第12回七隈線建設技術専門委員会

（討議資料１）

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．大断面トンネル部の再掘削計画について

１．再掘削検討フロー･･ P1

２．対策を踏まえた評価･･ P2

３．補助工法等の検討･･ P3～7

４．再掘削方法･･ P8

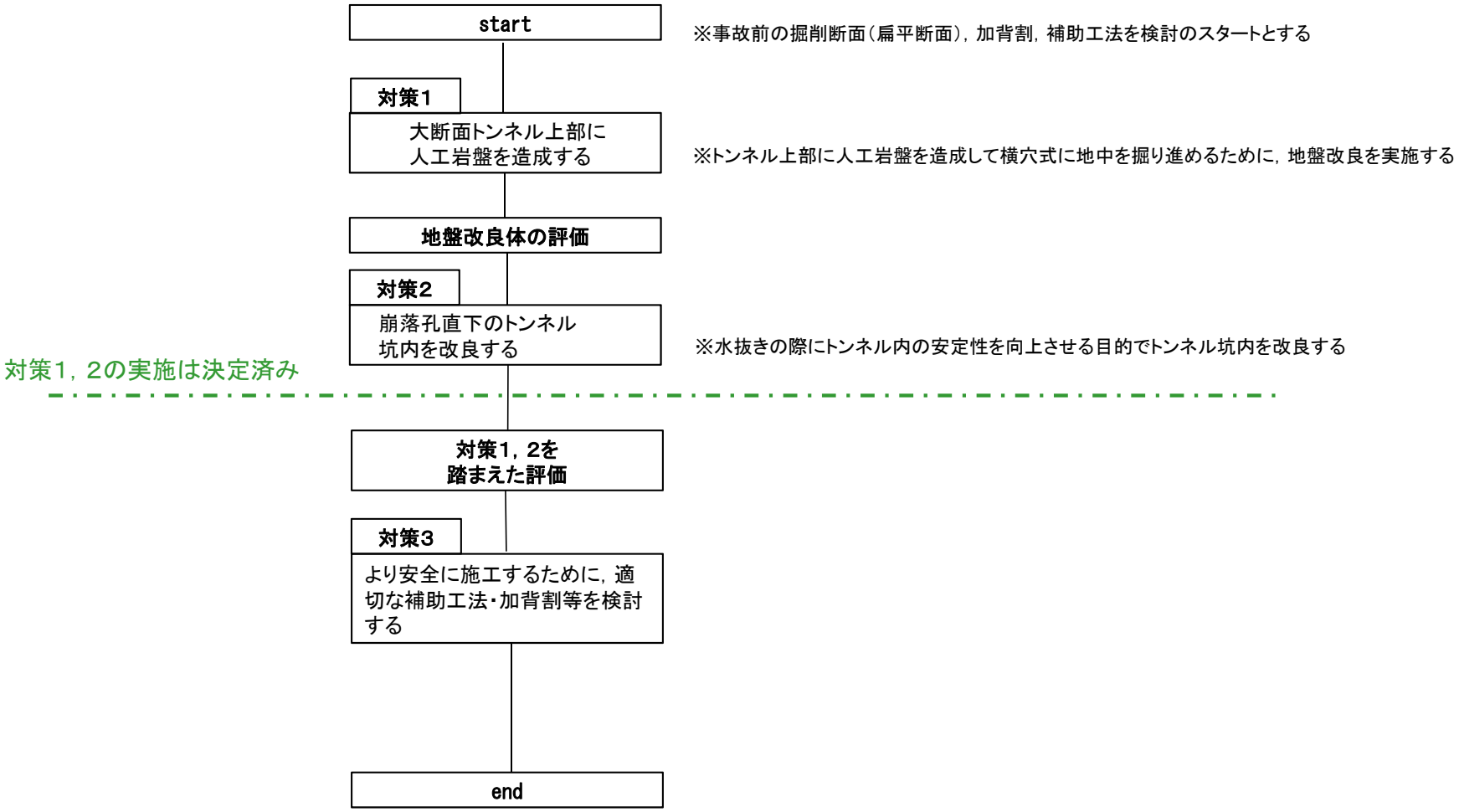
平成３０年１１月２９日（木）

福　岡　市　交　通　局

１．大断面トンネル再掘削計画

（１）大断面トンネル再掘削検討フロー

技術専門員会での討議を踏まえ，大断面トンネル再掘削に向けた検討フローを見直した。

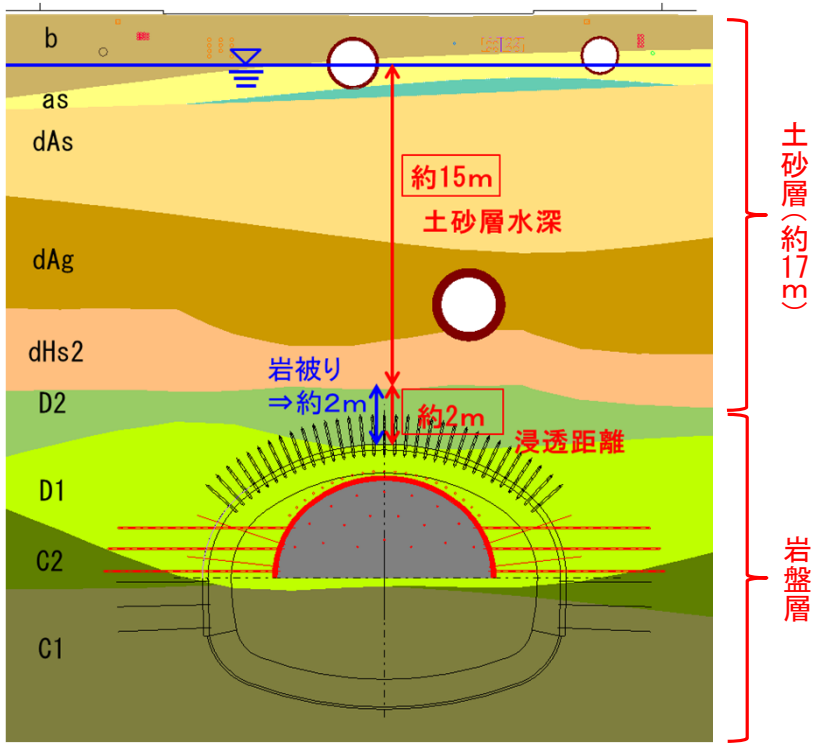


1．大断面トンネル再掘削計画

（２）対策を踏まえた評価

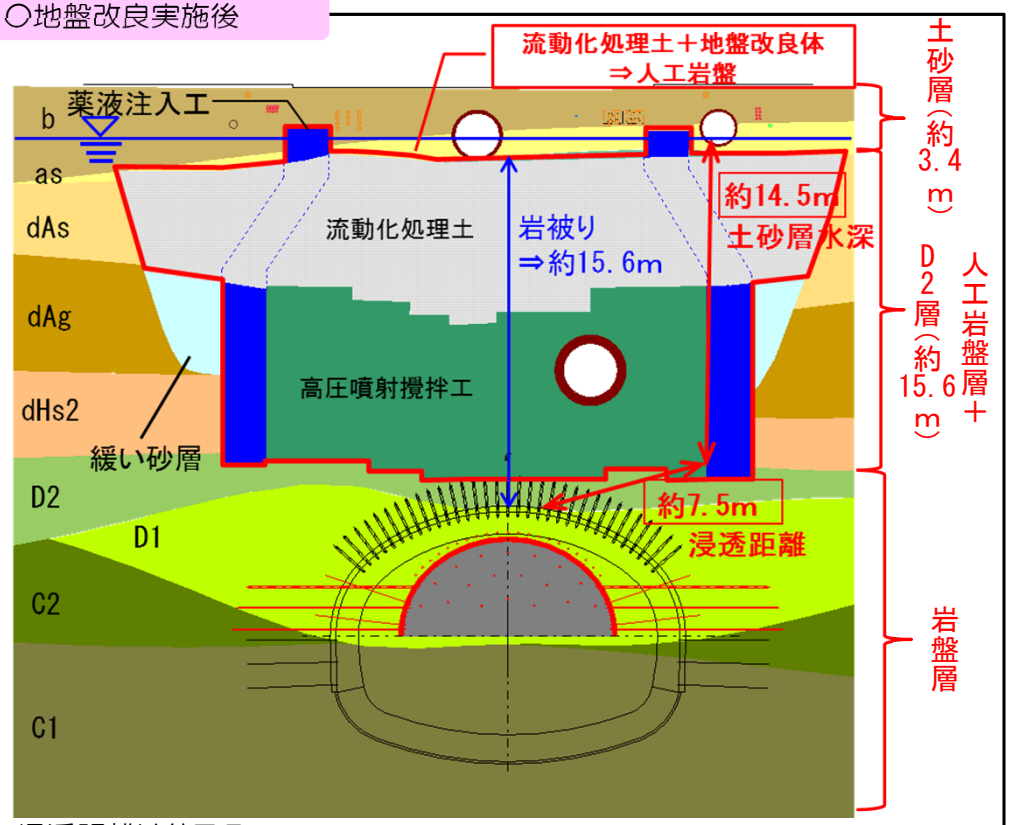
地盤改良（人工岩盤造成及び崩落孔直下坑内改良）の実施後と道路陥没前との状況を比較することで，地盤改良の効果を評価する。

○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。

（3）補助工法等の検討

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。

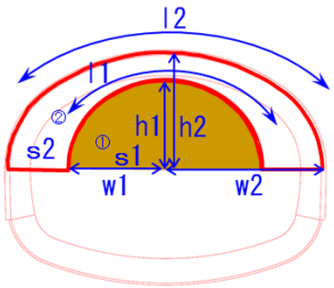
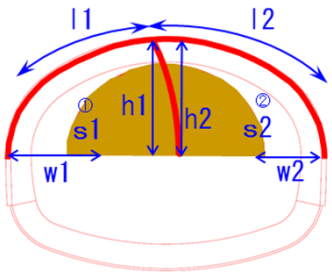
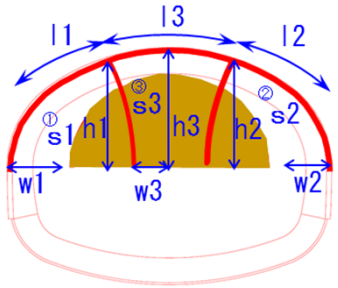
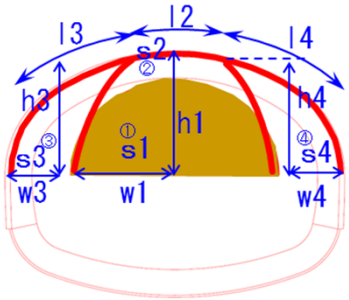
	項目	効果	留意点	評価
加背割	• 小分割施工 （中央導坑先進，頂設導坑，中壁分割等）	• 小分割施工 掘削断面を分割して施工する加背割の変更は，抜け落ち防止など，天端安定化に対する対策としては有効。 加背割によっては，施工中の扁平率が改善する。	掘削断面を小さくする場合は，小型の施工機械を使用する必要が生じる。	小分割施工とすることが有効な対策となる。
補助工法	• 先受工 （フォアポーリング，AGF等） • 早期断面仮閉合	• 先受工 切羽安定対策や天端の安定対策として有効。 • 早期断面仮閉合 早期断面仮閉合により，地山の変形を抑制することが可能であるため，抜け落ち防止に対する対策として有効。	• 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。	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。
支保構造	• 支保工のランクアップ ⇒高強度吹付 ⇒鋼製支保工の増厚	• 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。	鋼製支保工を増厚する場合，掘削断面積が増加する。	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。

1．大断面トンネル再掘削計画

（3）補助工法等の検討（加背割の検討）

大断面トンネルの天端不安定化（抜落ち）対策及び周辺地山への影響を抑えるため，課題である扁平率※も含めて，有効と考えられる加背割案を陥没前に実施していた中央導坑先進と比較する。
※掘削ステップ（概要図中Ⅰ～Ⅳ）ごとに縦横比として比較。

加背割比較表

案		Ⅰ.中央導坑先進※1		Ⅱ.中壁分割		Ⅲ.側壁導坑先進		Ⅳ.頂設導坑先進	
概要		 ①～②は掘削順序を示す		 ①～②は掘削順序を示す		 ①～③は掘削順序を示す		 ①～④は掘削順序を示す	
抜落ち防止	縦横比※2（w／h）	（1）	－	改善する（0.58）	○	改善する（0.43）	○	改善する（0.59）	○
抜落ち防止	天端長（l）	（1）	－	短くなる（0.50）	○	短くなる（0.52）	○	短くなる（0.34）	○
トンネルの安定性	切羽面積（s）	（1）	－	同等（1.02）	－	小さくなる（0.71）	○	小さくなる（0.83）	○
トンネルの安定性	鋼製支保工の変形リスク	リスク無し	○	リスク有り※3	△	リスク有り※3	△	リスク無し	○

※1 H28施工検討時に，前方の地質状況を確認し，安全に施工していくため，小断面で先行して掘削するⅠ．中央導坑先進，Ⅱ．中壁分割の加背割について検討を実施した。検討の結果，掘削済みの標準トンネル部での実績があるⅠについては課題がないが，Ⅱについては後進坑掘削時に追加の沈下対策工が必要となった場合の対応が困難であることから，Ⅰを採用する案を技術専門委員会で説明し，採用に至った。今回は，既に中央導坑の掘削が完了している状況を踏まえ，より安全に掘削する加背割について比較した。

※2 他の比較指標が1よりも小さいほど安全であることから，縦横比（h/w）の逆数（w/h）を記載。

※3 掘削時に鋼製支保工の背面に硬い地盤の支えが必要となるが，坑内堆積土に異物等が混入している可能性があり，改良の不確実性が残る。

：掘削済み区間 （緩んだ土砂が堆積）

※（）は中央導坑先進を1としたときの比率を示す。

比較表より，頂設導坑先進を採用することで，施工中における扁平率(注1)の課題が改善し，抜落ち防止や切羽の安定性が向上すると考える。

（注1）吹付け，鋼製支保工設置前の地山を露わにした状態の扁平率を比較

（3）補助工法等の検討（先受工の検討）

切羽安定対策や天端の安定対策として有効な先受工について，トンネル標準示方書に記載されている補助工法を比較する。

補助工法比較表

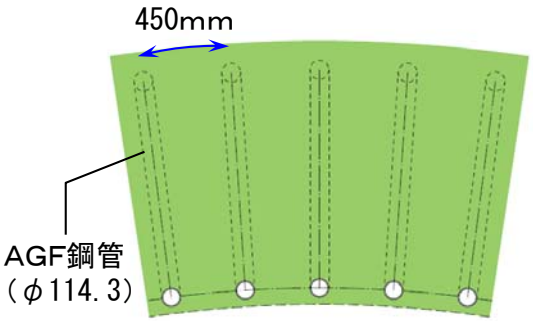
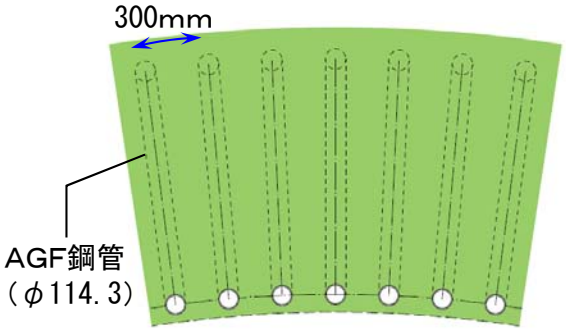
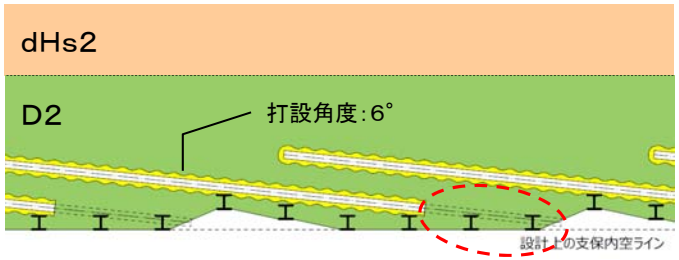
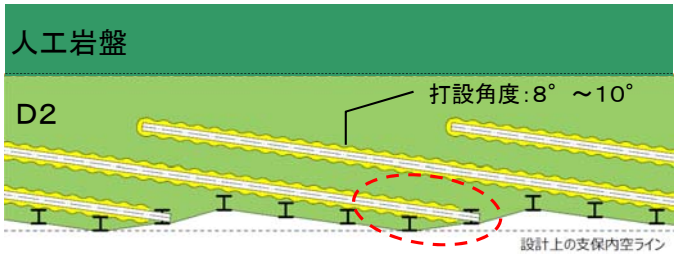
工法	工法概要	本現場への適用性	
フォアポーリング	切羽より斜め前方の地山に5m程度以下の長さのボルトやパイプ等を打設すると同時に超急結性のセメントミルクや薬液等を圧力注入し，切羽前方アーチ部の安定性を高める工法。	特に問題なし。	○
長尺フォアパイリング（AGF）	地山のアーチ作用が期待できない不安定な地山を補強し，先行変位を抑制するとともに切羽の安定化を図る工法。鋼管の周囲の地山にセメントミルクや薬液等を圧力注入し鋼管と注入材が一体となった改良体を造成することにより地山の補強を図る。 フォアポーリングと比較して，先受効果が高い。	特に問題なし。	○
パイプルーフ	掘削断面外側に鋼管を一定間隔で挿入設置し，鋼管内よりセメントミルクまたはモルタルを注入充填しパイプ外囲の地山のせん断強度を増すとともにパイプと地山を一体化してトンネル掘削面の外側に完全な防護を形成する工法。	パイプルーフを施工するためには，新たに立坑の設置や標準Ⅱ型部における切拡げが必要であり，本現場においては適用できない。	×
水平ジェットグラウト	切羽前方のトンネル外周部に長さ10m程度のパイル状改良体をアーチ上に造成する工法。	対象地山が未固結地山であり，本現場においては適用できない。	×
スリットコンクリート	切羽前方地山で掘削予定部分の外周部に，アーチシェル状の薄肉覆工をあらかじめ施工して，掘削時の切羽安定，地表面沈下抑制を図る工法。	対象地山が未固結地山であり，本現場においては適用できない。	×

比較表より，本現場で適用可能な先受工はフォアポーリングとAGFであるが，天端の安定だけではなく，地表面や地下埋設物等に対する対策としても有効であるAGFを採用することで，より安全に施工できると考える。
なお，AGFの注入材を検討するうえでは，試験施工を実施して最も有効な注入材を選定することとする。

1．大断面トンネル再掘削計画

（3）補助工法等の検討（ＡＧＦ）

切羽安定対策や天端安定対策として有効なAGFについて，より安全に施工するために施工時からの変更検討項目を整理した。

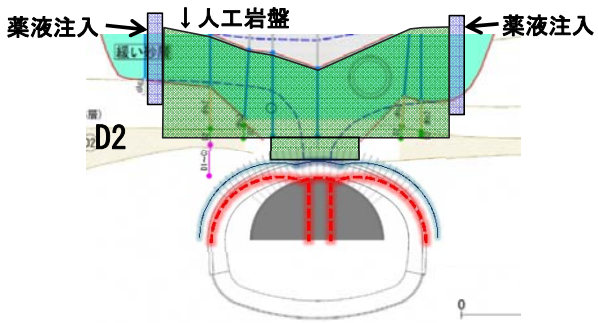
項目	施工時	計画案	変更による効果
打設間隔 （横断方向）	 ※イメージ図	 ※イメージ図	トンネル横断方向の打設ﾋﾟｯﾁを短くすることで，天端の緩み，抜け落ち防止効果を向上させる。
打設間隔 （縦断方向）	 AGF鋼管根元部の支持なし ※イメージ図	 AGF鋼管根元部の支持あり ※イメージ図	孔を開けた鋼製支保工を使用することで，AGF鋼管の根元部の支持効果を発揮させ，天端の緩み，抜け落ち防止効果を向上させる。 AGF-Φ専用ガイド支保工
注入材料	シリカレジン	試験施工により有効と考えられる注入材料を選定する（ウレタンまたはシリカレジン）。	浸透性がよく，強度が大きい注入材を採用することで，鋼管間の地山の緩み，抜け落ち防止効果を向上させる。

天端の緩みや抜落ち防止対策として，横断方向の打設間隔を300mmとするとともに，有効な注入材の採用，AGF-Φ工法を採用することで，より安全に施工できると考える。

１．大断面トンネル再掘削計画

（３）補助工法等の検討（断面形状の検討）

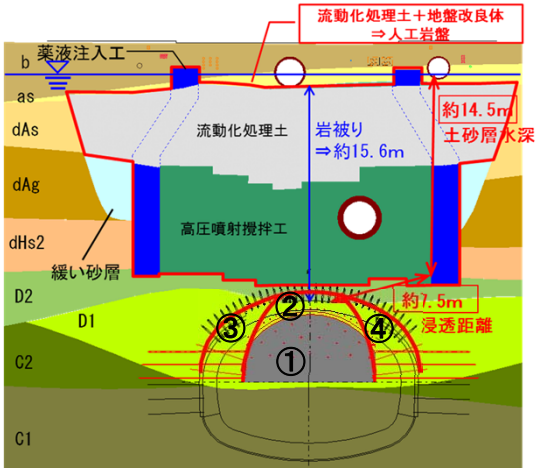
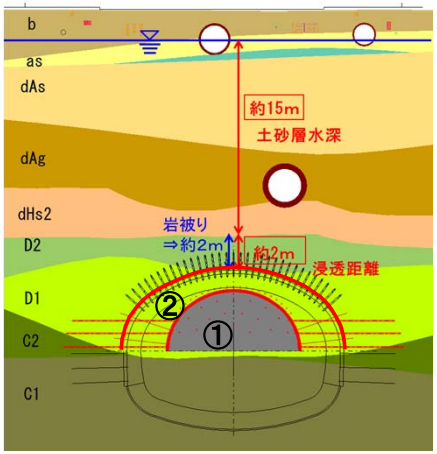
前回の委員会で討議した天端を下げる断面形状について，安全性や，施工性，メンテナンス性という観点で検討を行った。

		天端を下げる案
概要		・トンネル天端を中央導坑の天端程度に抑えた形状であり，中央導坑に仮設柱を設置したのち左右坑を拡幅する ・中柱設置により扁平化する断面形状に伴う課題が解消する。 ・シールド回転時に一時的に仮設柱を撤去する必要がある。
断面図		
安全性	地下水対策 （浸透破壊対策）	・天端を下げたことによりD1層内での掘削となるため，浸透破壊に対する検討が不要となる。 ・D2層まで抜落ちが生じた場合は，浸透距離は約5.1mとなる。
	天端安定化対策	・先受工を実施し，天端の安定化を図る。 ・仮設柱を設置することで施工中の扁平率を改善し天端の安定化を図る。
施工性	防水	断面形状が複雑なため，シート防水に加えて防水シート背面に後注入などが必要と考えられる。
	覆工	比較的大きなゆるみ土圧が作用した場合，仮設柱の撤去時に有害なひび割れが発生するリスクがあるとともに，覆工に発生する残留応力を解消するためのジャッキアップが必要となる。
メンテナンス性		仮設柱撤去時に有害なひび割れが発生するリスクがあり，構造的弱部となる可能性がある。 クラックには充填などの補修を行うが，長期的な維持管理において，コンクリートの中性化や漏水による鉄筋の腐食が生じる可能性がある。
その他		・残留応力についてはジャッキアップによってある程度の緩和が可能と考えられるが，その影響に関する検証が必要。 ・施工がやや複雑で工期が長くなる。

仮設柱を撤去した際に有害なひび割れが発生するリスクがあることや施工性の面で課題がある。

（4）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（打設ﾋﾟｯﾁ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（打設ﾋﾟｯﾁ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
安全性	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