

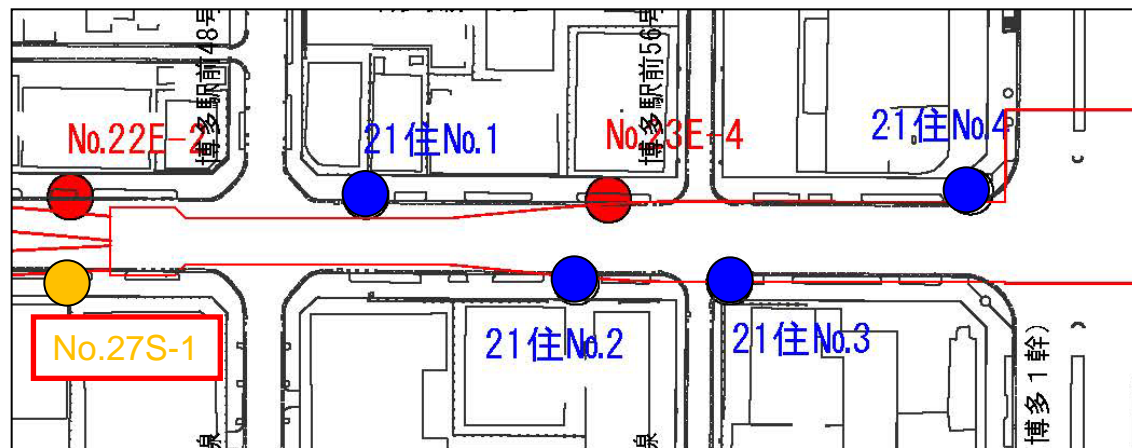
3 大断面トンネルの施工

(1) - 1 設計概要 (ボーリング調査)

平成27年10月に実施した追加のボーリング調査結果から当初想定よりも土砂層が厚いことが判明した。

a) 追加のボーリング調査

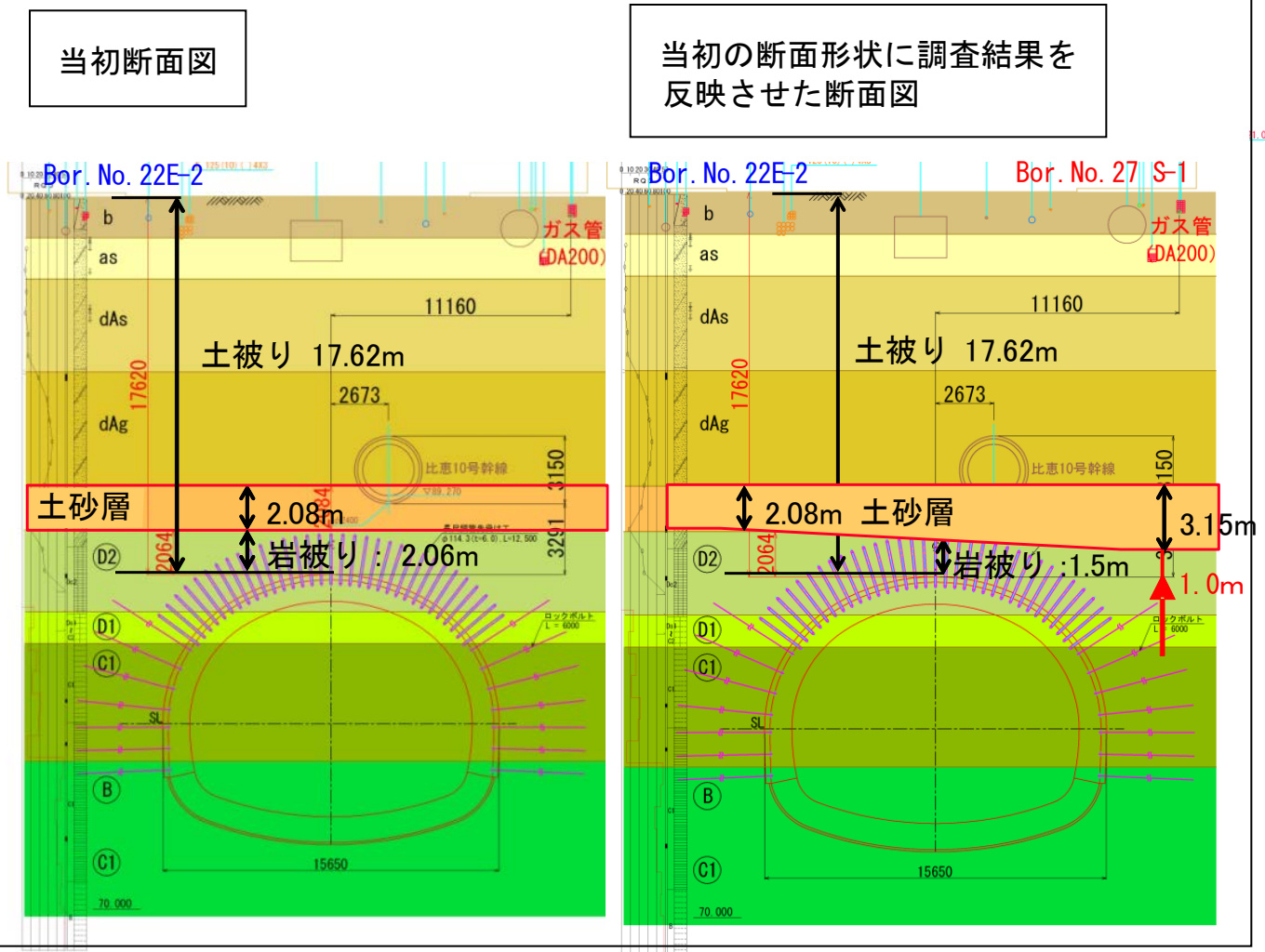
平成27年10月、JVが追加のボーリング (No. 27 S-1) を実施。調査結果から当初の想定よりも土砂層が厚いことが判明した。



凡例	
● (Red)	設計時ボーリング
● (Blue)	既存ボーリング
● (Yellow)	大成JVによる追加ボーリング

b) 断面形状の変更理由

当初設計における断面図と追加ボーリング結果を反映した断面図を下図に示す。これにより、当初設計では岩被り約2.1mであったものが、地層を見直した結果、岩被りが最小で1.0m程度となること判明したため、断面形状の変更に向け検討を開始した。



3 大断面トンネルの施工

(1) - 2 設計概要 (断面検討)

調査ボーリングなどの結果を踏まえ、大成JVからの提案を受け、トンネル断面を扁平（平ら）にした場合の安全性を検討し、施工に着手した。

調査ボーリング実施
(大成JV)

※調査の結果、岩被りが当初
想定よりも薄いことが分かった

断面変更の提案
(大成JV)

二次覆工の必要内空
断面について協議

※シールドUターンに
必要な断面を確保

断面変更案作成(大成JV)

- ・覆工コンクリート骨組解析
(大断面覆工コンクリート概略検討)

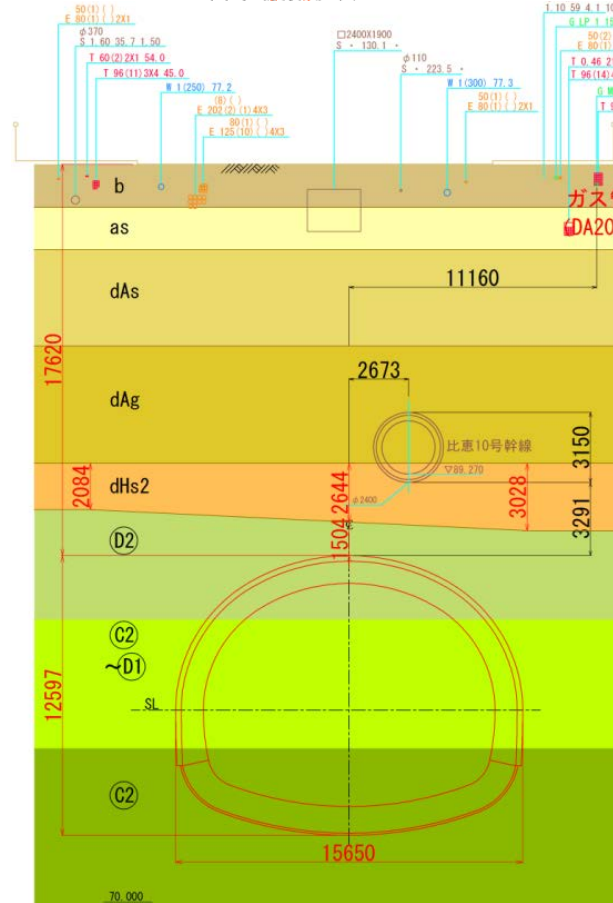
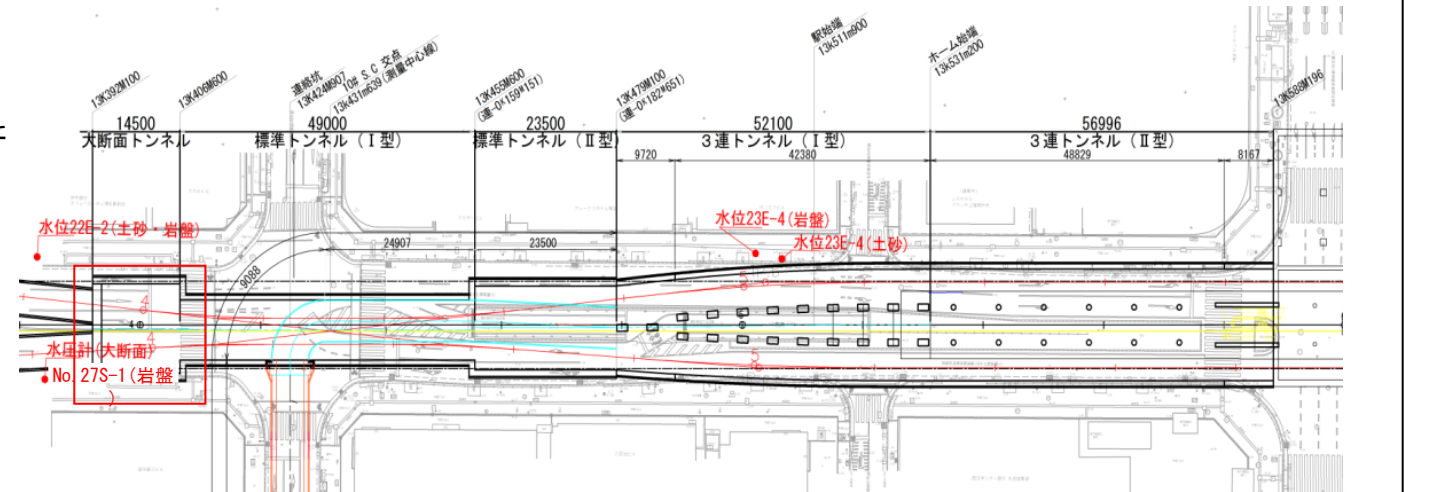
大成JV

- ・施工計画作成
(導坑掘削, 上半切掘削)
- ・FEM解析
(大断面トンネル掘削時の
再予測解析と管理基準値設定)

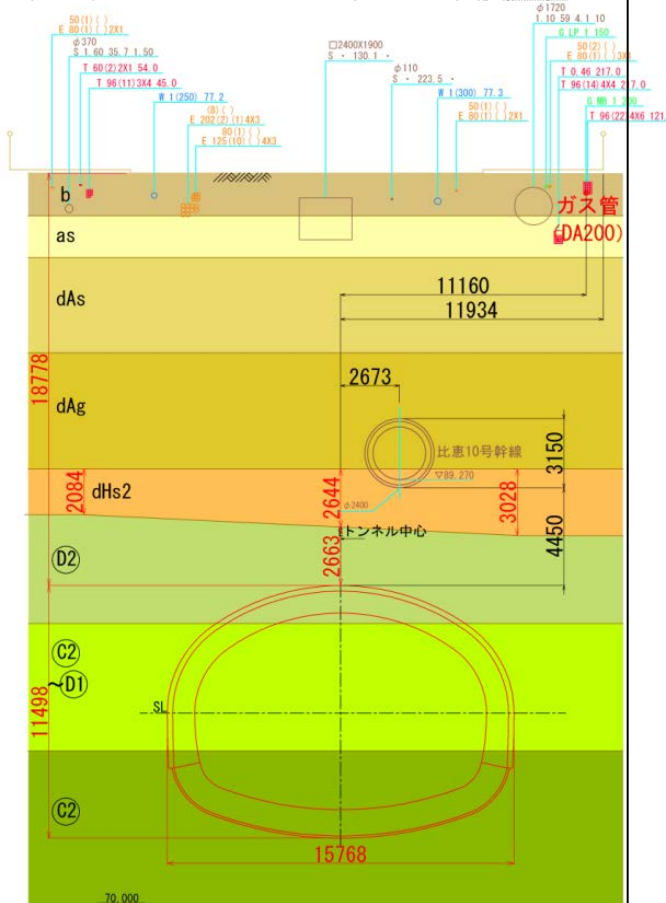
交通局・設計コンサルタント

- ・大断面部変更設計委託
(内空断面の検討
覆工の設計
上記に伴う支保工形状変更
及び概略応力チェック)

大断面部の施工



当初断面



変更断面

3 大断面トンネルの施工

(1) - 3 設計概要 (断面変更, 補助工法変更)

● 断面変更

・当初設計と追加ボーリング結果や掘削実績に基づいた地層分布の比較

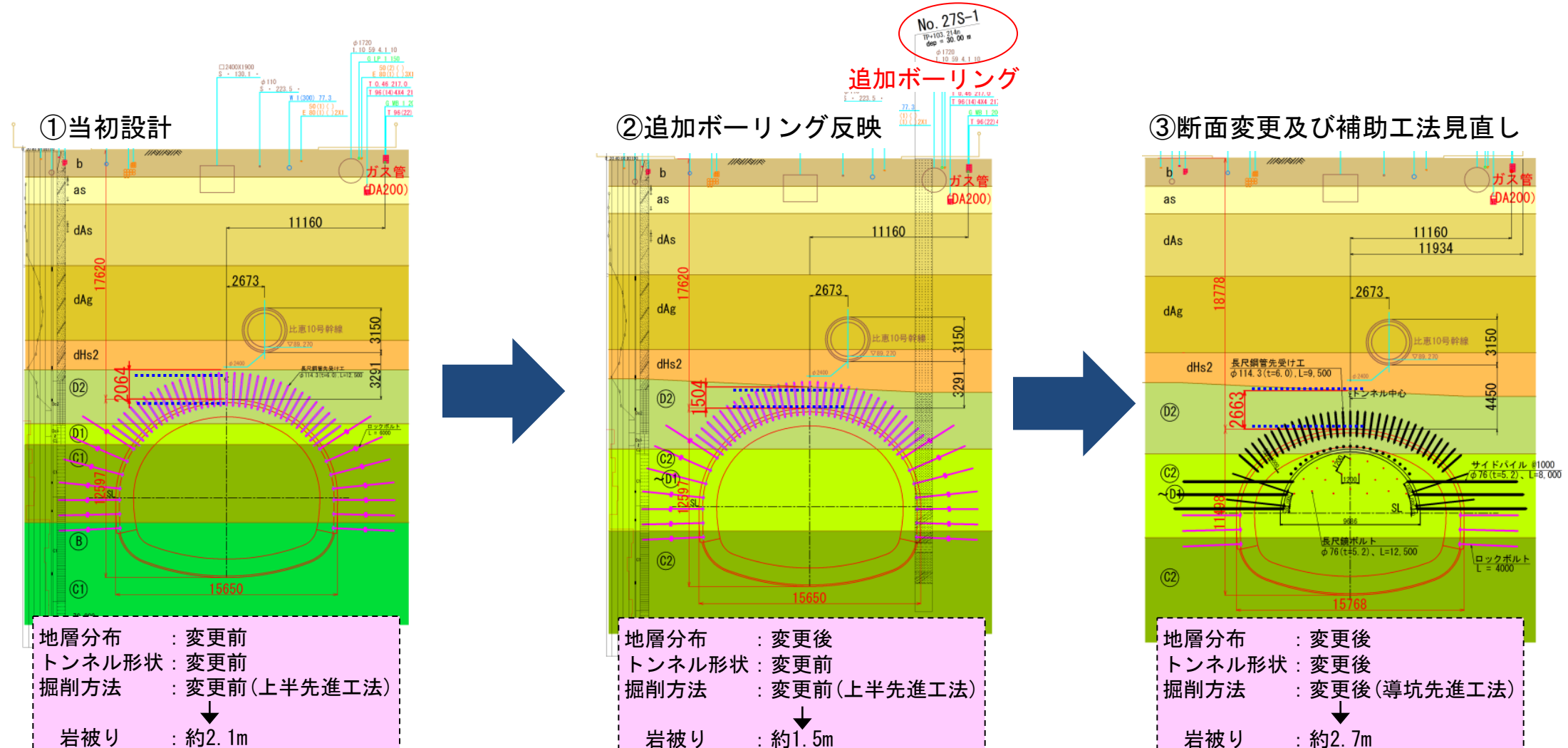
・追加ボーリング結果より、土砂層厚が増加し岩被りが約2.1mから約1.5mとなった。

・大断面トンネルの形状変更 (岩被り2m以上確保)

● 補助工法変更

・大成JVより、地上部からの薬液注入工について、地下埋設物が支障となり、十分な効果が上がらない可能性があることなどから、より安全な施工とするために、下記の提案があり、これを採用した。

- ・注入式長尺鋼管先受工二重化
- ・注入式サイドパイル工
- ・高強度吹付コンクリート工
- ・長尺鏡ボルト工



3 大断面トンネルの施工

(2) 事故発生時までの施工経緯

■平成28年10月6日(木)

10/6

大断面トンネル導坑掘削104基において、計測C(T-R EX)の計測値が比較的大きな値であった。

■平成28年10月7日(金)

10/7

大断面トンネル導坑掘削102基において、計測C(T-R EX)の計測値が比較的大きな値であった。

■平成28年11月7日(火)～8日(水)

11/7

17:00頃 計測B(鋼製支保工応力測定) 一次管理値超過

19:25～20:15 夜勤作業前打合せ, 朝礼, KY等

19:30頃 JV 計測データを確認

20:15～20:40 大断面トンネル拡幅上半No.104基 鋼製支保工建込

20:40～23:30 大断面トンネル拡幅上半No.104基 二次吹付けコンクリート

11/8

23:30～00:40 大断面トンネル拡幅上半No.103基 掘削準備

00:40頃 大断面トンネル拡幅上半No.103基 掘削開始

01:00頃 計測B(鋼製支保工応力測定) 二次管理値超過

計測B(吹付けコンクリート応力測定) 一次管理値超過

02:00頃 計測B(鋼製支保工応力測定) 三次管理値超過

04:25頃 連続的な肌落ち, AGF鋼管間の部分的な肌落ち

04:50頃 切羽天端からの異常出水(最初は濁り水)

0.25m³程度の黒色塊が落下, 水と砂が大量に押し寄せる

重機を切羽後方へ, 退避指示

05:00頃 全員(9名)地上へ退避完了

05:15頃 舗装クラック発生【陥没事故発生】

05:20頃 道路南側陥没

05:30頃 道路北側陥没

07:20頃 道路中央陥没

104基掘削完了写真(11月7日昼勤)



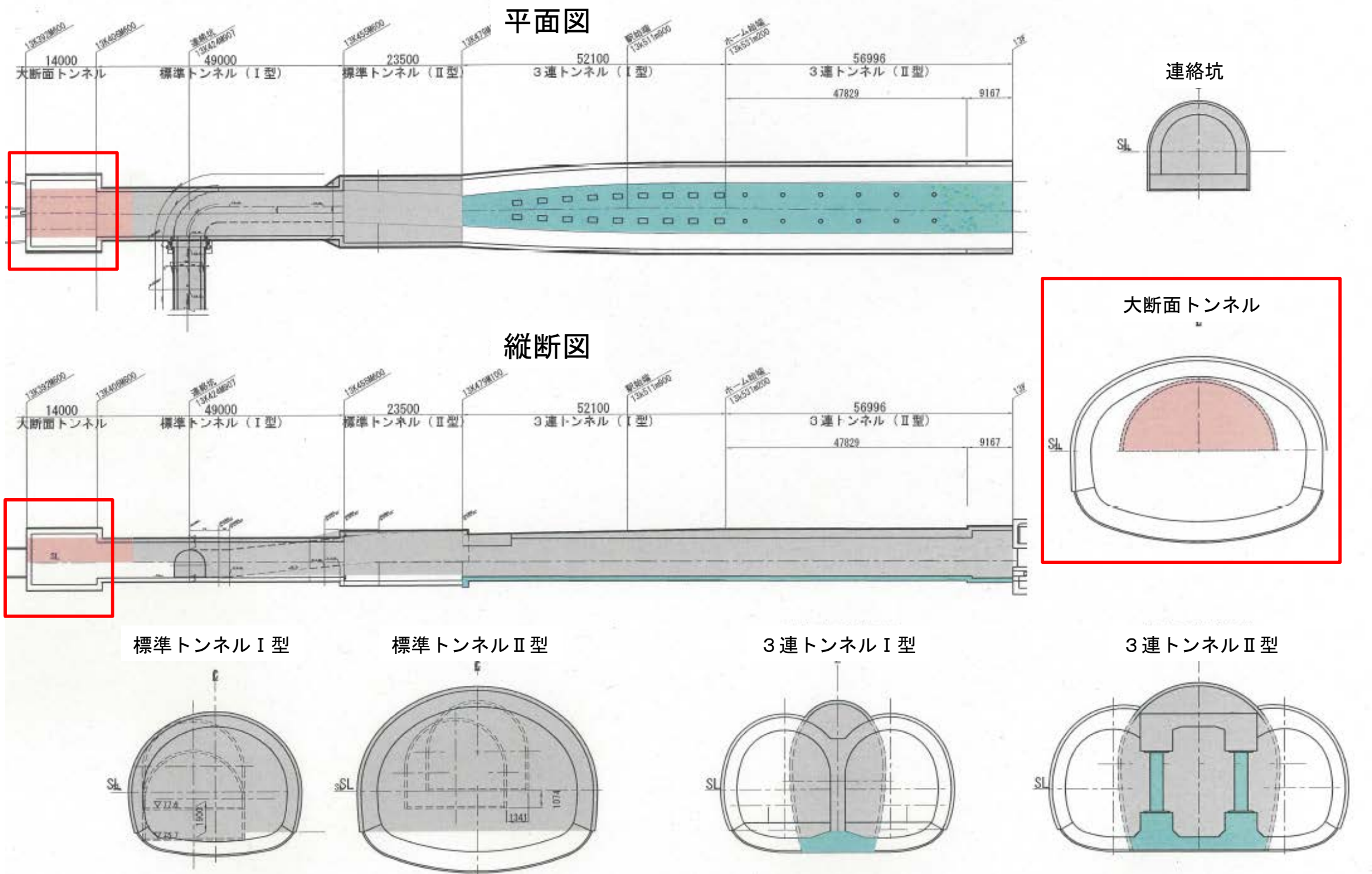
103基肌落ち状況写真(11月7日夜勤)



3 大断面トンネルの施工

(3) - 1 大断面トンネル掘削手順 (①先進導坑掘削)

標準トンネル I 型上半掘削+大断面トンネル先進導坑掘削



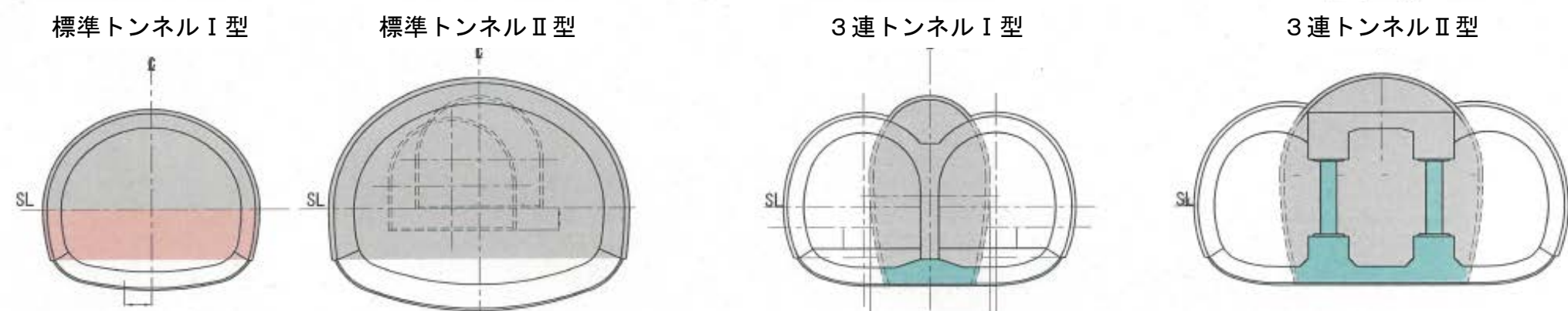
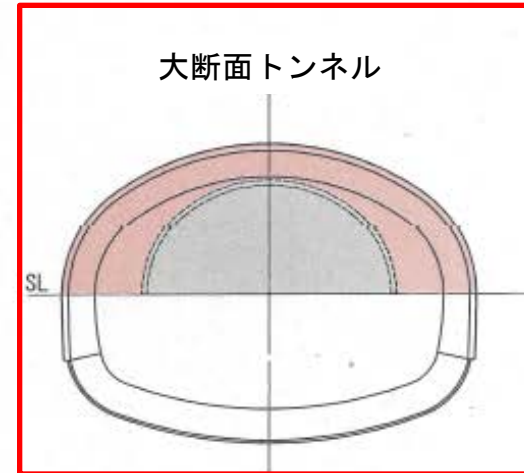
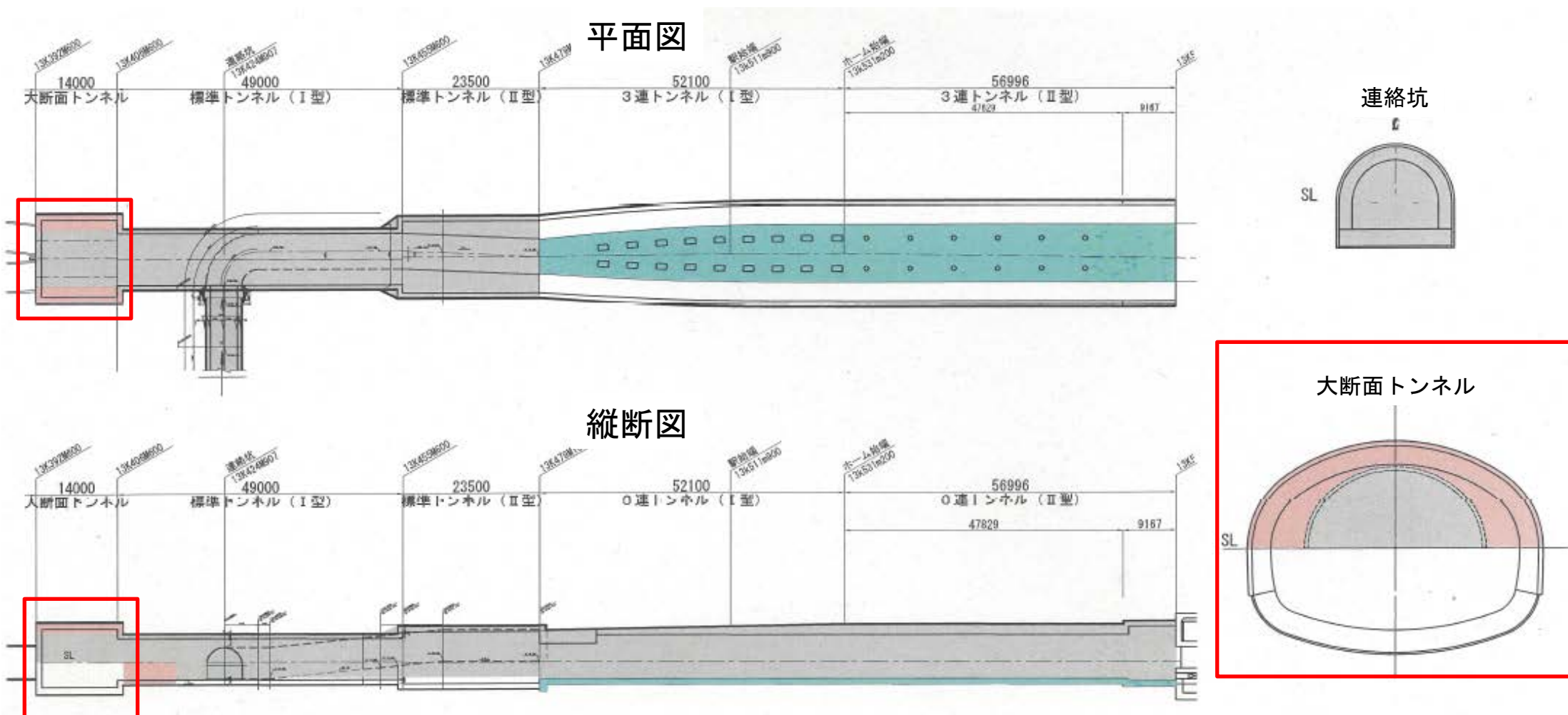
施工時期：平成28年9月～平成28年10月

凡例	
	施工中
	施工完了
	躯体構築

3 大断面トンネルの施工

(3) - 2 大断面トンネル掘削手順 (②上半拡幅掘削)

標準トンネル I 型下半掘削+大断面トンネル上半切拡げ掘削



施工時期：平成28年10月～平成28年11月（事故発生まで）

凡例	
	施工中
	施工完了
	躯体構築

3 大断面トンネルの施工

(3) - 3 大断面トンネル掘削手順 (掘削ステップ写真)

※写真は、先進導坑掘削時の状況

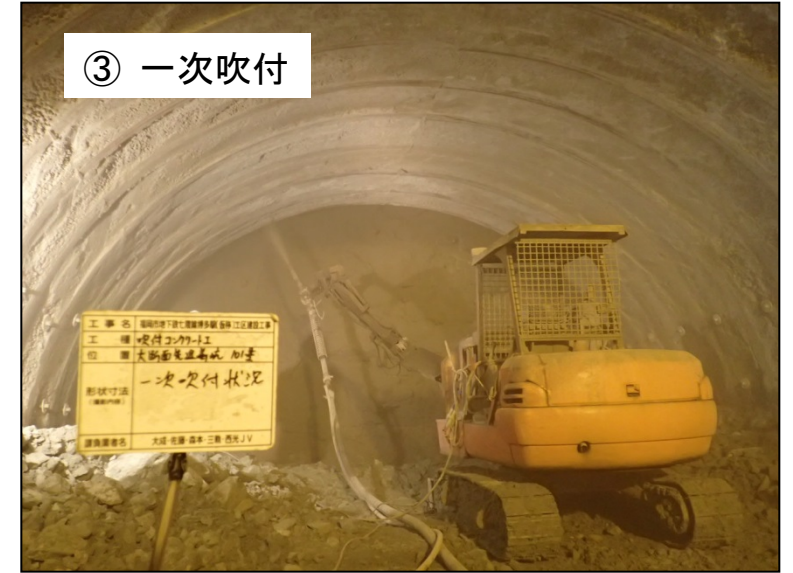
① AGF施工



② 掘削・ずり出し



③ 一次吹付



⑥ ロックボルト



⑤ 二次吹付



④ 鋼製支保工建込



⑦ サイドパイル



① AGF施工 (2サイクル目)



- ・ 先進導坑掘削
①～⑦の基本サイクルを繰り返して、トンネルを掘削する。
- ・ 拡幅掘削
①～⑤の基本サイクルを繰り返して、トンネルを掘削する。

3 大断面トンネルの施工

(4) - 1 計測管理 (計画)

博多駅工区のナトム施工については、福岡市の中心市街地に位置する博多駅周辺であることや地質形成が複雑で、地下水の水位が高く、風化した岩盤部が分布していることなど、より慎重な施工が求められることから、トンネル掘削前から計測を実施し、いち早く地盤変状を察知しながら、適切な対策を講じるとともに、次の工程の施工に反映させ、安全・確実な施工となるよう計画している。

施 工 条 件

●ナトム区間の施工条件

- ① 土被り・岩被りが小さい
(最小土被り約17m・最小岩被り約2m)
- ② 大断面掘削がある。
(大断面トンネル：約160m²)
- ③ トンネル天端部に風化した岩盤が連続して出現

★切羽・天端・支保などの
安全確保に対する監視が必要

●周辺環境の制約条件

- ① 幹線道路の地表面沈下の抑制
- ② 地下埋設物(下水幹線・ガス管)の変位抑制
- ③ 地下車路の変位抑制
- ④ 建物の変位抑制 → 計測A

★トンネル掘削への影響
(特に地盤変位の抑制と監視)

トンネル掘削の安全性

計測 A

切羽の自立性や周辺地山の安定性及び、地表面等の安定を判断するために、計測断面を一定間隔で設定し、実施する。

計測 B

地山挙動や現状の一次支保パターンの妥当性及び影響を検討するために、代表的な断面に対し実施する。

第三者施設の保全

計測 C

切羽到達以前より、掘削に伴う幹線道路の地表面沈下計測や地下埋設物(下水幹線等)の沈下計測等を行い、影響を監視する。

地下車路計測 (変位測定等)

岩盤物性値の調査

岩盤の変形係数を取得することにより、解析(FEM)結果の妥当性を検証するとともに、補助工法の追加等を検討する。

- ・ 日常管理試験 (針貫入試験)
- ・ 定期管理試験 (孔内載荷試験)

安全・確実な施工 (地盤変状等への早期対応, 次工程へフィードバック)

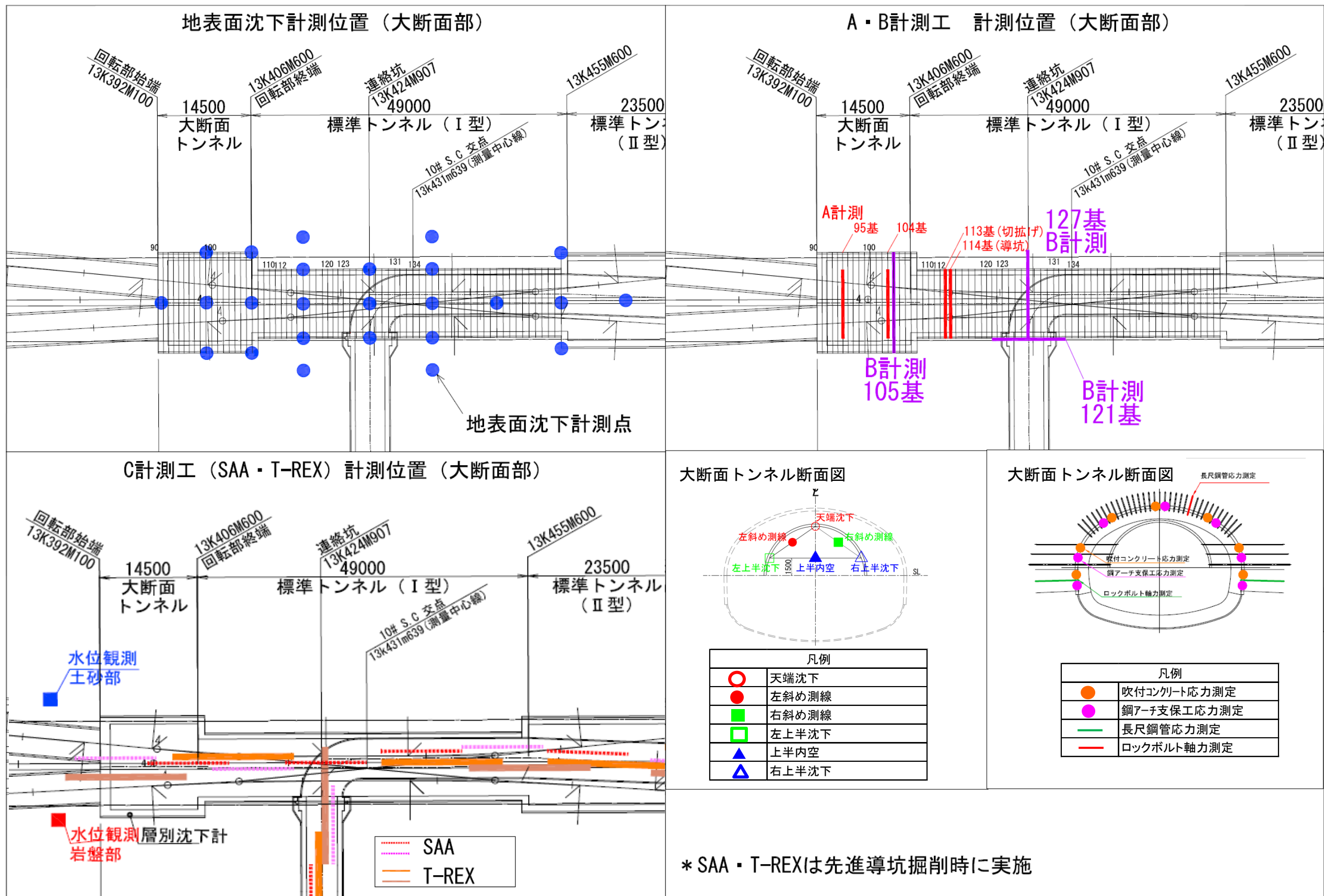
(4) - 2 計測管理 (施工計画書 計測項目別一覧表)

計測項目	計測内容	計測目的	計測・試験頻度
計測A	①地表面沈下 ②天端沈下 内空変位 ③切羽観察 (湧水量) ④建築物の沈下	①周辺地盤の挙動確認 ②地山の安定性, 施工の検討 ③施工の安全管理, 設計・施工の検討 ④周辺構造物の安全性の確認	①切羽手前5D~切羽手前2D 1回/1時間 切羽手前2D~切羽通過5D 1回/10分 切羽5D通過後 (a)未収束の場合 1回/1時間 (b)収束した場合 計測終了 ②切羽から0~2D 1回/1日 切羽から2~5D 1回/2日 2次覆工 1回/1週 ③切羽毎 ④切羽通過前・通過後・竣工前 各1回
計測B	⑤吹付コンクリート応力 ⑥鋼製支保工応力 ⑦ロックボルト軸力 ⑧AGF鋼管応力	⑤~⑧ 設計の安全性・妥当性の検討	⑤~⑧ 自動計測 1回/1時間
計測C	⑨地表面沈下 ⑩地下水位 ⑪ガス管沈下 ⑫下水幹線相対沈下 ⑬先行天端沈下 SAA ⑭切羽前方変位 T-REX	⑨設計の安全性・妥当性の検討 ⑩設計の安全性・妥当性の検討 ⑪周辺埋設物の安全性の確認 ⑫周辺埋設物の安全性の確認 ⑬設計の安全性・妥当性の検討, 全線に渡る天端沈下 (先行変位を含む) の監視, 全線に渡る切羽前方地山の異常の先行把握 ⑭設計の安全性・妥当性の検討, 全線に渡る切羽前方地山の異常の先行把握	⑨, ⑩ 切羽手前5D~切羽手前2D 1回/1時間 切羽手前2D~切羽通過5D 1回/10分 切羽5D通過後 (a)未収束の場合 1回/1時間 (b)収束した場合 計測終了 ⑪トンネル掘削~支保工完了まで 1回以上/1日 コンクリート工~防水工完了まで 1回以上/3日 防水工完了~地盤安定まで 1回以上/1週間 ⑫1回/1時間 ⑬1回/1時間 ⑭2回/掘削日
地計下測車路	⑭鉛直変位測定 ⑮傾斜 ⑯目地変位測定 ⑰環境温度 ※大断面トンネル掘削時の計測対象外	⑭~⑰ 設計の安全性・妥当性の検討	⑭~⑰ 自動計測 1回/1時間 ・事前観測 (本計測開始前の1ヶ月間) ・本計測 ・事後計測 (影響工事終了後1ヶ月間)

※D: トンネル外径

3 大断面トンネルの施工

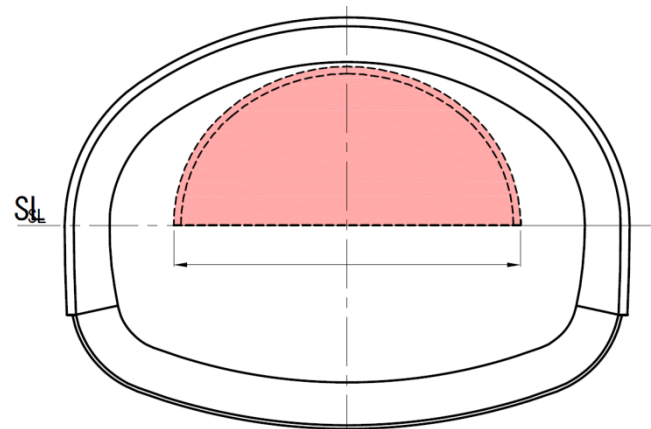
(4) - 3 計測管理 (位置図・断面図)



3 大断面トンネルの施工

(4) - 4 計測管理 (先進導坑掘削 計測管理基準値)

各計測値に対して管理基準値を定め、各管理基準値を超えた場合など、
変状発生時は協議を行うよう特記仕様書により条件明示。



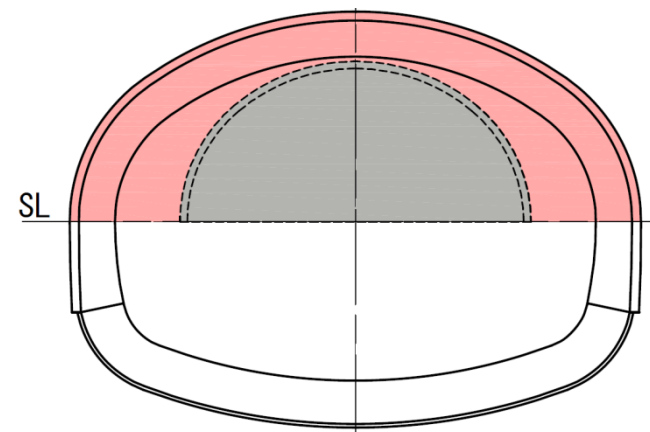
計測管理基準値 (施工計画書)

計測項目		管理基準値 (1次)	管理基準値 (2次)	管理基準値 (3次)
各基準値を超えた場合の対応		注意体制 B	要注意体制 C	嚴重注意体制 D
計測 A	地表面沈下	-2.6mm	-4.1mm	-5.1mm
	天端沈下	管理値は設定しない		
	内空変位	管理値は設定しない		
	切羽観察	肌落ちあり	小崩落あり	自立困難
	湧水量	多量出水と判断された場合	異常出水と判断された場合	発注者と協議
	建築物の沈下	-15mm	-22mm	-30mm
計測 B	吹付コンクリート応力	未計測		
	鋼製支保工応力	未計測		
	ロックボルト軸力	未計測		
	A G F 鋼管応力	未計測 (A G F の応力変形挙動の把握に使用)		
計測 C	地表面沈下	-2.6mm	-4.1mm	-5.1mm
	地下水位 (土砂部)	管理値は設定しない (地下水位低下に起因した沈下の推定等に使用)		
	地下水位 (岩盤部)	管理値は設定しない (地下水位低下に起因した沈下の推定, 切羽安定性を評価する上で前方の水圧等の把握に使用)		
	ガス管沈下	-6.0mm	-9.6mm	-12.0mm
	下水幹線相対沈下	0.8mm	1.3mm	1.7mm
	先行天端沈下 (S A A)	管理値は設定しない (先行変位確認などに使用)		
	切羽前方変位 (T - R E X)	管理値は設定しない (不良地山出現の先行把握などの使用)		

3 大断面トンネルの施工

(4) - 5 計測管理 (拡幅掘削 計測管理基準値)

各計測値に対して管理基準値を定め、各管理基準値を超えた場合など、
変状発生時は協議を行うよう特記仕様書により条件明示。

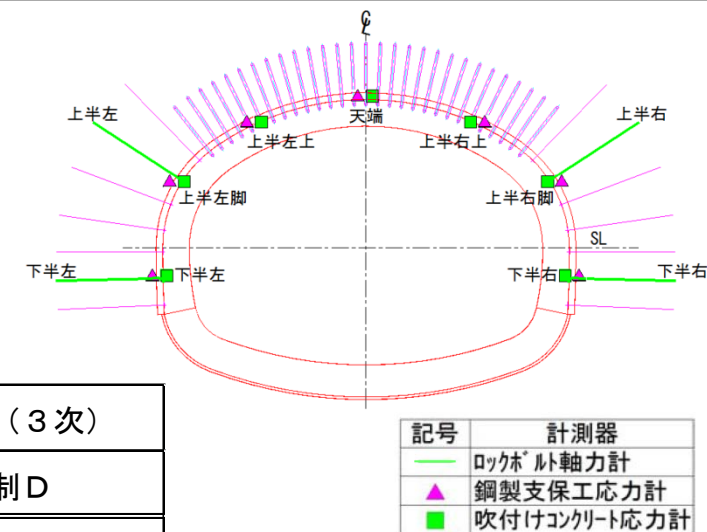


計測管理基準値 (施工計画書)

計測項目		管理基準値 (1次)	管理基準値 (2次)	管理基準値 (3次)
各基準値を超えた場合の対応		注意体制 B	要注意体制 C	嚴重注意体制 D
計測 A	地表面沈下	-14.9mm	-23.8mm	-29.7mm
	天端沈下	-11.9mm	-19.1mm	-23.8mm
	内空変位	±23.8mm	±38.2mm	±47.6mm
	切羽観察	肌落ちあり	小崩落あり	自立困難
	湧水量	多量出水と判断された場合	異常出水と判断された場合	発注者と協議
	建築物の沈下	-15mm	-22mm	-30mm
計測 B	吹付コンクリート応力	別表のとおり (P 18 参照)		
	鋼製支保工応力	別表のとおり (P 18 参照)		
	ロックボルト軸力	別表のとおり (P 18 参照)		
	A G F 鋼管応力	管理値は設定しない (A G F の応力変形挙動の把握に使用)		
計測 C	地表面沈下	-14.9mm	-23.8mm	-29.7mm
	地下水位 (土砂部)	管理値は設定しない (地下水位低下に起因した沈下の推定等に使用)		
	地下水位 (岩盤部)	管理値は設定しない (地下水位低下に起因した沈下の推定、切羽安定性を評価する上で前方の水圧等の把握に使用)		
	ガス管沈下	-33.8mm	-54.0mm	-67.5mm
	下水幹線相対沈下	4.3mm	6.8mm	8.5mm
	先行天端沈下 (S A A)	未計測 (先行変位確認などに使用)		
	切羽前方変位 (T - R E X)	未計測 (不良地山出現の先行把握などの使用)		

3 大断面トンネルの施工

(4) - 6 計測管理 (別表: 計測管理基準値)



1) 大断面拡幅掘削 吹付けコンクリート応力管理基準値 (計測B)

計測位置	予測解析値	管理基準値 (1次)	管理基準値 (2次)	管理基準値 (3次)
各管理基準値を超えた場合の対応		注意体制B	要注意体制C	嚴重注意体制D
天端応力度	3. 3N/mm ²	6. 3N/mm ²	10. 1N/mm ²	12. 6N/mm ²
上半左上応力度	4. 3N/mm ²	8. 3N/mm ²	13. 2N/mm ²	16. 5N/mm ²
上半右上応力度	4. 2N/mm ²	8. 1N/mm ²	12. 9N/mm ²	16. 1N/mm ²
上半左脚応力度	4. 4N/mm ²	8. 5N/mm ²	13. 5N/mm ²	16. 9N/mm ²
上半右脚応力度	4. 4N/mm ²	8. 5N/mm ²	13. 5N/mm ²	16. 9N/mm ²

2) 大断面拡幅掘削 鋼製支保工応力管理基準値 (計測B)

計測位置	予測解析値	管理基準値 (1次)	管理基準値 (2次)	管理基準値 (3次)
各管理基準値を超えた場合の対応		注意体制B	要注意体制C	嚴重注意体制D
天端応力度	117. 9N/mm ²	58N/mm ²	93N/mm ²	117N/mm ²
上半左上応力度	150. 7N/mm ²	75N/mm ²	120N/mm ²	150N/mm ²
上半右上応力度	151. 7N/mm ²	75N/mm ²	120N/mm ²	151N/mm ²
上半左脚応力度	159. 9N/mm ²	79N/mm ²	127N/mm ²	159N/mm ²
上半右脚応力度	161. 7N/mm ²	80N/mm ²	128N/mm ²	161N/mm ²

3) 大断面拡幅掘削 ロックボルト軸力管理基準値 (計測B)

計測位置	予測解析値	管理基準値 (1次)	管理基準値 (2次)	管理基準値 (3次)
各管理基準値を超えた場合の対応		注意体制B	要注意体制C	嚴重注意体制D
上半左応力度	2. 9N/mm ²	2. 8N/mm ²	4. 5N/mm ²	5. 6N/mm ²
上半右応力度	2. 1N/mm ²	2. 1N/mm ²	3. 3N/mm ²	4. 1N/mm ²