

地下鉄七隈線延伸工事における
道路陥没箇所今後の工事の進め方について

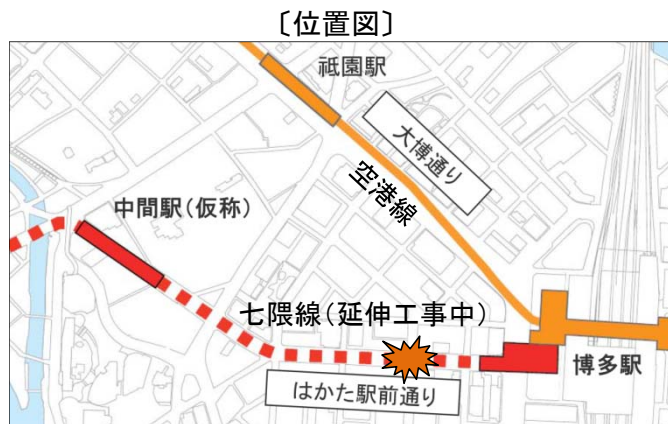
平成29年12月
福岡市交通局

1. 道路陥没事故の概要	.....P1
2. トンネル坑内の状況	.....P3
3. 再掘削までの流れ	.....P5
4. 検討委員会によるとりまとめ(原因究明)	.....P6
5. 再掘削に向けての検討	.....P7
・再掘削に向けた進め方	.....P7
・技術専門委員会	.....P8
・地質調査	.....P9
・再掘削工法	.....P10
・地盤改良	.....P17
6. 今後の工事の進め方	..... P20

1. 道路陥没事故の概要

事故発生日時 平成28年11月8日(火) 午前5時15分頃

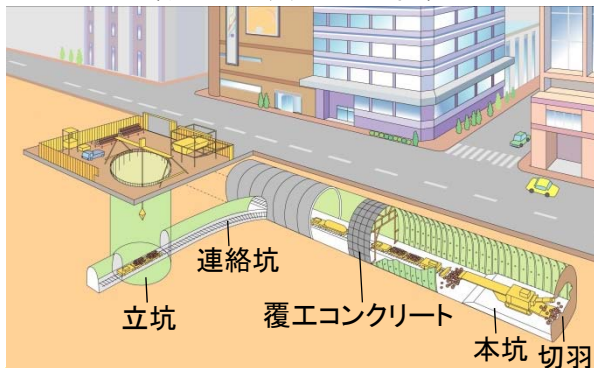
場所 福岡市博多区博多駅前2, 3丁目(博多駅前2丁目交差点付近)



事故内容

ナトム工法によるトンネル工事中に切羽※^{きりは}上面が崩落したことにより、地下水と土砂がトンネル坑内へ流出し、はかた駅前通りの道路が大規模に陥没したものです。 ※切羽・トンネル先端の掘削面

[ナトム工法イメージ図]

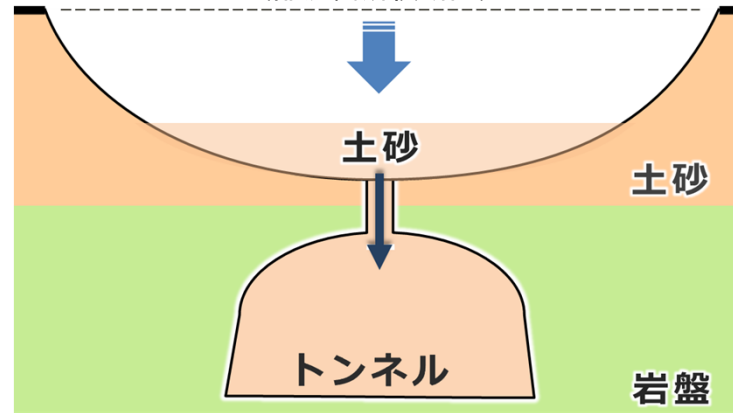


地盤を掘る機械を使って、横穴式に地中を掘り進み、周りの地盤が崩れてこないように鋼材等で支えながら、コンクリートでトンネルをつくる工法

[陥没状況写真]



[陥没箇所横断面図]



1. 道路陥没事故の概要

陥没事故後の道路仮復旧



道路
仮
復
旧

①H28年11月8日：道路陥没事故発生

②道路の仮復旧

- 流動化処理土による埋戻し
- ライフライン仮復旧
- 砕石埋戻し, アスファルト舗装

③H28年11月15日：道路開放

H28年11月26日：路面沈下
(平均38mm,最大70mm)

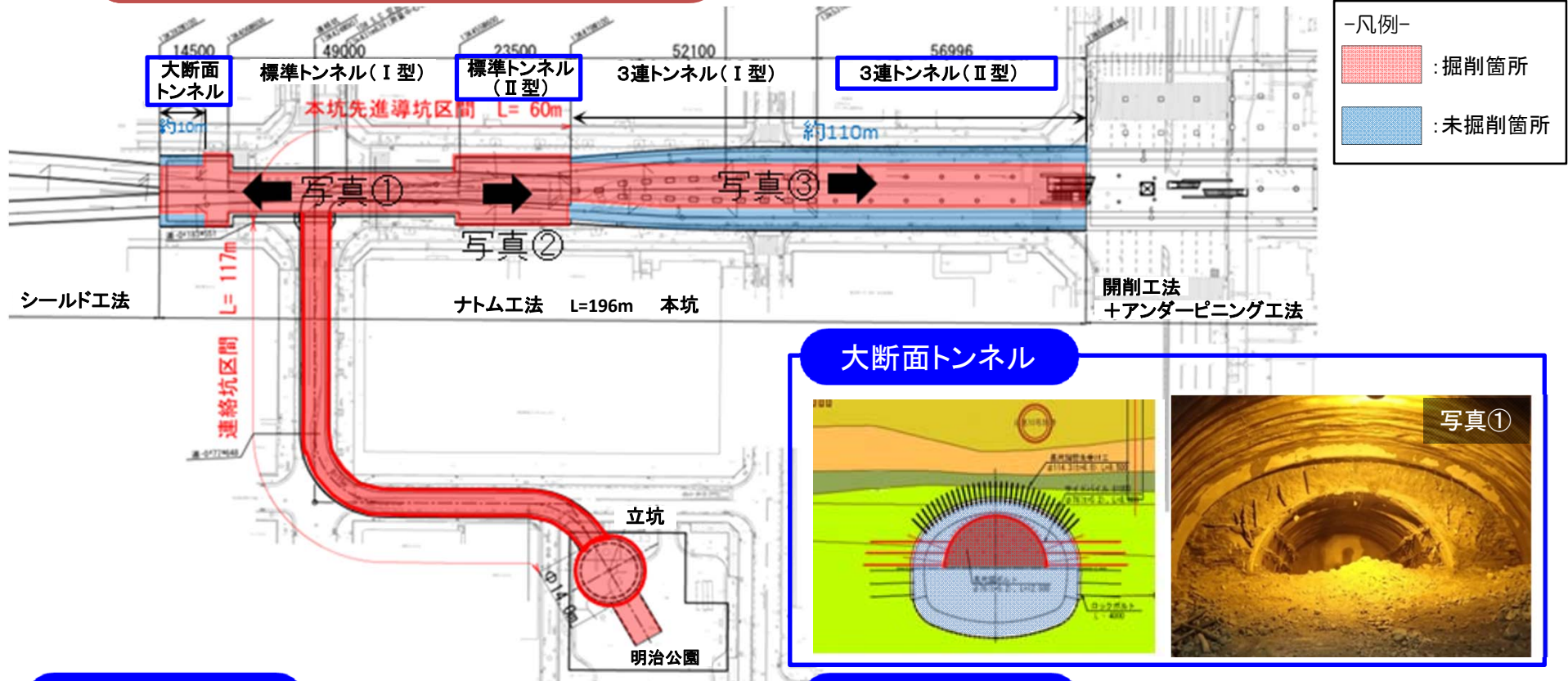
地
盤
補
強

H28年12月2日：トンネル上部の緩い砂層の
地盤補強のための薬液注入開始

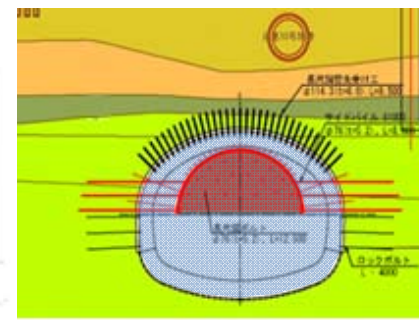
H28年12月28日：地盤補強のための薬液注入終了

2. トンネル坑内の状況

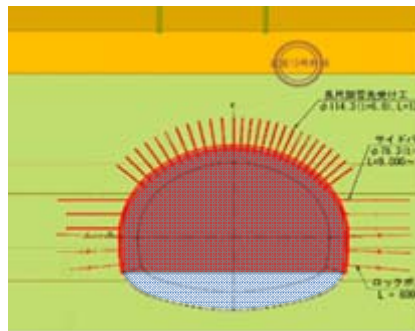
陥没事故前のトンネル坑内の状況



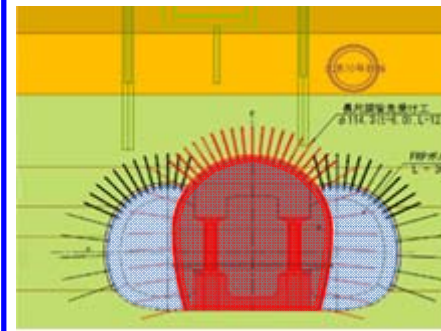
大断面トンネル



標準トンネル(II型)



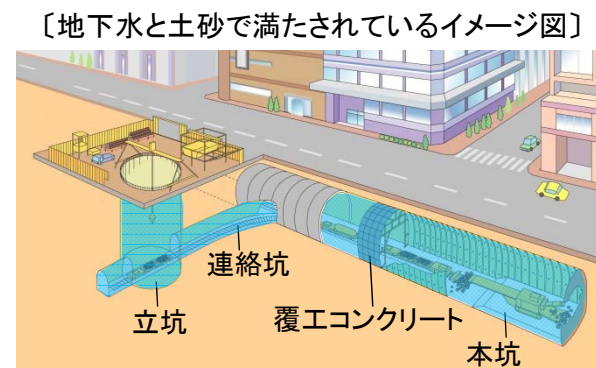
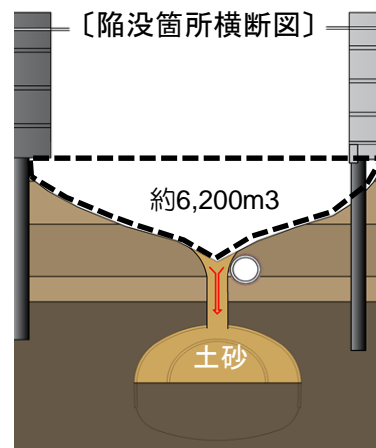
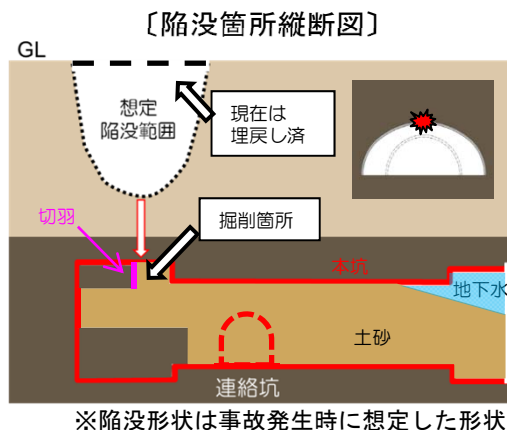
3連トンネル(II型)



2. トンネル坑内の状況

現在のトンネル坑内の状況

- トンネル坑内には、陥没箇所の土砂が約6,200m³堆積しています。



- トンネル坑内(掘削済みの本坑, 連絡坑, 立坑)は、約20,000m³※の地下水で満たされています。

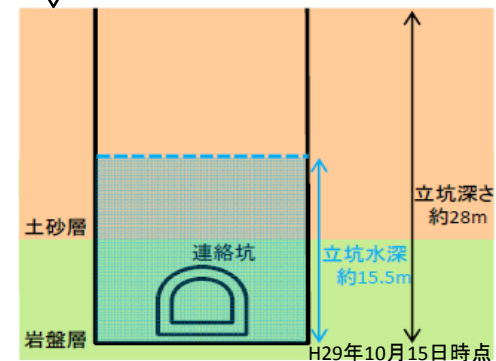
〔事故前の立坑状況〕



〔事故後の立坑状況〕



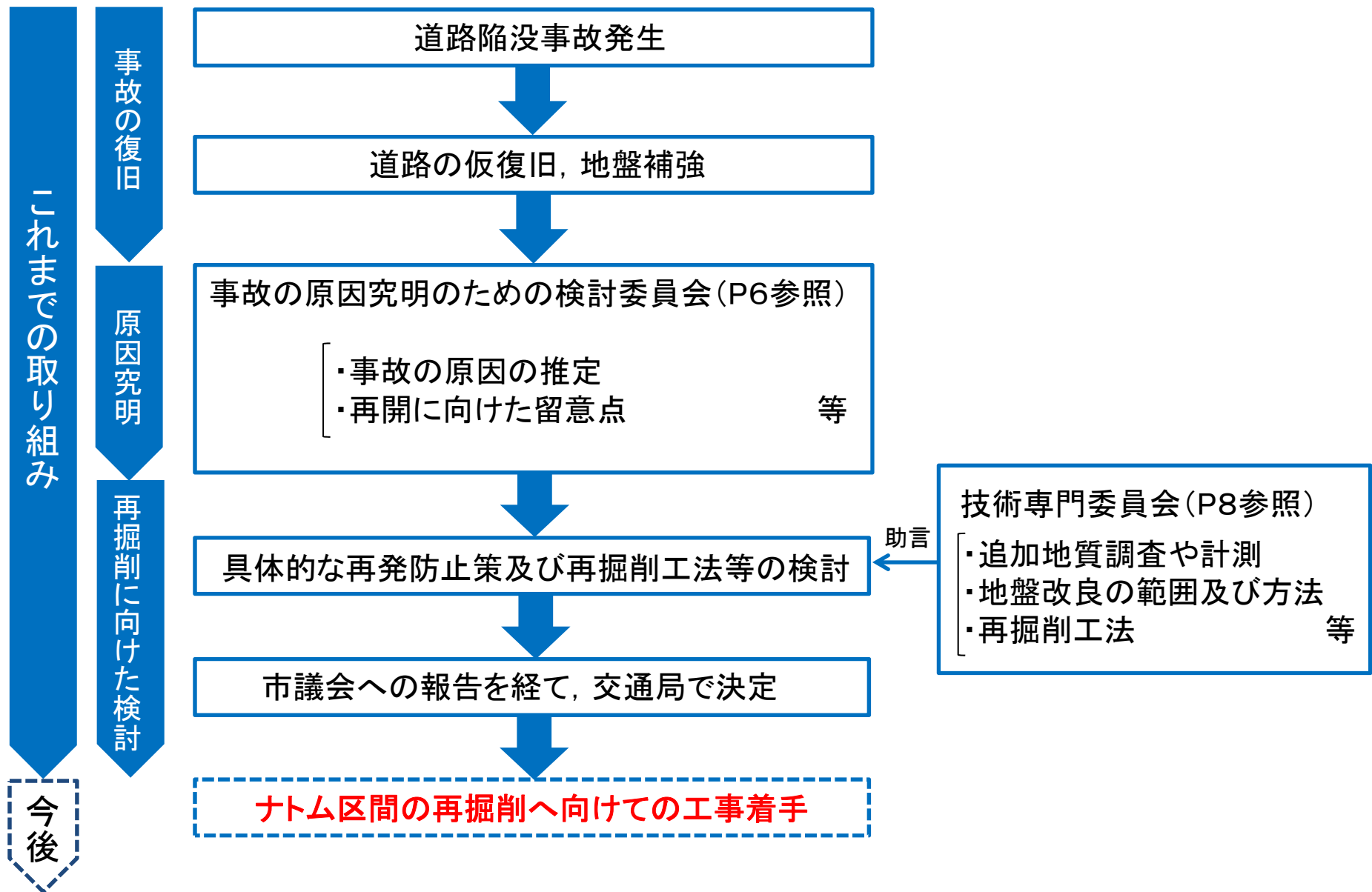
道路高さ 〔立坑断面図〕



※(参考)25mプール(幅12m×長さ25m×深さ1.2m)の体積に換算すると、約56杯分

陥没箇所やトンネル坑内の状況を把握するために、道路仮復旧以降、地下水位や道路面の高さについて、24時間体制でモニタリングを実施しておりますが、異常は見られず安定した状況です。今後も継続して状況の変化を注視していきます。

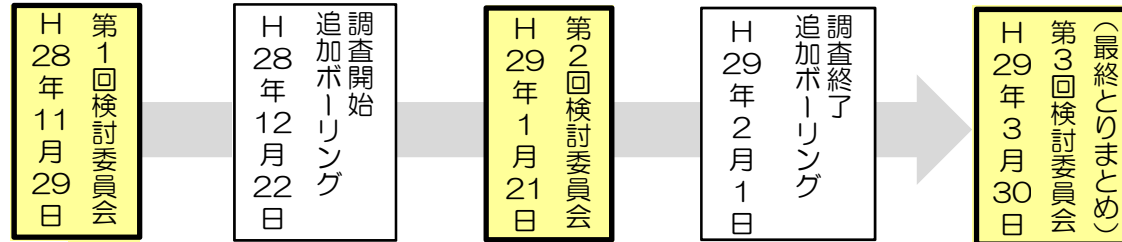
3. 再掘削までの流れ



4. 検討委員会によるとりまとめ(原因究明))

今回の事故の原因究明や再発防止策等について、平成29年3月30日に検討委員会※によるとりまとめが報告され、工事再開に関する留意点が示されました。

《検討委員会の開催経緯》



※国立研究開発法人土木研究所が設置した第三者による「福岡市地下鉄七隈線延伸工事現場における道路陥没事故に関する委員会」

検討委員会とりまとめ内容の抜粋

《事故の要因となった可能性のあるもの》

〈主要因〉 ○岩盤層上部の強度や厚さ ○地下水圧の影響

〈副次的要因〉 ○トンネル断面形状の変更 ○すりつけ区間における補助工法の施工方法の変更

《工事再開に関する主な留意点》

○地質、地下水の状況把握が必要である。

○トンネル坑内の水抜き及び土砂撤去は慎重な施工が必要である。

○再掘削工法の選定については、都市NATMのほかにシールド等の工法や新技術の活用も対象である。

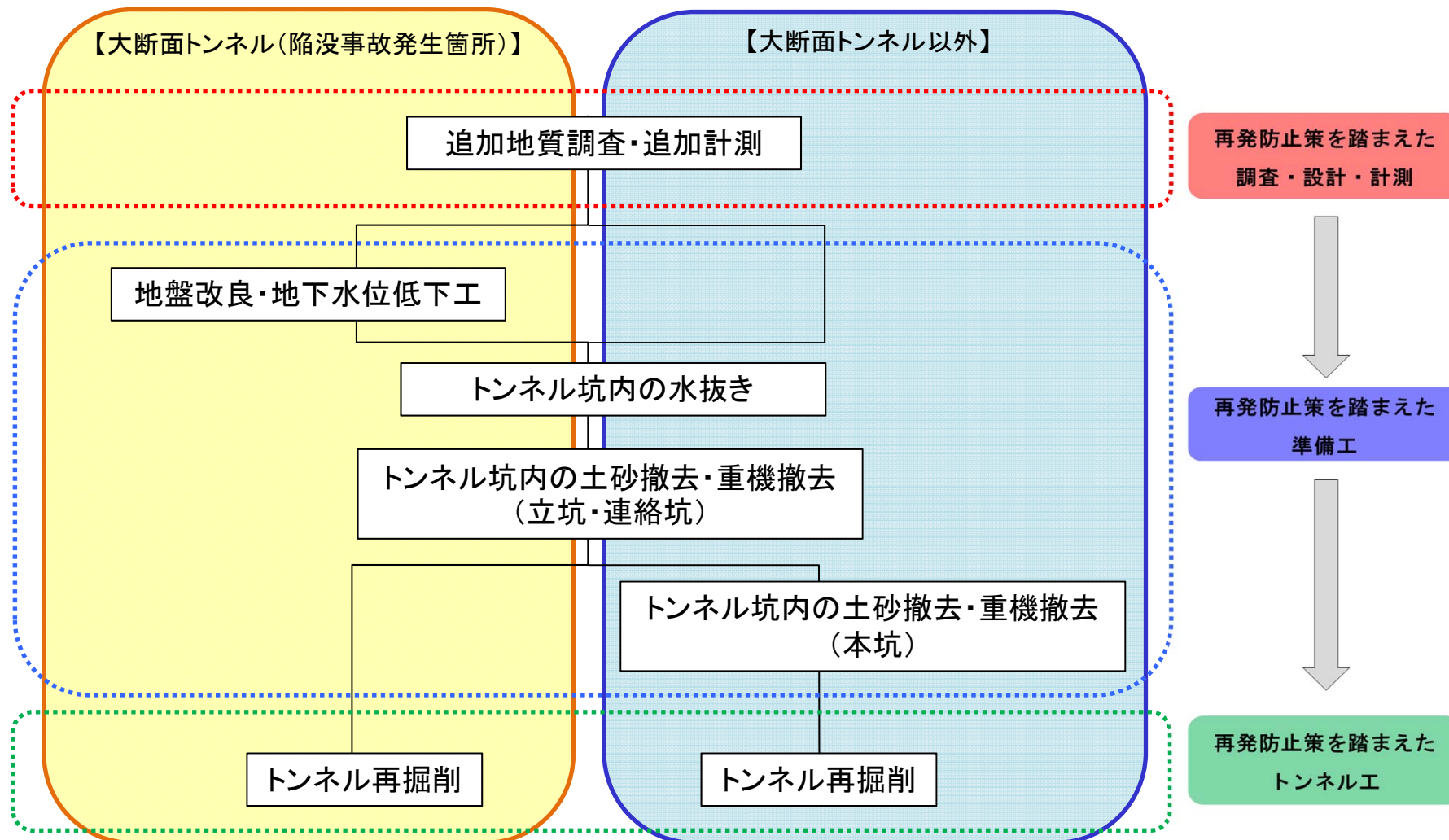
○再掘削は開削工法による場合、非開削工法による場合のいずれにおいても、安全面を考慮した対策を講じることが必要である。

交通局として、検討委員会から示された指摘を真摯に受け止め、その留意点について、専門家からの助言をいただきながら、事故の再発防止と再掘削に向けた検討に取り組んでいくこととしました。

5. 再掘削に向けての検討(再掘削に向けた進め方)

再掘削に向けた進め方(検討委員会で示された留意点を受けて)

再掘削に向け、交通局として以下の実施内容及び手順について、**技術専門委員会から助言**をいただきながら、検討を進めていきました。



5. 再掘削に向けての検討(技術専門委員会)

技術専門委員会の概要

名称:福岡市地下鉄七隈線建設技術専門委員会

概要:地下鉄建設工事に関する専門的知識や実務経験を有する方で構成され、七隈線建設に関する技術的専門事項について、助言をいただくことを目的とした場

(技術的専門事項)

- 地質に関すること
- 設計・施工方法に関すること
- その他
- 安全性・経済性に関すること
- 工期短縮に関すること



技術専門委員会の開催状況(再掘削に向けた討議)

[主な討議内容]

<平成29年5月12日>

地質調査及び追加計測について討議

[主な討議結果]

「地質調査・追加計測を実施することを了承」

<平成29年8月31日>

再掘削の方法(開削工法・非開削工法)について討議

「現地状況を考慮すると開削工法は厳しい等の意見」

<平成29年10月4日>

非開削工法(人工岩盤掘削・特殊シールド)の検討深度化

「確実に地盤改良を行えば人工岩盤掘削が有利との意見」

<平成29年11月7日(最終とりまとめ)>

非開削工法(人工岩盤掘削・特殊シールド)についての評価とりまとめ

「人工岩盤掘削での施工は可能」
「特殊シールドの積極的な採用は困難」

※詳細な討議内容については、福岡市交通局HP掲載の「福岡市地下鉄七隈線建設技術専門委員会の開催結果について」をご参照ください。

5. 再掘削に向けての検討(地質調査)

検討委員会からの留意点を踏まえ、地質や地下水の状況を詳しく把握するため、地質調査を実施しました。

地質調査の目的及び概要

- 目的：陥没形状の確認，崩落範囲内の地質情報取得，水抜き・再掘削のための地質情報取得
- 実施箇所：ナトム区間 32箇所（大断面トンネル部【15箇所】，大断面トンネル部以外【17箇所】）
- 実施期間：H29年6月8日～H29年10月27日（室内試験・分析を含む）

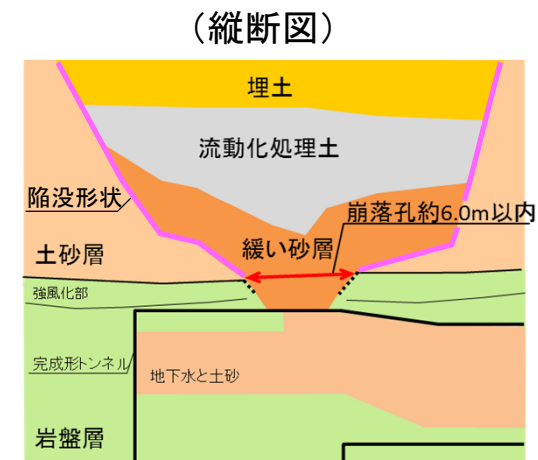
地質調査の結果(崩落孔・陥没形状など)

より詳細に陥没形状などを把握することができました。

◆大断面トンネル部(事故発生箇所)

- ・崩落孔は、縦断方向に約6.0m以内，横断方向で11.6m以内であることを確認した。
- ・陥没範囲内の異物(コンクリート殻等)や地盤改良跡※の混入状況がわかった。
- ・地下水の規則性を持った流れ(崩落孔に向かうような流れ)は確認できなかった。

※H28年12月に実施した「トンネル上部の緩い砂層の地盤補強のための薬液注入」



地質調査の結果(各地層の評価)

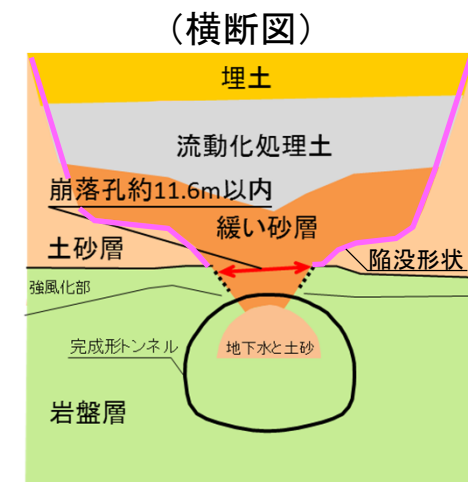
厚さや強度にバラツキがあることを改めて確認しました。

◆大断面トンネル部(事故発生箇所)

- ・トンネル上部の岩盤層(強風化部)の厚さは、「1.9m～2.8m」であり，物性値(強度・水の通しやすさなど)についても，バラツキがあることが改めてわかった。
- ・「流動化処理土」の強度について，局所的に緩い砂層が混入している部分があるものの，概ねの強度があることがわかった。

◆大断面トンネル部(事故発生箇所)以外

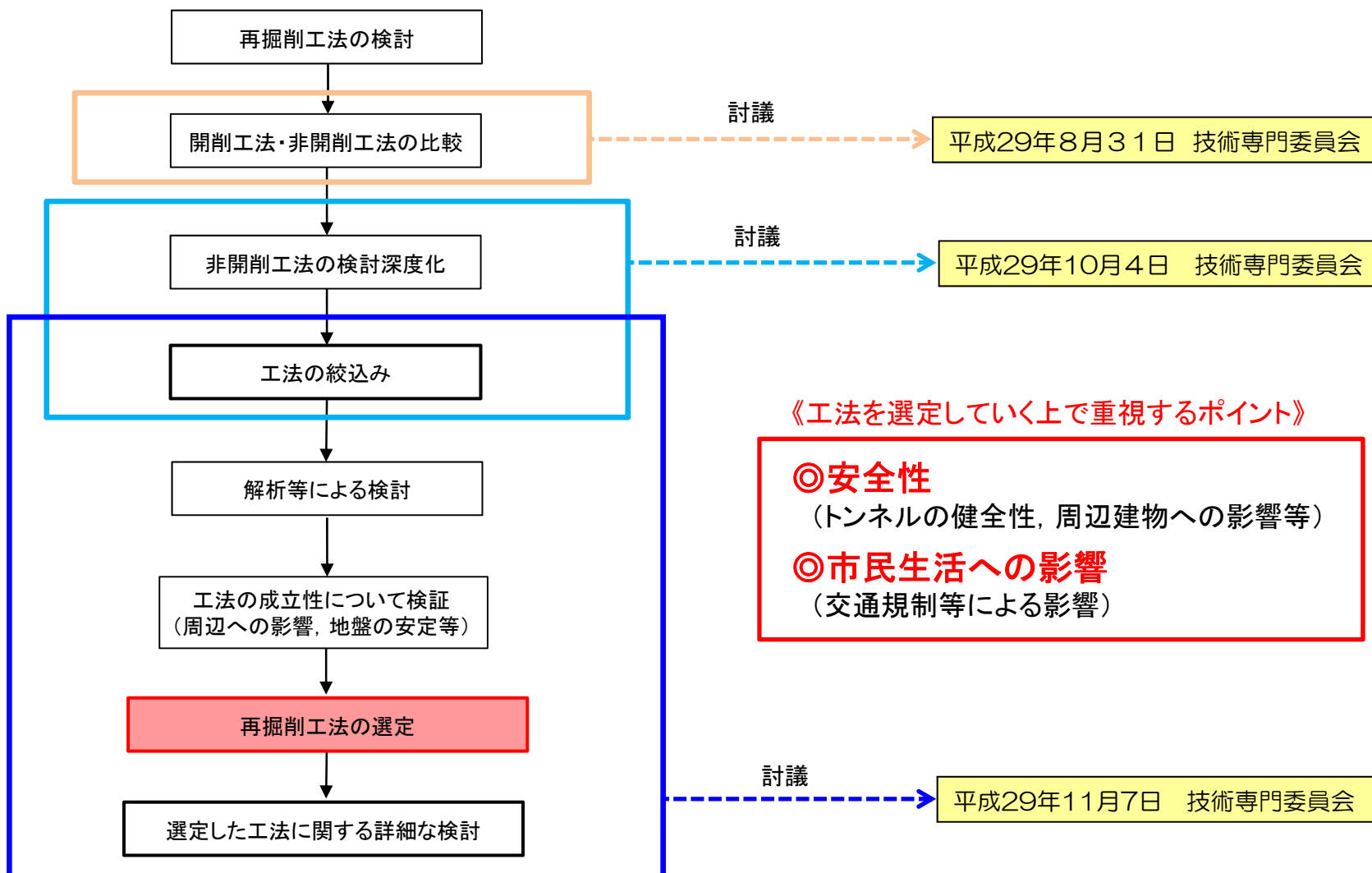
- ・博多駅側のトンネル上部付近に炭化している岩盤層が面的に分布していることがわかった。



5. 再掘削に向けての検討(再掘削工法)

再掘削工法の検討(検討手順)

再掘削工法については、地質調査の結果も踏まえ、以下の手順で検討を行いました。



5. 再掘削に向けての検討(再掘削工法)

開削工法・非開削工法の概要

陥没箇所のトンネル再掘削が可能と考えられる工法について、大きく「開削工法」と「非開削工法」に分けて、検討を進めました。それぞれの特徴については、以下のとおりです。

		開削工法	非開削工法
工法		<p>地表面から地中に土留壁※をつくって、直接掘り下げて、構造物をつくり、埋戻して復旧する工法</p> <p>※土留壁…掘削の際に、周辺の地盤の崩壊を防止するためのもの</p>	<p>横穴式に地中を掘り進み、トンネルを造る工法</p> <p>[人工岩盤掘削] 地上から岩盤層上部の土砂層に地盤改良を行い、人工的に岩盤と同じような固い地盤を形成したうえで、横穴式に地中を掘り進み、トンネルを造る工法</p> <p>※掘削の方法はナトム工法と同じ</p>
		<p>[特殊シールド] 地盤改良を行った上で、シールド機で地盤を掘り進み、その後方でシールドセグメント※を円形に組み立てながら、トンネルをつくる工法。設置済みのシールドセグメントの一部、撤去しながら、2本のトンネルを非開削で連結し、2本のトンネルの接合を可能とする。</p>	
イメージ図			<p>人工的に岩盤層を形成する</p> <p>撤去するシールドセグメント (黄色部)</p> <p>※シールドセグメント …シールド機によって掘削したトンネル壁面を安定させるために、壁面に取り付ける鋼材やコンクリートでつくられた弧型の部材</p>
参考	メリット	陥没箇所を地上から直接掘るため、陥没箇所を目視確認しながら施工が可能	地盤改良の際に、一部、道路の占有が生じるが、その後は、地上での作業が少ないため、市民生活や道路交通への影響が小さい
	デメリット	地上から土留壁等を構築する作業や地下埋設物の移設作業が発生するため、連続的な騒音、振動及び長期間の道路占有が生じ、市民生活や道路交通に与える影響が大きい	掘削時に陥没箇所の全体形状を直接目視確認することが困難

5. 再掘削に向けての検討(再掘削工法)

開削工法の主な問題点

①既設のトンネルが構築されているため、土留壁の施工が難しい。また、移設が困難な下水道幹線等の地下埋設物があることから、土留壁が連続的に施工できず、土留欠損※が生じる。

(※土留欠損・・・土留壁を施工する際に、地下埋設物があり土留壁をつくれぬ箇所)

②多くの地下埋設物が埋設されており、工事を進める際には、支障となる地下埋設物を移設する必要がある。

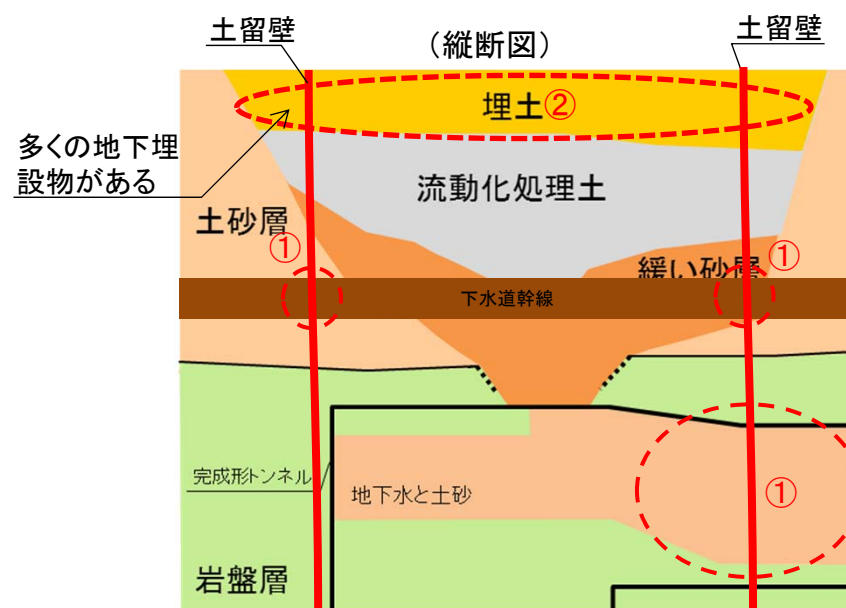
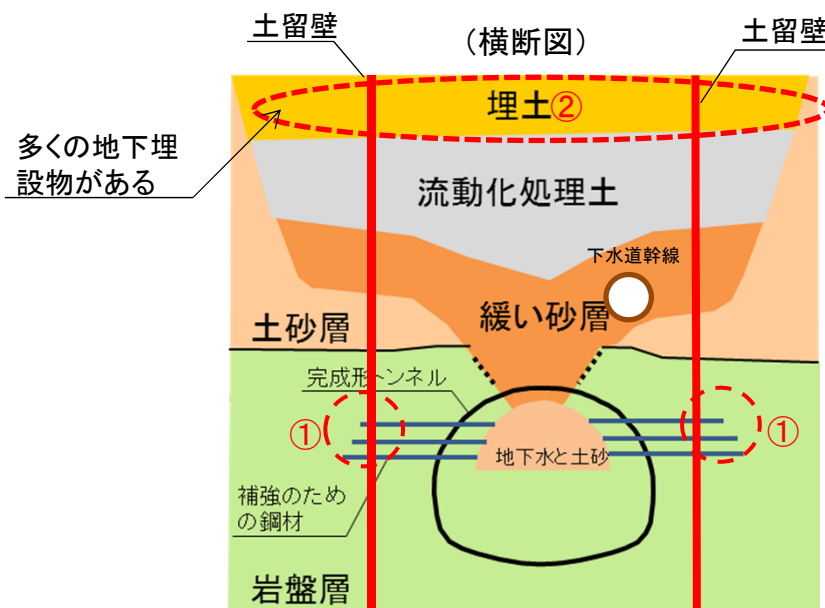
問題に対する対策

①土留壁の施工については、土留壁及び地盤の安定性検討を行う。また、土留欠損については、地盤改良方法を工夫する。

⇒安全な土留壁の施工と確実な地盤改良は困難

②地下埋設物の事業者と協議を行い、了解を得たうえで、大規模な移設を行う。

⇒はかた駅前通りは多くの地下埋設物があり、移設ルートの確保が困難



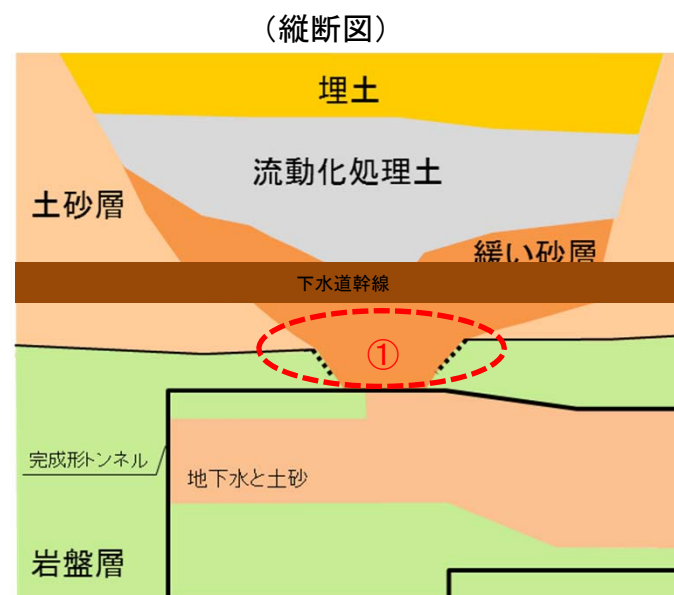
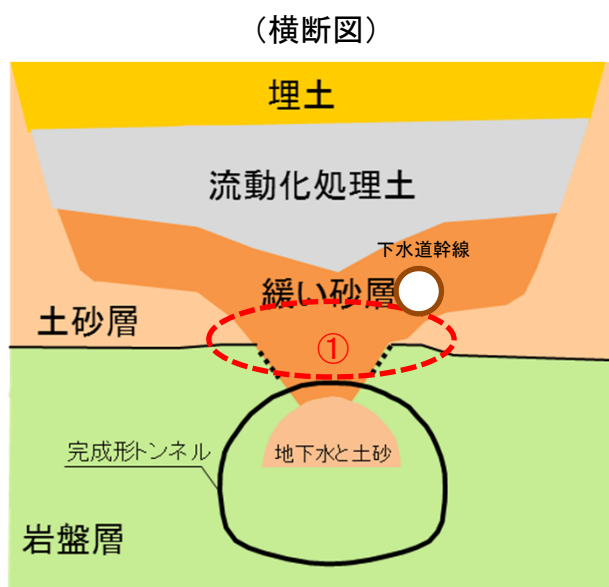
5. 再掘削に向けての検討(再掘削工法)

人工岩盤掘削の主な問題点

- ① 下水道幹線等の影響で、地盤改良の未改良部ができた場合、トンネル上部の緩みの発生により、地下水や土砂がトンネル坑内に流入することが考えられる。

問題に対する対策

- ① 未改良部の発生を抑えるために、地盤改良を組み合わせるなど施工方法を工夫する。
また、地盤改良により、遮水壁を構築して周辺からの地下水の流入を止める。



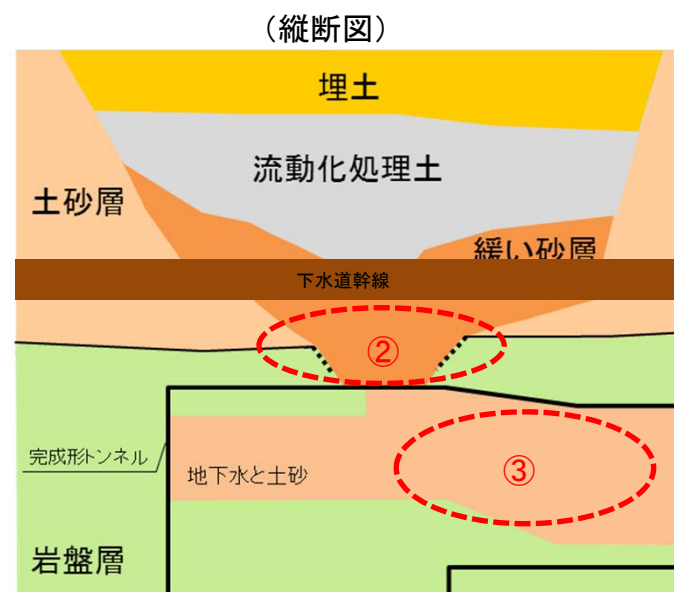
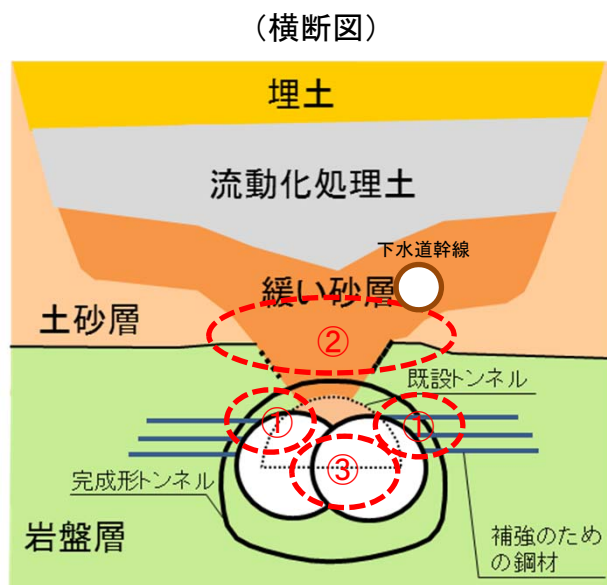
5. 再掘削に向けての検討(再掘削工法)

特殊シールドの主な問題点

- ①シールド掘削を行う前に、既設のトンネルを支えている鋼材を撤去する必要がある。
- ②下水道幹線等の影響で地盤改良の未改良部ができた場合、既設のトンネルの鋼材を撤去する際に、周辺地盤の緩みの発生やトンネルが変形することにより、地下水や土砂がトンネル坑内に流入することが考えられる。
- ③シールド掘削範囲に、陥没事故によりトンネル坑内に流入した障害物があった場合、掘削を止めて、人力による撤去が必要である。

問題に対する対策

- ①事前にトンネル坑内を充填する。
- ②未改良部の発生を抑えるために、地盤改良を組み合わせるなど施工方法を工夫する。
また、地盤改良により、遮水壁を構築して周辺からの地下水の流入を止める。
- ③防護工を行った上で、人力により障害物を撤去する。



5. 再掘削に向けての検討(再掘削工法)

再掘削工法の検討結果とりまとめ

『開削工法』

既設のトンネルがあり、開削工法を施工する際に必要な土留壁施工時に、周辺の地盤に影響を及ぼす可能性がある。加えて、移設困難な地下埋設物があり、大規模な土留欠損が生じることから、採用が困難

『人工岩盤掘削』

懸念されるリスクを十分に配慮し、かつ現場の監視体制および大成JVと交通局の情報共有の強化を図ることで安全に施工が可能

『特殊シールド』

陥没箇所は障害物があるなど、複雑な地盤状況であることや施工中不安定な構造となる期間があること、また特殊シールドは新技術であり、未経験の工法であること等の理由により、積極的な採用は困難



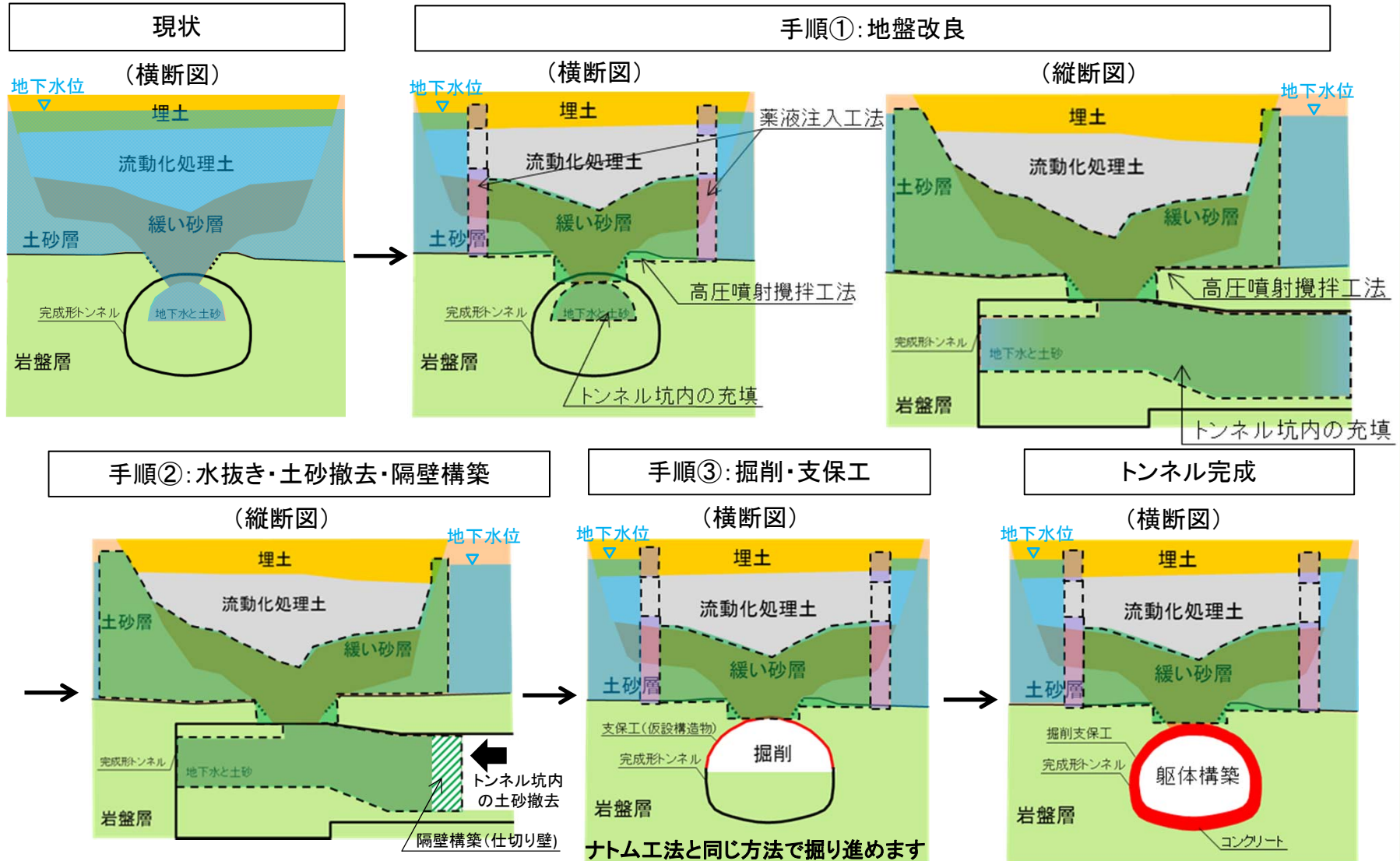
『人工岩盤掘削』を採用することとしました。

5. 再掘削に向けての検討(再掘削工法)

人工岩盤掘削の施工ステップ

『人工岩盤掘削』は以下の手順で施工を進めていきます。

-凡例-
[---]: 改良範囲

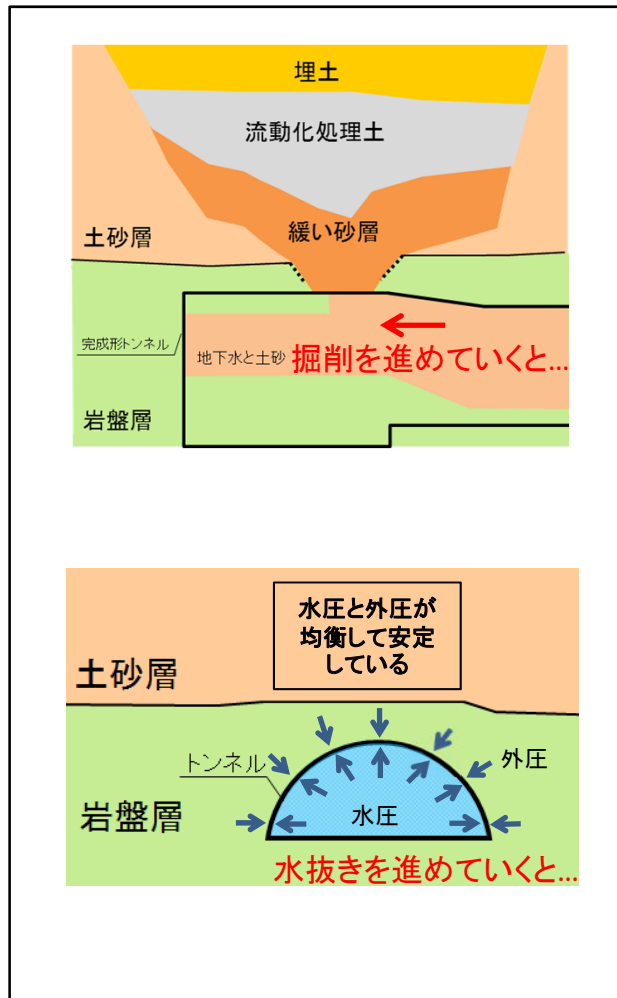


5. 再掘削に向けての検討(地盤改良)

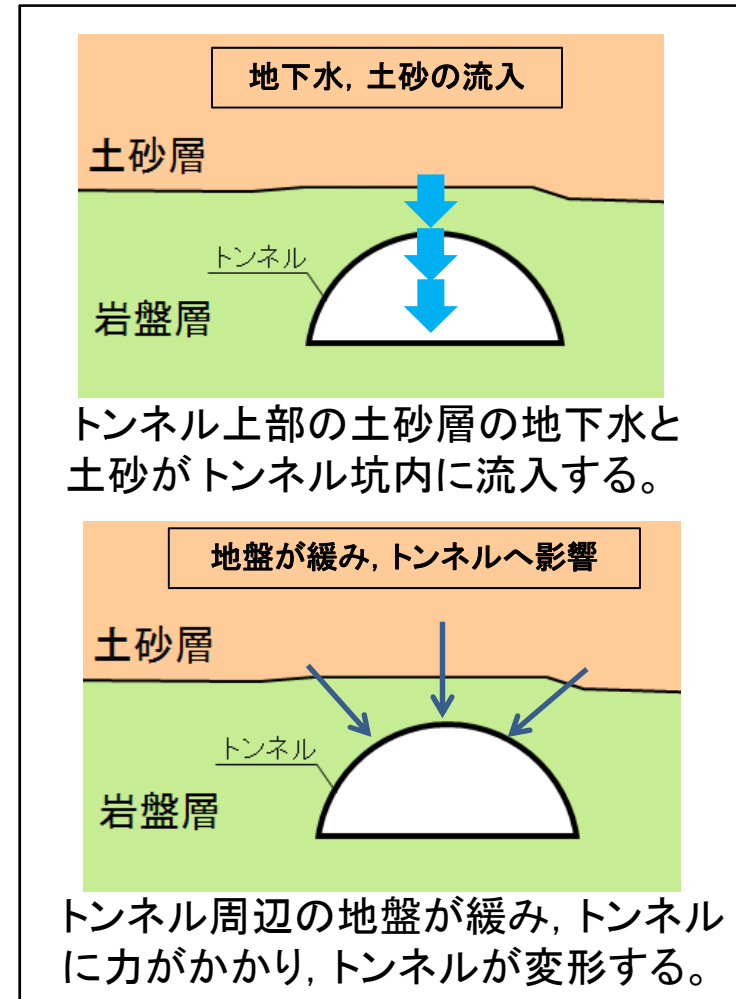
地盤改良の目的

以下のリスクに対応するために、『**陥没範囲への地下水流入防止**』、『**地盤の強度向上**』を目的として、「地盤改良」を行います。

《現状》



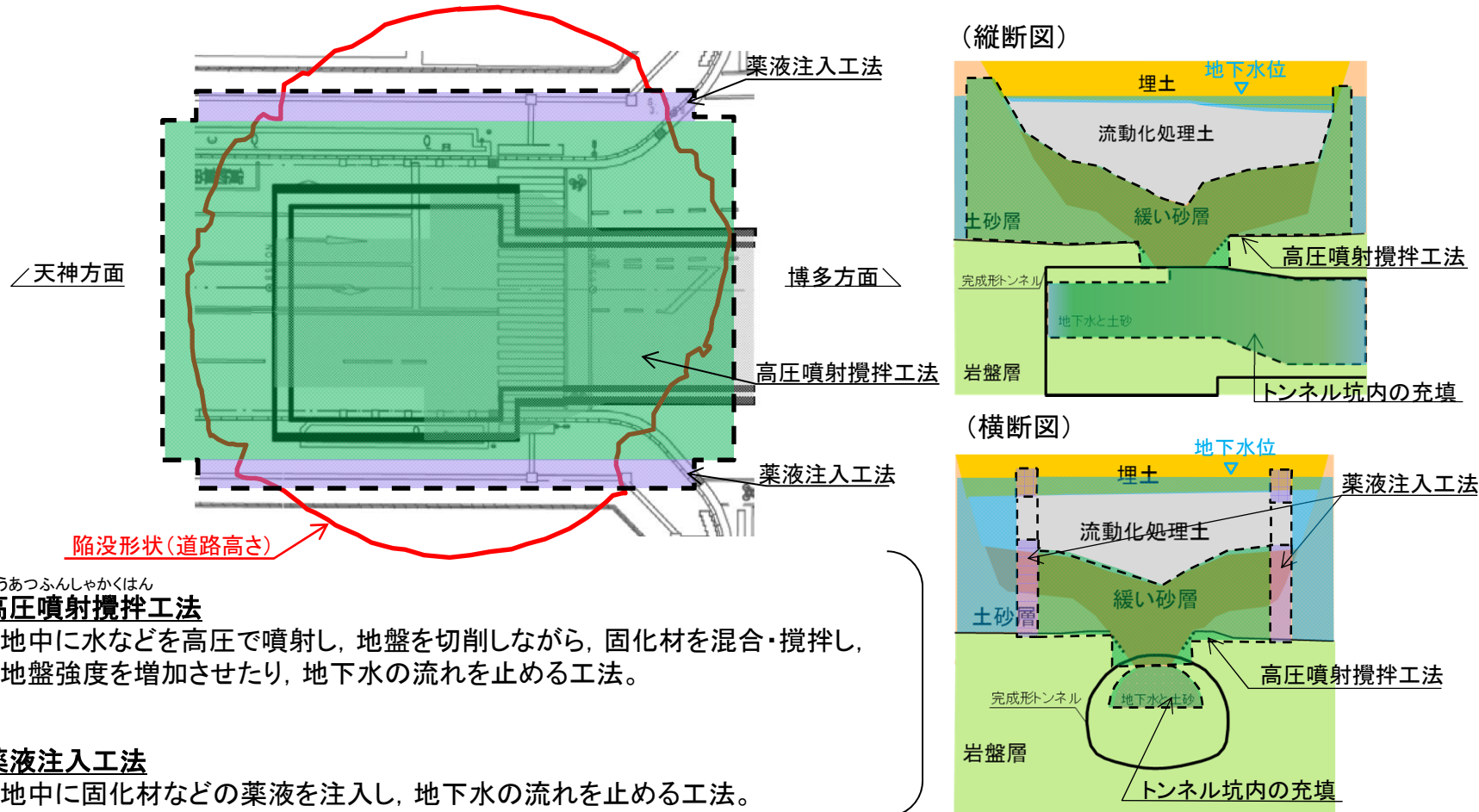
《再掘削, 水抜き時のリスク》



5. 再掘削に向けての検討(地盤改良)

地盤改良範囲の検討

再掘削, 水抜き時に影響が生じる範囲等を検討した結果, 岩盤層上部の土砂層, 緩い砂層及びトンネル坑内を改良することとしました。



こうあつぶんしゃかくはん

高圧噴射攪拌工法

地中に水などを高圧で噴射し, 地盤を切削しながら, 固化材を混合・攪拌し, 地盤強度を増加させたり, 地下水の流れを止める工法。

薬液注入工法

地中に固化材などの薬液を注入し, 地下水の流れを止める工法。

地盤改良の実施完了後, 確実な地盤改良ができているかボーリングにより確認を行います。未改良部が確認された場合は, 補足注入(薬液注入工法)を実施します。

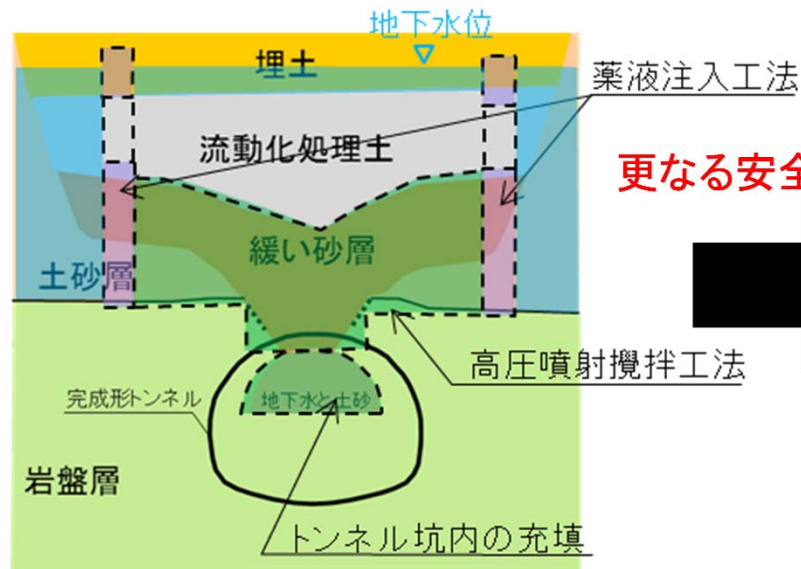
5. 再掘削に向けての検討(地盤改良)

補助工法の活用

再掘削, 水抜き時のトンネル坑内への地下水流入のリスク低減のため,
①地盤改良+②補助工法(地下水水位低下工)を併用して実施します。

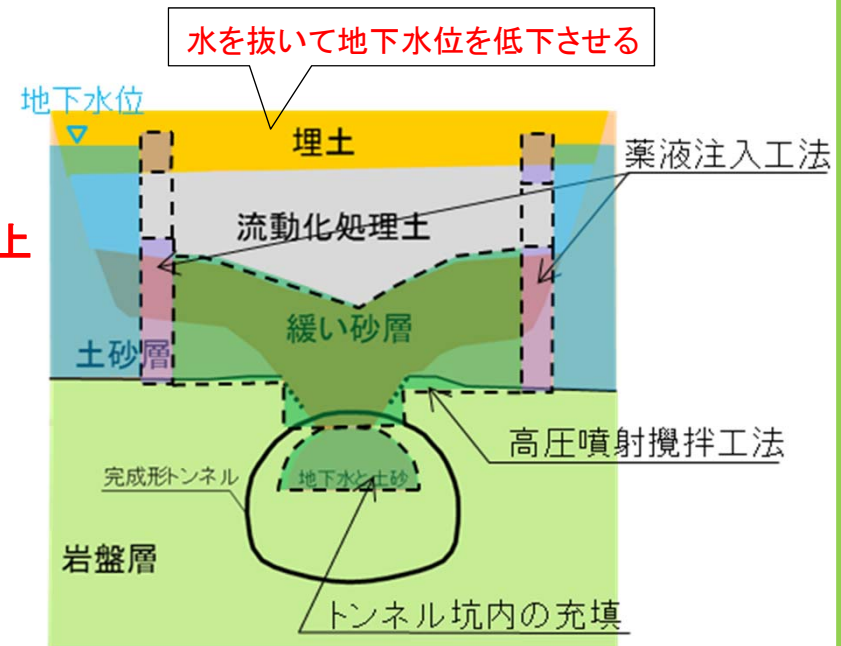
①地盤改良のみの場合

(横断面図)



①地盤改良+②補助工法の場合

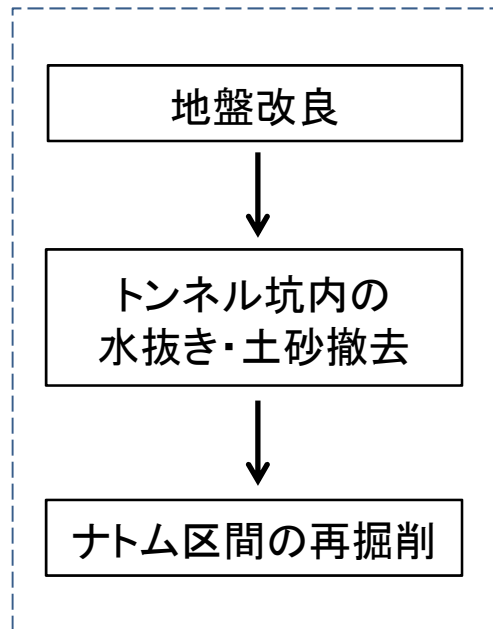
(横断面図)



6. 今後の工事の進め方

今後の進め方

[再掘削までの手順]



再掘削に向けての取り組み

- トンネル再掘削に向けた準備工事として、まずは地盤改良に着手
- 今後も、技術専門委員会を開催し、技術的な助言を最大限に活用
- 工事の進捗状況は、常に最新の情報をわかりやすく発信する

工事の安全対策に関する取り組み

- 設計変更之际し、新たに課題を見極めるための協議の場を設け、発注者と受注者の間で認識の共有、コミュニケーションの向上を図る
- 施工現場の安全パトロールや施工計画書の内容確認については、設計担当者も加わり、現場作業と設計の相違点の早期発見を図る
- 計測の確認頻度や手法等について、工事に係る仕様書をより踏み込んだ内容に改定するとともに、発注者と受注者の間で、よりきめ細かく協議し、認識の共有を図る
- 外部講師を招いた研修を行い、発注者・受注者が一体となって、事故の再発防止及びスキルアップを図る
- 事故が発生した11月8日の前後1週間を「安全強化週間」とし、交通局発注工事の更なる安全点検の強化を図る

安全を最優先に着実に工事を進めていきます。