

資料は委員会での意見を踏まえ、
修正を行っております。

4. 地盤改良について

(1)	地質調査結果を踏まえた設計の考え方	P1
(2)	地盤改良工法	P2～P6
	1) 地盤改良の検討フロー	P3
	2) 地盤改良の目的	P4
	3) 地盤改良の概要	P4
	4) 室内配合	P5
	5) その他の補助工法	P6
(3)	大断面部トンネル部の地盤改良	P7～P10
	1) 地盤改良の範囲強度	P8
	2) 検討断面	P9
	3) 検討手順・内容	P10
(4)	標準～3連トンネル部のリスクと検討コンセプト	P11～P13
	1) 現場条件	P12
	2) 地盤改良の検討コンセプト	P13

平成29年10月4日(水)

福岡市交通局

(1) 地質調査結果を踏まえた設計の考え方

陥没事故前

- ・D2層が持つ支持・止水機能に期待する設計思想であった。

地質調査結果

- ①崩落孔は横断方向 11.6m 縦断方向 6.0m以内であることを確認した。
- ②D2層の不均質性を確認した。(変形係数Eは、7,800~399,300kN/m²で分布)
- ③標準Ⅱ~3連トンネル部には炭質頁岩(Dh)が層厚約0.4m~2.5mでトンネル天端付近に連続的に分布することを確認した。

施工時(坑内排水時・再掘削時)のリスク

- ①地下水リスク : 上部未固結帯水砂層の地下水と土砂が坑内に流入する。
- ②力学的不安定化リスク : トンネル周辺地山やトンネル天端部が力学的に不安定化する。
- ③既設構造物への影響リスク : トンネルの変形に伴い、既設構造物に影響が及ぶ。

大断面トンネル区間〔道路陥没部〕

リスク対応方針

- 地盤改良体で支持・止水する〔崩落孔〕
- D2層の支持・止水機能を補強する〔道路陥没範囲〕
- 坑内充填工や土砂層の地下水位低下工を検討する

①地下水リスクへの対応

- ・崩落孔内部に地盤改良(止水機能確保)を行う。
- ・崩落影響範囲内のD2層の止水機能を補強する地盤改良(止水機能の補強)を行う。
- ・土砂層の水位低下や溜まり水の汲上げについて検討を行う。

②力学的不安定化リスクへの対応

- ・崩落孔内部に地盤改良(支持機能確保)を行う。
- ・崩落影響範囲内のD2層の支持機能を補強する地盤改良(支持機能の補強)を行う。

③既設構造物への影響リスクへの対応

- 【坑内排水時】
 - ・地盤改良と補助工法(坑内充填等)によりトンネルが変形することを防止する。
- 【トンネル再掘削時】
 - ・トンネル補助工法や支保剛性の向上等により、周辺地盤の変形を抑制する。

標準トンネル~3連トンネル区間

リスク対応方針

- D2層の支持・止水機能を必要に応じて補強する
- 炭質頁岩の連続的な分布を踏まえた切羽・天端安定対策を実施する

①地下水リスクへの対応

- ・D2層の止水機能に期待するが、不均質性に起因する機能低下に対して、止水機能を補強する対策工の必要性や範囲・方法について検討する。

②力学的不安定化リスクへの対応

- ・トンネル天端付近の地山(D2層)の支持機能に期待するが、炭質頁岩が存在することや、D2層の強度や厚さにばらつきが大きいことから、不均質性に起因する機能低下に対して、支持機能を補強する対策工の必要性や範囲・方法を検討する。

③既設構造物への影響リスクへの対応

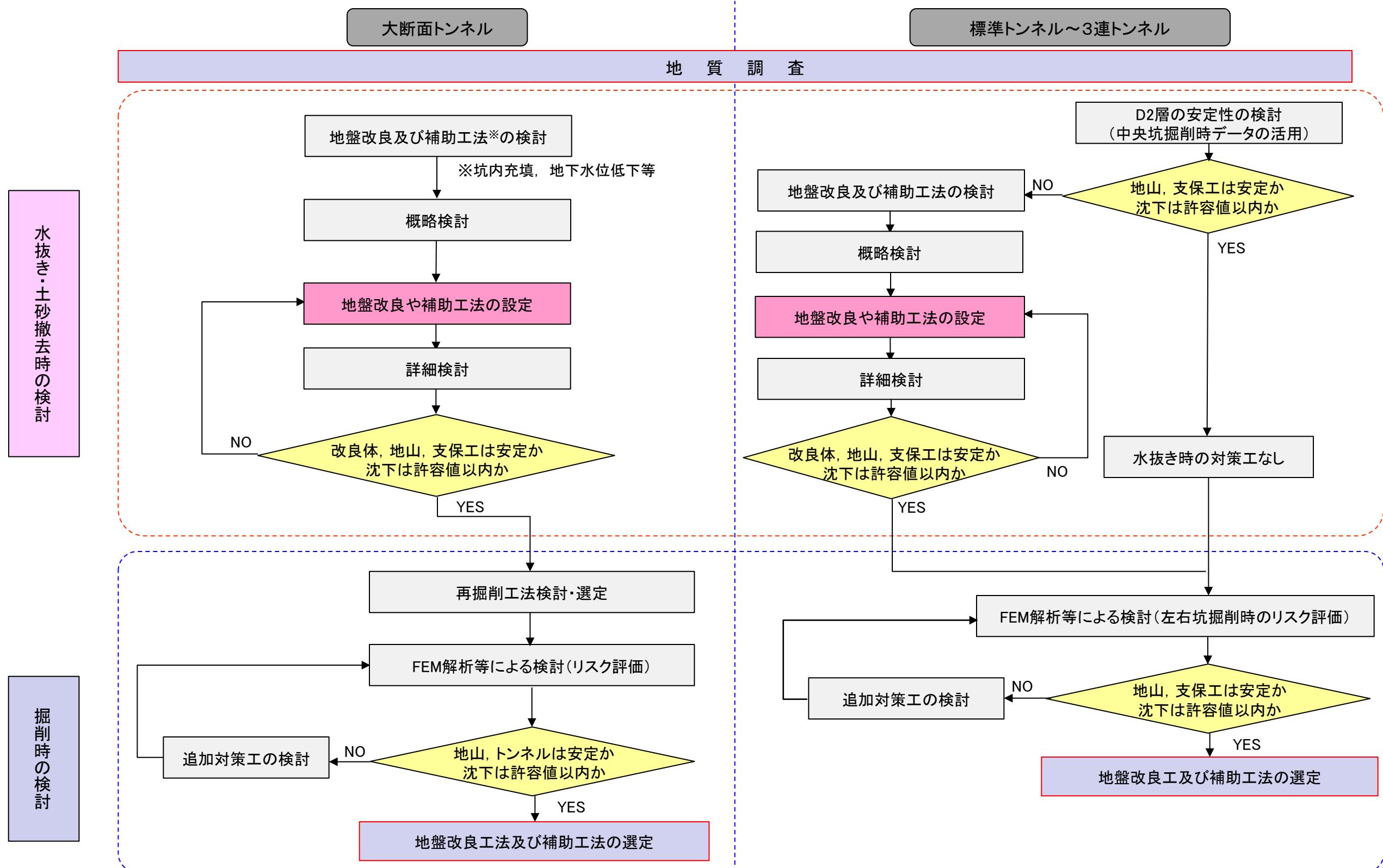
- ・トンネル支保工の支持機能、周辺地山の止水機能および支持機能に期待する。
 - 【坑内排水時】
 - ・地山の不均質性に起因した既設構造物への影響を検討し、必要に応じて支持、止水機能を補強する対策工を実施する。
 - 【左右坑掘削時】
 - ・炭質頁岩の連続的な分布を踏まえた対策工や補助工法等により、切羽の安定や周辺地盤の変形を抑制する。

(2) 地盤改良工法

(2) 地盤改良工法

1) 地盤改良の検討フロー

地盤改良の検討を進めていくうえでのフローを示す



(2) 地盤改良工法

2) 地盤改良の目的

止水性と地盤強度向上を目的とした地盤改良を計画する。

3) 地盤改良の概要

現場条件を踏まえ、検討を進めていく地盤改良工法について整理した。必要に応じて各工法を組み合わせしていく。

	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。
対象地盤の工法適用性	緩んだ砂(LW塊, 異物混入)・・・△※1 ※1高圧噴射攪拌工法よりは地盤改良効果が期待できる。 dHs2・・・△※2 ※2細粒分が多い場合は薬液が浸透せず効果が期待できない。 D2・・・×(浸透注入出来ない)	緩んだ砂(LW塊, 異物混入)・・・△ dHs2・・・○ D2・・・△(所定の改良体造成困難)	緩んだ砂(LW塊, 異物混入)・・・○ dHs2・・・○ D2・・・○
改良性能	一軸圧縮強度 0.5MN/m ² ～1.0MN/m ² 透水係数 1.0×10 ⁻⁵ cm/sec程度	一軸圧縮強度 1.0MN/m ² ～2.0MN/m ³ 透水係数 1.0×10 ⁻⁵ cm/sec程度	一軸圧縮強度 3.0MN/m ² 透水係数 1.0×10 ⁻¹⁰ cm/sec程度
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・強度が不明。	・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
室内試験	配合試験(土質物理試験, 一軸圧縮試験) 浸透性能確認試験(一次元浸透試験) 環境試験(六価クロム溶出試験)	配合試験(一軸圧縮試験) 環境試験(六価クロム溶出試験)	力学特性試験(一軸圧縮試験, 凍上, 沈下試験)
原位置試験	原位置での薬液注入効果確認試験 ・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	原位置での高圧噴射攪拌効果確認試験 ・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	・施工前の原位置試験は不要。
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

(2) 地盤改良工法

4) 室内試験

地盤改良の実施にあたり、対象地盤（緩い砂層、博多粘土上部層等）への適応性を検証すべく、各々の工法について室内試験を実施している。

地盤改良工法	試験項目	単位	数量	試験目的	対象土	
薬液注入工	土質物理試験	試料	2	高強度耐久性グラウト材および溶液型注入材の適用妥当性を確認	緩んだ砂層（2箇所）	
		試料	1		dHs2層	
	一軸圧縮試験	試料	12	設計に用いる地盤改良後物性値の妥当性確認のため	緩んだ砂層（2箇所） 2箇所×3配合×2材令	
		試料	6		dHs2層 1箇所×3配合×2材令	
	一次元浸透試験	試料	6	薬材の浸透可能可否の確認	緩んだ砂層（2箇所） 2箇所×3配合	
		試料	3		dHs2層 1箇所×3配合	
	六価クロム溶出試験	試料	4	施工に用いる硬化材の環境への影響確認のため	緩んだ砂層（2箇所） 2箇所×2配合	
		試料	2		dHs2層 1箇所×2配合	
	高圧噴射 攪拌工	一軸圧縮試験	試料	8	設計に用いる地盤改良後物性値の妥当性確認のため	dHs2層、D2層 2土質×2固化材×2材令
		六価クロム溶出試験	試料	4	施工に用いる硬化材の環境への影響確認のため	dHs2層、D2層 2土質×2固化材
凍結工	一軸圧縮試験	試料	1	設計に用いる地盤改良後物性値の妥当性確認のため	D2層	
	凍上・沈下試験	試料	3	凍結、解凍による周辺地盤、構造物への影響を検討するため	D2層 3拘束応力	
	塩化物含有試験	試料	1	凍土造成に影響する要因の有無確認のため	D2層	

(2) 地盤改良工法

5) 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。

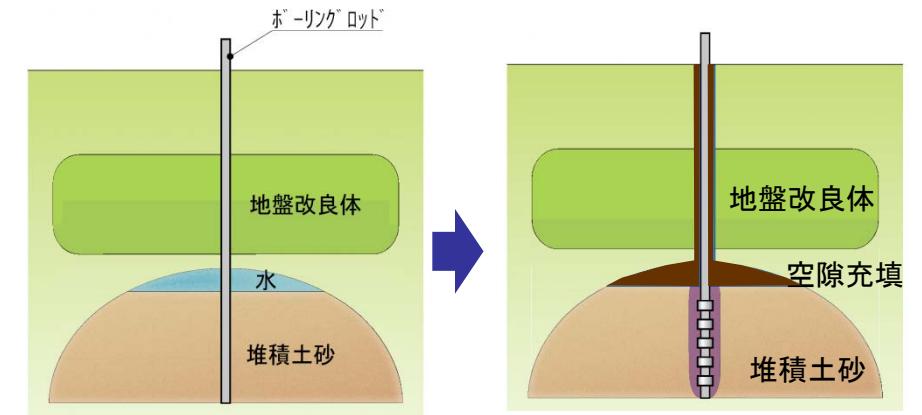
<メリット>

- 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>

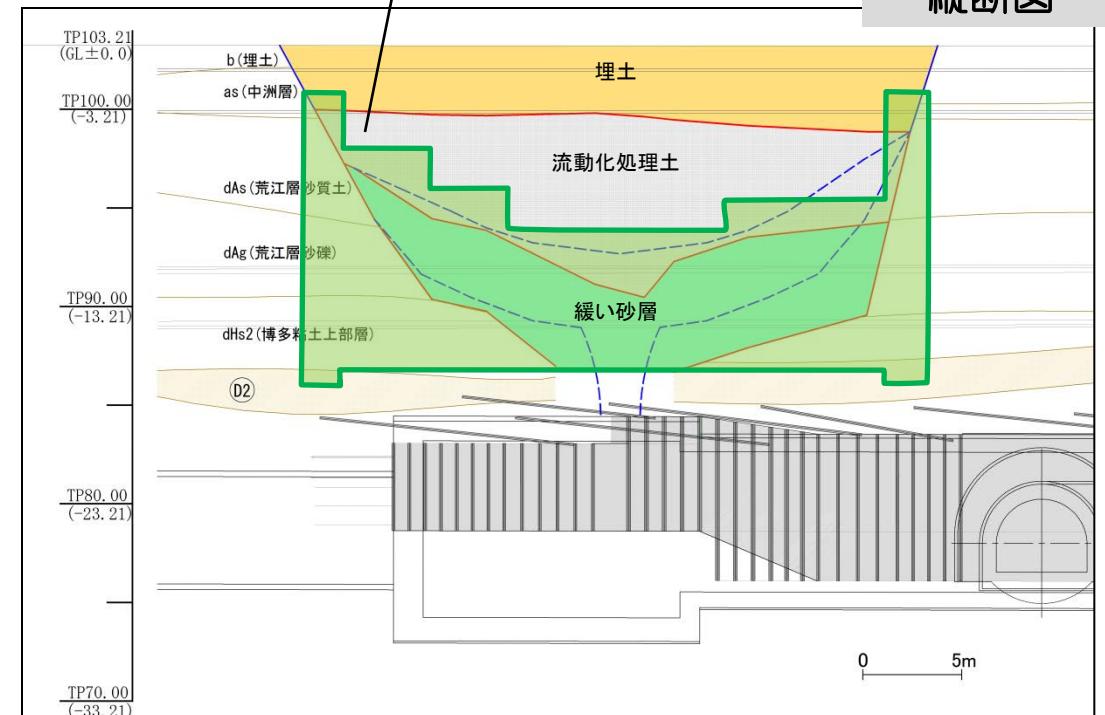
- 土砂層からトンネル上部に作用する水圧を低下させる効果が期待できる。
- 地下水および土砂が坑内に流入するリスクを低減できる。

<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）

土砂層の水を抜く

縦断図



地下水位低下イメージ図

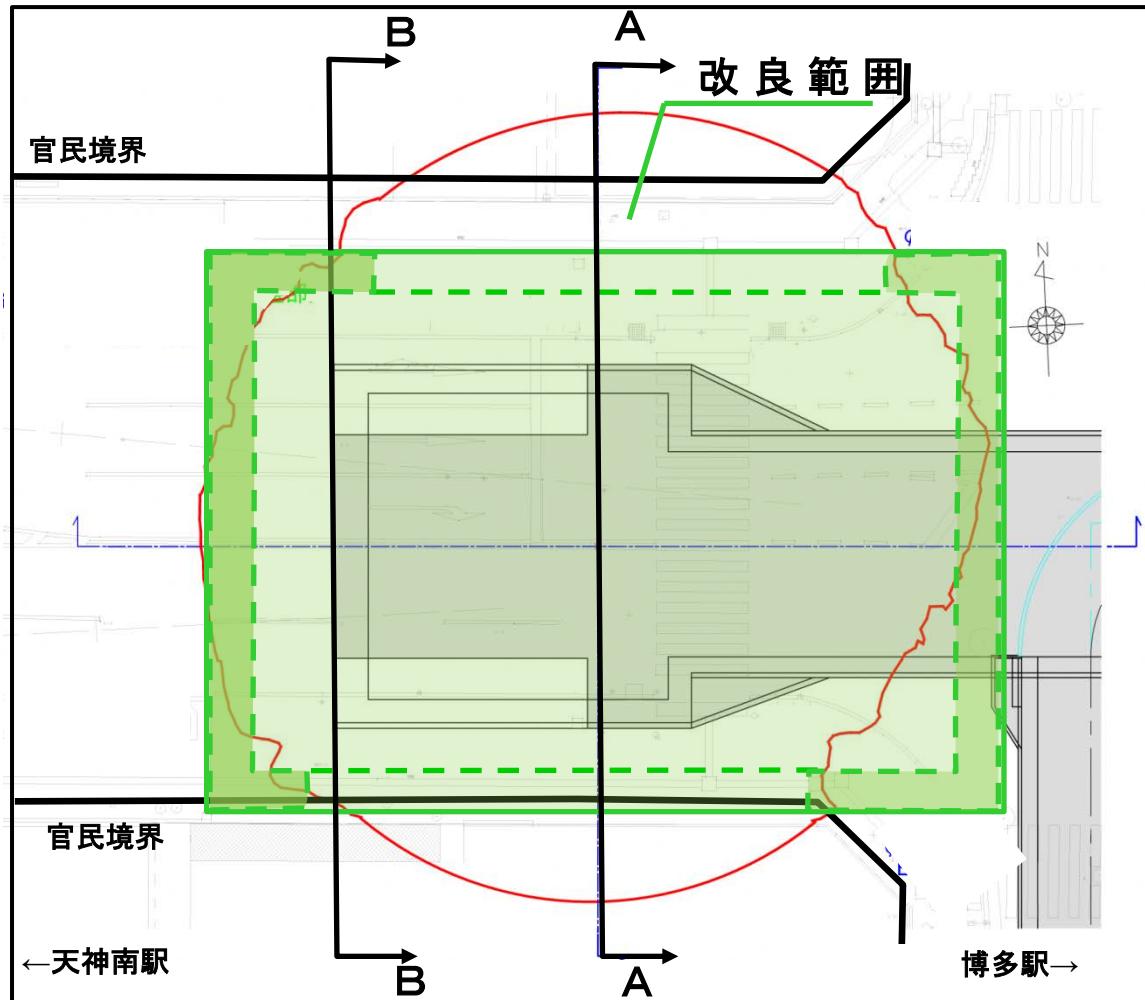
(3) 大断面トンネル部の地盤改良

(3) 大断面トンネル部の地盤改良

1) 地盤改良範囲・強度の検討

地盤改良は下記の範囲を計画している。

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

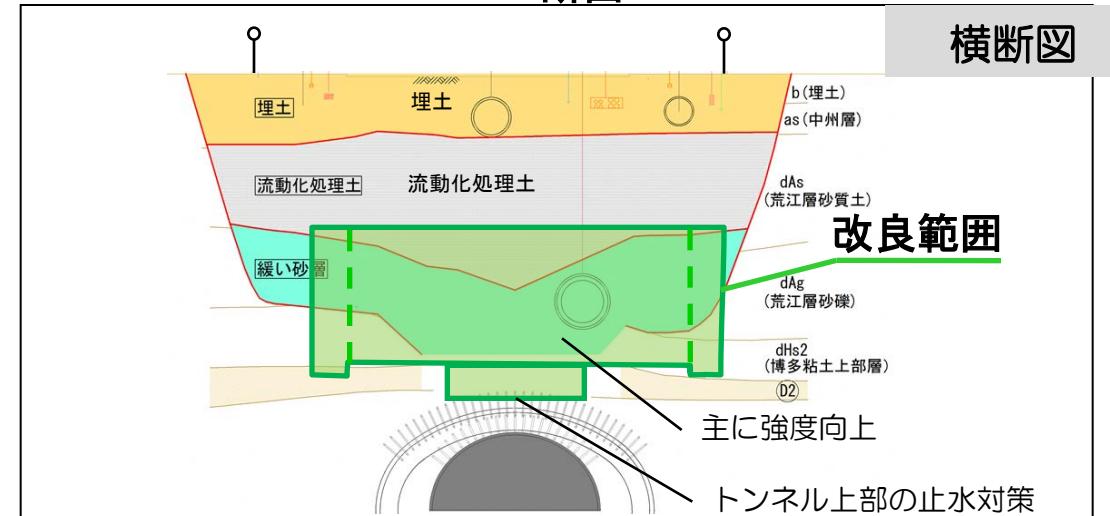
主に止水を目的とした改良範囲については、強度向上を評価せずに解析を行う。
 なお、適用する地盤改良工法については、室内試験及び原位置試験により必要な強度・止水性を確認する。
 また、主に強度向上を目的とした改良範囲において十分な止水性が確認された場合、側部の止水を目的とした改良は不要となる可能性がある。

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

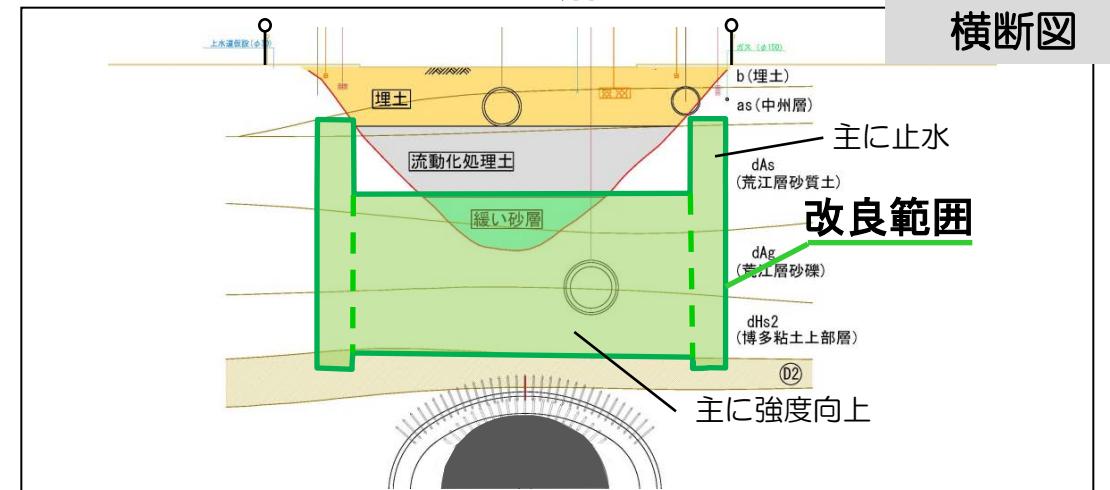
A-A断面

横断面



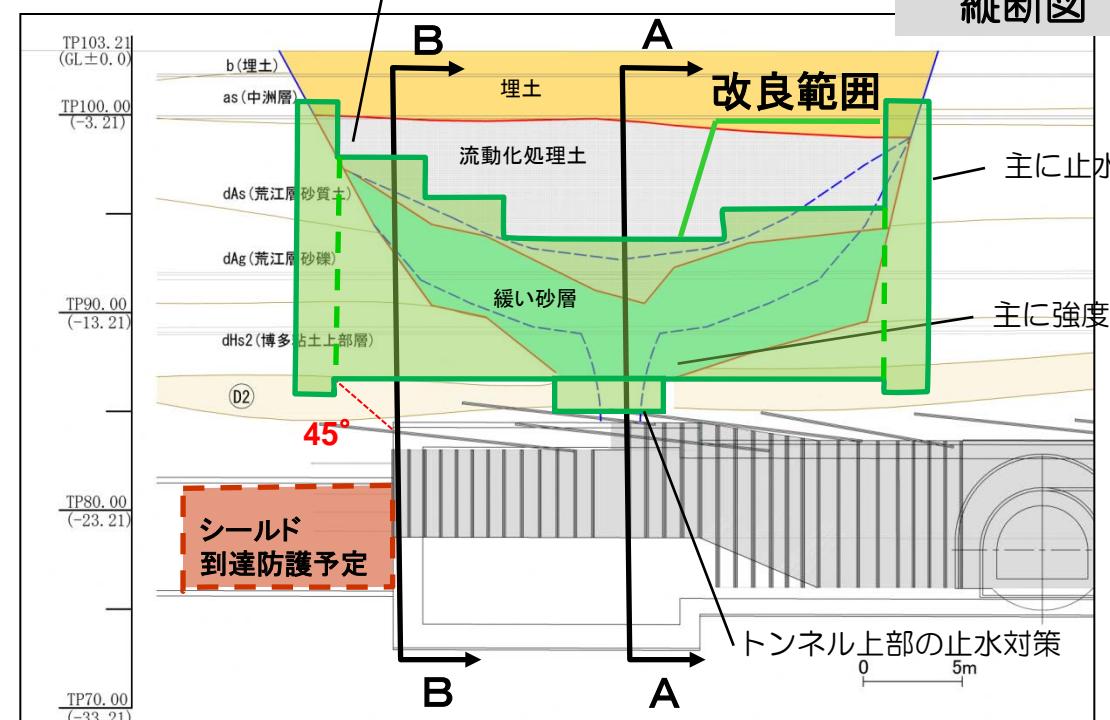
B-B断面

横断面



土砂層の水を抜く

縦断面



(3) 大断面トンネル部の地盤改良

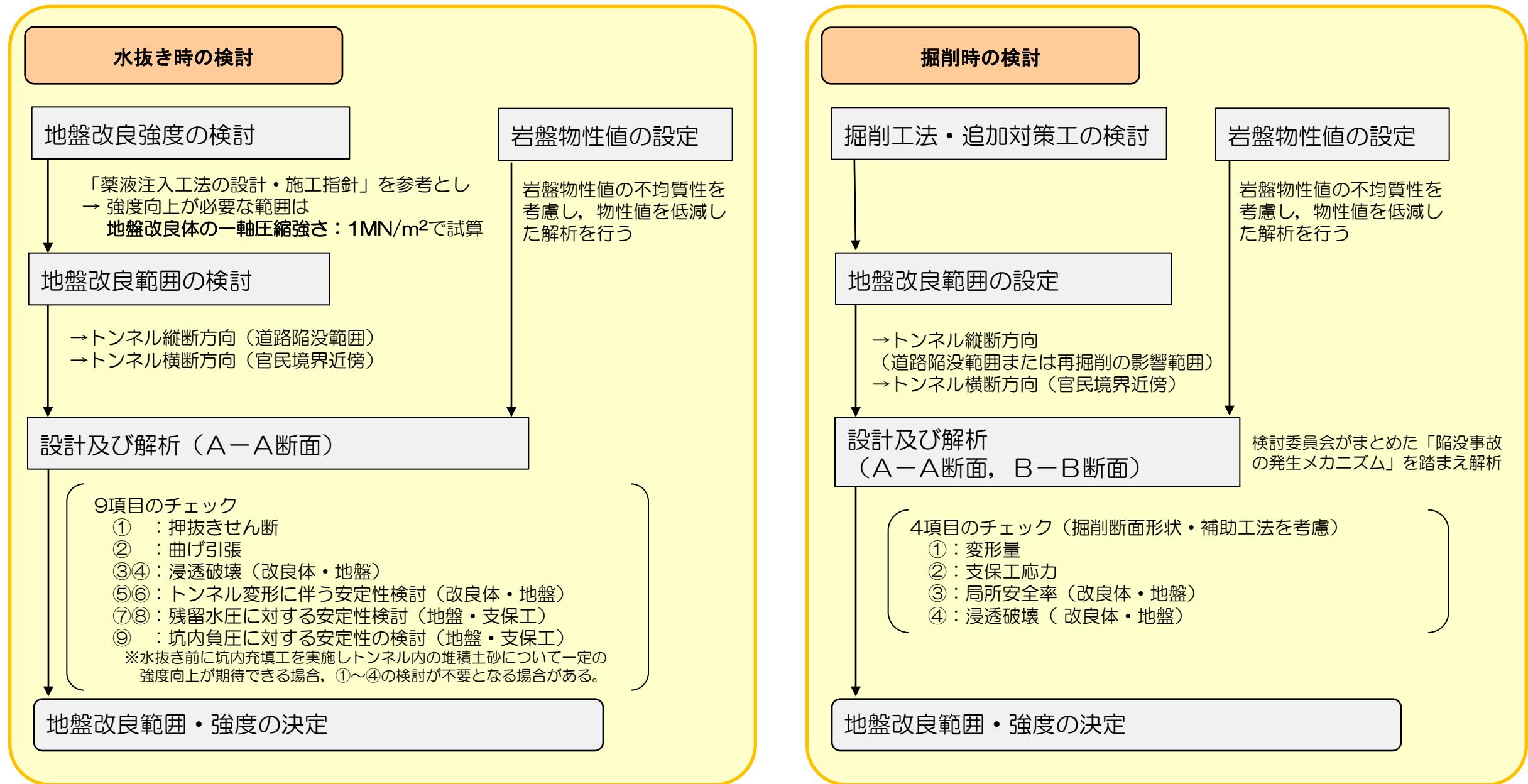
2) 検討断面

D2層が崩落した崩落孔付近の断面（A-A断面）と、既存地盤が残っている断面（B-B断面）に分け、適切な地盤改良について検討する。

	大断面トンネル区間	
	道路陥没部（A-A断面）	未拡幅掘削部（B-B断面）
現 状	<ul style="list-style-type: none"> ・ D2層の未確認範囲 横断方向 11.6m 縦断方向 6.0m ・ 流動化処理土の下にゆるい砂層 [透水係数 10-3cm/sec程度 換算一軸 主に0.2Mpa以下程度] 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 既存地盤 ・ 流動化処理土の下にゆるい砂層 [透水係数 10-3cm/sec程度 換算一軸 主に0.2Mpa以下程度]
地盤改良の目的	<ul style="list-style-type: none"> ・ 陥没穴を前提とした支持力の確保 ・ 止水性の確保（地下水位低下の併用） 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 掘削時にD2層の強度不足や地下水圧による水や土砂の流入を防止する
基本的な施工方法	<ul style="list-style-type: none"> ・ 陥没穴を前提とした地盤強化 ・ 周辺に止水壁を設置し、周辺からの地下水流入を防ぐ 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 周辺に止水壁を設置し、周辺からの地下水流入を防ぐ ・ 既存地盤やゆるい砂層の地盤強化
地盤改良の範囲等	<ul style="list-style-type: none"> ・ 改良範囲は、流動化処理土の下からD2層の上面とする。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 改良範囲は、流動化処理土の下からD2層の上面とする ・ 中間駅側への影響範囲を含む（博多駅側も同等）
リスクや課題	<ul style="list-style-type: none"> ・ 陥没穴付近には、コンクリート塊などの支障物があった場合、地盤改良に不確実な部分が生じる可能性がある。 ・ ゆるい砂層のうち細粒分が多い箇所には薬材が浸透しない可能性がある。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ ゆるい砂層や博多粘土層は細粒分が多い箇所には薬剤が浸透しない可能性がある。
対 応 策	<ul style="list-style-type: none"> ・ 地盤改良に不確実性が残らないよう、適切な地盤改良工法やその組み合わせを検討する ・ トンネル坑内の先行充填を行い、トンネル側から補助的に支える ・ 掘削工法や追加対策工の検討を行い、トンネル天端付近の安定を図りながら施工を進める ・ 細粒分が多い地層に対する浸透性を考慮した施工方法や薬剤を検討する ・ 施工管理として地盤改良の効果確認のためのポーリング、水位低下等の計測管理を行いながら慎重に施工を進める 	

(2) 大断面トンネル部の地盤改良

3) 検討手順・内容



(4) 標準～3連トンネル部のリスクと検討コンセプト

(4) 標準～3連トンネル部のリスクと検討コンセプト

1) 現場条件

○三次元地質モデル (暫定)

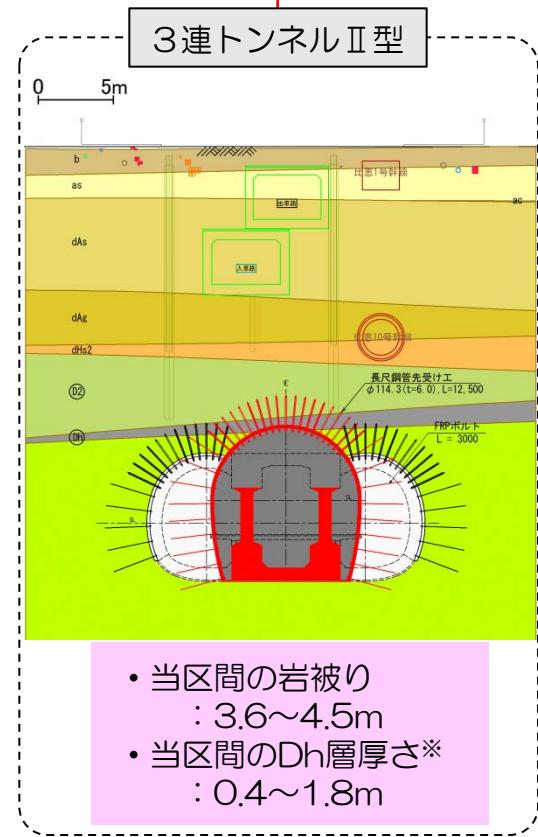
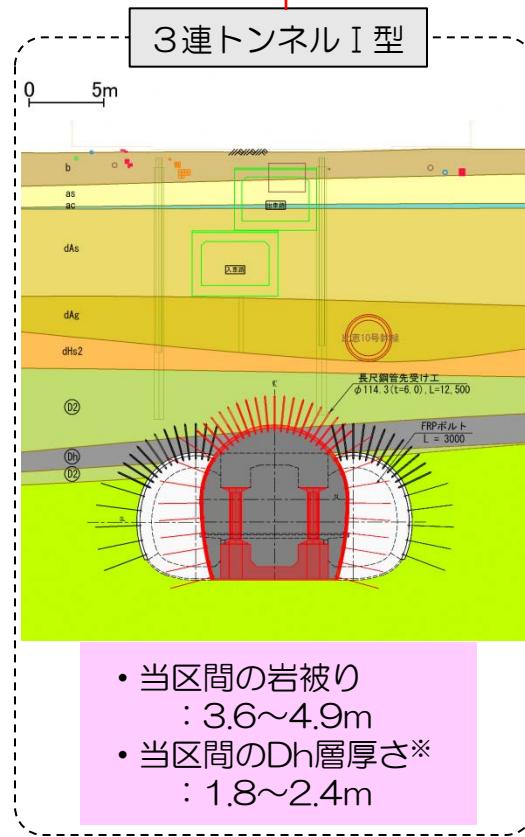
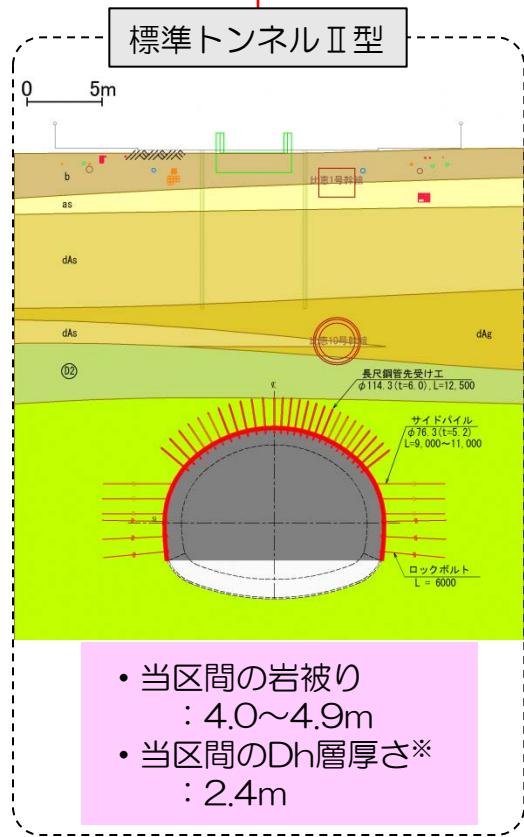
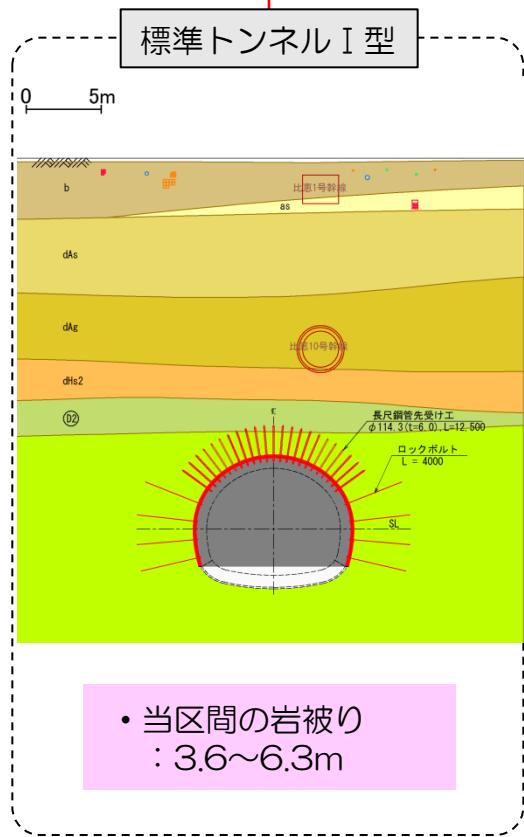
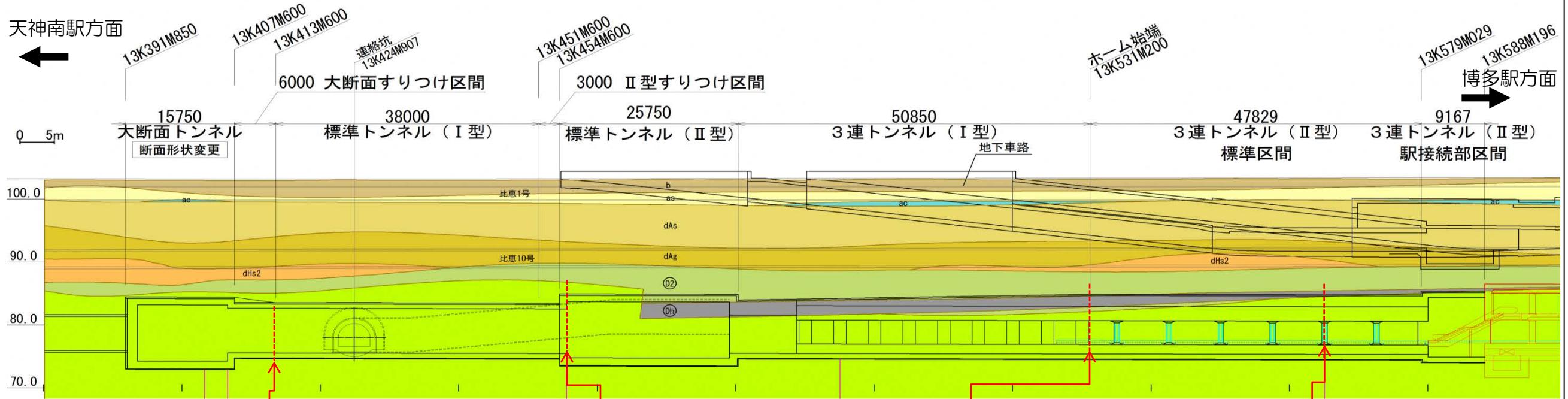
※当該地質モデルでは、標準Ⅰ・Ⅱ型は現状の調査結果は未反映である。
そのため、当該地質モデルは現状の暫定版である。

【炭質頁岩層 (Dh)】

- 標準トンネルⅡ型より、炭質頁岩層が出現する。
- 炭質頁岩層は、博多駅側に向かって上方へ遷移する。

【強風化頁岩層 (D2)】

- D2層の上端面は、博多駅側に向かって上昇し、天神南駅側に向かって下降する。特に、大断面トンネル部ではD2層の厚さが薄く、不陸も大きい。



※トンネルセンターでの厚さ

※トンネルセンターでの厚さ

※トンネルセンターでの厚さ

(4) 標準～3連トンネル部のリスクと検討コンセプト

2) 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、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。

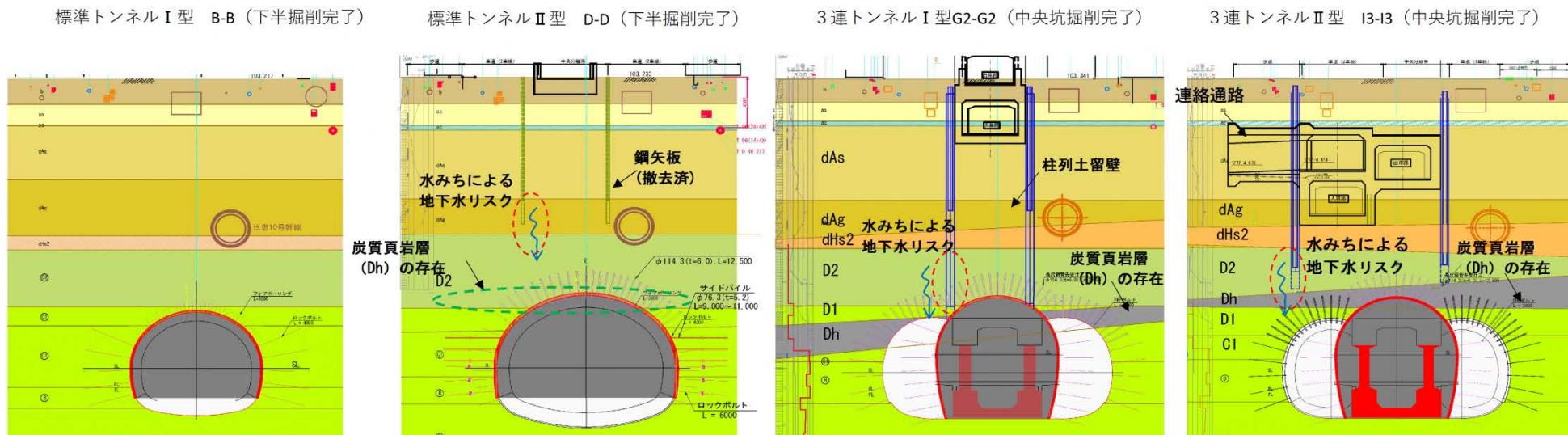
→D2層の不均質性に伴うリスクを包含（支持・止水機能を期待）できる対策について検討する。

○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。

○大断面部と同様の手法で、排水時、左右坑掘削時に分けて解析を行う。

-凡例-

- : 未掘削箇所
- : 掘削済箇所
- : 構築済箇所



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

