

原因究明の検討委員会から示された、事故再発防止対策の留意点に対して、工事再開にあたっては次のとおり対応していく

1 工事再開に関する主な留意点

① 地質、地下水の状況把握

- 難透水性風化岩の強度や厚さを確認するため、地質調査データ等を収集する（事故後実施、過去実施）。
- 追加の地質調査を実施し、地質、地下水位等の状況を詳細に把握する。

② トンネル坑内の水抜き及び土砂撤去に関するもの

- トンネル部や周辺地盤の力学的安定性を確認するため、各地層の沈下や地下水位等の計測を行い、周辺地盤や支保工の安定性の観測・評価を行う。
- 崩壊部と健全部を分離する位置や地盤改良範囲の検討を行う。
- 観測井を設置し、坑内・岩盤部・土砂部それぞれの地下水位を確認することや、排水後に土砂部と岩盤部の水質を確認することで、地下水の不連続性を把握し、土砂層からの水みちが形成されていないことを確認する。
- 支保工を含むトンネル本体に与える影響が小さい周辺地盤の改良工法の採用と注入圧力等の管理方法を検討する。

③ 再掘削工法の選定に関するもの

■ 工法選定

- 工法選定については、都市ナトム工法以外の他の工法や新技術の活用も含め、安全面を重視し、幅広く検討を行う。
- 地下水位低下工法の課題を詳細に抽出し、採用について検討を行う。
- 事故後の対策（埋め戻し流動化処理土、薬液注入）や、最新の地質調査結果、既設支保工の状況等を踏まえ、想定される施工時のリスク評価を行う。

【開削工法の検討】

- 開削工法による検討においては、土留め支保工や土留め欠損防護について、安全な施工方法の検討を実施する。
- 既設地下埋設物の防護対策の検討を行う。
- 計測及び観測体制の充実を図る。

【非開削工法の検討】

- 非開削工法による検討においては、調査ボーリングによる地盤強度の確認や安全性確保を最優先とした掘削方法の検討を実施する。
- 計測及び観測体制の充実を図る。
（トンネル坑内の有毒ガス発生時の対応を含む）
- 残置埋設物について、状況に応じて適切に対応するため道路管理者等と協議を行う。

2 類似する条件下での都市NATM及び地下空間での工事における留意点

① 施工について

- 追加の地質調査や地下水位調査を実施し、設計変更や施工に活用する。
- 設計の変更や補助工法の変更を行う場合には、業者との間でより踏み込んだ深い協議を行い、課題を見極めたうえで、変更案を作成する。
- 施工段階においては、地質、地下水位等状況を詳細に把握し、安全性の確認を行う。
- 掘削断面の分割方法について、最新の地質情報及び各計測状況を踏まえ必要に応じて見直しを行う。
- 補助工法の特徴を十分に理解し、試験施工による改良効果などの確認方法を検討する。
- 計測及び観測体制の強化として、層別沈下計の設置など変状の発生を敏感に捉える計測方法や管理基準値超過時のアラーム機能の採用について検討する。

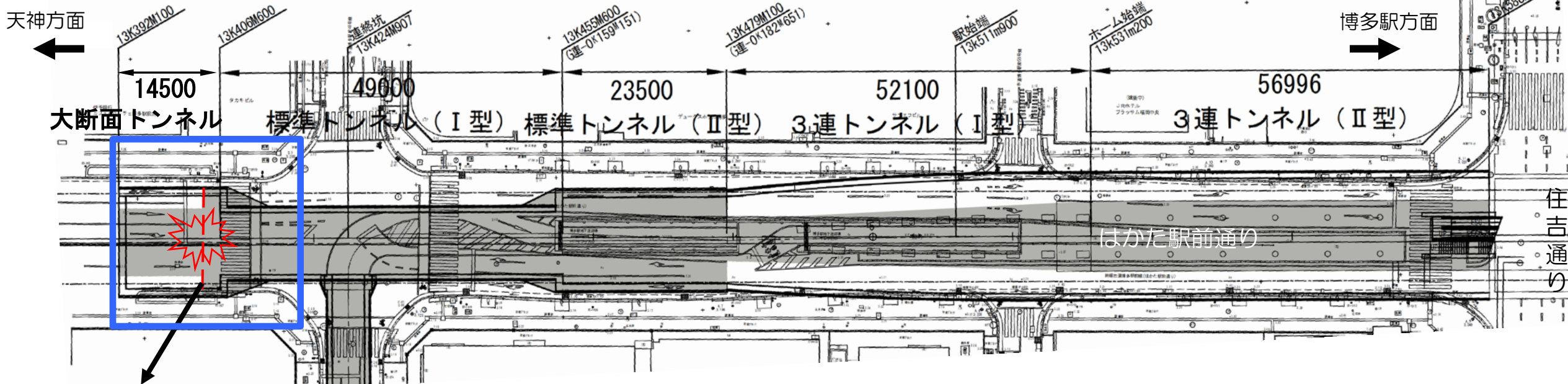
② 設計・施工における意思疎通

- 調査、設計、施工の各段階で得られた情報や知見を記録に残し、各種会議※の活用により関係者間で十分に共有することで、設計、施工方法の検討に関する議論の充実化を図り、リスクの低減に努める。
（※三者協議会、週間工程会議、現場立会、変更協議等）
- 当該現場で得られた専門的な知見を広く世の中に共有できるよう、学会発表など情報発信に努める。

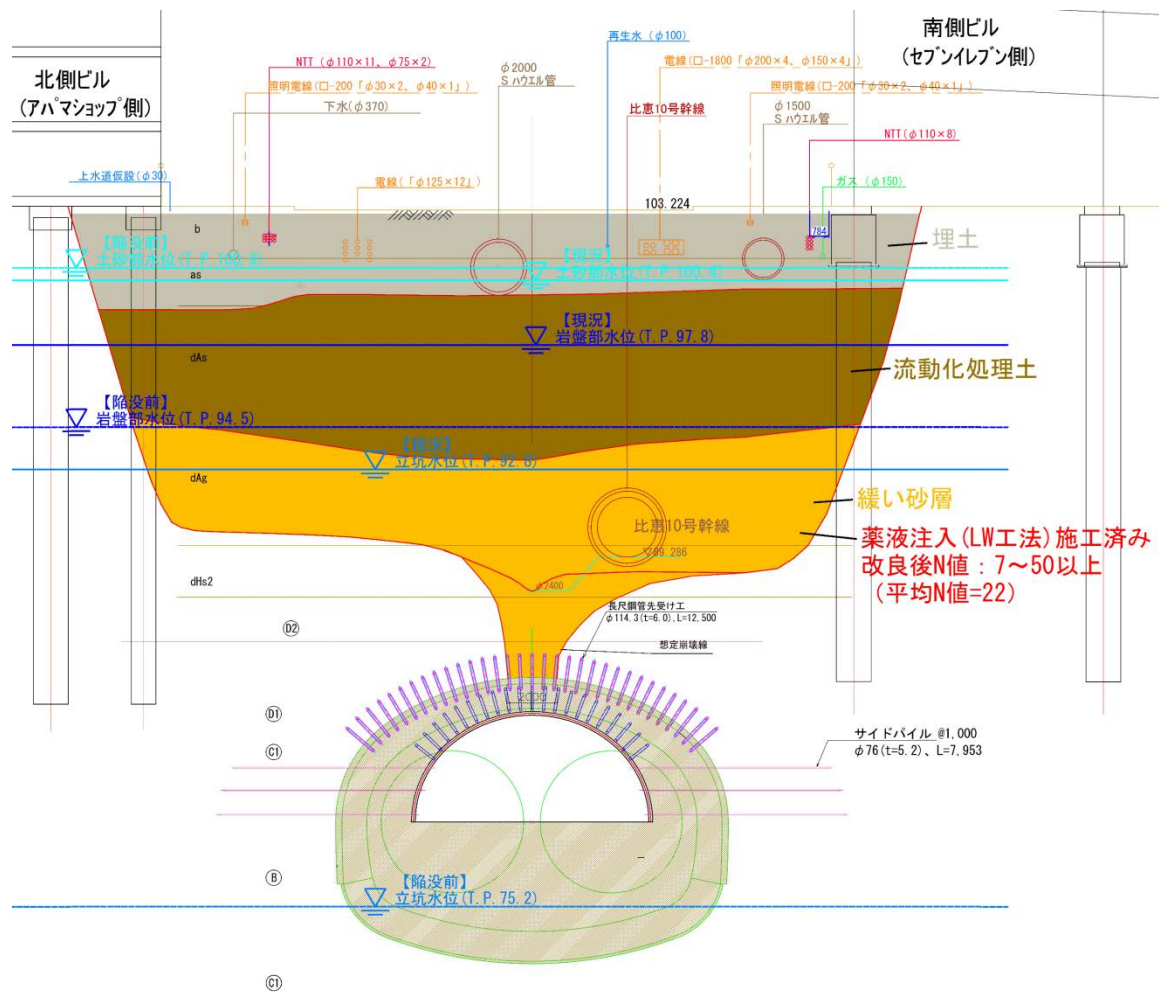
③ 技術的検討の場の活用

- 技術専門委員会等での議論を踏まえた報告及びPDCAサイクルの確立。
- 資格取得励行、積極的な各種講習会、研修会への参加、建設現場での研修、技術継承。

道路陥没部の状況【陥没後の時系列まとめ】



道路陥没部断面図 (推定)



2016年11月8日：道路陥没発生

- ・流動化処理土による埋戻し
- ・ライフライン復旧
- ・砕石埋戻し、アスファルト舗装

2016年11月15日：道路開放

2016年11月26日：路面沈下 (平均38mm, 最大70mm)

2016年12月 2日：地盤補強 (緩い砂層) のため、薬液注入開始
12月28日：薬液注入終了

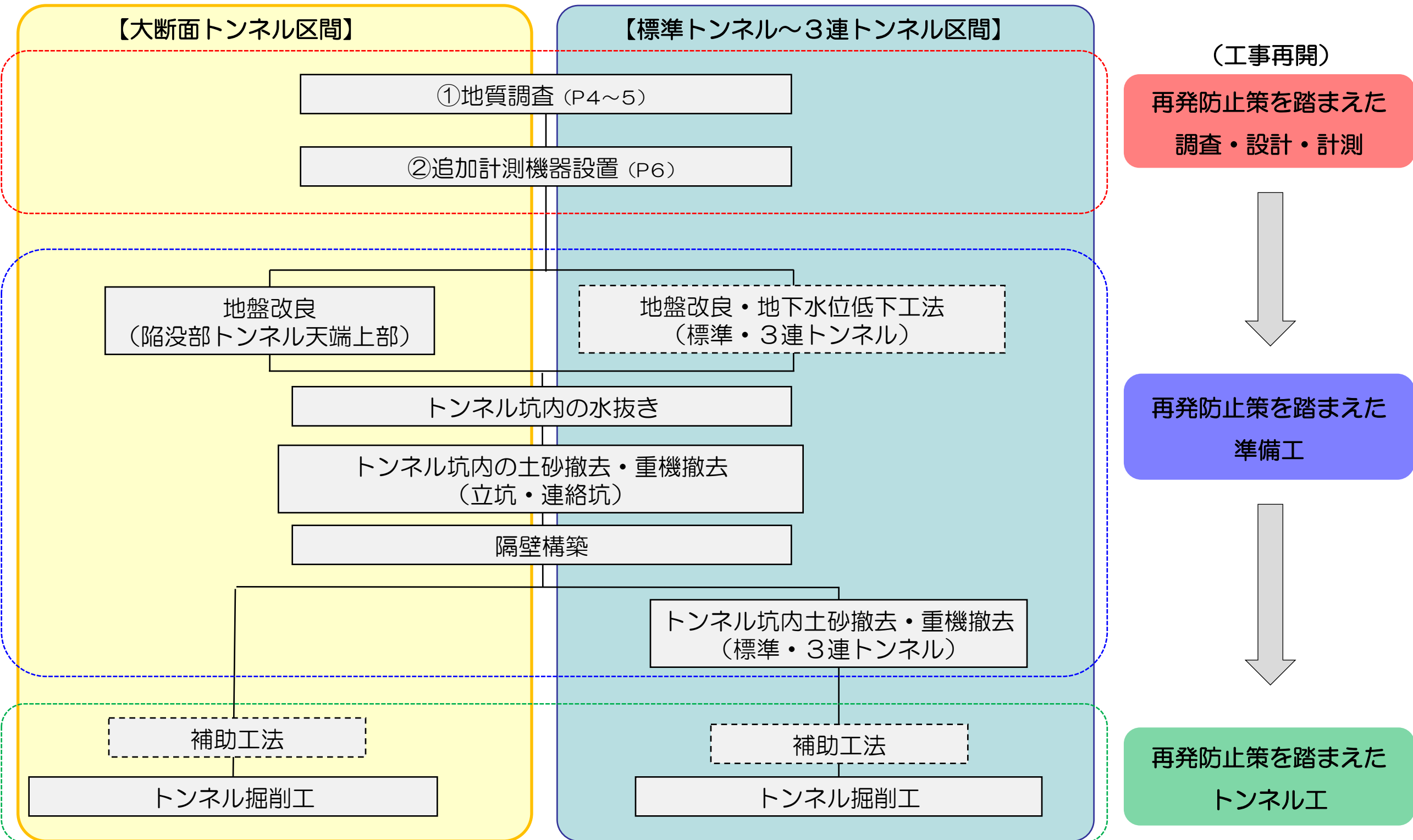
2016年12月22日：追加ボーリング調査開始
2017年 2月 1日：追加ボーリング調査終了

トンネル坑内状況

- ・トンネル坑内は地下水で満たされている。
(立坑水位=17.6m, 坑内水量≒20,000m³)
- ・陥没部の土砂は坑内に堆積している。
(堆積土砂量≒6,150m³, 堆積厚さ≒7.2m)

工事再開フロー

長期間トンネルを地下水で満たすことはリスク管理の面から望ましくないため、トンネル坑内の水抜き・土砂撤去を優先して実施し、標準・3連トンネルを含めたトンネル全体の健全性を直接確認できる状況を早期に実現する。



①-1 地質調査【調査目的】

トンネル天端上部の崩落範囲や、トンネル縦断方向の陥没形状（博多駅側）の確認等のため、再発防止策として、下記目的の追加地質調査を行う。

【大断面トンネル区間】

背景

地盤改良・坑内排水計画・再掘削検討

目的

- ①陥没形状の確認
- ②地盤改良効果の確認

実施項目

- ①地山と緩い砂層の境界の把握
- ②改良済み地盤の範囲や物性値の確認

(*)道路陥没に関する検討委員会に報告した追加地質調査報告書を用いる

【標準トンネル～3連トンネル区間】

背景

坑内排水計画・トンネル掘削検討

目的

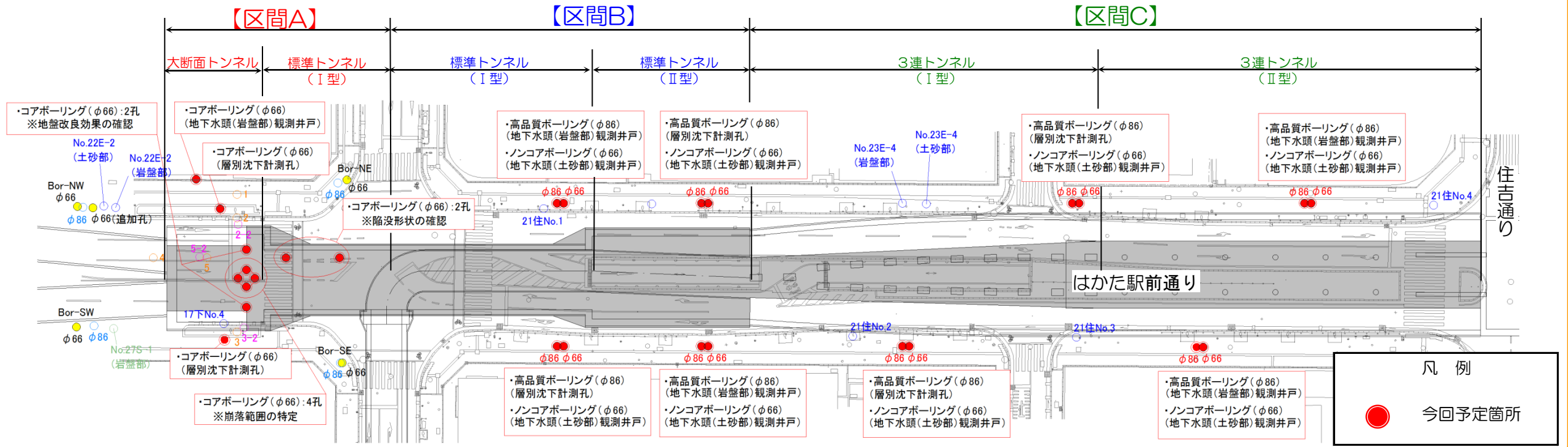
- ①地質調査精度の向上
- ②D2層の工学的評価の充実

実施項目

- ①地山物性値の取得
- ②トンネル天端付近の岩盤性状の把握
- ③D2層の3次元的分布や厚さの把握
- ④D2層の破壊抵抗性の把握
- ⑤弱層（断層，層理面，節理・亀裂）
区分と分布頻度の把握

①-2地質調査【調査位置・項目】

調査位置平面図



調査目的

【区間A】

- ① D2層崩壊の範囲調査
- ② 地盤改良効果確認

【区間B】

- ① インバート掘削のための地質情報の取得
- ② 排水時の地盤挙動予測のための地質情報の取得

【区間C】

- ① 左右坑掘削のための地質情報の取得
- ② 排水時の地盤挙動予測のための地質情報の取得

調査項目

調査位置	種別	孔径	調査本数	実施する調査項目(案)	調査後のボーリング孔の利用
【区間A】 大断面トンネル ～ 標準トンネルI型	コアボーリング	φ66	11	ボーリング調査(原位置試験・室内試験)	・流向流速調査：2孔
					・層別沈下計測孔：2孔
【区間B・C】 標準トンネルI型 ～ 3連トンネルII型	高品質ボーリング	φ86	8	ボーリング調査(原位置試験※1・室内試験※2) ※1：ボアホールテレビ, 低圧ルジオン試験, 孔内水平載荷試験, 音響トモグラフィ探査	・地下水頭(岩盤部)観測井戸：4孔
	ノンコアボーリング	φ66	8	※2：針貫入試験, 土壌硬度試験, 室内土質試験, 室内岩石試験	・層別沈下計測孔：4孔
					・地下水位(土砂部)観測井戸：8孔

②追加計測

再発防止策として、下記の追加計測を実施する。

(1) 目的

トンネル掘削再開時・トンネル坑内排水の際の周辺地盤やトンネルの力学的安定性の確認

- ①炭質頁岩が分布し、地表面沈下が大きい**標準Ⅱ型区間**の挙動監視を強化する。
- ②左右坑掘削が残る**3連トンネル区間**の挙動監視を強化する。
- ③**道路陥没部周辺**の挙動監視を強化する。
- ④トンネル坑内排水時における**周辺地盤の挙動**を把握する。

(2) 実施方法

- ①**地下水位等の計測**により、トンネルの力学的安定性について観測、評価する
- ②**トンネル坑内水と上部未固結帯水砂層内の地下水との不連続性**について把握する。
- ③**層別沈下計測**等により**変状の発生**を捉える。

(3) 追加計測計画

- 地表面沈下計測 : 連絡坑直上の計測を追加 (トンネル坑内排水時における挙動把握のため)
- 建物沈下計測 : 坑内排水前後で沈下計測を追加
- 層別沈下計測 : 道路陥没部周辺に2か所計測点を追加
: 標準トンネル～3連トンネル部に4か所計測点を追加
- 地下水位計測 : 道路陥没部周辺に1か所計測点を追加
: 標準トンネル～3連トンネル部に岩盤部4か所、土砂部8か所を追加
- 水質、有毒ガス計測 : 排水水質、立坑および観測井で有毒ガス計測を追加
- 目視監視 : 水抜きの際に掘削済トンネル直上路面の目視を追加