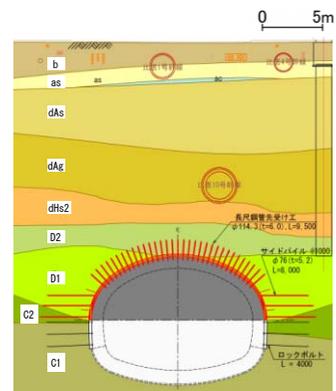
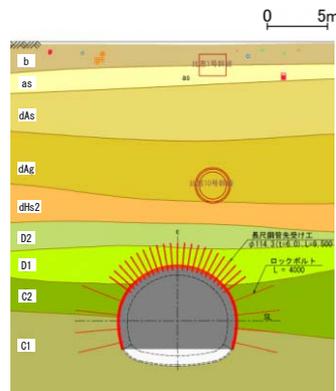


1 道路陥没部やトンネル坑内の現在の状況について

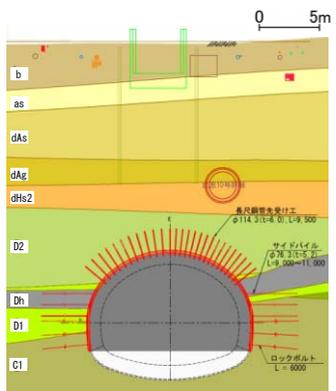
(1) 工事状況



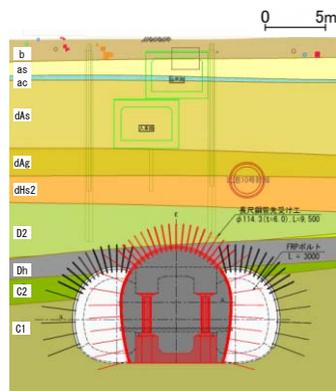
②: 大断面トンネル(上半拡幅掘削完了)



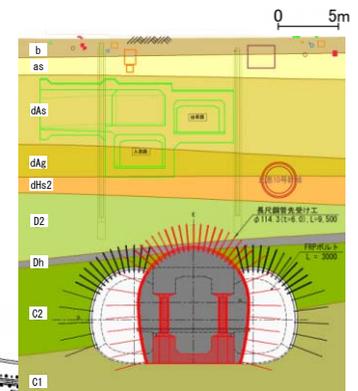
③: 標準トンネル I 型(下半掘削完了)



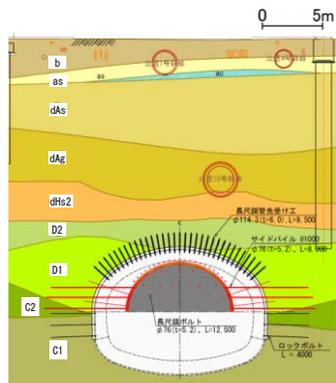
④: 標準トンネル II 型(下半掘削完了)



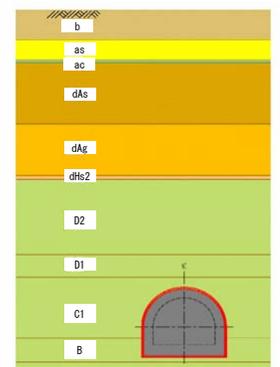
⑤: 3連トンネル I 型(中央坑掘削完了)



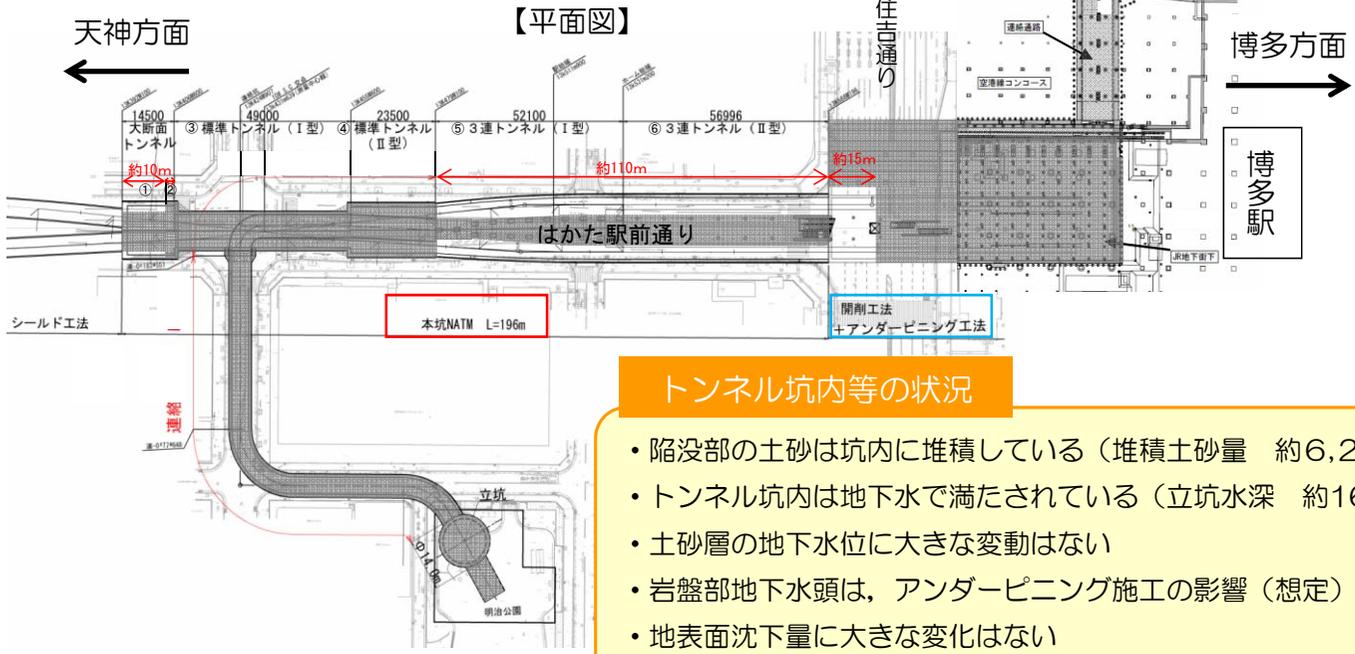
⑥: 3連トンネル II 型(中央坑掘削完了)



①: 大断面トンネル(先進導坑掘削完了)



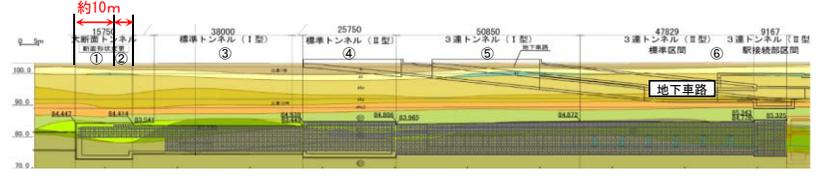
⑦: 連絡坑トンネル(全断面掘削完了)



トンネル坑内等の状況

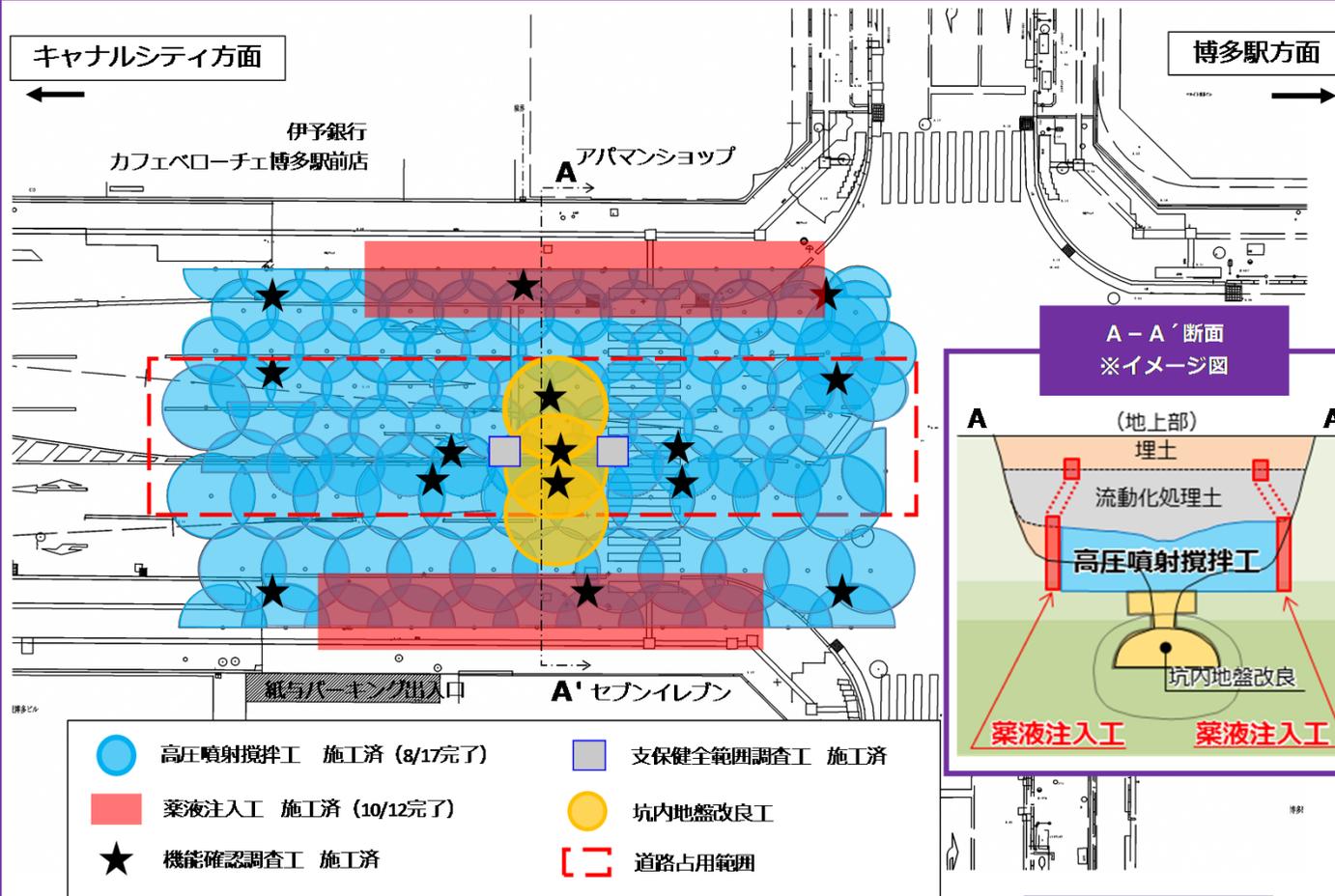
- 陥没部の土砂は坑内に堆積している(堆積土砂量 約6,200m³)
- トンネル坑内は地下水で満たされている(立坑水深 約16m)
- 土砂層の地下水位に大きな変動はない
- 岩盤部地下水頭は、アンダーピニング施工の影響(想定)で変動がある
- 地表面沈下量に大きな変化はない

【縦断図】



-凡例-

- : 未掘削箇所
- : 掘削済箇所
- : 構築済箇所



【 道路占用状況 】



地盤改良工事の進捗について

- 高圧噴射攪拌工・・・107本 完了
- 薬液注入工・・・255本 完了
- 機能確認調査工・・・15本 完了
- 支保健全範囲調査工・・・2本 完了
- トンネル坑内地盤改良工・・・全3本 施工中

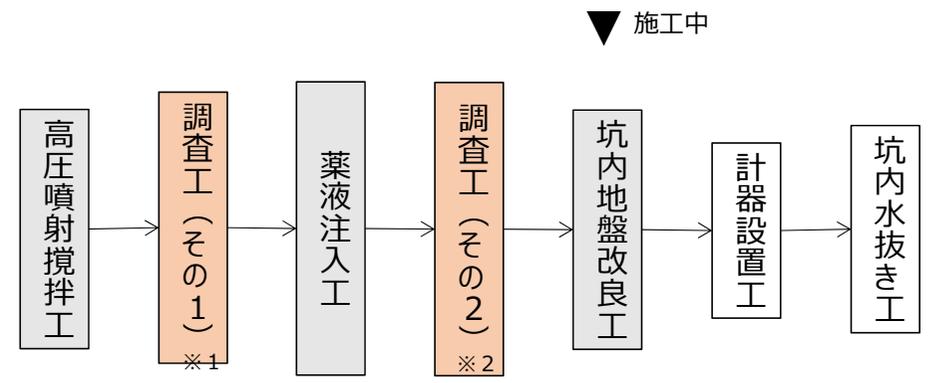
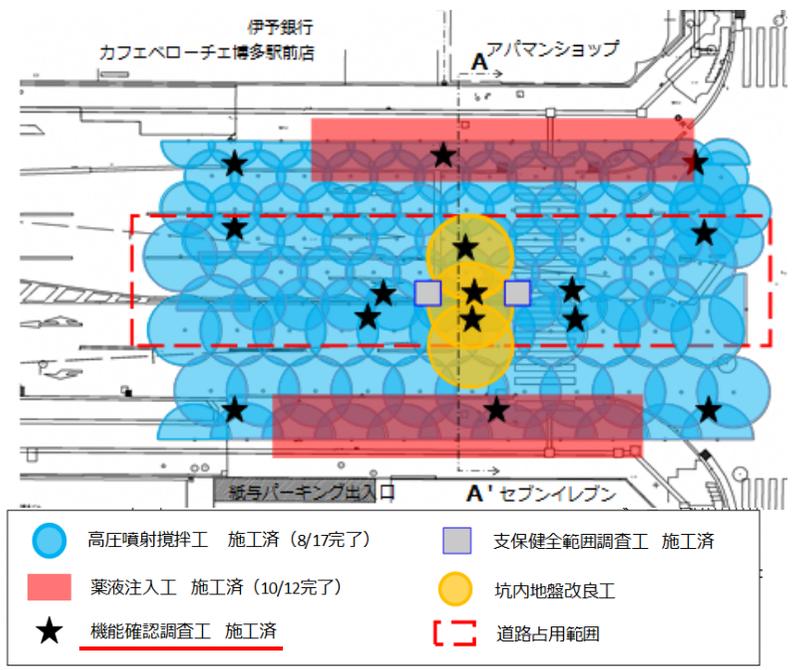
坑内改良工
施工状況



(1) 工事状況

① 地盤改良体の効果確認

- 地盤改良体の機能効果確認のため、15箇所でボーリング調査を実施。
- 必要な強度、止水性が確保されていることの確認を実施。



※1 一軸圧縮強度試験，針貫入試験，超音波パルス試験，P S検層，透水試験を実施
 ※2 透水試験，孔内水平載荷試験を実施

② 必要な機能

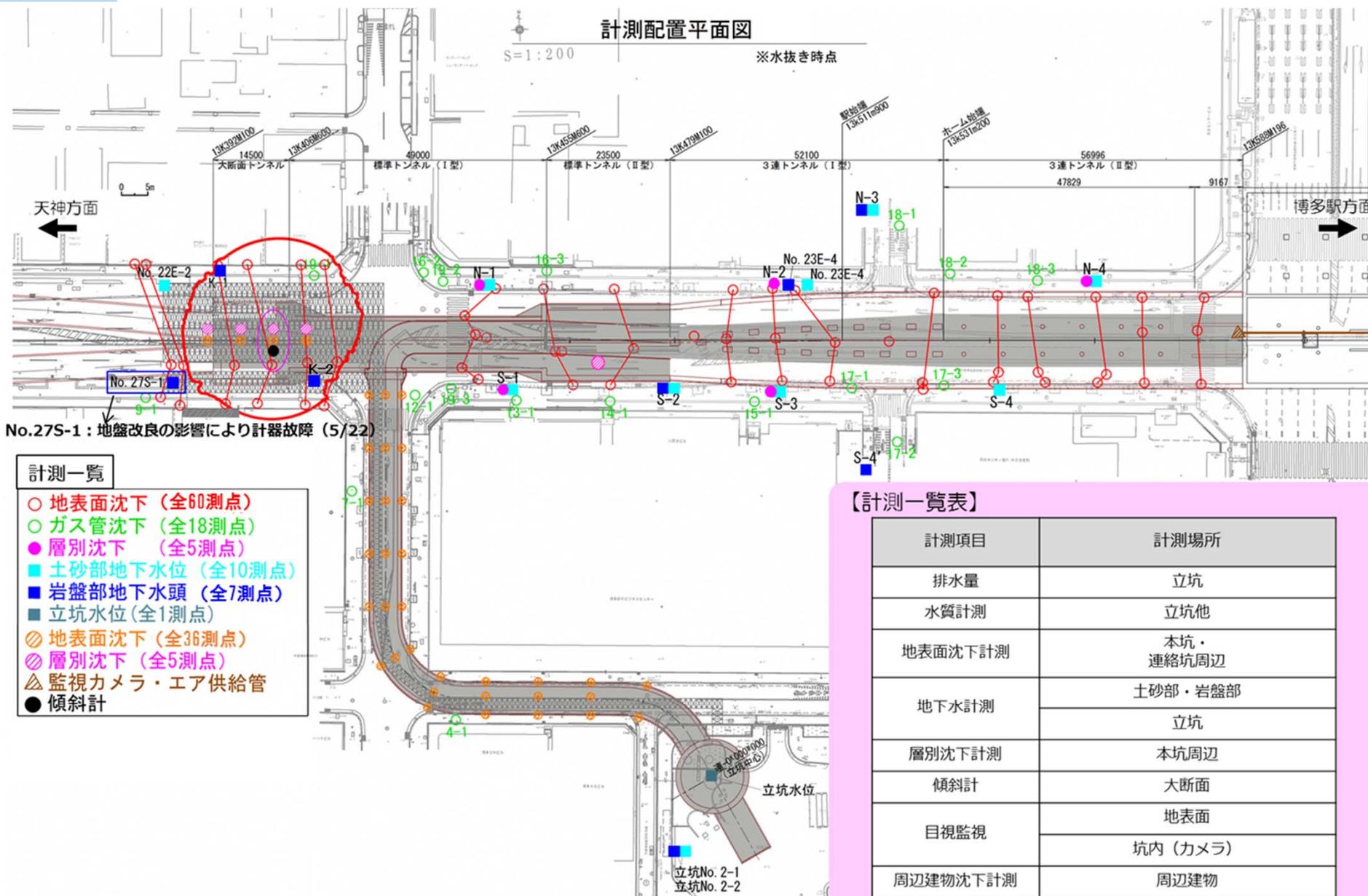
- 改良体の強度 1 MN/m² を確保できていること
- 改良体の止水性 10⁻⁴cm/s 未満であること

③ 結果

- 採取したボーリングコアやボーリング孔周辺の確認試験結果から、改良体は盤（塊）として必要な強度が確保できていることが確認できた。
- 改良体内部で実施した透水試験結果から、改良体自体の止水性が確保されていることを確認した。
- 改良体と地盤の境界部で実施した透水試験結果から、改良体と地盤の境界付近に水みちがなく、全体としての止水性が確保されていることを確認した。

(1) 計測計画

①計測箇所



- 計測一覧
- 地表面沈下 (全60測点)
 - ガス管沈下 (全18測点)
 - 層別沈下 (全5測点)
 - 土砂部地下水位 (全10測点)
 - 岩盤部地下水頭 (全7測点)
 - 立坑水位 (全1測点)
 - 地表面沈下 (全36測点)
 - 層別沈下 (全5測点)
 - △ 監視カメラ・エア供給管
 - 傾斜計

【計測一覧表】

計測項目	計測場所
排水量	立坑
水質計測	立坑他
地表面沈下計測	本坑・連絡坑周辺
地下水計測	土砂部・岩盤部
	立坑
層別沈下計測	本坑周辺
傾斜計	大断面
目視監視	地表面
	坑内 (カメラ)
周辺建物沈下計測	周辺建物
埋設物沈下計測	ガス管等

②計測管理の概念

- 水抜き・土砂撤去に際し、変位計測や地下水関連計測により地盤の安定性を確認する。
- 変位計測については、路面の走行安定性等の許容値やFEM解析に基づき管理値を設定する。
- 地下水計測については、予測値と計測値の差(偏差)が過去経験した範囲内かを評価する。

リスクタイプ1：遮水層(D2層, 地盤改良体)の遮水性が失われ土砂がトンネル坑内に流入する可能性
 " 2：トンネルまたは周辺地盤が不安定化して土砂が坑内に流入する可能性
 " 3：トンネル周辺地盤等に影響を及ぼす可能性

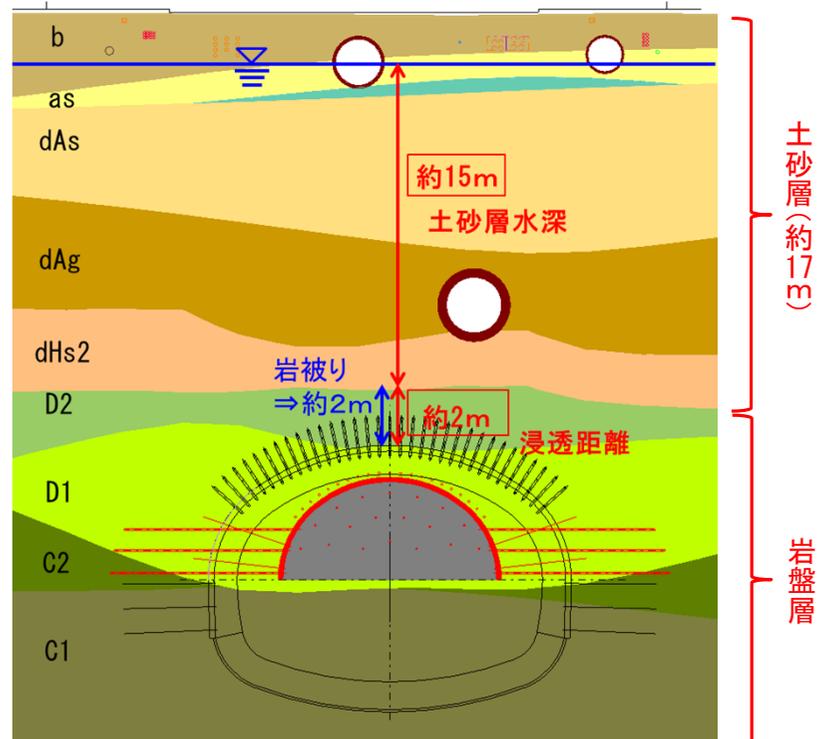
水抜き方法の妥当性を評価		
計測目的	トンネル周辺地山の 挙動や影響の監視 (リスクタイプ2・3)	遮水層(D2層・地盤改良体)の 不安定化の予兆を評価 (リスクタイプ1・2)
計測方法	変位計測	地下水計測
計測対象	地表面沈下, 層別沈下	土砂水位, 岩盤水頭, 排水量
管理方法/評価方法	地表面沈下については、路面の走行安定性や構造物の安全性確保の面から設定する。 層別沈下については、FEM解析に基づき設定する。	計測値と予測値の差(偏差)が 過去経験した偏差範囲※ に基づき設定する。 計測値が予測値に対してこれまで経験した範囲内であれば、安全であるという考えに基づいており、境界値の超過が、直ちに地盤の不安定化を示すものではない。 ※偏差範囲の設定については、水位を下げっていく過程で見直しを行っていく。

※坑内水抜き後に実施するトンネル坑内の土砂撤去時には、水位や排水量を変化させる作業を伴わないため、土砂水位, 岩盤水頭, 排水量について基準を設けませんが、データの確認を実施する。

(1) 対策を踏まえた評価

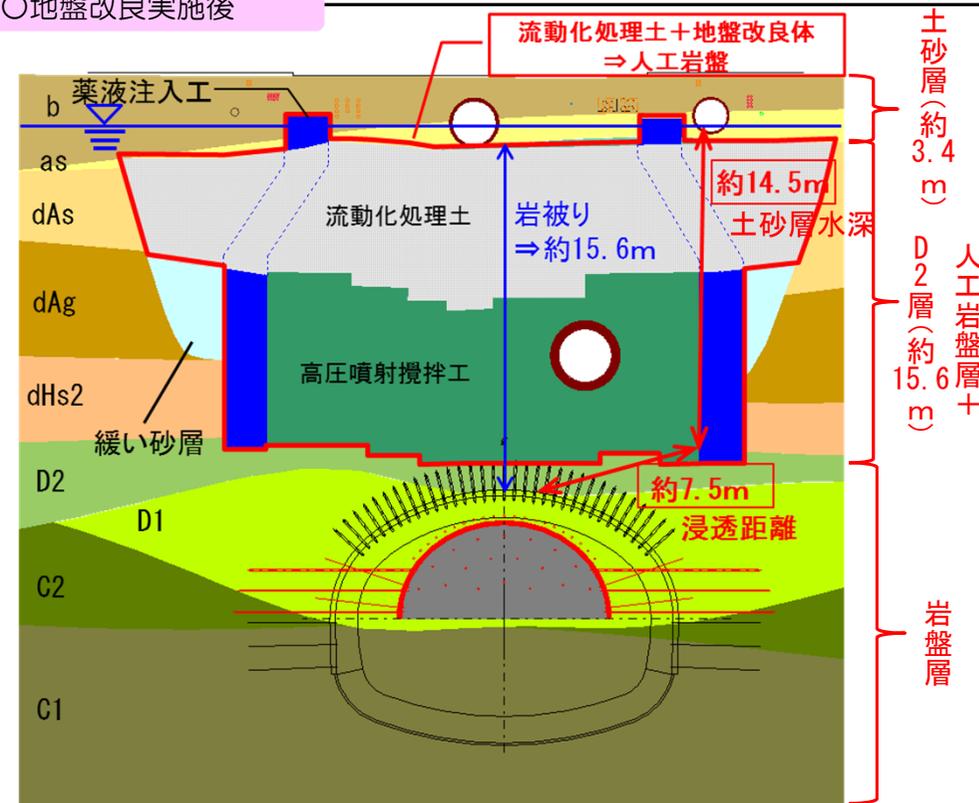
地盤改良(人工岩盤造成及び崩落孔直下坑内改良)の実施後と道路陥没前との状況を比較することで、地盤改良の効果を評価する。

○道路陥没前の状況



- 浸透距離は約2m
- 土砂層は約17m

○地盤改良実施後



- 浸透距離は約7.5m
※トンネル上部は強固な人工岩盤が造成されているため、鉛直方向からの水圧はかからない。
- 土砂層は約3.4m
※D2層上部の土砂層に、D2層と同等程度の強度や止水性を持つ人工岩盤が造成されている。
- 崩落孔直下の改良により崩落孔に蓋がされている

地盤改良を実施し人工岩盤(D2層と同程度の強度及び止水性を持つ)を造成することで、
 ・力学的な対策: D2層と同等以上の強度を持つ層の厚みが約2m⇒約15.6m
 ・水対策: 浸透破壊経路の距離(浸透距離)が約2m⇒約7.5m
 と改善される。このことから地盤改良を実施したことで安全に掘削することが可能と考える。

(2) 補助工法の検討

地盤改良を実施することで安全な掘削が可能であると考えられるが、さらに安全に掘削するために、原因究明の検討委員会報告書に記載されている留意点を踏まえ、加背割、補助工法、支保構造について検討した。

	項目	効果	留意点	評価
加背割	<ul style="list-style-type: none"> 小分割施工 (中央導坑先進, 頂設導坑, 中壁分割等) 	<ul style="list-style-type: none"> 小分割施工 掘削断面を分割して施工する加背割の変更は、抜け落ち防止など、天端安定化に対する対策としては有効。 加背割によっては、施工中の扁平率が改善する。 	<p>掘削断面を小さくする場合は、小型の施工機械を使用する必要が生じる。</p>	<p>小分割施工とすることが有効な対策となる。</p>
補助工法	<ul style="list-style-type: none"> 先受工 (フォアポーリング, AGF等) 早期断面仮閉合 	<ul style="list-style-type: none"> 先受工 切羽安定対策や天端の安定対策として有効。 早期断面仮閉合 早期断面仮閉合により、地山の変形を抑制することが可能であるため、抜け落ち防止に対する対策として有効。 	<ul style="list-style-type: none"> 採用する補助工法について検討が必要。 詳細な施工ステップ(小分割・仮閉合)を検討する。 	<p>先受工及び早期断面仮閉合を実施することが有効な対策となる。</p>
支保構造	<ul style="list-style-type: none"> 支保工のランクアップ ⇒高強度吹付 ⇒鋼製支保工の増厚 	<ul style="list-style-type: none"> 支保工のランクアップ 高強度吹付や鋼製支保工の増厚により、3次元的には剛性が増すため、抜け落ち防止に対する一定の効果が期待できる。 	<p>鋼製支保工を増厚する場合、掘削断面積が増加する。</p>	<p>高強度吹付や鋼製支保工の増厚により、一定の効果が期待でき、計算結果によって、必要に応じてランクアップを実施していく。</p>

(3) 再掘削方法

大断面トンネルでは、より安全に再掘削を進めるため、トンネル頂部の掘削を先行する加背割(頂設導坑先進)を採用するとともに、先受工(AGF)を採用する。

		掘削案	(参考) H28施工時
断面図			
加背割(掘削順序)		頂設導坑先進	中央導坑先進
補助工法		先受工: AGF(打設ピッチ300mm, 二重化) ※早期断面仮併合については地盤状況等を踏まえ実施	先受工: AGF(打設ピッチ450mm, 二重化)
安全性	地下水対策(浸透破壊対策)	・人工岩盤の造成により、浸透距離は約7.5m ※崩落孔直下の改良により崩落孔に蓋がされている	・天端付近の浸透距離は約2m
	天端安定化対策	・頂設導坑先進による掘削とし、施工中の扁平率を向上 ・先受工の実施(打設間隔をより密にする)	先受工の実施
施工性	防水	シート防水	シート防水
メンテナンス性		特に問題なし	特に問題なし

(1) リスクの評価（掘削に向けた現状と課題）

3連トンネルの中央坑については安全に掘削が完了しているが、今後、左右坑を掘削していくにあたり、より安全に施工するため、リスクについて整理する。

①地下水対策の必要性について

トンネル上部の地層は、土砂層, D2層, Dh層で構成されている

▼

D2層, Dh層とトンネルが接する箇所への地下水対策(浸透破壊対策)について検討が必要



②天端安定化対策の必要性について

3連トンネル左右坑をNATMで掘削する

▼

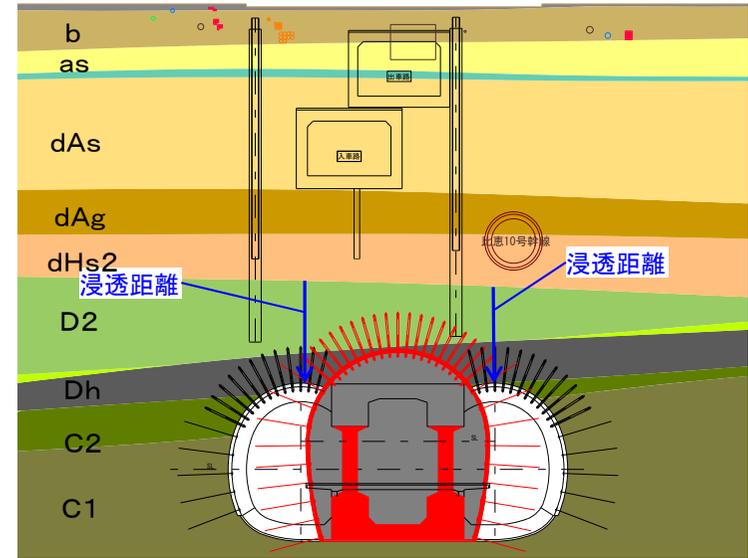
D2層, Dh層の局所的弱部等により
トンネル天端部が力学的に不安定化する可能性がある

▼

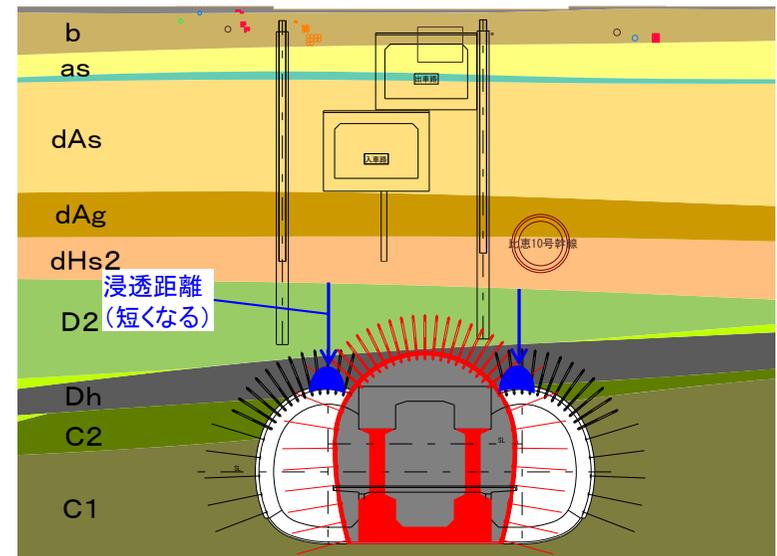
抜け落ち, 地山の緩み等が発生し浸透距離が短くなる可能性がある

▼

天端安定化対策(力学的安定化対策)について検討が必要



浸透経路図



浸透距離が短くなるケース

(2) 補助工法の検討 (まとめ)

地下水対策及び天端安定化対策を踏まえて、3連トンネル左右坑を掘削するために必要な補助工法について整理する。

①地下水対策に有効な補助工法

I. 止水対策(遮水層の機能強化)

⇒地上からの対策では、通行止めが生じる等、周辺環境に悪影響を与えるため適用できない。

⇒地下からの施工は可能。

II. 排水対策(地下水位低下工法)

⇒地上、地下からの対策では、地下水位低下に伴い周辺地盤への影響が大きく適用できない。

地下からの止水対策を実施する

案1:薬液注入工

⇒試験施工を実施したが、不確実性があることから積極的な採用はできない。

案2:AGF工

⇒遮水効果が期待できないことから、適用できない。

案3:パイプルーフ工

⇒浸透破壊に対する防止効果が期待できる。

地下水対策としてはパイプルーフ工が有効と考えられる

②天端安定化対策に有効な補助工法

案1:フォアポーリング

⇒適用性は問題ないが、AGF工に劣る

案2:長尺フォアパイリング(AGF工)

⇒適用性は問題なく、天端の安定だけでなく、地表面や地下埋設物等に対する対策としても有効。

案3:パイプルーフ

⇒適用性は問題なく、天端の安定だけでなく、地表面や地下埋設物等に対する対策としても有効。

案4:水平ジェットグラウト

⇒対象地山が未固結地山であり、本現場において適用できない。

案5:スリットコンクリート

⇒対象地山が未固結地山であり、本現場において適用できない。

天端安定化対策としては、AGF工またはパイプルーフ工が有効と考えられる

「①地下水対策」及び「②天端安定化対策」がともに必要な範囲においてはパイプルーフ工を採用することで、3連トンネル左右坑を安全に掘削することができると考えられる。

C岩等の強固な層での掘削においては、浸透破壊については考慮する必要が無いいため、AGF工またはパイプルーフ工を採用することで、3連トンネル左右坑を安全に掘削することが可能と考えられる。

(3) 補助工法の検討 (対策案まとめ)

補助工法については、トンネル上部からパイプルーフ(鋼管)を打設する方法を採用する。
面的な横パイプルーフを基本とし、現場条件※1により面的な縦パイプルーフ、線的な横パイプルーフ※2を採用する。

- ※1 横パイプルーフが施工不可能な箇所や地下水対策が不要となる区間。
- ※2 線的な横パイプルーフの代わりにAGF工法を使用する案については、AGF工法の前後区間でパイプルーフと干渉するため採用できない。

	地下水対策と天端安定化対策が必要な区間		天端安定化対策が必要な区間
	1. 横パイプルーフ工法(面的)	2. 縦パイプルーフ工法(面的)	3. 横パイプルーフ工法(線的)
補助工法イメージ			
概要	中央坑上部から横向(軌道直角方向)にパイプルーフを施工する方法。	開削部や標準Ⅱ型部から縦向(軌道方向)にパイプルーフを施工する方法。	中央坑上部から横向(軌道直角方向)にパイプルーフを施工する方法。

※中央坑掘削時の切羽状況を踏まえ、鏡吹付コンクリートや長尺鏡ボルト等、切羽を安定させるための補助工法も必要に応じて実施する。

「①地下水対策」及び「②天端安定化対策」が必要な区間と「②天端安定化対策」が必要な区間は以下を想定している。

