

地下鉄七隈線博多駅(仮称)工区建設工事

《ナトム大断面トンネルの施工における計測管理について》

平成29年2月

福岡市交通局

〈今回の報告にあたって〉

平成28年11月8日未明に発生しました七隈線延伸工事に伴う道路陥没事故につきましては、市民の皆さまにわかりやすい情報発信を行うよう努めているところでございます。

平成29年1月16日には、事故に関することや設計・施工の経緯について、体系的にまとめたものを公表したところです。

これに加えて、今回、道路陥没が発生したナトム区間大断面トンネル部の施工の経緯について、計測管理を中心にまとめましたので、公表することにいたします。

様々な計測データを掲載しておりますが、これらのデータと事故の関係については、原因究明を行う検討委員会において明らかにされるものと考えております。

今後とも、市民の皆さまによりわかりやすい情報発信に努めるとともに、様々な課題の解決に真摯に取り組んでまいります。

福岡市交通事業管理者
阿部 亨

目次 . . .

- 1 博多駅（仮称）工区建設工事 ナトム区間の施工概要 (P 1)
- 2 ナトム工法について
 - (1) ナトム工法とは (P 2 ~ 4)
 - (2) ナトム工法における観測・計測の役割 (P 5)
- 3 大断面トンネルの施工
 - (1) 設計概要 (P 6 ~ 8)
 - (2) 事故発生時までの施工経緯 (P 9)
 - (3) 大断面トンネルの掘削手順 (P 10 ~ 12)
 - (4) 計測管理 (P 13 ~ 18)
- 4 大断面トンネル施工時の計測データ
 - (1) 計測にあたっての留意事項 (P 19)
 - (2) 計測結果に対する対応 (P 20)
 - (3) 計測データ (P 21 ~ 30)

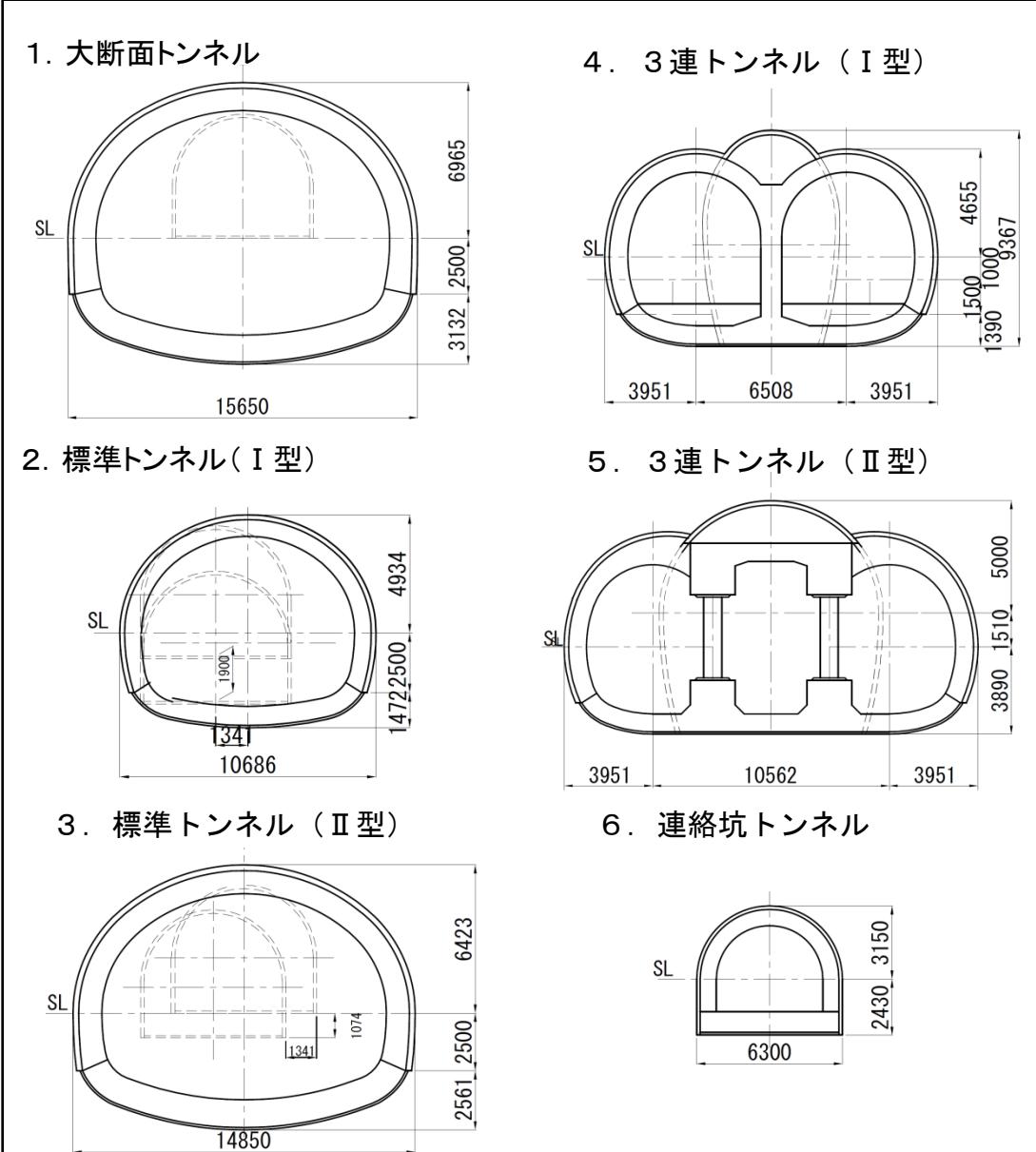
1 博多駅(仮称)工区建設工事 ナトム区間の施工概要

○工事概要

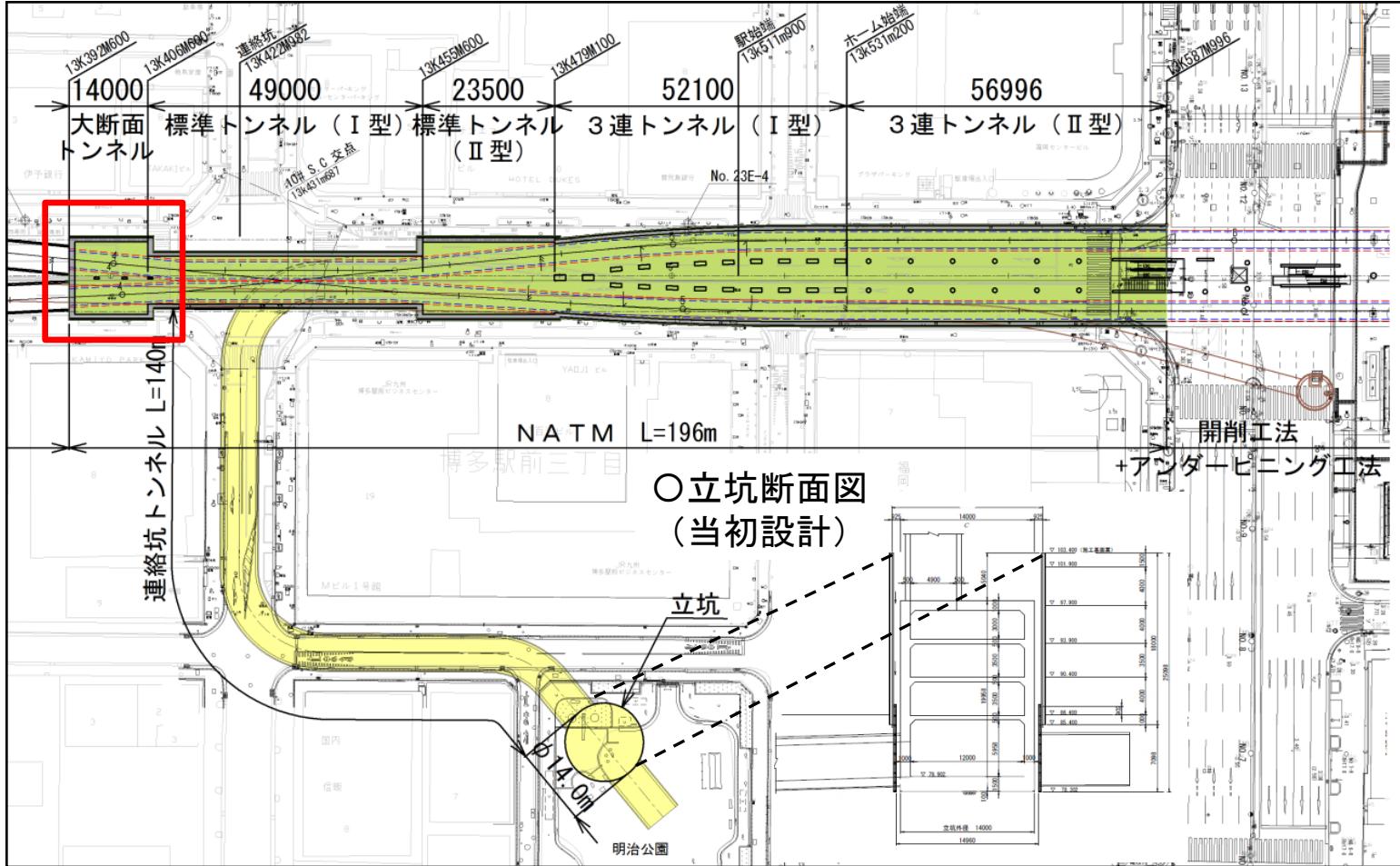
工事名 福岡市地下鉄七隈線博多駅(仮称)工区建設工事	
工期	平成25年12月5日から平成31年3月15日まで
受注者	大成・佐藤・森本・三軌・西光建設工事共同企業体
工事延長	L=279.3m
山岳トンネル工法(NATM)	L=195.6m
開削工法, アンダーピニング工法	L=83.7m
契約金額※	11,298,000,000円

※建設工事の契約金額は、当初契約を記載

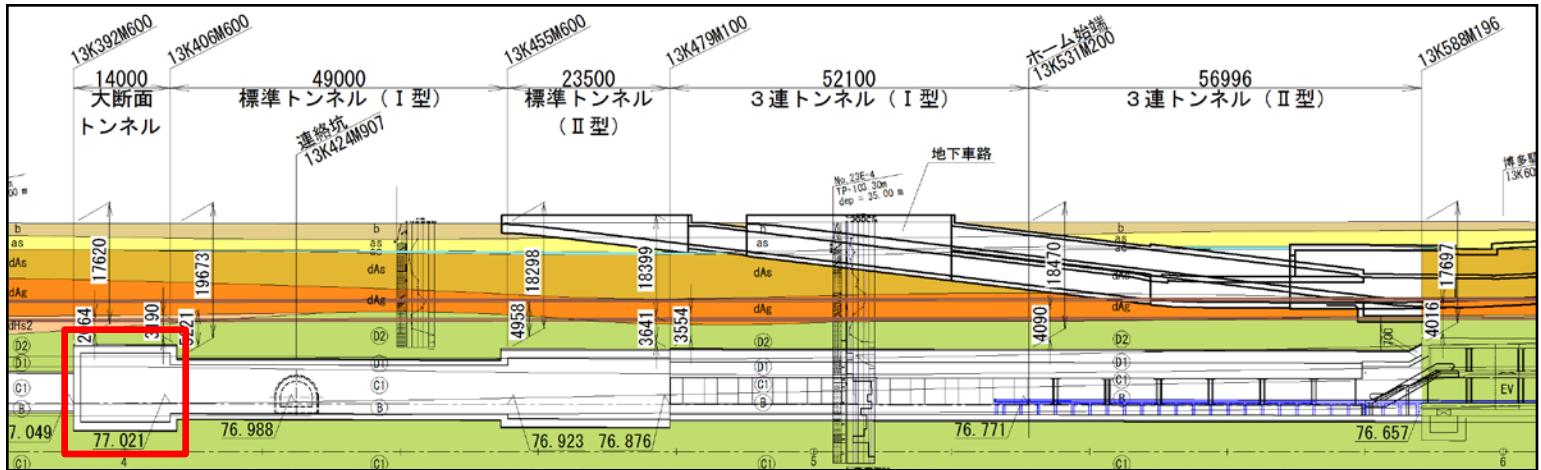
○各断面図(当初設計)



○平面図(当初設計)



○縦断面図(当初設計)



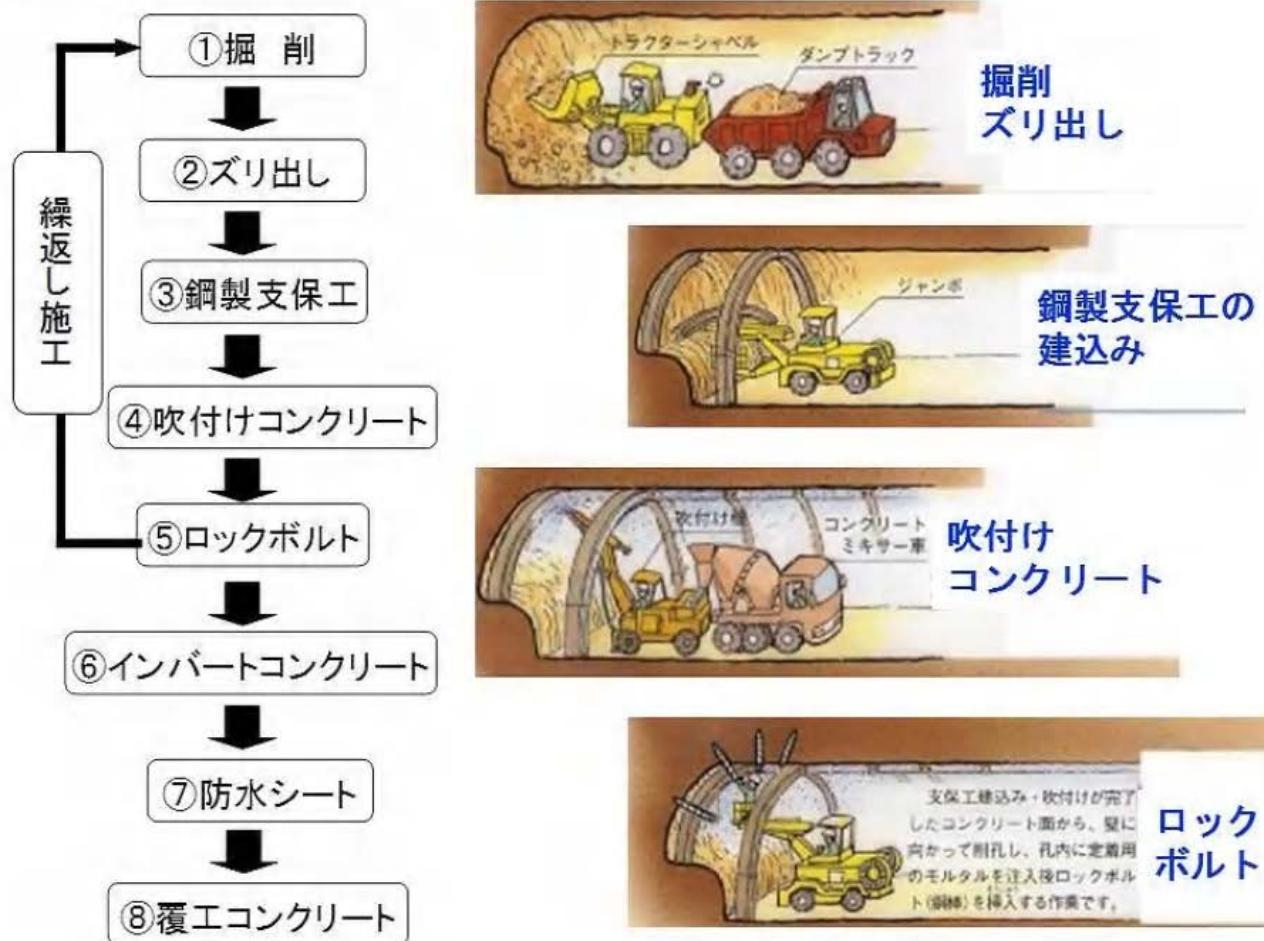
2 ナトム工法について

(1) -1 ナトム工法とは

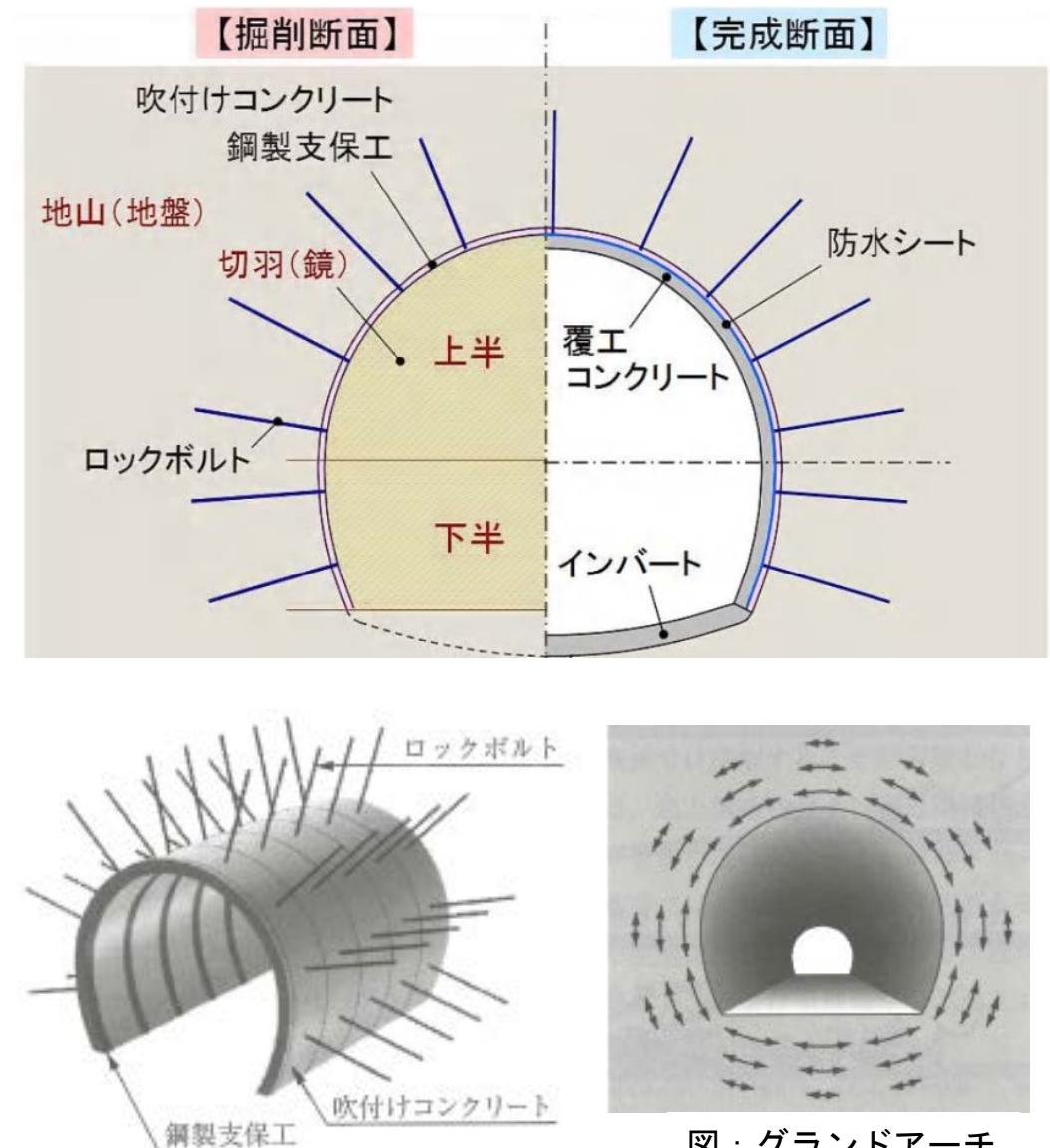
○ナトム工法の特徴

- 1) NATM(New Austrian Tunneling Method)は、トンネル周囲の地盤がトンネルを支えようとする保持力(グランドアーチ)を利用するため、掘削した岩盤の緩みが小さいうちに、早期にコンクリートを吹き付け、鋼製支保工を建て込み、ロックボルトを打設して、地盤の安定を確保しながらトンネルを掘進する工法であるため、施工中において、切羽(掘削前面の地盤)の観察やトンネルの挙動などを計測し、その結果を設計と施工に反映させ、必要に応じた対策(設計変更)を講じながら施工することが特徴である。
- 2) このため、トンネルに作用する荷重は、トンネル周辺の地盤と一次支保(鋼製支保、ロックボルト、吹き付けコンクリート)が受け持つことから、掘削時の切羽の観察やトンネルの挙動などを計測し、設計・施工に反映させることが安全な施工を行ううえで特に重要となってくる。

○ナトム工法施工手順



○ナトム工法掘削断面



図：グランドアーチ

(1) —2 ナトム工法とは

○日本でのナトム工法の採用

- 1) ナトム工法は、1960（昭和35）年にオーストリアのトンネル技術者L・V・Rabcewicz（ラディスラウス・フォン・ラブセビッツ）が提唱した主に山岳部のトンネルに採用される工法の一つである。
- 2) 日本では、1977（昭和52）年に上越新幹線中山トンネルで強大な地圧（膨張性地圧）の作用によって難航していた区間に初めて採用され成功を収めた。
- 3) その後、当時の国鉄と鉄道公団のトンネル建設に次々に採用され、1980（昭和55）年頃には早くも山岳トンネルの標準工法と位置付けられるようになった。
- 4) ナトム工法の本格採用により、膨張性地山、含水未固結地山、小土被り、高地熱、有害ガスなど多様な地盤・環境条件において施工実績が積み上げられ、掘削、支保、覆工などの施工技術が飛躍的な進展を遂げ、施工箇所の対象を都市部へ拡大してきた。

○ナトム工法の都市部への適用

- 1) 日本の大都市は軟らかい地盤に位置しているため、地下鉄建設は、地盤変位や地下水位の低下が生じにくいシールド工法や開削工法と呼ばれる都市トンネル工法によることが一般的であった。しかし近年では、適切な対策工（補助工法）を併用することにより、都市部の土被りが小さく地下水位以下にある低固結あるいは未固結の地盤に対しても適用することが可能となり、施工例も増えてきている。
- 2) これは、ナトムの特徴であるトンネルの形状を自由に変えることができることや、軟らかい地盤でも安全に掘削できる技術が飛躍的に進んだことによるもので、他都市の事例を挙げると、
 - ・側壁導坑を先行して施工するサイロット工法の成田空港トンネル（1981「昭和56」年完成）
 - ・大断面の横浜市営地下鉄三ツ沢上野駅（1982「昭和57」年完成）
 - ・都心部初の京葉線京橋トンネル（1988「昭和63」年完成）
 - ・CRD工法の東葉高速鉄道習志野台トンネル（1993「平成5」年完成）
 - ・営業線直下施工の東急東横線反町トンネル（2004「平成16」年完成）など多数あり、都市部でも安全に施工できることが実証されている。また、本市地下鉄においても、十分な施工実績がある。

2 ナトム工法について

(1) —3 ナトム工法とは

○福岡市地下鉄ナトム工法の施工実績

路線名	工区	施工延長 (m)	断面形状	掘削幅 (m)	平均土被り (m)	最小岩被り (m)	対象地盤	施工着手年月
空港線	中比恵西	240	複線	10.4~16.5	12.8	1.4	風化頁岩	昭和63年5月
	中比恵東	329	複線	10.4~11.0	12.5	2.0	風化頁岩	昭和63年5月
	空港	65	単線 複線	5.6~12.5	7.9	1.6	風化 花崗岩	昭和63年2月
七隈線	梅林	595	単線	5.6	17.7	8.8	風化 花崗岩	平成11年3月
	別府	630	単線 複線	5.6~9.0	8.1~10.2	2.1	風化頁岩 礫岩 砂岩	平成10月1月
	六本松	68	複線	9.5	7.7	—	風化頁岩 礫岩 砂岩	平成9年2月
	桜坂	645	単線 複線	5.2~12.4	9.0~11.4	3.0	風化頁岩 礫岩 砂岩	平成9年5月
	薬院西	837	単線 複線	5.7~12.9	8.4~12.0	1.6	風化頁岩 礫岩 砂岩	平成8年12月
	薬院	28	単線	5.2	8.8	—	洪積層砂礫 粘性土	平成9年10月

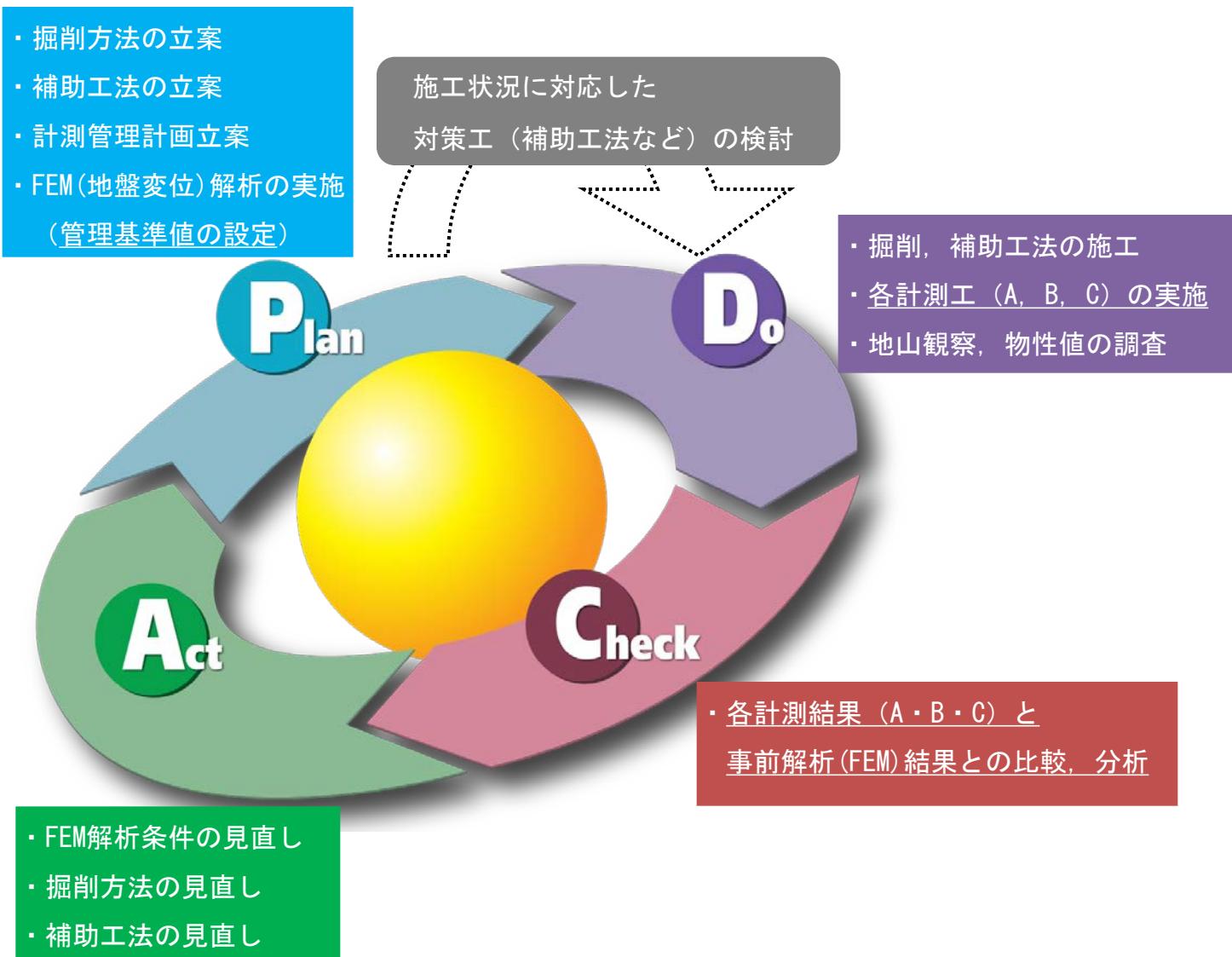
2 ナトム工法について

(2) ナトム工法における観測・計測の役割

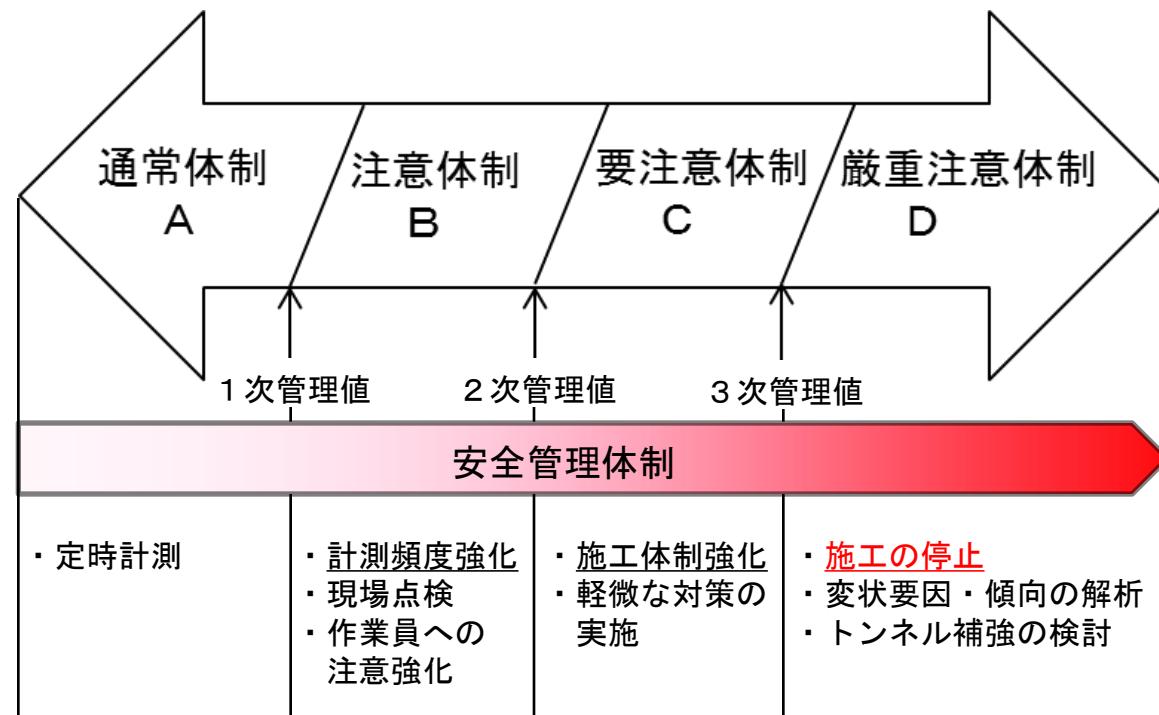
ナトム施工時の観測・計測については、施工中に実施する現場計測によって、トンネル周辺の地盤や支保工の挙動などの情報を収集し、あらかじめ設定した管理項目と管理基準に基づき、施工の安全性や設計の妥当性及び近接構造物に与える影響等をすみやかに評価し、設計や施工に反映させることを目的としたもので、計測A、計測B、計測Cに区分している。

このため、「博多駅工区建設工事」契約図書のうち、特記仕様書の中で、観測・計測に関する事項について、条件明示を行っている。

●ナトム施工の安全管理方法（PDCAサイクルの実施）



●ナトム施工の安全管理基準



※上記の安全管理基準に基づき、施工計画書を策定し、受注者の大成JVは施工を行っている。

★ 鉄道構造物等設計標準・同解説 都市部山岳工法トンネルより抜粋

- 1) 観察・計測により好ましくない挙動を把握した場合の具体的な対策について、いくつかの段階に分けてあらかじめ決めておくことが大切である。
- 2) 計測結果は迅速に整理し管理基準値と照合するとともに以後の挙動把握に用いるが、施工の安全性確保あるいは周辺環境保全の観点から、当該結果を施工者、監理者(発注者)双方で共有し工事管理や設計の修正に反映させる必要がある。

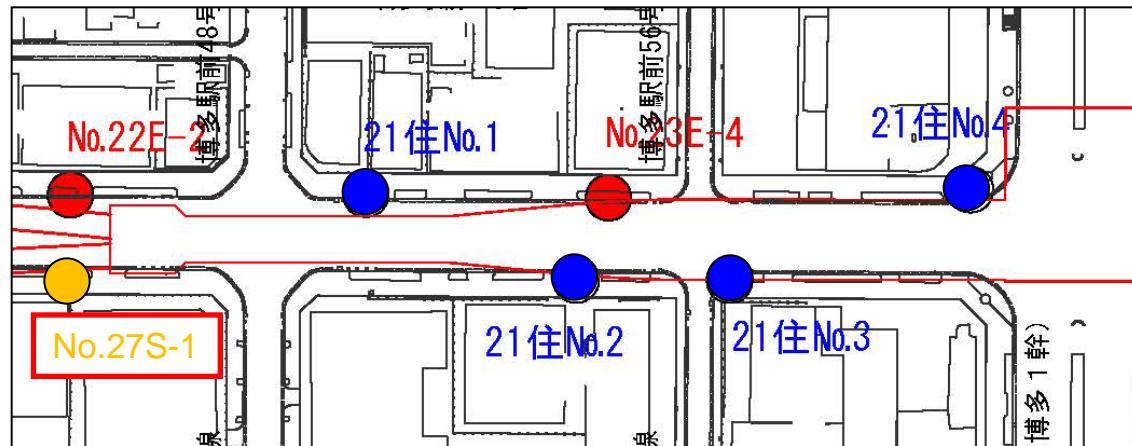
3 大断面トンネルの施工

(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

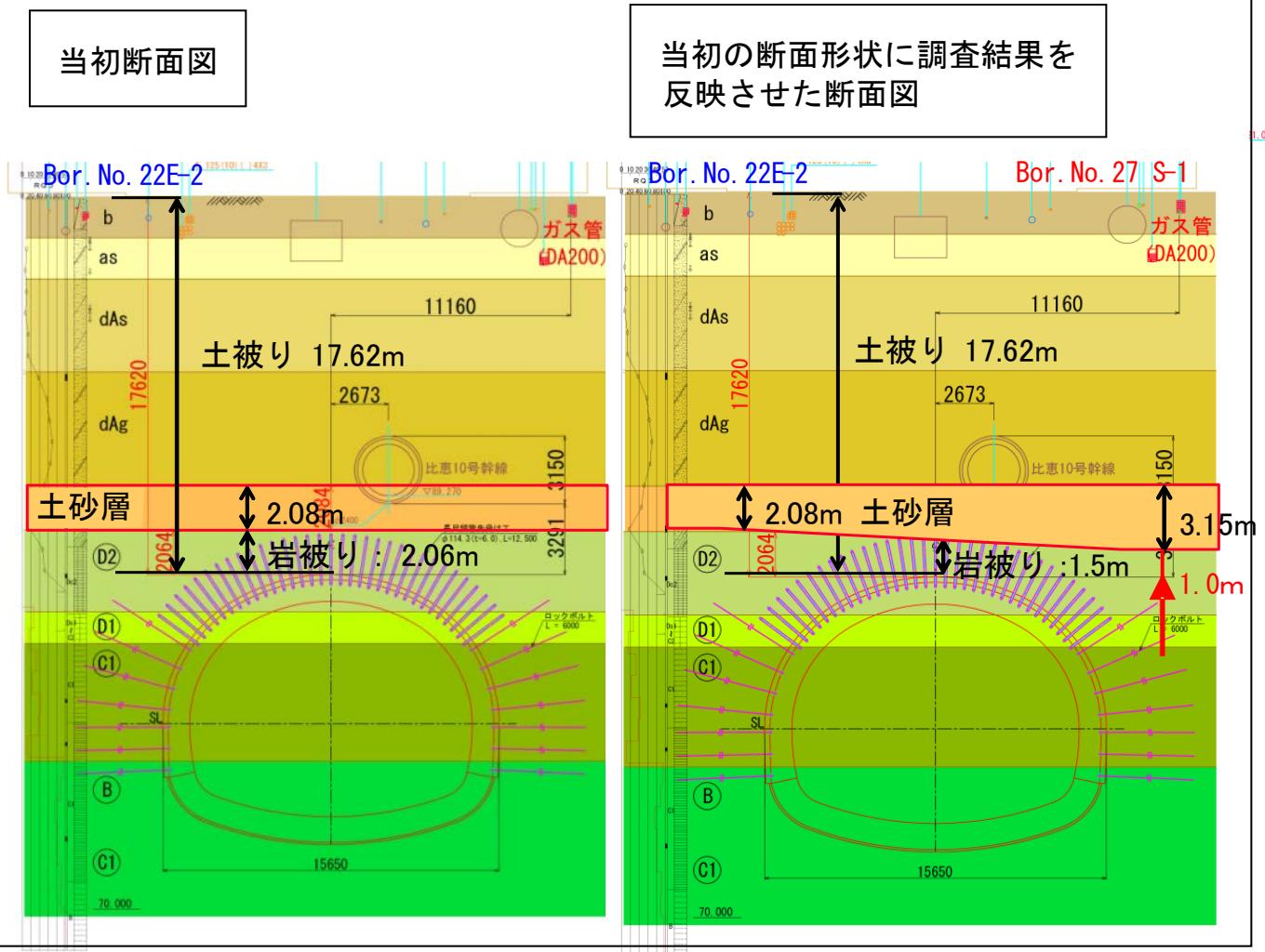
平成27年10月、JVが追加のボーリング (No. 27 S-1) を実施。調査結果から当初の想定よりも土砂層が厚いことが判明した。



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)

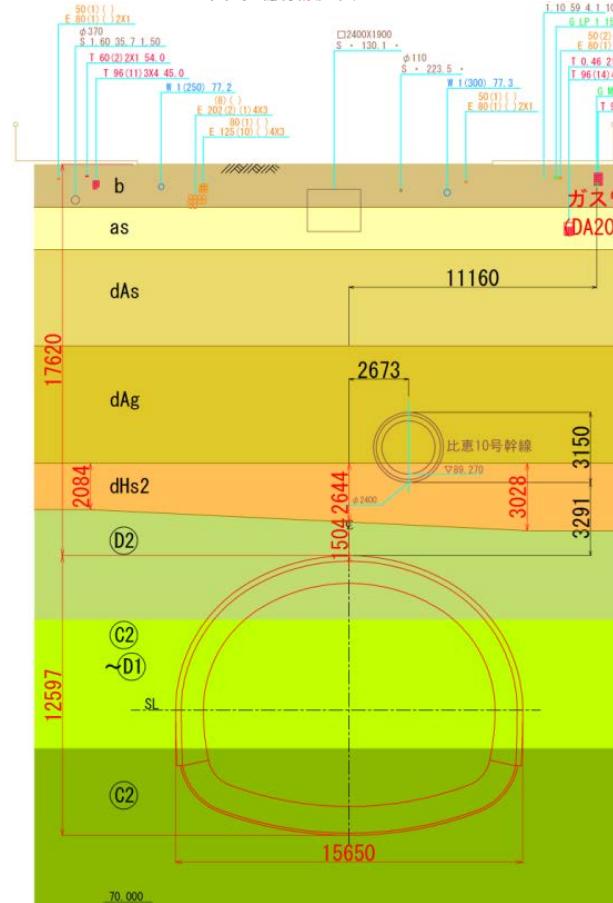
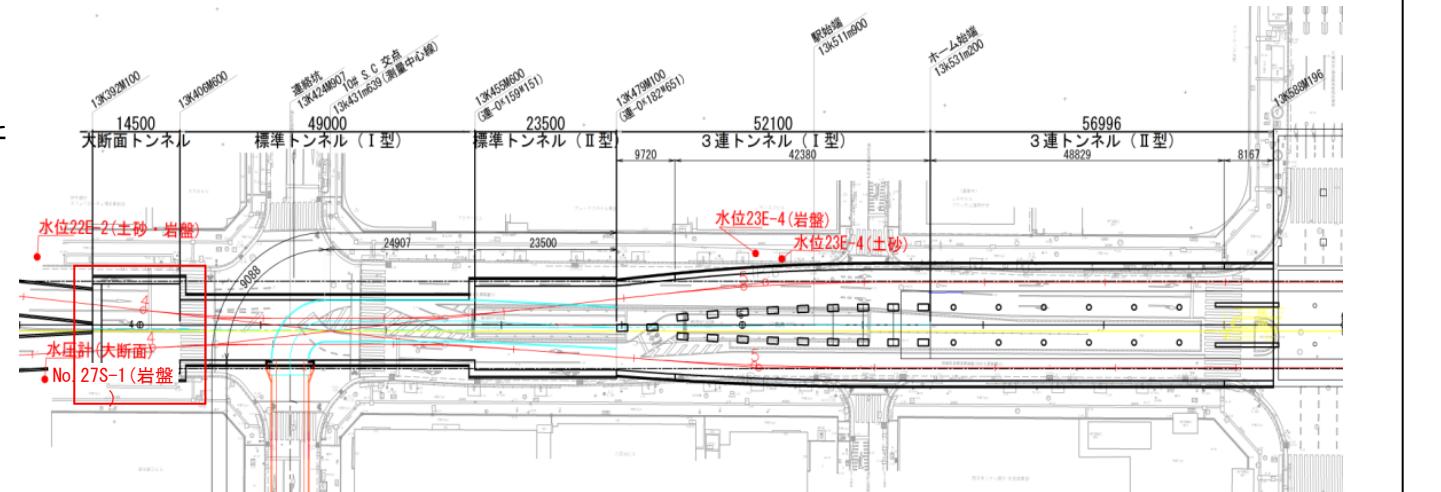
大成JV

- ・施工計画作成
(導坑掘削, 上半切詰め掘削)
- ・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)

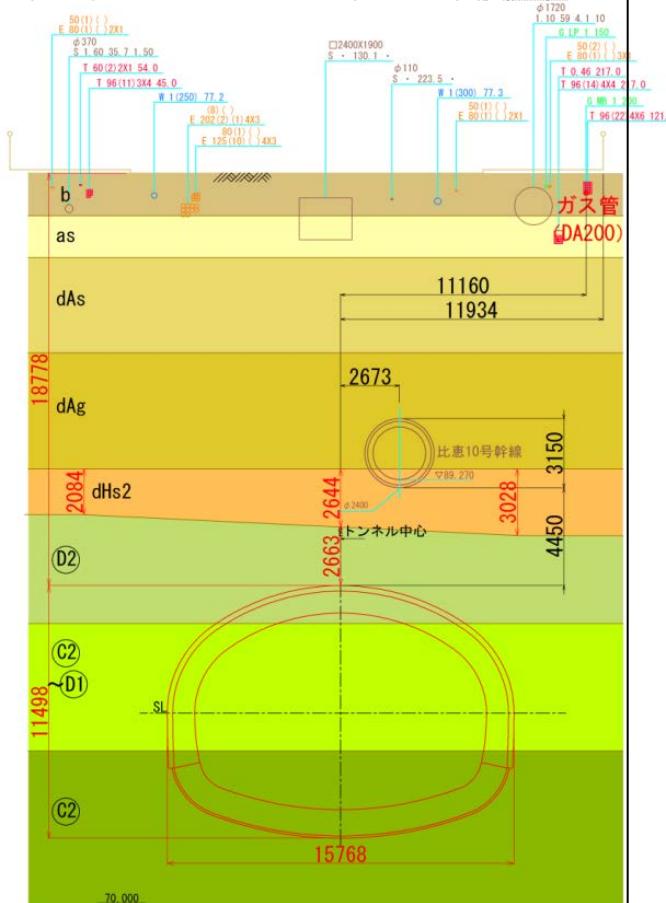
交通局・設計コンサルタント

- ・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

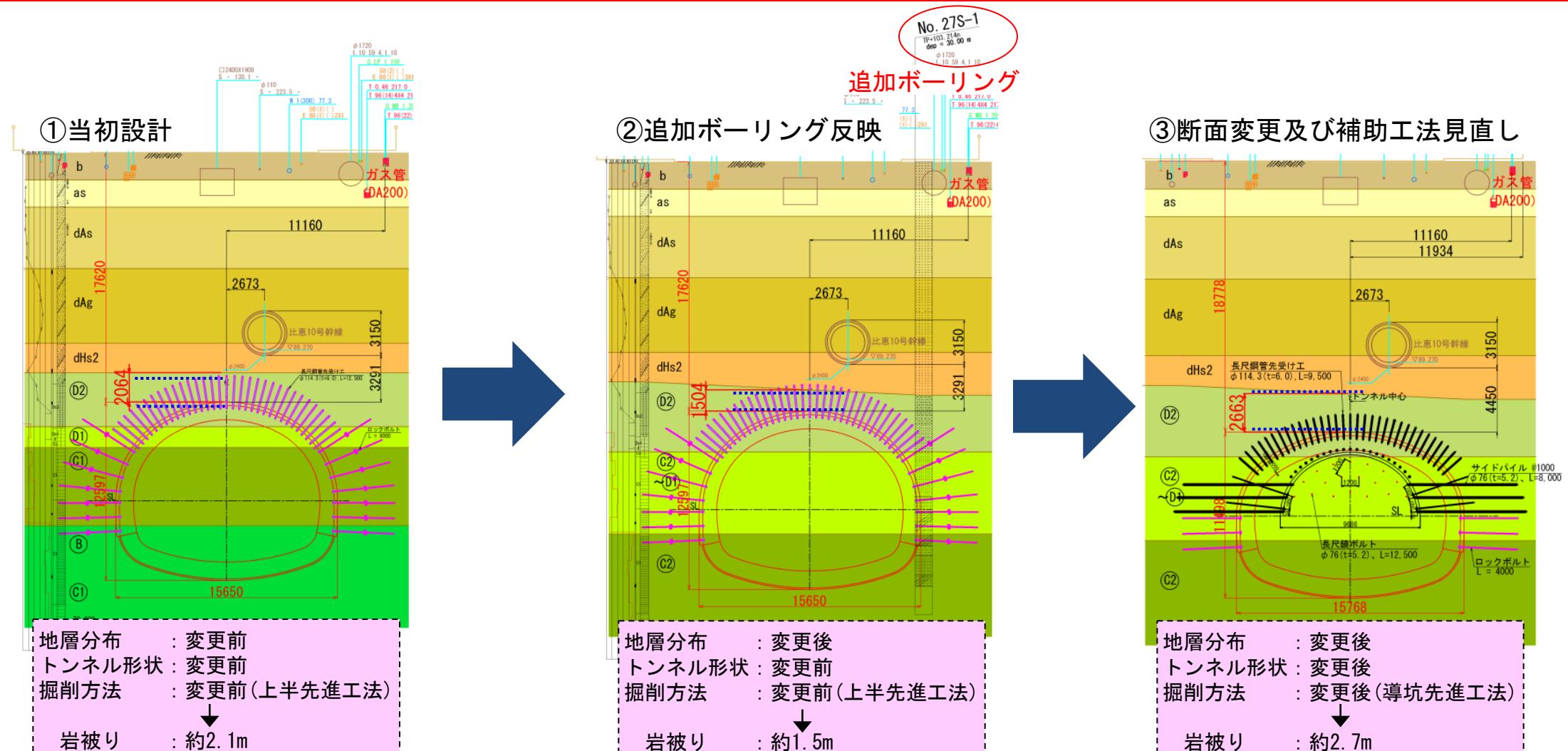
・追加ボーリング結果より, 土砂層厚が増加し岩被りが約2.1mから約1.5mとなった。

・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)



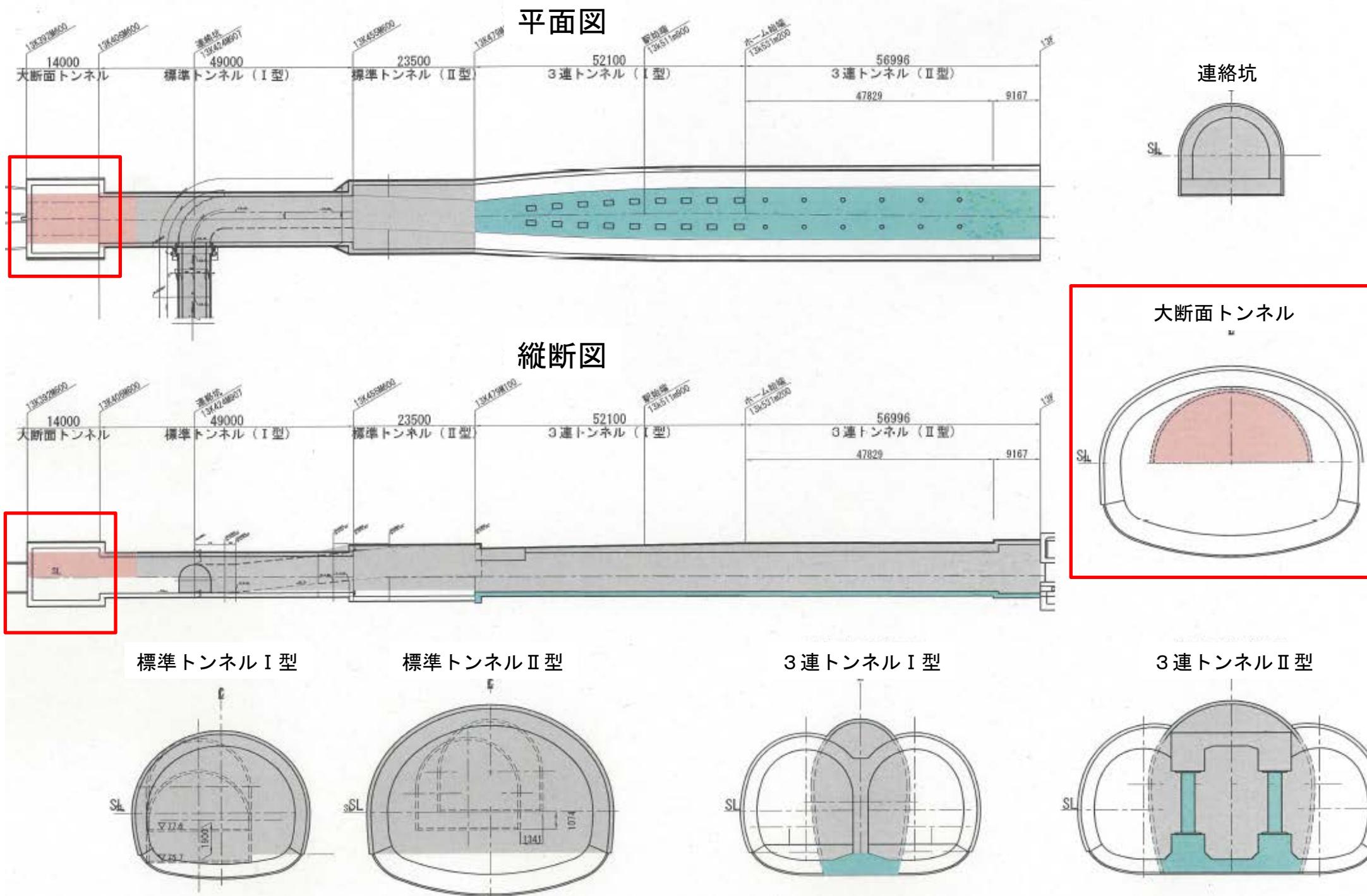
103基肌落ち状況写真(11月7日夜勤)



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



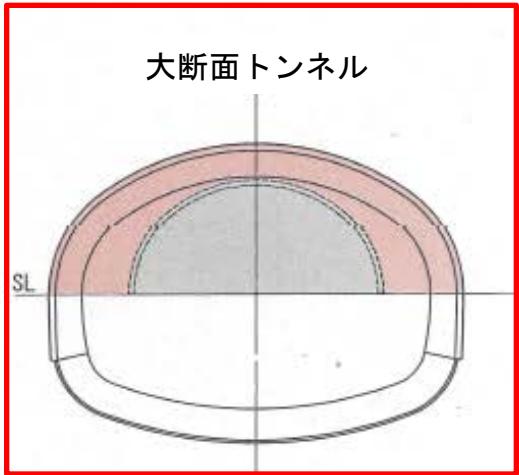
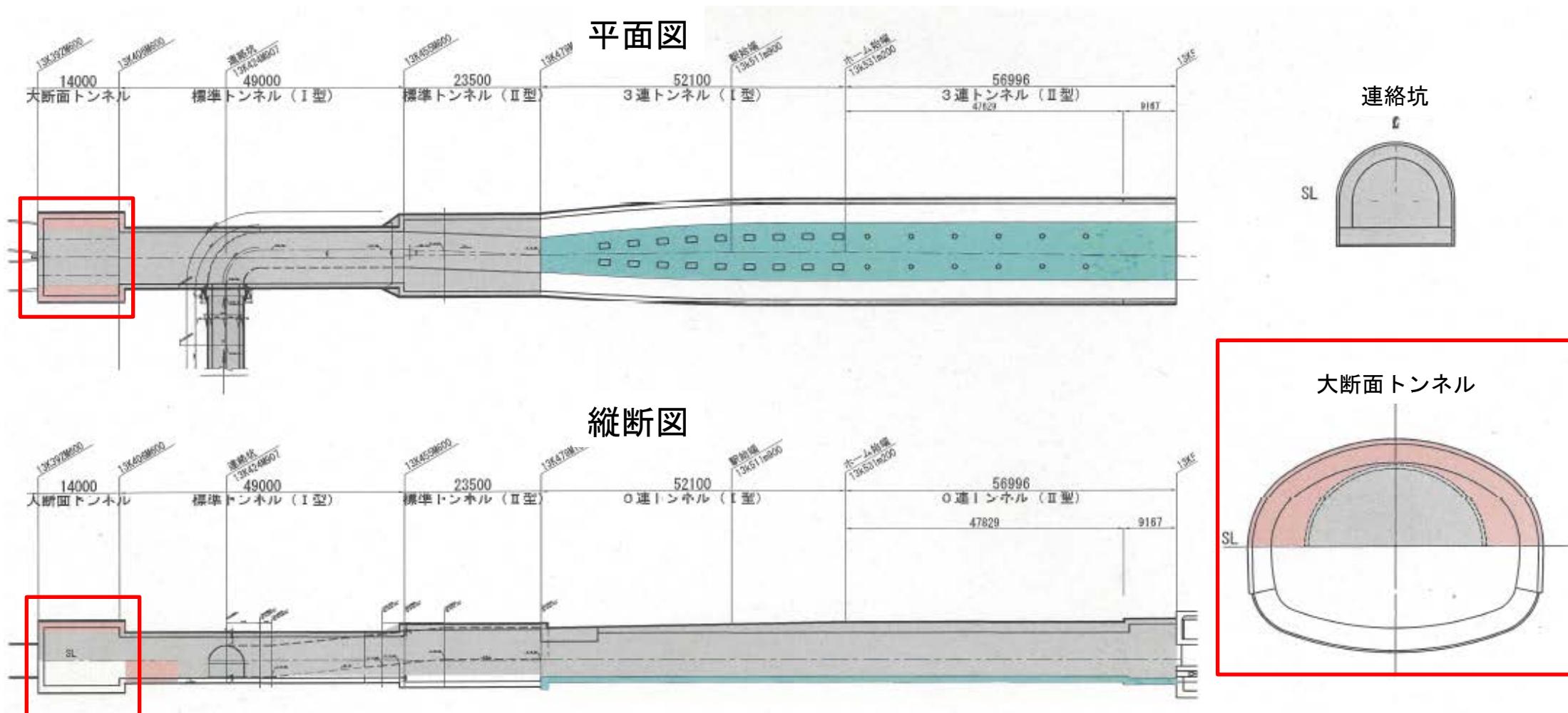
施工時期：平成28年9月～平成28年10月

凡例	
	施工中
	施工完了
	躯体構築

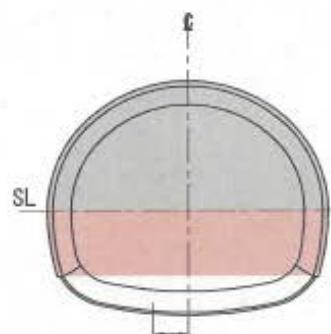
3 大断面トンネルの施工

(3) - 2 大断面トンネル掘削手順 (②上半拡幅掘削)

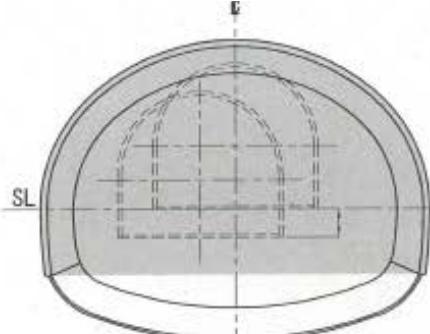
標準トンネル I 型下半掘削 + 大断面トンネル上半切拡げ掘削



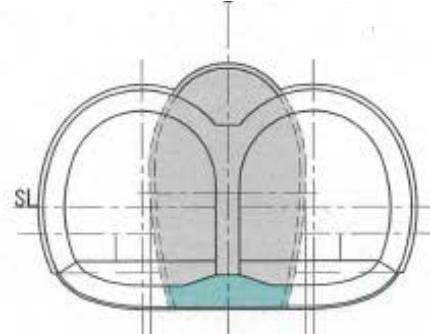
標準トンネル I 型



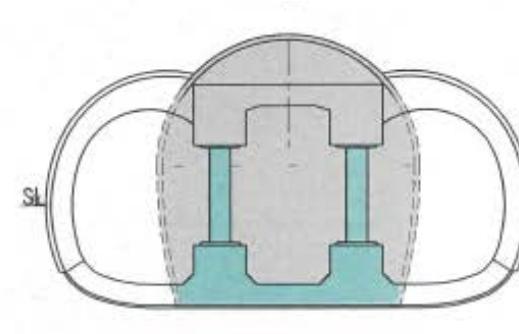
標準トンネル II 型



3連トンネル I 型



3連トンネル II 型



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

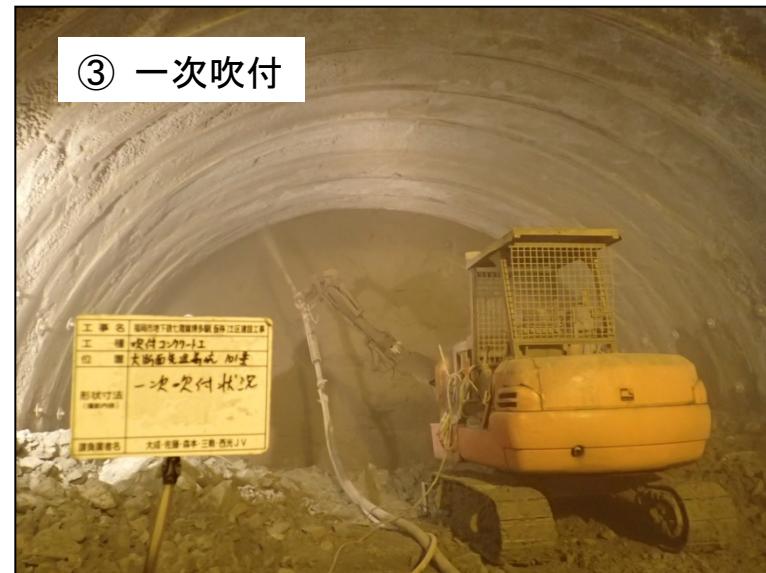
① AGF施工



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、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、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)

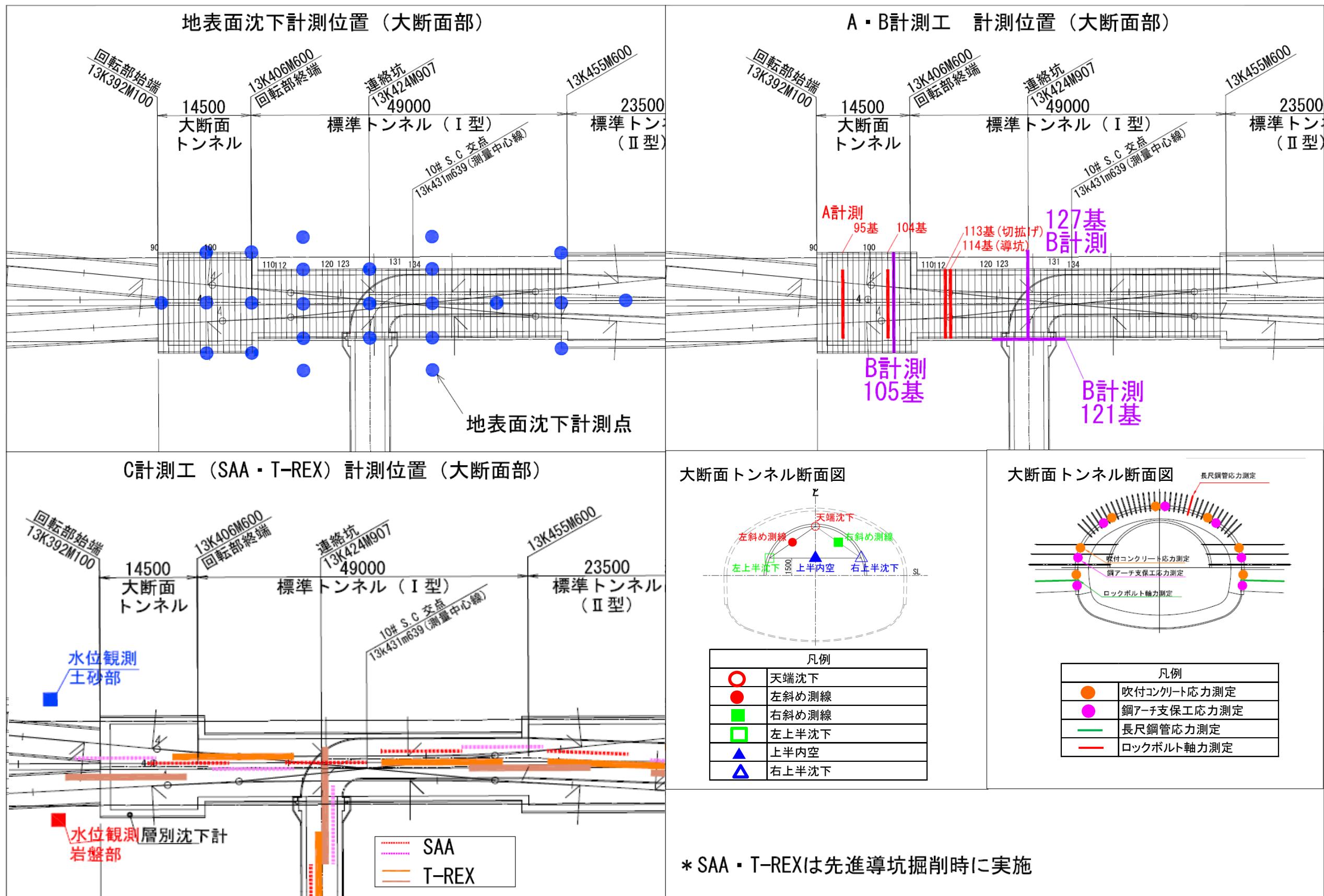
(4) - 2 計測管理 (施工計画書 計測項目別一覧表)

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 5 D ~ 切羽手前 2 D 1回/1時間 切羽手前 2 D ~ 切羽通過 5 D 1回/10分 切羽 5 D 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 ~ 2 D 1回/1日 切羽から 2 ~ 5 D 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 S A A ⑭切羽前方変位 T-R E X	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 5 D ~ 切羽手前 2 D 1回/1時間 切羽手前 2 D ~ 切羽通過 5 D 1回/10分 切羽 5 D 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 ⑫ 1回/1時間 ⑬ 1回/1時間 ⑭ 2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

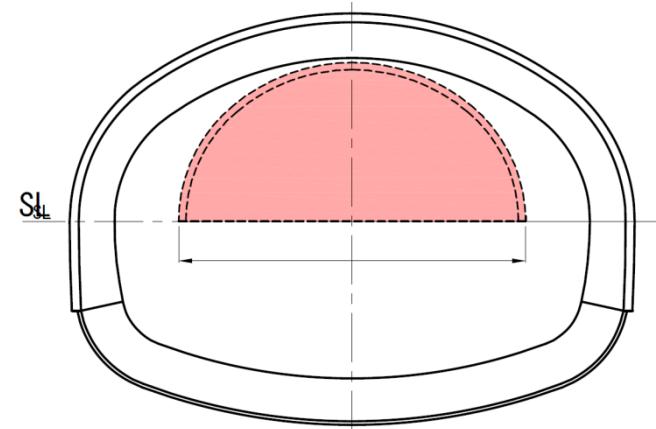
(4) - 3 計測管理 (位置図・断面図)



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。



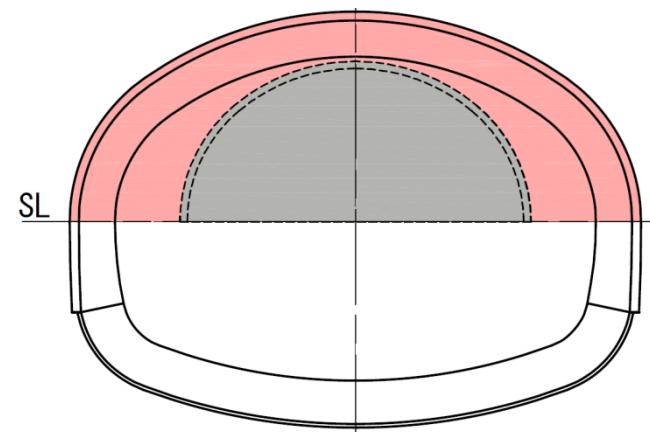
計測管理基準値 (施工計画書)

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。

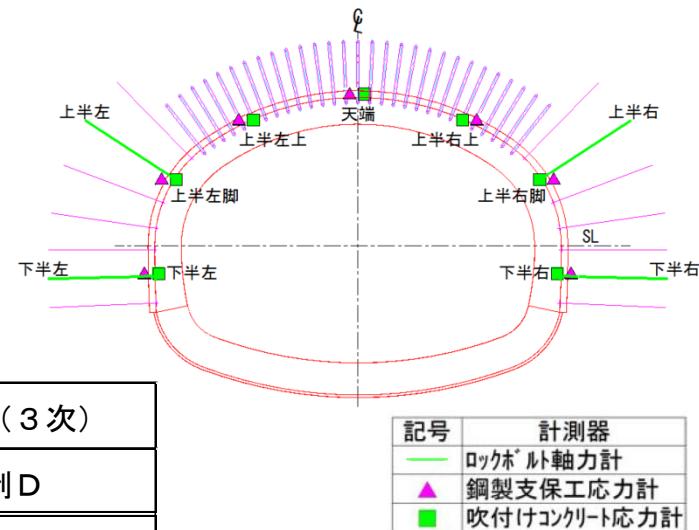


計測管理基準値 (施工計画書)

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

4 大断面トンネル施工時の計測データ

(1) 計測にあたっての留意事項

○ 第6回七隈線建設技術専門委員会（平成28年8月30日）

高度な学識や実務経験を有する有識者を委員とする交通局が事務局の委員会

【委員会におけるやりとり（抜粋）】

- ・ 岩かぶりが浅いことで、トンネル断面の形状を変更するとのことであるが、トンネルの上の層はそんなに良くない岩質であるので、導坑掘削は注意深く行わなければならない。
- ・ トンネルの上の層はかなりボロボロの岩盤であり、現在は土砂部と岩盤部の地下水は分離できている状況かもしれないが、掘削時に外部からの力が加わることで、岩盤にどのような亀裂が入るかを詳細に想定することは難しいため、施工は注意深く行う必要がある。もし土砂部と岩盤部の地下水が繋がってしまうと、地表面の沈下に繋がることになる。
- ・ 先進導坑で探りながら、計測機器を使い安全を確認し、施工していきたい。
- ・ 大断面部は当初形状を変更して、施工は慎重な形にしようとしているが、これでよいのかどうか意見を伺いたい。
- ・ 基本的には、この施工方法しかないと思う。ただ、トンネル上部の岩盤部と土砂部の境目は平らではないと以前から指摘しており、長尺鋼管先受工を施工するときは注意されたい。
- ・ 大断面部の掘削については、小断面のトンネル掘削により様子を見た上で、トンネルの内空変位等が解析結果の範囲に収まっているかを確認した後、扁平した形状の断面に切り広げる手順で施工を進めていきたい。
- ・ トンネル掘削時の切羽上方、前方の計測や長尺鋼管先受工において、掘削地盤に水みちがないか等を一つ一つ確認しながら慎重に施工を進めていきたいと考えている。
- ・ 地質的な問題と地下水の問題がある中、施工手順を慎重に選び、小断面のトンネルから切り広げを行い、また、トンネル掘削の状況に併せて様々な補助工法を付け加えていくという姿勢で進めているので、大方の考え方は理解することができる。

○ 第11回七隈線延伸事故防止検討委員会（平成28年8月18日）

事故防止や安全対策に関する交通局の内部委員会

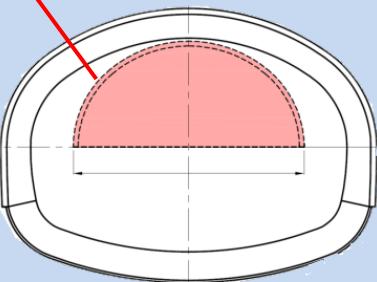
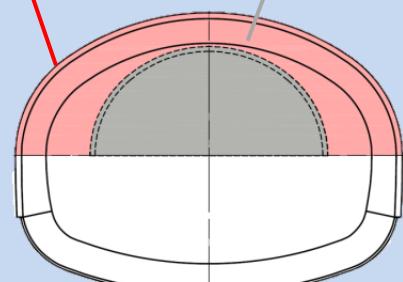
【主な意見】

- ・ 地表面陥没に対するリスク管理をより具体化すること。
- ・ 岩被りが小さく、扁平率が大きい断面形状であることなど、当初設計よりも厳しい施工条件であり、地表面沈下が懸念される。物性値をもう一度見直した解析を行うこと。
- ・ SAAやT-REXによる切羽前方変位測定は、リアルタイムで監視できるのであれば、常時モニタリングすることで安全管理の徹底を図ること。配布資料の記載事項以外にもリスク管理として、補助工法を考えて欲しい。
- ・ 鋼製支保工の発生応力について、FEM解析と実測値を比較することで早めに異変を察知することができるので、安全性向上のために比較しながら施工を進めてもらいたい。

大断面トンネルの掘削については、これらの委員会における意見などを踏まえ、大成JVは施工計画を策定し施工を行っている。

4 大断面トンネル施工時の計測データ

(2) 計測結果に対する対応

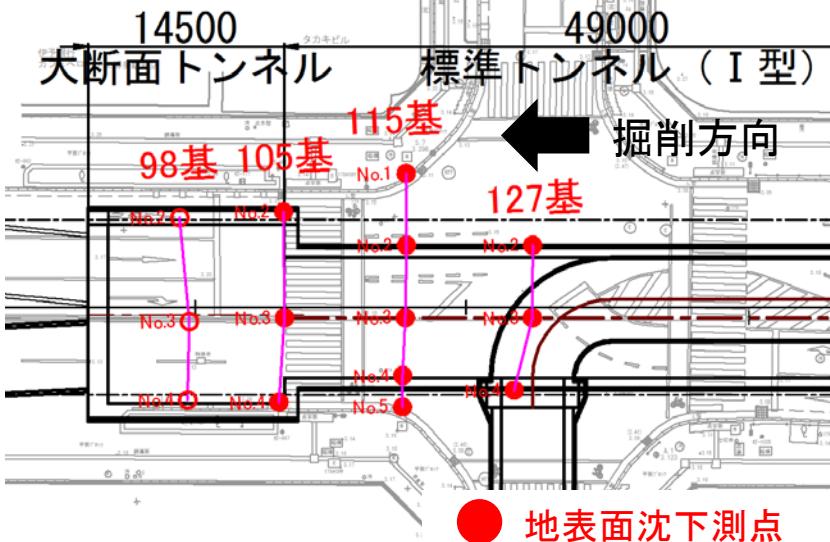
施工状況	計測状況			大成JVから 交通局への報告	大成JVの計測結果 に対する評価
	A	B	C (SAA・T-REX)		
<p>先進導坑掘削開始 (H28.10.4)</p> <p>22日間</p>  <p>先進導坑部</p>			<p>○ T-REX(切羽前方変位)計測値</p> <ul style="list-style-type: none"> ・10/6 104基 ・10/7 102基 <p>比較的大きな値を計測</p>	<p>○ 10月6日, 13日, 21日の 工程会議で下記事項を報告</p> <ul style="list-style-type: none"> ・地表面沈下 ・ガス管沈下 ・天端沈下 ・内空変位 ・地下水位 	<p>○ 地盤に亀裂はあるが 破碎, 湧水もなく, 標準Ⅱ型よりも地盤 が良い状況。</p> <p>○ 計測データは, いず れも異常なし。</p>
<p>上半拡幅掘削開始 (H28.10.26)</p> <p>13日間</p>  <p>上半拡幅部</p> <p>先進導坑部</p>		<p>※SAA・T-REX 先進導坑掘削時のみ計測</p>	<p>○ SAA・T-REXの計測 値は, 10月分の計測結果と して, 11月10日に交通局へ 提出。</p>	<p>○ T-REXの値を異 変と捉えていない。</p>	
<p>道路陥没発生 (H28.11.8 5時15分)</p>			<p>○ 鋼製支保工応力計測値</p> <ul style="list-style-type: none"> ・一次超過 (11/7 17時頃) ・二次超過 (11/8 1時頃) ・三次超過 (11/8 2時頃) <p>○ 吹付コンクリート応力計測値</p> <ul style="list-style-type: none"> ・一次超過 (11/8 1時頃) 	<p>○ 10月28日, 11月4日の 工程会議で下記事項を報告</p> <ul style="list-style-type: none"> ・地表面沈下 ・ガス管沈下 ・天端沈下 ・内空変位 ・地下水位 <p>○ 11月7日 19時30分頃に計測 データを確認し, 鋼製支保 工応力値が一次管理値を超 過したことを把握するも交 通局へ報告はなかった。</p>	<p>○ 地盤に亀裂はあるが 破碎, 湧水もなく, 標準Ⅱ型よりも地盤 が良い状況。</p> <p>○ 計測データは, いず れも異常なし。</p> <p>○ 鋼製支保工応力の計 測値のみが超過して いるが, その他の計 測結果を踏まえ総合 的に判断し, 施工を 進めた。</p>
				<p>○ 11月18日 11月分計測結果の報告 (事故発生まで)</p>	<p>○ 鋼製支保工応力値の 二次, 三次管理基準 値超過の事実は, 事 故後に把握。</p>

4 大断面トンネル施工時の計測データ

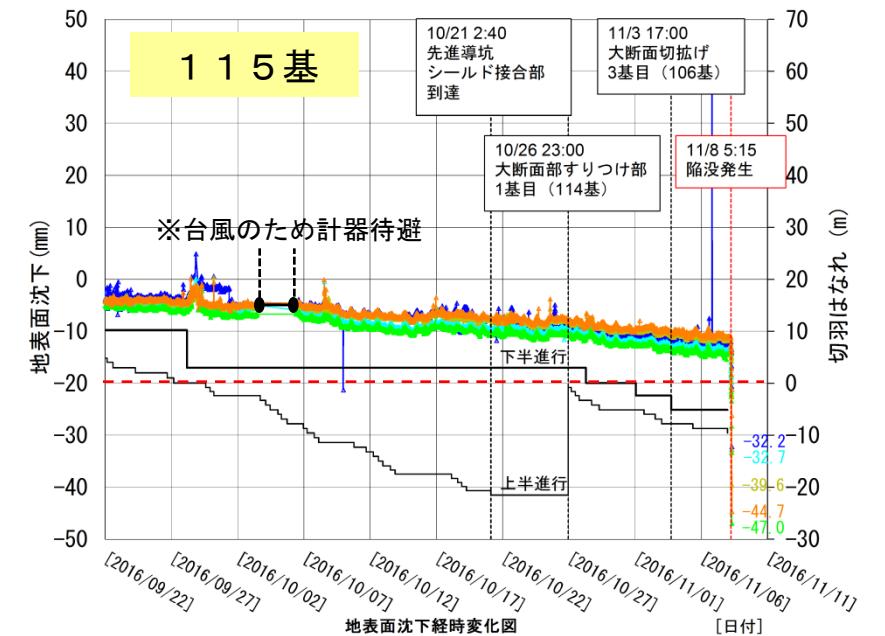
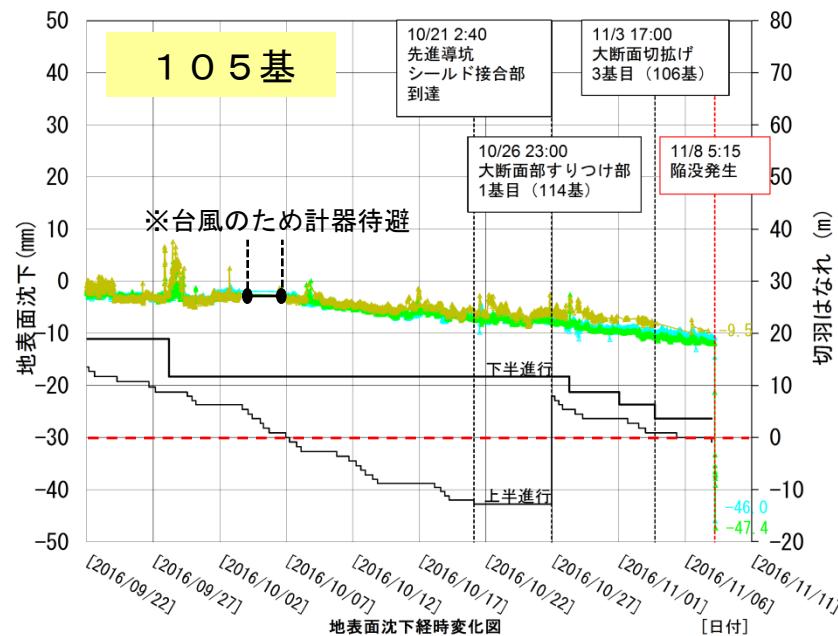
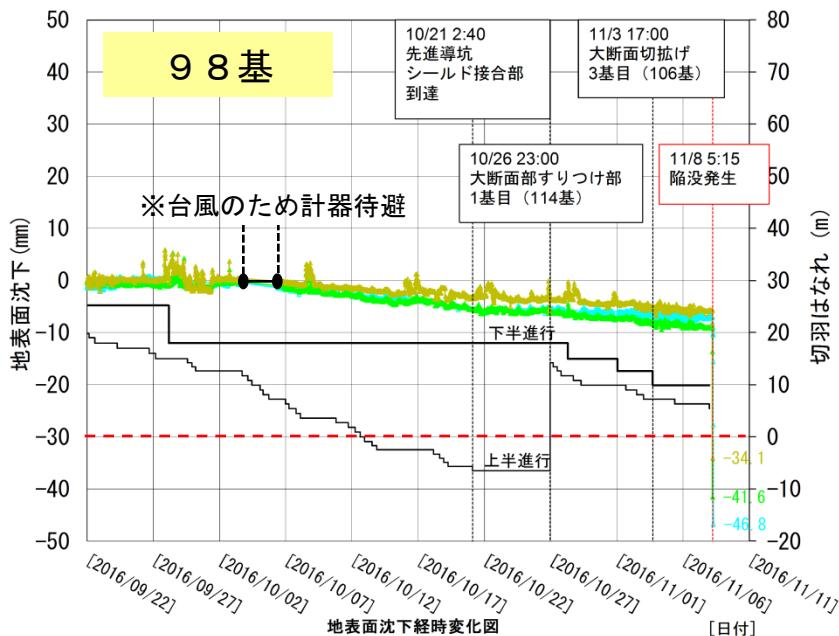
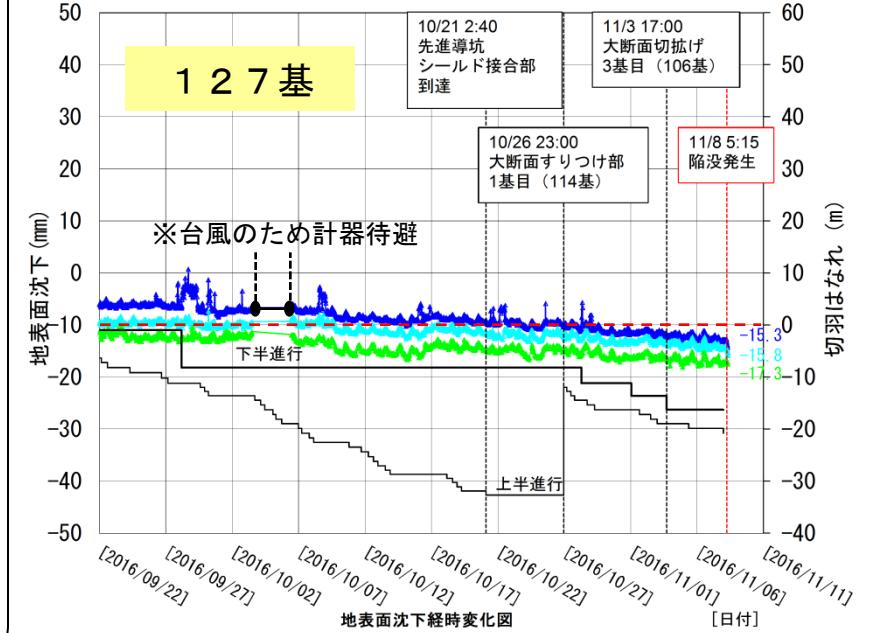
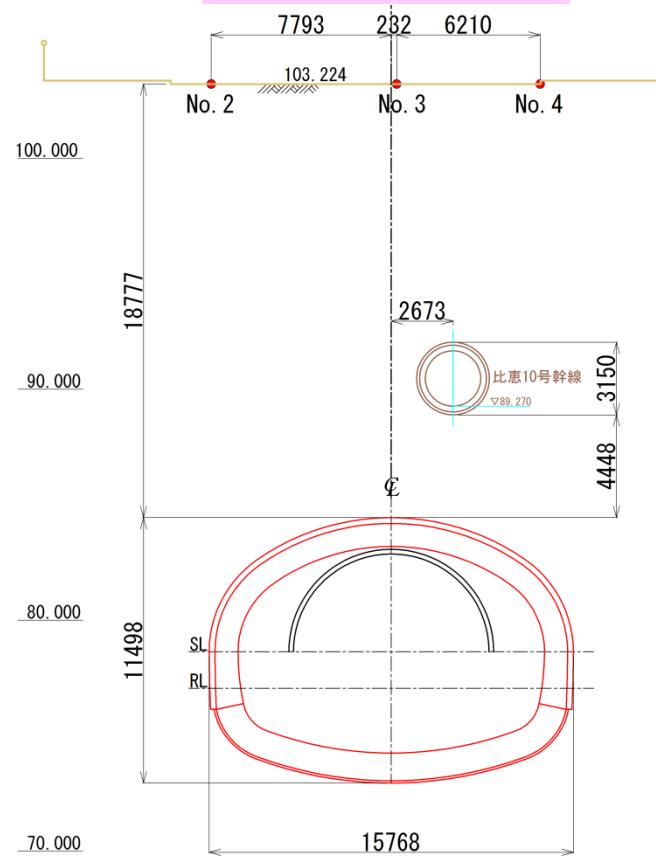
(3) - 1 計測データ (A計測：地表面沈下)

■管理基準値

Step名	管理基準値(mm)		
	I	II	III
step1 自重解析(掘削前)	0.0	0.0	0.0
step2 導坑 切羽到達	-1.0	-1.5	-1.9
step3 導坑 掘削完了	-2.6	-4.1	-5.1
step4 大断面トンネル 上半切羽到達	-8.4	-13.5	-16.9
step5 大断面トンネル 上半掘削完了	-14.9	-23.8	-29.7



■断面図 (105基)



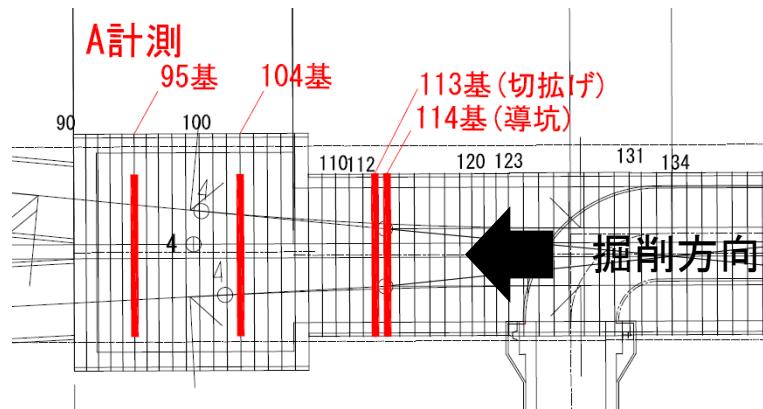
4 大断面トンネル施工時の計測データ

(3) - 2 計測データ (A計測: 天端沈下・内空変位)

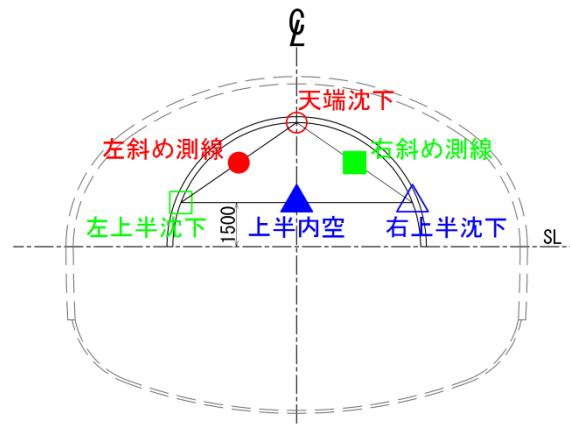
■管理基準値

Step名	管理基準値(mm)	管理基準値(mm)		
		I	II	III
step1	自重解析(掘削前)	-	-	-
step2	導坑 切羽到達	-	-	-
step3	導坑 掘削完了	-	-	-
step4	大断面トンネル 上半切羽到達	0.0	0.0	0.0
step5	大断面トンネル 上半掘削完了	-11.9	-19.1	-23.8

■A計測平面測点

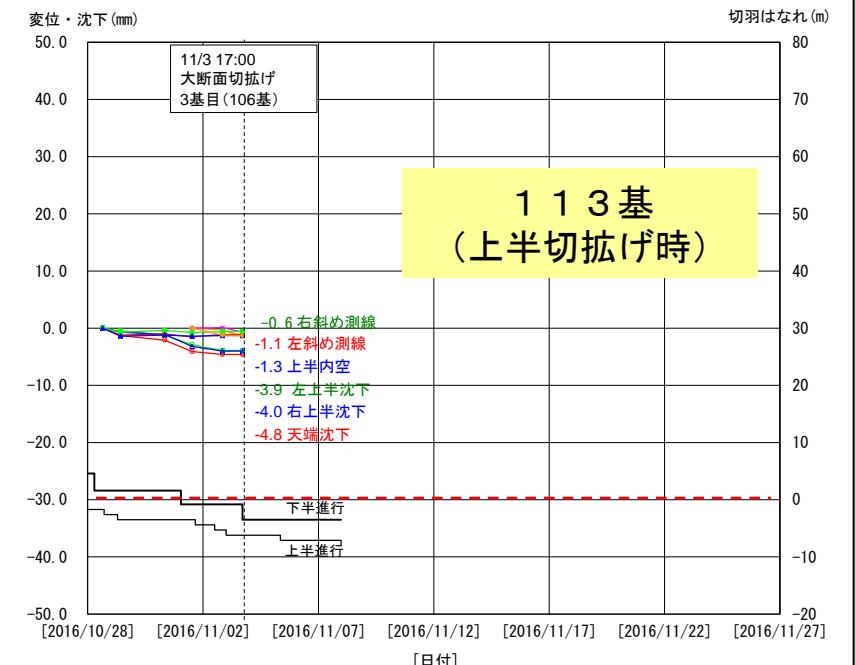
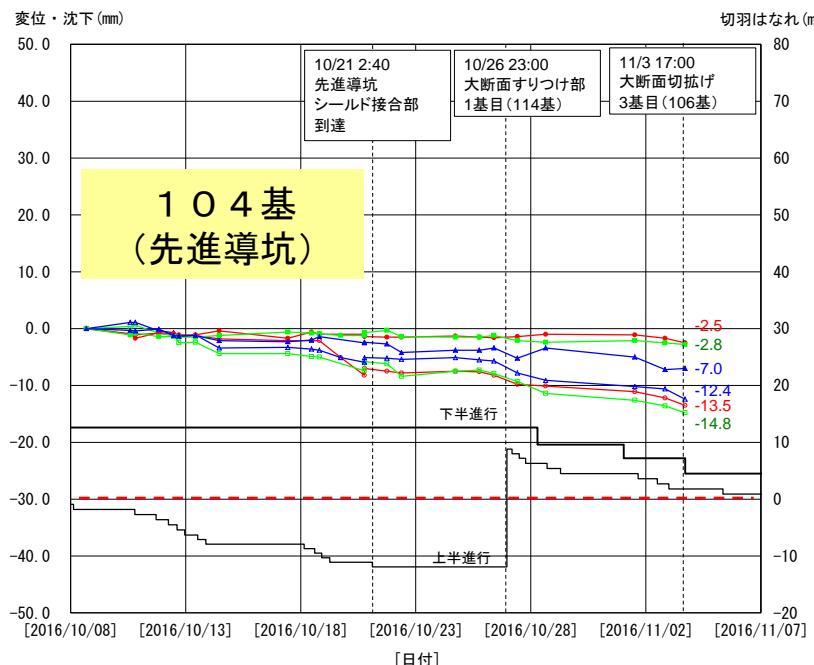
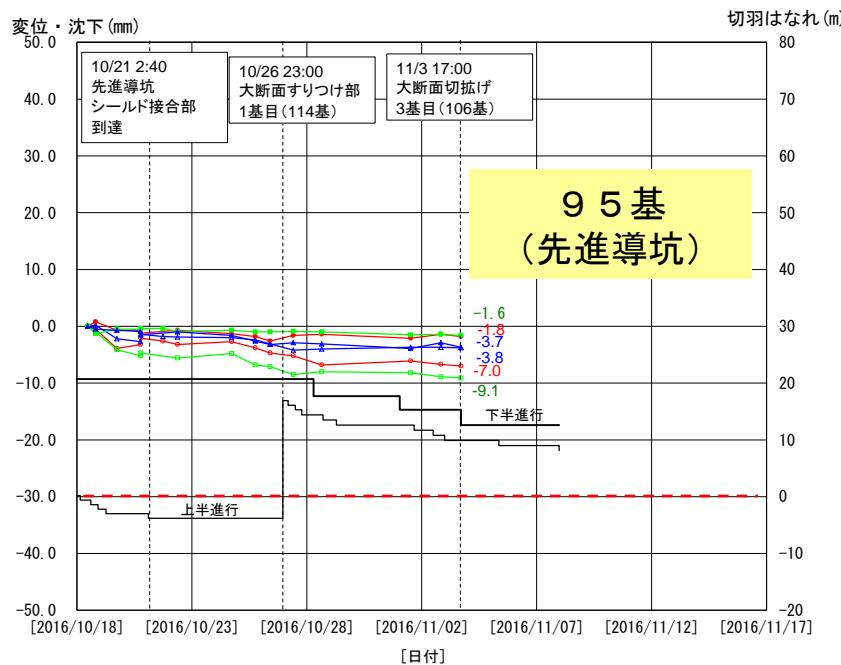
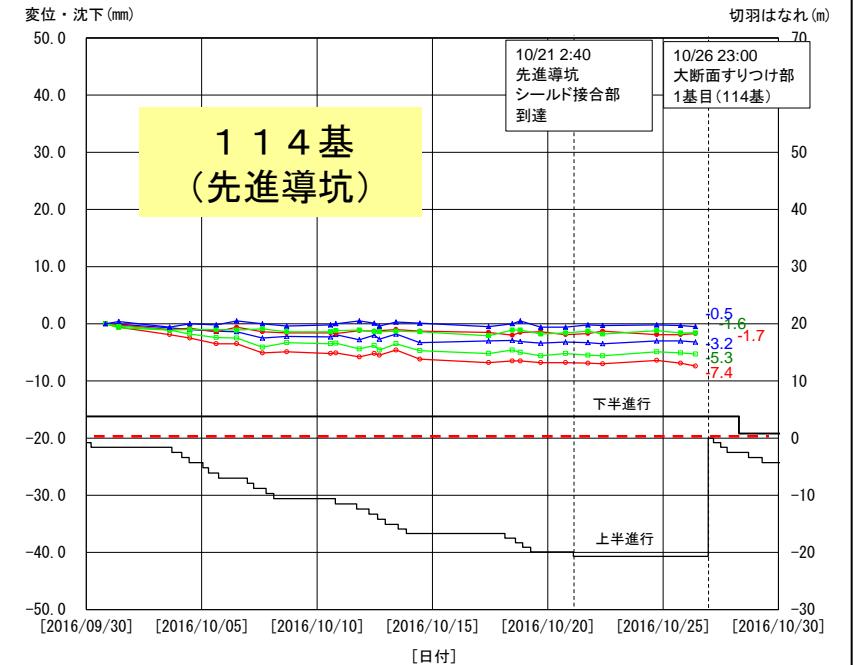


■断面図 (A計測先進導坑横断測点)



・掘削の進行に伴い増大する坑内変位を計測(1回/日)して掘削管理を行う。

※ 11/4以降も計測を実施しており、坑内PCにデータを保存していたが、陥没発生に伴い、PCが水没したため、11/4以降のデータの更新ができていない。



4 大断面トンネル施工時の計測データ

(3) - 3 計測データ (B計測：吹付けコンクリート応力・鋼製支保工応力)

■管理基準値

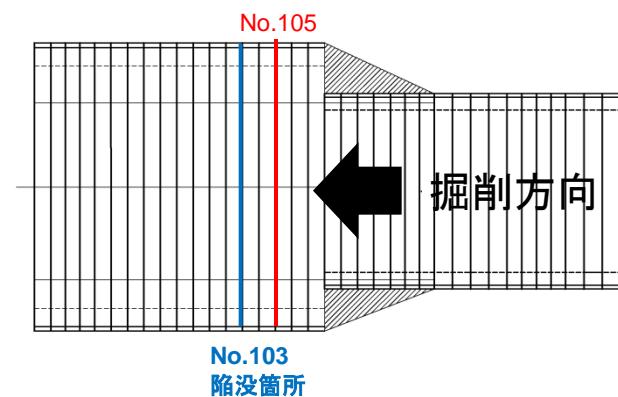
○吹付けコンクリート応力

項目	Step名	管理基準値(N/mm ²)		
		I	II	III
天端応力度 (N/mm ²)		6.3	10.1	12.6
上半左上応力度 (N/mm ²)	step5 大断面トンネル上半掘削完了	8.3	13.2	16.5
上半右上応力度 (N/mm ²)		8.1	12.9	16.1
上半左脚応力度 (N/mm ²)		8.5	13.5	16.9
上半右脚応力度 (N/mm ²)		8.5	13.5	16.9

○鋼製支保工応力

項目	Step名	管理基準値(N/mm ²)		
		I	II	III
天端応力度 (N/mm ²)		58	93	117
上半左上応力度 (N/mm ²)	step5 大断面トンネル上半掘削完了	75	120	150
上半右上応力度 (N/mm ²)		75	120	151
上半左脚応力度 (N/mm ²)		79	127	159
上半右脚応力度 (N/mm ²)		80	128	161

B計測測点



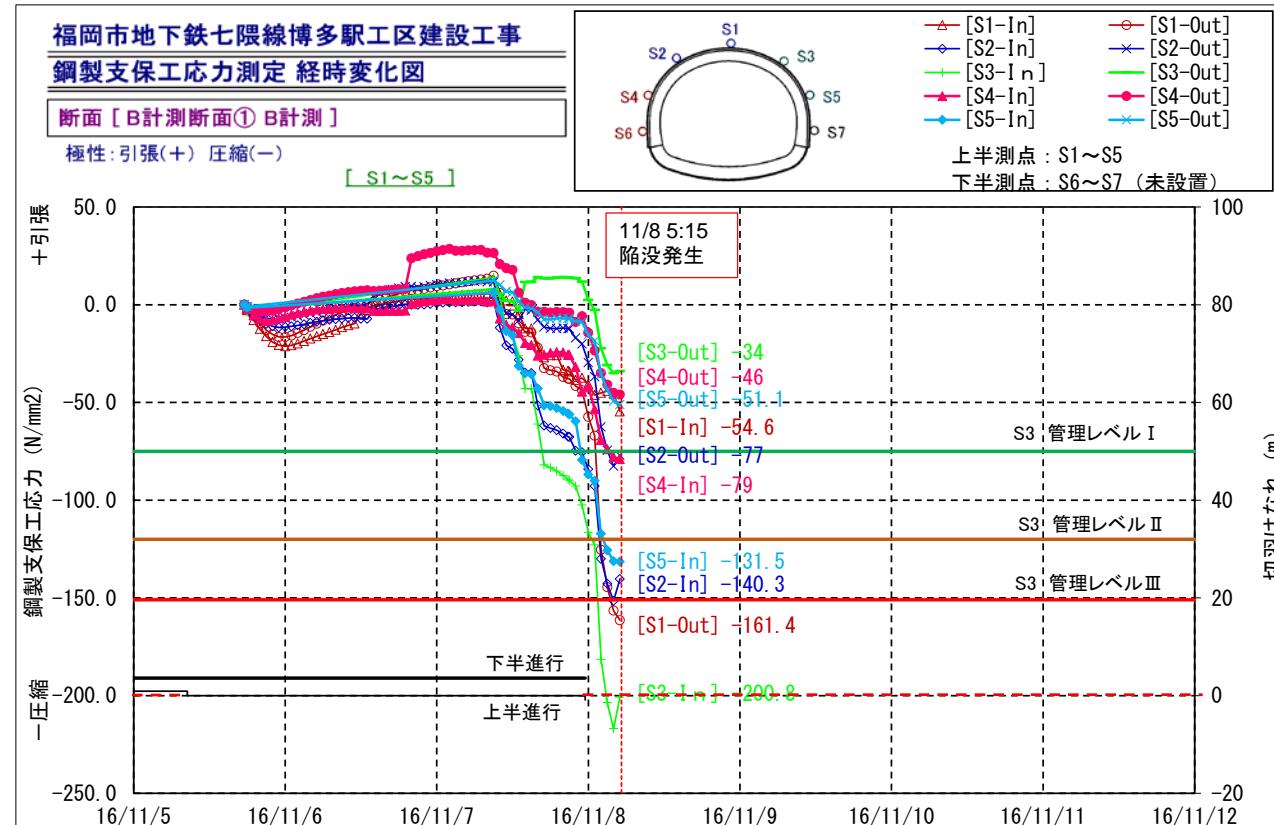
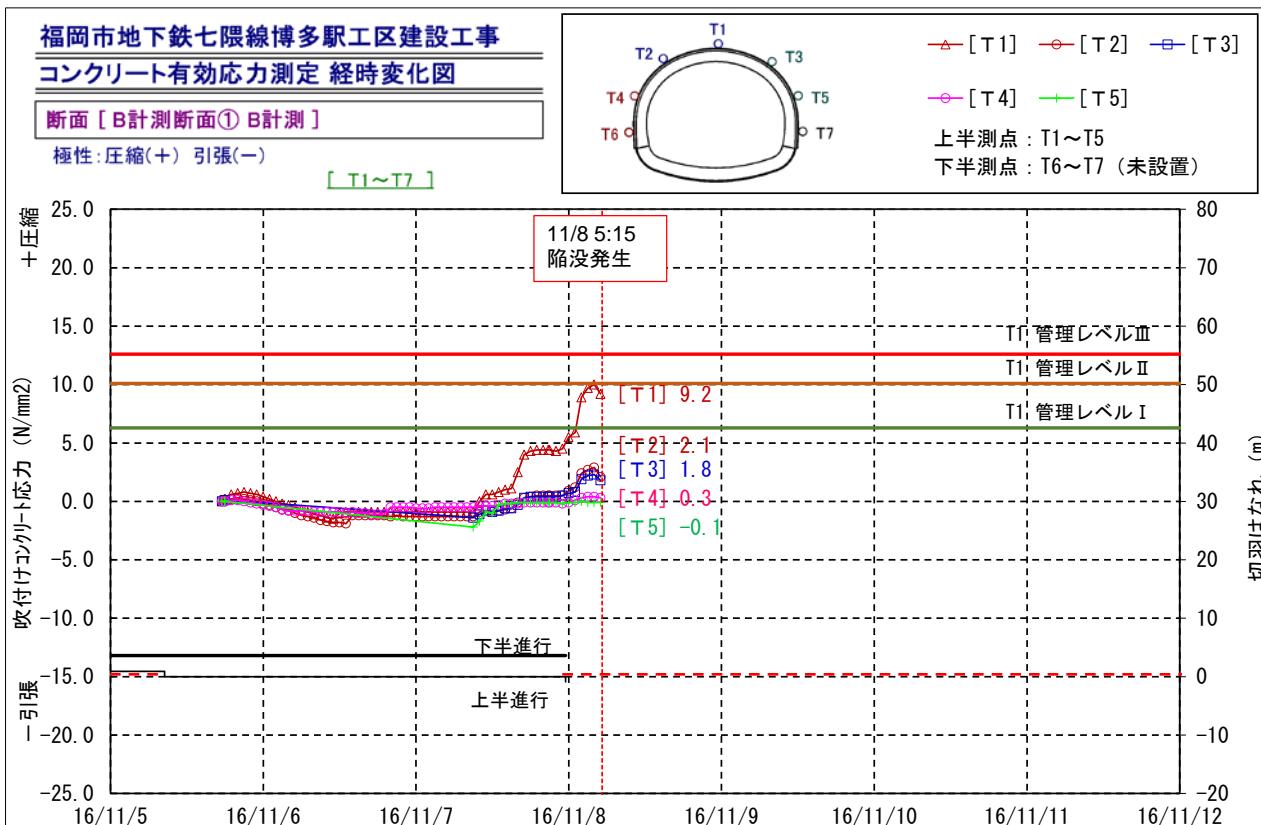
* 赤枠は最大応力を計測した箇所

吹付けコンクリート応力

(測点：105基と106基の間)

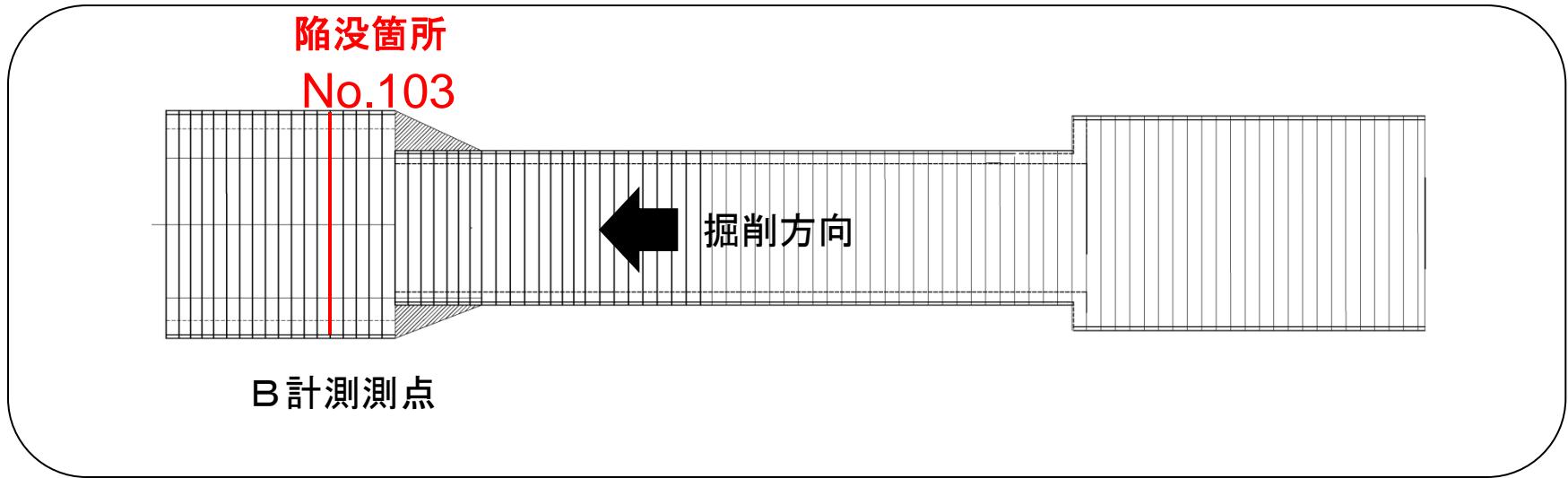
鋼製支保工応力

(測点：105基)

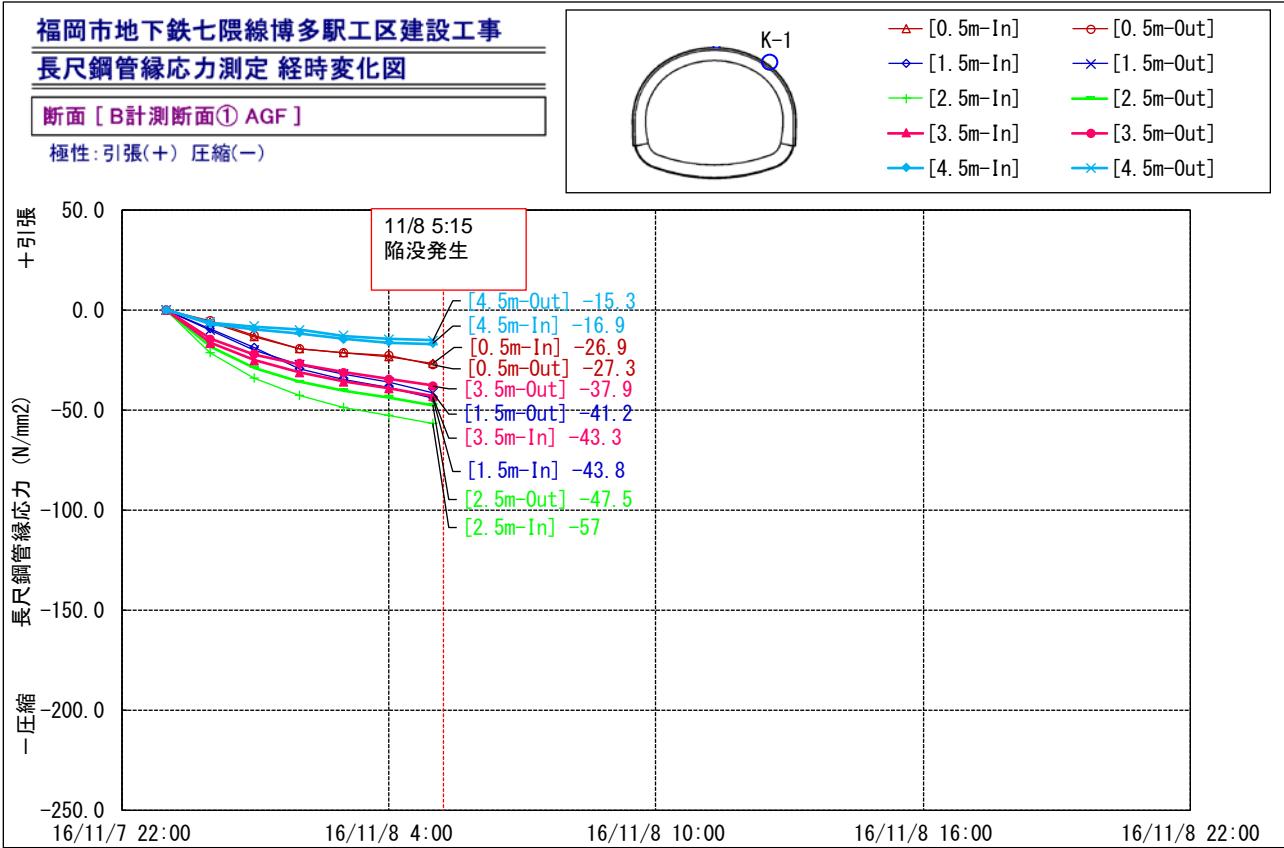


4 大断面トンネル施工時の計測データ

(3) - 4 計測データ (B計測 : AGF鋼管縁応力)



AGF鋼管縁応力 (測点 : 103基 ※0mの位置)



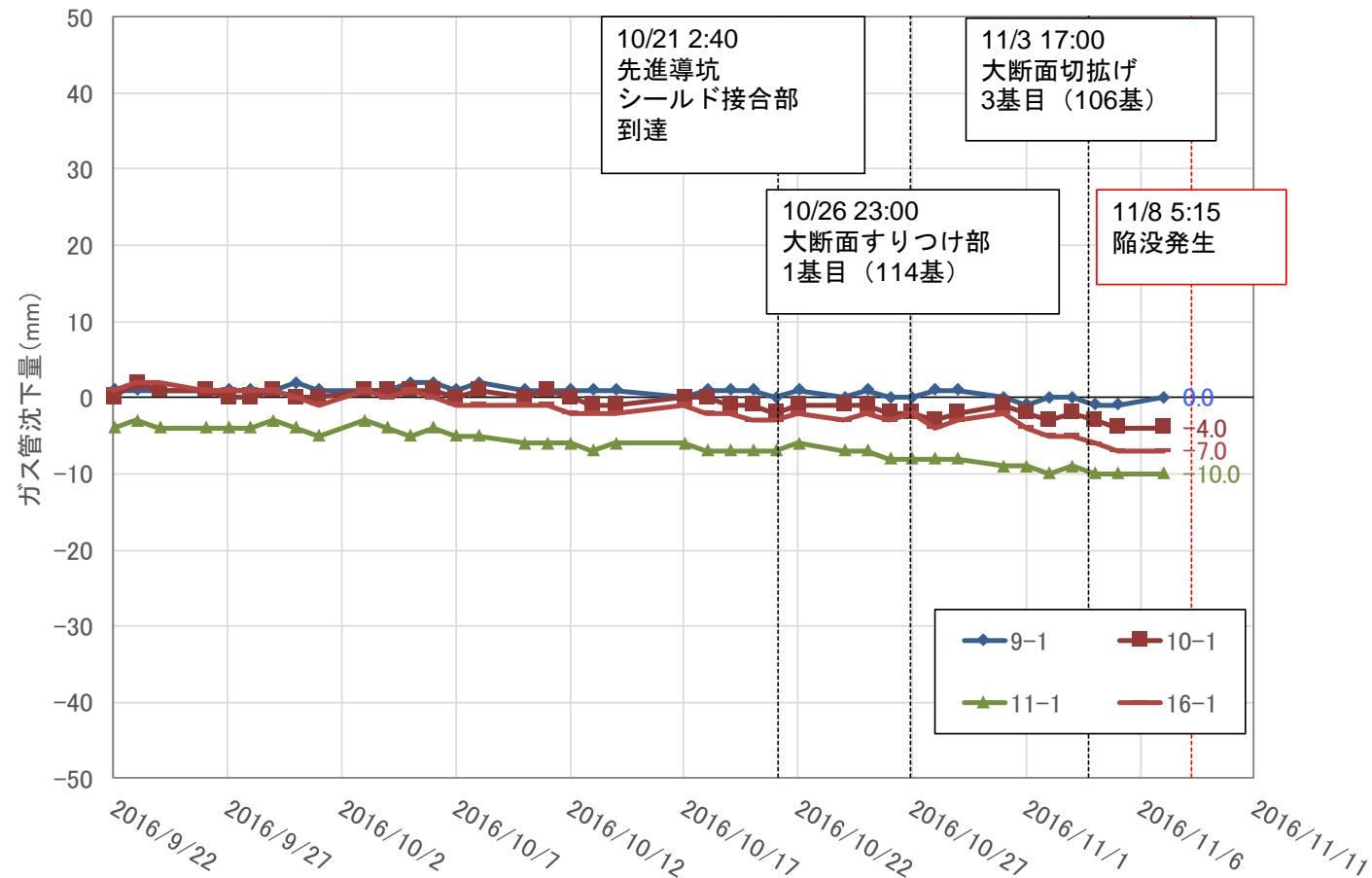
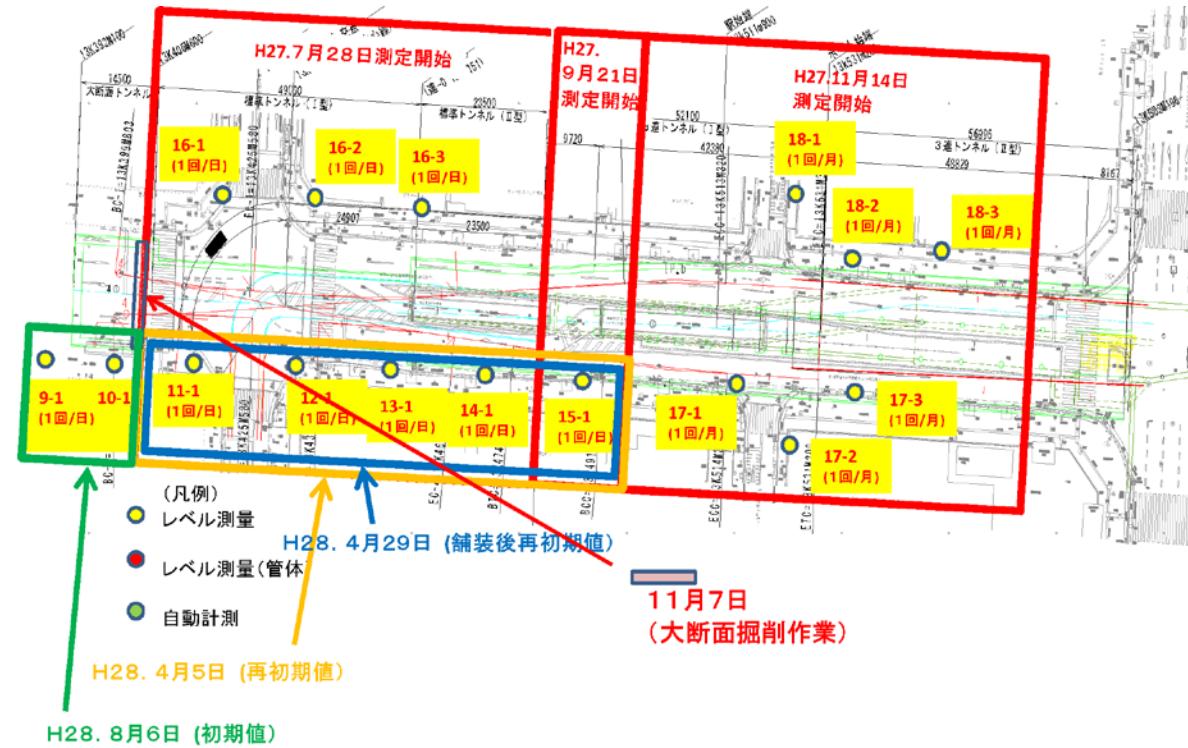
4 大断面トンネル施工時の計測データ

(3) - 5 計測データ (C計測: ガス管沈下)

管理基準値

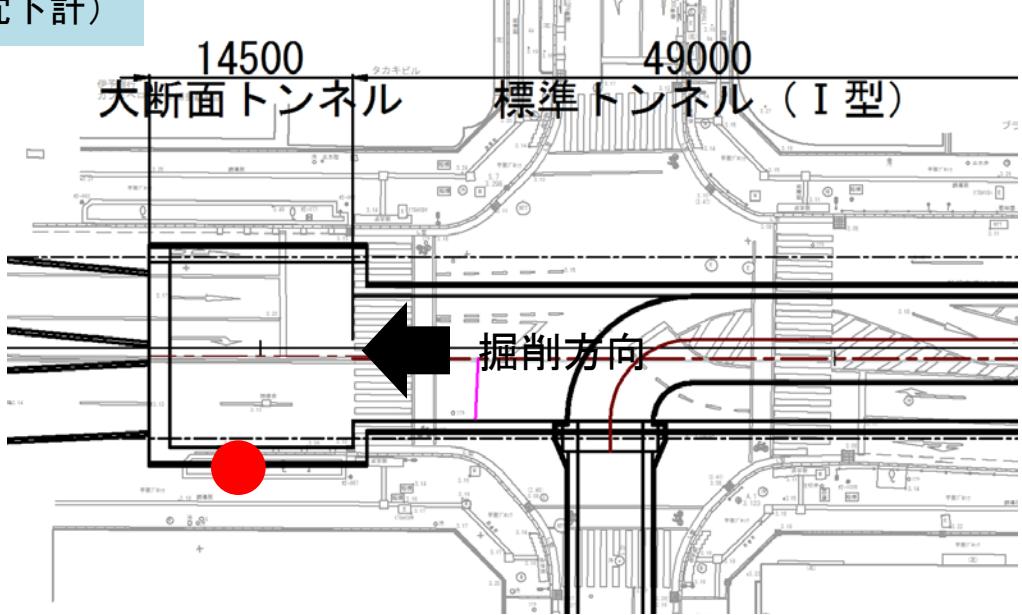
Step名		管理基準値(mm)		
		I	II	III
step1	自重解析(掘削前)	0.0	0.0	0.0
step2	導坑 切羽到達	-2.3	-3.6	-4.5
step3	導坑 掘削完了	-6.0	-9.6	-12.0
step4	大断面トンネル 上半切羽到達	-18.9	-30.3	-37.9
step5	大断面トンネル 上半掘削完了	-33.8	-54.0	-67.5

	中圧ガス			低圧ガス
ガス管	DG200			DG200
測点	9-1	10-1	11-1	16-1
一次警戒値	±35			
二次警戒値	±70			



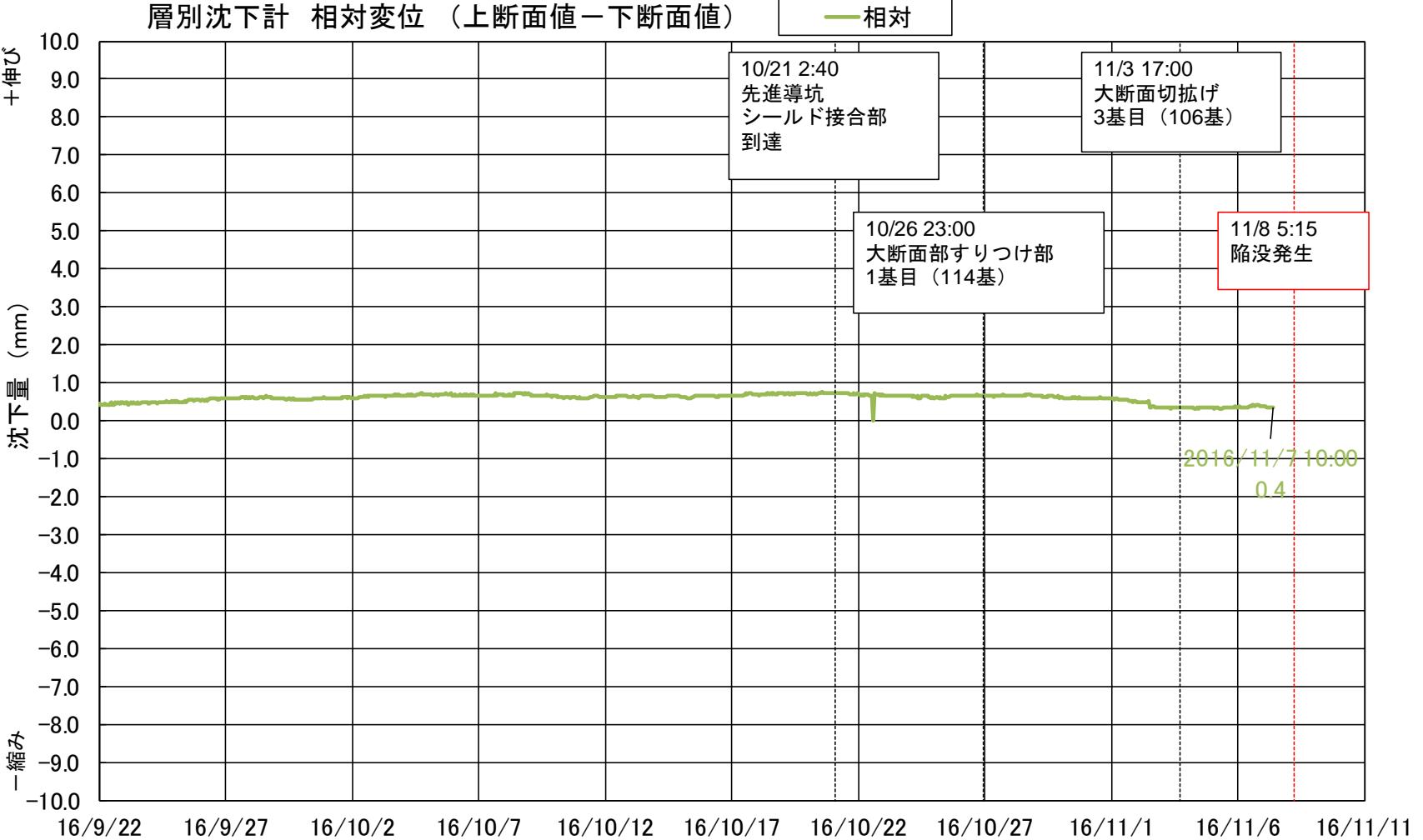
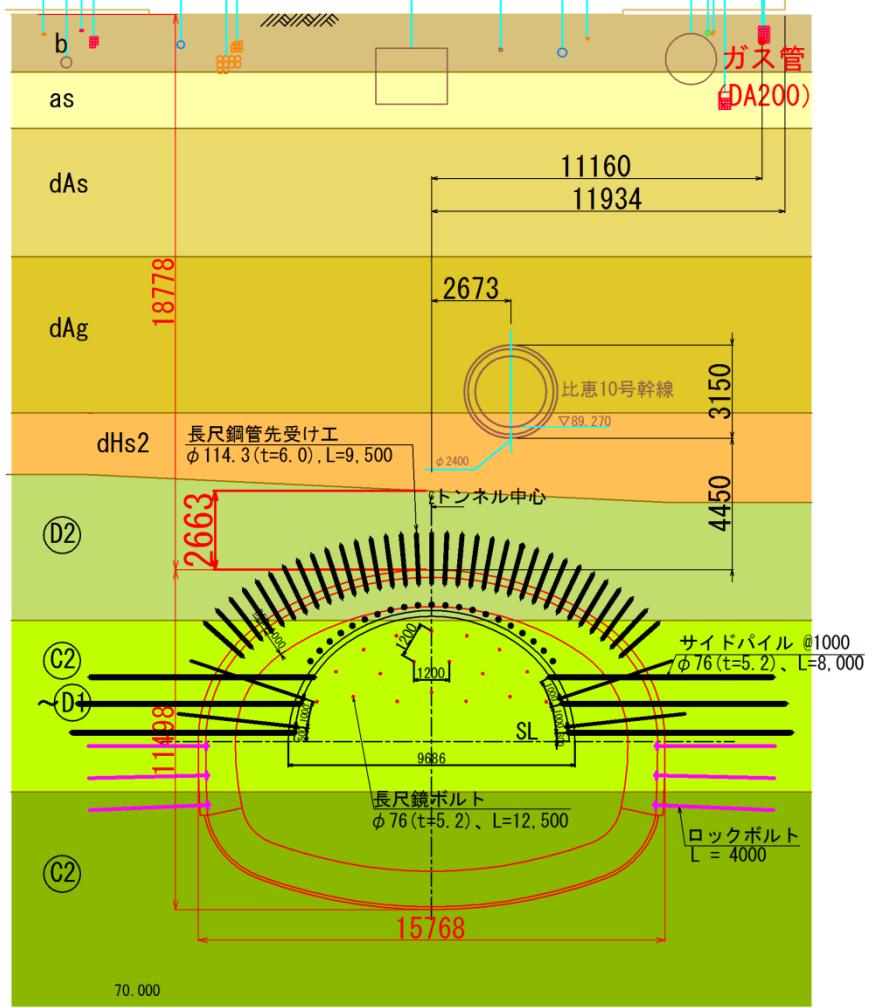
4 大断面トンネル施工時の計測データ

(3) - 6 計測データ (C計測: 下水道管 層別沈下計)



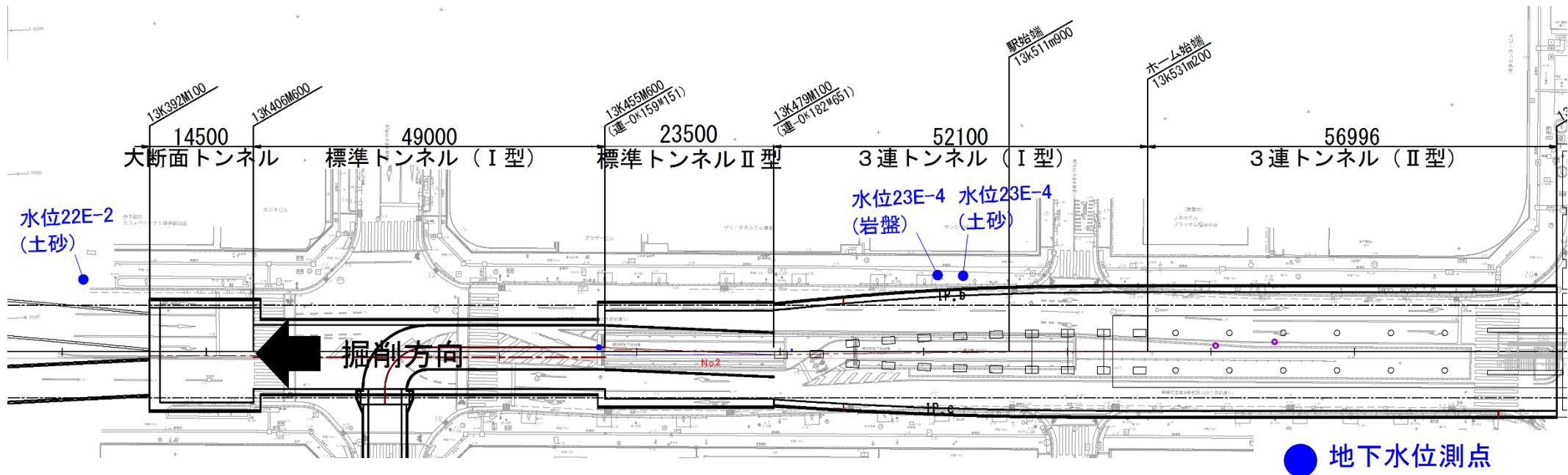
● 層別沈下計

■ 断面図

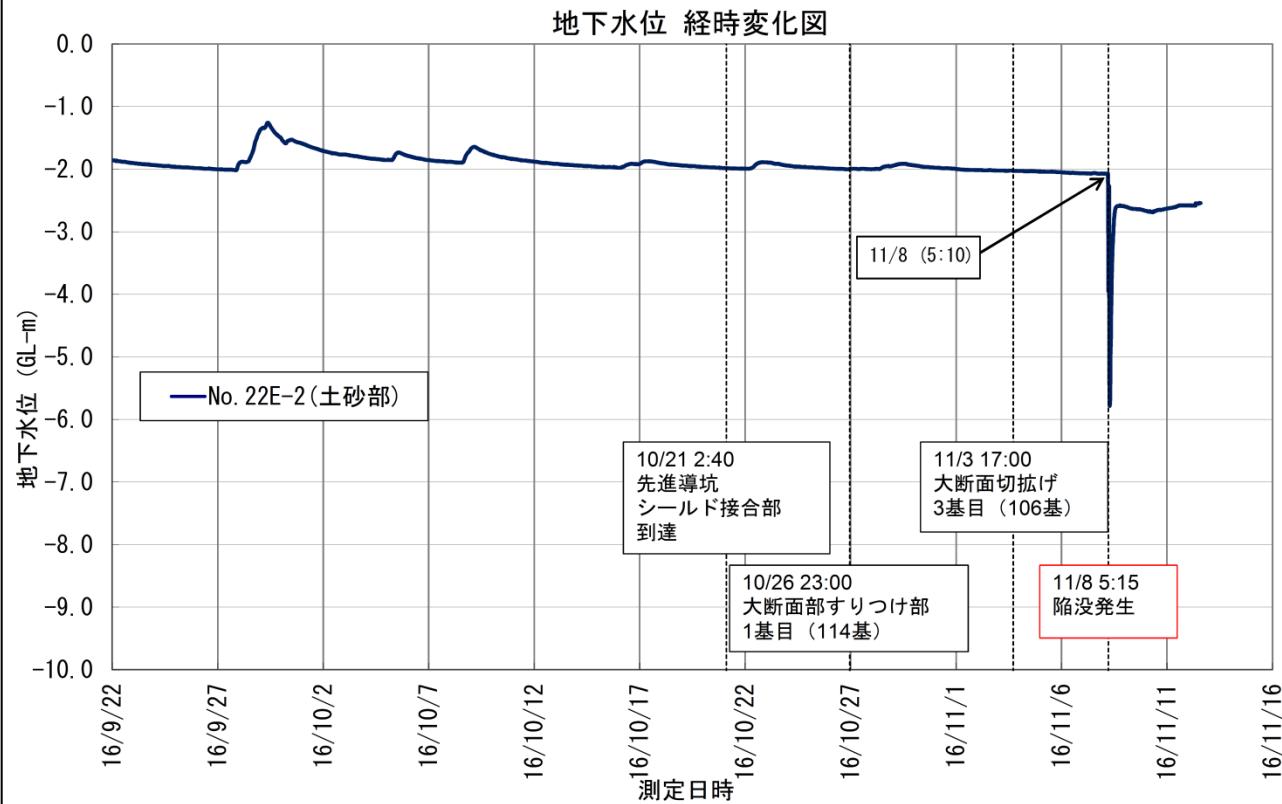


4 大断面トンネル施工時の計測データ

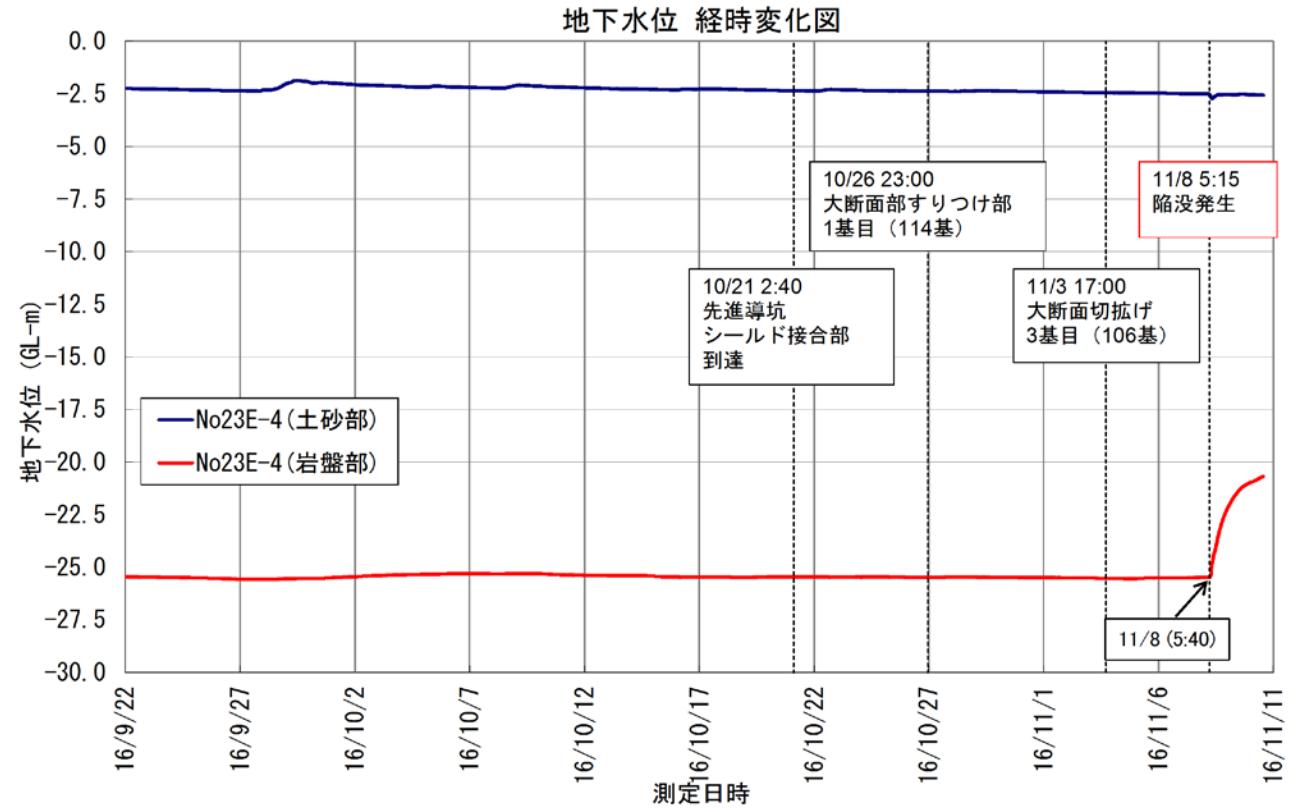
(3) - 7 計測データ (C計測：地下水位)



No. 22E-2



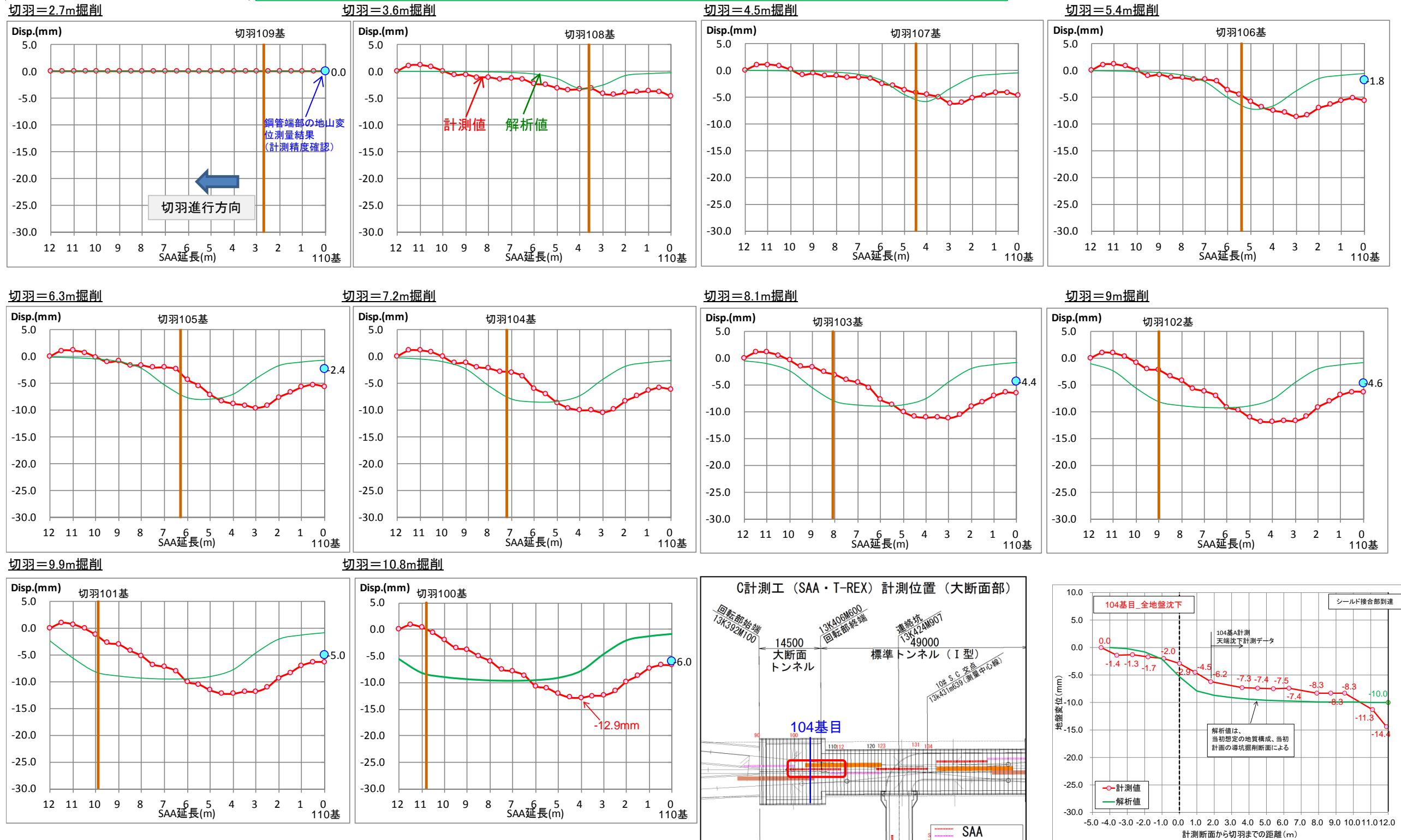
No. 23E-4



4 大断面トンネル施工時の計測データ

(3) - 8 計測データ (C計測 : SAA)

先進導坑 112基 ~ 99基目程度を計測対象範囲とした切羽先行沈下計測結果

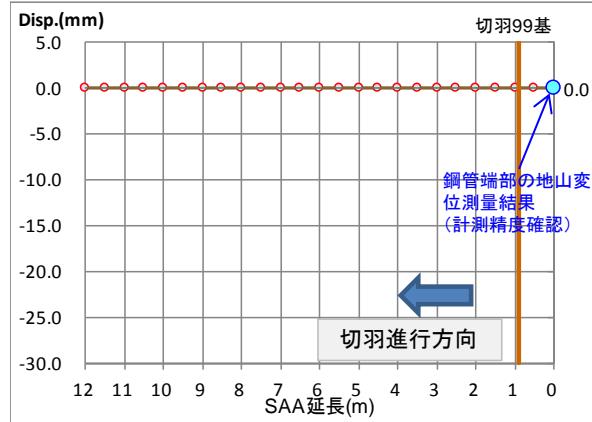


4 大断面トンネル施工時の計測データ

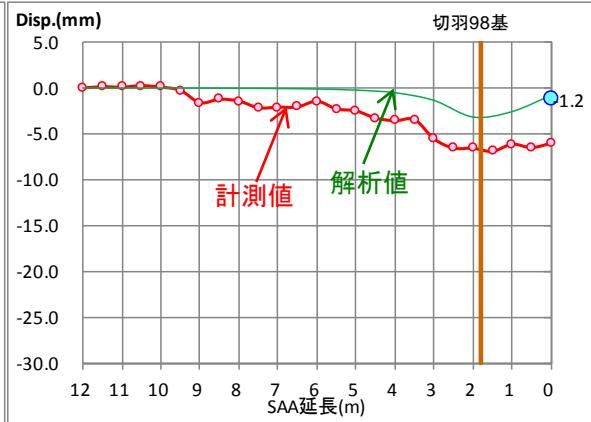
(3) - 9 計測データ (C計測 : SAA)

先進導坑100基~90基目程度を計測対象範囲とした切羽先行沈下計測結果

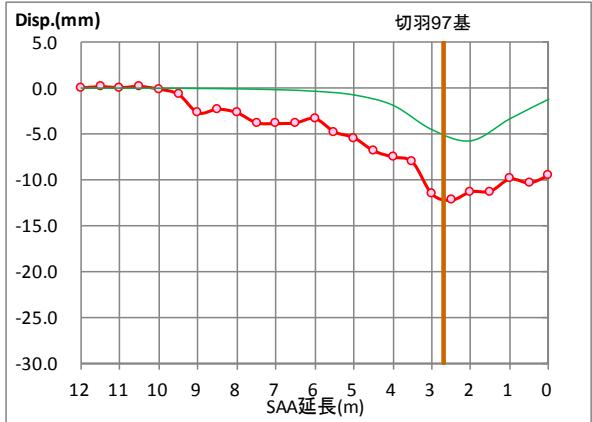
切羽=0.9m掘削



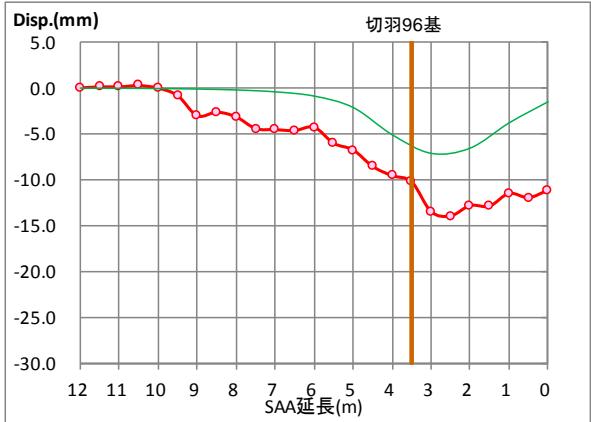
切羽=1.8m掘削



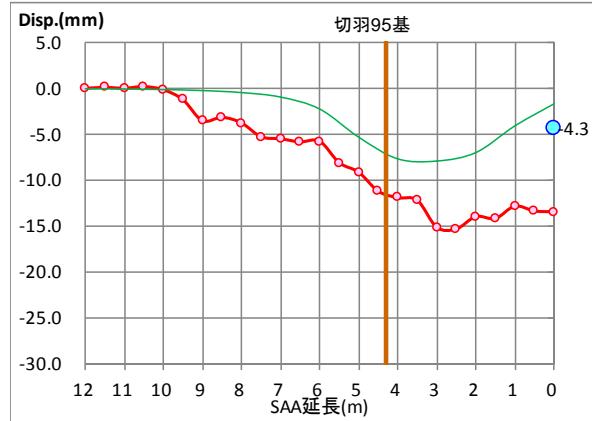
切羽=2.7m掘削



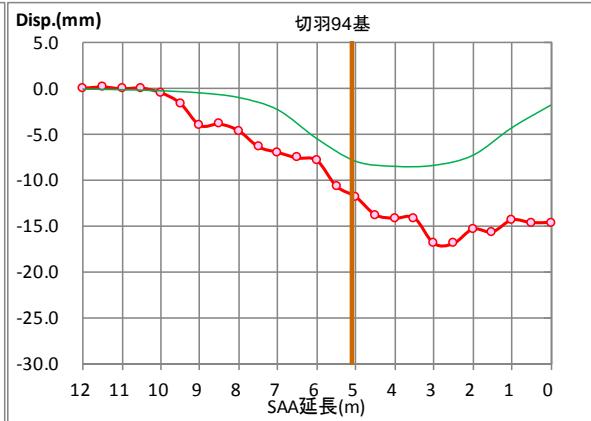
切羽=3.5m掘削



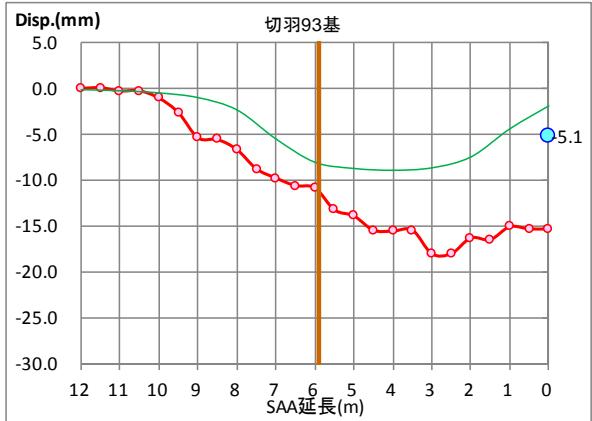
切羽=4.3m掘削



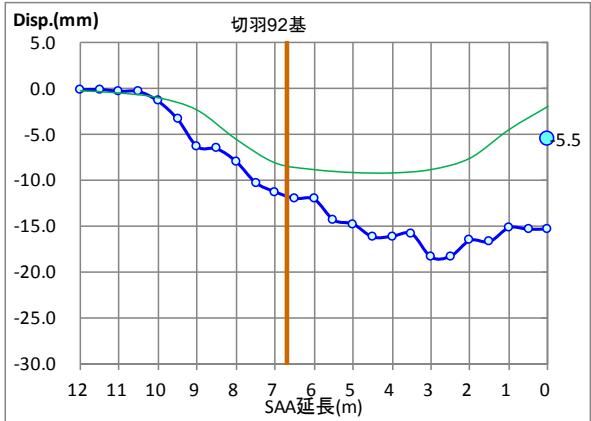
切羽=5.1m掘削



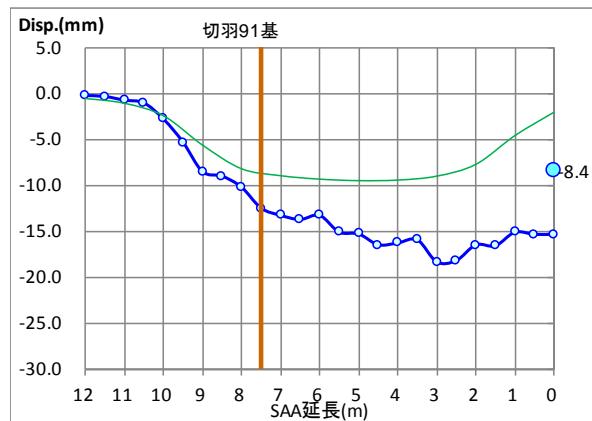
切羽=5.9m掘削



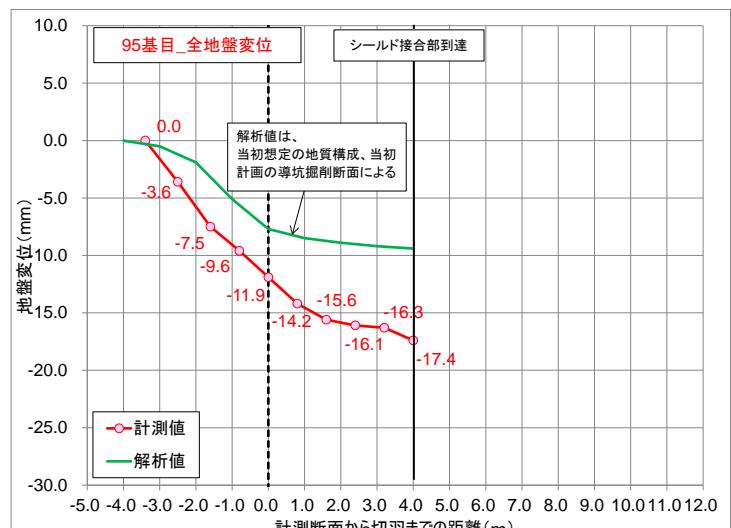
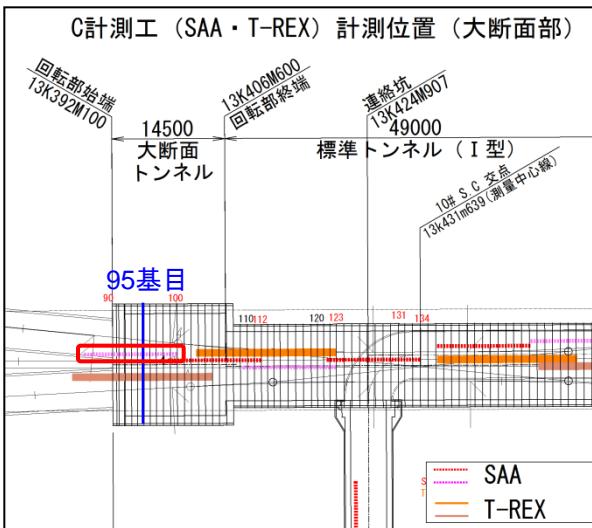
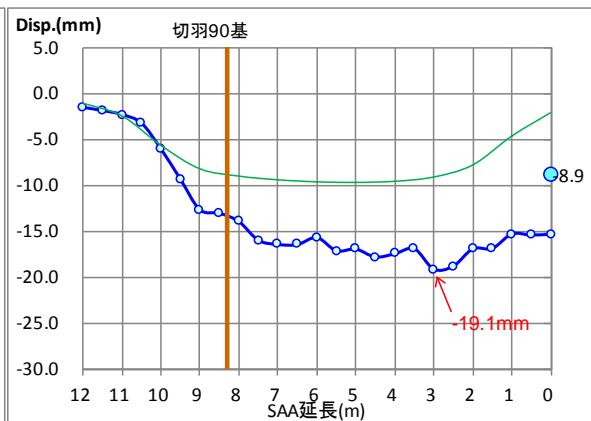
切羽=6.7m掘削



切羽=7.5m掘削



切羽=8.3m掘削

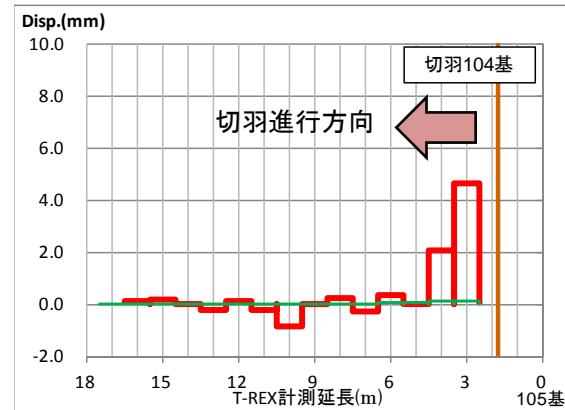


4 大断面トンネル施工時の計測データ

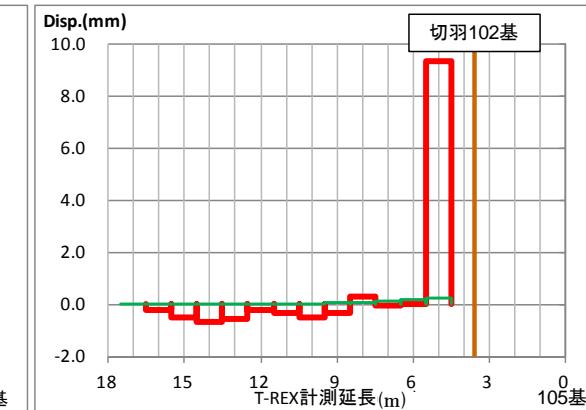
(3) - 10 計測データ (C計測: T-REX)

●切羽押し変位計測 (T-REX) 104基目~90基目までを計測対象として実施

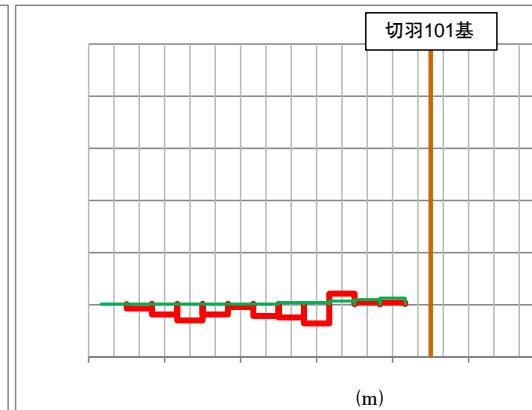
切羽=1.8m掘削



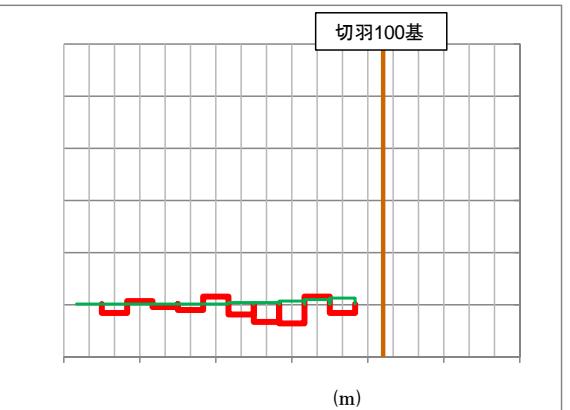
切羽=3.6m掘削



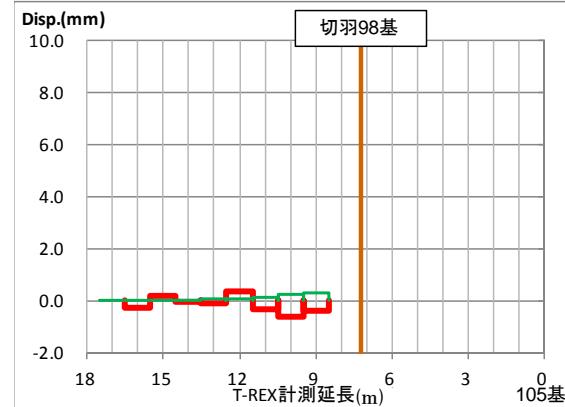
切羽=4.5m掘削



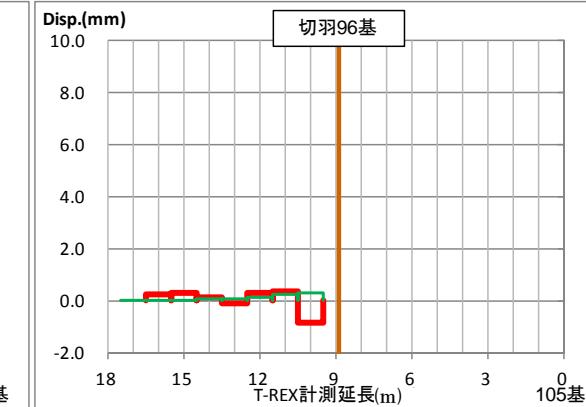
切羽=5.4m掘削



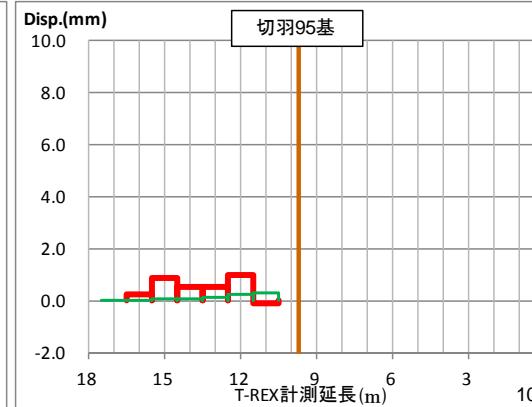
切羽=7.2m掘削



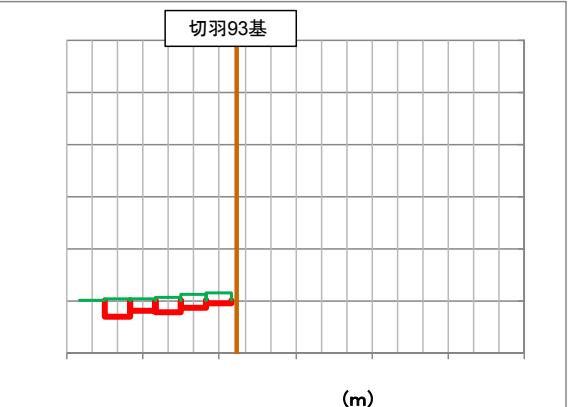
切羽=8.9m掘削



切羽=9.7m掘削



切羽=11.3m掘削



切羽=12.1m掘削

