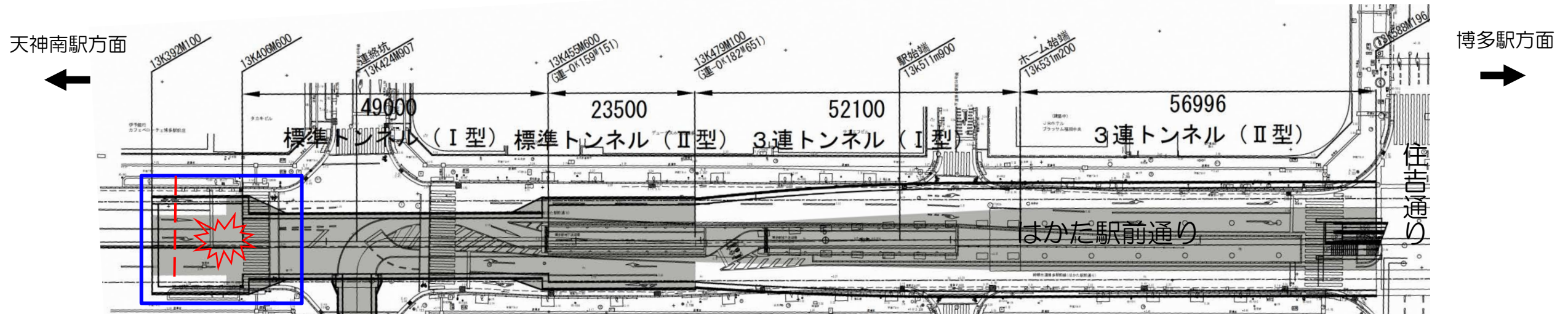


# (1) 現在の状況

平成29年11月7日  
記者会見時配布資料

## 1) 道路陥没部の状況【陥没後の時系列まとめ】



2016年11月8日：道路陥没発生

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

2016年11月15日：道路開放

2016年11月26日：路面沈下（平均38mm，最大70mm）

2016年12月 2日：地盤補強（緩い砂層）のため、薬液注入開始  
12月28日：薬液注入終了

2016年12月22日：検討委員会の要請による追加ボア-リグ調査開始  
2017年 2月 1日：検討委員会の要請による追加ボア-リグ調査終了

2017年 5月12日：第7回 福岡市地下鉄七隈線建設技術専門委員会

2017年 5月22日：福岡市議会（第4委員協議会）

2017年 6月 8日：工事再開（地質調査着手）

2017年 8月31日：第8回 福岡市地下鉄七隈線建設技術専門委員会

2017年 9月29日：地質調査終了 ※現場作業終了

2017年10月 4日：第9回 福岡市地下鉄七隈線建設技術専門委員会

2017年11月 7日：第10回 福岡市地下鉄七隈線建設技術専門委員会

### 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6200m<sup>3</sup>）
- ・トンネル坑内は地下水で満たされている。  
（立坑水深 約15.5m）
- ・土砂層の地下水位に大きな変動はないが、岩盤層の地下水位はアンダーピニング施工の影響と考えられる変動がみられた。
- ・道路面の高さに大きな変化はない。

# (2) 地質調査 (最終報告)

平成29年11月7日  
記者会見時配布資料

## 1) 地質調査位置・調査項目

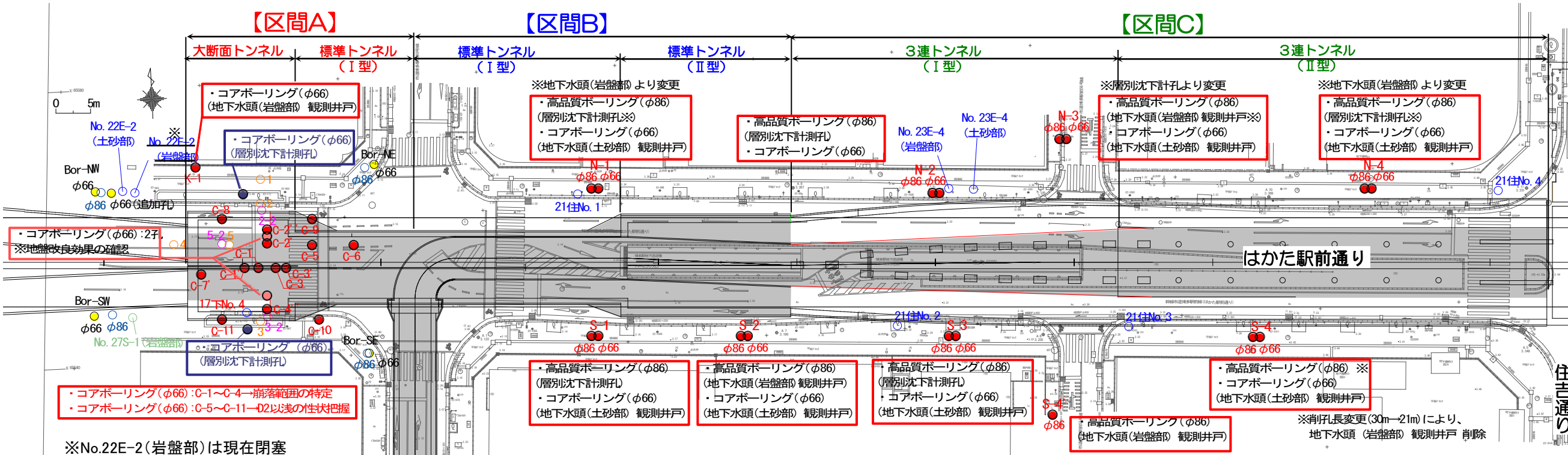
- ※1 埋設物を試掘で確認して実施可否を判断した。
- ※2 地元協議に伴い一部計画を変更した。
- ※3 3連区間の調査孔はN-3、S-4'を除き、ロックボルトの施工範囲内。
- ※4 トンネル坑内にボーリングを貫通させない配置。

### 調査目的

- 【区間A】**
  - ① D2層崩壊の範囲調査
  - ② 陥没範囲内の不均質性の確認 (追加)
  - ③ 地盤改良効果確認
- 【区間B】**
  - ① インバート掘削のための地質情報の取得
  - ② 水抜きの際の地盤挙動予測のための地質情報の取得
- 【区間C】**
  - ① 左右坑掘削のための地質情報の取得
  - ② 水抜きの際の地盤挙動予測のための地質情報の取得

### 配置の考え方

- ➡ 陥没部を中心とし、崩壊・改良範囲を確認できる範囲
- ➡ 脆弱な炭質頁岩が出現し始めた位置を起点とし、約30m間隔で配置



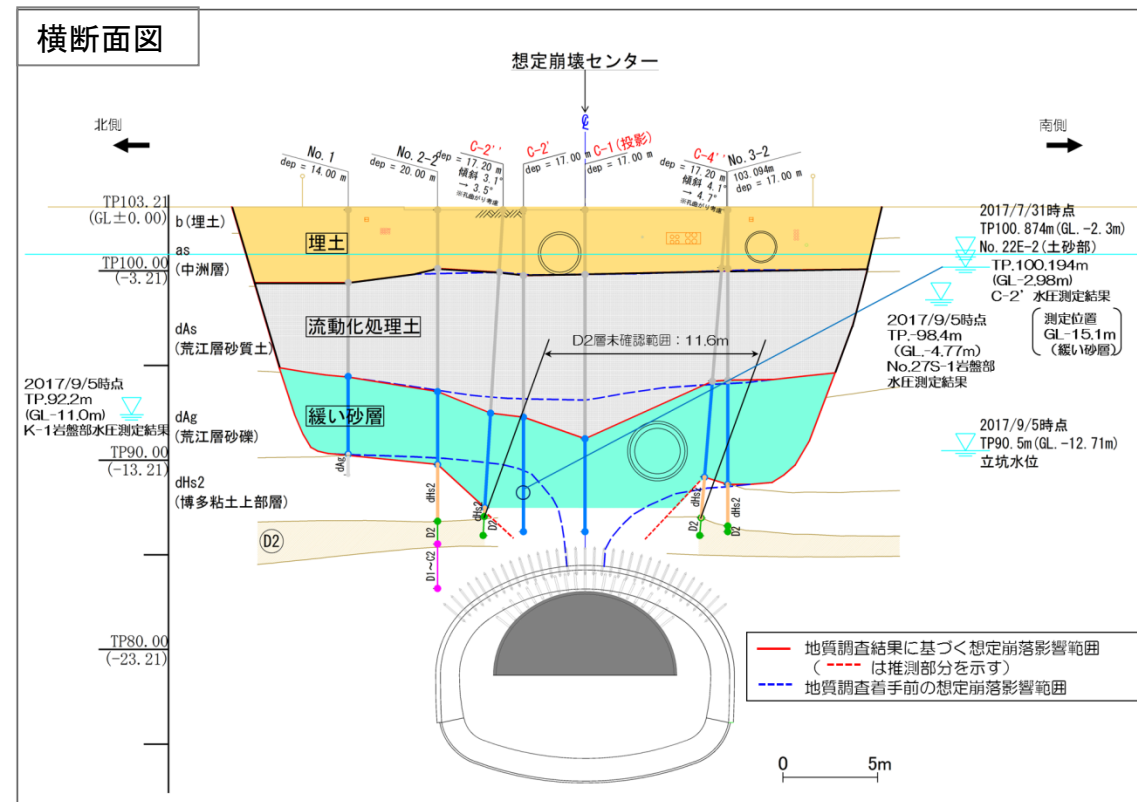
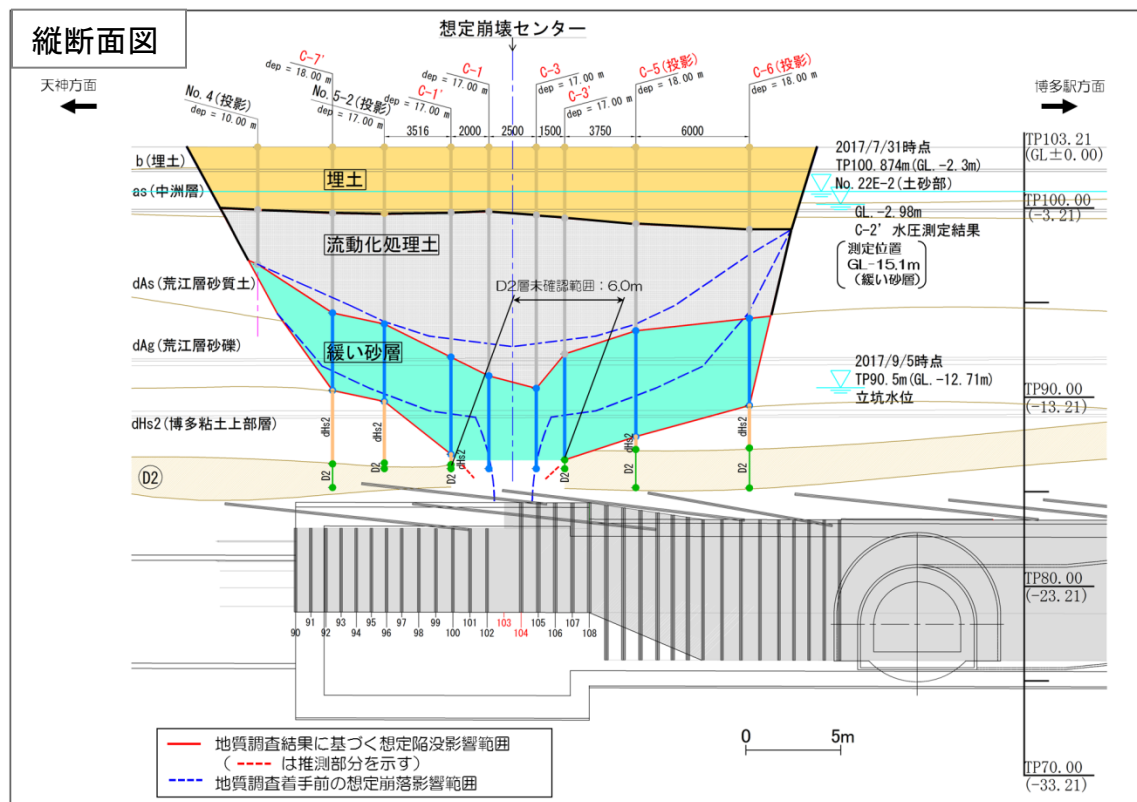
調査位置	種別	孔径	調査本数	実施する調査項目 (案)	調査後のボーリング孔の利用
【区間A】 大断面トンネル ～ 標準トンネル I 型	コアボーリング	φ66	15本※	ボーリング調査 (原位置試験・室内試験)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 流向流速調査：11本</li> <li>・ 層別沈下計測孔：2本</li> <li>・ 地下水頭 (岩盤部) 観測井戸：1本</li> </ul>
【区間B・C】 標準トンネル I 型 ～ 3連トンネル II 型	高品質ボーリング	φ86	9本	ボーリング調査 (原位置試験※1・室内試験※2) ※1：ポアホールテレビ, 低圧ルジオン試験, 孔内水平載荷試験, PS検層 (S-4')・微動アレイ探査 ※2：針貫入試験, 土壌硬度試験, 室内土質試験, 室内岩石試験	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 地下水頭 (岩盤部) 観測井戸：3本</li> <li>・ 層別沈下計測孔：5本</li> </ul>
	コアボーリング	φ66	8本	ボーリング調査 (孔内水平載荷試験)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 地下水位 (土砂部) 観測井戸：7本</li> </ul>

※区間Aの調査本数 (変更後15本) の他に地盤改良後に追加で4本の調査を行う



2) 想定される陥没形状

大断面部の地質調査によって、想定される陥没形状は下記のとおりであることがわかった。



3) D2層の強度や水の通しにくさ

難透水性風化岩 (D2層) の性状や変形係数, 透水係数等にバラツキがあることがわかった。

①D2層の変形係数のバラツキ

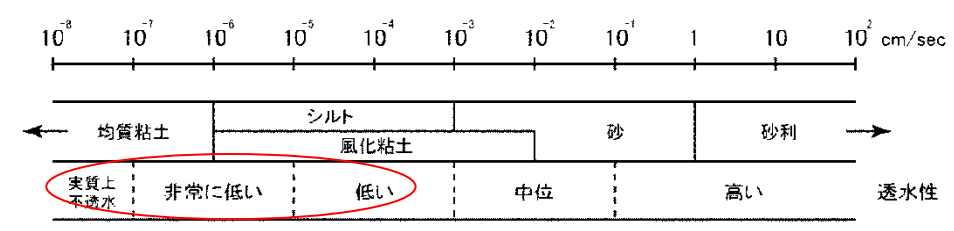
- 変形係数Eは, 8~400MN/m<sup>2</sup>で分布。

設計に用いる際の変形係数は, 補正係数4を乗じた値となるため, 32~1,600MN/m<sup>2</sup> (32,000~1,600,000KN/m<sup>2</sup>)

②D2層の透水係数のバラツキ

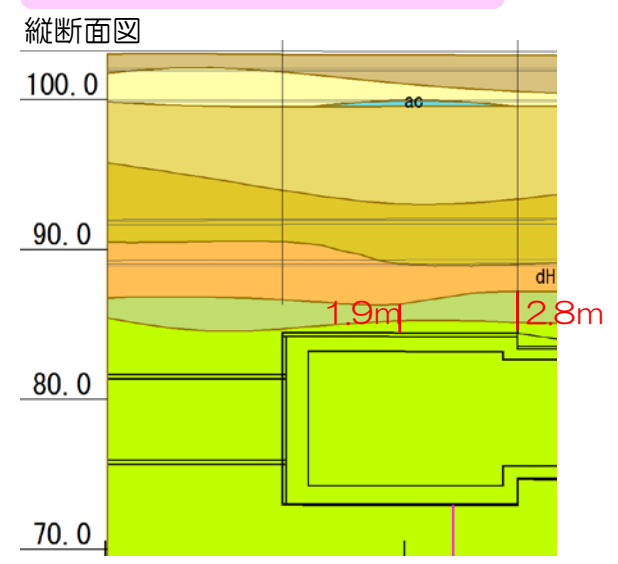
- 透水係数Kは, 4.63×10<sup>-8</sup>~4.17×10<sup>-4</sup>cm/sで分布。

※透水係数 … 地下水などの通しやすさを示す (数値が小さいほど水を通しにくい)



③大断面トンネルの岩被り

- 1.9~2.8mと推定される。

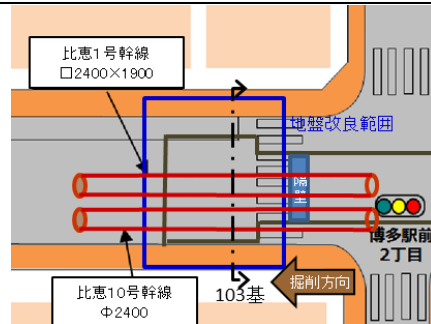
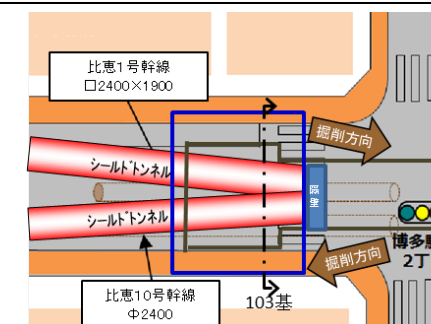
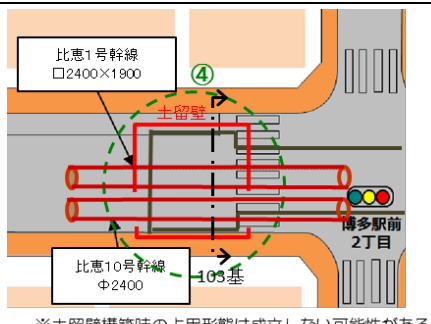
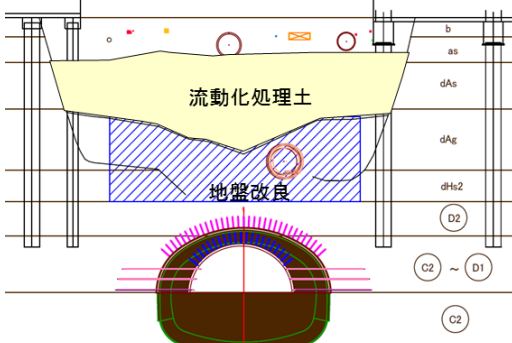
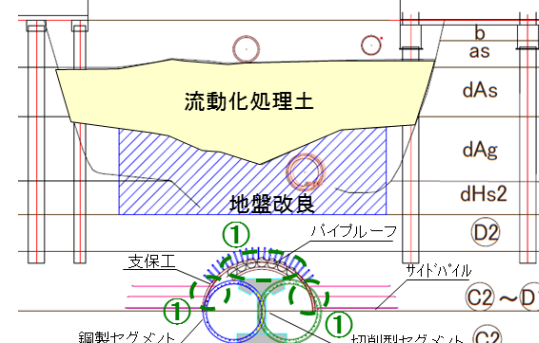
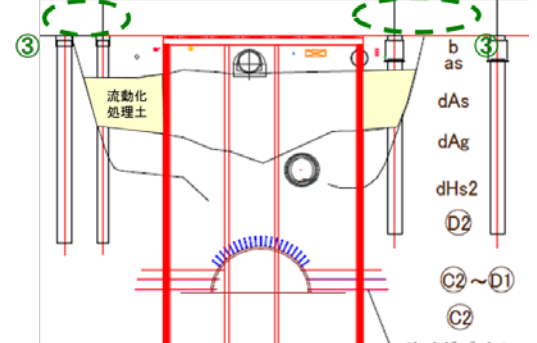
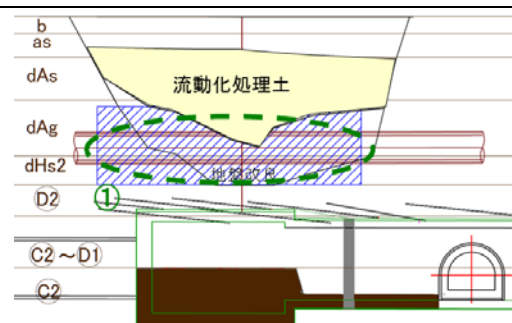
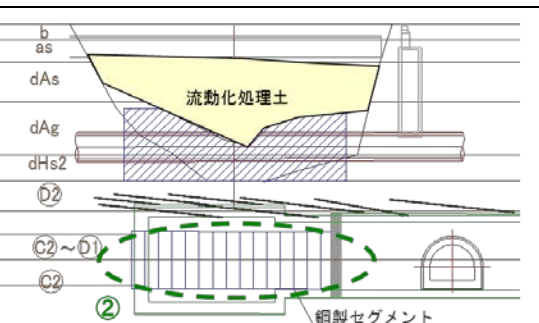
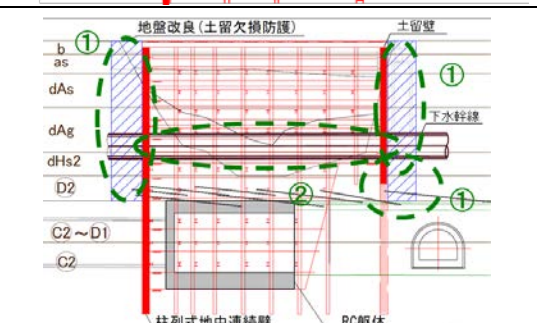


# (3) 再掘削工法

## 1) 各工法の比較

凡例	○	△	▲
リスク または 影響の大きさ	小	中	大

平成29年11月7日  
記者会見時配布資料

大分類		非開削工法		開削工法(参考)	
案	人工岩盤掘削	特殊シールド		開削工法	
施工概要	地上から地盤改良を行い、人工岩盤を形成して横穴に地中を掘り進み、トンネルを造る	シールド区間を延長し、延長した区間で2本のシールドトンネルを非開削にて連結させトンネルを構築する方法で、標準トンネル部でナトム区間と接続する		地表面を上から直接掘り下げて、構造物を造り、埋戻して復旧する	
特色	既存トンネル支保工を可能な限り使用することが可能	密閉型のシールド工法であるため、切羽を開放せずに施工することが可能(事前の準備工を除く)		陥没部の目視確認を行いながら施工可能	
施工イメージ	平面図				※土留壁構築時の占用形態は成立しない可能性がある
	断面図 (陥没した103基断面図)				
	縦断面図				
(想定されるリスク)	水や土砂が流入するリスク	① 地盤改良不足により掘削時に地山が緩み、水や土砂が流入する	① 支保工の切断によりトンネルが変形し、水や土砂が流入する ② 地盤改良不足によりパイプーフ施工時に地山が緩み、水や土砂が流入する	① 土留欠損部のD2層の地盤改良が困難であり、掘削時に地山が緩み、水や土砂が流入する ② 土留壁はトンネル上部までの設置となるため、土留壁の安定性が失われ、背面土砂が流入する	▲
	地表面沈下や地下埋設物に影響を与えるリスク	—	○	○	△
	周辺建物に影響を与えるリスク	—	○	○	△
	その他のリスク	—	○	② シールド掘進範囲に障害物があった場合、シールド掘進を一旦止め、人力撤去等の必要が生じる	△
市民生活への影響	—	○	—	④ 長期間の道路占用が生じる	△

※「—」の項目については、考えられるリスクが少ないことを示す(次項以降参照)

# (3) 再掘削工法

平成29年11月7日  
記者会見時配布資料

## 2) 人工岩盤掘削 (施工ステップ)

地上から地盤改良を行い、人工岩盤を形成して横穴式に地中を掘り進み、トンネルを造る人工岩盤掘削について、施工及びリスクとその対策を整理した。

ステップ1

地盤改良・水抜き

ステップ2

隔壁・坑内充填

ステップ3

掘削・支保工

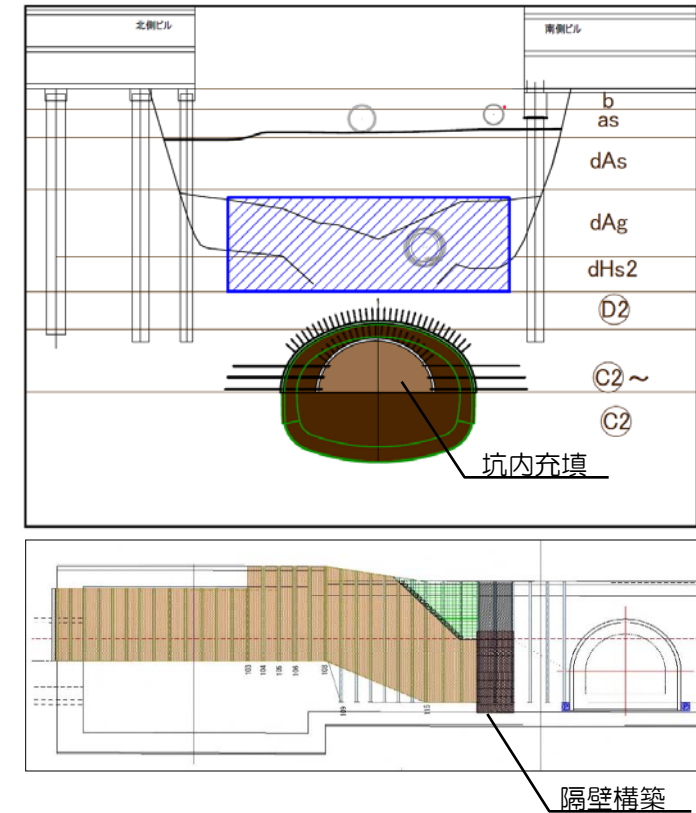
ステップ4

躯体構築

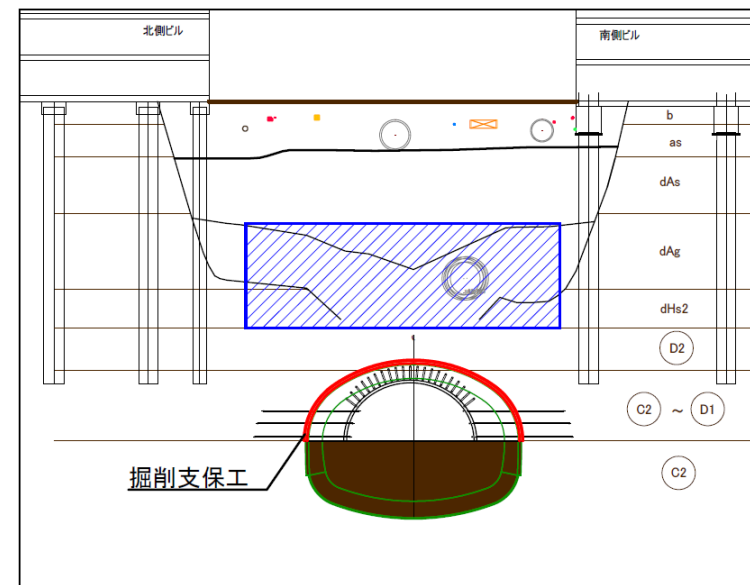
ステップ1 (地盤改良・水抜き)



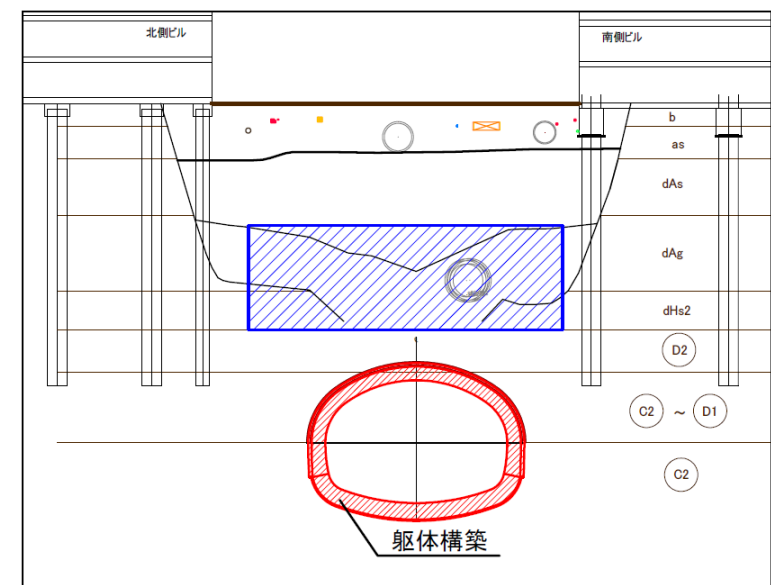
ステップ2 (隔壁・坑内充填)



ステップ3 (掘削・支保工)



ステップ4 (躯体構築)



—凡 例—

- : 未掘削箇所
- : 掘削済箇所
- : 構築箇所

※上図はイメージを示したものであり、今後詳細に検討していく

<上図は陥没した103基の断面を示す>



# (3) 再掘削工法

## 2) 人工岩盤掘削 (リスクとその対策)

平成29年11月7日  
記者会見時配布資料

凡例			
← 小	大 →		
リスク	リスク	リスク	対応策
			市民生活への影響

発生した場合の損害の大きさではなく、対応策を実施することによって、リスク発生の確率を大幅に下げることができるか、あるいは発生した場合の損害自体を軽微なものにできるかといった視点でリスクの大きさを評価した。

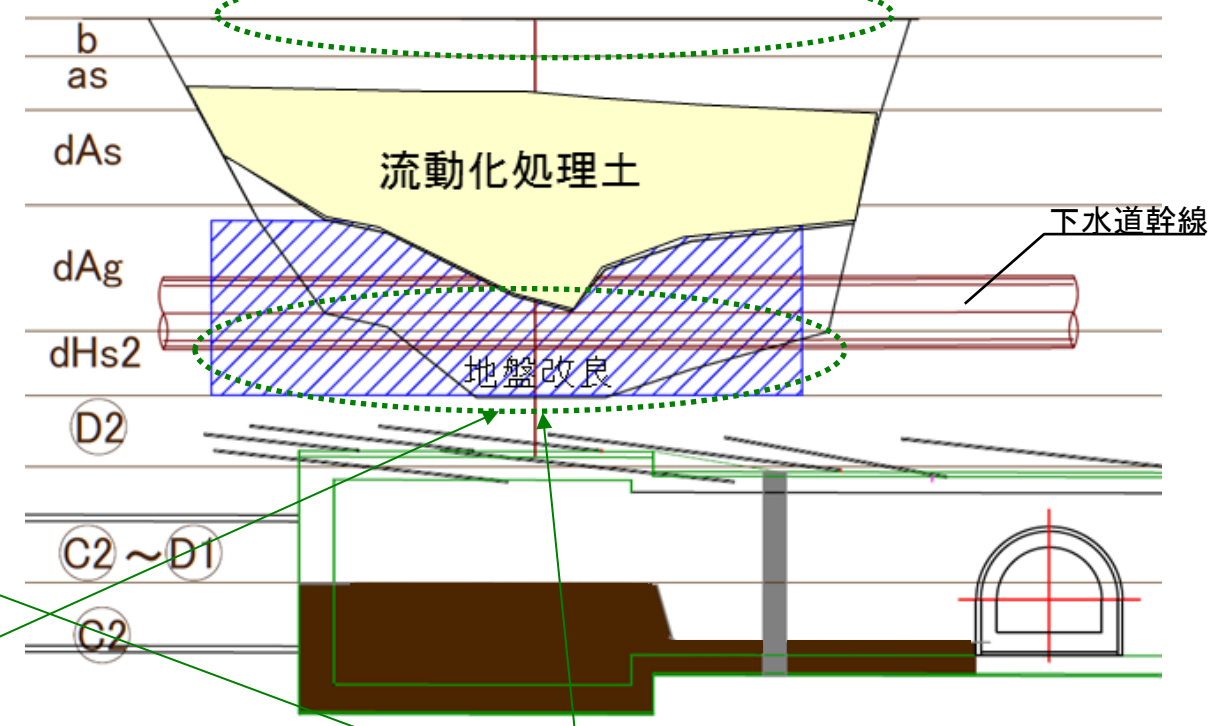
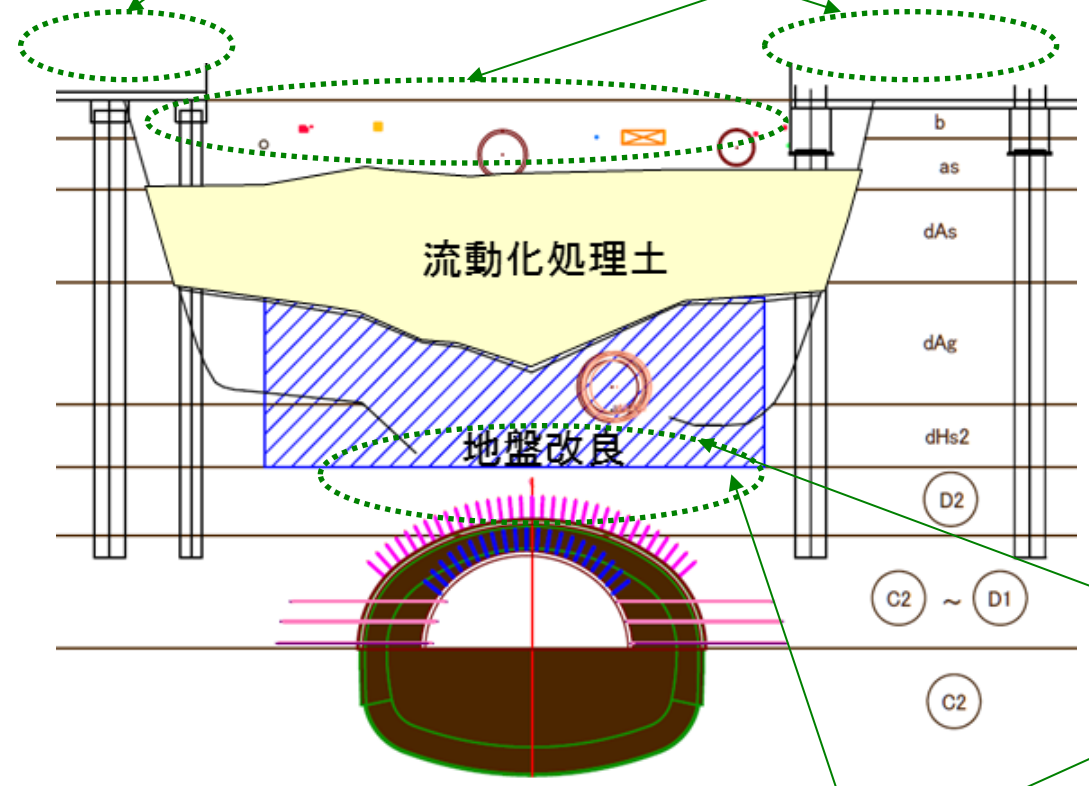
a.トンネル掘削時に周辺地山が変位した場合、周辺建物に影響を与える

- 地質調査結果を踏まえた変位解析を行い、施工に伴う変位を把握する
- 有害な変位とならないような、掘削時の変位を抑える補助工法を追加する

b.トンネル掘削時に周辺地山が変位した場合、地下埋設物に影響を与える

- 地質調査結果を踏まえた変位解析を行い、施工に伴う変位を把握する
- 必要に応じ、地下埋設物を移設・防護する

e.地盤改良の際には、道路占用が生じるが、その後は、地上での作業が少ないため、道路交通への影響が小さい



c.高い地下水位に対する止水対策が不十分な場合、トンネル坑内に地下水が流入する

- 遮水壁により、地下水の流入リスクを排除する

d.雨水幹線や障害物の影響により未改良部ができた場合、トンネル掘削時にトンネルの上部が緩みトンネルが変形し、水や土砂が流入する

- 遮水壁により、地下水の流入リスクを排除する
- 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し、確実性を増す

# (3) 再掘削工法

平成29年11月7日  
記者会見時配布資料

## 3) 特殊シールド（施工ステップ）

大断面部については、西行線と東行線の軌道線形が接近する区間であるため、通常のシールド工法では、先行して設置されたシールドセグメントが後行で設置するシールドセグメントに干渉し、対応できない。

この課題を解決するために、設置済みのシールドセグメントを切削しながら施工できる特殊シールドについて、施工及びリスクとその対策を整理した。

地盤改良・水抜き

隔壁・坑内充填

トンネル支保工撤去

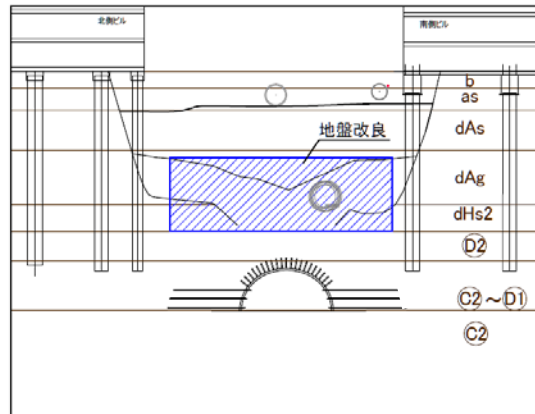
パイプルーフ

先行シールド掘進工

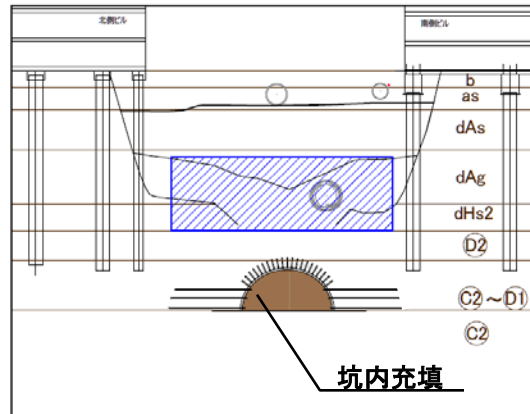
後行シールド掘進工

切掘げ・接続

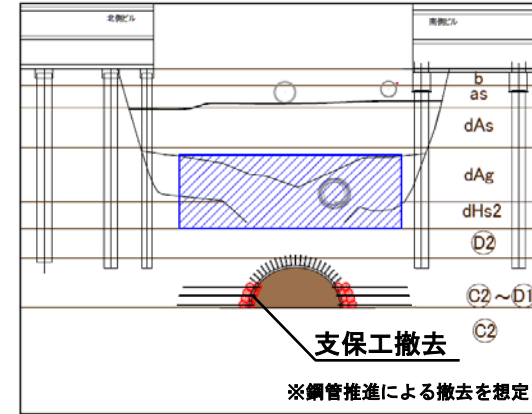
ステップ1（地盤改良・水抜き）



ステップ2（隔壁・坑内充填）

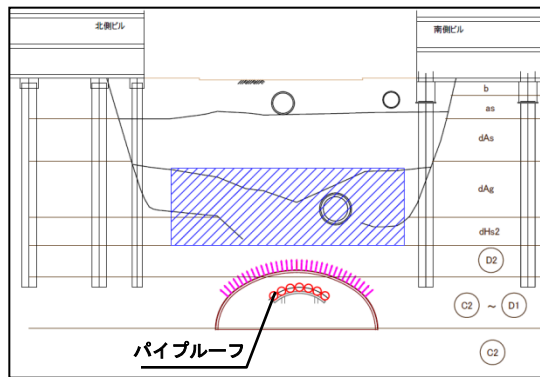


ステップ3（支障するトンネル支保工撤去）

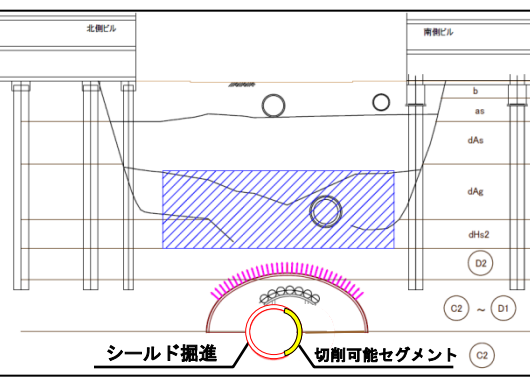


※ステップ図はイメージを示したものである

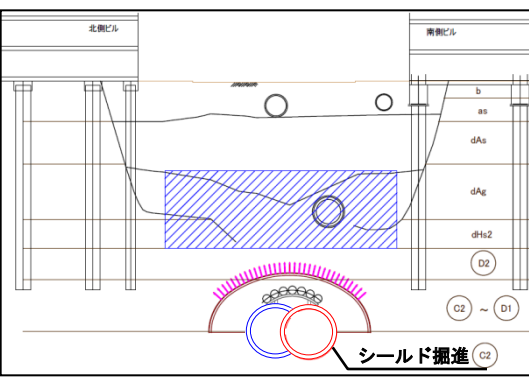
ステップ4（切掘げ用パイプルーフ）



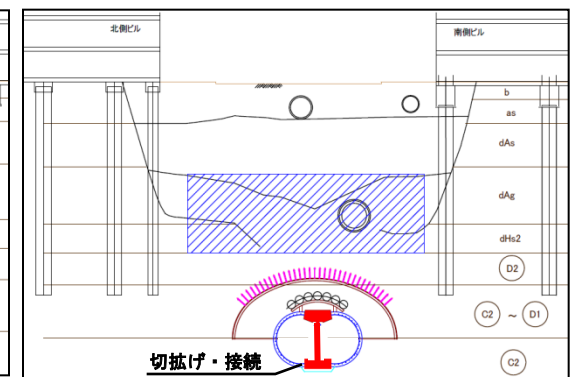
ステップ5（先行シールド掘進工）



ステップ6（後行シールド掘進工）

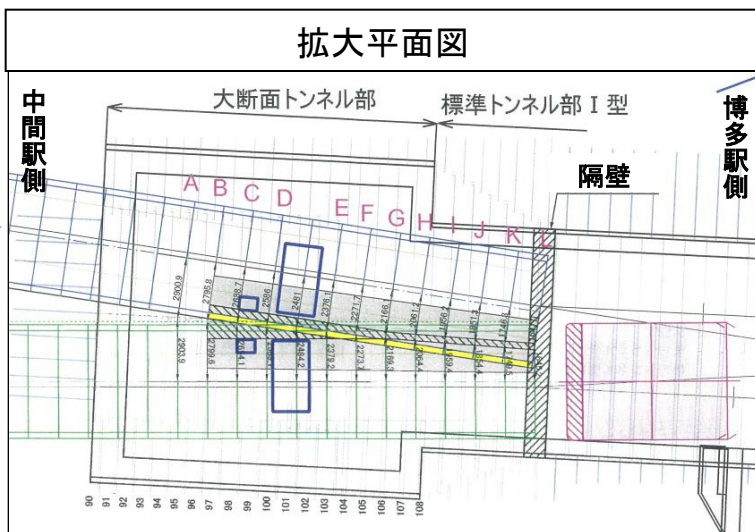


ステップ7（切掘げ・接続）

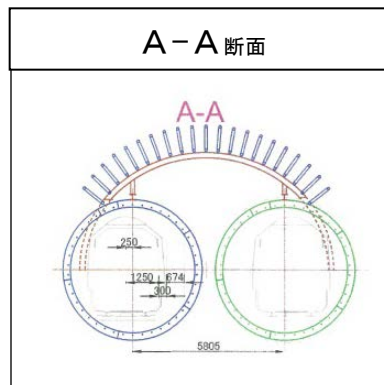


上図のステップ1～3は陥没した103基の断面，ステップ4～6は切掘げ支保工との位置関係が分かるよう，より博多駅側の断面を示す

拡大平面図

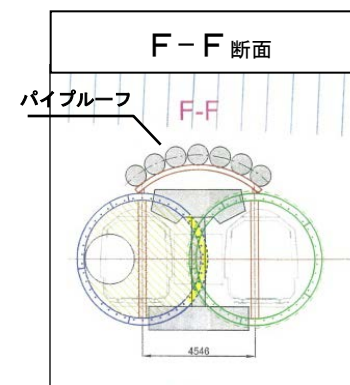


A-A 断面



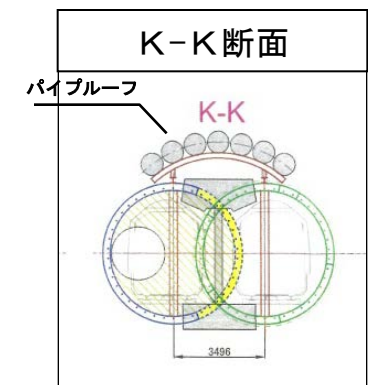
※二つのシールドトンネルが離れており、干渉せずに円形トンネルの築造ができる。

F-F 断面



※二つのシールドトンネルが干渉することから、円形トンネルを削りながら、掘削することになる。

K-K 断面



※二つのシールドトンネルが干渉することから、円形トンネルを削りながら、掘削することになる。

# (3) 再掘削工法

## 3) 特殊シールド (リスクとその対策)

平成29年11月7日  
記者会見時配布資料

凡例				
小 ←		大 →		
リスク	リスク	リスク	対応策	市民生活への影響

発生した場合の損害の大きさではなく、対応策を実施することによって、リスク発生の確率を大幅に下げることができるか、あるいは発生した場合の損害自体を軽微なものにできるかといった視点でリスクの大きさを評価した。

a.トンネル掘削時に周辺地山が変位した場合、周辺建物に影響を与える

- 地質調査結果を踏まえた変位解析を行い、施工に伴う変位を把握する
- 有害な変位とならないような、掘削時の変位を抑える補助工法を追加する

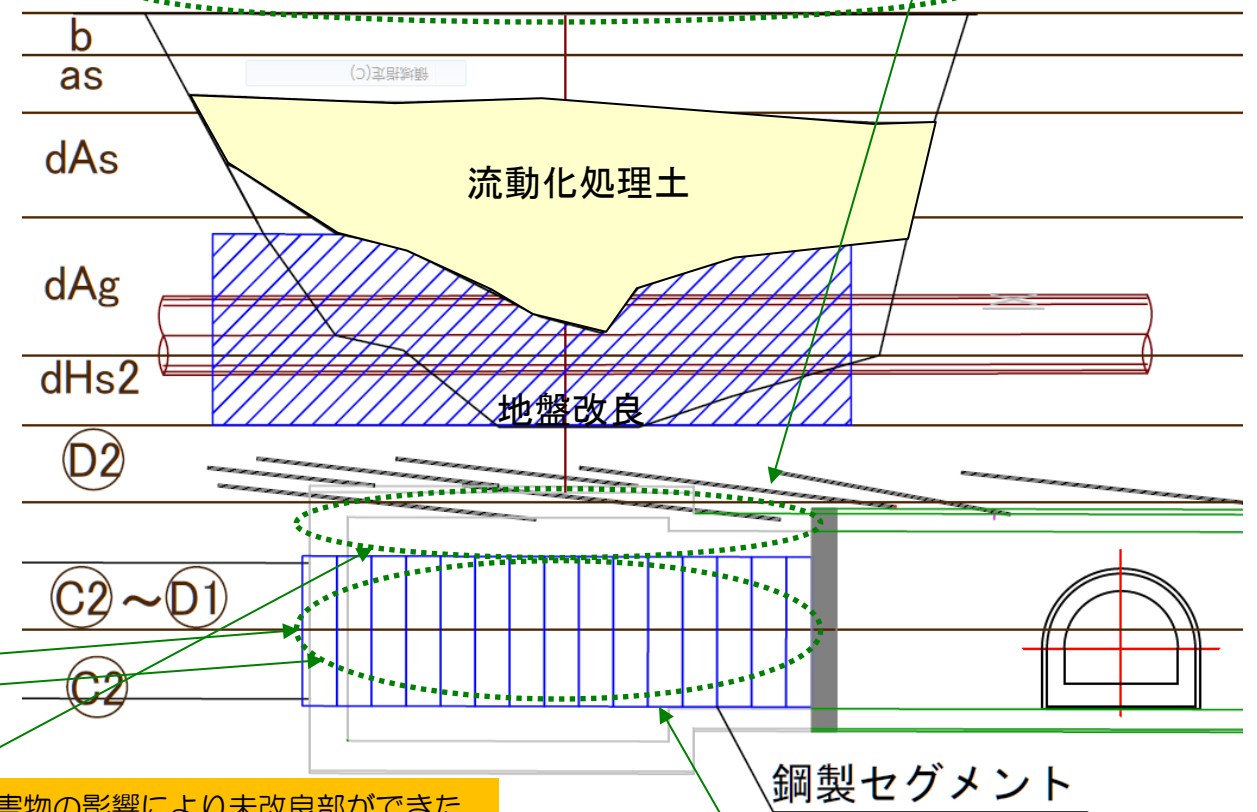
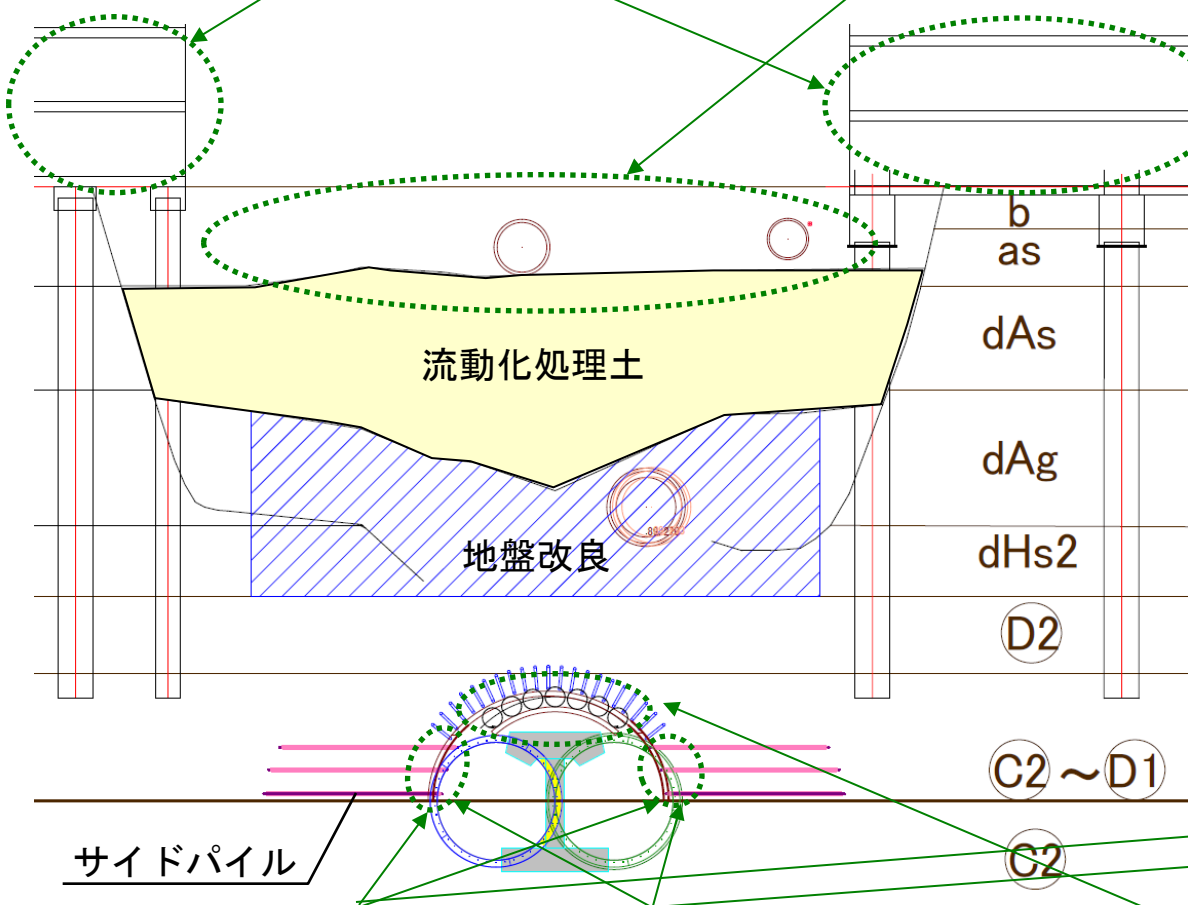
b.トンネル掘削時に周辺地山が変位した場合、地下埋設物に影響を与える

- 地質調査結果を踏まえた変位解析を行い、施工に伴う変位を把握する
- 必要に応じ、地下埋設物を移設・防護する

c.高い地下水位に対する止水対策が不十分な場合、シールド掘進時にトンネル坑内に地下水が流入する

- 密閉タイプのシールド工法を採用することで、リスクの低減を図る
- 隔壁設置後、トンネル坑内を充填しリスクの低減を図る

g.地盤改良の際には、道路占用が生じるが、その後は、地上での作業が少ないため、道路交通への影響が小さい



d.トンネル上部の荷重を支えるトンネル支保工の切断によりトンネルが変形した場合、水や土砂が流入する

- FEM解析により施工に伴う変位を把握する
- 事前の坑内充填を確実に実施することで影響を抑制する

e. 支保工撤去のための刃口（鋼管）推進工施工において、鋼管引抜時に地山が緩んだ場合、トンネルの変形や連鎖的な湧水が発生する

f. 雨水幹線や障害物の影響により未改良部ができた場合、シールド切開きのためのパイプルーフ施工時にトンネル上部の地盤が緩みトンネルが変形し、水や土砂が流入する

- 遮水壁により、地下水の流入リスクを排除する
- 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し、確実性を増す

g.シールド掘進範囲に障害物があった場合、シールド掘進を一旦止め、人力撤去等が生じる

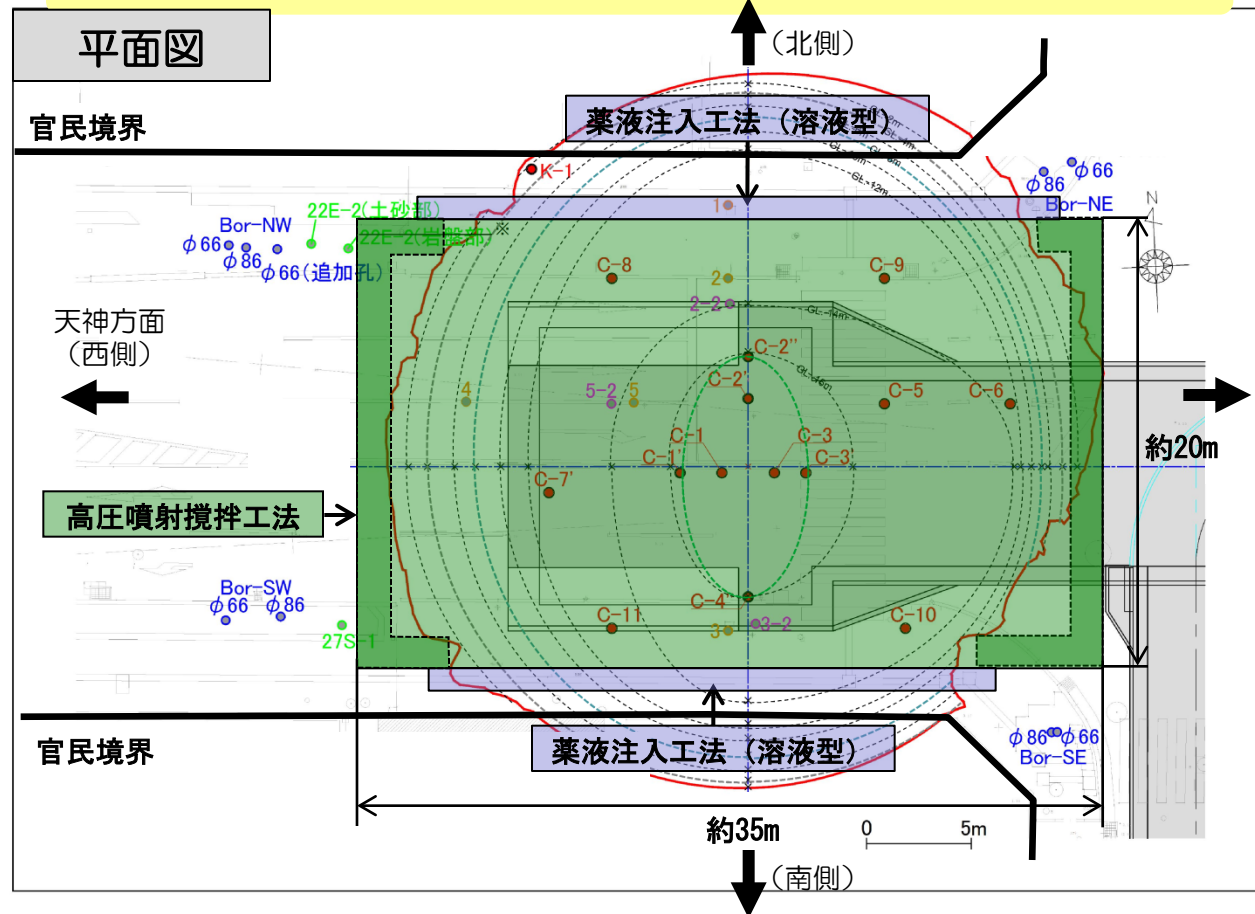
- シールド掘進を止め、人力により障害物を撤去する必要がある



# (4) 地盤改良

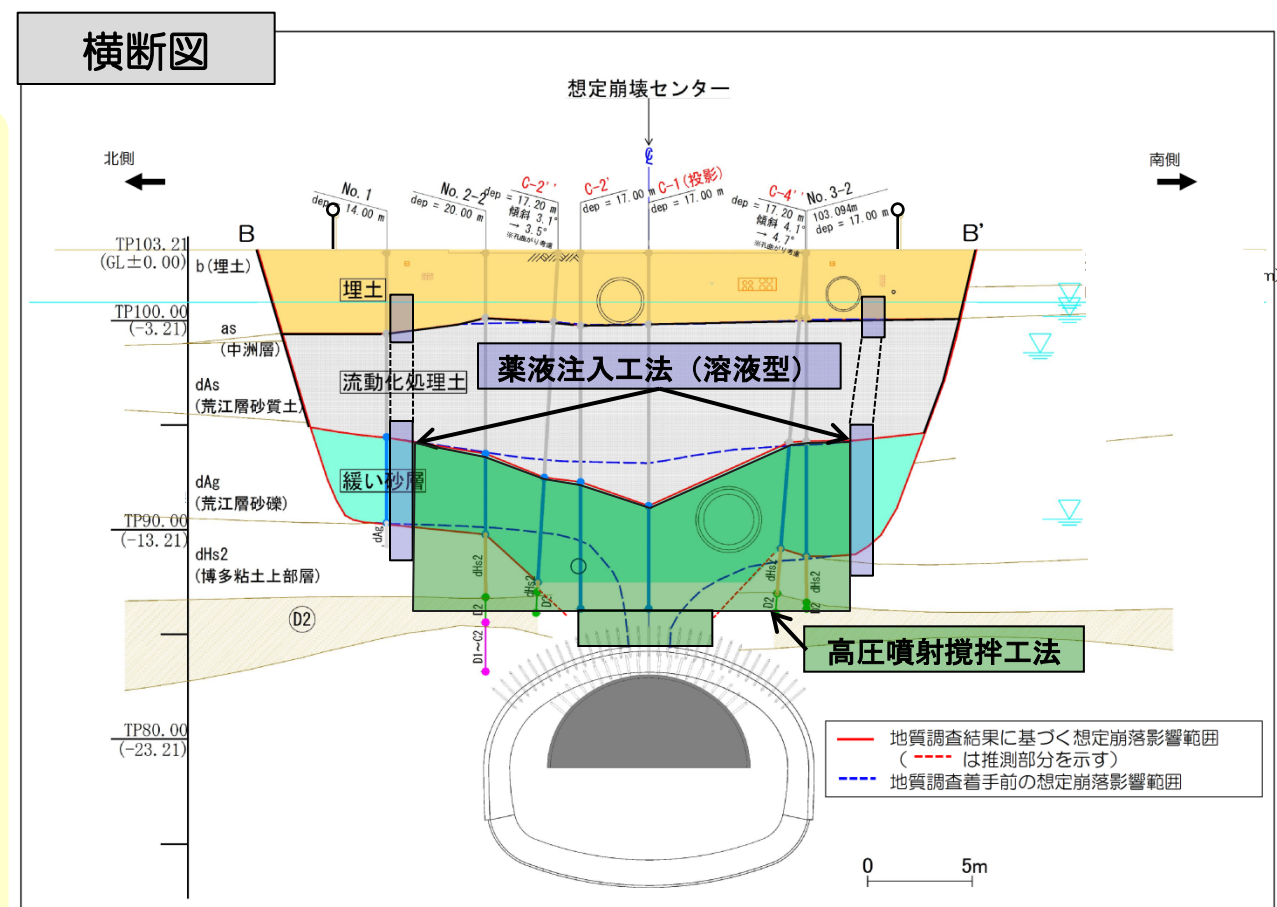
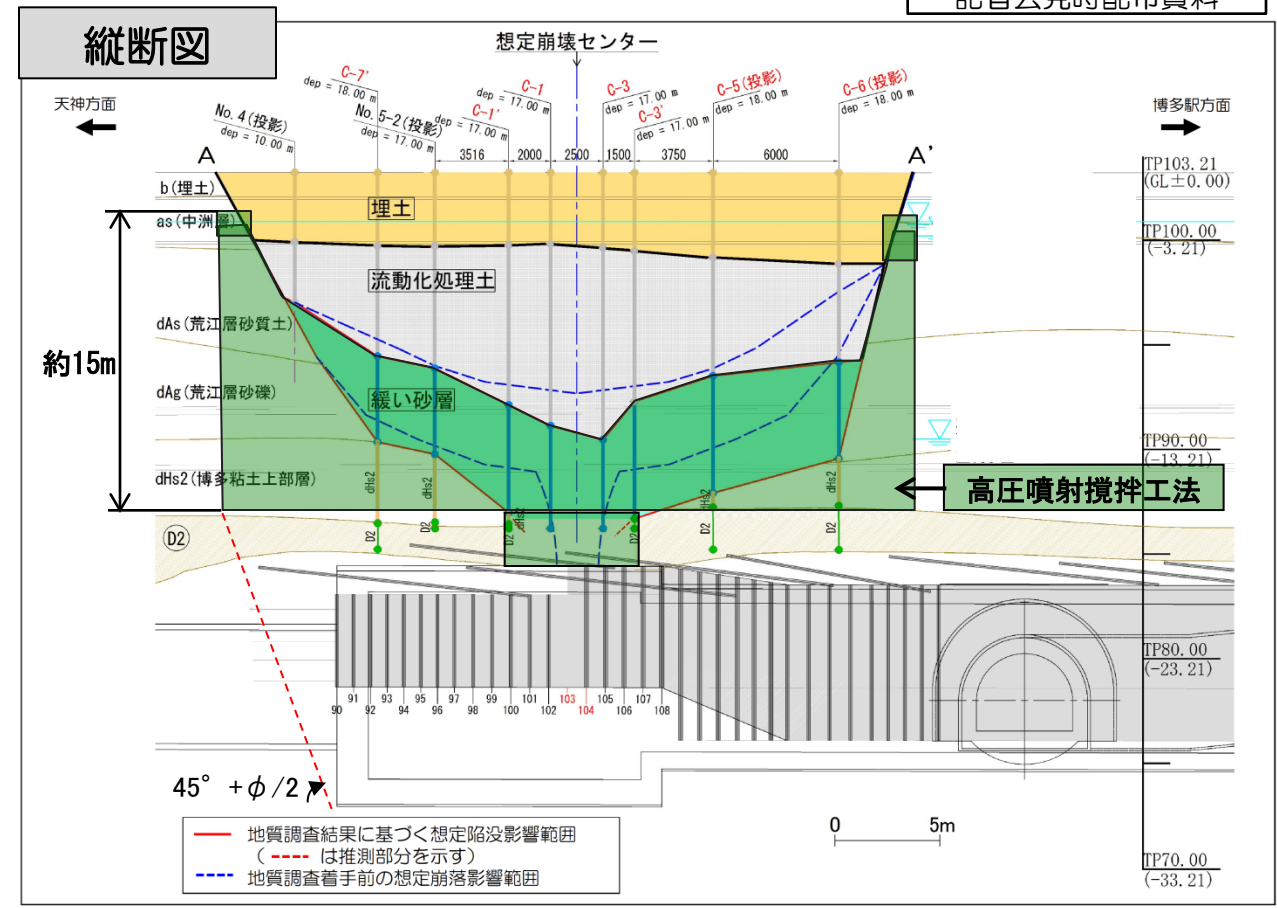
## 1) 大断面トンネル部 (地盤改良工)

地盤改良工法及び範囲は下記のとおり決定した。



- 【施工方針】
- ①土砂層 (as、dAs、dAg、dHs2) を対象に、**高圧噴射攪拌工法**による地盤改良を実施する。
  - ②東西外周部は、地下水の浸入を防ぐため、**地下水位**以浅 (GL.-3.0m) まで**高圧噴射攪拌工法**による地盤改良を実施する。
  - ③南北外周部の地盤改良は、緩い砂層に対する地盤改良の不確実性に伴う**リスク低減**のため、官民境界近傍に**止水目的の薬液注入**を実施する。この改良は流動化処理土下端までとする。また、地下水位低下の際に必要な埋土付近の改良も実施する。
  - ④西側方向の地盤改良範囲は、トンネル下端から  $(45^\circ + \phi/2)$  で引いた掘削影響範囲を**包含する範囲**とする。
  - ⑤異物が混在する緩い砂層での地盤改良の不確実性に伴う**リスクを低減**するため、以下を実施し、確実な改良体の形成を目指す。
    - (I) 効果確認ボーリングの実施
    - (II) 効果確認ボーリングの結果、未改良部が確認された場合、補足注入 (薬液注入) を実施
  - ⑥地盤改良体の下端は、地盤と一体化させるため岩着させる。

平成29年11月7日  
記者会見時配布資料



## 2) 大断面トンネル部 (その他の補助工法)

地盤改良とあわせて下記の補助工法を実施する。

### ① 坑内充填工 (水抜き前に実施)

#### <概要>

- 地上から削孔して、大断面トンネル天端部の空隙に改良材を充填し、坑内堆積土砂を地盤改良することで、トンネル内の安定性を向上させる。

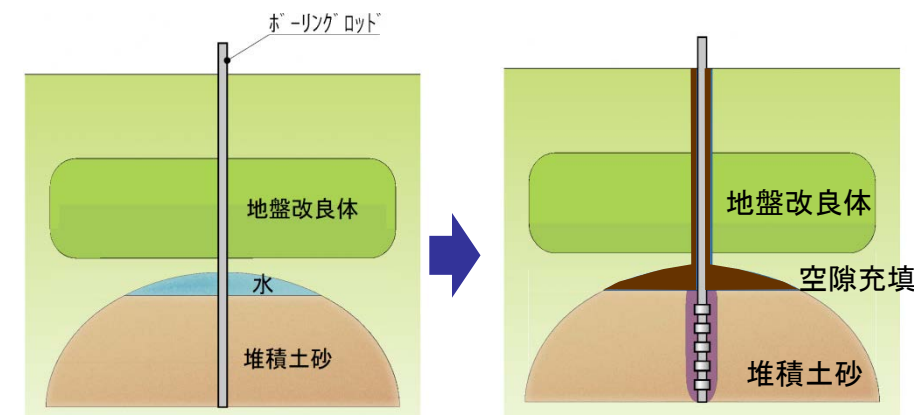
#### <メリット>

- 水抜きに伴うトンネル内土砂の流動化リスクを低下させる。
- 土砂撤去時の坑内作業の安定性を向上させる。

#### <デメリット>

- 削孔時にトンネル支保工や長尺先受工を破損させるリスクがあるため、削孔速度を抑えるなど、慎重な作業を行う。
- 削孔時に水みちが形成され、トンネル坑内へ土砂層の地下水が流入するリスクがあるため土砂層の地盤改良及び埋土層の水抜き後に実施する。

崩落中心付近横断面



坑内充填イメージ図

### ② 地下水位低下工

#### <概要>

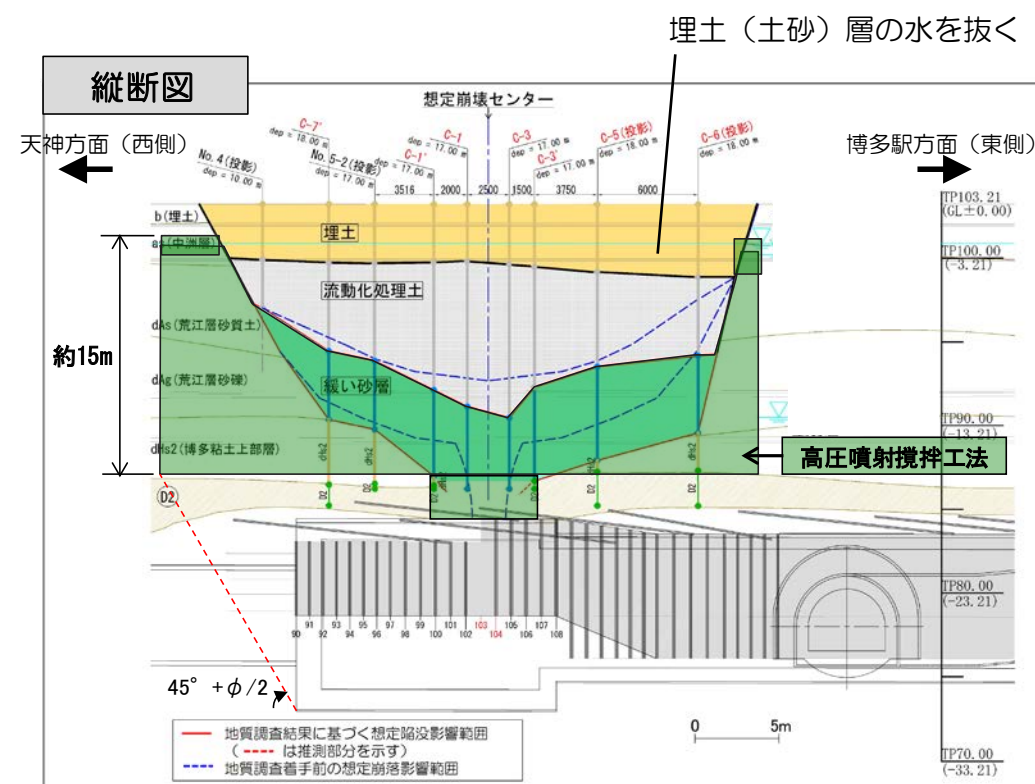
- 地下水位以下の埋土層を対象とした地下水位低下工を実施する。

#### <メリット>

- 埋土層からトンネル上部に作用する水圧を低下させる効果が期待できる。
- 地下水および土砂が坑内に流入するリスクを低減できる。

#### <デメリット>

- 側部の地盤改良体の止水性が不十分な場合、周辺土砂層の地下水位を低下させるリスクがある。



地下水位低下イメージ図



1) リスクと検討コンセプト

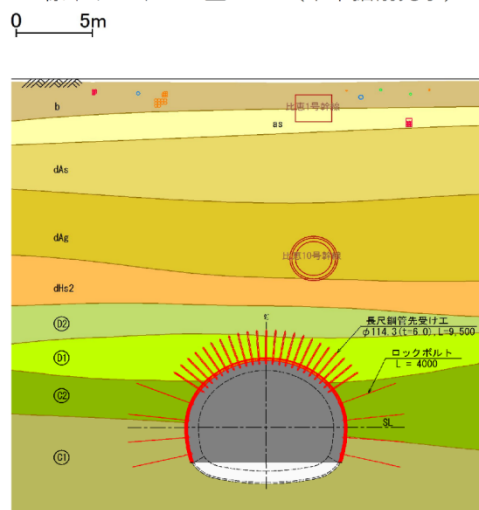
○今回の地質調査で岩被り (D2層) については、2.6~6.5m程度確保していることが確認できているが、一方でD2層の不均質性も確認されている。

○標準Ⅱ~3連トンネル部に炭質頁岩 (Dh) が連続的に分布することが判明した。

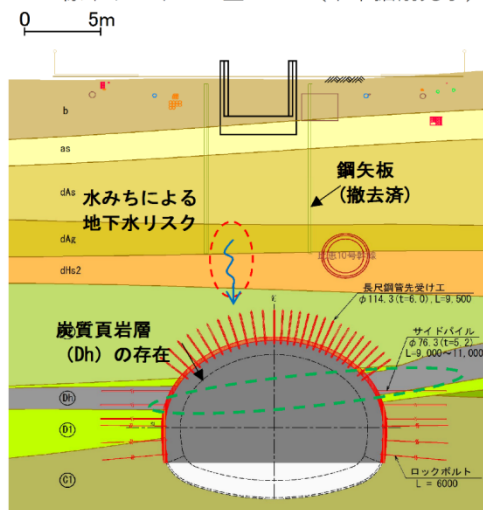
-凡例-

- : 未掘削箇所
- : 掘削済箇所
- : 構築済箇所

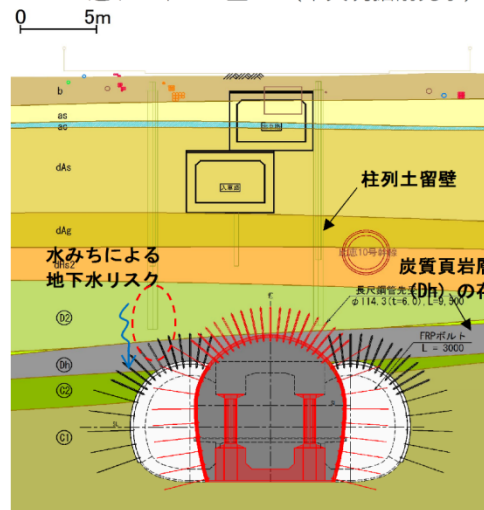
標準トンネルⅠ型 B-B (下半掘削完了)



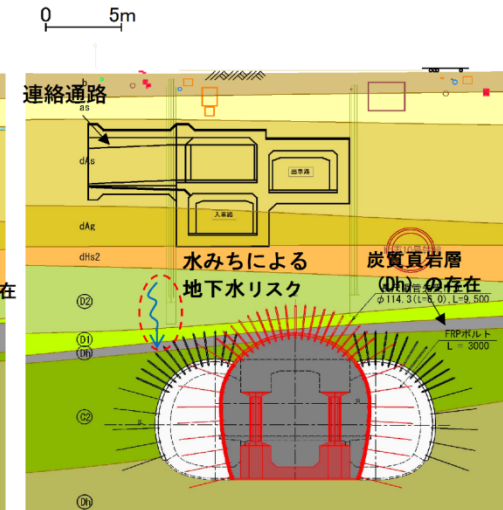
標準トンネルⅡ型 D-D (下半掘削完了)



3連トンネルⅠ型I-I2 (中央坑掘削完了)



3連トンネルⅡ型 I3-I3 (中央坑掘削完了)

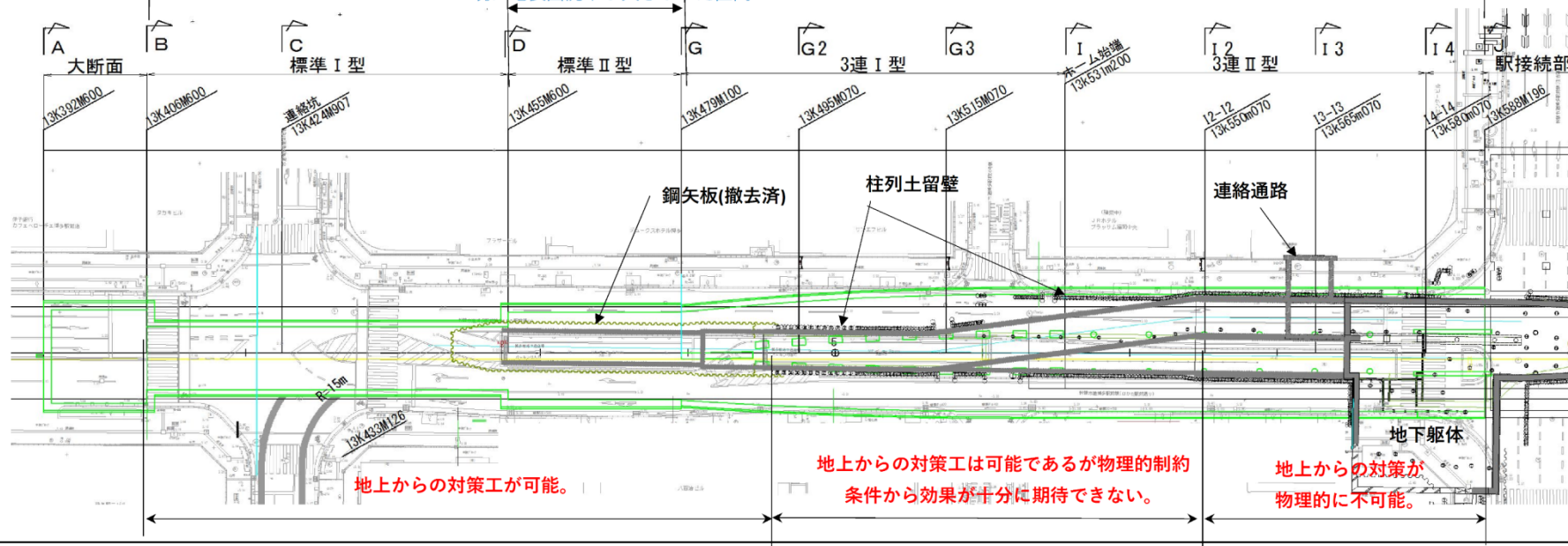


D2層の不均質性や強度不足に起因する地下水リスクやトンネルの力学的不安定化リスク

炭質頁岩層の強度不足に起因する地下水リスクやトンネルの力学的不安定化リスク

地下車路の柱列土留壁余堀り部や鋼矢板引き抜き跡に起因するリスク

既に地表面沈下が大きかった区間





2) リスク対策（案）

リスク要因：【残留水圧、水頭差】

<p>【リスク1】 支保工の背面に水圧が残ることにより、吹付けコンクリート、鋼製支保工が破壊</p>	<p>【リスク2】 周辺岩盤が水抜き時の残留水圧により、坑内に押し出され破壊</p>	<p>【リスク3】 坑内外の大きな水圧差でトンネル変形し、D2層、トンネル周辺地山の破壊</p>
<p>【リスク対応方針】</p> <p>① トンネル坑内とトンネル周辺地山に大きな水頭差を生じさせない。</p> <p>② トンネル坑内とトンネル周辺地山に大きな水頭差が生じていないことを確認。</p> <p>【リスク対策】</p> <p>①-1 ゆっくりと坑内水位を低下させる。 →トンネル掘削時の岩盤部間隙水圧低下速度（17.5m/50日）と同等以下とする。</p> <p>①-2 開削部に地下水を排水する井戸を設ける：岩盤部透水帯（GL-29m付近、砂岩） →開削部の路下杭削孔に伴う湧水と立坑水位が連動しており、岩盤水圧を広域に低下させられる可能性がある。</p> <p>②-1 岩盤部とトンネル坑内の水頭を監視する。 →岩盤部とトンネル坑内に大きな水頭差が生じていないことを確認しながら排水する。</p>		

リスク要因：【浸透破壊】

リスク要因：【坑内負圧】

<p>【リスク4】 水圧差によるD2層の浸透破壊</p>	<p>【リスク5】 トンネル内に発生する負圧により、周辺地山 吹付けコンクリート、鋼製支保工が破壊</p>
<p>【リスク対応方針】 浸透破壊していないことを確認しながら水抜きする</p> <p>【リスク対策】</p> <p>① 坑内にカメラを挿入する。 →3連トンネル妻部天端からカメラを挿入してトンネル壁面の状況を確認する。</p> <p>② 地下水挙動、層別沈下、地表面沈下など →各種計測状況から浸透破壊が発生していないことを確認する。</p>	<p>【リスク対応方針】 3連トンネル坑内天端付近に負圧を生じさせない</p> <p>【リスク対策】</p> <p>① エア供給孔を設置する →3連トンネル妻部天端にエア供給孔を設置する。</p>