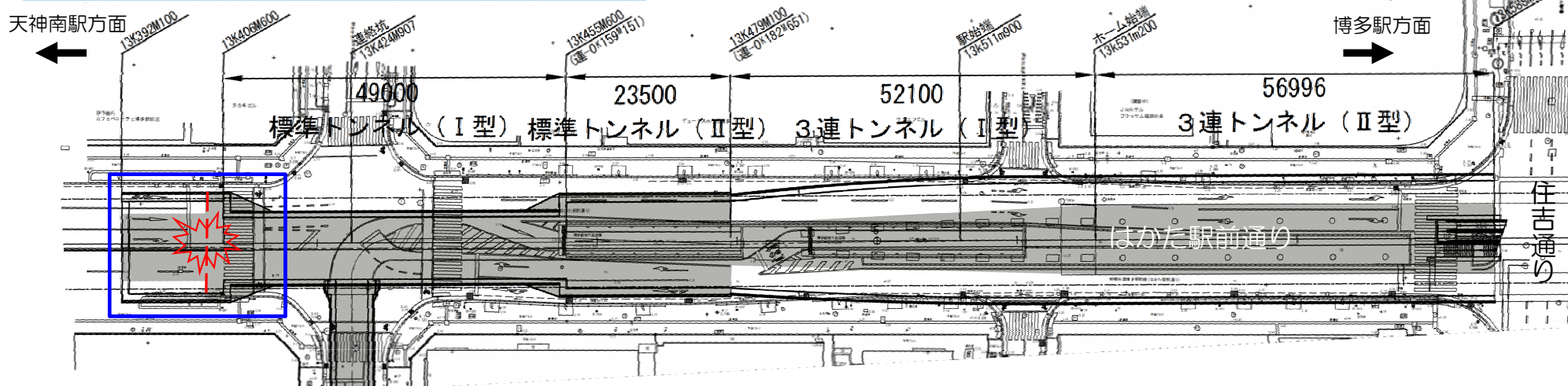


(1) 現在の状況

平成29年10月4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】



第7回福岡市地下鉄七隈線建設技術専門委員会にて報告

第8回福岡市地下鉄七隈線建設技術専門委員会にて報告

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ーリング調査開始
2017年 2月 1日：検討委員会の要請による追加ボーリング調査終了

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

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6200m³）
- ・トンネル坑内は地下水で満たされている。
（立坑水深 約15.2m）
- ・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 (中間報告)

平成29年10月4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。

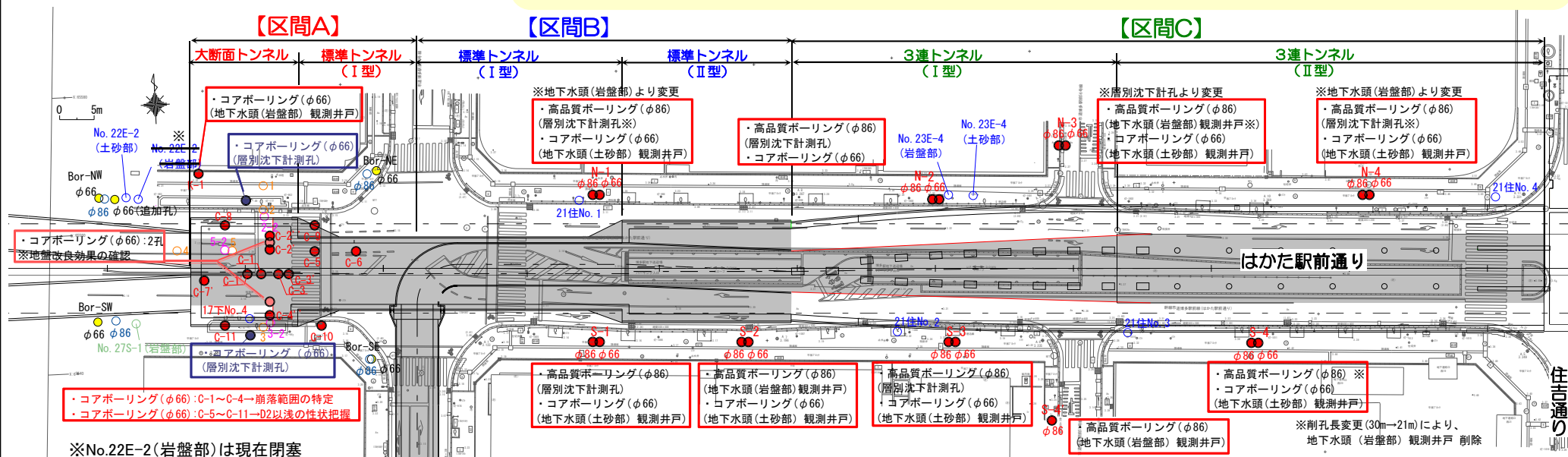
調査目的

- 【区間A】
- ①D2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



※No.22E-2(岩盤部)は現在閉塞

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)	・ 流向流速調査: 11本 ・ 層別沈下計測孔: 2本 ・ 地下水頭 (岩盤部) 観測井戸: 1本
【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: ボアホールテレビ, 低圧ルジオン試験, 孔内水平載荷試験, トモグラフィ探査→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	・ 地下水頭 (岩盤部) 観測井戸: 3本 ・ 層別沈下計測孔: 5本
	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)	・ 地下水位 (土砂部) 観測井戸 【計画】: 8本 → 【変更】: 7本

※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

※【変更】: 前回委員会からの変更

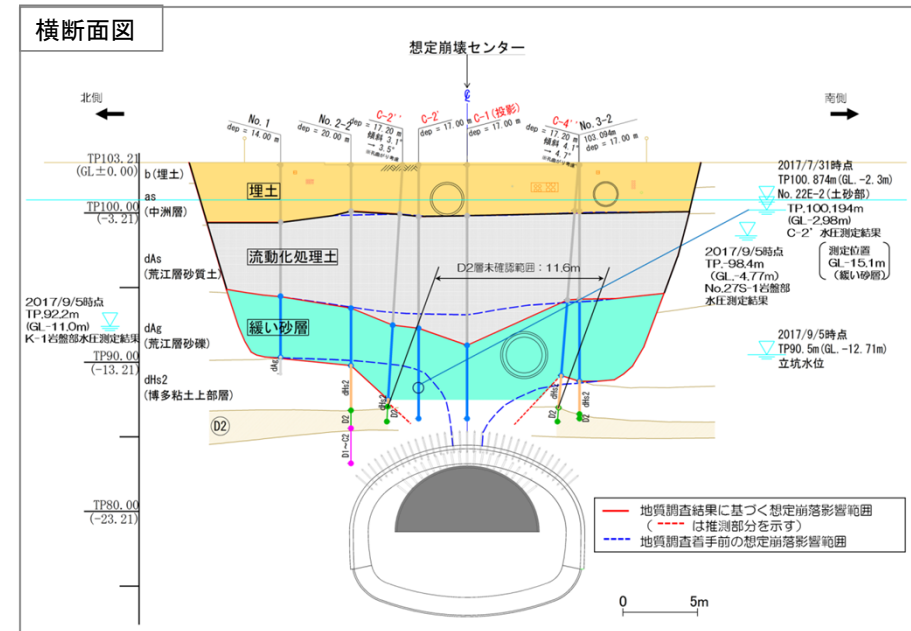
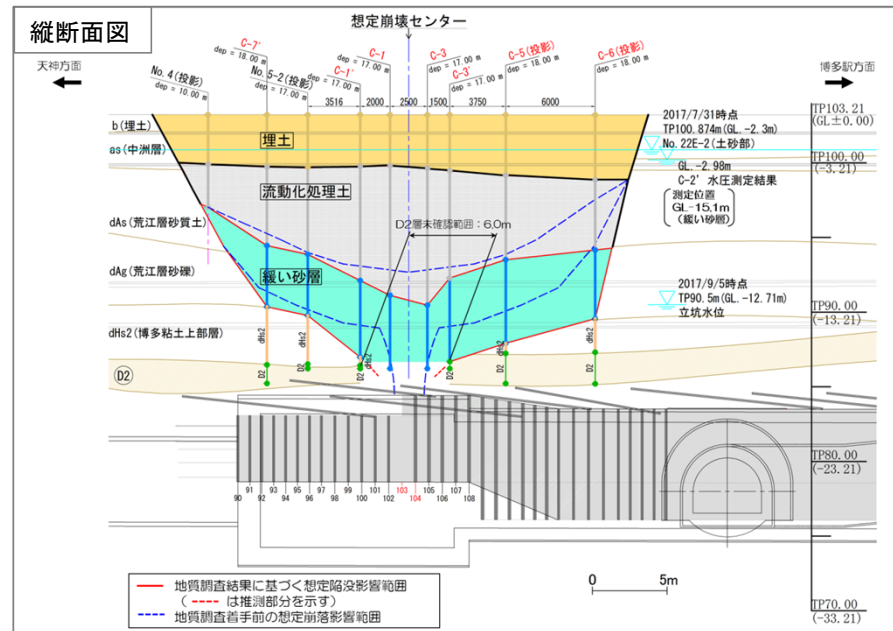
(2) 地質調査 (中間報告)

※地質調査結果が全て揃っていない時点での中間報告であるため、形状や数値は変更となる可能性がある。

平成29年10月4日
記者会見時配布資料

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

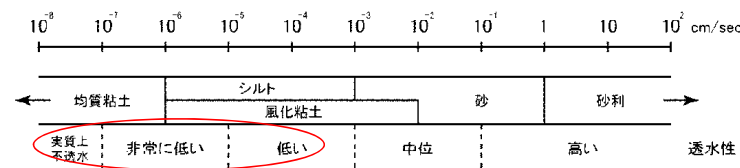
- 変形係数Eは、8~400MN/m²で分布。

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/m² (32,000~1,600,000KN/m²)

②D2層の透水係数のバラツキ

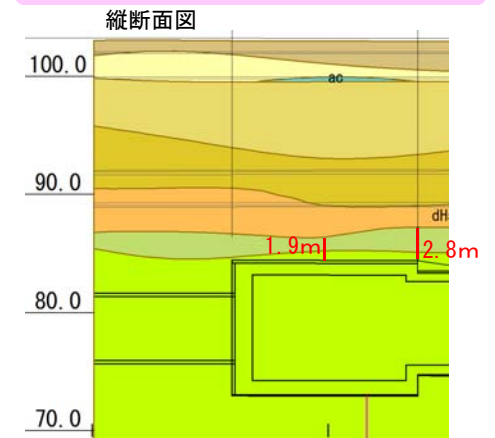
- 透水係数Kは、 $4.63 \times 10^{-8} \sim 4.17 \times 10^{-4}$ cm/sで分布。

※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。

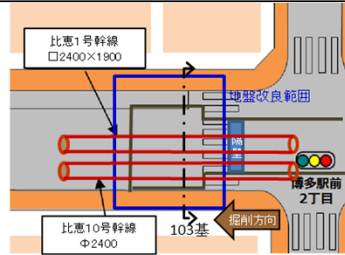
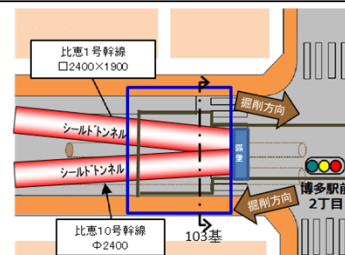
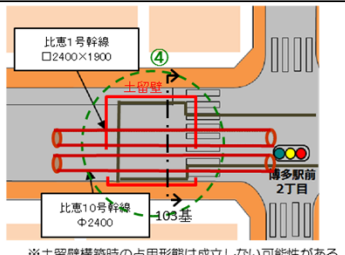
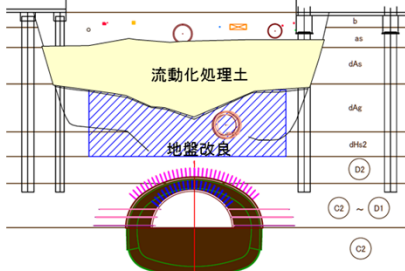
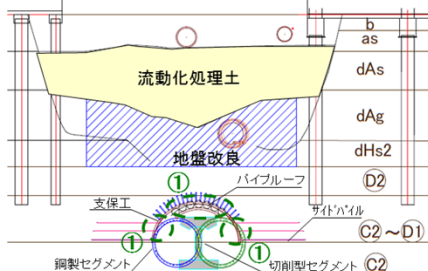
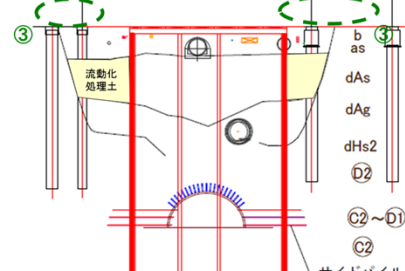
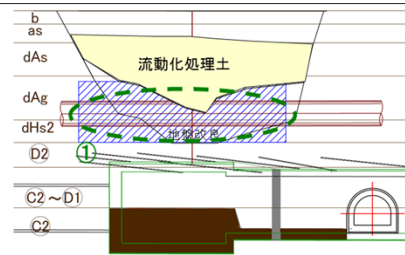
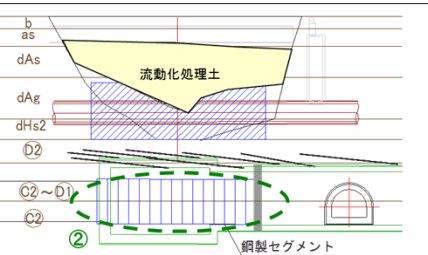
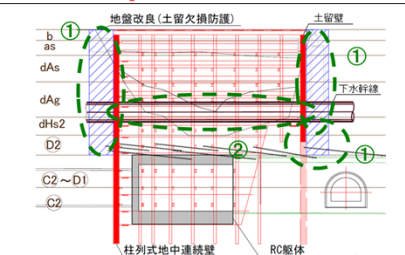


(3) 再掘削工法

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10月4日
記者会見時配布資料

大分類		非開削工法		開削工法
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式に地中を掘り進み、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			
	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工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12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	—	—	② 掘削範囲内に雨水幹線を露出させることで変形や破損等が生じる
	周辺建物に影響を与えるリスク	—	—	③ 土水圧により土留壁が変位し、周辺建物に影響を与える ④ 土留壁構築時に既存支保工等を切断し周辺建物に影響を与える
	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

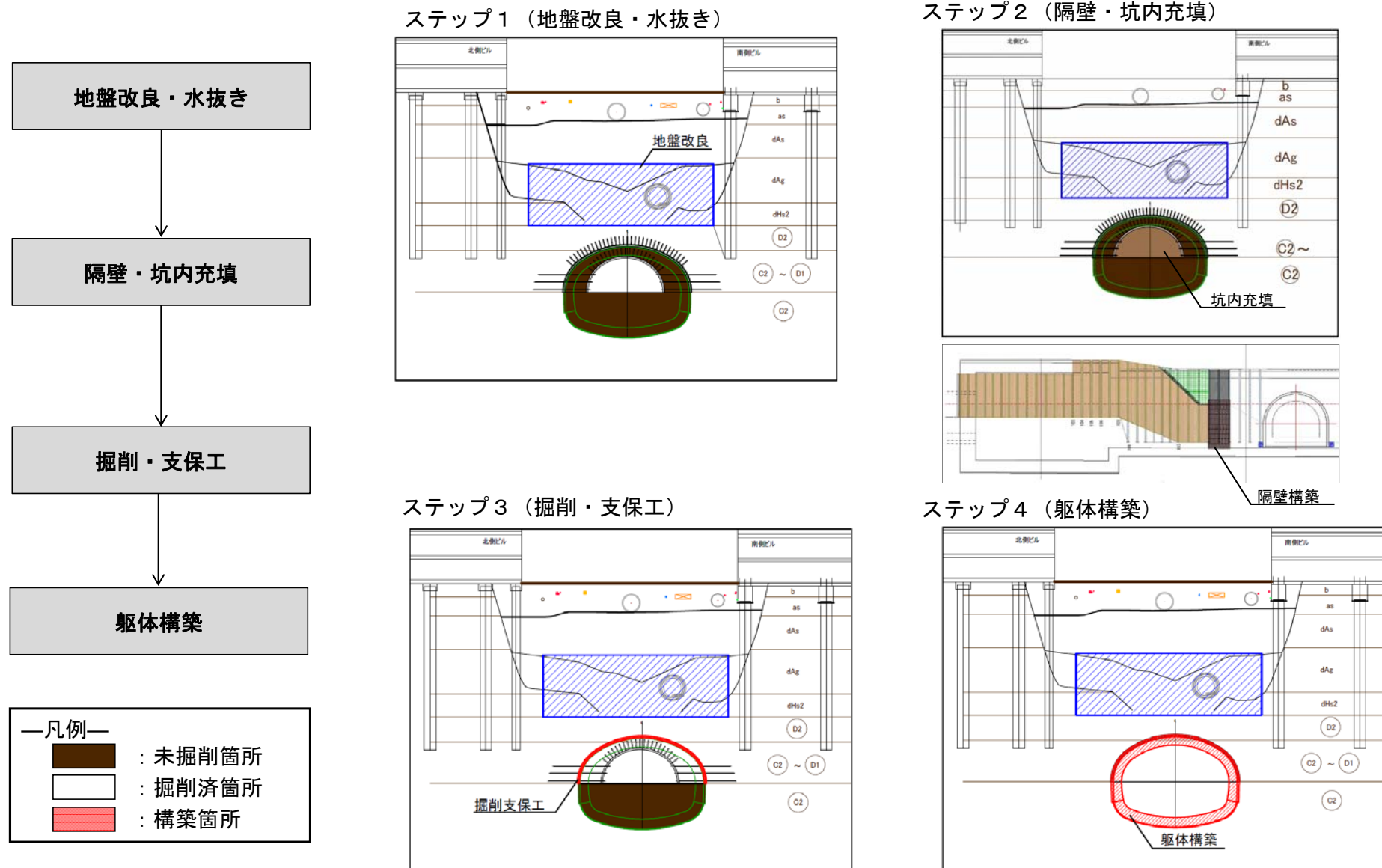
※「—」の項目については、考えられるリスクが少ないことを示す（次項以降参照）

(3) 再掘削工法

平成29年10月4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する。



※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10月4日
記者会見時配布資料

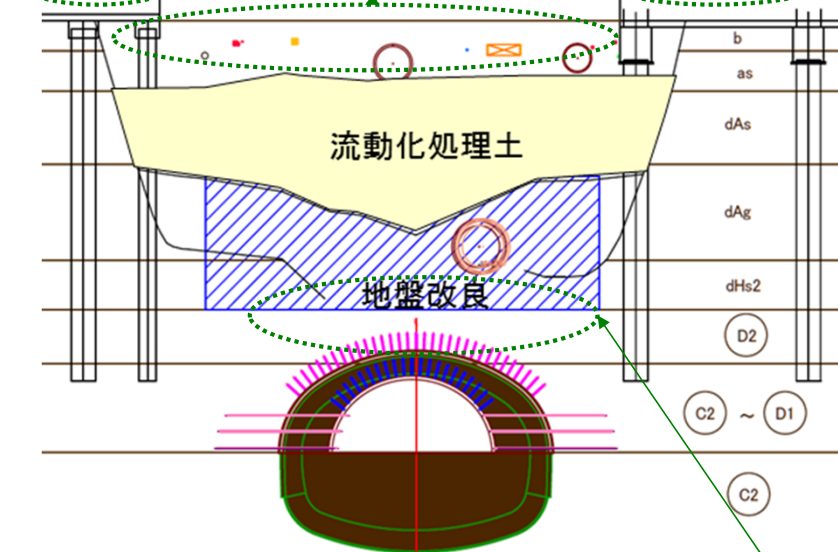
a. トンネル掘削時に周辺地山が変位した場合、
周辺建物に影響を与える

- ・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

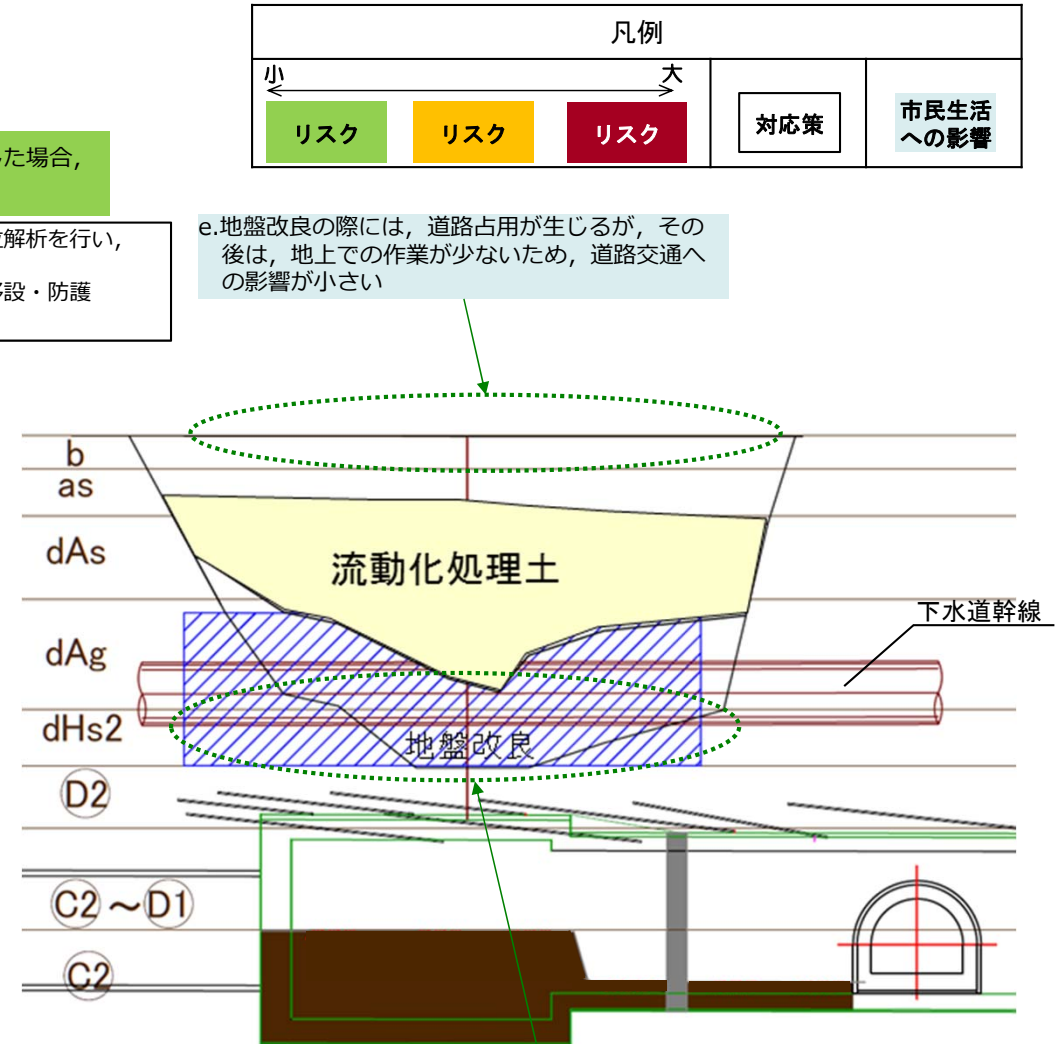


c. 高い地下水位に対する止水対策が不十分な
場合、トンネル坑内に地下水が流入する

- ・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



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

(3) 再掘削工法

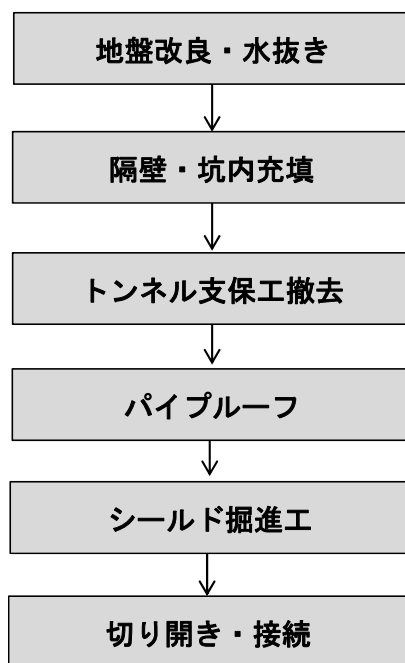
平成29年10月4日
記者会見時配布資料

3) 特殊シールド（施工ステップ）

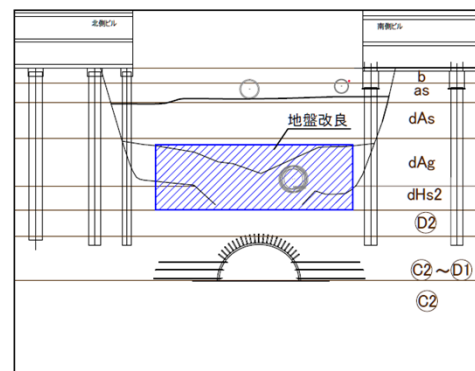
大断面部については、西行線と東行線の軌道線形が接近する区間であるため、通常のシールド工法では、先行して設置されたシールドセグメントが後行で設置するシールドセグメントに干渉し、対応できない。

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する。

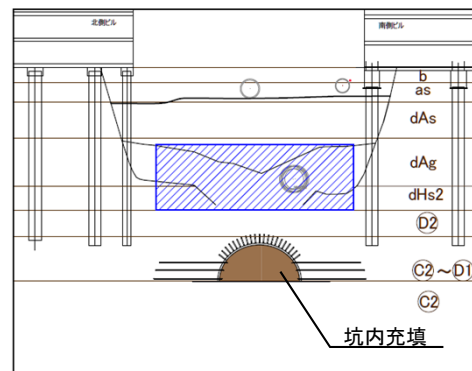
特殊シールド	
工法概要	先行するシールドトンネルの覆工の一部に、シールドのカッタービットで切削が可能なセグメントを組み込み、後行シールド機で直接切削して2本のシールドトンネルを非開削で連結し、地中での接合を可能とする工法。
メリット	2本のシールドトンネルを非開削にて連結させ、最終構造形として扁平断面の地下空間を構築することが可能
デメリット	・既存のセグメントを切削した箇所が弱部となる可能性がある
本現場への適応性	既存先進導坑の支保工をシールド掘削に先行して撤去する必要がある セグメントを直角に切削した施工実績はあるが、ほぼ平行に近い位置関係で切削した施工実績は無いため、試験等を行い適応性を確認する必要がある



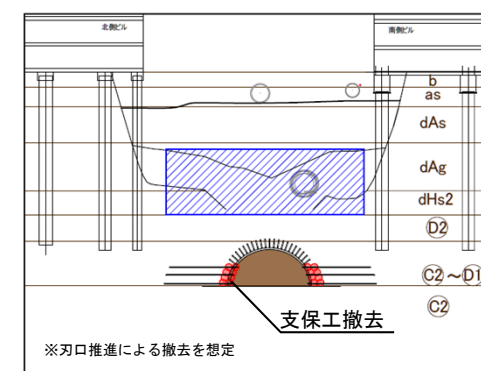
ステップ1（地盤改良・水抜き）



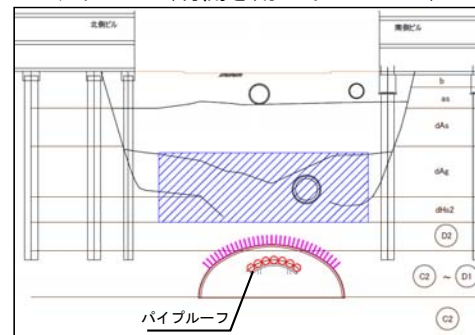
ステップ2（隔壁・坑内充填）



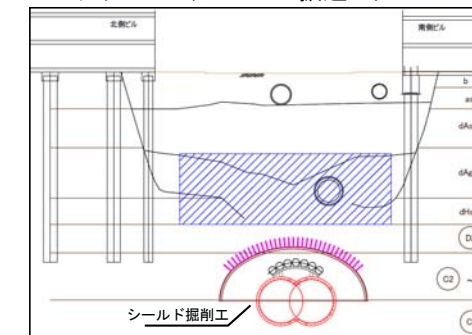
ステップ3（支障するトンネル支保工撤去）



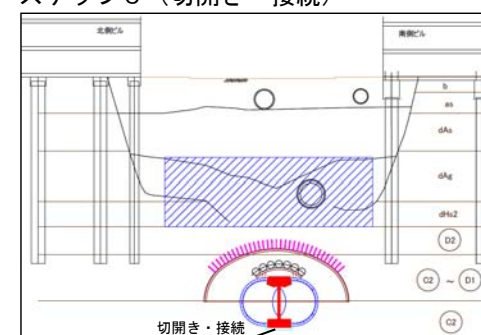
ステップ4（切開き用パイプルーフ）



ステップ5（シールド掘進工）



ステップ6（切開き・接続）



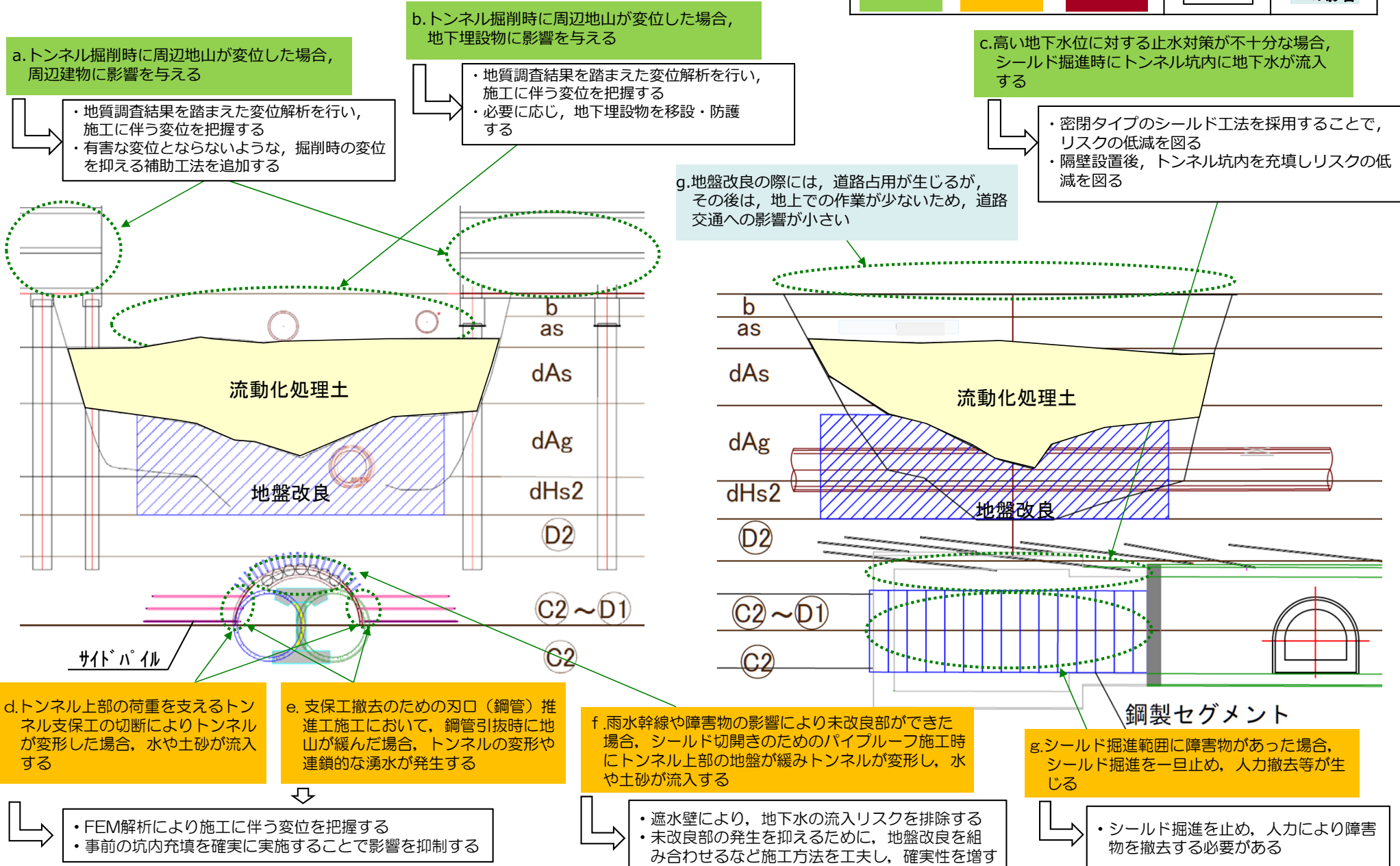
※上図はイメージを示したものであり、今後詳細に検討していく

(3) 再掘削工法

平成29年10月4日
記者会見時配布資料

3) 特殊シールド（リスクとその対策）

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

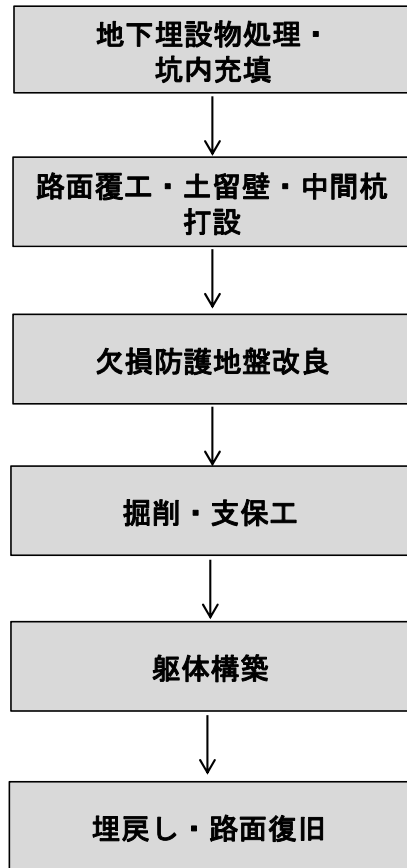


(3) 再掘削工法

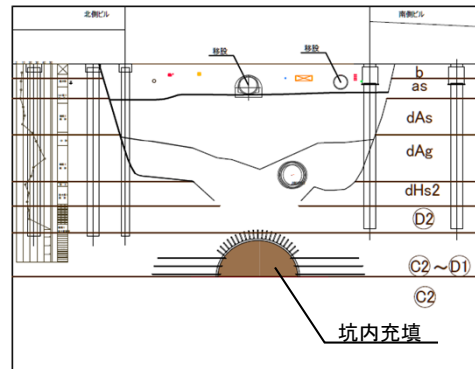
平成29年10月4日
記者会見時配布資料

4) 開削工法（施工ステップ）

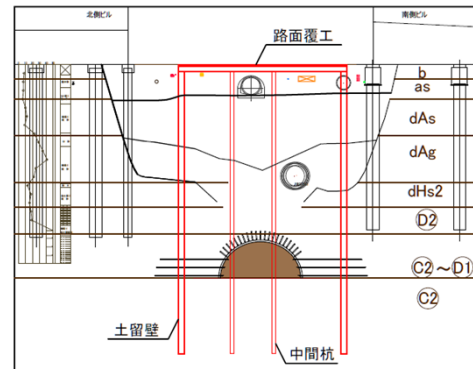
地表面から直接掘り下げて構造物を造り、埋戻して復旧する開削工法について、施工及びリスクとその対策を整理する。



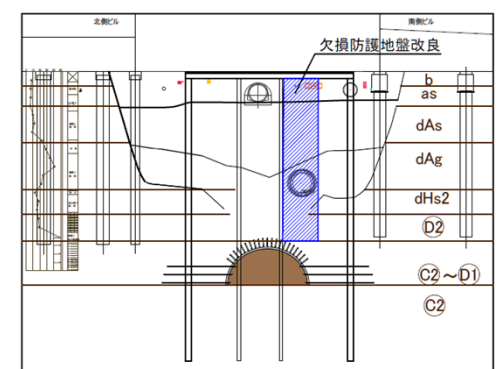
ステップ1
(地下埋設物処理・坑内充填)



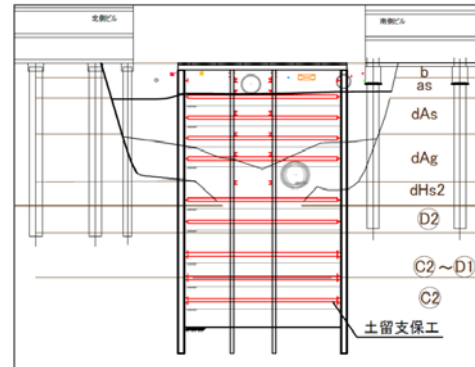
ステップ2
(路面覆工・土留壁・中間杭打設)



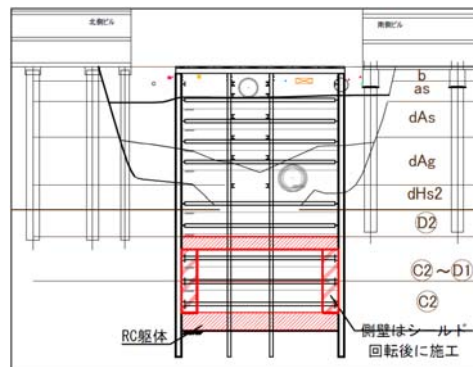
ステップ3 (欠損防護地盤改良)



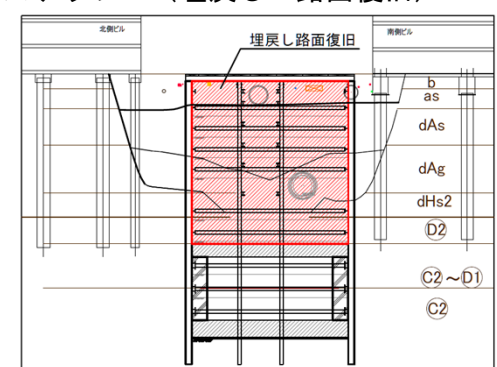
ステップ4 (掘削・支保工)



ステップ5 (躯体構築)



ステップ6 (埋戻し・路面復旧)



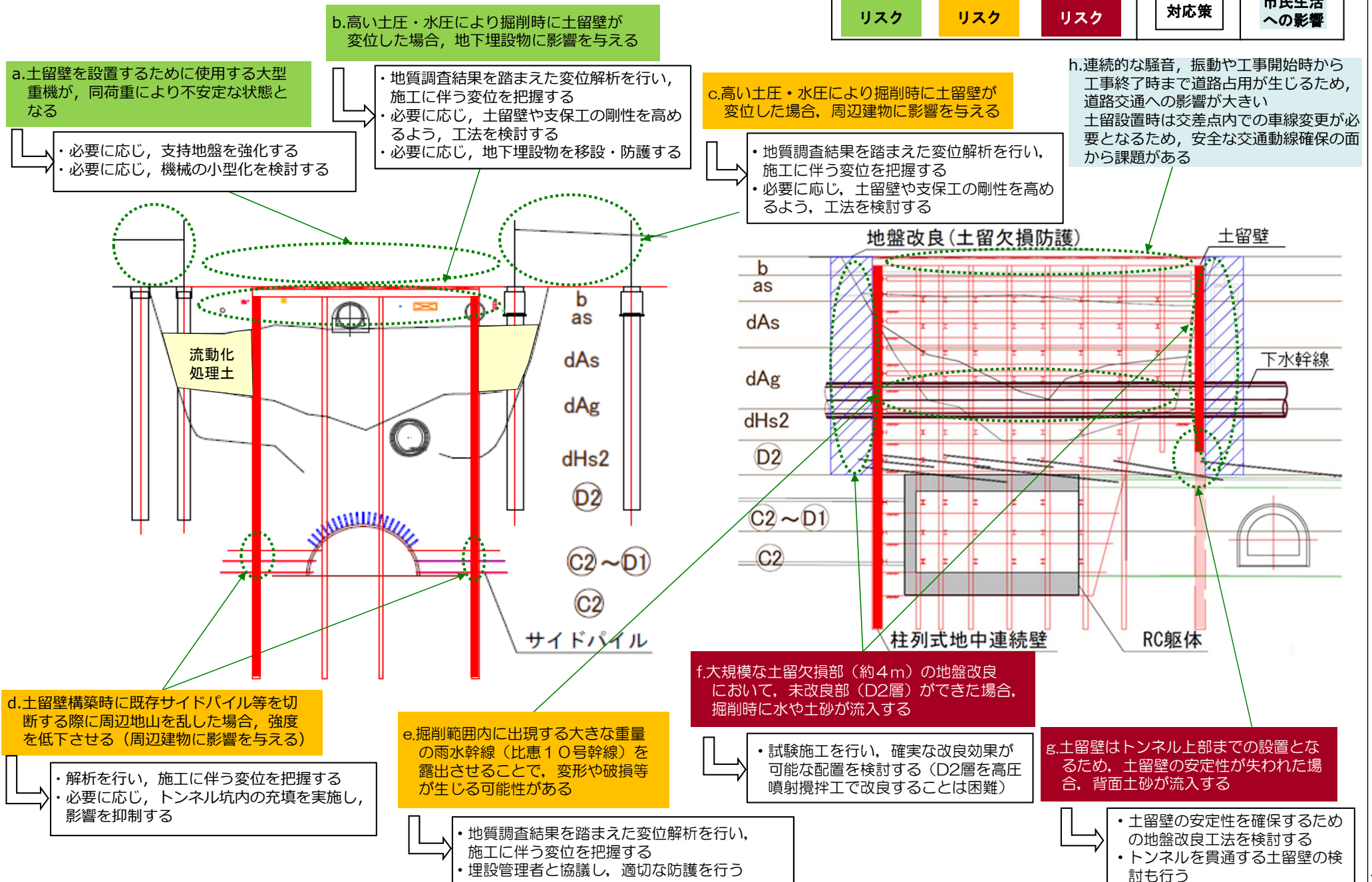
※上図はイメージを示したものであり、今後詳細に検討していく

(3) 再掘削工法

4) 開削工法（リスクとその対策）

平成29年10月4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

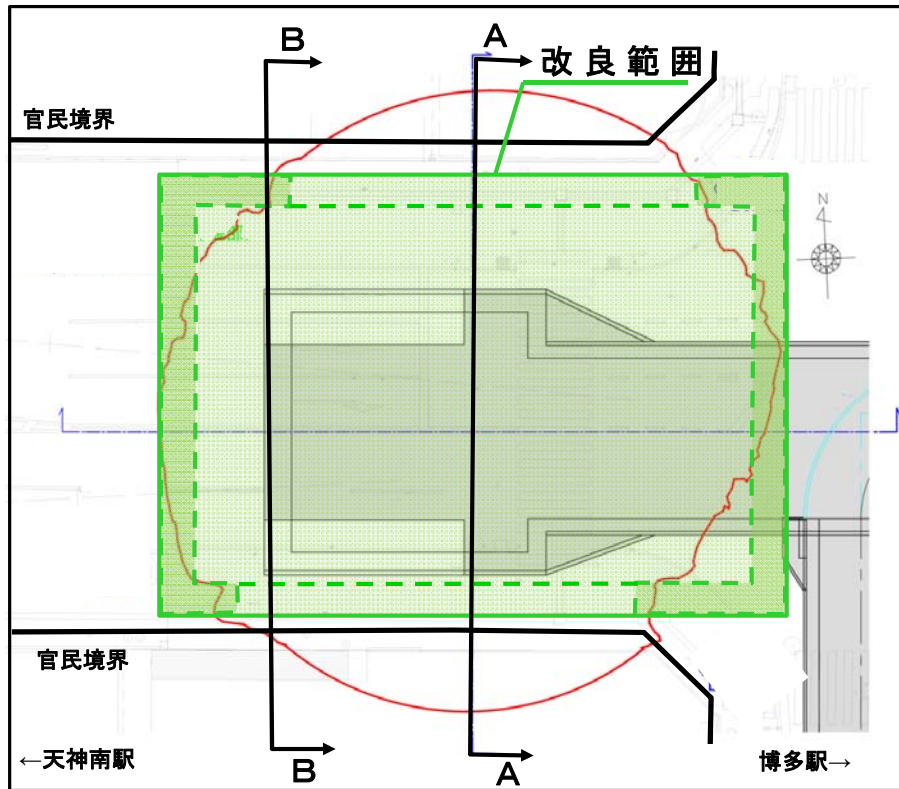


(4) 地盤改良

1) 大断面トンネル部（地盤改良範囲）

地盤改良範囲案は下記のとおり。

平面図



上記の範囲に地盤改良を実施した場合の解析を実施予定

主に止水を目的とした改良範囲については、強度向上を評価せずに解析を行う。
 なお、適用する地盤改良工法については、室内試験及び原位置試験により必要な強度・止水性を確認する。
 また、主に強度向上を目的とした改良範囲において十分な止水性が確認された場合、側部の止水を目的とした改良は不要となる可能性がある。

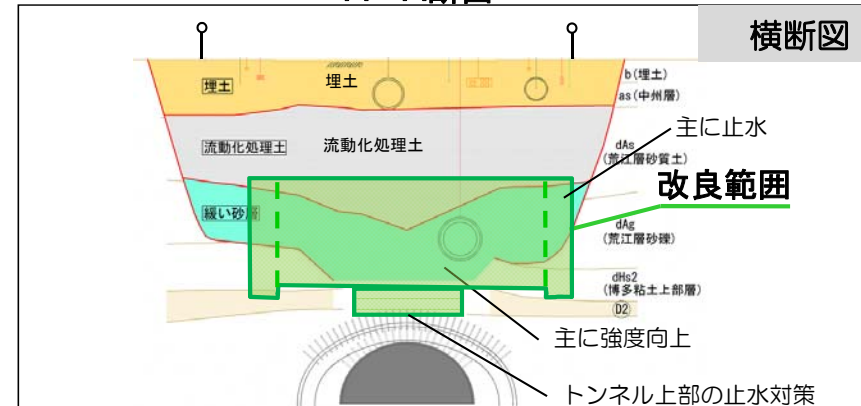
地盤改良範囲について（案）

- ・横断方向：官民境界近傍まで
- ・縦断方向：陥没範囲または再掘削の影響範囲から定まる範囲のうち、広い方を採用

平成29年10月4日
 記者会見時配布資料

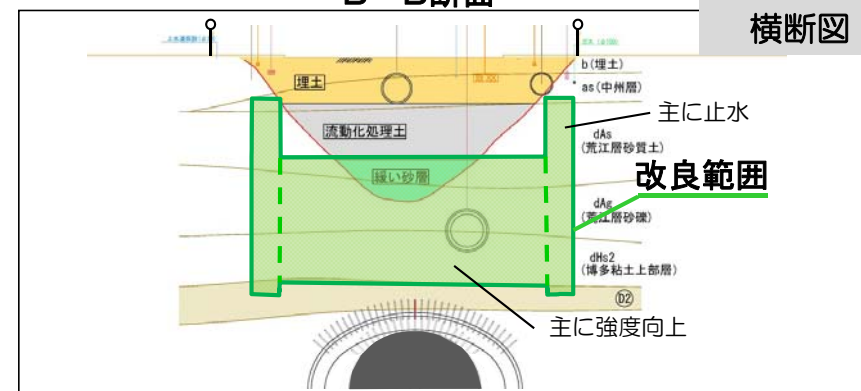
A-A断面

横断面図

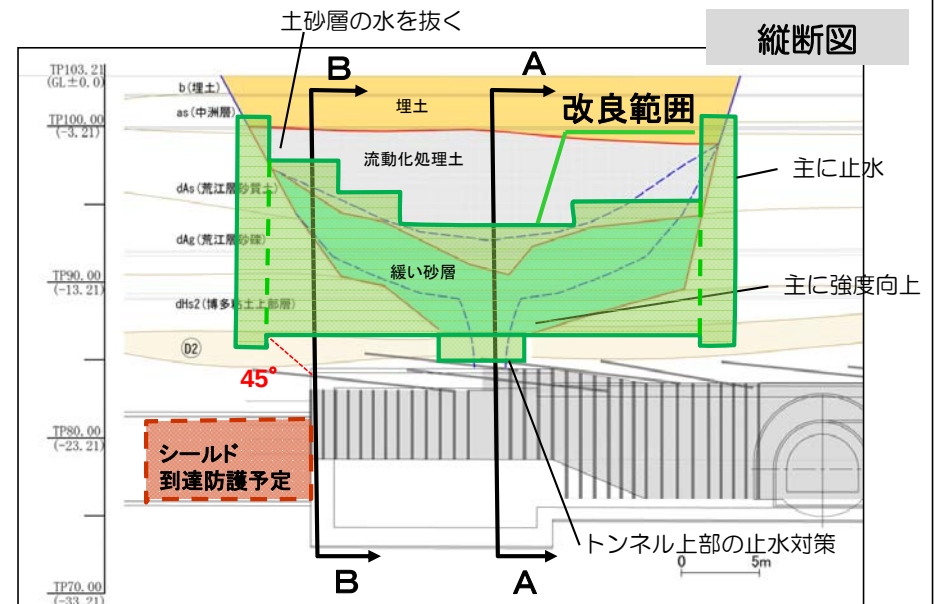


B-B断面

横断面図



縦断面図



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施工することについて検討を進めていく。

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可塑性グラウト等を充填し、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。

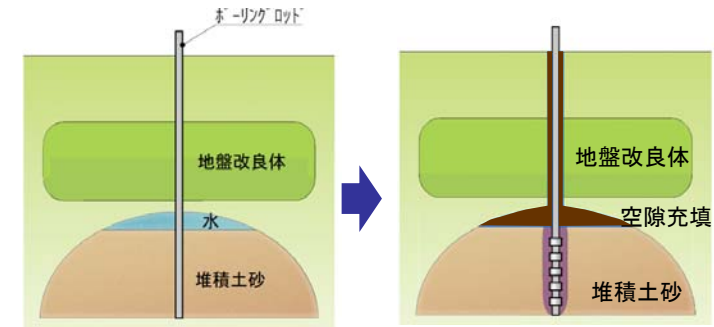
<メリット>

- 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。
- 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。

崩落中心付近横断面



坑内充填工イメージ図

② 地下水位低下工

<概要>

- 地盤改良終了後に実施する地盤改良効果確認ボーリングにおいて、地盤改良体内部の地下水状況を確認した後、地下水位低下工法実施の可否を検討する。

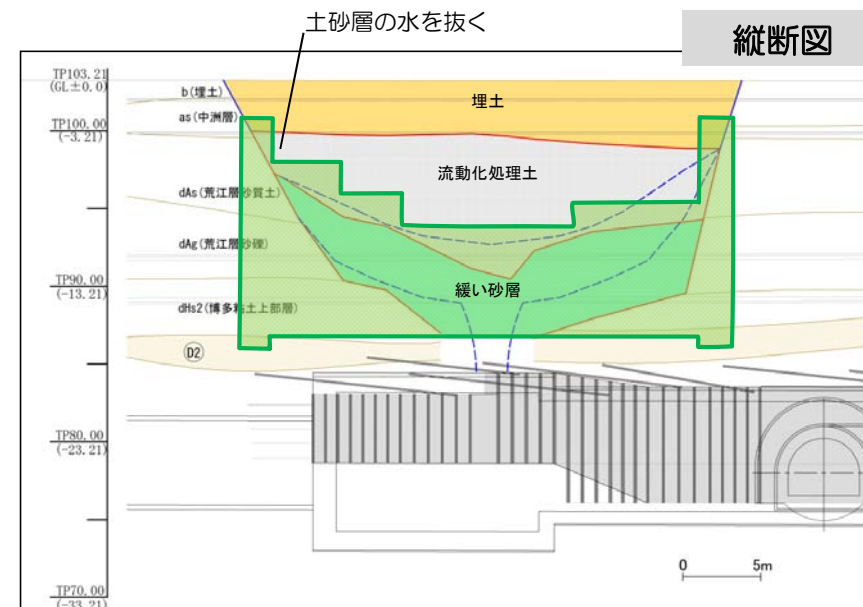
<メリット>

- 土砂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>

- 土砂層の水の汲み上げに伴い、流動化処理土に作用している浮力が失われ、路面が沈下するリスクがある。（緩い砂層は地盤改良予定）

縦断面図



地下水位低下工イメージ図

3) 標準～3連トンネル部

○今回の地質調査で岩被り（D2層）については、3.6～6.3m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。

→D2層の不均質性に伴うリスクへの対策について検討する。

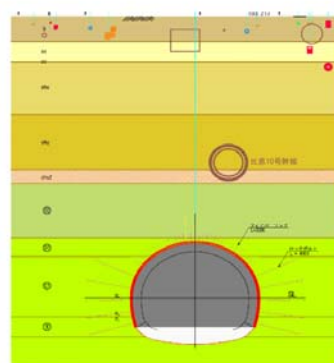
○標準Ⅱ～3連トンネル部に炭質頁岩（Dh）が連続的に分布することが判明した。

→掘削時の安定性について検討する。

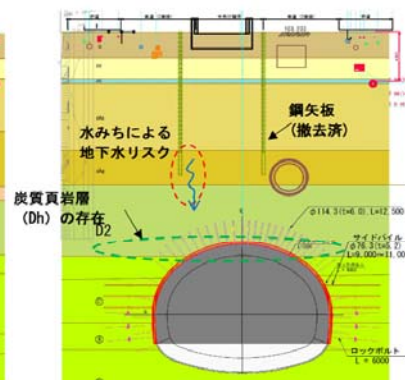
-凡例-

- : 未掘削箇所
- : 掘削済箇所
- : 構築済箇所

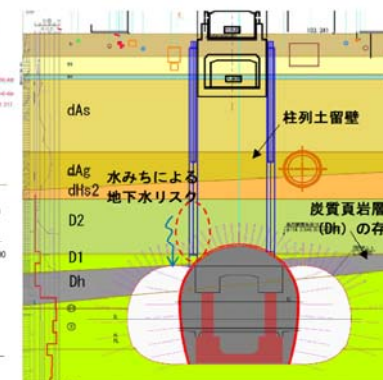
標準トンネルⅠ型 B-B（下半掘削完了）



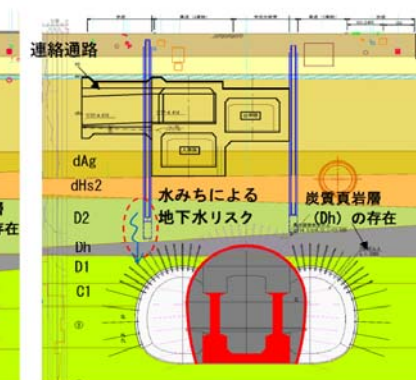
標準トンネルⅡ型 D-D（下半掘削完了）



3連トンネルⅠ型 G2-G2（中央坑掘削完了）



3連トンネルⅡ型 I3-I3（中央坑掘削完了）

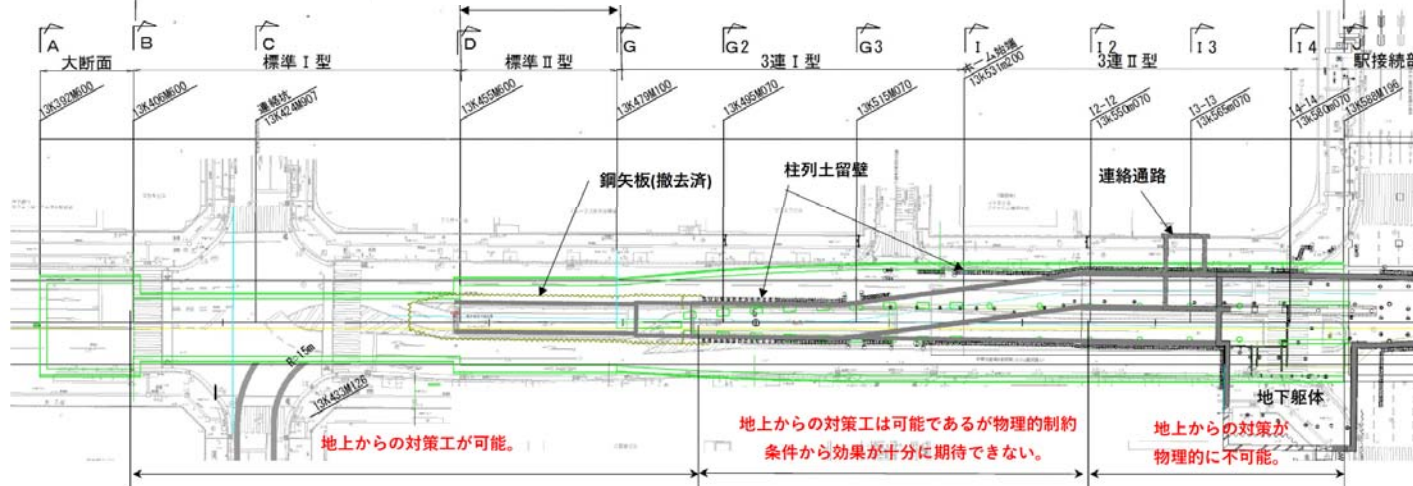


D2層の不均質性や強度不足に起因する地下水リスクやトンネルの力学的不安定リスク

炭質頁岩層に起因する地下水リスクやトンネルの力学的不安定リスク

地下車路の柱列土留壁余掘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



4) 地盤改良工の概要

一般的な地盤改良工法は下記のとおり。

	薬液注入工法	高圧噴射攪拌工法	凍結工法
工法概要	・高強度・恒久性グラウト材を浸透注入し、対象地盤の強度、止水性を改良する。	・セメント系固化材を噴射攪拌し、対象地盤の強度、止水性を改良する。	・対象地盤に設置した凍結管に氷点下の不凍液を循環し凍土を造成することにより、強度、止水性を改良する。
メリット	・砂地盤に対して、薬液による改良効果が期待できる。 ・玉石等があっても、改良効果が期待できる。	・未固結層に対して、高強度の改良が可能。 ・改良幅を大きく取れるので、比恵10号直下の改良が可能。	・異物があっても均質な改良が可能。 ・他案に比べて高強度の改良が可能。
デメリット	・細粒分が多い土層に対しては改良効果が小さい。 ・緩んだ砂層は、LW塊や異物等が混在しており、均質な改良が可能か不明。 ・比恵10号直下に未改良部ができる。	・異物がある場合は、セメント系固化材の噴射攪拌ができず改良不足になることがある。 ・岩盤・粘土・改良体等の固結層に対しては、改良できない。	・凍結や解凍により、改良体に体積変化（膨張・収縮）が生じる。 ・トンネル支保工や比恵10号に影響を及ぼす懸念がある。
課題	・緩んだ砂層に対して、所定の改良性能が発揮されるか確認が必要。 ・未改良部に対して、別工法採用等の検討が必要	・緩んだ砂層については、異物があり、別工法採用の検討が必要。 ・dHs2層・D2層の改良径・強度についてはバラツキが生じることが想定される。	・D2層の凍結・解凍による体積変化量が不明。 ・D2層の凍結による改良強度が不明。 ・凍結による膨張や解凍による収縮（沈下）により、トンネル支保工・埋設管等の影響検討が必要。
本施工における効果確認方法	・効果確認ボーリング（針貫入試験、孔内水平載荷試験） ・現場透水試験	・改良径の確認 ・効果確認ボーリング（一軸圧縮試験） ・現場透水試験	・測温管による土中温度 ・現場透水試験