

地下鉄七隈線延伸建設工事における 道路陥没事故と設計・施工の経緯について

平成29年 1 月
福岡市交通局

〈今回の報告にあたって〉

1 1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より、周辺交通や市民生活並びに経済活動に重大な影響を与え、市民や関係者の皆様に多大なご迷惑、ご不便をおかけしましたことを深くお詫び申し上げます。

工事を進める上での安全管理は、最も重要であり、慎重に工事を進めていたにも関わらず、このような大規模な陥没事故を起こしたことを、深く反省しております。

陥没事故の原因究明につきましては、誰から見ても納得いただけるよう第三者の視点から事故原因を究明する必要があるために、国土交通省に協力を要請したところ、国立研究開発法人土木研究所に設置されました「福岡市地下鉄七隈線延伸工事現場における道路陥没に関する検討委員会」で検討が行われているところでございます。

これまで、様々な情報発信を行ってまいりましたが、この度、事故に関することや施工の経緯などを体系的にまとめて、公表することにいたしました。

今後とも、よりわかりやすい情報発信に努めてまいります。

福岡市交通事業管理者
阿部 亨

目次 . . .

- 1 七隈線延伸事業概要及び各建設工事の概要 (P 1)
- 2 道路陥没事故について
 - (1) 事故発生時状況 (P 2)
 - (2) 陥没事故の対応 (初動期の対応～二次災害防止～道路仮復旧) (P 3 ～ 6)
 - (3) 道路仮復旧後の対応 (P 7)
 - (4) 過去の道路陥没事故並びに延伸建設工事における対策 (参考) (P 8 ～ 9)
- 3 建設工事着手までの検討
 - (1) 線形に関する検討 (P 1 0 ～ 1 1)
 - (2) 工事工法の検討 (P 1 2 ～ 1 3)
- 4 博多駅工区ナトム区間の施工
 - (1) ナトム区間施工概要 (P 1 4)
 - (2) 立坑・連絡坑・標準トンネル・三連トンネルの変更概要 (P 1 5 ～ 1 9)
 - (3) 大断面トンネル (P 2 0 ～ 2 3)
- 5 七隈線建設技術専門委員会について (P 2 4 ～ 2 5)

1 七隈線延伸事業概要及び各建設工事の概要

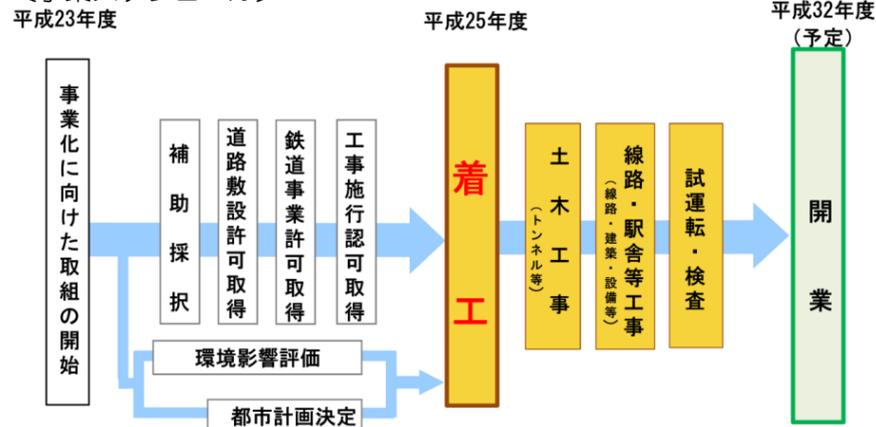
〔福岡市営地下鉄路線図〕



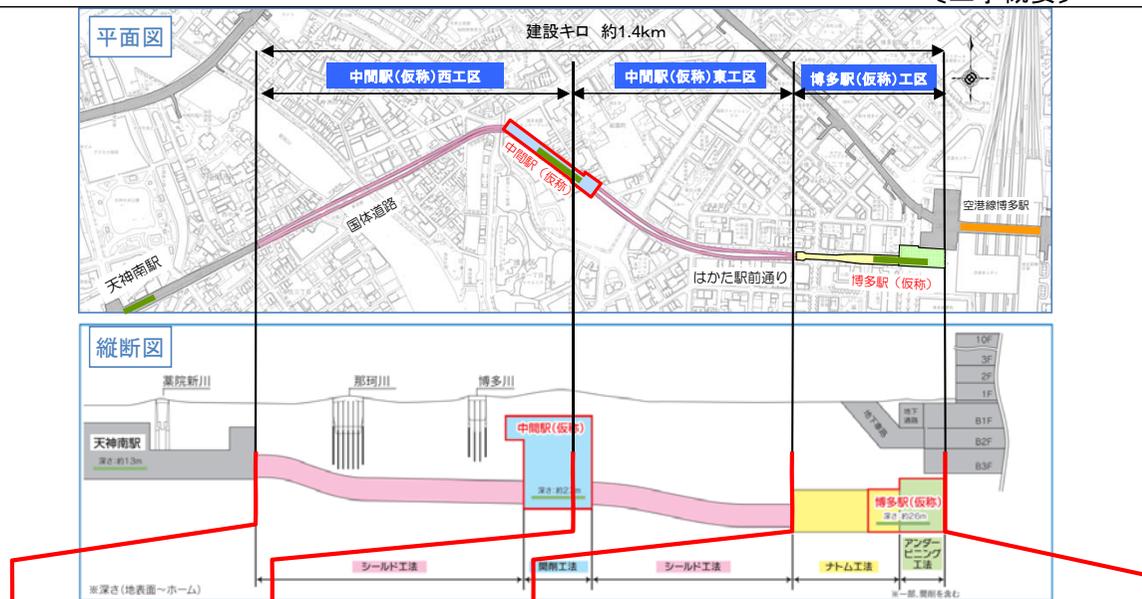
〔事業概要〕

- 延伸区間 天神南～博多
 - 建設キロ 約1.4km (営業キロ 約1.6km)
 - 建設費 約450億円
 - 開業予定 平成32年度
 - 工法 全線地下式 (開削工法, シールド工法, ナトム, アンダーピニング工法)
 - 乗車人員 約6.8万人 (うち, 新規利用者数※1は約2.1万人)
- ※1 マイカーなどから乗り換えて新たに地下鉄を利用される人数

〔事業スケジュール〕



〔工事概要〕



福岡市地下鉄七隈線 中間駅(仮称)西工区 建設工事	福岡市地下鉄七隈線 中間駅(仮称)東工区 建設工事	福岡市地下鉄七隈線 博多駅(仮称)工区 建設工事
工期※ 平成26年3月6日から 平成31年3月15日まで	工期※ 平成26年3月6日から 平成31年3月15日まで	工期※ 平成25年12月5日から 平成31年3月15日まで
大林・熊谷・大本・東田中 建設工事共同企業体	銭高・日本国土・九建 建設工事共同企業体	大成・佐藤・森本・三軌・西光 建設工事共同企業体
工事延長 L=670.9m シールド工法 L=569.9m 開削工法 L=138.7m	工事延長 L=469.6m シールド工法 L=426.1m 開削工法 L= 43.5m	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※ 7,659,360,000円	契約金額※ 4,386,426,480円	契約金額※ 11,298,000,000円
概略設計〔八千代エンジニアリング㈱九州支店〕 地下鉄3号線導入空間検討業務委託(平成22年7月15日から平成23年3月25日まで)		
契約金額(最終) 7,074,900円		
予備設計〔日本シビックコンサルタント㈱九州事務所〕 地下鉄3号線構造計画検討業務委託(平成23年4月16日から平成24年3月25日まで)		
契約金額(最終) 13,419,000円		
詳細設計〔中央復建コンサルタンツ㈱九州支店〕 福岡市地下鉄七隈線土木構造物実施設計 (天神南駅三線部終端～シールド終端)業務委託 (平成24年10月10日から平成25年9月10日まで)	詳細設計 〔八千代エンジニアリング㈱九州支店〕 福岡市地下鉄七隈線土木構造物実施設計(天神南駅三線部終端～ナトム構築終端)業務委託 (平成24年7月3日から平成25年3月25日まで)	詳細設計 〔バンフィックコンサルタンツ㈱九州支店〕 福岡市地下鉄七隈線土木構造物実施設計(ナトム構築終端～博多駅構築終端)業務委託 (平成24年6月28日から平成25年5月31日まで)
契約金額(最終) 96,214,650円	契約金額(最終) 26,168,100円	契約金額(最終) 62,591,550円

※建設工事の工期及び契約金額については, 当初契約時

2 道路陥没事故について

(2) - 1 陥没事故の対応(初動期の対応)



5:15頃 道路陥没(舗装クラック発生)



5:30頃 道路北側陥没

<安全確認のため注視していた項目>

- ・陥没穴の観察(陥没部の水位が上がらない=水が抜けている)
- ・立坑の観察(水位変動)
- ・地下水の覆水観察(陥没部及び立坑部の水位差の確認)

初動期における現場観察

8日 5:00 6:00 7:00 8:00 9:00 10:00 11:00 12:00 8日14:30頃

道路陥没

埋戻し材の検討

流動化処理土投入開始

5:50頃
警察による交通規制開始

7:20頃 道路中央部陥没



<埋戻し材の決定>

二次災害防止と陥没箇所を安定させる目的で流動化処理土の使用について大成JVから提案を受け、交通局と大成JVで協議を行い埋戻し材を流動化処理土とすることを決定
※地下埋設物などの落下物の残置について道路管理者と協議

<ライフライン調整会議の開催を決定>

ライフラインを早期に復旧するために、各ライフライン事業者を一堂に集めることを決定

ライフライン調整会議(第1回)



5:20頃 道路南側陥没

ライフライン関係

初動期<二次災害の防止>

- ・建物への影響
- ・ガス管破損に伴う着火の危険性
- ・電力ケーブルの破断による放電発生
- ・水圧低下と濁水発生
- ・下水衛生面の問題

など

6:00~7:45
ライフライン等の関係者へ連絡

8日15:00頃

2 道路陥没事故について

(2) — 2 陥没事故の対応(二次災害防止)

道路陥没

【想定された二次災害】

- ・建物への影響
- ・電力ケーブル破断によるガスへの引火
- ・上水道の水圧低下と濁水発生
- ・井戸水の濁り
- ・ガスパ破損に伴う火災の危険性
- ・下水衛生面の問題

【ライフライン関係等の対応】

- ガス管〔西部ガス〕
(中圧ガス管, 低圧ガス管)
 - ・ガスの漏えいを防ぐため, バルブ閉止及びガス管の切断を実施。
- 電力ケーブル〔九州電力〕
 - ・電力ケーブルの破断による放電発生の恐れがあったため, 系統を切替え, ケーブルの切断を実施。
- 通信ケーブル〔NTT〕
 - ・道路陥没箇所を迂回する経路を選定し, 仮設の新たな通信ケーブルを設置し回線の切替工事を実施。
- 上水道〔水道局〕
 - ・濁水解消のため洗管を実施し水質確認
 - ・止水後, 土砂等混入防止のため栓止め
- 下水道〔道路下水道局〕
 - ・陥没部への下水の流入を防ぐため, 下水道の使用自粛要請。
 - ・使用自粛期間を最小限に食い止めるために迂回排水を実施。
 - ・陥没箇所における衛生面の対応として, 陥没箇所内の流入水及び滞留水に塩素系消毒剤(固形・液体)を適宜投入。
 - ・再生水については, 上水道と併せて止水後, 供給停止施設は上水道からの切り替え運用により供給。
- 井戸水〔保健福祉局〕
 - ・陥没現場周辺地区の井戸水検査を実施。

【道路・交通関係】

- 道路管理者〔道路下水道局・博多区役所〕
道路陥没部における, 信号機等落下の対応
 - ・落下物の把握
 - ・緊急措置としての落下物残置について道路管理者と協議
⇒後日, 環境局と協議
(不法投棄のような不適正処理には当たらないことを確認)
 - ・道路仮復旧に向けた協議
- 交通管理者〔福岡県警察・博多警察署〕
 - ・交通規制を行い, 陥没部への一般車両等の通行を規制。
 - ・ガス漏えいのため, 火気使用禁止の呼びかけ。
- バス・タクシー
 - ・道路陥没に伴い迂回を要請。

【建物関係】

- 建物
※伊予銀行, タカキビル, 紙与駅三ビル
 - ・伊予銀行, タカキビル, 紙与駅三ビルの基礎図面を確認
 - ・市民局による避難勧告発令(11/15道路仮復旧に合わせて解除)
 - ・被災建築物応急危険度判定士(市職員8名)による周辺建築物の確認
 - ・福岡市設計測量業協会による建築物測量(沈下, 傾き)
11/8~11/17の期間において測量を実施



陥没部状況写真

2 道路陥没事故について

(2) — 3 陥没事故の対応（道路仮復旧）※施工手順

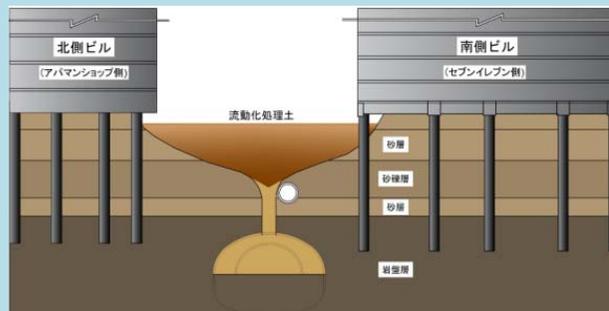
■ STEP-1 流動化処理土埋戻し（11月8日～9日）

【条件】

- ・陥没した隙間を細部まで充填する
- ・ライフラインの早期復旧を行う
- ・地盤の強度が必要である
- ・トンネル内部に土砂を流入させないように安定させる

流動化処理土で埋戻し

[埋戻しイメージ]

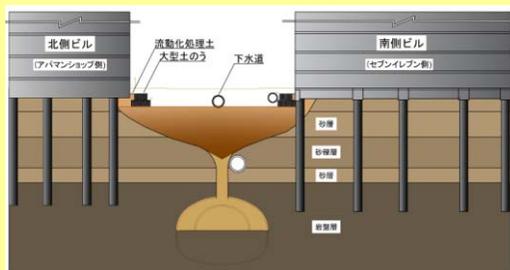


[打設状況]



■ STEP-2 ライフライン復旧と近接ビル基礎周辺の充填開始（11月10日～13日）

[復旧イメージ]



[ライフラインの復旧]



[近隣ビル基礎周辺の充填]



■ STEP-3 砕石埋戻し・道路舗装（11月11日～14日）

[復旧イメージ]



[砕石埋戻し]



[路盤工]



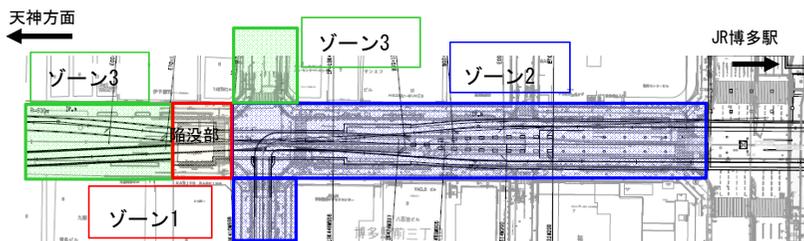
[道路の復旧完了]
11月15日（火）午前5時



2 道路陥没事故について

(2) - 3 陥没事故の対応 (道路仮復旧) ※安全性の確認

〔確認の手法〕



安全性の確認

陥没部

- [ゾーン1]
 (1) 埋戻し材 (流動化処理土) が適切で空洞がない
 (2) 道路としての機能確保

周辺部

- [ゾーン2]
 (1) 路面下に空洞がない
 (2) トンネルが健全である

- [ゾーン3]
 (1) 路面下に空洞がない

ゾーン2・ゾーン3

- (1) 路面下に空洞がない
 空洞調査 (地中レーダー探査) により確認
 ⇒路面陥没に至るような空洞は見られなかった



- (2) トンネルには大きな異常がないと考えられる
 ・陥没前後の路面沈下に、大きな変化がないことから、トンネルも大きな変化がないと考えられる。
 ・陥没後水中カメラロボットで連絡坑から土砂堆積部まで確認した結果、
連絡坑側壁部には大きな異常は見られなかった。

ゾーン1

- (1) 埋戻し材 (流動化処理土) が適切で空洞がない
 ①小さな隙間, 空洞が充填されていること

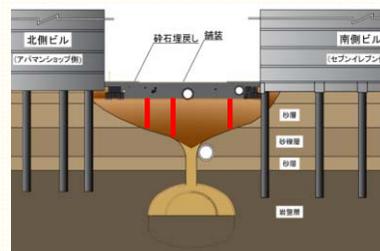


●流動化処理土の特徴

流動化処理土は、土砂に大量の水を含む泥水 (もしくは通常の水) と固化材を加えて混練することにより、流動化させた湿式土質安定処理土で、土工による締固めが難しい狭隘な空間などに、**流し込み施工で隙間を充填し、固化後に発揮される強度と高い密度**により品質を確保する土工材料である。

『流動化処理土利用技術マニュアル』 (現: 国立研究開発法人 土木研究所)

- ②十分な強度を有していること
 [ボーリング調査位置図]



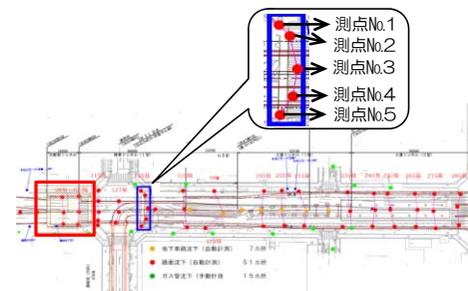
現場から採取した試料による圧縮強度試験より、流動化処理土の平均圧縮強度は $10,176\text{kN/m}^2$ で、現地盤の推定強度 380kN/m^2 よりも堅固である。

- ③路床, 路体として、これまで**十分な使用実績**があることを確認

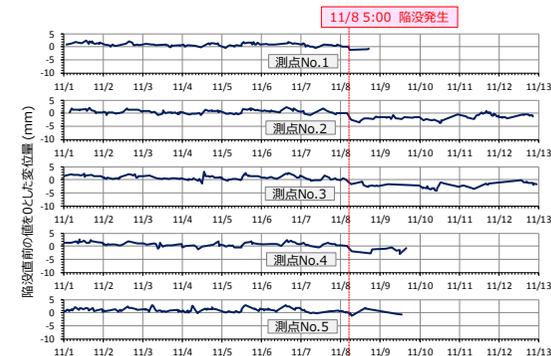
- (2) 道路としての機能確保
 路床, 路盤の品質管理として、以下の試験を実施し、**十分な強度を有することを確認**

- ①現場密度の測定: **必要な支持力**を確認するため、締固めによる**密度を確認**
 ②プルーフローリング試験: 仕上り後の不良箇所の有無を確認するため、タイヤローラーを走行させ、目視によって**不均一なたわみが発生していないこと**を確認

〔路面沈下計測ポイントと計測結果〕



陥没前後で大きな差異は見られない。



2 道路陥没事故について

(3) 道路仮復旧後の対応

11/15

① 道路管理者・交通管理者による安全確認を受けて道路の供用再開（午前5時）

埋戻し箇所ではボーリング調査を行い、十分な強度が確保されていることを確認。（原地盤強度よりも堅固であることを確認）

流動化処理土下部の緩んだ可能性のある砂層とそれ以外の健全な地盤で埋戻し土の支持力を計算。

11月14日に専門技術者等による「はかた駅前通り仮復旧道路の安全性を確認するための『専門技術者による会議』」において仮設構造物としての安全性が確認された。
その際、ある程度の路面沈下はありうるという意見や仮設構造物の前提となる流動化処理土下の地盤の強度についてチェックボーリングを出来るだけ早く実施する必要があるとの意見があった。また、道路開放後も安全性を確認するため、継続してモニタリングを実施することを報告した。

11/18

② チェックボーリングの開始（午後9時）

- ・目的：下部地盤の性状確認⇒**緩い砂層が確認された。**
- ・調査箇所：5ヶ所
- ・期間：11/18～12/2

11/26

③ 平均38mm（最大70mm）の路面沈下発生

- 原因
流動化処理土下部の緩み箇所が道路開放後に圧縮されたことによる沈下と推測。
- 時系列
 - 0：30 最大15mm路面沈下を計測
 - 1：23 地表面沈下が最大で24mmを超える
 - 1：45 交通規制開始（博多区役所南口交差点～博多口交差点）
 - 2：40 最大70mmの路面沈下を計測（以降変化なし）
 - 3：40 交通規制縮小（損保ジャパン～鹿児島銀行前）
 - 5：30 **交通規制解除**

12/2

④ 薬液注入の開始（午後9時）

- チェックボーリングの結果や、路面沈下の事象が発生したこと、「専門技術者による会議」の議論を踏まえ、**長期的により高い安全性を確保するため**、地盤改良工事を実施。
- ・目的：流動化処理土下部の地盤改良
 - ・期間：12/2～12/28

《モニタリング》

●実施事項

現場状況確認

- 路面施設：目視による点検
- 保安施設：目視による点検
- 地表面沈下：自動計測

●路面測定及び保安施設の点検

- ・11月15日～21日：1時間に1回（交通局職員とJV職員による確認）
 - ・11月22日～25日：3時間に1回（JV職員による確認）
 - ・11月26日～1月14日：1時間に1回（JV職員による確認）
 - ・1月15日～：3時間に1回（JV職員による確認）
- ※但し、沈下後の11月26日～12月28日まで、JV職員による24時間監視を行った。

●地表面沈下管理値

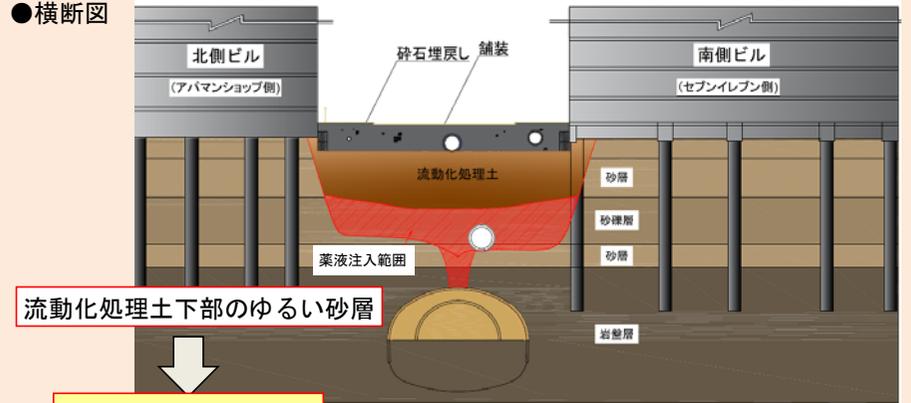
- ・1次管理値：10mm（監視人数の増加）
- ・2次管理値：15mm（関係者と対応協議）
- ・3次管理値：24mm（通行止め）

●地表面沈下観測 10分に1回（自動計測）

●11/26 5：30交通規制解除と判断した根拠（安全性の確認）

1. 沈下量が予測（当初80mm程度）の範囲内であること
（路面沈下後、大成JVより交通局へ報告）
2. 午前2時40分以降沈下が進行していないこと
3. 路面の状況に大きな段差等もなく、一般車の通行走行に支障がないことが確認できたこと
4. 地下埋設物に異常がないことが確認できたこと
（各埋設管理者による現地確認及び西部ガスと消防局によるガス漏えい点検）
5. 立坑内の状況に変化がないこと

●横断面図

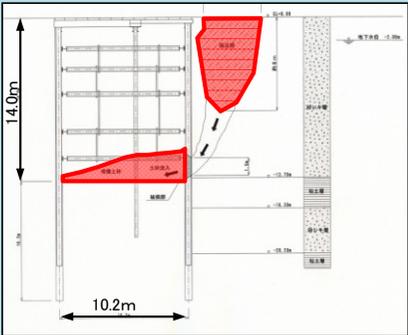
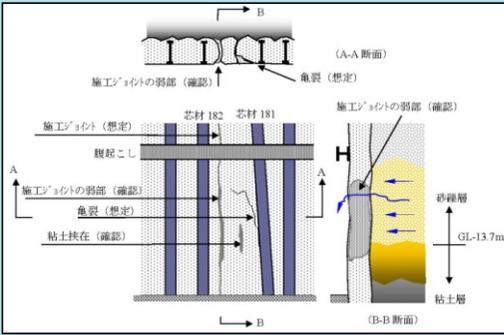
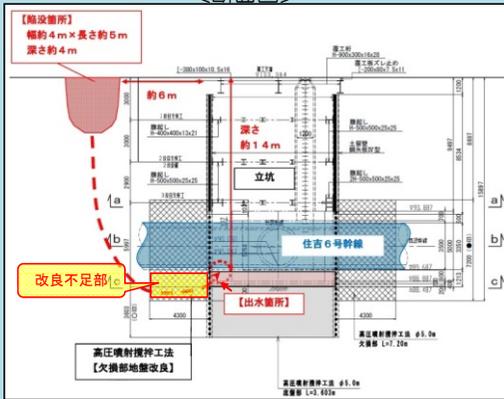


●予測沈下量（大成建設による試算）

地盤改良前 (11/26)	地盤改良前 (12/2)	地盤改良後 (12/28)
80mm程度	86mm	26mm
4本のボーリング により算出	5本のボーリング により算出	3本のボーリング により算出

2 道路陥没事故について

(4) - 1 過去の道路陥没事故 (参考)

工事名	福岡市高速鉄道3号線薬院工区建設工事	福岡市地下鉄七隈線中間駅(仮称)建設に伴う住吉6号幹線移設工事
事故発生日	平成12年6月20日	平成26年10月27日
陥没規模	幅約5m×長さ約10m×深さ約8m	幅約4m×長さ約5m×深さ約4m
工法	開削工法(連続地中壁)	開削工法(鋼矢板土留壁 欠損部地盤改良)
地質	洪積層砂礫	洪積層砂礫
状況写真		
概要	<p>〔断面図〕</p>  <p>〔破損前の土留壁のイメージ図〕</p> 	<p>〔断面図〕</p> 
発生原因	土留壁の施工ジョイント部に弱部があったため、地下水により浸食が始まり、土留壁の一部が破損し土砂が流入した	欠損防護部の地盤改良に一部改良不足があったため、その改良不足箇所が土砂流入経路となり、立坑内に土砂が流入した
再発防止対策	<p>従来の点検項目に加えて、土留壁の重要点検項目を新たに定め、掘削過程における監視体制の強化を図る</p> <div style="border: 1px dashed black; padding: 5px;"> <p>【重要点検項目】</p> <p>(路面状況)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・構外点検(亀裂・段差) ・構外点検(沈下) <p>(構内状況)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・構内点検(湧水・漏水) ・構内点検(クラック) ・構内点検(変形) ・構内点検(にじみ・損傷) ・構内点検(変形・異常) ・構内点検(変位) </div>	<p>交通局の仕様書を改定して、地盤改良の出来形確認を強化するとともに、施工者の責任を明確化</p> <div style="border: 1px dashed black; padding: 5px;"> <p>【改定事項】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・施工前に改良箇所付近で土質調査を実施したうえで、設計照査実施後に着手 ・施工計画の記載事項に搬入機材の点検記録や工事手順毎の施工管理方法を追加 ・施工完了後に施工記録の提出を義務化 ・出来形管理について、現場条件に合った確認箇所、頻度、方法を監督員協議により決定 ・土留欠損防護など土留機能を有する工種について、施工上の留意点などを追記 </div>

2 道路陥没事故について

(4) - 2 延伸建設工事における対策 (参考)

	事故前の対応	事故後の対策	延伸建設工事		
			博多駅工区	中間駅西工区	中間駅東工区
地中連続壁	土留壁について、1回/日の巡回点検を実施することとしているが、具体的な点検項目については、施工業者に一任していた。	交通局として、土留壁の重要点検項目を新たに定め、掘削過程における監視体制を強化するよう、施工業者に通知した。	掘削工事中 重要点検項目の点検を実施中 ・作業日毎に点検し、記録を監督担当課へ月例報告	連続地中壁施工中	連続地中壁施工完了 (掘削工事も着手)
(高圧噴射攪拌工) 地盤改良	・残尺のチェック等により、改良体の築造深度を確認 ・必要に応じ、ボーリング調査を実施	事故前の対策に加え ・施工前に改良箇所付近で土質調査を実施したうえで、設計照査後に着手 ・施工計画の記載事項に機材の点検記録や工事手順毎の管理方法を追加 ・施工完了後に施工記録の提出を義務化 ・改良体の出来形確認について、確実に改良効果が確認できるよう、出来形確認位置・頻度・方法について、監督員協議により決定	●施工完了 ・施工前の土質調査を実施 ・改良体造成中の削孔水等の圧力や引上げ速度、回転数をモニタリング ・使用機材の作業前点検 ・造成後のボーリングによる出来形確認とコア採取による強度確認 ・掘削にあわせて、ロックハンマーや打音、目視点検により改良体の状態を確認	○施工中 ・施工前の土質調査を実施 ・改良体造成時に切削音をモニタリングし、改良体の造成径を把握 ・造成後のボーリングによる出来形確認とコア採取による強度確認	○施工中 ・施工前の土質調査を実施 ・削孔完了後、精度確認のため、ジャイロと加速度計を用いた孔曲り計測を実施 ・改良体造成前に鋼管を土中建込し、削孔状態を鋼管表面に付く摩耗跡にて確認 ・造成後のボーリングによる出来形確認とコア採取による強度確認

延伸建設工事における「安全対策」に関する主な取り組み

○受注者安全訓練への監督職員参加 (毎月)



○工事安全協議会の実施 (四半期ごと)



○工事事務所パトロール (毎月)



○理事・部長パトロール (年2回)
○部長パトロール (四半期ごと)



現在施工中の延伸建設工事については、過去の事故の教訓を踏まえ、

- ・開削工法における連続地中壁の監視を強化
 - ・地盤改良部の出来形確認の強化
- といった対策をとっている。

延伸建設工事における「安全対策」に関する主な取り組みとしては、

- ・「七隈線延伸建設工事安全推進計画」の策定
- ・「事故防止検討委員会」の設置
- ・「七隈線延伸建設工事安全協議会」の設置
- ・理事、部長による安全パトロールの実施
- ・七隈線延伸建設工事安全標語の制定

などを実施している。

地下鉄七隈線延伸建設工事安全十訓

平成28年度安全標語

1. やったつもり 見たつもり
「つもり」積もれば 事故のもと

1. 不安に思ったその瞬間 次に進まず
まず確認

1. 七隈線 係載なく迎える 一番列車

1. 安全は 一人ひとりが 責任者

1. さあ帰ろう 今日も無事故で我が家へ

1. 無災害 続けて つながる七隈線

1. 安全の意識高めて 係載ナシ! 事故ナシ!
笑顔アリ!

1. 無事故でつながる七隈線 みんなの笑顔が
持っている

1. 無事故の決意「今から」「ここから」
「自分から」

1. ダンプの遅れ 急ぐ時ほど 平常運転

福岡市公共工事安全推進計画

基本方針 「事故ゼロの実現を目指す!」

28年度の取組方針

「目標」

- 1) 死亡・重傷大事故ゼロ
- 2) 重大事故・重傷事故の発生を抑制する
- 3) 重大事故・重傷事故の発生を抑制する
- 4) 工員等労働災害の発生を抑制する
- 5) 労働者・市民の安全意識を高める
- 6) 労働安全衛生の向上を図る

「重点項目」

「28・29年度」 福岡市安全標語

大丈夫! 本当にそれで 大丈夫?
安全確認 いま一度

気をぬく 慣れた時こそ 事故おこす

3 建設工事着手までの検討

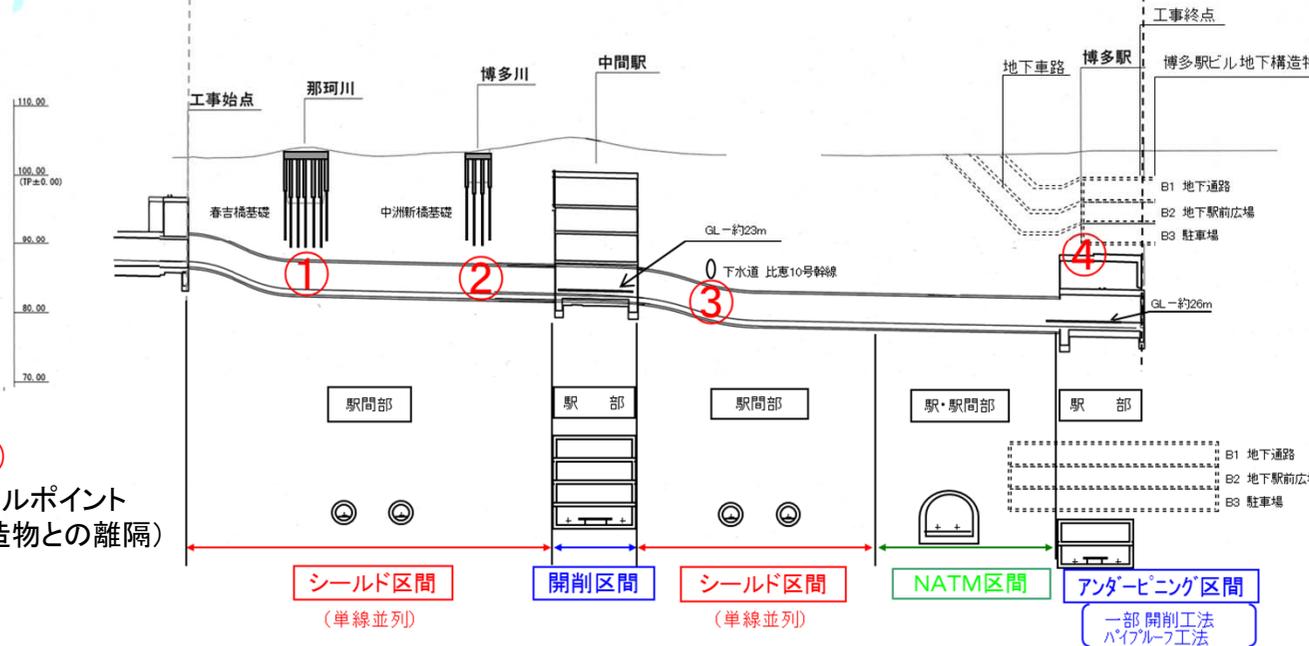
(1) 線形に関する検討

駅及びトンネルを道路下に収めるよう平面線形を検討した。



平面線形の基本的な考え方

- 道路内に路線を入れる
- 官民境界からの最小離れ50cm
- 最小曲線半径 R=100m
- 直線ホーム



①～④
コントロールポイント
(既設構造物との離隔)

縦断線形の基本的な考え方

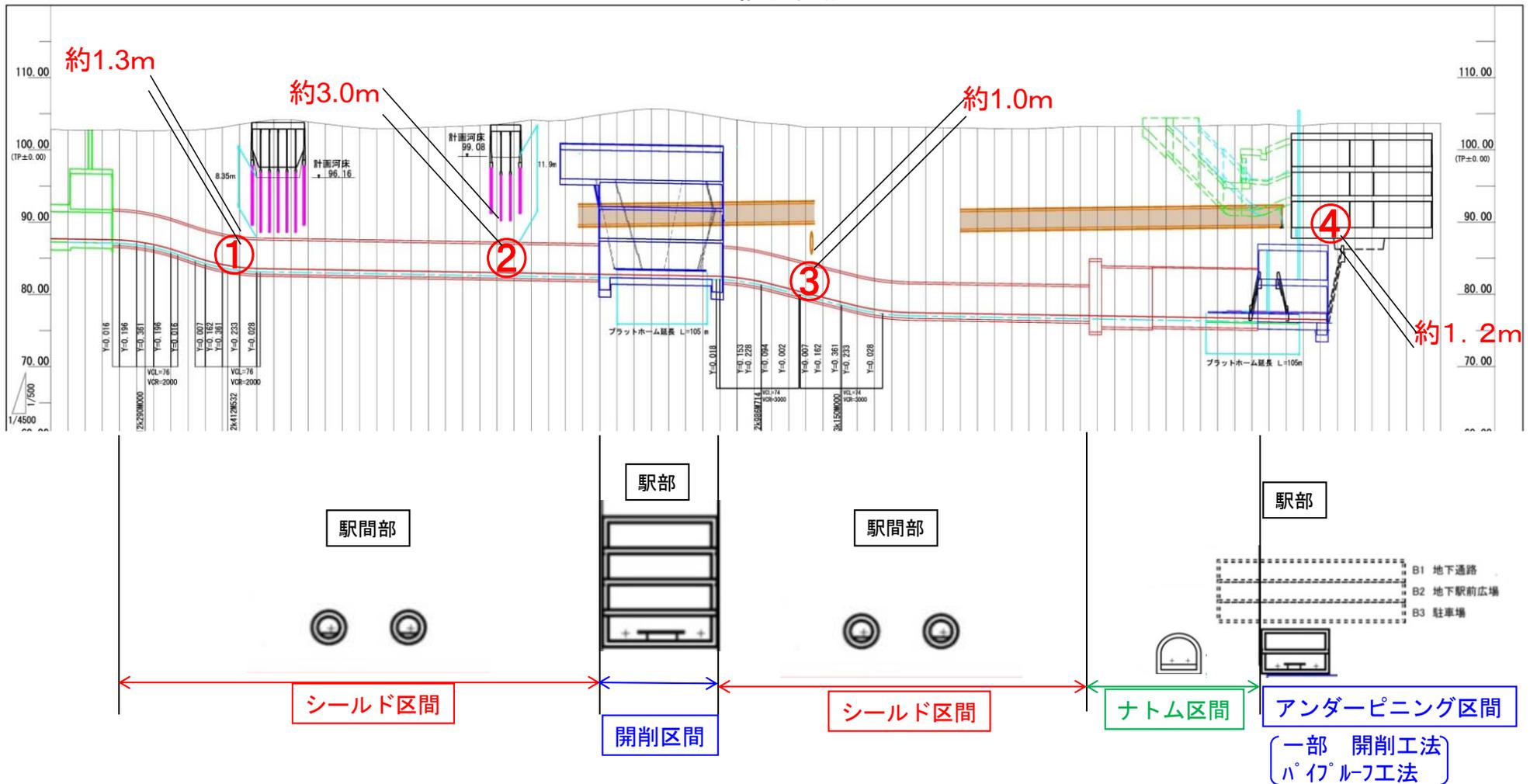
- 次ページを参照

3 建設工事着手までの検討

(1) 線形に関する検討

既存構造物との必要離隔を確保するとともに列車の走行性などを考慮し決定した。

構造物縦断面図



① 春吉橋基礎杭 約1.3m

② 中洲新橋基礎杭 約3.0m

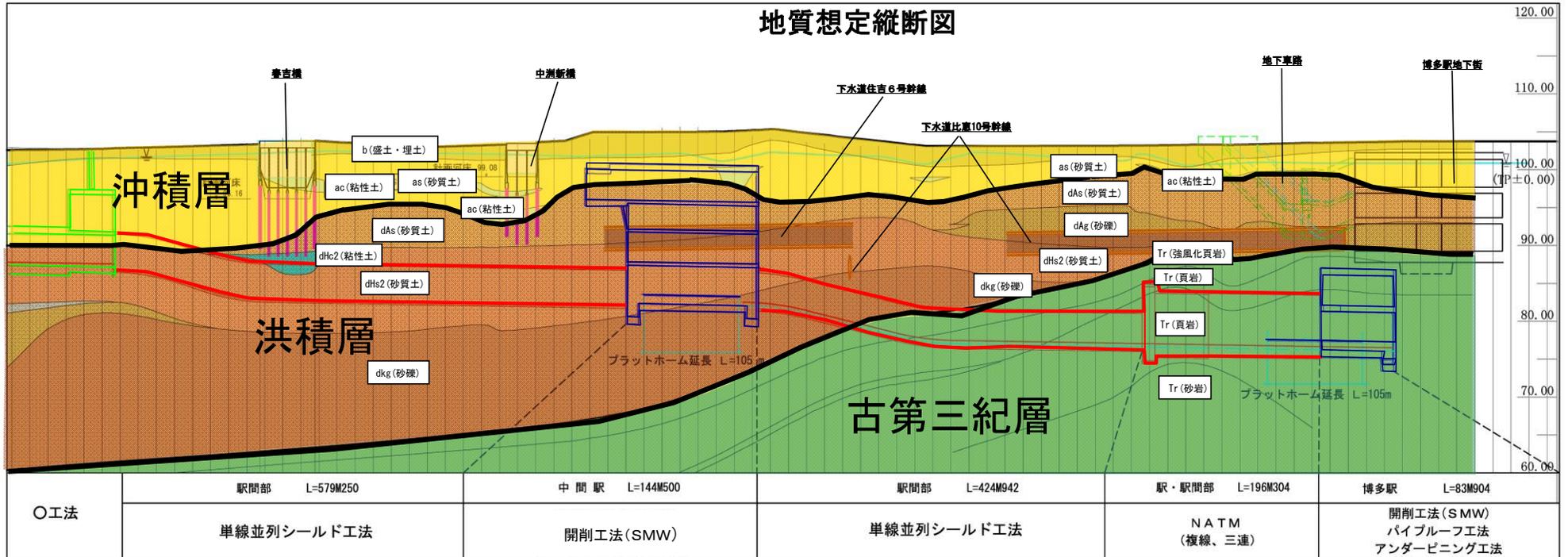
③ 下水道比恵10号幹線 約1.0m

④ 博多駅地下街 約1.2m

3 建設工事着手までの検討

(2) 工事工法の検討 (地質概要)

工法選定においては、地質状況(土砂, 岩盤)を踏まえ、適用可能な工法を選定した。
 中間駅～博多駅間は、土砂層はシールド工法, 岩盤層はナトム工法の採用を計画した。



工法選定の基本的な考え方

① 天神南駅～中間駅

- ・河川を2箇所横断し、交通量が多い国道道路に地下鉄を敷設することから、非開削工法を採用。
- ・非開削工法のうち、断面形状に変化がなく、土砂層での掘削となるため、シールド工法を採用。

② 中間駅

- ・駅の断面形状が複雑であるため、開削工法を採用。

③ 中間駅～博多駅

- ・地下車路や重要な占有物が多く埋設されており、交通量が多いはかた駅前通りに地下鉄を敷設することから、非開削工法を採用。
- ・非開削工法のうち、断面形状に変化がなく、土砂層から岩盤層に変化する区間についてシールド工法, 岩盤層で断面形状が変化する区間についてナトム工法を採用。

④ 博多駅

- ・既存構造物の下に新たな駅を設置するため、開削工法, パイプルーフ工法, アンダーピニング工法を採用。

3 建設工事着手までの検討

(2) 工事工法の検討

平成22年度から地質調査及び構造検討を開始し、段階的に検討の精度を向上させた。
平成23年度の予備設計の中でナトム工法の採用が提案された。

- | | | |
|-------------------|--------|---|
| 22年度
～
23年度 | 地質調査 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 土質調査 (柱状図・地層想定図) <ul style="list-style-type: none"> ●地下鉄3号線地質調査業務委託 (その1)
期 間: H22.6.5~H22.10.2
概 要: <u>ボーリング調査 (2箇所, うちナトム区間1箇所)</u> ●地下鉄3号線地質調査業務委託 (その2)
期 間: H22.12.29~H23.3.25
概 要: <u>ボーリング調査 (2箇所)</u> ●平成23年度 地下鉄3号線地質調査業務委託
期 間: H23.9.21~H24.3.28
概 要: <u>ボーリング調査 (4箇所, うちナトム区間1箇所)</u> |
| 22年度
～
24年度 | 設
計 | <ol style="list-style-type: none"> 2. 概略設計 [八千代エンジニアリング(株)] <ul style="list-style-type: none"> ●地下鉄3号線導入空間検討業務委託
期 間: H22.7.15~H23.3.25
概 要: <u>概略設計業務 (平面・縦断線形検討, 施工方法概略検討)</u> 3. 予備設計 [日本シビックコンサルタント(株)] <ul style="list-style-type: none"> ●地下鉄3号線構造計画検討業務委託
期 間: H23.4.16~H24.3.25
概 要: <u>地下鉄3号線都心部区間 (天神南~博多駅) の
地下鉄構造計画検討 → ナトム工法の提案</u> 4. 第1回 七隈線建設技術専門委員会 (H24.1.13) <ul style="list-style-type: none"> ●七隈線延伸全体計画について基本事項を確認 5. 詳細設計 [八千代エンジニアリング(株)] <ul style="list-style-type: none"> ●福岡市地下鉄七隈線土木構造物実施設計
(天神南三線部終端~ナトム構築終端) 業務委託
期 間: H24.7.3 ~ H25.3.25
概 要: <u>予備設計を基に, さらに詳細な設計
(工事発注に必要な図面等の作成)</u> 6. 第2回 七隈線建設技術専門委員会 (H25.2.5) <ul style="list-style-type: none"> ●都市ナトムの設計について審議 |
| 25年度
～ | 工
事 | <ol style="list-style-type: none"> 7. 工事 <ul style="list-style-type: none"> ●福岡市地下鉄七隈線博多駅 (仮称) 工区建設工事
期 間: H25.12.5~H31.3.15
概 要: ナトム区間, アンダーピニング区間 |

ナトム区間の検討経緯

地下鉄3号線導入空間検討業務委託 (平成22年度 概略設計)
[八千代エンジニアリング(株)]

地下車路出入口を考慮した計画とする必要がある。
開削工法では土留打設時の交通処理ができないことから、非開削工法が望ましい。

非開削工法の提言

地下鉄3号線構造計画検討業務委託 (平成23年度 予備設計)
[日本シビックコンサルタント(株)]

当該区間の地盤状況, 施工実績により都市ナトムの採用が妥当である。

ナトム工法採用の提言

類似地質における施工実績

空港線(博多~東比恵)において, 今回のナトム区間と同様の地質である頁岩層をナトムで施工した実績がある。

福岡市での施工実績

ナトム工法の決定

ナトム採用を前提とした実施設計 (平成24年度 詳細設計)
[八千代エンジニアリング(株)]

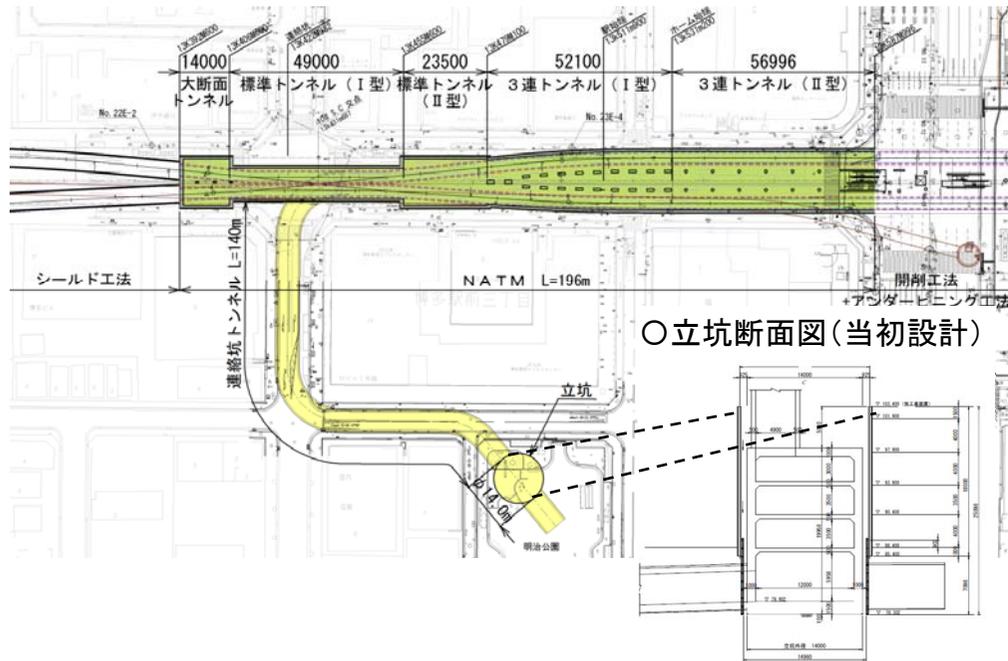
福岡市地下鉄七隈線土木構造物実施設計を発注
(天神南三線部終端~ナトム構築終端)

<施工延長あたりのボーリング本数 (既存調査ボーリングを含めた比較) >
 博多駅(仮称)工区 ナトム区間(L=196m) 6本 196m÷6本 = 平均 33m/本 (実施設計時点)
 七隈線薬院西工区 ナトム区間(L=837m) 7本 837m÷7本 = 平均120m/本
 仙台市東西線 青葉通トンネル(L=527m) 9本 527m÷9本 = 平均 58m/本

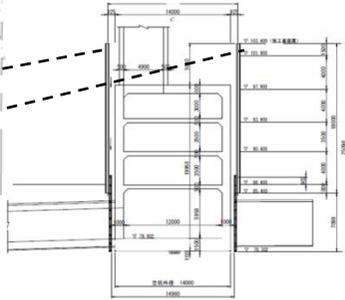
4 博多駅工区ナトム区間の施工

(1) ナトム区間施工概要

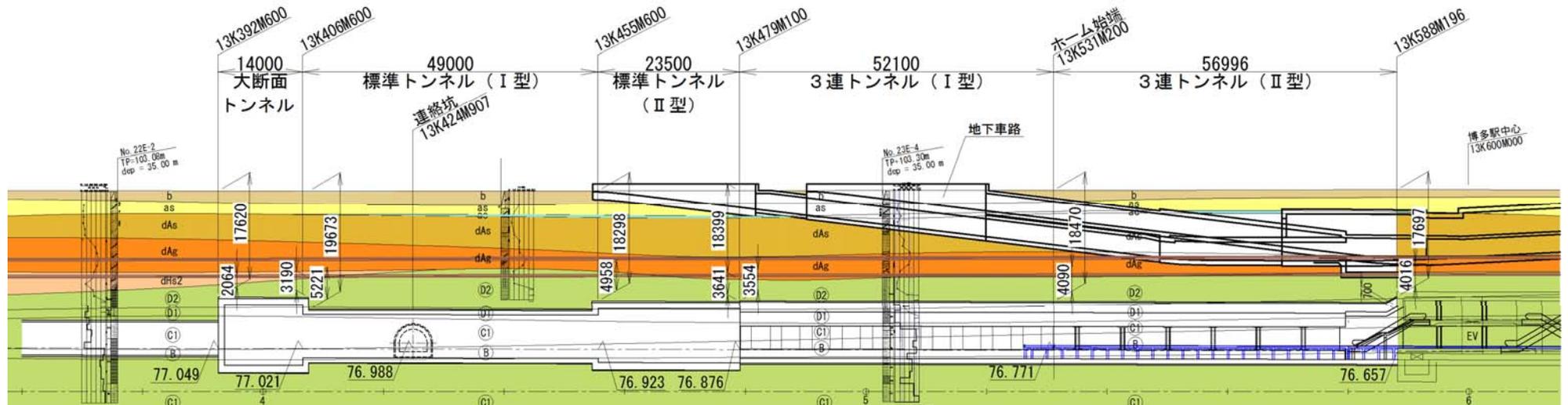
○平面図（当初設計）



○立坑断面図(当初設計)



○縦断面図（当初設計）



○ナトム工法について

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。このため、施工中においては、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。

○施工計画立案条件

1. 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大断面の掘削がある。
- ③トンネル天端部に風化した岩盤層が連続して出現する。

2. 周辺環境の制約条件

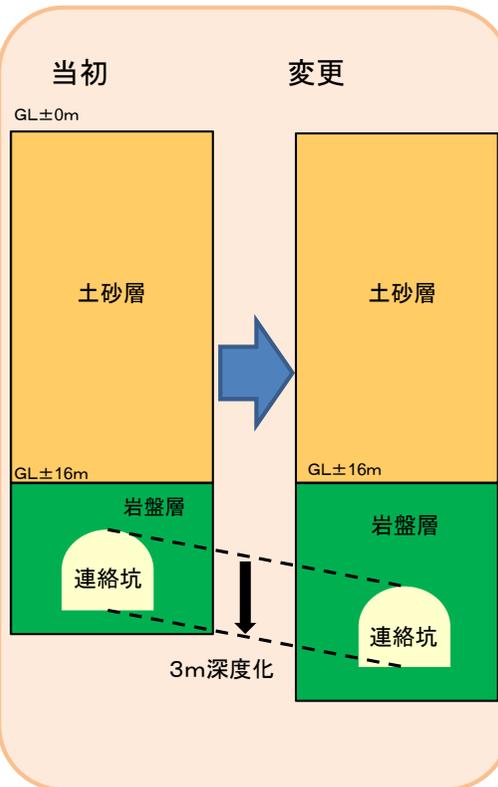
- ①幹線道路（はかた駅前通り）の地表面沈下を抑制する必要がある。
- ②地下埋設物（下水道幹線・ガス管〔中圧管〕）の変位を抑制する必要がある。
- ③地下車路の変位を抑制する必要がある。

4 博多駅工区ナトム区間の施工

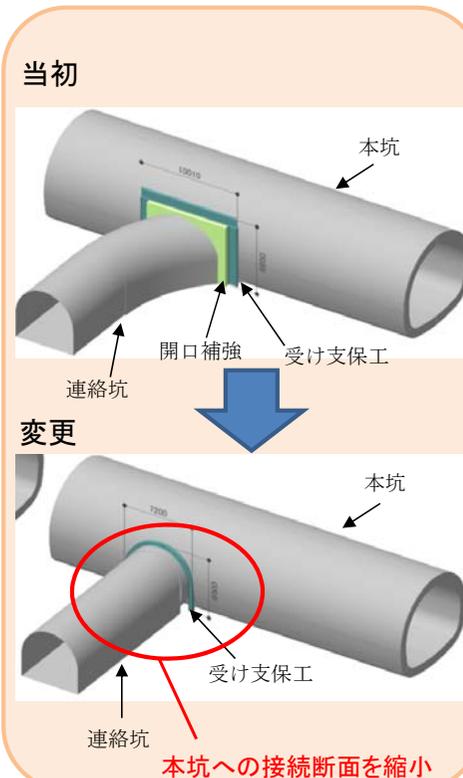
(2) - 1 立坑・連絡坑・標準トンネル・三連トンネルの変更概要

項目	当初	変更点	変更理由	技術専門委員会
①立坑	当初深度: 25.098m	変更深度: 28.164m	立坑部における地質調査の結果, 当初設計条件と比較して, 変形しやすいことが分かったことから, より安全に施工するため。	第4回技術専門委員会
②本坑—連絡坑取付け部	本坑と連絡坑が斜めに接続	本坑と連絡坑が直交して接続	追加ボーリングでの試験結果, 変形係数が当初設計の半分程度であることが分かったことから, より安全に施工するため。	第5回技術専門委員会
③標準トンネル I・II型掘削方法	上半先進工法	導坑先進工法	標準トンネル I・II 型の地山状況を観察・調査し, 岩盤の情報を得るため。(より慎重な掘削工法)	第5回技術専門委員会 第6回技術専門委員会
④三連トンネル I・II型掘削方法	上下半掘削(中央坑)	上下半・インバート掘削(中央坑)	標準トンネルと同様に地山状況を観察・調査し, 岩盤の情報を得るため。(より慎重な掘削工法)	第5回技術専門委員会 第6回技術専門委員会

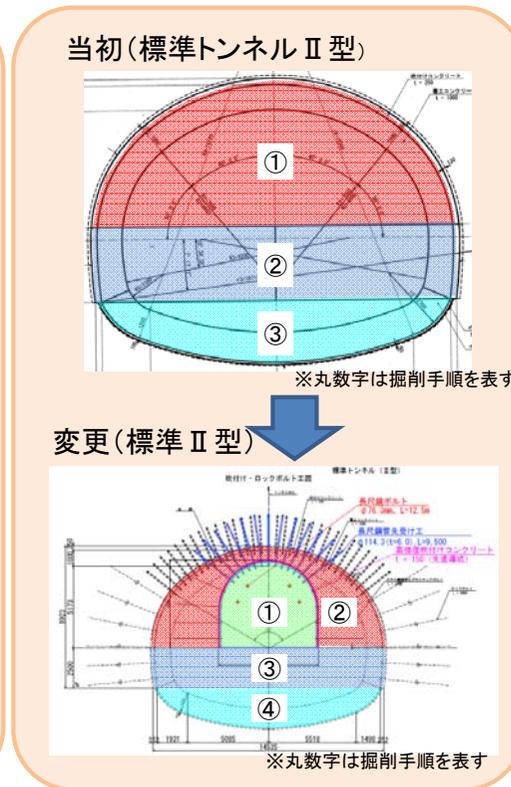
① 立坑



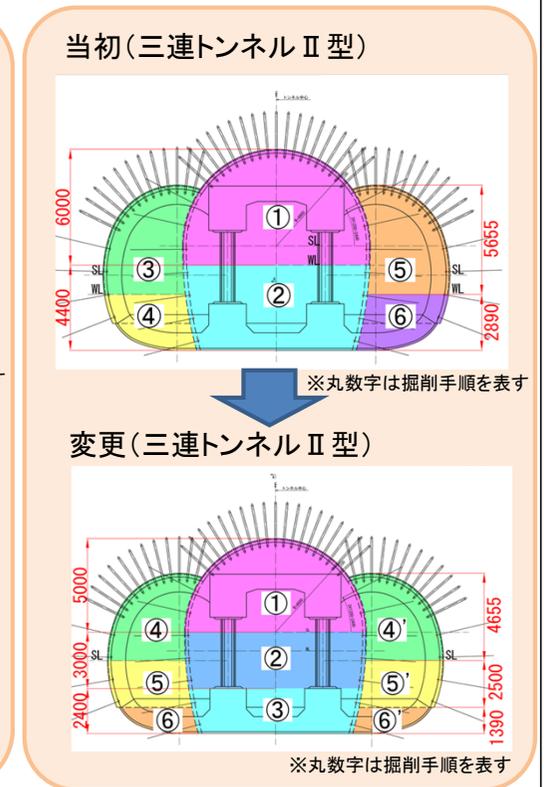
② 連絡坑～標準トンネル取付け部



③ 標準トンネル I・II型掘削方法



④ 三連トンネル I・II型



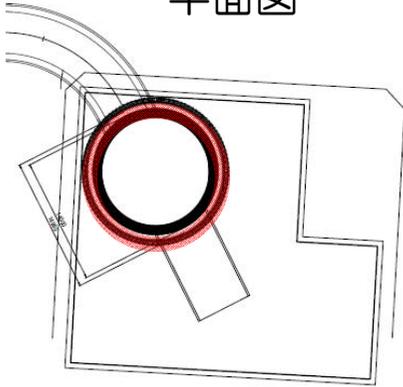
4 博多駅工区ナトム区間の施工

(2) - 2 立坑掘削手順

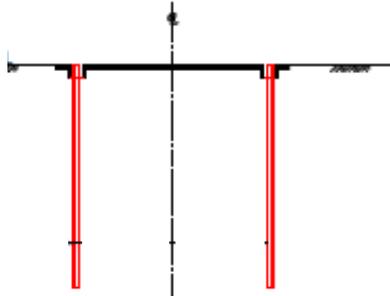
凡例	
■	施工中
■	施工完了

①土留壁の打設 平成26年8月～平成26年9月

平面図

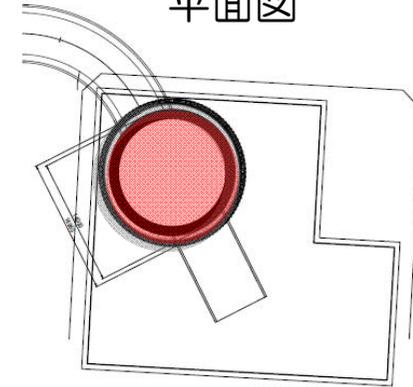


断面図

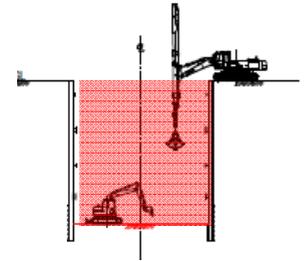


②立坑の掘削(土砂部) 平成26年9月～平成26年11月

平面図



断面図

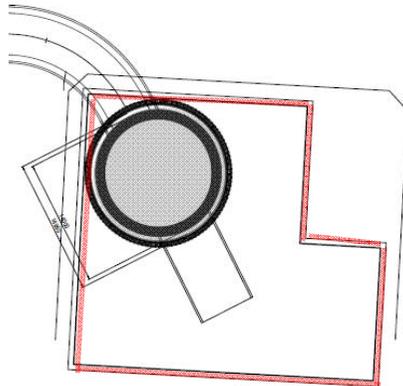


立坑掘削状況

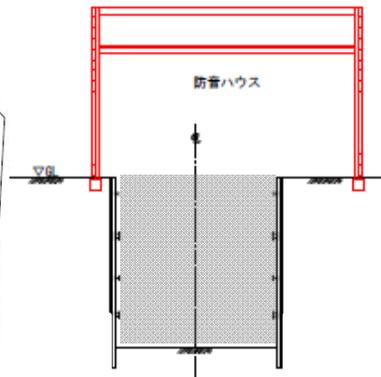


③防音ハウスの設置 平成26年11月～平成27年2月

平面図

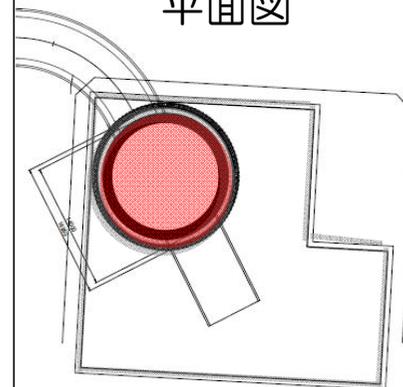


断面図

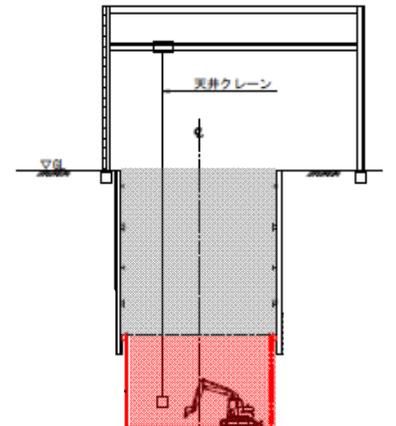


④立坑の掘削(岩盤部) 平成27年2月～平成27年4月

平面図



断面図

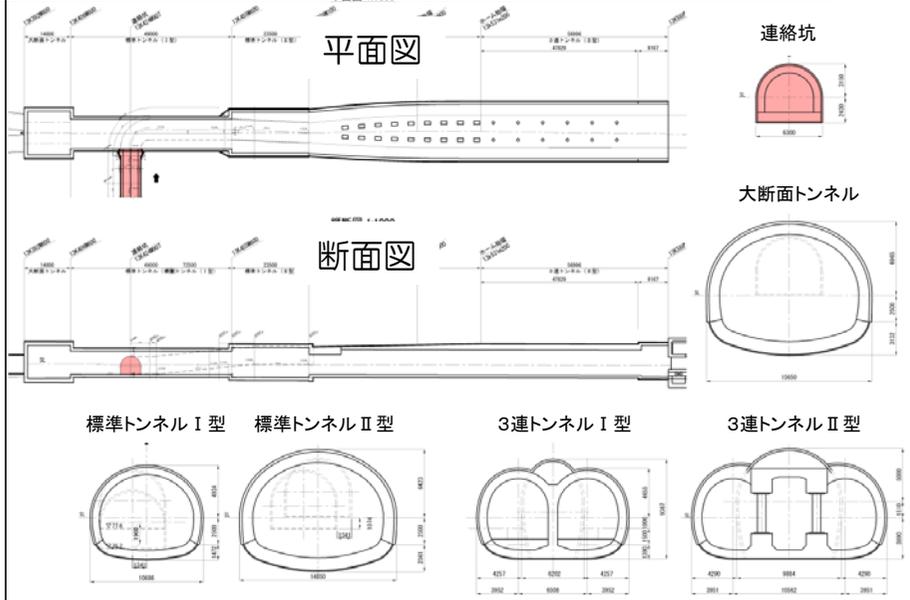


4 博多駅工区ナトム区間の施工

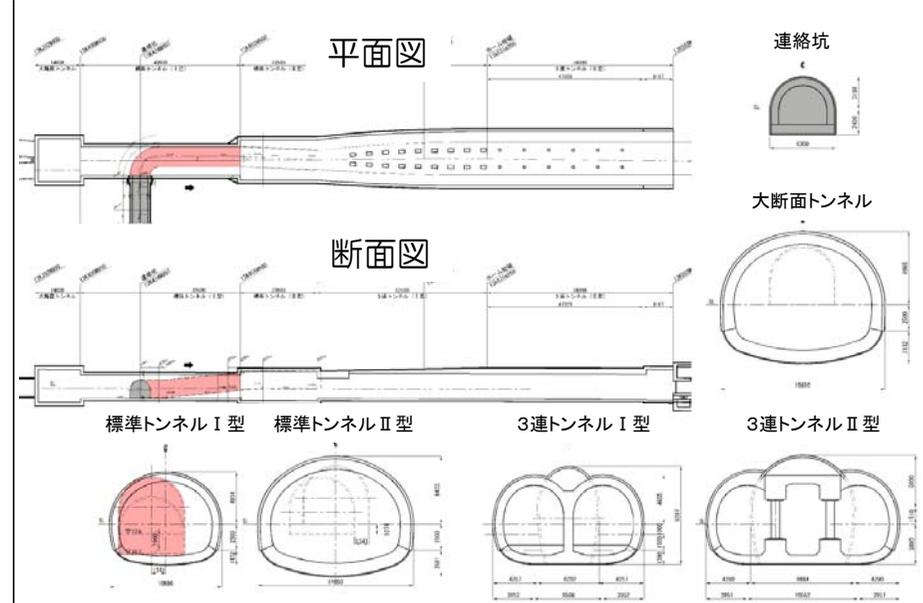
(2) - 3 連絡坑～標準トンネル～三連トンネル掘削手順 (事故発生まで)

凡例	
■	施工中
■	施工完了

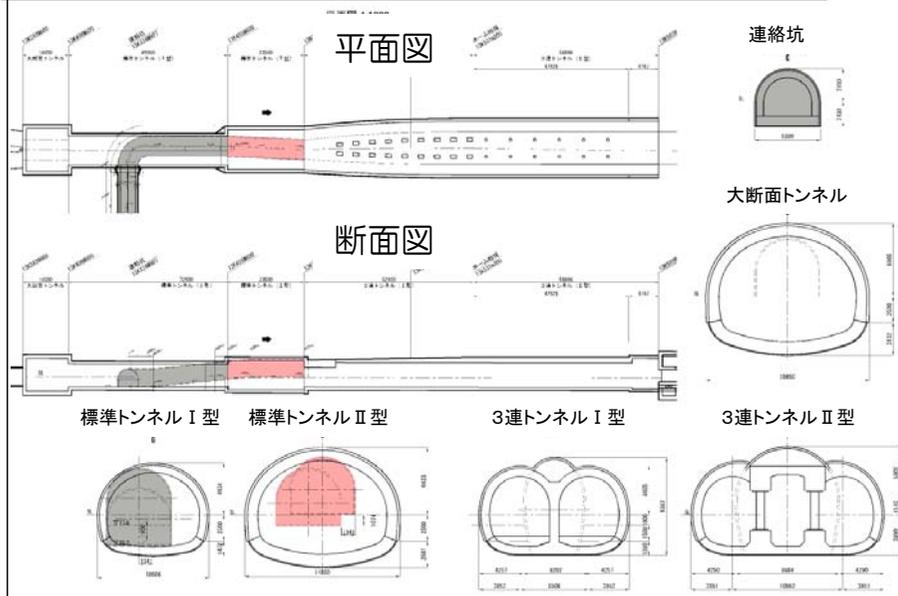
①連絡坑の掘削 平成27年5月～平成27年8月



②先進導坑の掘削(標準トンネル I 型内) 平成27年8月～平成27年9月



③先進導坑の掘削(標準トンネル II 型内) 平成27年9月～平成27年10月

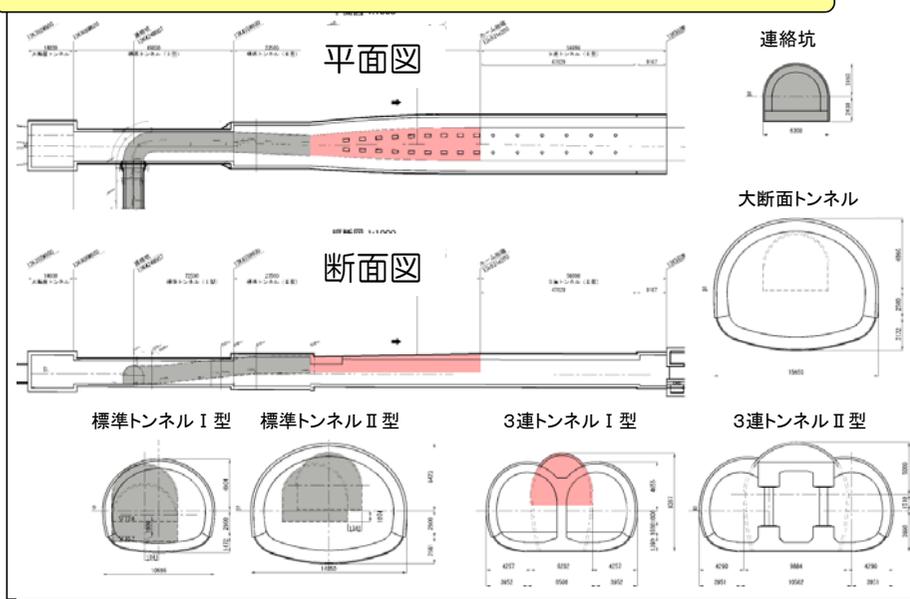


4 博多駅工区ナトム区間の施工

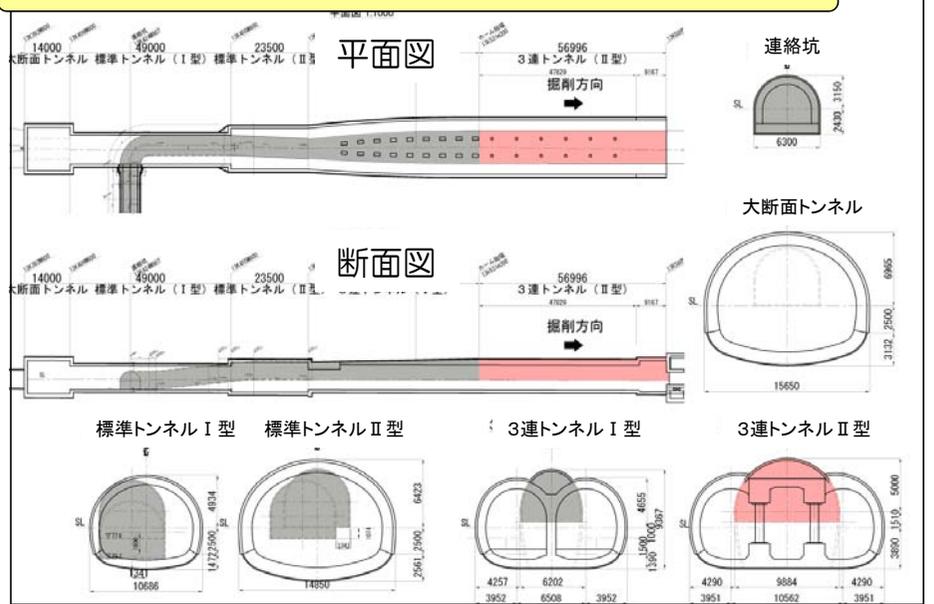
(2) - 3 連絡坑～標準トンネル～三連トンネル掘削手順（事故発生まで）

凡例	
■	施工中
■	施工完了

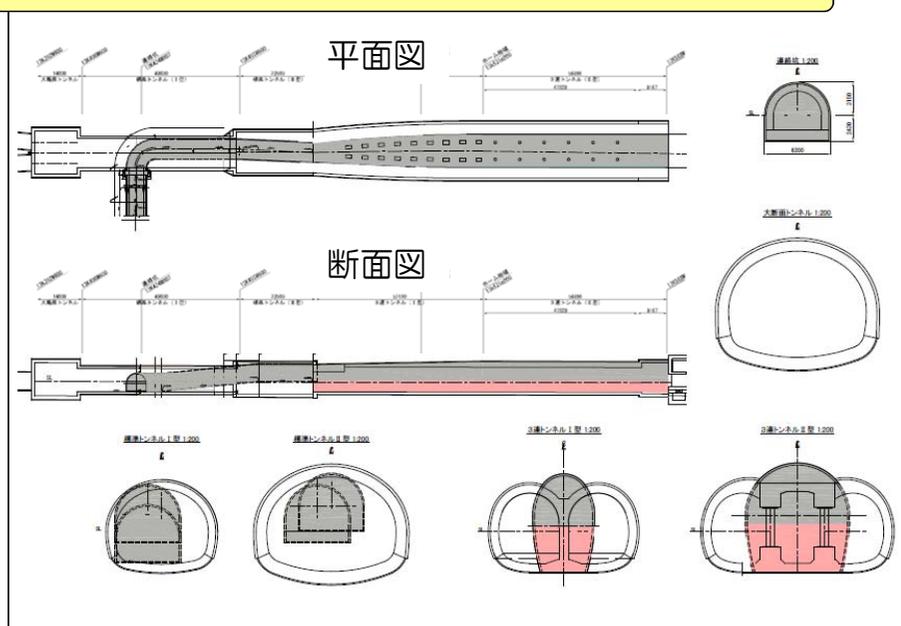
④3連トンネル I 型 中央上半掘削 平成27年10月～平成27年12月



⑤3連トンネル II 型 中央上半掘削 平成27年12月～平成28年2月



⑥3連トンネル I・II 型 中央下半・インバート掘削 平成28年2月～平成28年6月



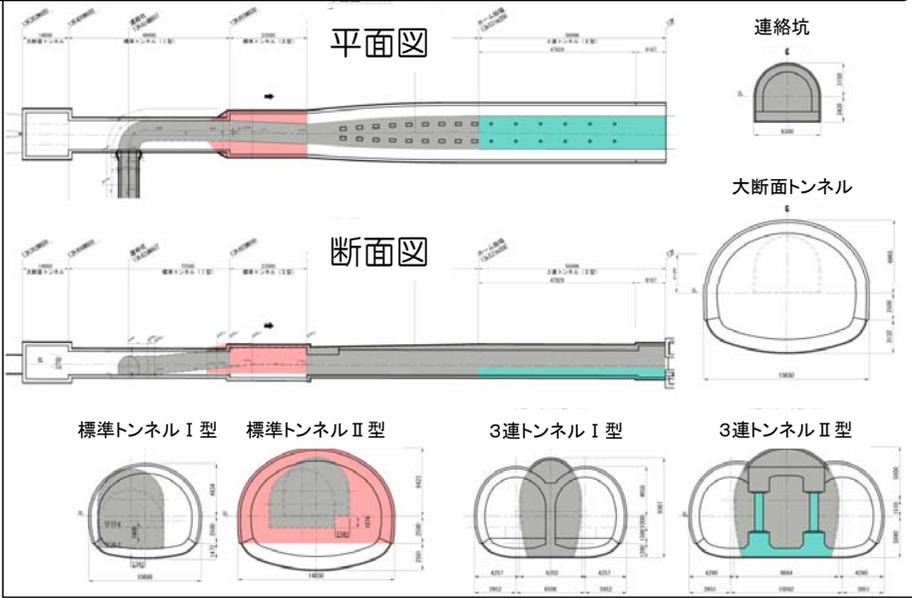
本坑掘削状況

4 博多駅工区ナトム区間の施工

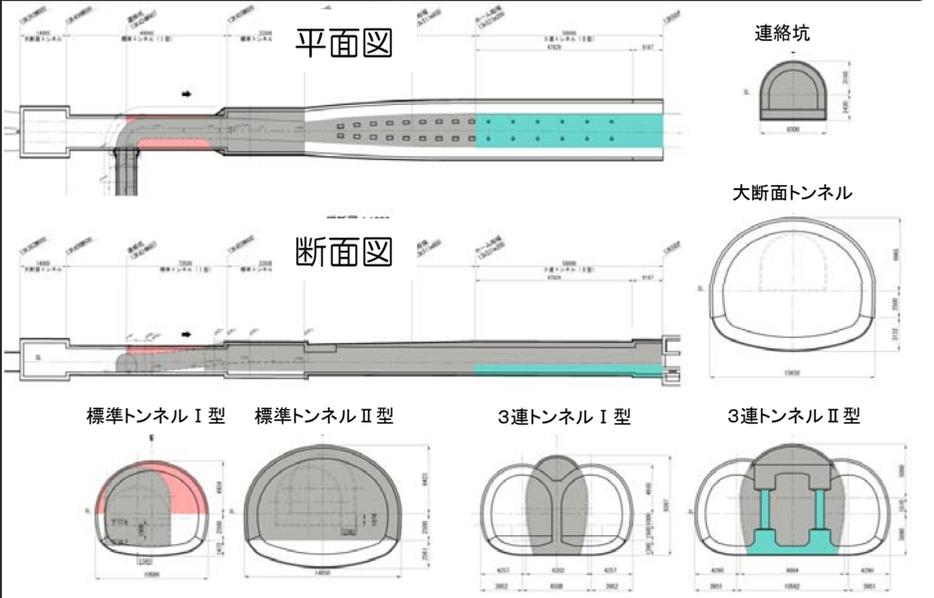
凡例	
	施工中
	施工完了
	躯体構築

(2) - 3 連絡坑～標準トンネル～三連トンネル掘削手順 (事故発生まで)

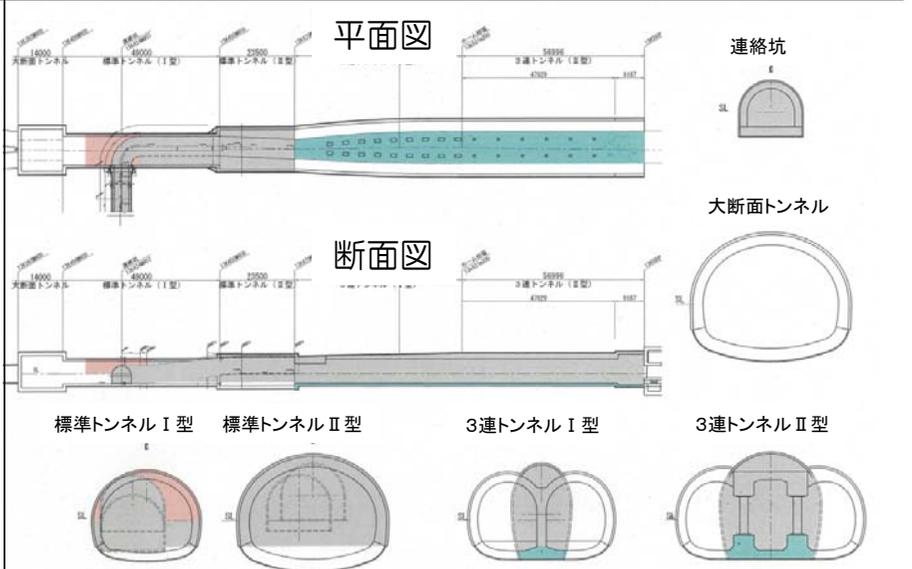
⑦標準トンネルⅡ型 上半切掘削+3連トンネル中央坑躯体構築 平成28年4月～平成28年5月



⑧標準トンネルⅠ型 上半切掘削+3連トンネル中央坑躯体構築 平成28年6月～平成28年8月



⑨標準トンネルⅠ型 交差部上半掘削+3連トンネル中央坑躯体構築 平成28年8月～平成28年9月



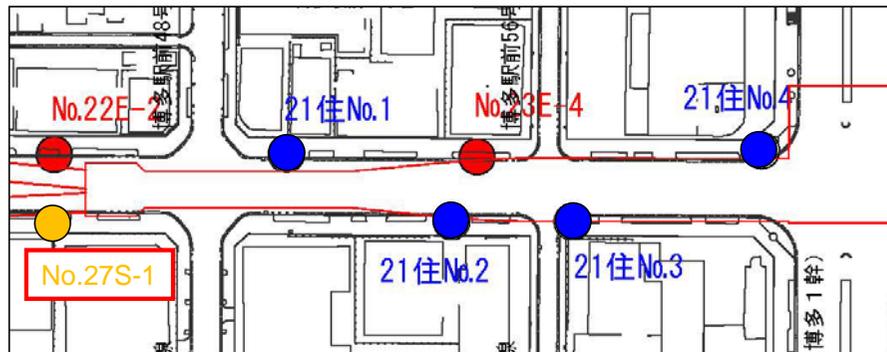
4 博多駅工区ナトム区間の施工

(3) - 1 大断面トンネル (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

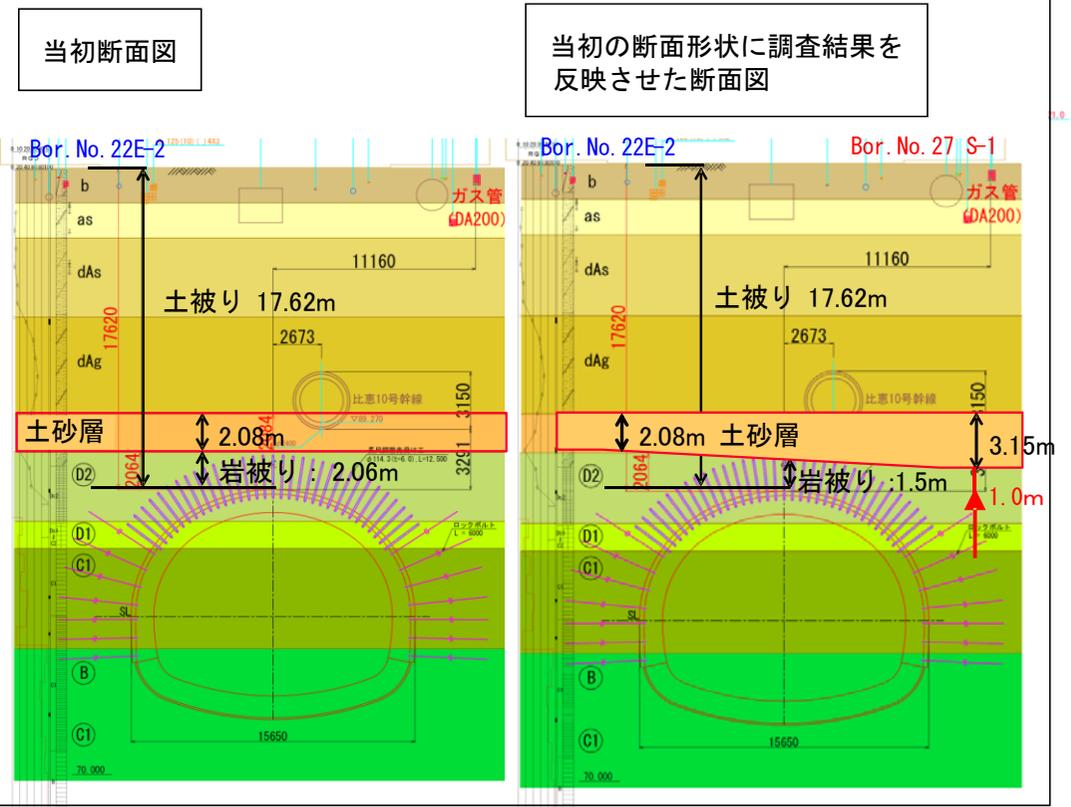
平成27年10月, JVが追加のボーリング (No. 27 S-1) を実施。調査結果から当初の想定よりも土砂層が厚いことが判明した。



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图に示す。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程度となることが判明したため, 断面形状の変更に向け検討を開始した。



4 博多駅工区ナトム区間の施工

(3) - 2 大断面トンネル (断面変更)

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 (JV)

断面変更の提案 (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 (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)

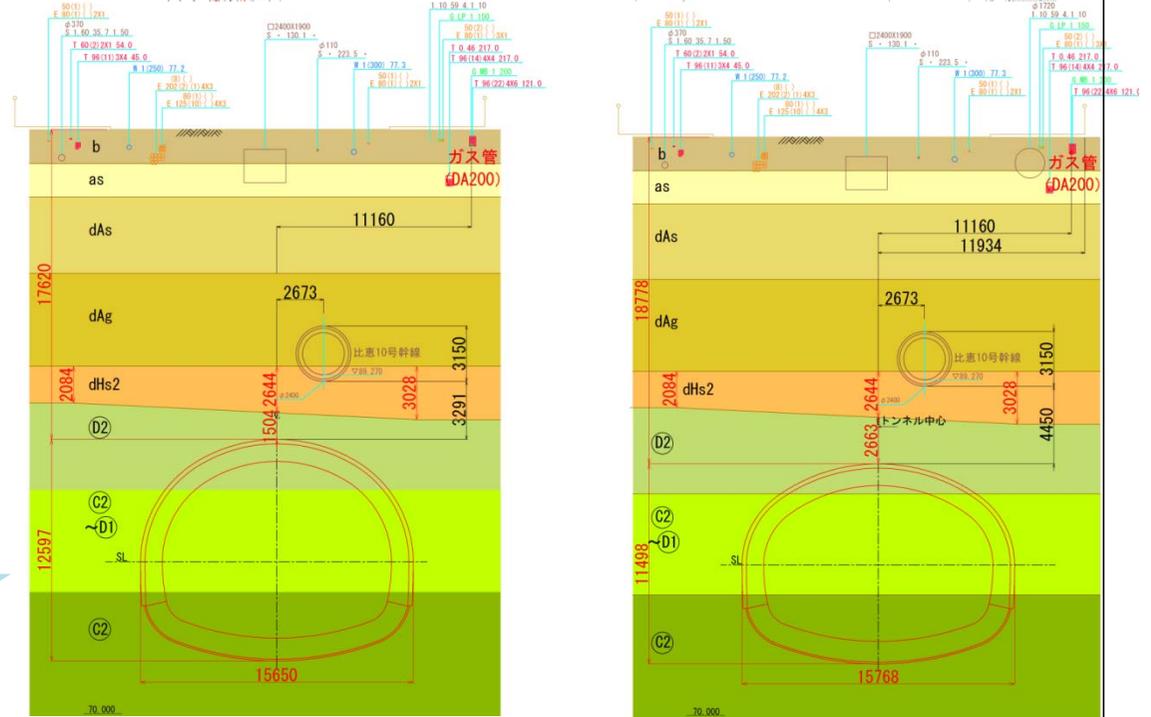
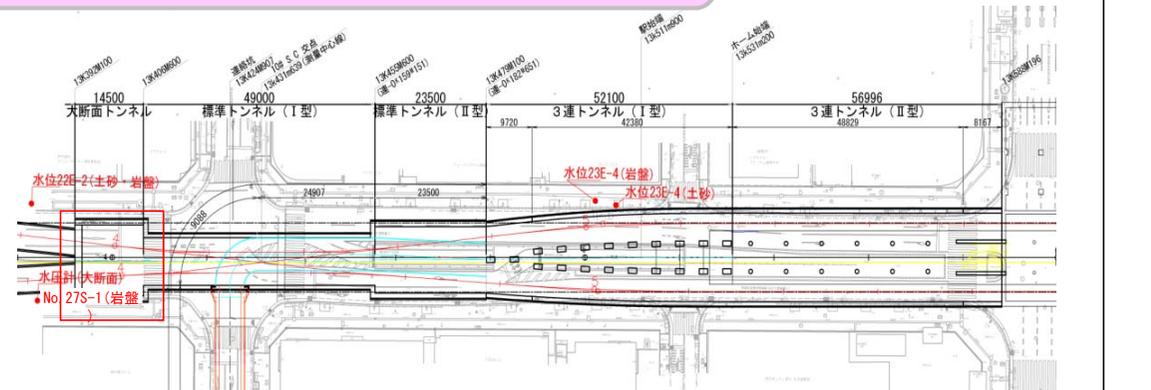
大成JV

- ・施工計画作成 (導坑掘削, 上半切上げ掘削)
- ・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

4 博多駅工区ナトム区間の施工

(3) - 3 大断面トンネル（補助工法変更）

●当初設計と追加ボーリング結果、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。

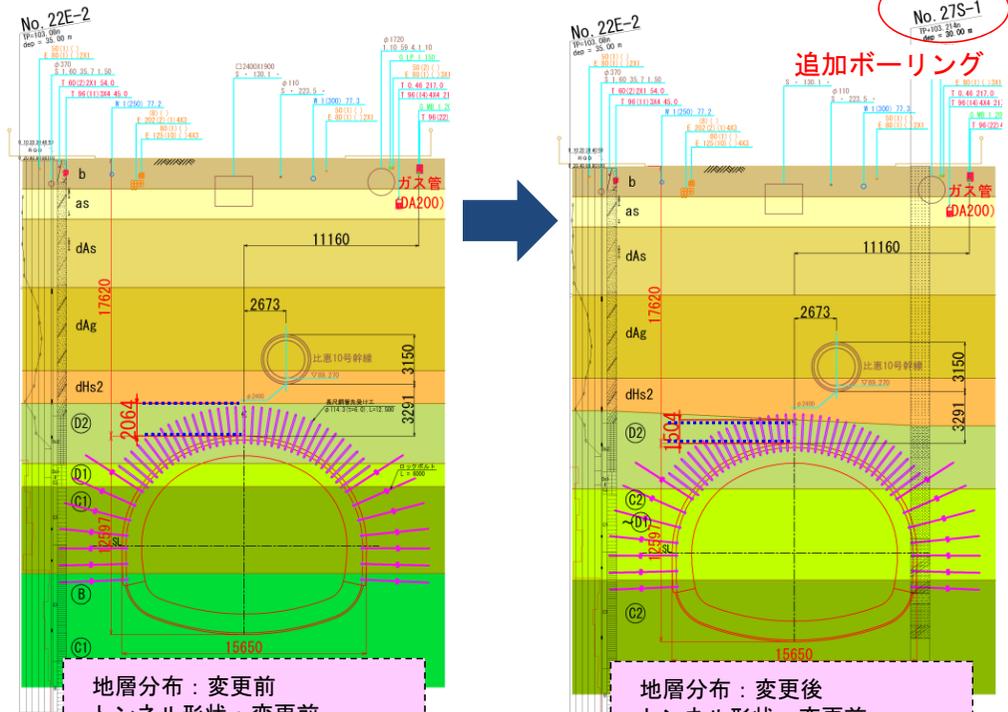


- 大断面トンネルの形状をより扁平にし、岩被り2m以上を確保した。

- 補助工法の見直し。

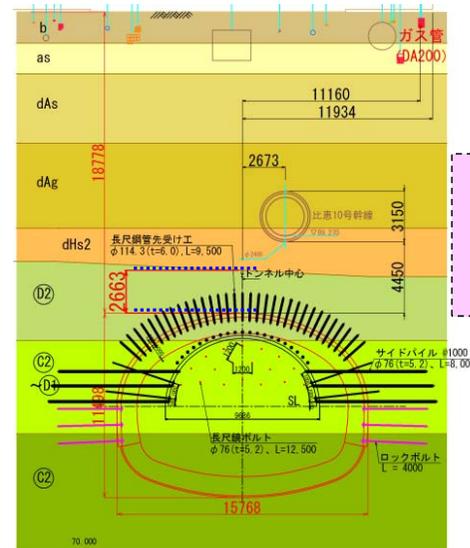
大成JVより、地上部からの薬液注入工について、地下埋設物が支障となり、十分な効果が上がらない可能性があることなどから、より安全な施工とするために、下記の提案があり、これを採用した。

- ・ 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



地層分布：変更前
トンネル形状：変更前
掘削方法：変更前
↓
岩被り：約2.1m

地層分布：変更後
トンネル形状：変更前
掘削方法：変更前
↓
岩被り：約1.5m

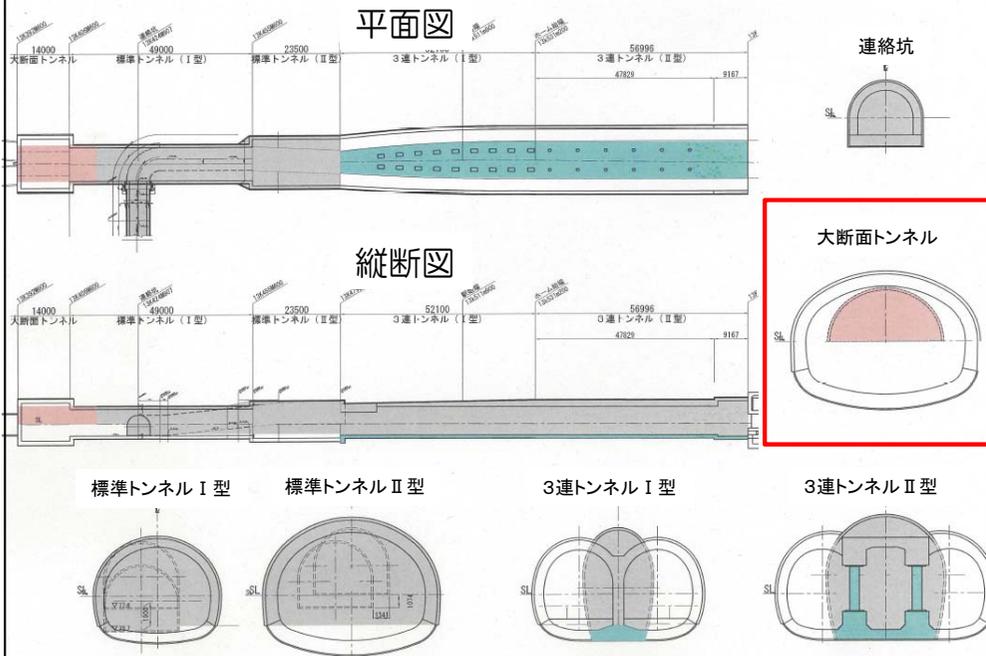


地層分布：変更後
トンネル形状：変更後
掘削方法：変更後
↓
岩被り：約2.7m

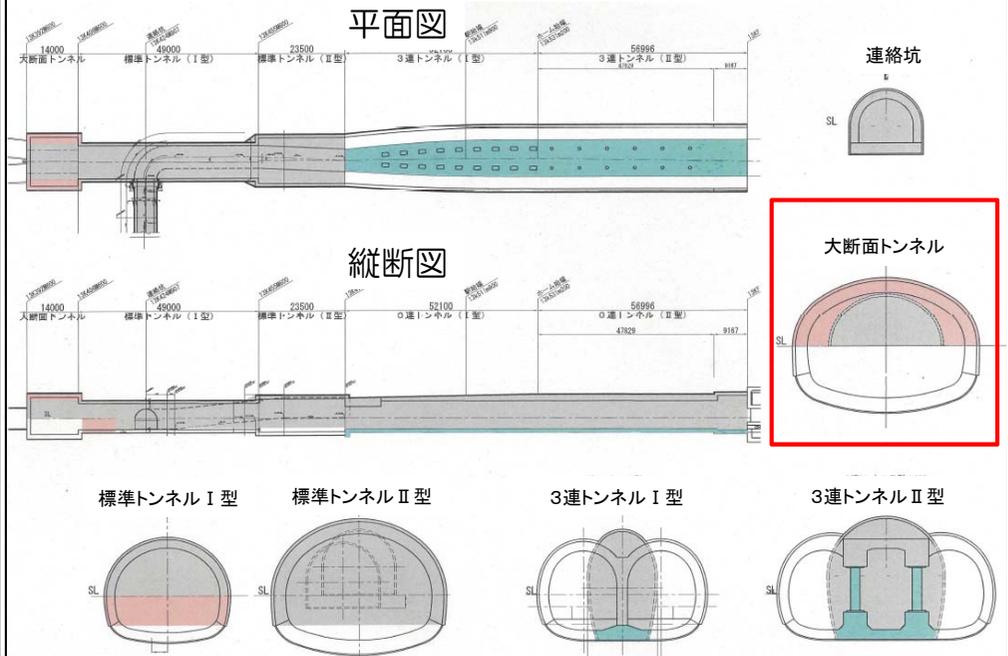
4 博多駅工区ナトム区間の施工

(3) - 4 大断面トンネル掘削手順 (事故発生まで)

①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 平成28年9月～平成28年10月



②標準トンネル I 型下半掘削+大断面トンネル上半切上げ掘削 平成28年10月～平成28年11月



凡例	
	施工中
	施工完了
	躯体構築

5 七隈線建設技術専門委員会について

地下鉄建設工事に関する高度な学識や実務経験を有する8名を委員とし、福岡市地下鉄七隈線建設に関する技術的専門事項について、意見を述べ、適宜指導及び助言をいただく目的で設置しており、博多駅工区契約後に開催された第4回以降の委員会から交通局と請負者（大成JV）の双方が出席して、説明を行っている。

第1回委員会 H24. 1. 13

●議題

七隈線延伸計画の概要

●審議内容

- ・七隈線延伸全体計画について、基本事項を確認した。
- ・NATM 区間とシールド区間との区分は、詳細に検討されたい。
- ・施工方法については、各委員からの意見を参考にしながら、安全を最優先とした上で、より経済的に、早期完了を達成していただくとともに、駅周辺とのまちづくりとの連携も踏まえながら事業を進めて貰いたい。

第2回委員会 H25. 2. 5

●議題

都市ナトム設計について(全体計画)

●審議内容

- ・平面形状、大断面、標準トンネル、3連トンネルの断面形状について、了承を得る。
- ・地下水位については大断面部は注意してもらいたい。福岡層群と砂質土層について抜け落ちが起こることがある。それ以外については大丈夫であると思う。
- ・補助工法である長尺先受け工、薬液注入工、フォアポーリング工について慎重に確認しながら施工すること。

第3回委員会 H25. 7. 2

●議題

都市ナトム設計について(全体計画)

●審議内容

- ・設計や地下水に関する検討をして、より安全に検討している。
- ・設計条件や途中の解析結果を安全側で見ていること等が図面では分かりにくいので、箇条書き等で残しておく必要がある。
- ・地下車路等の計測については、施工業者が決まってから無駄な計測にならないよう協議する必要がある。

第4回委員会 H27. 3. 23

●議題

都市ナトム掘削の施工計画について(連絡坑、標準Ⅰ、Ⅱ型)

●審議内容

- ・現場付近の地質の複雑さや断層の存在などを踏まえると、もっと平均的な見方で施工計画や計測管理計画や変形係数などの定数を判断すること。
- ・計測管理については、変位スピードなど時間的な観念が必要、ガス管などに対する配慮をしっかりとすべきである。
- ・立坑を少し深くする案については、適切である。

第5回委員会 H27. 9. 1

●議題

都市ナトム(本坑)の施工方法について(標準Ⅰ・Ⅱ型、3連トンネルⅠ・Ⅱ型)

●審議内容

- ・掘進方向に地質の変化が出てくることに注意すること。
- ・掘削工法については、先進導坑方式により慎重な掘削方法で行うことは、妥当である。
- ・地下水は周辺の観測孔などを使って、確認していくことが大事である。
- ・計測については、単に基準値だけでなく、変位の進行速度、地盤の変化状況を見た時、そのままの管理基準値で良いのか考える必要がある。変位や応力については、グラフにして、変化勾配に注意してほしい。

第6回委員会 H28. 8. 30

●議題

都市ナトム(本坑)の施工状況について(大断面)

●審議内容(※議事要旨については、次頁参照)

- ・施工手順を慎重に選び、補助工法を加えながら小断面から切り上げを行うことは理解できる。
- ・大断面部については、これまでの経験を活かして、地質や水位の変化をよく見ながら、補強の是非も踏まえて、施工を行うこと。
- ・大断面部について、トンネル断面形状を変更して、扁平になるが、岩盤層を1メートル多く確保した方が将来的にもいいのではと推察する。そういう意味で、設計変更について了承する。

5 七隈線建設技術専門委員会について（第6回技術専門委員会議事要旨）

大断面部掘削について

● 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拡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拡げを行い、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。