

5. 工事実施段階における取組み

(1) トンネル掘削時におけるトンネル湧水量の低減

- ・南アルプスは主に四万十帯と呼ばれる砂岩・粘板岩を主体とした付加体の地層で構成されています。この四万十帯は、糸魚川・静岡構造線を東端とし、長野側に向けて新しい地層から古い地層へ移っていきます。静岡県内は、山梨側より古い地層となりますが、古い地層へ向かうほど、現地は急峻な地形となってアプローチしにくくなり、地上からの調査が限定されます。そこで、斜坑掘削時の切羽周辺及び先進坑（本坑に先立って掘削）の切羽周辺から前方に向かって、先進ボーリングを繰り返し実施し、トンネル切羽前方約500mまでの地質性状を確認します。
- ・先進ボーリング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、破砕帯等が存在する場合にはその位置や延長を確認します。
- ・先進ボーリング孔の湧水量を掘進状況に応じて確認し、事前に実施していた解析結果等と比較し、濁水処理設備の追加や掘削前のコアボーリングの必要性の検討等を行います。
- ・先進ボーリングの結果、破砕帯等や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い、地質の性状を詳細に調査します。

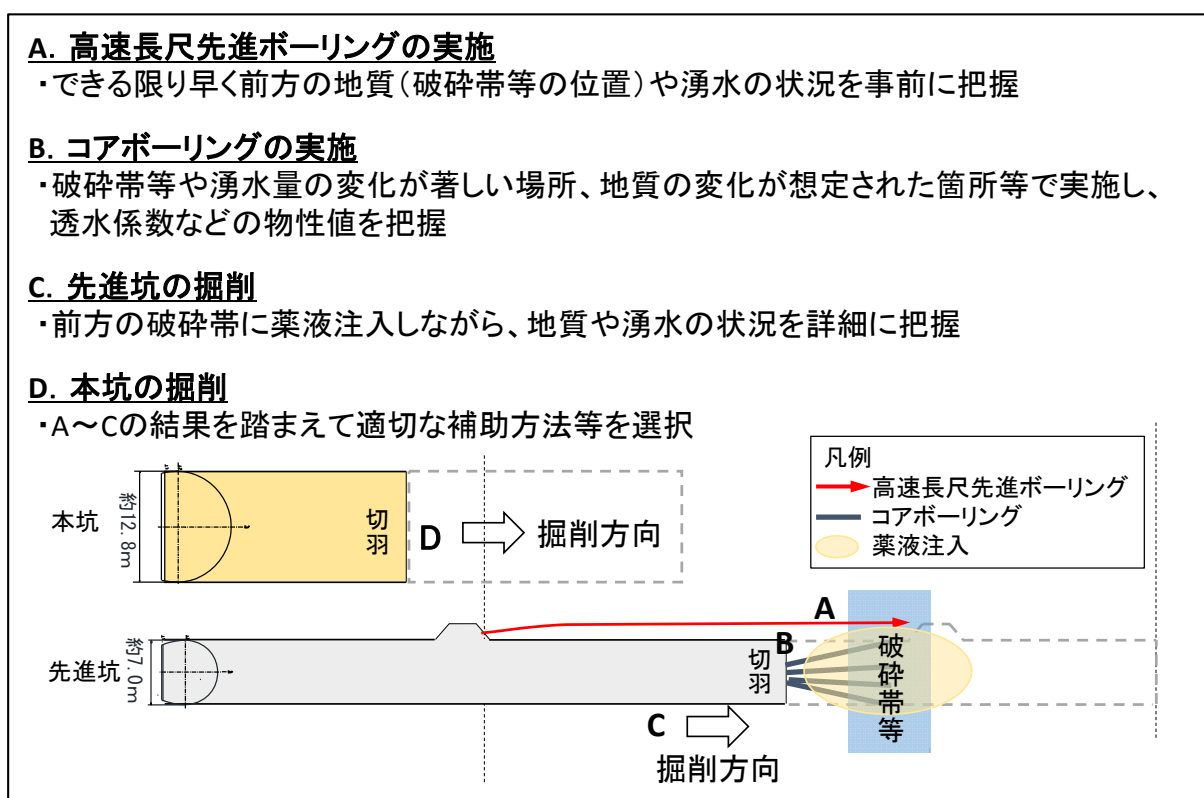


図 5.1 先進ボーリングを用いたトンネル掘削の手順

- ボーリング調査の結果、破碎帯の存在により、先進坑掘削時に多くのトンネル湧水が想定される範囲においては、先進坑の掘削がその範囲に近づいた時点でトンネル掘削工事を一時中断し、トンネル周辺や切羽前方に対し、薬液注入を行い、トンネル湧水を低減します。

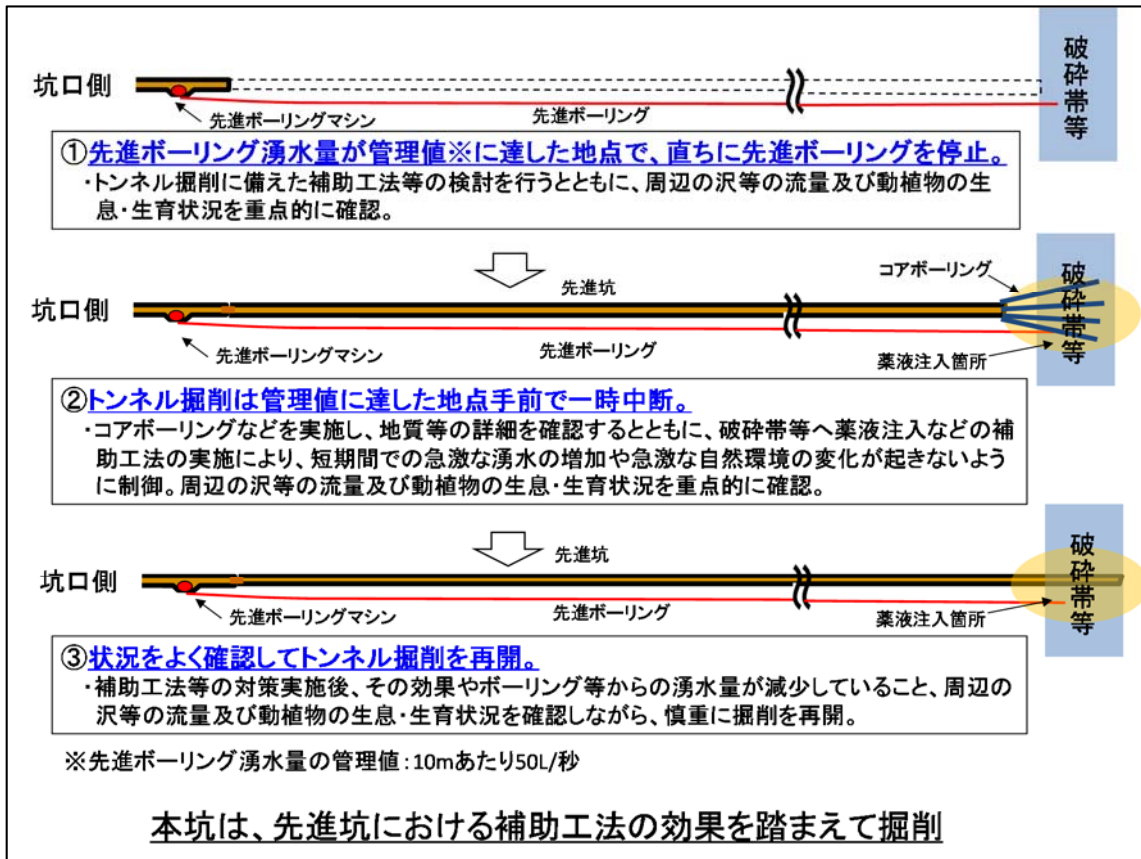


図 5.2 先進ボーリング湧水量を用いた管理

- 斜坑、先進坑及び本坑における先進ボーリング孔の湧水量は、削孔長10mあたり50L/秒※を管理値、導水路トンネルにおける先進ボーリング孔の湧水量は、削孔長10mあたり30L/秒※とし、ボーリング湧水量がこの管理値に達した場合には、当該地点の手前で掘削工事を一時中断します（図 5.2）。

※静岡工区で考えられる最も大きい水準の透水係数とし、水頭差を静岡工区の最大土被りと仮定して算出したトンネル湧水量の結果により設定。

※管理値は工事中の状況を踏まえ、必要により見直しを行います。

- トンネル全体の湧水量は、斜坑、先進坑、本坑の合計値は $3\text{ m}^3/\text{秒}$ 、導水路トンネルは $1\text{ m}^3/\text{秒}$ を管理値とします（管理値は工事中の状況を踏まえ、必要により見直しを行います）。
- 斜坑、先進坑、本坑からのトンネル湧水量については、図 5.3の管理曲線を用

いて、湧水量総量が各時点において管理値（ $3\text{ m}^3/\text{秒}$ ）を下回っていること、掘削完了までの湧水量総量が管理値を下回る見通しであることを、確認していきます。

- ・また、先進ボーリング孔からの湧水の水温や水質（pH、ECなど）の計測を行います。また、化学的な成分（溶存イオンなど）も測定を行うなど、こういった水がトンネル内に湧出しているのかについて分析を行っていきます。

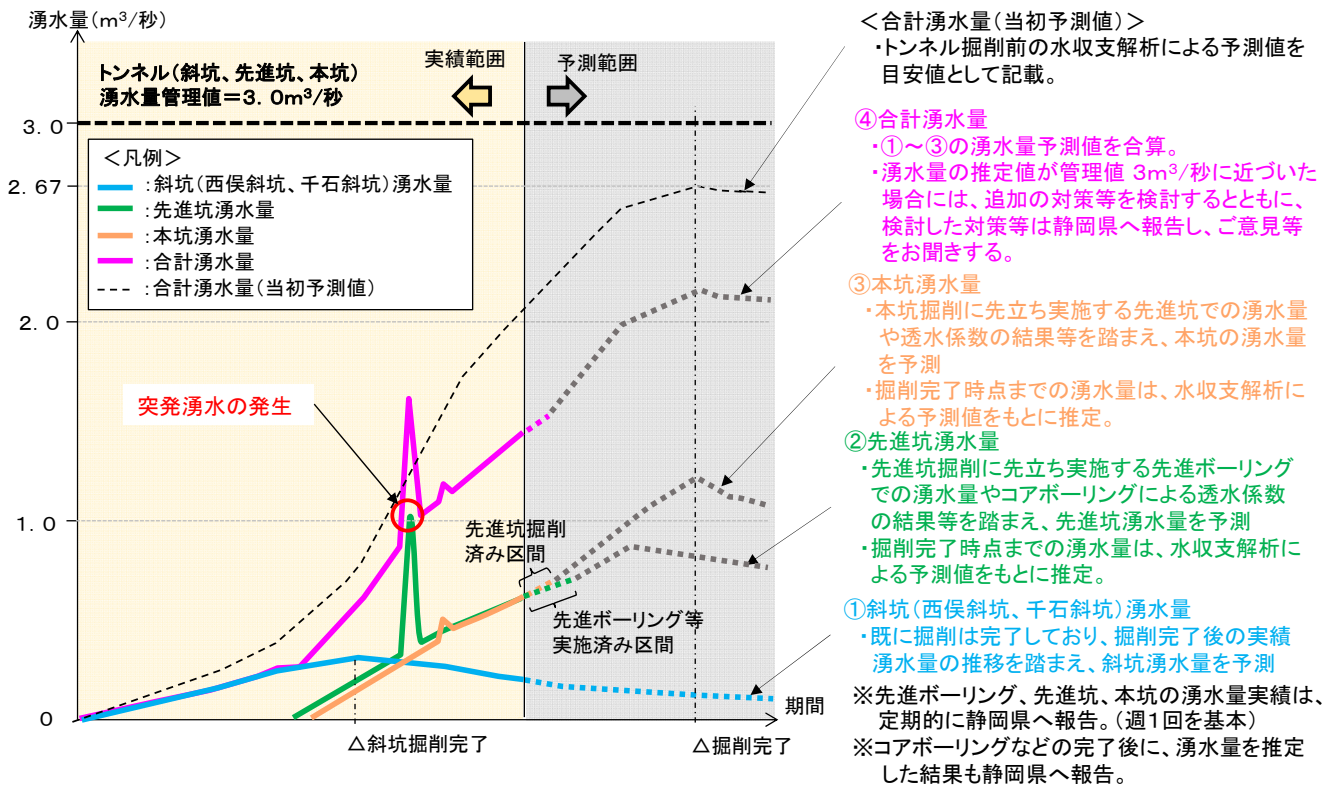


図 5.3 湧水量の管理曲線 (イメージ)

- ・さらに、切羽の観察（湧水含む）等から地質状況をさらに把握し、こうしたデータは図 5.4 のように施工計画にフィードバックして、特に斜坑、先進坑、本坑といった新たな段階の掘削を開始する際の判断に活用します。
- ・なお、ボーリング湧水量の管理値は、トンネル掘削の状況からより厳しく下げることがあっても、緩和することは考えておりません。また、トンネル全体の湧水量の管理値についても、今後見直しの可能性があるものと認識したうえで、工事を進めていきます。

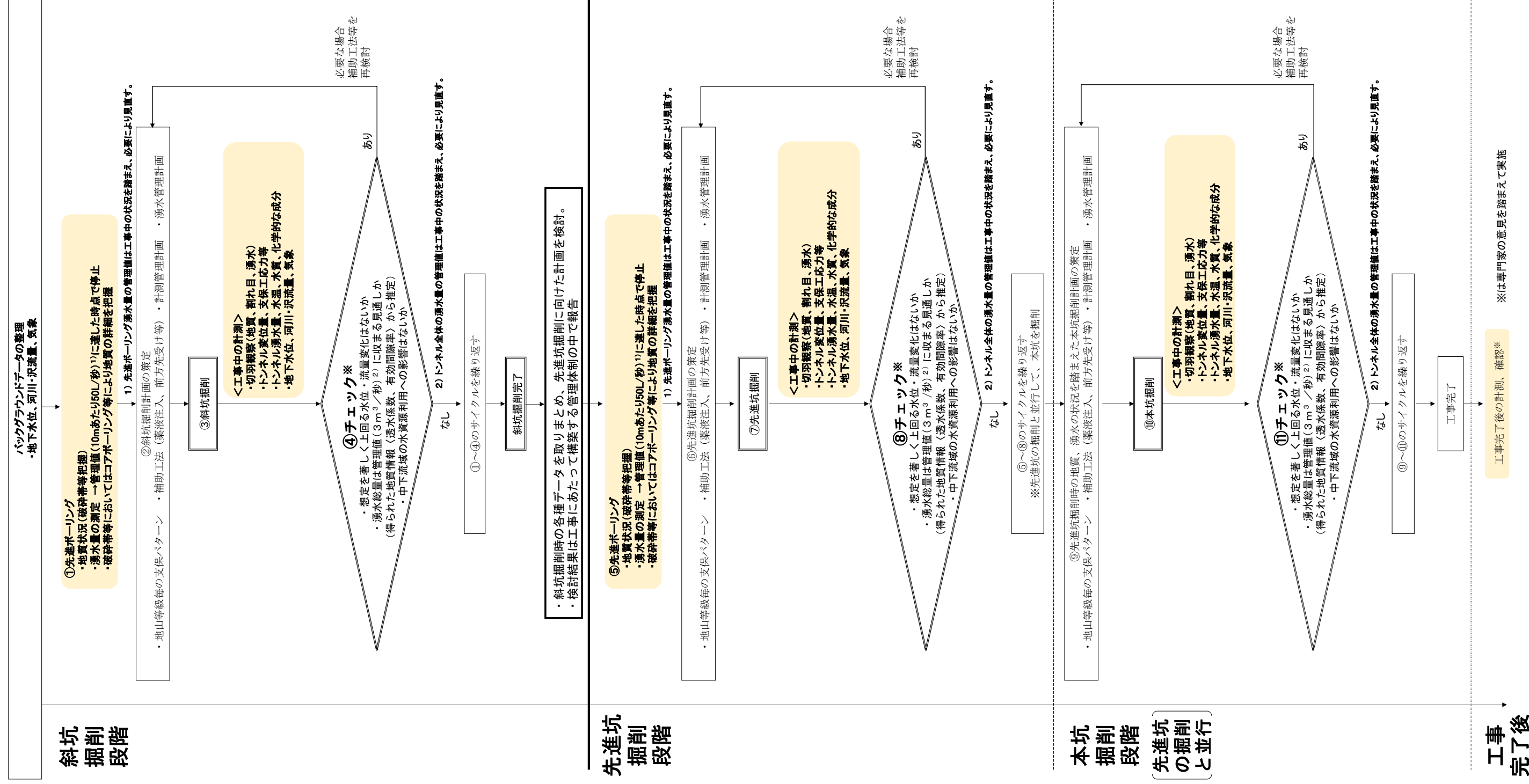


図 5.4 データの施工計画へのフィードバック

注) 地山等級：岩の種類やポーリング調査結果等から判断される地山（トンネル掘削の対象となる山）の良し悪しのことをいい、支保パターン（掘削中のトンネルを支持するために使用する吹付けコンクリート、ロックボルト、ロックボルト、鋼製支保工等の規格、数量等の計画）決定に反映する。

- 本坑等の掘削においては、吹付けコンクリート、防水シート、覆工コンクリート（これらの一部あるいは全て）、状況により薬液注入を施工し、トンネル湧水を低減することで、トンネル全体の湧水量を前述の管理値以下となるように管理していきます。
- 地質の良い区間では、吹付けコンクリート、防水シート、覆工コンクリートを、トンネル掘削時から完成まで一連の施工段階において、一体として組合せることにより、トンネル湧水量の低減効果を発揮させていきます。
- しかし、破碎帯等の地質が悪い区間では、被圧された湧水が発生する可能性があります。

被圧された湧水が生じている中では、トンネルを安全に掘削し、湧水量低減の効果を発揮させることが難しくなることが考えられます。

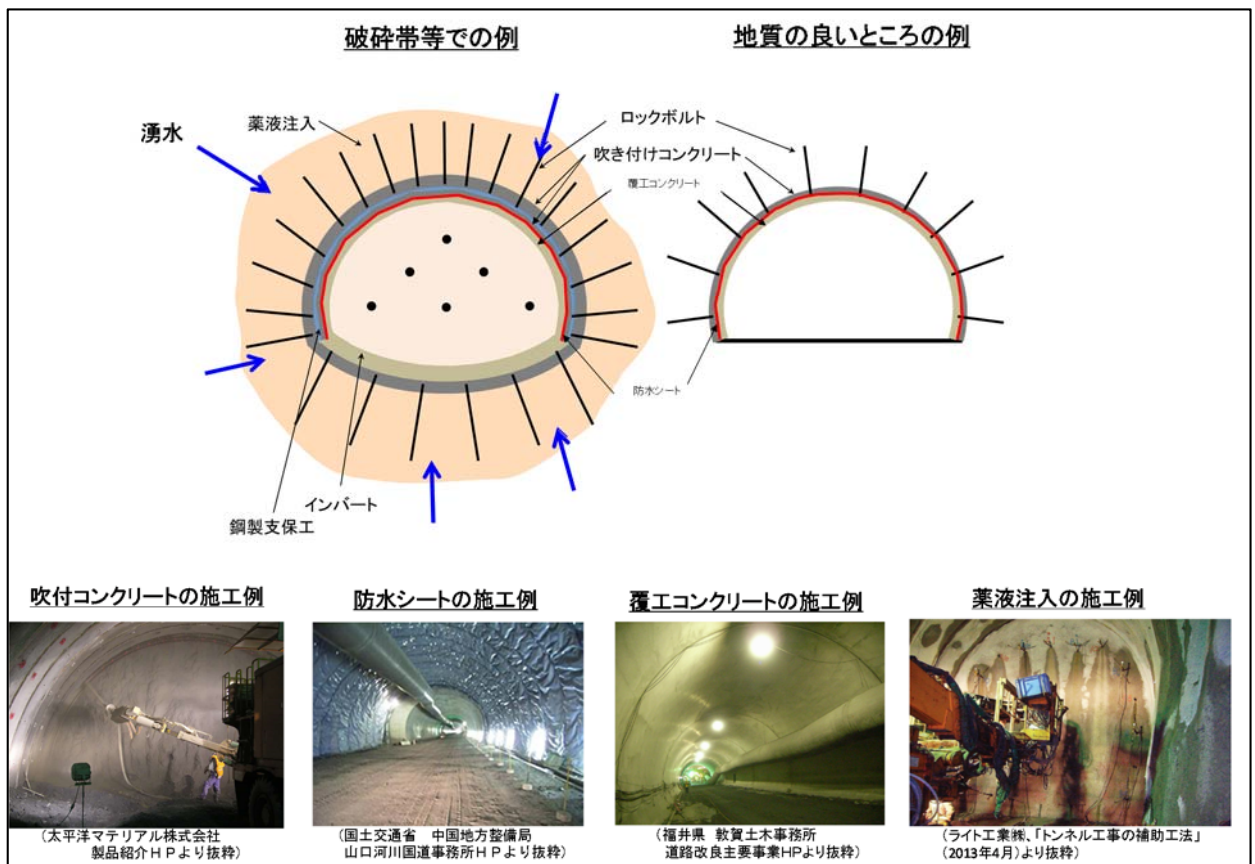


図 5.5 本坑におけるトンネル湧水量低減対策

- ・そこで、まずはトンネル湧水が被圧された状態を早期に改善するため、追加のボーリング等を行い、水圧を下げるなど、施工環境の改善を図ります。
- ・その後、速やかに薬液注入をトンネル周辺及び切羽面から行うことで、トンネル湧水が被圧される原因となる箇所を改良を行い、地山周辺の透水性を改善させます。
- ・改善した状況を作り出した後は、地質の良い区間と同じ対応にて施工し、トンネル湧水量の低減効果を発揮させていきます。
- ・ただし、上述した対策を行っても、トンネル湧水量の管理値を一時的に上回るリスクがあるため、トンネル湧水の揚水設備や濁水処理設備の施設計画の見直しを図ることも選択肢として検討していきます。

(2) 両斜坑・導水路トンネル掘削段階等

- ・先進坑や本坑に先立って両斜坑や導水路トンネルを掘削します。両斜坑や導水路トンネルでは、河川や沢の直下の施工や地中に帯水している可能性がある断層や破碎質な箇所の施工、さらには、大きな土圧や水圧がかかる土被り1,000mを超える区間の施工を行います。
- ・両斜坑・導水路トンネルの掘削段階において、様々な地質や湧水の状況、トンネル上部の沢の流況の変化などを実際に確認できることから、この間に得られた情報等をもとに、難工事が予想される南アルプストンネルの先進坑や本坑の掘削を進めてまいります。
- ・以下、 1) 千石斜坑、 2) 西俣斜坑、 3) 導水路トンネルについて具体的に示します。

1) 千石斜坑

ア. 千石斜坑の工事概要

- ・千石斜坑は、全長約3,070mであり、標高約1,340mの地上部から標高約1,080mの本坑との取付位置に向けて、下向きに約10%の勾配で掘り進めていきます。

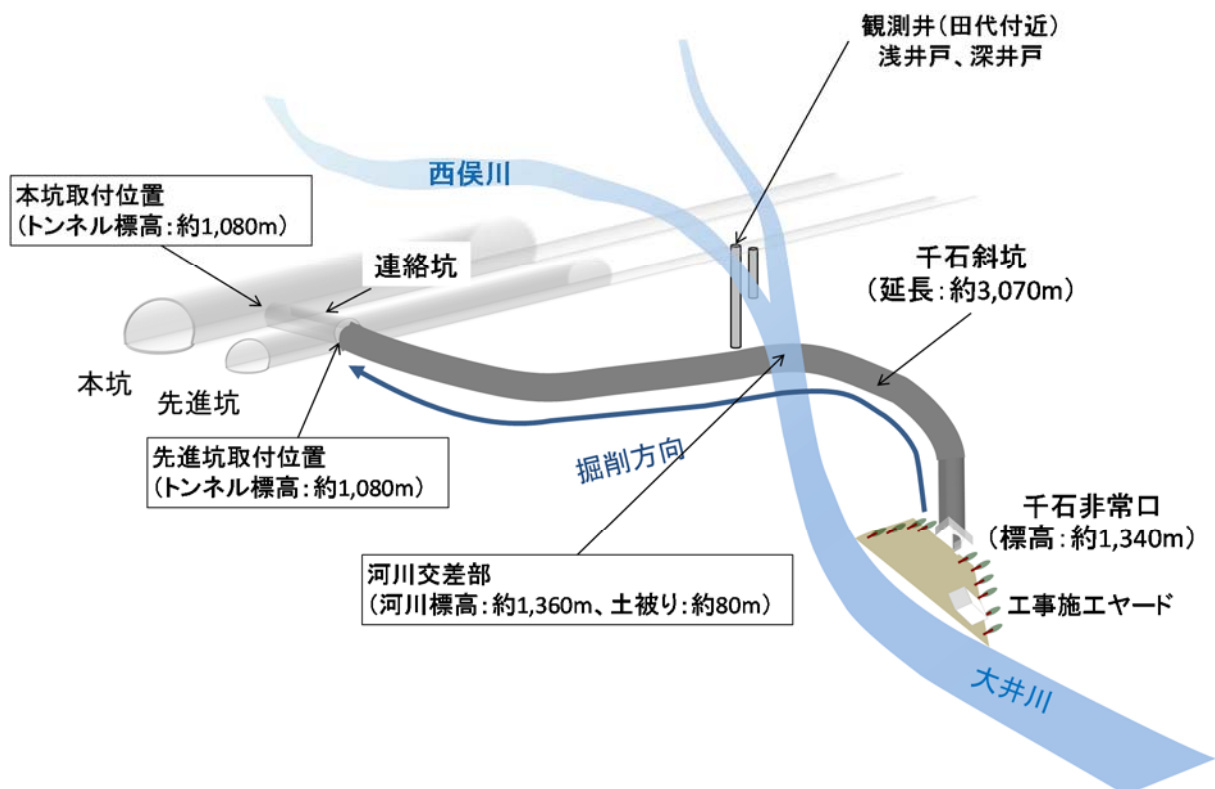


図 5.6 千石斜坑 概念図

イ. 施工ヤードの整備（準備段階）

- ・ 施工ヤードは、人工林等を選定し、計画しています。
- ・ 斜坑掘削工事の前には、施工ヤード整備を行います。
- ・ 林道東俣線沿いの斜面を切取、盛土して平地を造成し、そこに、濁水処理設備やトンネル掘削土の仮置き場などを配置します。

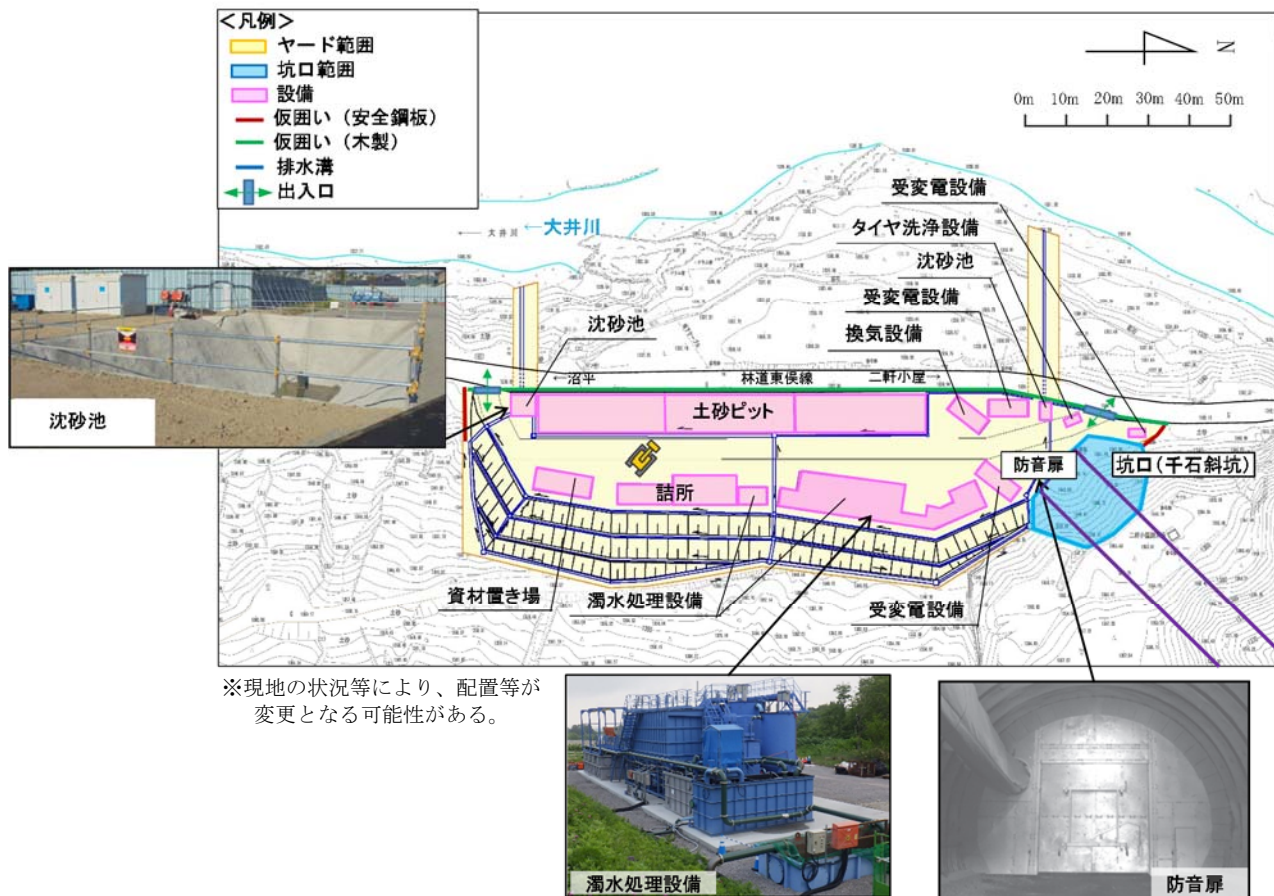


図 5.7 千石斜坑ヤードの計画図

ウ. 斜坑掘削段階

- ・ 施工ヤード内から、斜坑を掘削して行き、比較的小さな土被りで沢や大井川と交差し、その後、破碎質な地層の中を掘削して行きます。ボーリングにより常に前方探査を行い、河川・沢、断層や破碎質な箇所においては、補助工法（薬液注入や前方先受けなど）を併用しながら施工を進め、トンネル湧水量を計測します。また、沢や大井川との交差箇所については、トンネルが交差する前後において流況の変化を重点的に確認します。
- ・ トンネルの施工を進めることにより、実際の地質状況が取得可能になります。さらに、破碎帯や地質の変化があった箇所では、掘削断面等の計測の頻度を上げることや岩石試験を行いながら、より詳細な地質の状況を把握します。

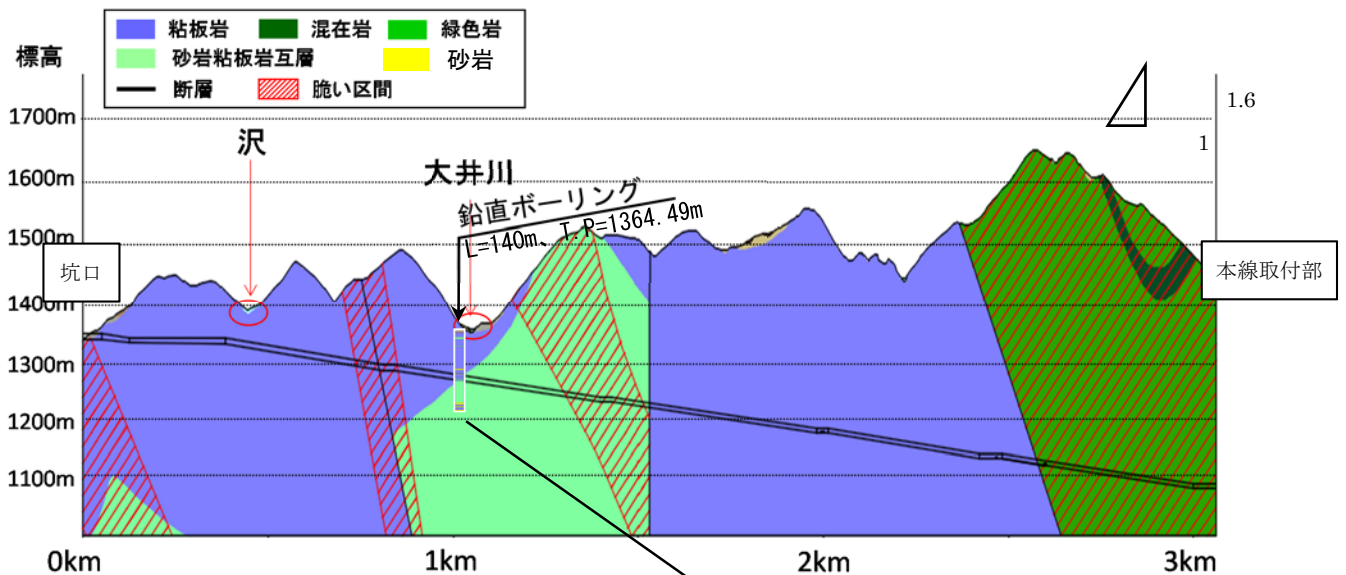
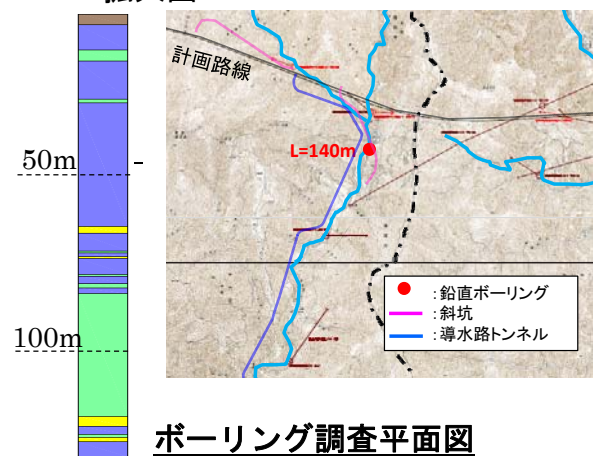


図 5.8 千石斜坑 縦断面図 拡大図

※地質については、既存文献、地表踏査、弾性波探査、ボーリング調査の結果をもとに、南アルプス全域の広域的な地質図を作成し、さらに斜坑や導水路トンネルの計画線においては、近傍で実施したボーリング調査等の情報を追加して地質縦断面図を作成しました。千石斜坑沿いでは、広域的な地質図と近傍で実施したボーリング結果が概ね一致しております。今後、斜坑の掘削を進めることで得られたデータをもとに地質縦断面図を更新してまいります。



ボーリング調査平面図

- トンネル施工においては、トンネル掘削中に計測されるトンネル湧水量の実測値と計画段階で実施した水収支解析による予測値（図 5.9）とを比較することにより、実際の湧水量が予測値に対してどのような傾向を示すのかについて検証しつつ、その先の掘削にあたり湧水量を低減するための対策を実施しながら、トンネル湧水の揚水設備や濁水処理設備の施設計画の見直しを図りつつ慎重に進めてまいります。なお、トンネル湧水量については坑口での全体湧水量だけでなく、一定の区間ごとの湧水量についても計測し、どの付近から湧水が出ているのかを把握しながら掘削を進めてまいります。

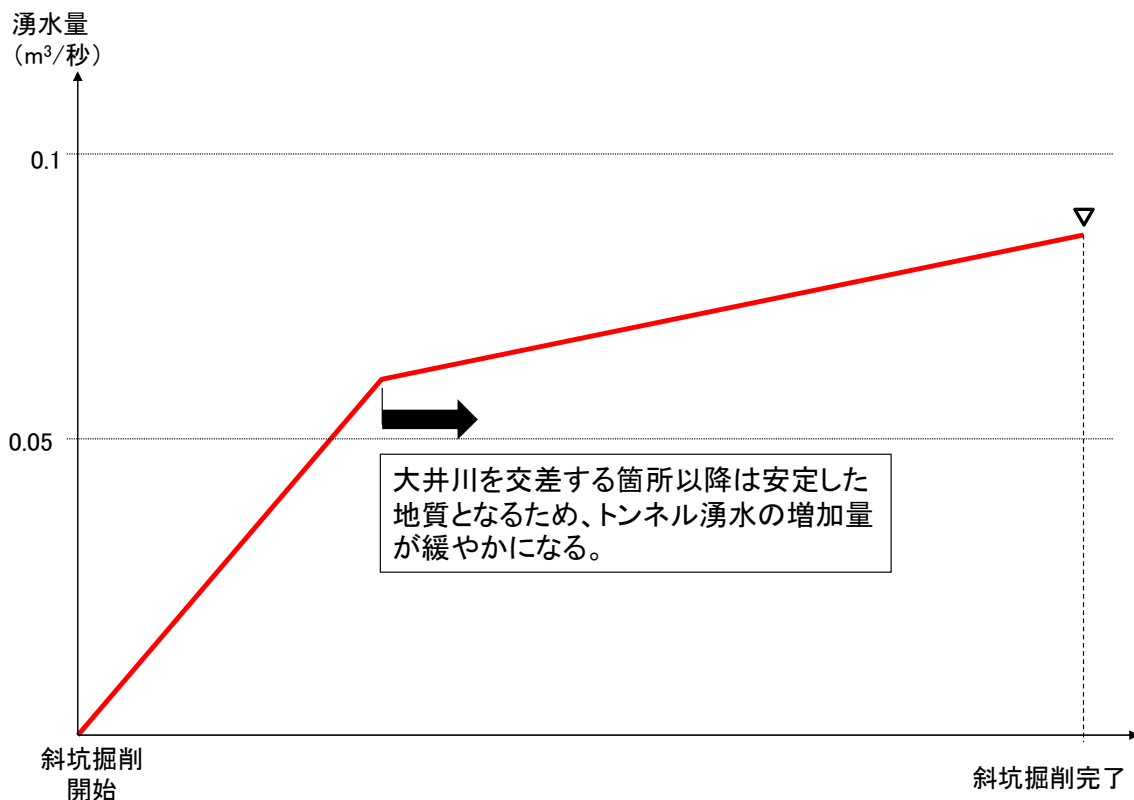


図 5.9 予測値から作成した千石斜坑の湧水量の推移

- また、地下水位について、田代付近に設置した観測井戸の水位を観測します。千石斜坑掘削時の観測井戸の地下水位の変化と水収支解析における地下水位低下量の予測値を比較することにより、実際の地下水位低下量が予測値に対してどのような傾向を示すかについて検証することが可能です。
- モニタリング結果や実際の地質状況を踏まえたリスクの回避・低減については、解析による方法も含め、今後検討を深度化します。

2) 西俣斜坑

ア. 西俣斜坑の工事概要

- ・西俣斜坑は、全長約3,490mであり、標高約1,535mの地上部から標高約1,210mの本坑との取付位置に向けて、下向きに約10%の勾配で掘り進めていきます。

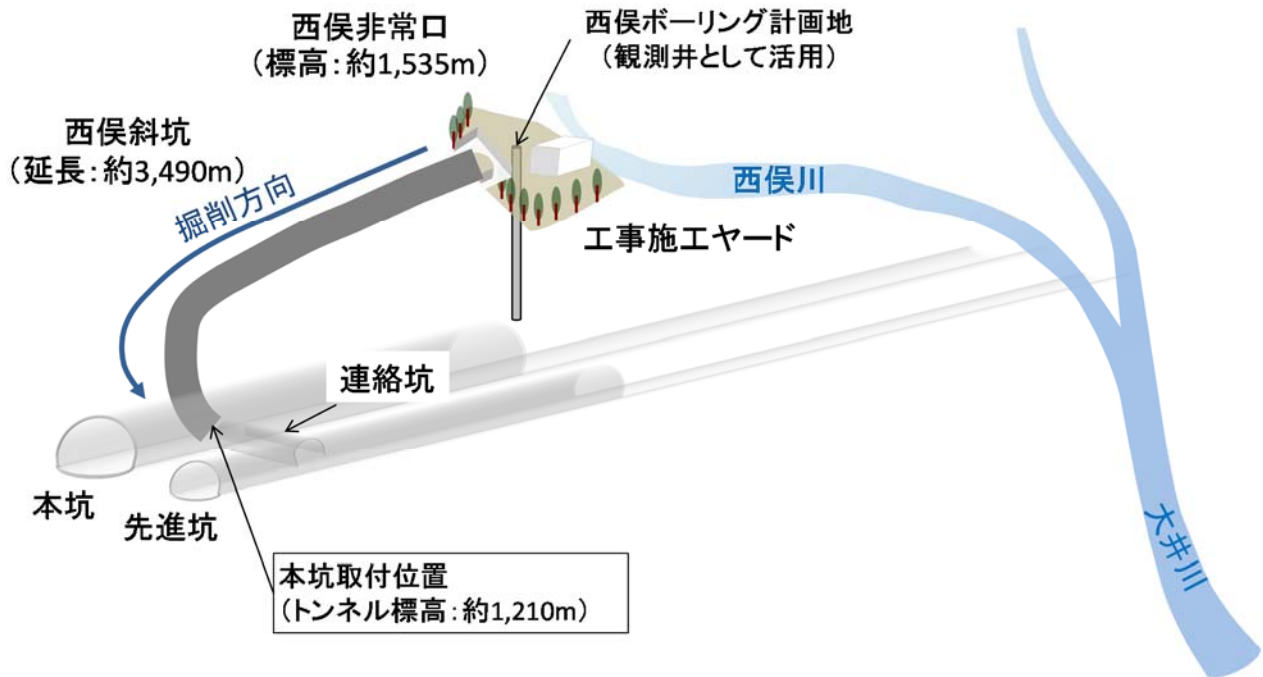


図 5.10 西俣斜坑 概念図

イ. 施工ヤードの整備（準備段階）

- ・ 施工ヤードは、過去に伐採され、他の事業で使用した工事ヤード跡地や人工林等を選定し、計画しています。
- ・ 斜坑掘削工事の前には、施工ヤード整備を行います。
- ・ 現状の平地を整地し、そこに、濁水処理設備やトンネル掘削土の仮置き場などを配置します。

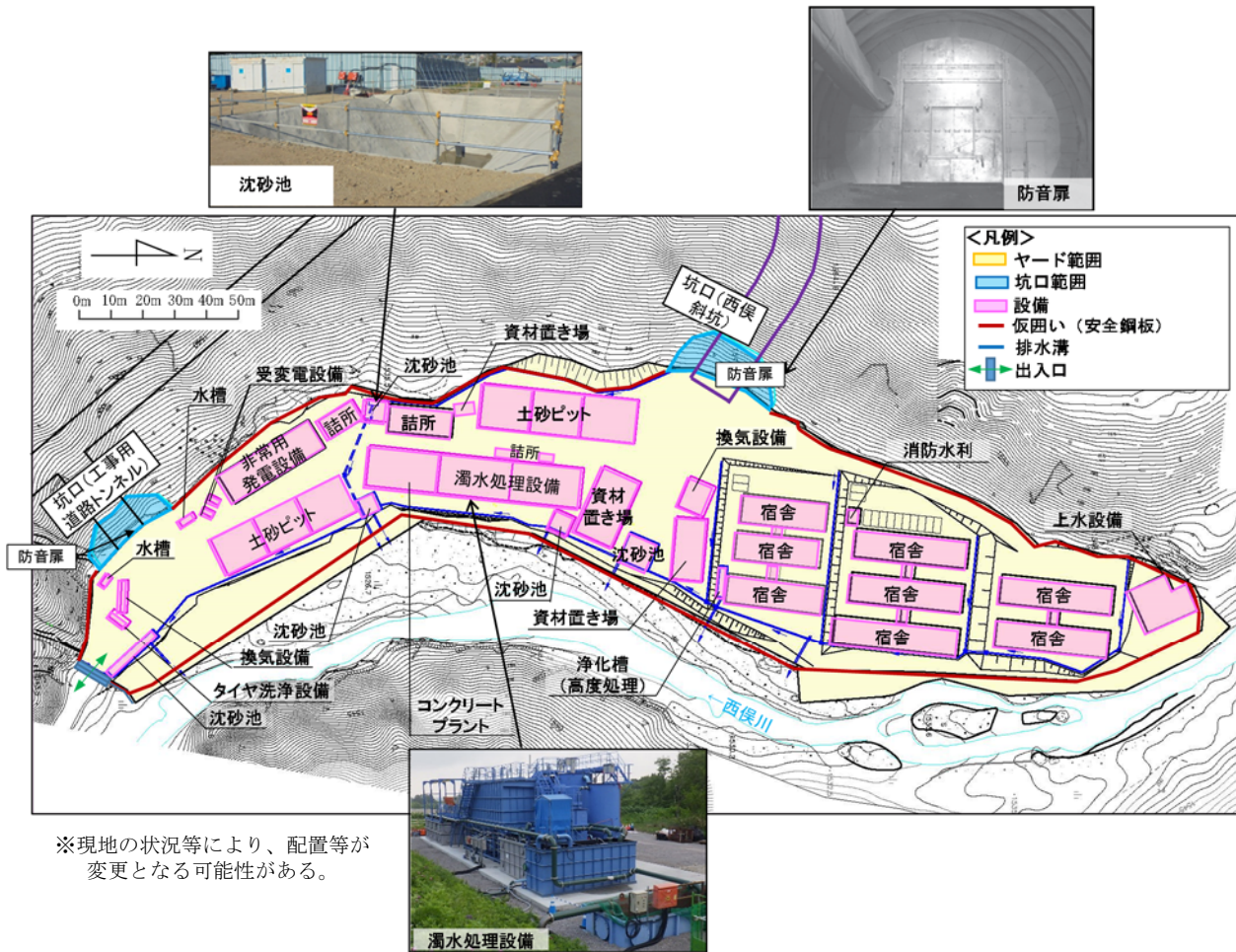


図 5.11 西俣斜坑ヤードの計画図

ウ. 斜坑掘削段階

- ・ 施工ヤード内から斜坑を掘削して行き、比較的小さな土被りで沢と断層を交差します。ボーリングにより常に前方探査を行い、河川・沢、断層や破碎質な箇所においては、補助工法（薬液注入や前方先受け工など）を併用しながら施工を進め、トンネル湧水量を計測します。また、沢との交差箇所については、トンネルが交差する前後において流況の変化を重点的に確認します。
- ・ トンネルの施工を進めることにより、実際の地質状況が取得可能になります。さらに、破碎帯や地質の変化があった箇所では、掘削断面等の計測の頻度を上げることや岩石試験を行いながら、より詳細な地質の状況を把握します。

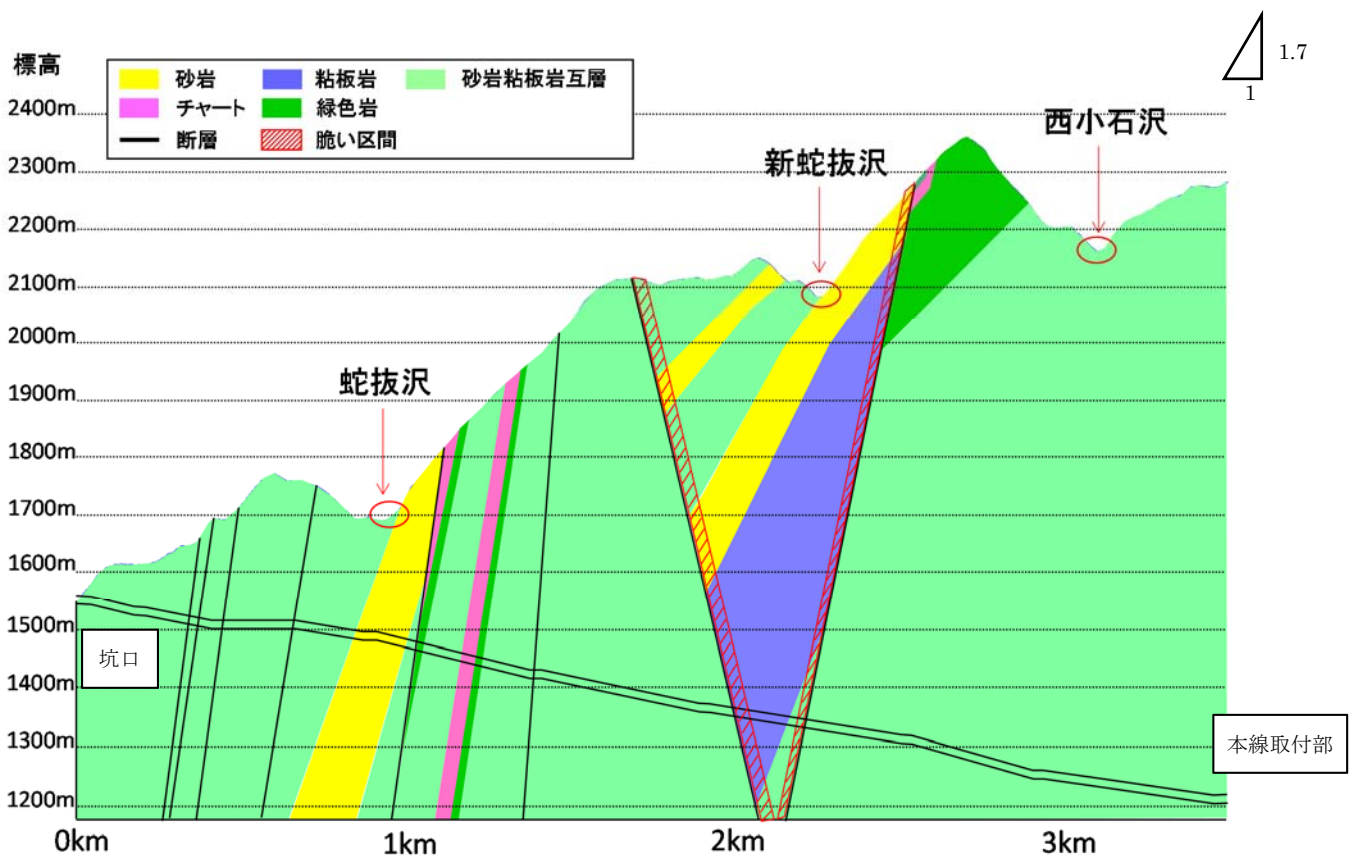


図 5.12 西俣斜坑 縦断図

- トンネル施工においては、トンネル掘削中に計測されるトンネル湧水量の実測値と計画段階で実施した水収支解析による予測値（図 5.13）とを比較することにより、実際の湧水量が予測値に対してどのような傾向を示すのかについて検証しつつ、その先の掘削にあたり湧水量を低減するための対策を実施しながら、トンネル湧水の揚水設備や濁水処理設備の施設計画の見直しを図りつつ慎重に進めてまいります。なお、トンネル湧水量については坑口での全体湧水量だけでなく、一定の区間ごとの湧水量についても計測し、どの付近から湧水が出ているのかを把握しながら掘削を進めてまいります。

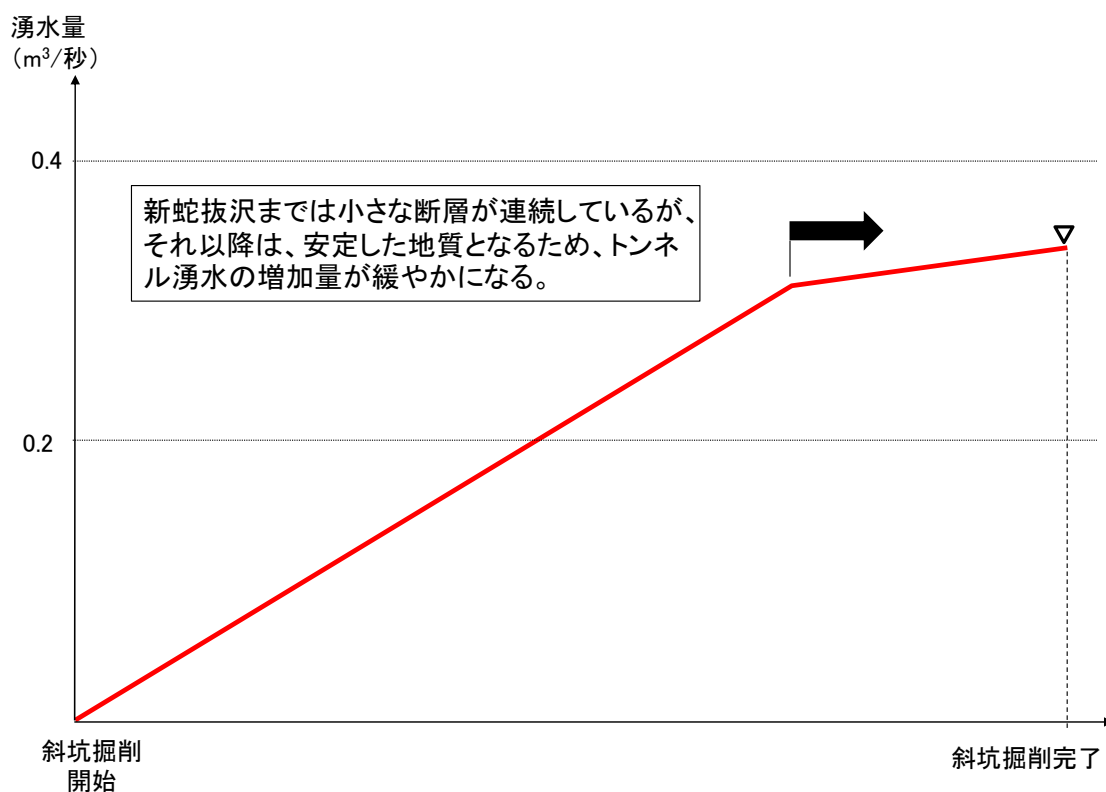


図 5.13 予測値から作成した西俣斜坑の湧水量の推移

- また、地下水位について、西俣非常口ヤードに設置する観測井戸で水位を観測します。西俣斜坑掘削時の観測井戸の地下水位の変化と水収支解析における地下水位低下量の予測値を比較することにより、実際の地下水位低下量が予測値に対してどのような傾向を示すかについて検証することが可能です。
- モニタリング結果や実際の地質状況を踏まえたリスクの回避・低減については、解析による方法も含め、今後検討を深度化します。

3) 導水路トンネル

ア. 導水路トンネルの工事概要

- ・導水路トンネルは、全長約11,400mであり、標高約1,120mの地上部から標高約1,135mの本坑との取付位置に向けて、上向きに約0.1%の勾配で掘り進めていきます。

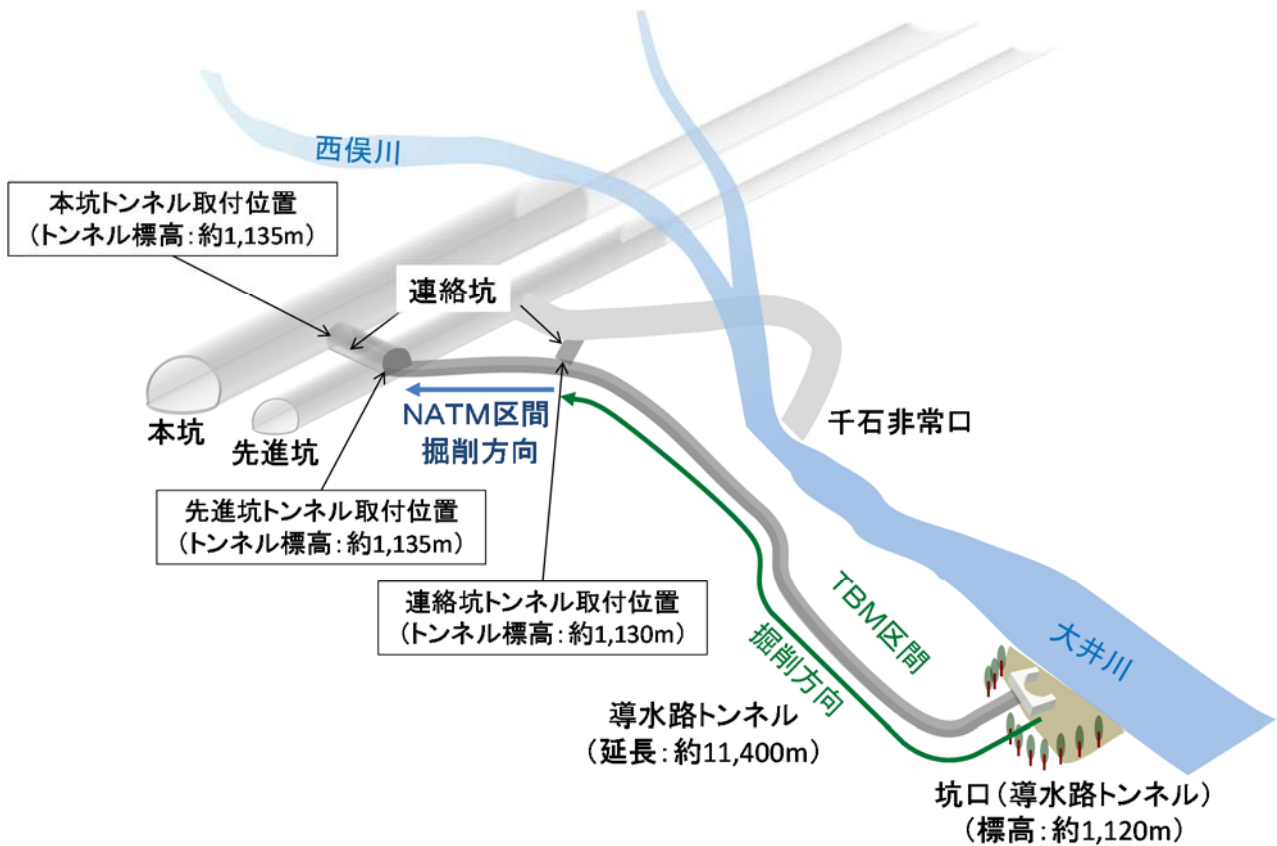
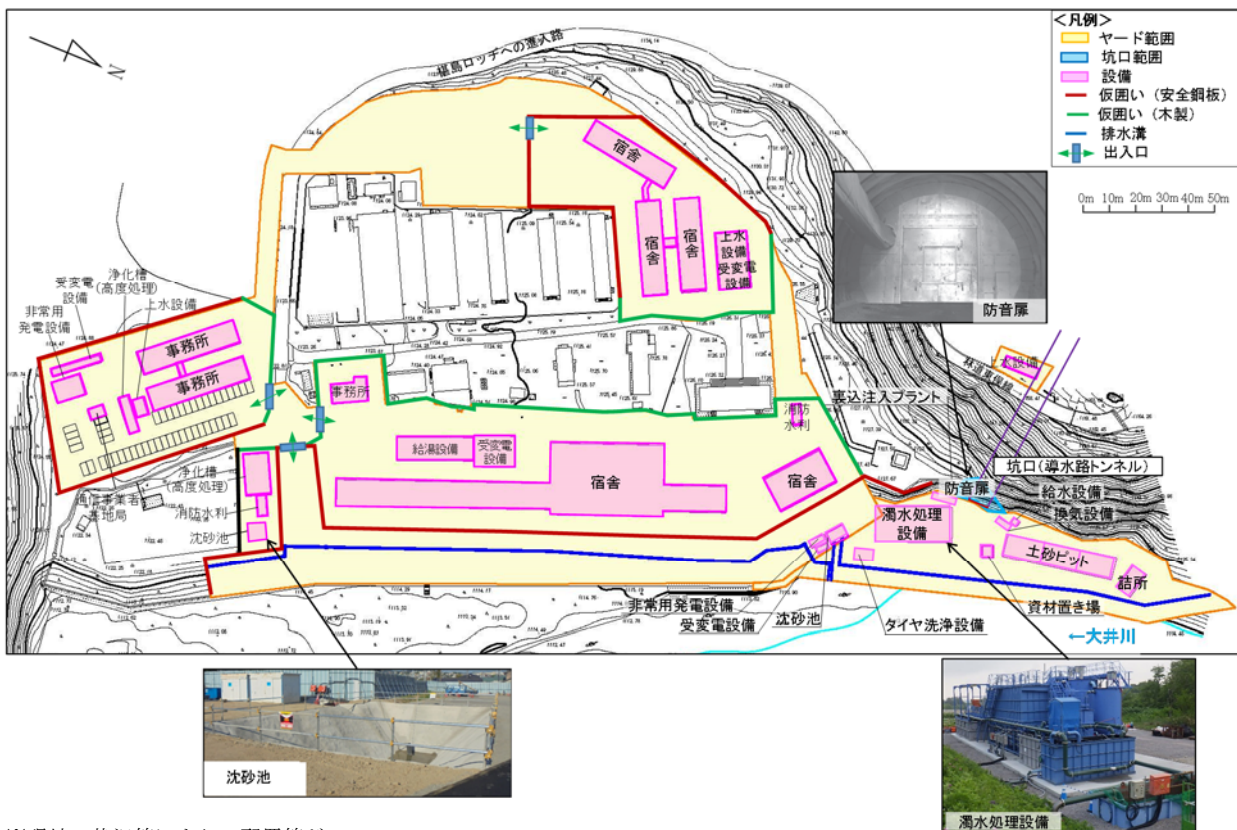


図 5.14 導水路トンネル 概念図

イ. 施工ヤードの整備（準備段階）

- ・ 施工ヤードは、過去に伐採され電力会社が使用した工事ヤード跡地や人工林等を選定し、計画しています。
- ・ 導水路トンネル掘削工事の前には、施工ヤード整備を行います。
- ・ 現状の平地を整地し、そこに、濁水処理設備やトンネル掘削土の仮置き場などを配置します。



※現地の状況等により、配置等が変更となる可能性がある。

図 5.15 導水路トンネルヤードの計画図

ウ. 導水路トンネル掘削段階

- ・ 施工ヤード内から導水路トンネルの掘削を開始し、比較的小さな土被りで沢や断層と交差する範囲は、トンネルボーリングマシン（TBM）を用いて、それ以外の範囲はNATMで掘進します。断層交差部においてはTBMの中からも前方探査を行い、補助工法（薬液注入や前方先受けなど）を併用しながら掘り進めます。また、沢との交差箇所については、トンネルが交差する前後において流況の変化を重点的に確認します。
- ・ 地質調査で想定した地質の状況は、トンネルの施工を進めることにより、断層や破碎質な箇所などの実際の地質状況が取得可能になります。

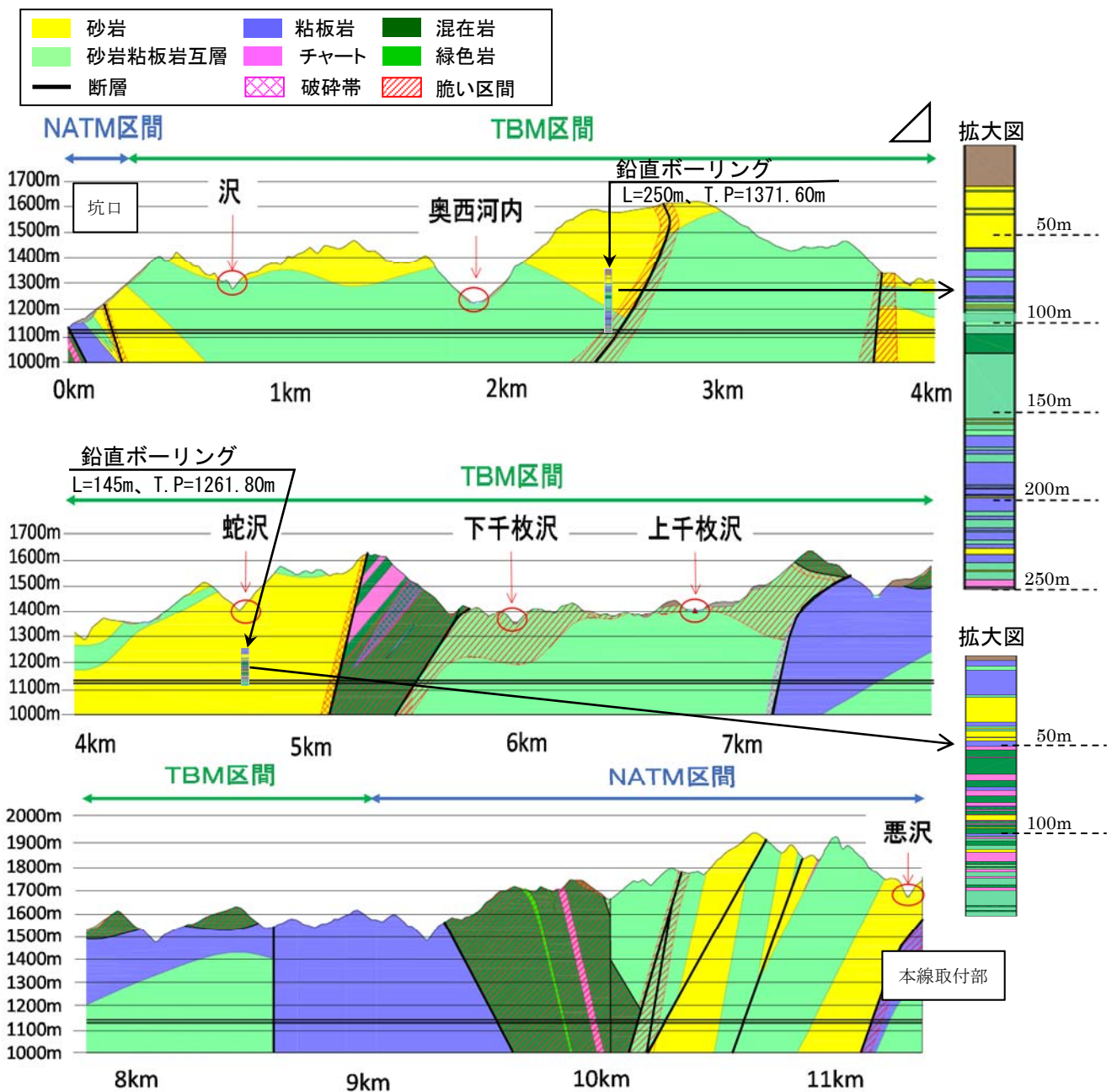


図 5.16 導水路トンネル 縦断図

※地質については、既存文献、地表踏査、弾性波探査、ボーリング調査の結果をもとに、南アルプス全域の広域的な地質図を作成し、さらに導水路トンネルの計画線においては近傍で実施したボーリング調査等の情報を追加して地質縦断図を作成しました。鉛直ボーリングは、導水路トンネルルートから少し離れた大井川沿い谷部付近の2箇所で行っています。大井川沿いの谷部は、ボーリング調査で異なる岩種が繰り返し出現することを確認しました。導水路トンネルは、ボーリング調査において確認した異なる岩種が混在する区域を避け、西側の砂岩が分布すると想定している区域に計画しましたので、導水路トンネルの縦断図とボーリング柱状図は一致していません。今後、導水路トンネルの掘削を進めることで得られたデータをもとに地質縦断図を変更してまいります。

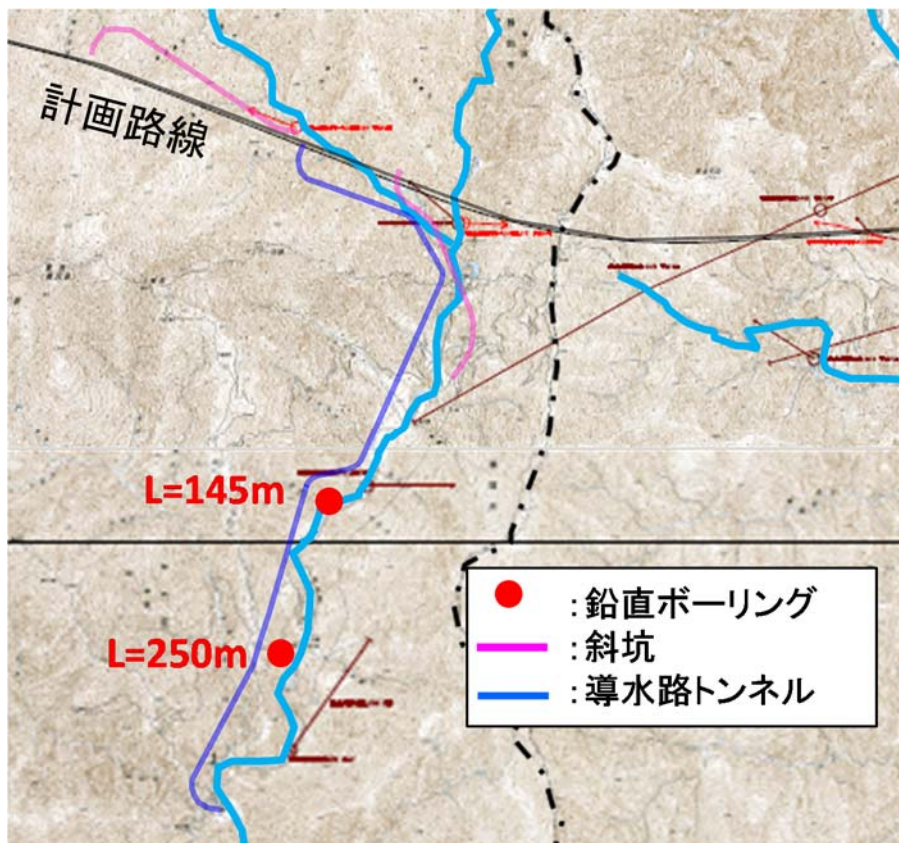


図 5.17 ボーリング調査平面図

- トンネル施工においては、トンネル掘削中に計測されるトンネル湧水量の実測値と計画段階で実施した水収支解析による予測値（図 5.18）とを比較することにより、実際の湧水量が予測値に対してどのような傾向を示すのかについて検証しつつ、その先の掘削にあたり湧水量を低減するための対策を実施しながら、トンネル湧水の揚水設備や濁水処理設備の施設計画の見直しを図りつつ慎重に進めてまいります。なお、トンネル湧水量については坑口での全体湧水量だけでなく、一定の区間ごとの湧水量についても計測し、どの付近から湧水が出ているのかを把握しながら掘削を進めてまいります。

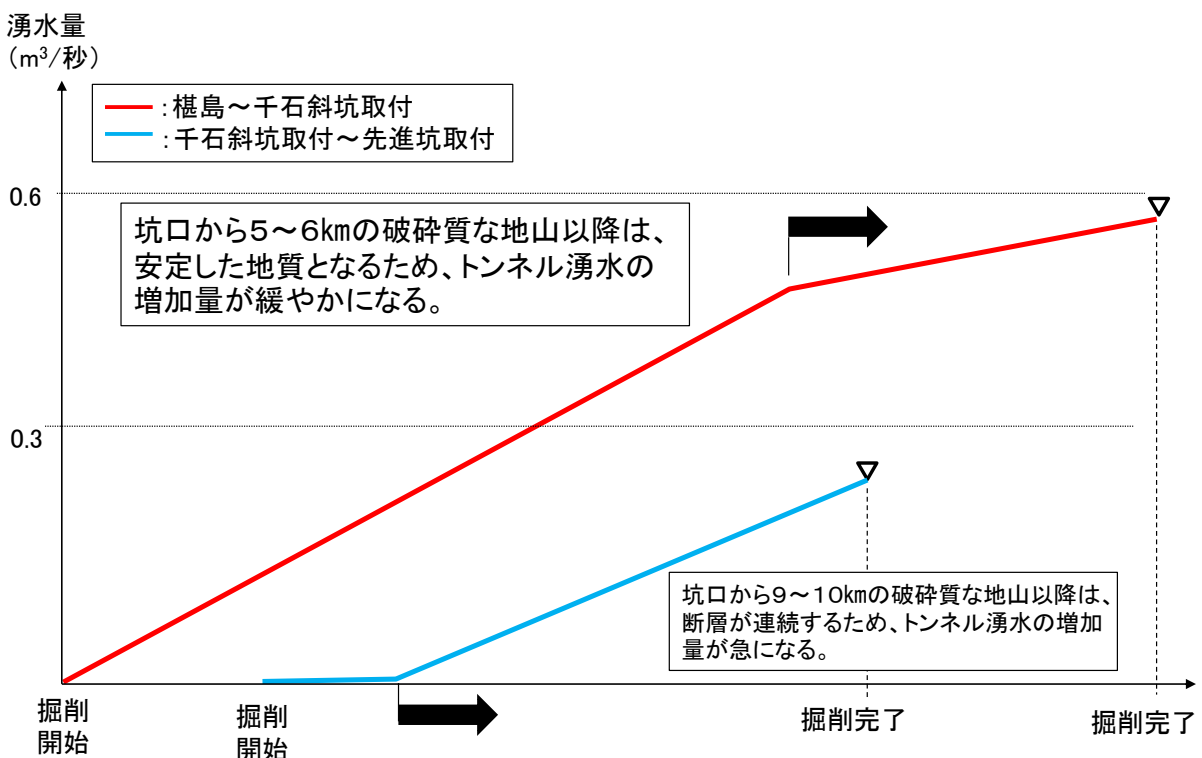


図 5.18 予測値から作成した導水路トンネルの湧水量の推移

- モニタリング結果や実際の地質状況を踏まえたリスクの回避・低減については、解析による方法も含め、今後検討を深度化します。

(3) 先進坑・本坑掘削段階等

1) 先進坑・本坑一般

- 先進坑・本坑は、それぞれ全長約 8,940 m であり、並行して施工します。西俣斜坑、千石斜坑が完了後に、それぞれの取付位置から品川方および名古屋方の両側に向けて、先進坑から掘削します。

- 先進坑は、高速長尺先進ボーリングにより常に前方探査を行い、河川・沢、断層や破碎質な箇所においては、補助工法（薬液注入や前方先受け工など）を併用しながら施工を進め、トンネル湧水量を計測します。また、沢との交差箇所については、トンネルが交差する前後において流況の変化を重点的に確認します。

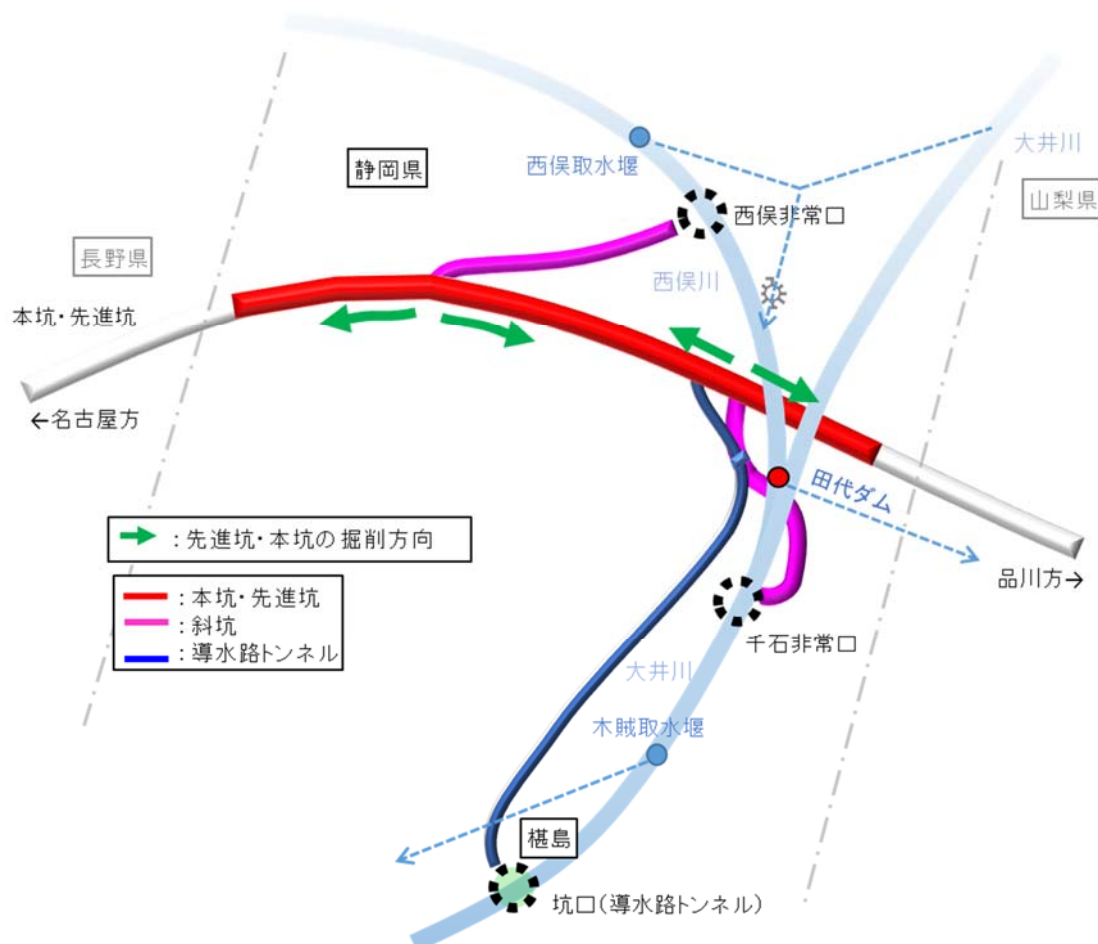


図 5. 19 本坑、先進坑、掘削方向図

- トンネルの施工を進めることにより、実際の地質状況が取得可能になります。さらに、破碎帯や地質の変化があった箇所では、掘削断面等の計測の頻度を上げることや岩石試験を行いながら、より詳細な地質の状況を把握します。
- トンネル施工においては、トンネル掘削中に計測されるトンネル湧水量の実測値と計画段階で実施した水収支解析による予測値と比較することにより、実際の湧水量が予測値に対してどのような傾向を示すのかについて検証しつつ、その先の掘削にあたりながら、トンネル湧水の揚水設備や濁水処理設備の施設計画の見直しを図りつつ慎重に進めてまいります。なお、トンネル湧水量については坑口での全体湧水量だけでなく、一定の区間ごとの湧水量についても計測し、どの付近から湧水が出ているのかを把握しながら掘削を進めてまいります。

- ・また、地下水位について、西俣非常口ヤードや田代付近に設置する観測井戸で水位を観測します。先進坑掘削時の観測井戸の地下水位の変化と水収支解析における地下水位低下量の予測値を比較することにより、実際の地下水位低下量が予測値に対してどのような傾向を示すかについて検証することが可能です。
- ・モニタリング結果や実際の地質状況を踏まえたリスクの回避・低減については、解析による方法も含め、今後検討を深度化します。

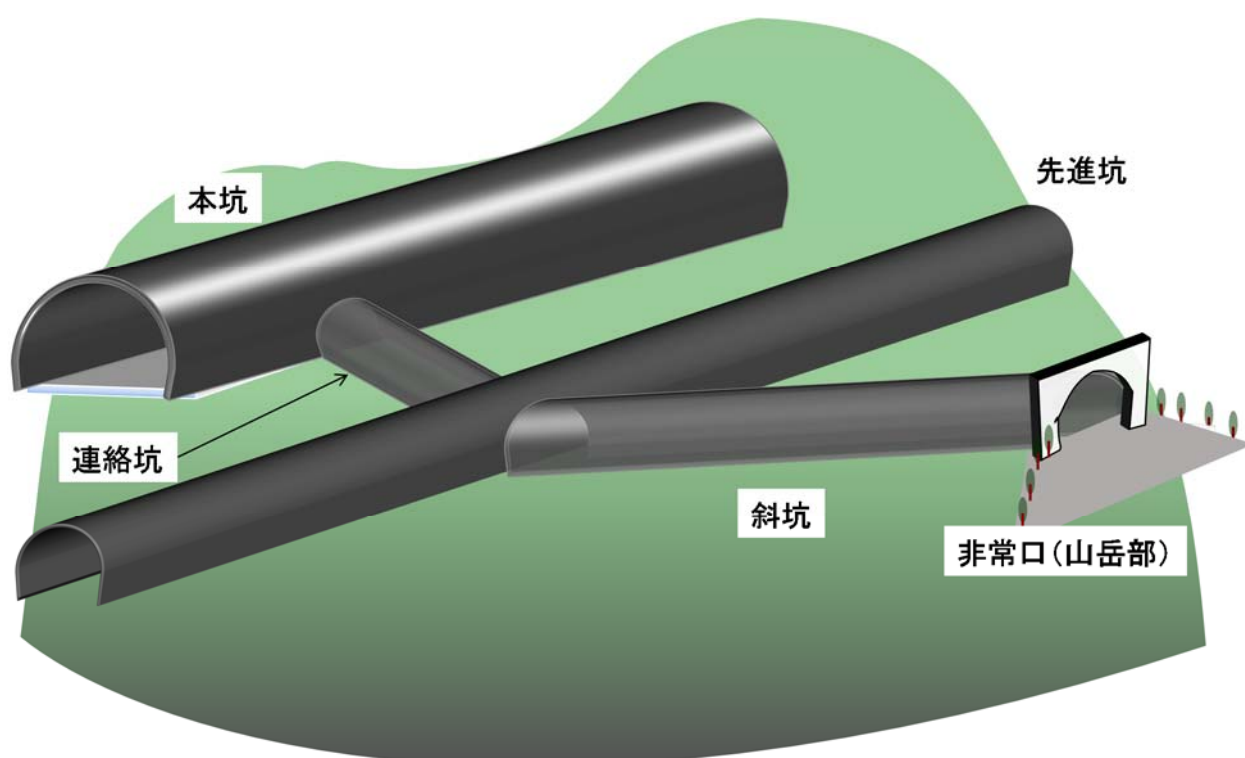


図 5. 2 0 本坑、先進坑、斜坑の位置関係

- ・本坑は、先進坑の施工に伴い把握した地質状況や湧水の状況を参考に、先進坑を追いかける形で、取付位置から品川方および名古屋方の両側に向けて掘り進めていきます。
- ・本坑においても、先進坑と同様にトンネル湧水量の実測を行なうとともに、地下水位については、西俣非常口ヤードや田代付近に設置する観測井戸で水位を観測し、予測値との検証や検証に基づく湧水量を低減するための対策の実施等を行ないながら、掘削を進めてまいります。

2) 山梨県境付近の断層帯

- ・山梨県側の県境付近の断層帯については、「4. 工事着手前段階における取組み

(6) 山梨県境付近の断層帯におけるトンネルの掘り方・トンネル湧水への対応」の内容に基づいて、慎重に掘削を進めます。

- ・実施段階では、高速長尺先進ボーリングにより、以下の分析を行います。
 - －ボーリングの口元湧水量からトンネル湧水量を把握します。
 - －ボーリングの口元において、湧水圧試験を行います。
 - －ボーリングで採取できる前方の湧水を用いて化学的な成分分析を行います。
- ・湧水量や湧水圧試験の結果を分析し、断層帯の位置を推定します。また、成分分析の結果、切羽前方の特定の区間において断層帯と推測される成分が含まれることが判明した場合、先進坑の切羽湧水の成分分析を行うことで、切羽が断層帯に近づいていることを早期に検知することができると考えられます。
- ・山梨工区では切羽が断層帯に近づいた時には、コアボーリングを行い、地質の性状を詳細に調査し、断層帯の場所に近づいた時点でトンネル掘削工事を一時中断し、トンネル周辺や切羽前方に対し薬液注入を行い、トンネル湧水を低減しつつ、掘削を進めてまいります。
- ・その際は、突発湧水が発生する可能性があることから、立入禁止範囲を設定し、切羽付近で作業に従事する作業員を明確にします。また、トンネル坑内に置いている資材が後方へ流下することで、他の機器類や、近辺で作業している作業員と衝突するなど、安全性が低下する可能性があるため、架台等で地盤面と切り離し流出防止対策を行います。トンネル坑内の電気設備は湧水により電気ショートすると、大規模な停電が生じ、作業員の避難に支障をきたす恐れがあるため、同様に架台等で地盤面と切り離して対策を行います。
- ・実際に突発湧水が発生した際には、先進坑内の複数箇所にバルクヘッドという防御壁を構築し、作業員の安全性を確保しながら高圧突発湧水の早期収束を図ります。そのうえで、突発湧水が落ち着いたところで、トンネル湧水をポンプで排水を行いつつ、先進坑から別の迂回坑を掘削して周辺の水圧を下げ、また先進坑や迂回坑の切羽周辺から追加のボーリングを行うほか、薬液注入等を行い、トンネル湧水を低減することで先進坑の早期貫通を目指します。

(4) 専門家によるサポート体制及び報告

- ・「土木事業における地質・地盤リスクマネジメントのガイドライン（令和2年3月国土交通省大臣官房技術調査課ほか）」によれば、「工事着手前に全ての地盤情報を明らかにできないことによる安全性や効率性に対するリスクが常にある」「初期の段階で地質・地盤条件に関する情報を適切に捉えられるよう努力すべきであることは言うまでもないが、事業の各段階で利用可能な情報の質と量に基づいた地質・地盤条件の推定・想定と、それが持つ不確実性の程度や特性を理解した上でリスクの評価を行い、設計や施工、維持管理でどのようにリスク対応していくか判断することが重要」とされています。
- ・地質や湧水量の変化など特異な状況が考えられる際は、現場に常駐する技術者に加えて、現地に配備するインターネット等を活用して速やかに地質の専門家やトンネルの専門家に確認頂くとともに、必要によりその専門家に現地の地質等を確認頂いて、必要な助言を頂くなど、トンネル掘削を万全に行えるよう、現地のサポート体制を構築します。また、地質等の現地の状況については静岡県へ随時報告してまいります。

(5) 工事中のモニタリング計画

- ・主に水資源利用への影響を確認するため、地質の状況確認やトンネル湧水量、水質等の把握のほか、工事中に、
 - 大井川流域の河川の流量、水質（pH、SS、EC、重金属等）、水温
 - 大井川流域の地下水の水位、水質（pH、透視度、EC、重金属等）、水温
 - 大井川流域の地下水等の化学的な成分（溶存イオンなど）
- についてモニタリングを実施してまいります。また、主に動植物への影響を確認するため、上記に加え、上流部の沢等の流量のモニタリングを行います。
- ・工事中のモニタリング計画の概要を表 5-1 にお示します。
- ・詳細については、「8. モニタリングの計画と管理体制」に記載しています。

表 5-1 工事中のモニタリング計画の概要

項目	調査区域	調査頻度・地点数
河川流量	大井川上流域(樫島以北)	【河川等】 ・常時計測（4地点） ・月1回計測（7地点） 【沢等】 ・年2回計測（38地点） ※切羽が近づいてきたら、頻度を増加
	大井川上流域(樫島より南)～中下流域	・月1回計測（3地点）
地下水位	大井川上流域(樫島以北)	・常時計測（7地点）
	大井川上流域(樫島より南)～中下流域	・常時計測（16地点）
河川水質等	大井川上流域(樫島以北)	【トンネル】 ・SS、pH、EC、水温：常時計測（3地点） ・自然由来の重金属等：月1回計測（3地点） 【発生土置き場（通常土）】 ・月1回計測（5地点）
	大井川上流域(樫島より南)～中下流域	・月1回計測（3地点）

※大井川流域の地下水等の化学的な成分分析については、工事開始後の水循環の状況を確認するという観点から今後専門家のご意見も踏まえて実施箇所（トンネル湧水含む）、測定項目、頻度を検討し、実施してまいります。