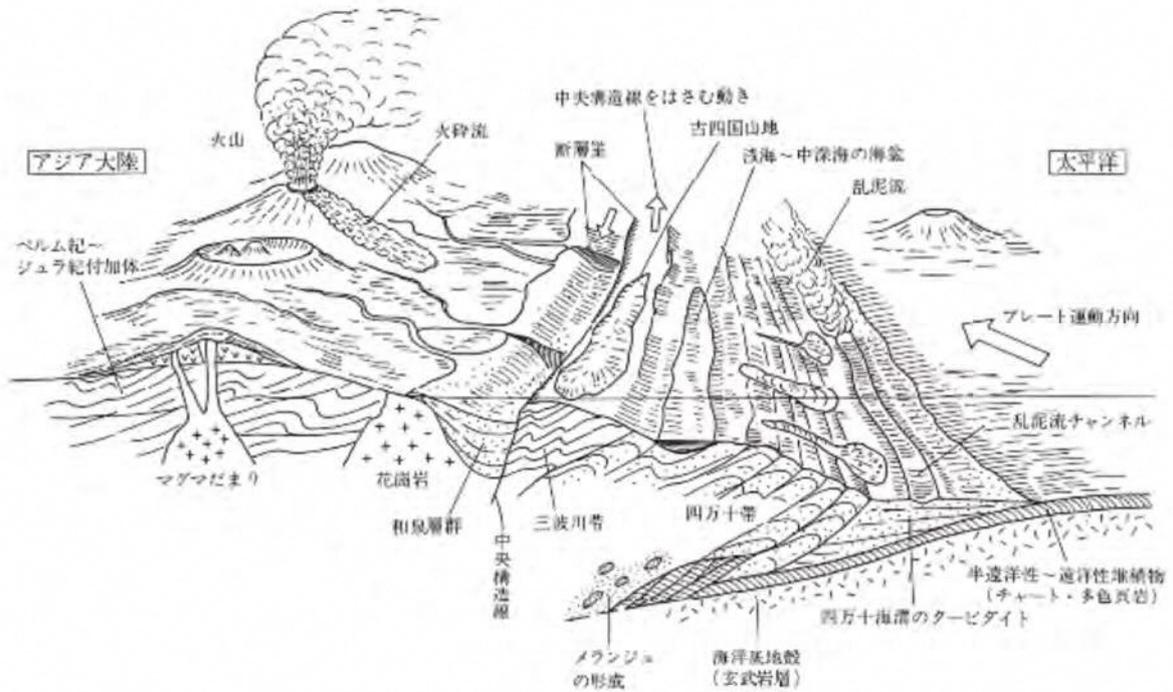


図 58 白亜紀後期西南日本の復元図 (出典：日本列島の誕生)

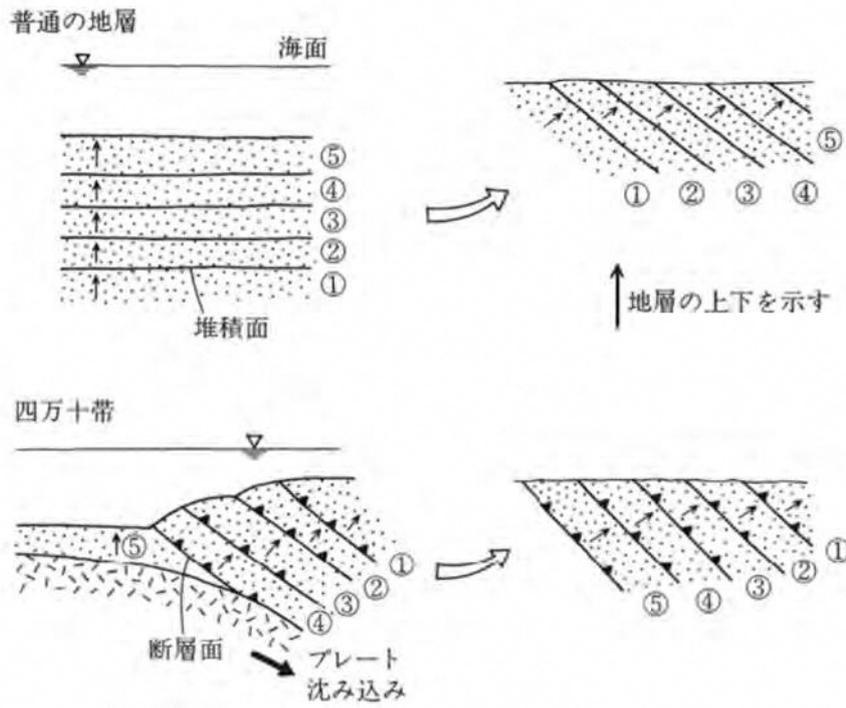


図 59 付加体と通常の地層の年代関係を示す模式図 (出典：日本列島の誕生)

- ・南アルプス地域は、プレートの運動により大きな力を受けており、随所に断層や断層破碎帯が見られます。静岡県内の県境付近の断層帯については、犬居層群と寸又川層群という地質のユニット境となる大規模なものであり、走向が凡そ南北方向に卓越し、幅を持った破碎を伴うものと考えられます。一方で、大きな変位や幅を持った破碎を伴わないものもあり、走向などは前者と異なっています。
- ・こうした地質や断層の状況については、各地点に賦存する地下水の水質等の特徴にも影響を与えていると考えられ、そのことを活用して検討を進めてはどうかということが、委員のご提案と理解しております。
- ・その後、静岡県及び委員と対話を行い、ご意見を踏まえて検討を進めた内容を追記いたしました。

(今後検討を進める内容)

①透水係数や間隙率による確認

- ・図 5 6 の地点において、コアボーリングの実施時にコアを採取して間隙率の測定を行うとともに、ボーリング孔を利用した孔内湧水圧試験を実施し、透水係数を測定します。試験方法は、P 8 9、P 9 2 に示すとおりです。今後、高速長尺先進ボーリングを進め、断層②付近でも P 2 3 に示す方法で調査を実施し、データを取得・評価します。さらに、条件が整い県境付近や静岡県内の削孔を行う際には、県境付近や静岡県内においても調査を実施します。
- ・上記で把握した透水係数や間隙率をもとに、削孔に伴う圧力低下範囲等について検討を進めます。

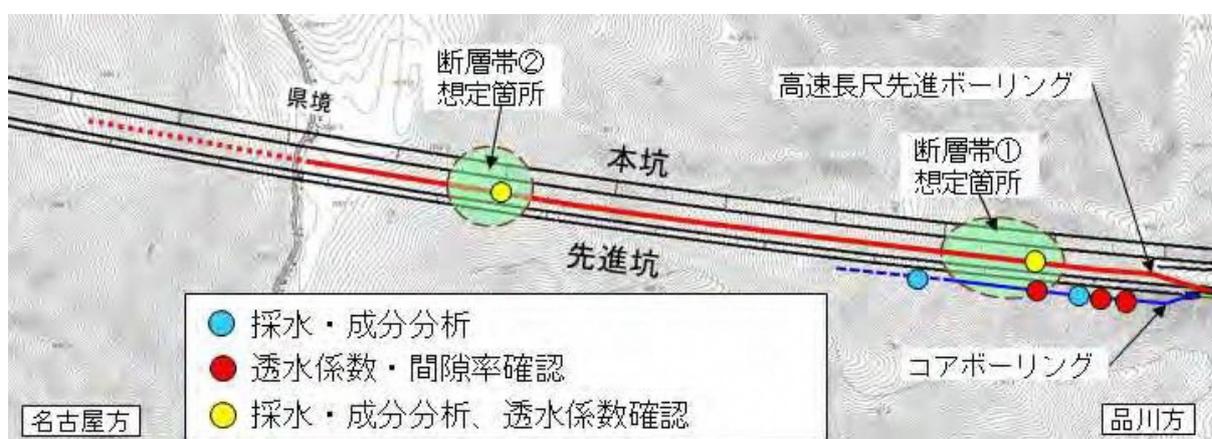


図 6 0 測定地点

②湧出水の水質（水温等）による確認

- ・高速長尺先進ボーリング実施中の湧水の水温等については継続して測定します。これまでの山梨県内の広河原斜坑及び先進坑における高速長尺先進ボーリング時の湧水の水質測定結果は、図 6 1、図 6 2、図 6 3のとおりです。
- ・ボーリングの削孔を進めていくと、ボーリング孔口からは、外側の保護管（外管）から出る湧水と内側の保護管（内管）から出る湧水が出ます。（図 6 4）外管から出る湧水は、ボーリング先端部から孔口までの区間の湧水で、内管から出る湧水は、ボーリング先端部から内管の先端部までの区間の湧水であると考えられます。図 6 1、図 6 2、図 6 3の外管と内管で水質が異なる傾向を示すのは、集水する区間の違いが影響していると考えられます。
- ・これまで、以下のような傾向が共通してみられることを確認しています。
 - ・水温は、土被りの増加とともに徐々に高くなる。
 - ・電気伝導度（EC）は場所によって異なるものの、概ね50 ms/m以下の測定値となっている。一方、セメンチングを実施した区間は、局所的に電気伝導度が高くなっている場合がある。
 - ・pHは、場所によって異なるものの、概ね9～10程度と高めの値を示す場合が多い。
- ・一方で、山梨県内の地下水、静岡県内の地下水の水質の測定結果について、文献や鉛直ボーリングの結果を合わせて整理すると、図 6 5、図 6 6のとおりとなり、電気伝導度（EC）の値が、山梨県内と静岡県内で大きく異なっていることなどを確認しています。
- ・今後、リスク管理の一環として、湧水の水質に変化が生じないか、削孔が県境に近づいてからも水質を継続的に測定することを通じて確認を行います。その観点については表 5のとおりです。各測定値に変化があった場合は専門家のご意見を伺い、他のデータの測定値も踏まえ総合的な観点（マルチトレーサー）から考察してまいります。

表 5 考察の観点と対応

項目	考察の観点と対応
水温	<p>(想定)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・土被りが増加することを考慮し、これまでの採水箇所から土被りが 300m 程度増すとすると、これまでの広河原斜坑の水温から地温勾配を仮定すると水温が 3℃程度高くなる。 <p>(データに基づく対応)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・予想値に対し急激に低下が見られる場合には、地表水流入の可能性があるので、採水し、化学的な成分分析を行う（河川の値と比較）とともに、地表への影響を確認する（河川流量の測定等）。 ・予想値に対し急激に上昇が見られる場合には、より深い部分から水が流入している可能性を考慮し、採水し、化学的な成分分析を行うとともに、電気伝導度の変化との関連を確認する。
電気伝導度 (EC)	<p>(想定)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・静岡県側よりも山梨県側における値が小さく、概ね 50ms/m であり、掘削の進捗による変化は少ない。 <p>(データに基づく対応)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・静岡県側は 150ms/s 以上と値が高いため、急激に上昇が見られる場合には、より深い部分から水が流入している可能性を考慮し、採水し、化学的な成分分析を行うとともに、水温の変化との関連を確認する。 ・なお、局所的な粘土の存在等により値が大きくなる場合があることには留意する必要がある。
pH	<p>(想定)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・概ね、8.0 から 10.0 の間で推移し、削孔の進捗による変化は少ない。 <p>(データに基づく対応)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・pHの急激な上下があった場合、水温や電気伝導度とあわせて評価する。

- ・なお、今回考察を行った結果は、路線から離れた地点のデータも用いているため、今後県境を越えて高速長尺先進ボーリングを行い、路線に沿って静岡県内の測定結果を得ることにより、さらに検討を深めることができると考えています。

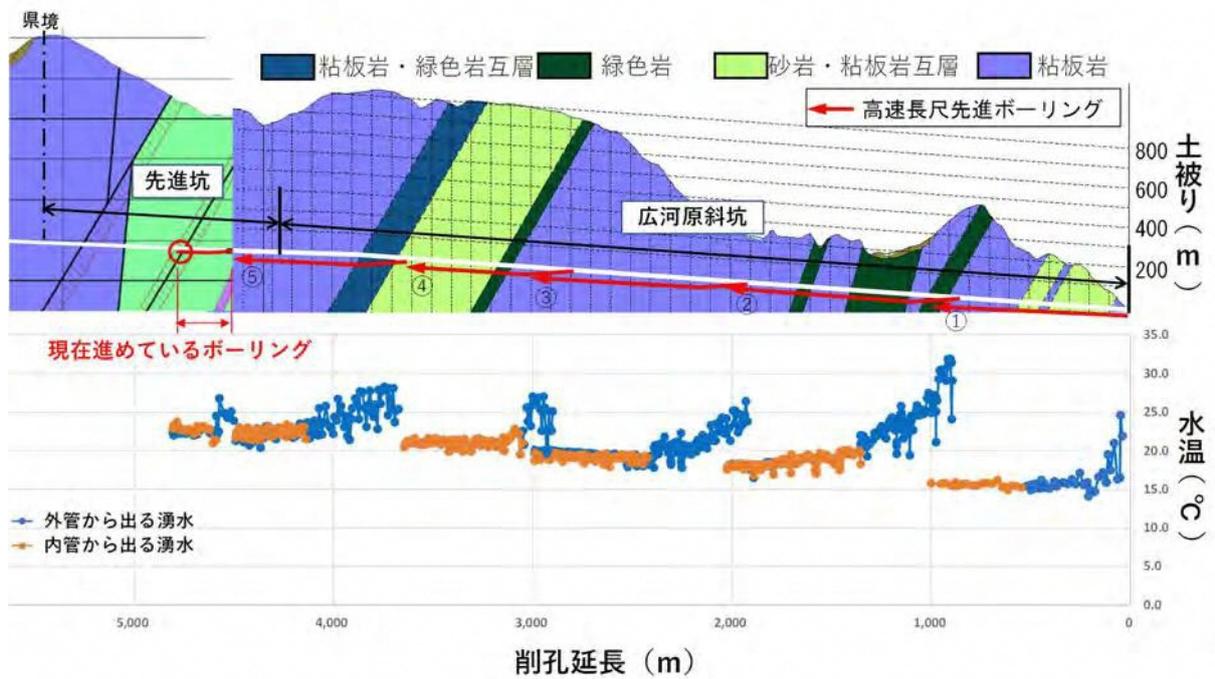


図 6 1 山梨県内の高速長尺先進ボーリング（広河原斜坑・先進坑）湧水の水温

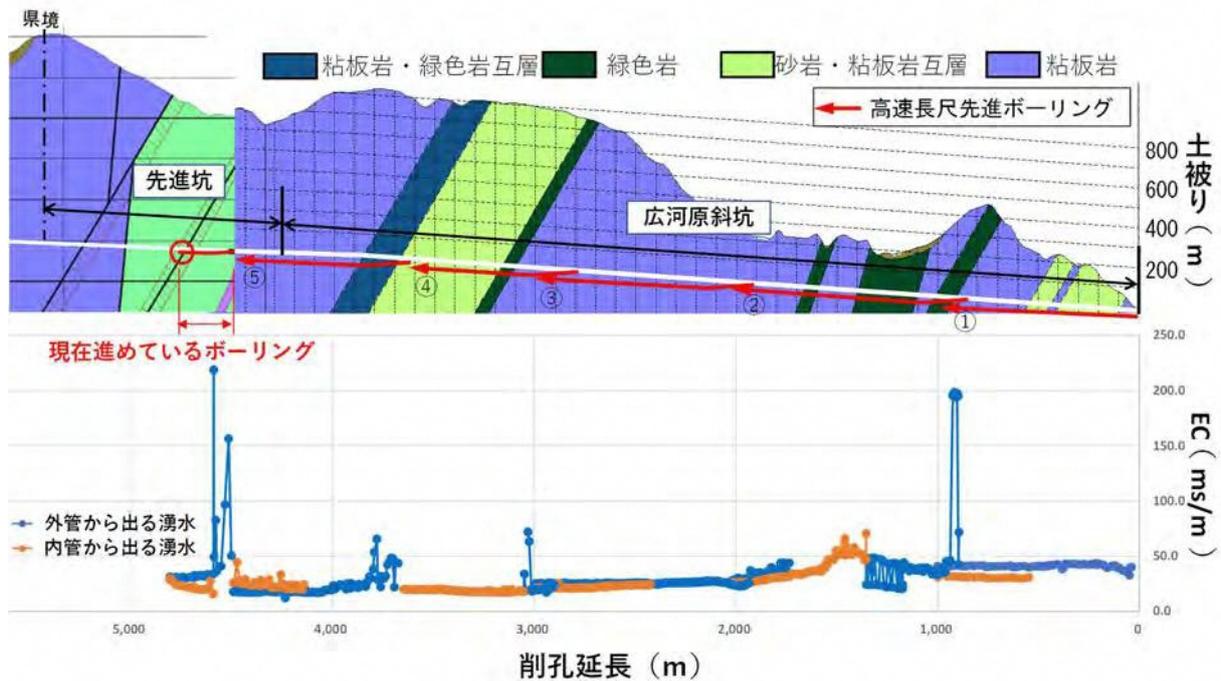


図 6 2 山梨県内の高速長尺先進ボーリング（広河原斜坑・先進坑）湧水の電気伝導度

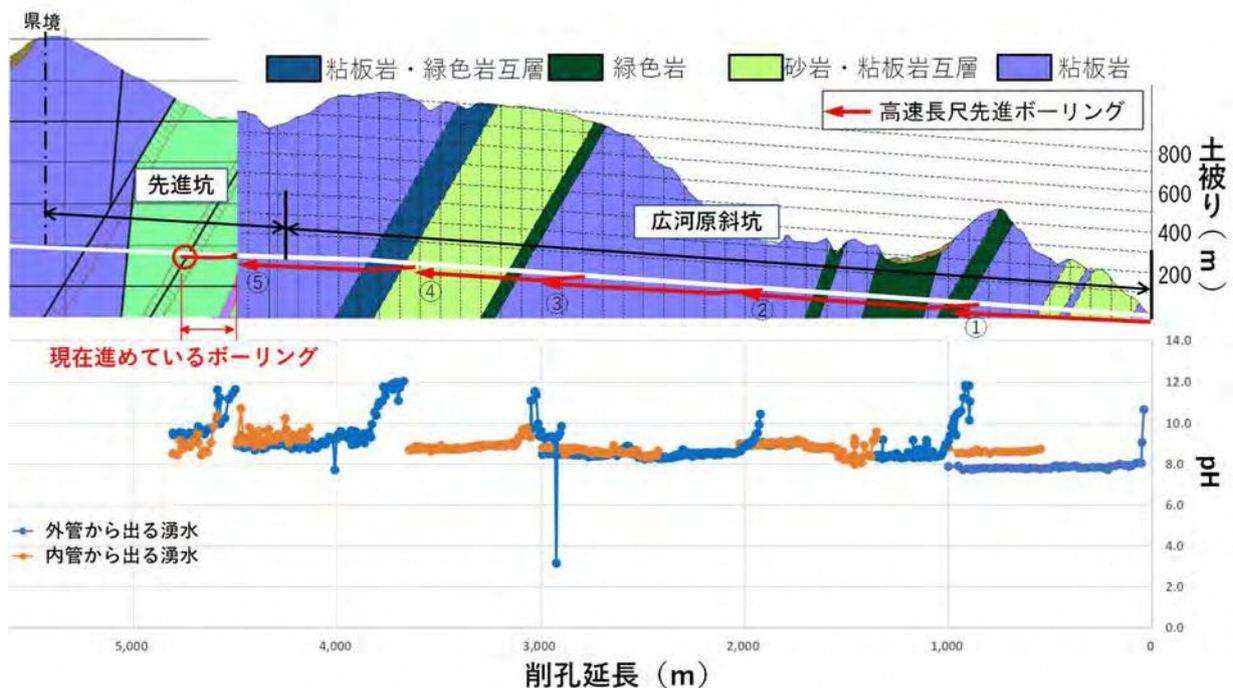


図 6 3 山梨県内の高速長尺先進ボーリング（広河原斜坑・先進坑）湧水の pH

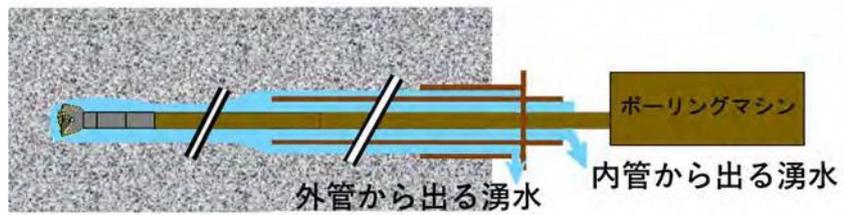


図 6 4 外管と内管から出る湧水の写真とイメージ図



図 65 山梨県内の地下水、静岡県内の地下水に関わる水質の測定結果①

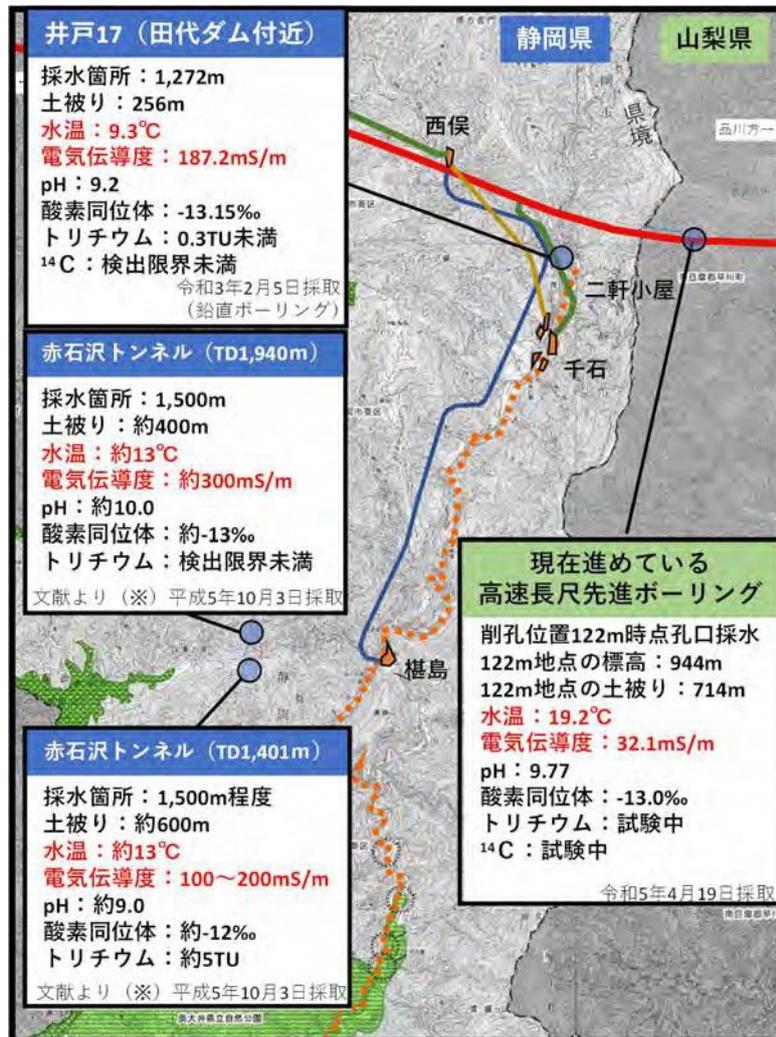


図 6 6 山梨県内の地下水、静岡県内の地下水に関わる水質の測定結果②

※出典：砂岩・粘板岩互層における赤石沢トンネル湧水の水質について（塩崎ほか、1995）

③同位体組成等による確認

- ・ 図 6 5、図 6 6 のとおり山梨県内及び静岡県内の地下水について成分分析を実施しており、シュティフダイアグラムの形はどちらも深層地下水の傾向を示していますが、イオンの濃度（当量値）等に大きな違いがあることを確認しています。
- ・ 今後、図 6 0 の地点において湧水を採水し、表 6 の項目に関する成分分析を実施し、図 6 5、図 6 6 に示す結果と比較を行っていきます。
- ・ なお、今回考察を行った結果は路線から離れた地点のデータも用いているため、今後県境を越えて高速長尺先進ボーリングを行い、路線に沿った静岡県内の測定結果を得ることにより、さらに検討を深めることができると考えています。

- ・基本的には、西側に移るに従って地質年代は古くなり、水温の上昇、電気伝導度の上昇、Cl、HCO₃イオン等の増加、滞留時間が長くなること、等が考えられますが、得られた分析結果を整理し、専門家のご意見をもとに考察してまいります。

表 6 成分分析の計測項目

計測項目	概要
a) 溶存イオン	地下水は流動する箇所の地質状況などに影響を受け、さまざまな化学物質が溶け込んでおり、水循環の過程において、その組成を変化させていきます。溶存イオン分析では、主要溶存イオン (Na、K、Ca、Cl、HCO ₃ 、SO ₄) の組成を、各イオン同士の濃度割合や全体的な濃度の高さ等により整理し、水の起源 (浅層地下水・深層地下水 ⁵ 、温泉水等) の可能性を推定するものです。
b) 酸素・水素安定同位体比 (δ ¹⁸ O・δD)	元素には中性子数が異なる同位体が存在し、放射壊変 ⁶ することなく安定しているものを安定同位体といいます。その同位体の存在比率は、蒸発、凝結等の相変化に伴い変化します。雨水の酸素・水素安定同位体比 (δ ¹⁸ O・δD) は標高が高いほど低くなること、地中ではあまり変化しないこと、を利用して水の平均的な涵養標高 (雨水が地下に涵養した標高) を推定するものです。 山梨県側は涵養線を作成するための採水・分析を行い、静岡県側は既存の涵養線を使用いたします。
c) 放射性同位体	放射性同位体 (トリチウム、炭素同位体等) は、大気中、または降水中の濃度が年代とともに変動していること、地中では安定的であること、を利用して水の滞留時間を推定するものです。誤差の補正に留意しながら、炭素同位体や塩素同位体を使用した分析の実施も検討します。 トリチウムにより滞留時間が数十年単位の水の混入を見極めるとともに、誤差の補正を考慮しながら炭素同位体により滞留時間の長さを確認します。塩素同位体を使用した分析の実施については、炭素同位体による分析結果により判断します。

⁵ 浅層地下水・深層地下水：「地下水マネジメント手順書」(令和元年8月、内閣官房水循環政策本部事務局)によると「一般に、地下には、浅い帯水層や深い帯水層など、複数の帯水層があり、帯水層と帯水層の間は、粘土層などの水を通しにくい「難透水層」と呼ばれる地層により分け隔てられています。」とされている。また「概ね20～30m程度より浅い地下水を浅層地下水、50～60mよりも深い地下水を深層地下水と呼ぶことが多い」とされている。

⁶ 放射壊変：原子核が放射線を出すことにより他の安定な原子核に変化する現象

(コアボーリング調査結果の概要)

- ・前々回の専門部会でご説明したとおり、孔口から115m付近の断層を含む脆い区間の地質等をより詳細に確認するためのコアボーリングを、5月18日に開始し、7月20日に300mまで到達し、削孔を終了しました。
- ・コアボーリングの湧水量は最大で0.00057m³/秒(1秒間に570ml)で、高速長尺先進ボーリングと同様に少ない状況でした。
- ・粘板岩並びに砂岩粘板岩互層を主体とする地質で、コアボーリングの孔口から30m付近より100m付近までの区間と145m付近から210m付近までの区間は、特に脆いコアが多いことが分かりました。なお、高速長尺先進ボーリングの掘削エネルギーから、70m付近以降において脆い区間(掘削エネルギー値が急激に小さくなる箇所が所々続く区間)が複数あることを確認しており、これらは特に脆いコアと地層の関連があると考えられます。(図67)また、特に脆いコアが多い区間の一部には粘土状またはシルト状の層が分布していることが分かりました。詳細な地質解析結果は別途報告します。

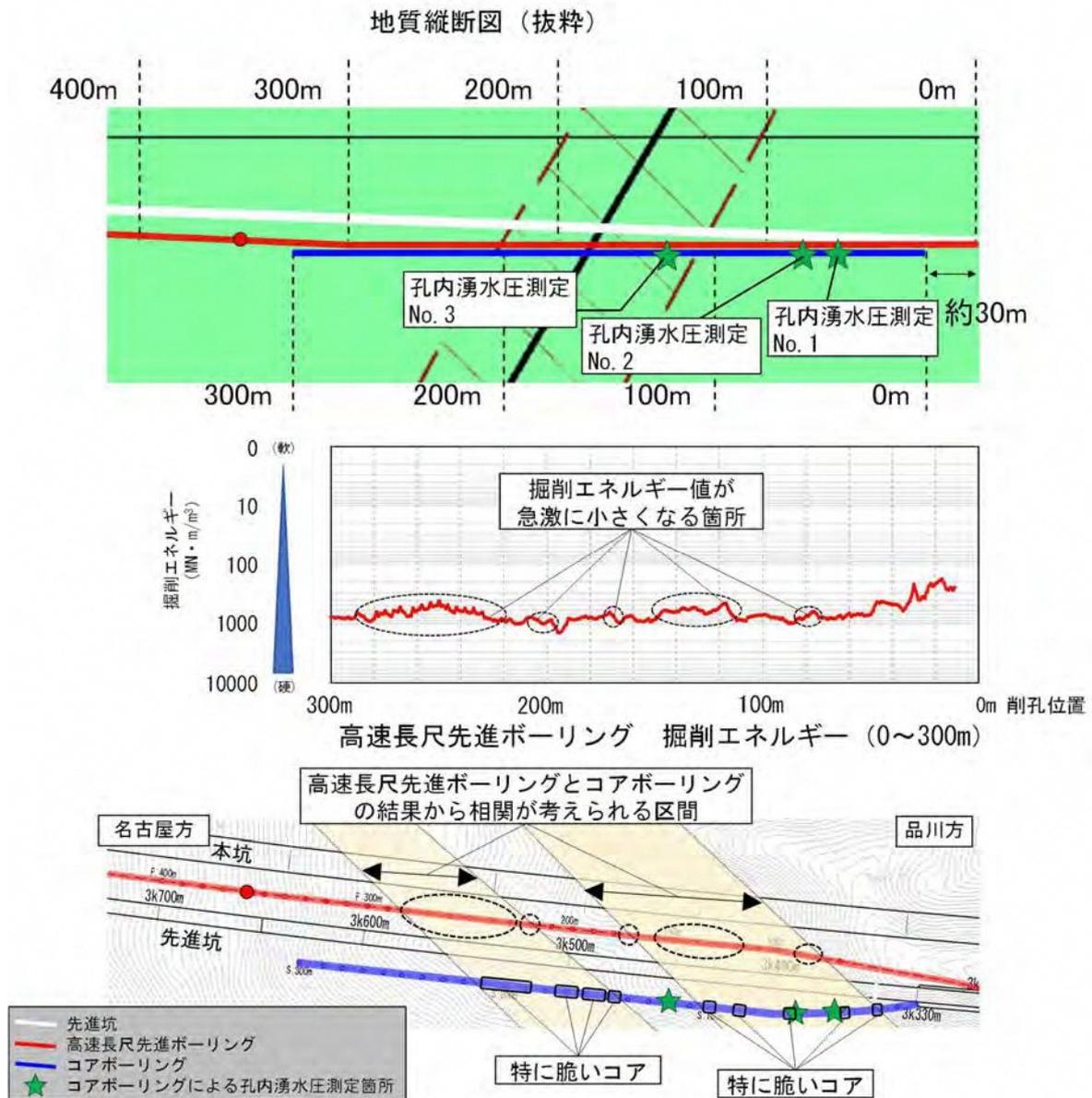


図 67 コアボーリング調査結果の概要（速報）①

- ・コアボーリング孔を利用した孔内湧水圧測定を3箇所で行いました。（図67）ボーリング孔内での湧水圧測定については、水平方向のボーリング孔で湧水圧を測定する方法について基準等が無いため、JGS1322（地盤工学会基準 注水による岩盤の透水試験方法）を参考として実施しました。測定は87mmの径で削孔したボーリング孔にパッカーを挿入し、止水区間をつくり、止水区間へ注水管で水を注水し、止水区間の水圧を計測する方法で実施しました。測定のイメージ図は、図68のとおりです。測定を実施した各3箇所のコア写真は写真4、写真5、写真6のとおりです。

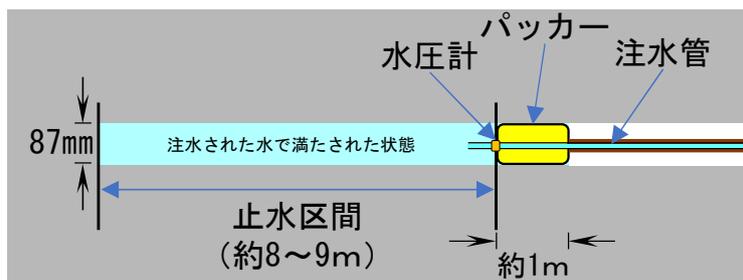


図 68 コアボーリング調査結果の概要 (速報) ②



写真 4 孔内湧水圧測定 No. 1 (42.0m~50.2m) コア写真



写真 5 孔内湧水圧測定 No. 1 (42.0m~50.2m) コア写真



写真 6 孔内湧水圧測定 No. 3 (115.0m~123.0m) コア写真

- 3箇所の測定結果は、有効注水圧力水頭が30～70（m）程度、注水量は0.002～0.007（L/min）でした。なお、得られたデータから透水係数を算出することができるため、試算を行ったところ $6.1\sim 9.1\times 10^{-11}$ （m/s）となりました。現在算出方法の最終確認を行っており、透水係数の結果はコアボーリングで実施した各試験結果と合わせて別途報告します。
- また、間隙率の測定については ISRM 指針 (ISRM: 世界岩の力学連合会 (International Society of Rock Mechanics)) の「3. 飽和・浮力方による有効間隙率、密度試験の指針」を参考に実施します。具体的にはコア（岩片）を真空条件下で浸水させ、飽和状態の質量を計測し、その後 105℃で炉乾燥させ、乾燥状態の質量を計測し、飽和状態の質量と乾燥状態の質量から間隙率を算出することを考えています。