

東京外環トンネル施工等検討委員会 第24回東京外環トンネル施工等検討委員会の開催結果について

第24回東京外環トンネル施工等検討委員会を令和4年6月2日に開催しましたのでお知らせいたします。議事概要や資料は、下記URLをご覧ください。

【日時】 令和4年6月2日(木) 15時00分～17時00分

【会場】 アルカディア市ヶ谷

【委員】 別添のとおり(参考1)

【議事】 「再発防止対策及び地域の安全・安心を高める取り組み」を踏まえた工事の状況等

【会議資料】 https://www.ktr.mlit.go.jp/gaikan/pi_kouhou/tu2_kiroku.html

東京外環トンネル施工等検討委員会
第24回東京外環トンネル施工等検討委員会

参考1

委員名簿

委員長	小泉 淳	早稲田大学名誉教授
委員	赤木 寛一	早稲田大学理工学術院教授
	砂金 伸治	東京都公立大学法人東京都立大学 都市環境学部教授
	大島 洋志	(一社) 日本応用地質学会名誉会員
	日下 敦	国立研究開発法人 土木研究所道路技術研究グループ上席研究員
	小山 幸則	立命館大学総合科学技術研究機構上席研究員
	西村 和夫	東京都公立大学法人東京都立大学 理事
	真下 英人	(一社) 日本建設機械施工協会施工技術総合研究所長
	水谷 敏則	(一財) 先端建設技術センター 技術アドバイザー 【五十音順、敬称略】
	福島 眞司	東京都建設局三環状道路整備推進部長
	若林 登	首都高速道路(株) 技術部長
	高松 諭	国土交通省関東地方整備局道路部長
	関 信郎	国土交通省関東地方整備局東京外かく環状国道事務所長
	加藤 健治	東日本高速道路(株) 関東支社建設事業部長
	大津 敏郎	東日本高速道路(株) 技術本部 技術・環境部 道路技術課 課長
	塩梅 崇	中日本高速道路(株) 東京支社建設事業部長
	八木 弘	中日本高速道路(株) 技術本部・高度技術推進部専門主幹(トンネル担当)

第24回 東京外環トンネル施工等検討委員会 議事概要

■ 第24回検討委員会：令和4年6月2日

【議題】

- ・令和4年2月より事業用地内で順次掘進を再開した大泉側本線（南行）シールドトンネル工事、中央 JCT 北側 A・H ランプシールドトンネル工事の再発防止対策及び地域の安全・安心を高める取り組みを踏まえた工事の状況等について

【議事概要】

- 大泉側本線（南行）シールドトンネル工事における再発防止対策及び地域の安全・安心を高める取り組みを踏まえた工事の状況等について、以下を確認した。
 - ・大泉側本線（南行）シールドトンネル工事は令和4年2月25日から4月7日で約90m（掘進済延長約640m/約6,990m）の掘進を行ったこと。
 - ・シールド掘進地盤に適した添加材の選定については、小土被りで地下水位が掘削断面に満たない礫層が主体の地盤であることを踏まえ、鉍物系添加材により適正な塑性流動性・止水性を確保できること。また、添加材注入については常時気泡材、鉍物系添加材を臨機応変に切り替えができる設備を搭載していること。
 - ・塑性流動性とチャンバー内圧力のモニタリングと対応については、カッタートルク、チャンバー内圧力勾配等の状況をリアルタイムで監視するとともに、粒度分布試験、ミニスランプ試験等により土砂性状の確認を所定の頻度で実施しており、今回掘進区間においては塑性流動性の確保が困難となる兆候は確認されていないこと。また、カッター回転不能となる事象は発生していないこと。
 - ・排土量管理における排土重量と掘削土体積の傾向管理については、比重が小さい地中壁を切削する区間を除き、新たに設定された1次管理値（7.5%）以内に収まっていること。排土率については下限側の1次管理値を超過する傾向が確認されているが、塑性流動性などの施工データの確認、シールドマシン負荷の確認等により異常がないことを確認した後に施工を行う等、掘進における管理フロー（切羽の安定管理、掘削土量）に基づき、適切に施工が行われていること。なお、排土率が低くなる傾向については、砂・礫分が比較的多い地盤において、添加材を注入し、掘進する際の圧力により、地山に存在する間隙水が掘削断面の外に押し出されたこと等が要因であると推察されること。
 - ・地域の安全・安心を高める取組として実施している騒音・振動計測及び騒音・振動の緩和に向けた対応、地表面計測等について適切に実施しており、周辺的生活環境に影響を与えるような事象は発生していないこと。
 - ・地表面の巡回監視や地域住民への情報提供等が適切に行われていること。
 - ・再発防止対策及び地域の安全・安心を高める取り組みを確実に履行しながら掘進を進めており、再発防止対策が有効に機能していること。
 - ・なお、シールドマシン前面のカッターが地中壁の鋼材と接触したことにより、カッタービット、攪拌翼の損傷が生じた事象は、シールド工法自体の安全性に課題があったものではないこと。
 - ・鋼材との接触により損傷した部材の補修後は、引き続き、再発防止対策が機能していることを丁寧に確認、施工状況や周辺的生活環境への影響をモニタリングしながら細心の注意を払いつつ、慎重に進めていくこと。

○中央 JCT 北側 A・H ランプシールドトンネル工事における再発防止対策及び地域の安全・安心を高める取り組みを踏まえた工事の状況等について、以下を確認した。

- ・中央 JCT 北側 A・H ランプシールドトンネル工事は令和 4 年 3 月 4 日から現在までに、A ランプシールドトンネル工事は約 15m（掘進済延長約 60m/約 650m）、H ランプシールドトンネル工事は約 20m（掘進済延長約 60m/約 410m）の掘進を行ったこと。
- ・シールド掘進地盤に適した添加材の選定については、掘進作業の初期段階であるため鉍物系添加材の使用となっていること。今後の本掘進時における添加材注入については常時気泡材、鉍物系添加材を臨機応変に切り替えができる設備を搭載していること。
- ・塑性流動性とチャンバー内圧力のモニタリングと対応については、カッタートルク、チャンバー内圧力勾配等の状況をリアルタイムで監視するとともに、粒度分布試験等により土砂性状の確認を所定の頻度で実施しており、今回掘進区間においては塑性流動性の確保が困難となる兆候は確認されていないこと。また、カッター回転不能となる事象は発生していないこと。
- ・排土量管理については、掘進作業の初期段階であるため、排泥管に取り付けられている流量計で体積を把握し排土量管理を行っているところであるが、排土体積と掘削土重量の傾向管理は、新たに設定された 1 次管理値（7.5%）以内に収まっていること。排土率については中央 JCT 北側 H ランプシールドトンネル工事において下限側の 1 次管理値を超過する傾向が確認されているが、塑性流動性などの施工データの確認、シールドマシン負荷の確認等により異常がないことを確認した後に施工を行う等、掘進における管理フロー（切羽の安定管理、掘削土量）に基づき、適切に施工が行われていること。なお、排土率が低くなる傾向については、砂・礫分が比較的多い地盤において、添加材を注入し、掘進する際の圧力により、地山に存在する間隙水が掘削断面の外に押し出されたこと等が要因であると推察されること。
- ・地域の安全・安心を高める取組として実施している騒音・振動計測及び騒音・振動の緩和に向けた対応、地表面計測等について適切に実施しており、周辺的生活環境に影響を与えるような事象は発生していないこと。
- ・地表面の巡回監視や地域住民への情報提供等が適切に行われていること。
- ・再発防止対策及び地域の安全・安心を高める取り組みを確実に履行しながら掘進を進めており、再発防止対策が有効に機能していること。引き続き、再発防止対策が機能していることを丁寧に確認、施工状況や周辺的生活環境への影響をモニタリングしながら細心の注意を払いつつ、慎重に進めていくこと。

○東名側本線シールドトンネル工事の再発防止対策及び地域の安全・安心を高める取り組みについて、以下報告があった。

- ・陥没・空洞箇所周辺での地盤補修、補償等の対応に優先的に取り組んでいること。
- ・再発防止対策のうち排土量管理の強化、地域の安全・安心を高める取り組みについては、大泉側本線シールドトンネル工事及び大泉 JCT ランプシールドトンネル、中央 JCT 北側ランプシールドトンネル工事で審議しとりまとめた結果を適用しながら検討を進めていること。
- ・再発防止対策のうち、添加材の選定、チャンバー内圧力勾配の管理及び機器の改良については、大泉側本線シールドトンネル工事及び大泉 JCT ランプシールドトンネル、中央 JCT 北側ランプシールドトンネル工事と同様に当該地盤条件に合わせて検討を進めていること。
- ・今後、事業者で検討を行った上で、当委員会で審議・確認を経て地元説明を行うこととする。

第24回 東京外環トンネル施工等検討委員会

再発防止対策及び地域の安全・安心を高める取り組みを踏まえた工事の状況等について

＜大泉側本線（南行）シールドトンネル＞

令和4年6月2日

国土交通省 関東地方整備局 東京外かく環状国道事務所
東日本高速道路株式会社関東支社 東京外環工事事務所
中日本高速道路株式会社東京支社 東京工事事務所

はじめに

令和2年10月に調布市東つつじヶ丘で発生した陥没事故を受けて設置した「東京外環トンネル施工等検討委員会 有識者委員会」において、令和3年3月にとりまとめられた「東京外環トンネル施工等検討委員会 有識者委員会 報告書」、また、令和3年12月21日に「シールドトンネル施工技術検討会」でとりまとめられ公表された「シールドトンネル工事の安全・安心な施工に関するガイドライン」の内容を踏まえ、大泉側本線シールドトンネル工事における「再発防止対策及び地域の安全・安心を高める取り組み」をとりまとめ、第23回東京外環トンネル施工等検討委員会においてその内容が妥当であることが確認された。

令和4年1月23～2月1日には大泉側本線シールドトンネル工事の「再発防止対策」および「今後の対応」などに関する説明会を工事箇所周辺(練馬区・杉並区・武蔵野市)にお住いの方を対象に開催し、令和4年2月25日から、大泉側本線(南行)シールドトンネルの事業用地内での掘進作業を進めている。

本資料は、令和4年2月25日から4月7日までの「再発防止対策及び地域の安全・安心を高める取り組み」を踏まえた工事の状況等を報告するものである。

目 次

1.	工事の進捗状況	1
1. 1	検討（工事）の経緯	1～2
1. 2	工事の進捗状況	3
2.	再発防止対策を踏まえた工事の対応状況	4
2. 1	シールド掘進地盤に適した添加材の選定等	5～8
2. 2	塑性流動性とチャンバー内圧力のモニタリングと対応	9～14
2. 3	排土量管理について	15～23
2. 4	カッター回転不能（閉塞）時の対応	24
2. 5	再発防止対策を踏まえた掘進管理	25～28
3.	地域の安全・安心を高める取り組みの対応状況	29
3. 1	振動・騒音対策	30～34
3. 2	地表面変状の確認	35～38
3. 3	地域住民の方への情報提供	39～44
3. 4	シールドマシン停止に伴う保全措置	45
3. 5	「トンネル工事の安全・安心確保の取り組み」の見直し	45

1. 工事の進捗状況

1.1 検討（工事）の経緯

大泉側本線（南行）シールドトンネル工事等の経緯は次のとおりである。

赤字は大泉側本線（南行）シールドトンネル工事の経緯 黒字は東京外かく環状道路工事現場付近での地表面陥没事故の経緯

青字はシールドトンネル施工技術検討会の経緯

■これまでの経緯

2019年（平成31年）

1月11～17日 大泉側本線（南行）シールドトンネル工事 工事説明会

1月26日 大泉側本線（南行）シールドトンネル工事 発進式

2020年（令和2年）

10月18日 地表面の陥没を確認。 応急措置として砂による埋土を実施
（翌朝埋土完了）

10月19日 第1回 有識者委員会（※）

※トンネルの構造、地質・水文、施工技術等について、より中立的な立場での確認、検討することを目的として設置。

10月19日 大泉側本線（南行）シールドトンネル工事 掘進一時停止

10月30日～ 大泉側本線（南行）シールドトンネル工事 シールド保全措置としてカッター回転を定期的実施

11月 3日 陥没箇所から約40m北にて、空洞①を確認（11月24日充填作業完了）

11月6、7日 陥没箇所周辺の方を対象とした説明会を開催（計3回）

11月21日 陥没箇所から約30m南にて、空洞②を確認（12月3日充填作業完了）

12月20、21日 陥没周辺箇所の方を対象とした説明会を開催（計3回）

2021年（令和3年）

1月 8日 家屋補償等に関する相談窓口を開始 ※3月末時点で計18回実施

1月14日 陥没箇所から約120m北にて、空洞③を確認
（1月22日充填作業完了）

2月14、15日 陥没周辺箇所の方を対象とした説明会を開催（計3回）

3月19日 第7回 有識者委員会を開催

再発防止対策の確定

⇒報告書の公表

3月19日～ 報告書を基に再発防止対策の具体化を実施

4月2日～7日 陥没箇所周辺及び沿線7区市の方を対象とした説明会を開催（計10回）



4/7（水）三鷹市での説明会の状況（三鷹市立北野小学校）

12月17、18日 「地盤調査状況及び地盤補修に関する検討状況のご説明」



陥没箇所（2020年10月18日 12:30）



陥没箇所の応急復旧対応状況（舗装完了）

第7回 東京外環トンネル施工等検討委員会 有識者委員会 議事概要

■ 第7回 有識者委員会：令和3年3月19日

【議題】

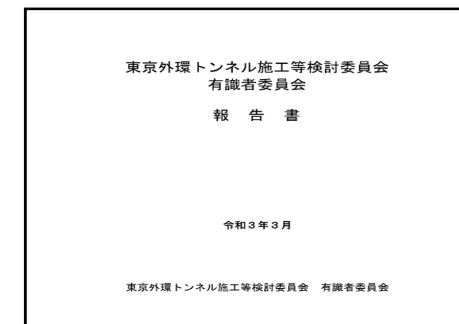
- ・再発防止対策について
- ・報告書について

【議事概要】

- 陥没・空洞の推定メカニズムを踏まえた、東京外環事業における今後のシールドトンネル施工を安全に行うため、以下の再発防止対策を実施していくことが妥当であることを確認した。
 - ・工事着手前に行われる地盤状況把握のための事前調査は適切に行われているが、今後のシールド掘進地盤について、必要に応じ追加ボーリングを実施し、地盤に適した添加材配合を再確認する。特に、細粒含有率が10%以下になることが想定される地盤に対しては、ペントナイト溶液を含めた鉱物系添加材の使用についても十分検討する。
 - ・チャンパー内土砂の塑性流動性について、新たにチャンパー内の圧力勾配、ミニスランプ試験での確認を追加し、得られる施工データを適切に評価し、モニタリングを強化するとともに、モニタリング結果を踏まえた添加材注入量や添加材の種類の適切な調整を行うことにより、塑性流動性・止水性を確保する。
 - ・排土管理の管理値として、従前は前20リング平均±10%を1次管理値、±20%を2次管理値として管理していたところであるが、それぞれ、より厳しい±7.5%、±15%を新たな基準値とし、掘進管理を行っていく。また、ベルトスケール重量による掘削土量管理に加えて、排土率（地山掘削土量と設計地山掘削土量の比率）による管理を毎リング実施する。これらにより、取り込み過剰の兆候をいち早く把握し、より安全な掘進管理につなげる。
 - ・次に示す「地域の安全・安心を高める取り組み」を加え、再発防止対策として確実に実施する。
 - ① 掘進時の振動・騒音緩和対策の追加や測定頻度見直しによるモニタリング強化などの、振動・騒音対策
 - ② 地表面変位量の定期的な公表や掘進完了区間の巡回監視強化などの、地盤変状の確認
 - ③ ホームページや掲示板を用いた掘進状況、モニタリング情報の提供などの、地域住民の方への情報提供
 - ④ シールドマシン停止に伴う保全措置
 - ⑤ 「トンネル工事の安全・安心確保の取組み」の見直し
- 第1回から第7回までの委員会において議論された、陥没・空洞の推定メカニズムや再発防止対策などについて、本委員会の報告書としてとりまとめた。
- 引き続き、陥没・空洞箇所及びその周辺の監視を重点的に行い、本委員会での議論の内容を説明するなど、周辺住民からの問合せ等に対し適切に対応するとともに、不安を取り除くことに努めることを確認した。

以上

3月19日 第7回有識者委員会議事概要



3月19日 第7回有識者委員会 報告書表紙

2021年(令和3年)

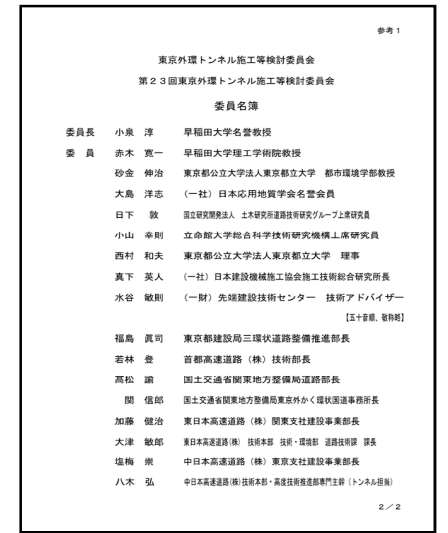
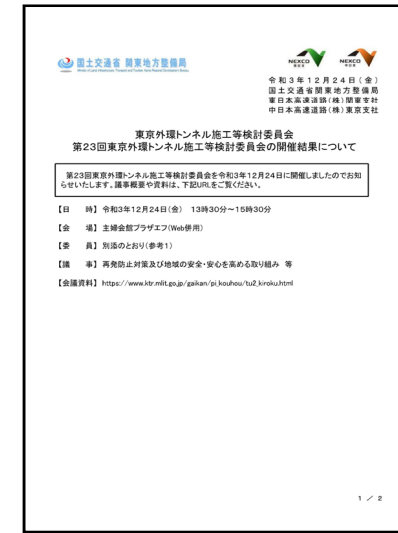
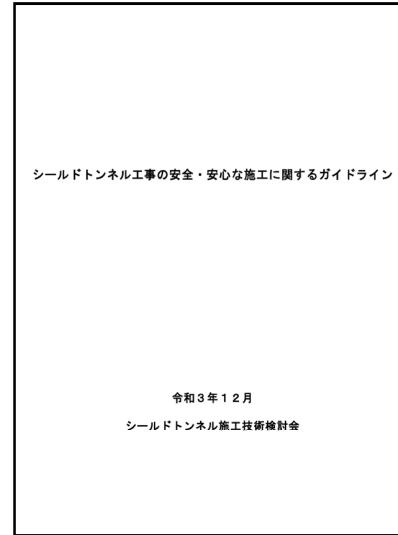
12月21日 シールドトンネル工事の安全・安心な施工に関するガイドライン公表
(シールドトンネル施工技術検討会(※))

※シールドトンネル施工技術検討会における検討委員:学識者等計7名

事務局:国交省(大臣官房技術調査課)

目的:近年の複数のシールドトンネル工事での地表面に影響を与える事故の発生を受け、地下鉄、道路、下水道など幅広く活用されているシールドトンネル工事の更なる安全性の向上及び周辺地域の安心の確保

12月24日 第23回東京外環トンネル施工等検討委員会 開催
「再発防止対策及び地域の安全・安心を高める取り組み」の内容が妥当であることを確認



2022年(令和4年)

1月23日~2月1日 大泉側シールドトンネル工事の「再発防止対策及び地域の安全・安心を高める取り組み」および「今後の対応」などに関するご説明



1月23日(日)練馬区での説明会の状況(泉新小学校)

2月25日~ 大泉側本線(南行)シールドトンネル工事
事業用地内の掘進開始

3月27、28日 陥没・空洞箇所周辺にお住まいの方を対象としたオープンハウスの開催

4月7日 大泉側本線(南行)シールドトンネル工事
地中壁鋼材接触に伴うカッタービット等の損傷により掘進一時停止

4月12日 地中壁鋼材接触に伴うカッタービット等の損傷による掘進停止について公表

4月28日 地中壁鋼材接触事象の原因と補修の状況等について公表

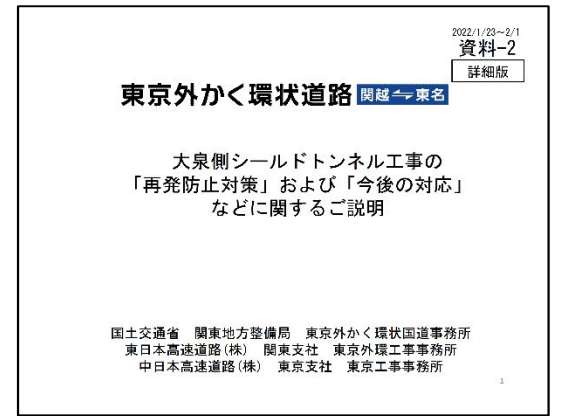
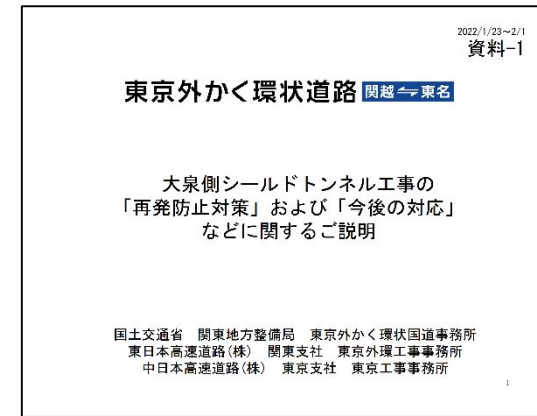
5月13、14日 工事箇所周辺にお住まいの方を対象とした相談窓口を開設

12月21日 シールドトンネル工事の安全・安心な施工に関するガイドライン公表
(シールドトンネル施工技術検討会)

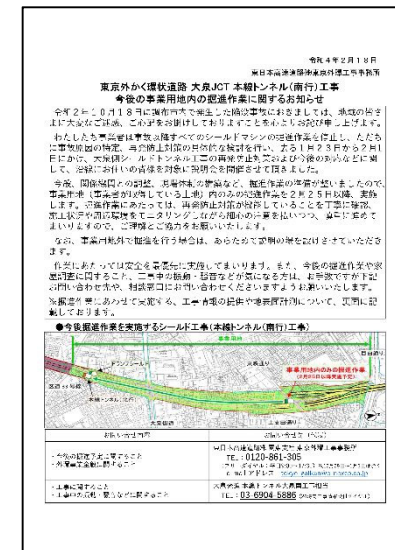
12月24日 第23回東京外環トンネル施工等検討委員会
開催結果について



1月14日 説明会案内チラシ



1月23日~2月1日 大泉側シールドトンネル工事の
「再発防止対策」および「今後の対応」などに関する説明会

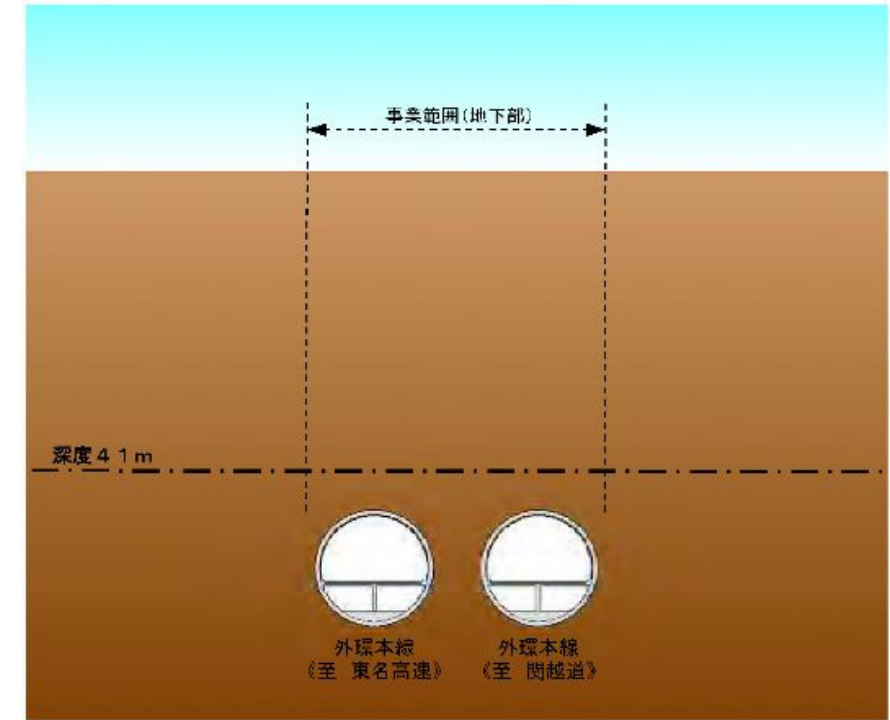


2月18日配布 事業用地内の掘進作業実施に関するお知らせ
(相談窓口の開設をお知らせ)

1.2 工事の進捗状況

1.2.1 大泉側本線（南行）シールドトンネル工事の概要

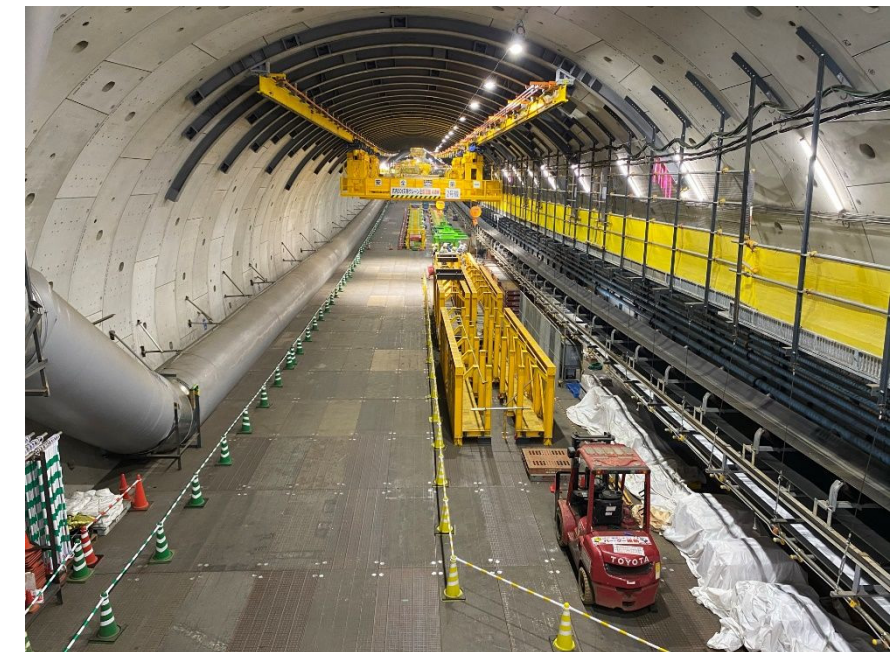
- 工事名称 : 東京外かく環状道路 本線トンネル（南行）大泉南工事
 発注者 : 東日本高速道路（株） 関東支社
 施工者 : 清水・熊谷・東急・竹中土木・鴻池特定建設工事共同企業体
 工事内容 : 泥土圧シールド（シールド機外径φ16.1m、セグメント外径φ15.8m） 延長 約 6,990m
 工事箇所 : 東京都武蔵野市吉祥寺南町～練馬区大泉町



断面図（大深度）



令和4年 2月 25日～4月 7日
 掘進実績 約 90m



本線南行坑内

2. 再発防止対策を踏まえた工事の対応状況

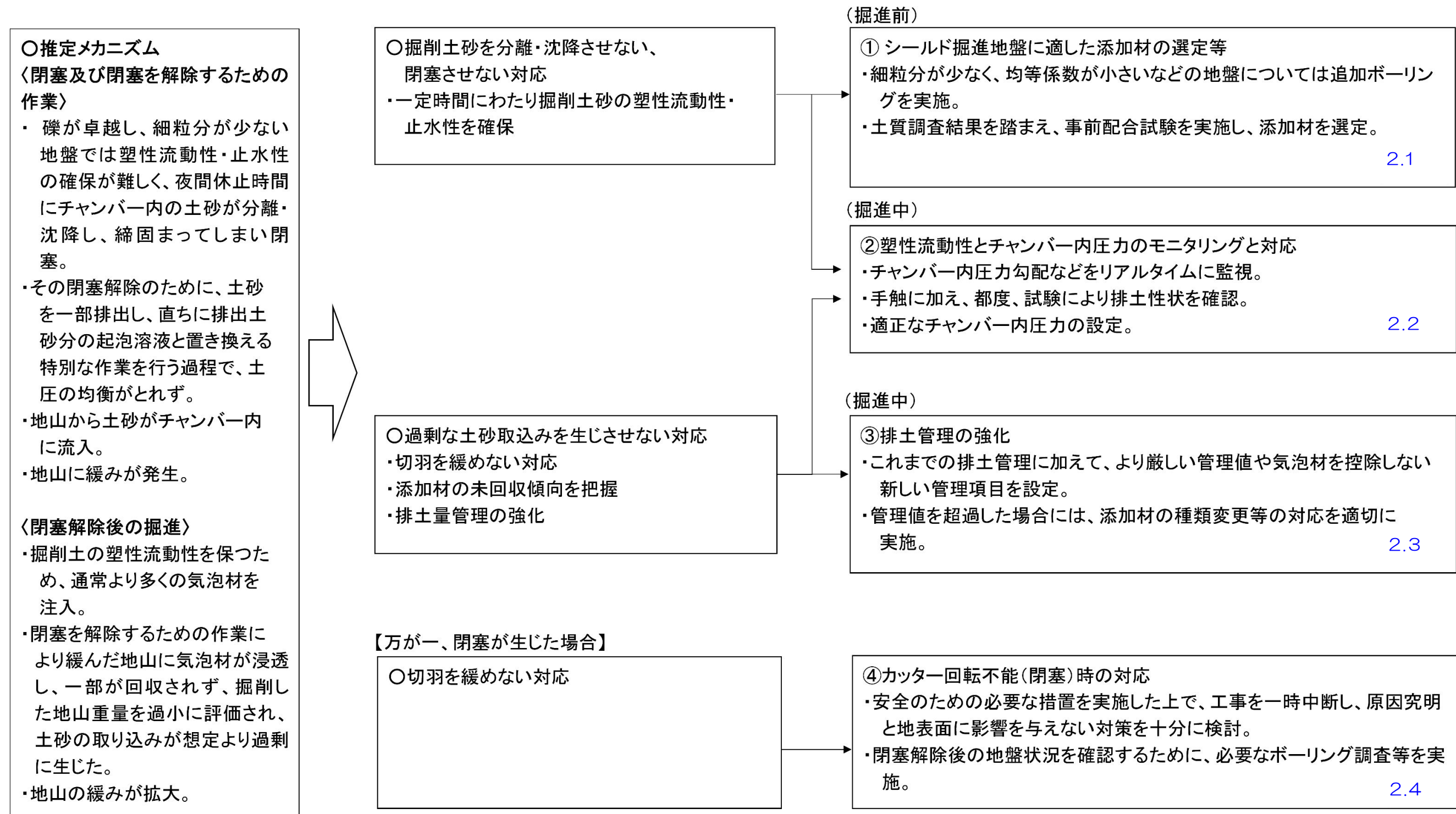
第23回東京外環トンネル施工等検討委員会で、次の陥没・空洞の推定メカニズムを踏まえた再発防止対策を確認した。

掘進作業にあたっては、再発防止対策が機能していることを丁寧に確認し、施工状況や周辺環境をモニタリングしながら細心の注意を払い慎重に進めている。

1. 陥没・空洞の推定メカニズムを踏まえたトンネル再発防止対策

陥没・空洞の推定メカニズムを踏まえた、東京外環事業における今後のシールドトンネル施工を安全に行うための再発防止対策は以下のとおりである。空洞・陥没が発生したことでシールドトンネル工事に起因した陥没等に対する懸念や、振動・騒音等に対する不安の声等が多く寄せられていることを受け、地盤変状の監視強化や振動計測箇所の追加、振動・騒音対策の強化など、「地域の安全・安心を高める取り組み」を加え、再発防止対策として実施していくこととする。

■ 陥没・空洞の推定メカニズムを踏まえたトンネル再発防止対策



2.1 シールド掘進地盤に適した添加材の選定等





2.1.1 第23回東京外環トンネル施工等検討委員会で確認された再発防止対策

今回報告する掘進区間の地盤と類似している第23回東京外環トンネル施工等検討委員会で確認した「⑥-A 既往ボーリング (H21-48) 模擬土を用いた添加材選定の試験結果」は次のとおりである。

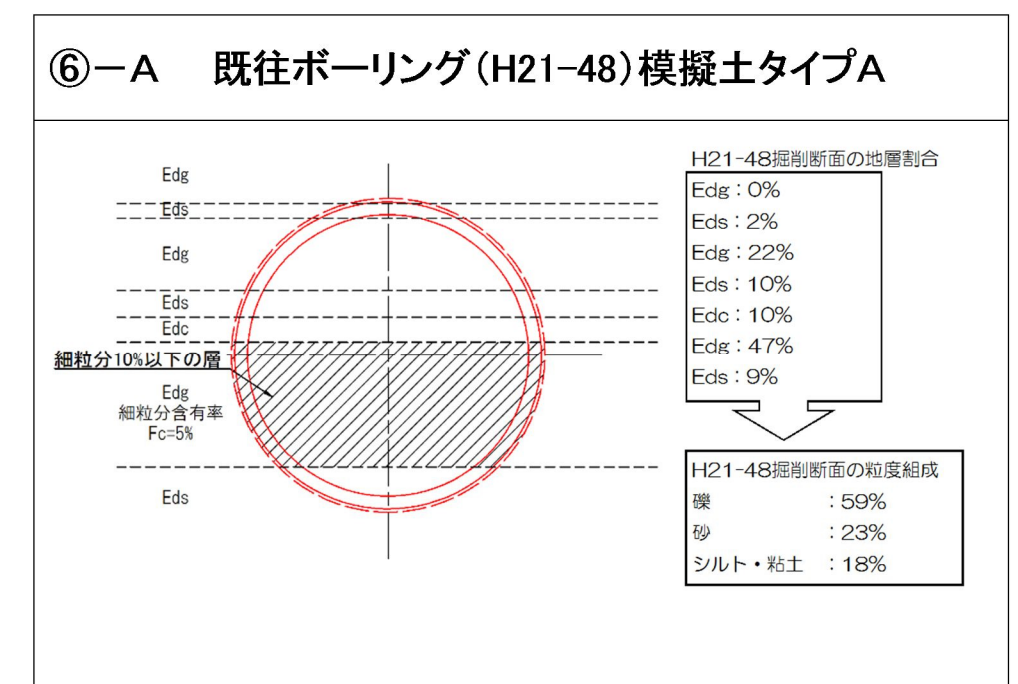
添加材選定試験について

今回の東京外環で発生した陥没・空洞に伴う再発防止対策として、既往の土質調査からシールドトンネル掘削土の塑性流動性の確保に留意する必要があると想定される地盤において、掘削断面の粒度組成を模した模擬土 (タイプA) により添加材選定試験を行い、掘進に適した添加材を事前に選定するとともに、施工中に土質条件の悪化がみられた場合の対応方針を確認する。

①添加材種別

添加材種別	CASE-1 気泡材 (標準配合)	CASE-2 気泡材 (高濃度配合)	CASE-3 気泡材 + 鋳物系 (気泡材の助材として使用)	CASE-4 鋳物系 (単体で使用)
外観				
特徴	標準的に使用を予定している気泡材	標準的な気泡材に対し、強度の高い気泡を得ることを目的として、起泡剤溶液の配合を変えた気泡材	気泡材の添加と同時に、助材として鋳物系を添加することで細粒分を補うとともに、粘性を付与して、塑性流動性の改善を図るもの	鋳物系を主材として添加

②添加材試験対象断面



③試験結果

模擬土	対象Bor	模擬土		CASE	気泡材			鋳物系		水 注入率 [対Vol%]	結果			
		タイプ	細粒分 含有率		配合 (濃度 [%])	発泡倍率 [倍]	注入率 [対Vol%]	配合 (濃度 [%])	注入率 [対Vol%]		直後	1日	3日	7日
⑥-A	H21-48 全断面	タイプA	18%	CASE-1	標準 (1.0)	10	20	-	-	13	○	○	○	○
				CASE-2	高濃度 (5.0)	20	20	-	-	13	○	○	○	○
				CASE-3	高濃度 (5.0)	20	20	70kg/m3 (7.0)	17	-	○	○	○	○
				CASE-4	-	-	-	70kg/m3 (7.0)	21	-	○	○	○	○

【試験結果及び対応方針】

- 既往のボーリングから想定される掘削断面に対しては、いずれの添加材も良好な塑性流動性を確保できることを確認した。
→ 大泉側本線トンネルの掘進区間においては、週末等に休止期間を設けても、標準的に使用を予定している気泡材によって塑性流動性が確保される状態で、施工できることを確認した。

2.1.2 大泉側本線（南行）シールドトンネル工事での対応状況

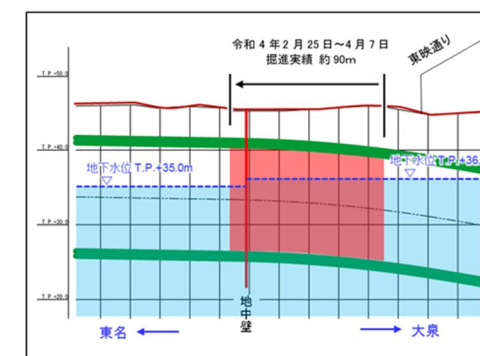
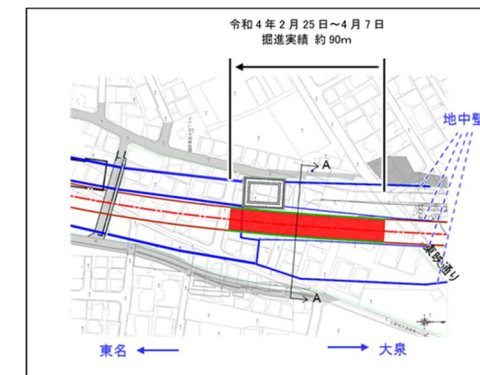
大泉側本線（南行）シールドトンネル工事は、再発防止対策のシールド掘進地盤に適した添加材の選定等の結果を踏まえ、添加材は気泡材、鈹物系を適切に使用する計画としている。今回の掘進区間の地盤は、添加材試験結果より、気泡材、鈹物系いずれの添加材でも良好な塑性流動性が確保できることを確認しているが、

- ・0.3D^{*}（約4～6m）の小土被りで地下水位が掘削断面に満たない礫層が主体 ※Dはトンネル径
- ・掘進中の浮上り防止のため地下水を低下させている（トンネル内に床版を構築した後は地下水によるトンネルの浮上りが生じない設計となっている）

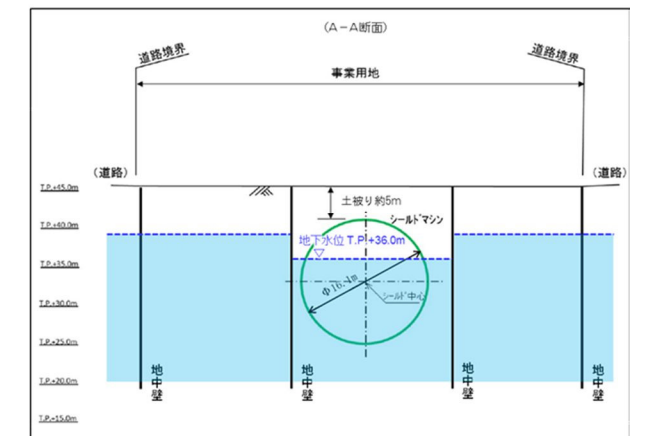
といった区間で、地盤内の水分が少なく気泡が破泡する可能性があるため、塑性流動性の悪化が生じないように鈹物系添加材を選定した。また、細粒分過多によるマシンなどへの固着や泥濘化といった設備負荷増大や地山への添加材の浸透を抑制するため、水溶性高分子材を添加する計画とした。なお、鈹物系添加材に助材として水溶性高分子材を添加した配合の試験を事前に行い、練り混ぜ直後～7日間まで適正な塑性流動性を確保できることを確認している。

■大泉側本線（南行）シールドトンネル工事 添加材使用基本計画

		第23回東京外環トンネル施工等検討委員会で確認した添加材種別				地盤状況に合わせ調整した添加材
		CASE-1	CASE-2	CASE-3	CASE-4	
添加材種別		気泡材 (標準配合)	気泡材 (高濃度配合)	気泡材+鈹物系 (気泡材の助材として使用)	鈹物系 (単体で使用)	鈹物系 (助材として高分子材添加)
気泡材	濃度	1%	5%	5%		
	発泡倍率	10%	20%	20%		
	注入率	10%～30%	10%～30%	10%～30%		
鈹物系	濃度			70 kg/m ³ (7%)	70 kg/m ³ (7%)	70 kg/m ³ (7%)
	注入率			5%～24%	15%～35%	5%
高分子材	濃度					2 kg/m ³ (0.2%)
	注入率					30%
実施工使用予定		標準的に使用	気泡材(標準配合)で塑性流動性の確保が難しい場合等	長期停止時等	小土被り区間	



縦断面図



横断面図

■CASE-4' 添加材選定試験結果

対象断面：既往ボーリング(H21-48)

添加材	材齢(直後)			材齢(1日)			材齢(3日)			材齢(7日)		
	鈹物系 + 高分子系											
鈹物系 濃度: 70kg/m ³ 注入率: 5% 高分子系 濃度: 2.0kg/m ³ 注入率: 30%	ミスランブ(cm)	テーブルフロー(mm)	目視・手触	ミスランブ(cm)	テーブルフロー(mm)	目視・手触	ミスランブ(cm)	テーブルフロー(mm)	目視・手触	ミスランブ(cm)	テーブルフロー(mm)	目視・手触
	4.0	165×167	○	6.5	152×151	○	6.5	161×162	○	4.5	149×162	○
	【○】			【○】			【○】			【○】		

■本線トンネル（南行）大泉南工事 添加材使用基本計画図

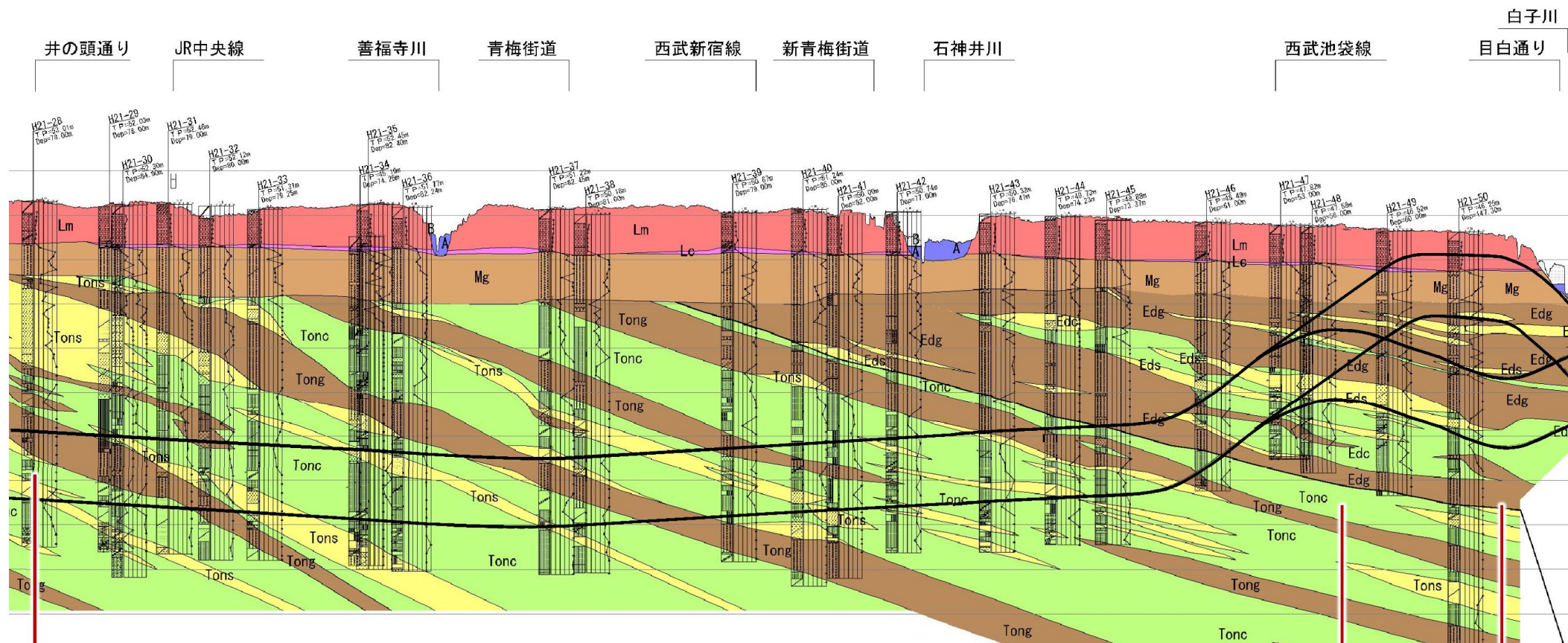
各種モニタリングや排土性状を確認し、塑性流動性の悪化が懸念される場合は、添加材の注入量等の調整や添加材の種別を変更し改善を図っていく。

※IC名は仮称



気泡材 (標準配合・高濃度配合)

鉍物系 (高分子材添加)



気泡材 (標準配合・高濃度配合)

鉍物系 (高分子材添加)

■ 添加材注入設備

第23回東京外環トンネル施工等検討委員会でとりまとめた、再発防止対策のシールド掘進地盤に適した添加材選定等の結果を踏まえ、添加材は気泡材、鉱物系を適切に使用する計画をしているが、塑性流動性の確保が困難となる場合などを想定し、各種添加材注入の切り替えなどをスムーズに行えるよう、事前に注入設備の切り替えが可能となるように改良した。



気泡・加泥 注入ポンプ



気泡原液タンク



ベントナイト泥水タンク

2.2 塑性流動性とチャンバー内圧力のモニタリングと対応

2.2.1 第23回東京外環トンネル施工等検討委員会で確認された再発防止対策

- ・これまでの塑性流動性の確認項目に加え、新たにチャンバー内の圧力勾配、ミニスランプ、粒度分布での確認を行うこととする。
- ・塑性流動性のモニタリングをしながら、添加材注入量や添加材の種類を適切に調整し、塑性流動性・止水性の確保を行う。なお、塑性流動性の確保が困難となる兆候が確認された場合は原因の解明と対策を検討する。

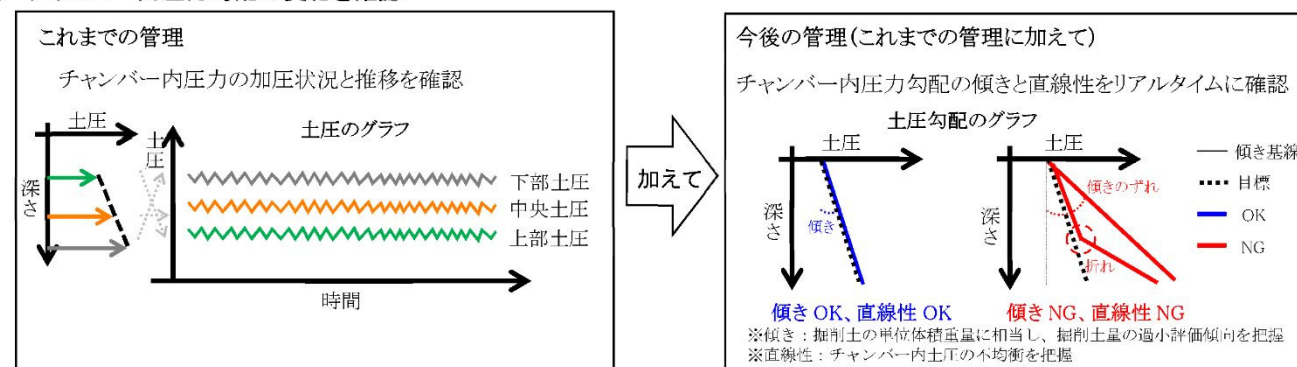
掘進データからの塑性流動性確認方法

管理項目	管理内容	管理値・確認内容	対応	備考
カッタートルク	カッターヘッドを回転させるために必要なトルク値であり、地盤状況ごとの想定トルク値および装備能力に対して計測トルクの割合と計測トルクの変動についても確認を行う(確認頻度_リアルタイム)	管理値: 装備トルク 80%以下 ・掘進中やチャンバー土砂の攪拌時は監視モニターでリアルタイムに確認する	・掘進速度の低減(カッタートルク対応) ・チャンバー内圧力設定の見直し ・添加材注入量の増加	
チャンバー内圧力勾配	チャンバー内圧力勾配の変化を確認する(確認頻度_リアルタイム、毎リング管理)	圧力勾配の傾きと直線性を確認する ・下限圧力と上限圧力との間で掘進時のチャンバー内圧力を管理することで、切羽の安定を常時管理する ・事前のボーリングデータと添加材注入率等から算出される理論圧力勾配との差を確認する ・下部チャンバー内圧力が大きくなるなどの異常が無いことを確認 ・掘進中および停止中は監視モニターでリアルタイムに確認する	・ベントナイト溶液を含めた添加材の種類変更 ・夜間等掘進休止時において、チャンバー内土砂の分離を防ぐため、定期的にチャンバー内土砂の攪拌を実施	傾きが想定以上に大きい場合は、気泡材の地山への過度な浸透が生じている可能性 傾きが小さい場合や直線性が損なわれている場合は、土砂の分離・沈降が生じている可能性
手触目視	掘削土のまとまり具合を手触と目視で確認する 確認頻度(目視:リアルタイム、手触:2回/日)	添加材の添加量や種類、濃度変更による掘削土の排土性状の変化を確認する 例) 気泡材注入量増加に見合う湿潤状態など		掘削土には高分子材が添加
ミニスランプ試験	掘削土のスランプ値を計測し、値と変化を傾向管理する(確認頻度_2回/日)	直近の掘削土の性状と比較する		掘削土には高分子材が添加
粒度分布	掘削地山の土層を把握するために試験室にて粒度分布試験を実施し添加材の注入率設定のデータとする(確認頻度_20リングに1回を基本とし、塑性流動性のモニタリングに応じて適宜実施)	既往ボーリング結果と比較する		細粒分や礫分の比率など地層の変化を確認

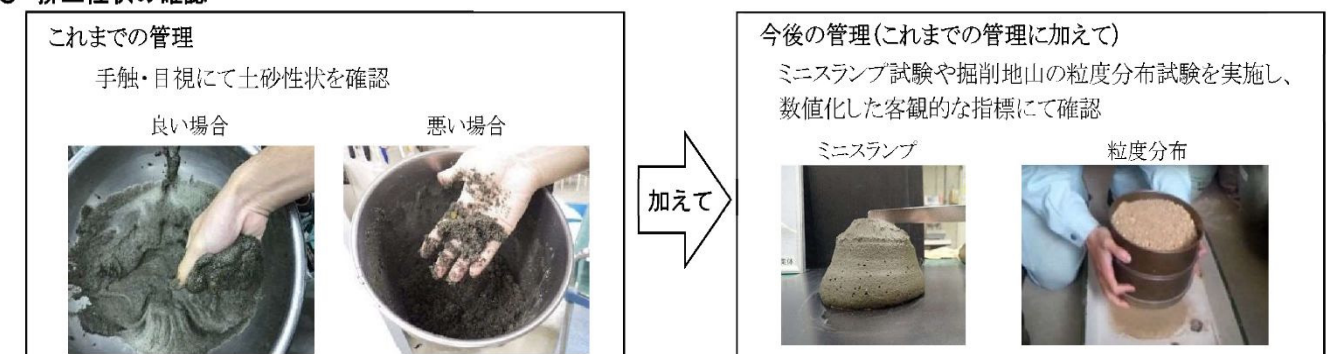
*赤字は陥没事故前に比べ、令和3年3月の有識者委員会報告書で追加された内容及び変更項目

*青字は令和3年3月の有識者委員会報告書に比べ、追加した内容及び変更項目

○ チャンバー内圧力勾配の変化を確認



○ 排土性状の確認

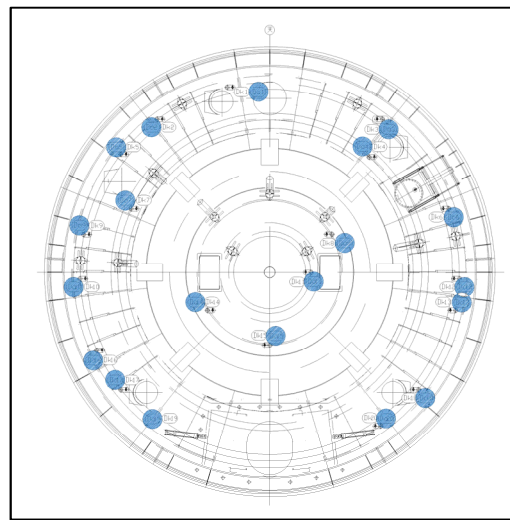


(1)チャンバー内圧力勾配の管理方法

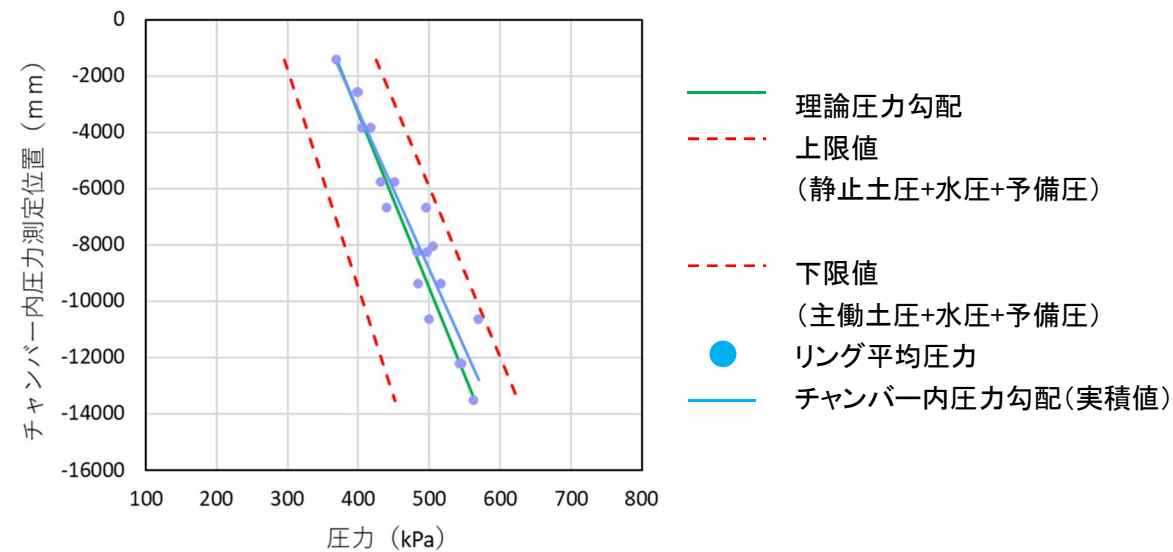
① チャンバー内圧力勾配の傾きと直線性の変化を把握するための管理方法を検討

チャンバー内圧力勾配の傾きと直線性の変化を把握するための管理方法について検討した内容を以下に示す。

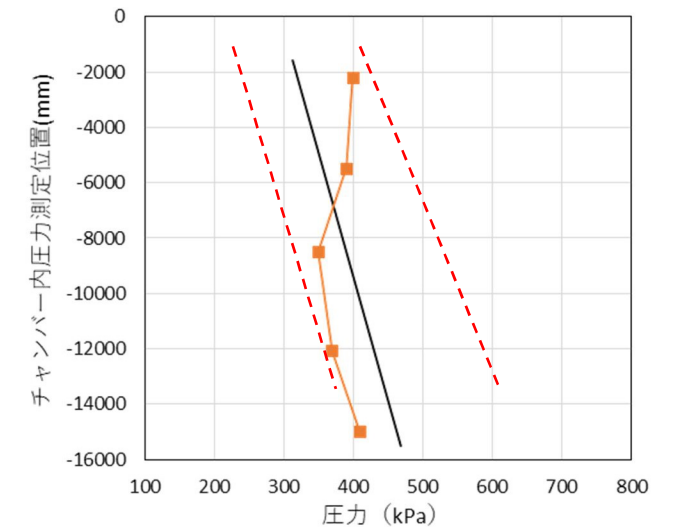
- ・チャンバー内における各圧力計の指示値から算出されるチャンバー内圧力勾配を下限圧力と上限圧力との間で管理することで、切羽の安定を常時管理する(図①-2)。なお、下限圧力については、安定したシールド停止状態の圧力を下回らないように設定する。
- ・チャンバー内圧力勾配は事前のボーリングデータと添加材注入率等から算出される理論圧力勾配との差を比較することで、チャンバー内の塑性流動性悪化の兆候を確認するとともに、添加材が地山に過度に浸透したことによる未回収傾向を把握する(図①-2)。
- ・チャンバー内圧力勾配の直線性はチャンバー内圧力分布の不均衡を確認し、チャンバー内の土砂の分離・沈降が生じている可能性を把握する(図①-3,4)。



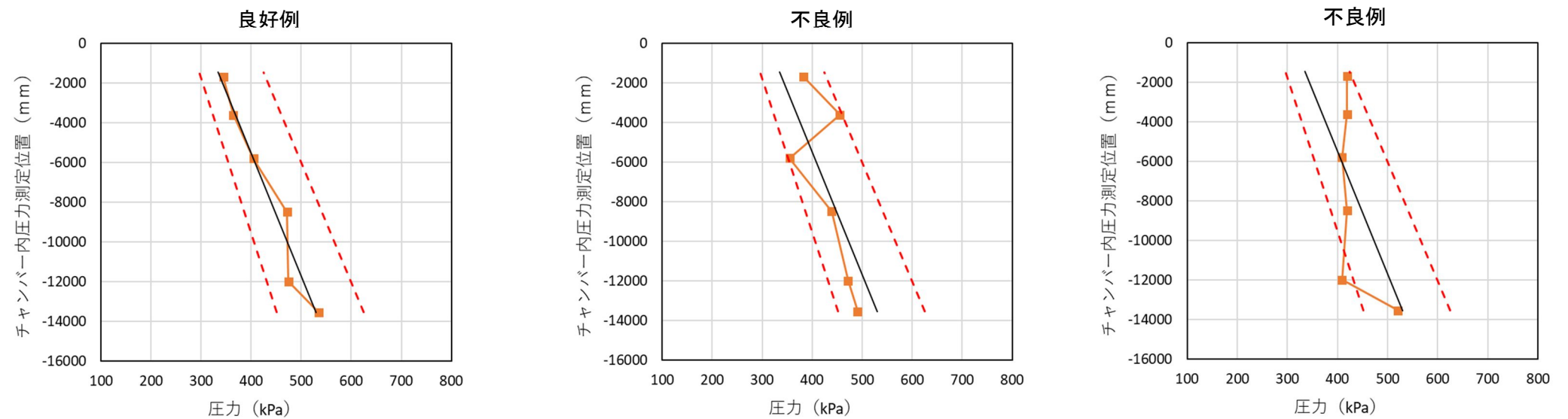
図①-1 圧力計位置(参考例)



図①-2 チャンバー内圧力勾配の確認



図①-3 チャンバー内圧力勾配の直線性の確認



図①-4 チャンバー内圧力の不均衡を把握

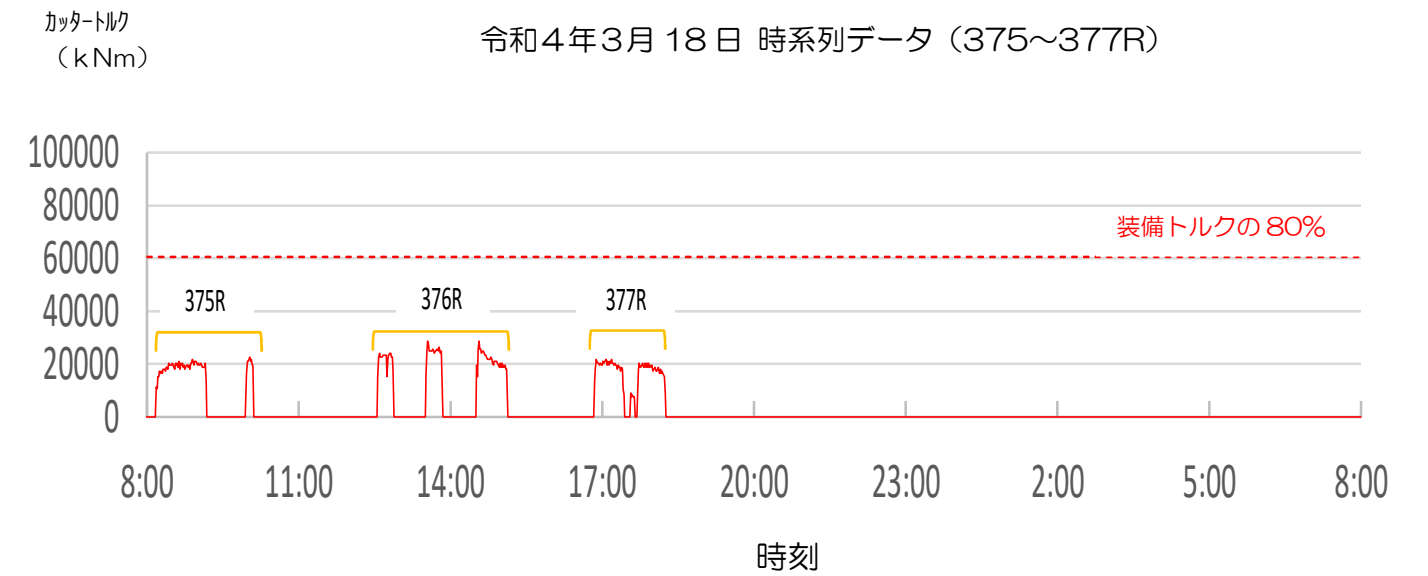
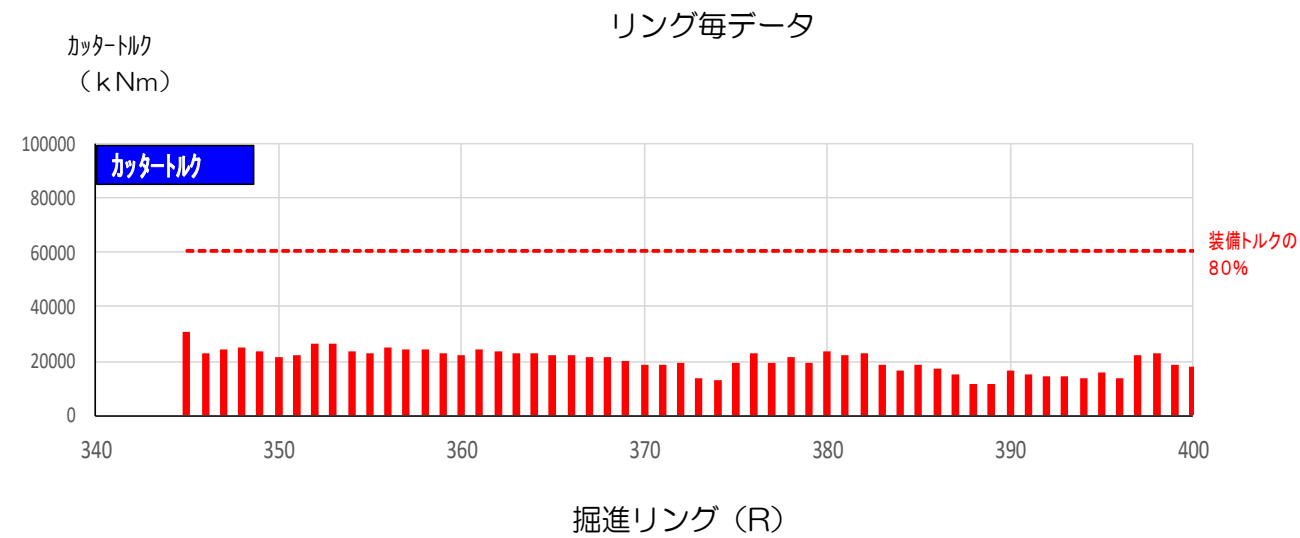
② 塑性流動性の管理方法

- ・掘進前に想定する地山、添加材量などを含めた圧力勾配の理論値と実際に計測したチャンバー内の圧力勾配に大きな乖離がないかを確認するとともに、直線性についてはチャンバー内圧力分布の不均衡を確認する。
 - ・シールド掘進中および停止中は監視モニターで常時監視していくとともに、カッタートルク、シールド施工熟練者による手触・目視、ミニスランプ試験および粒度分布などの確認結果も踏まえ総合的に判断する。
- なお、気泡材の注入量の調整や添加材の変更による対応で塑性流動性の改善が見られない場合には、速やかに鉋物系等を添加したのちに掘進を一時停止し、原因究明・対策検討を行うものとする。
- ・長期掘進停止時は、チャンバー内の土砂分離を防止し、チャンバー内の圧力を適切に保つためにカッターを回転させて土砂を攪拌する。なお、夜間掘進停止時においても必要に応じカッターを回転させて土砂を攪拌する。

2.2.2 大泉側本線（南行）シールドトンネル工事での対応状況

(1) カッタートルク

掘進管理フロー（P25）に基づき、掘進管理システムの監視モニターでカッタートルクをリアルタイムで監視し、管理値内で掘進できていることを確認した。

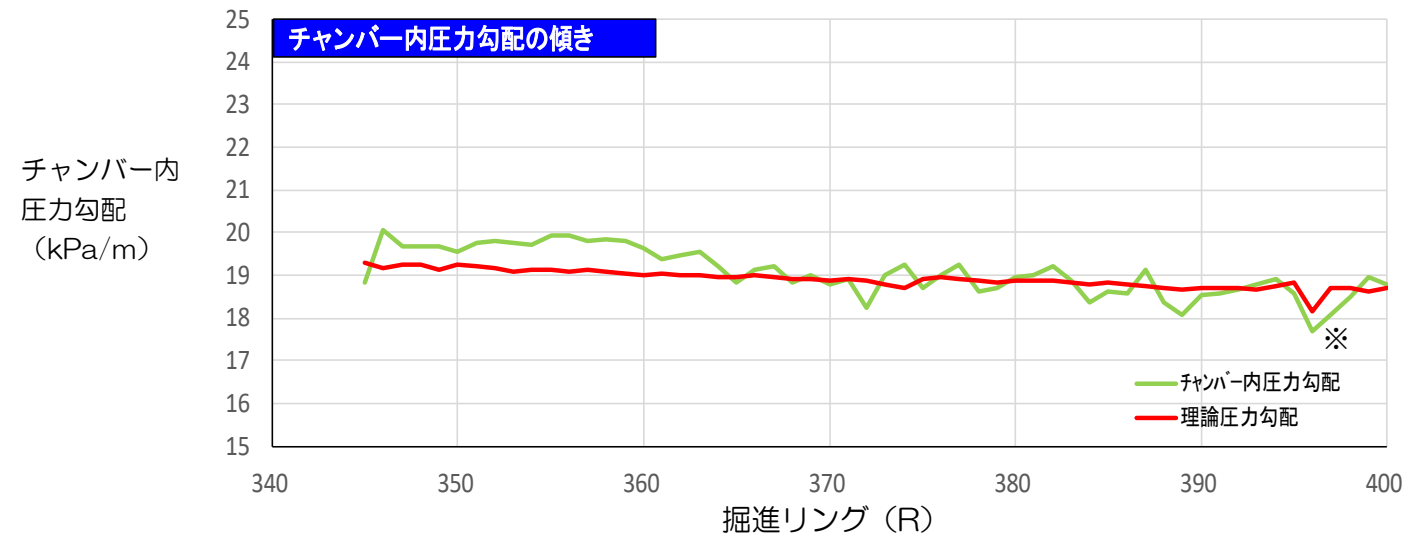


カッタートルクのリアルタイム監視状況 (350R)



(2) チャンバー内圧力勾配

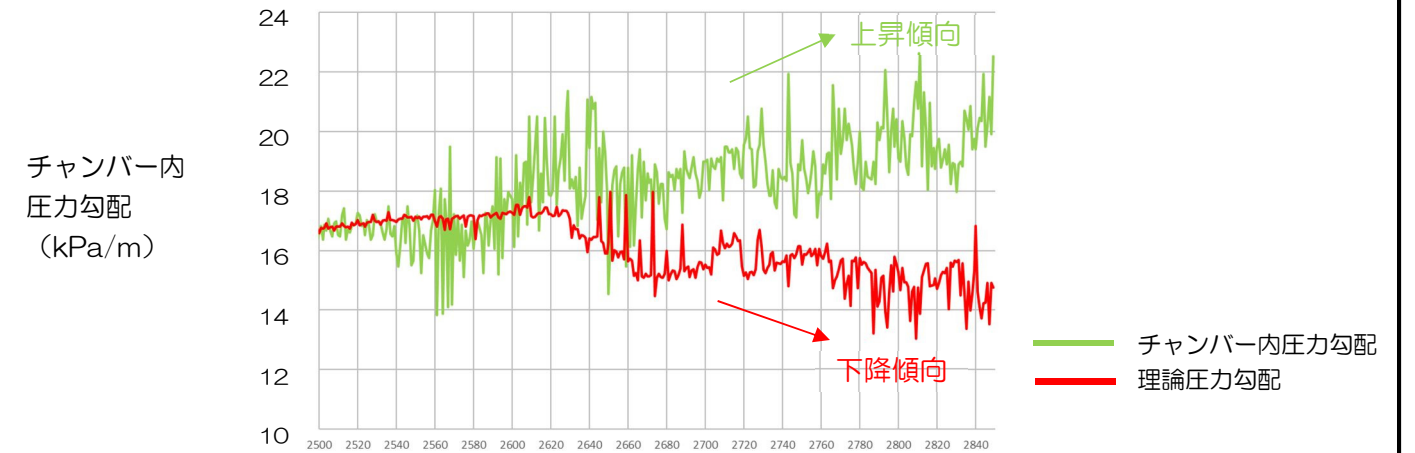
掘進管理フロー（P25）に基づき、掘進管理システムの監視モニターでリアルタイムおよびリング毎にチャンバー内圧力勾配の変化を監視し、理論圧力勾配と同じ傾向を示していること、圧力勾配の傾き・直線性や下部チャンバー内圧力が大きくなるなどの異常がないことを確認した。



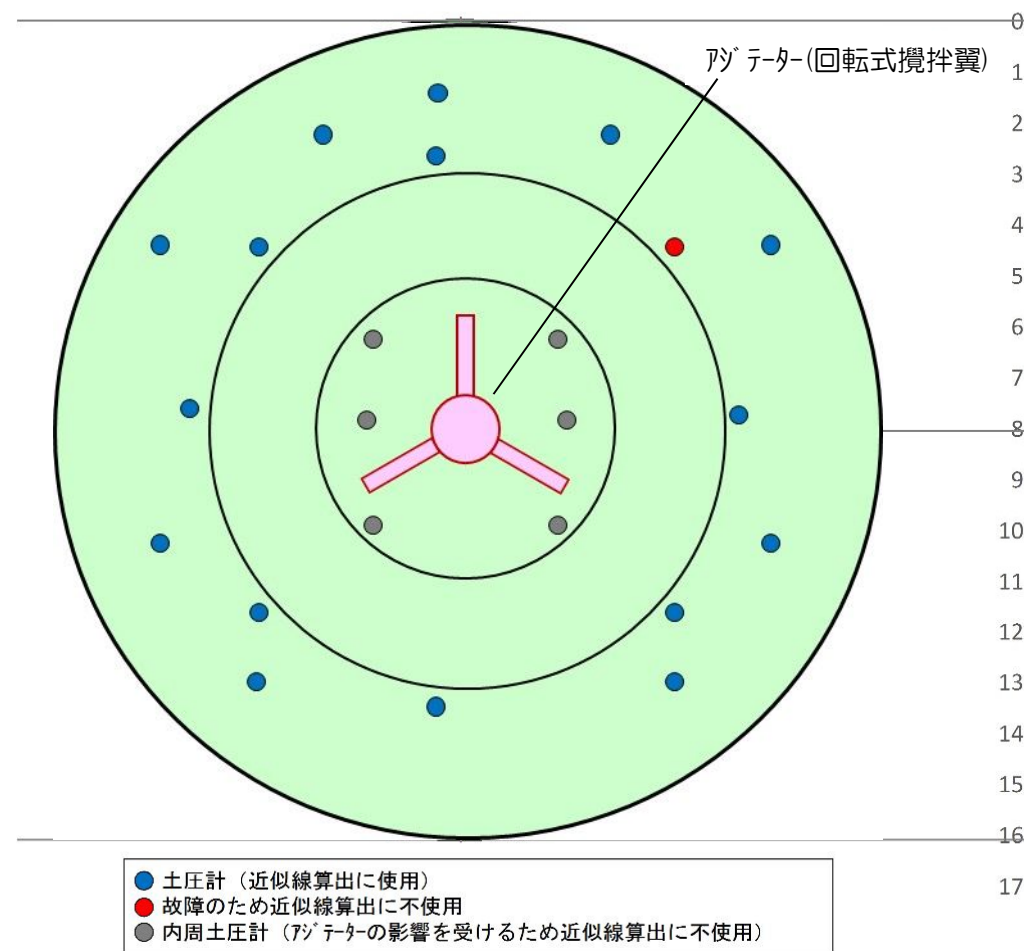
※地中壁切削区間（396R）では、計画的に掘進速度を下げたことにより、加泥材注入率が大きくなっている。比重の小さい加泥材注入量が大きくなったことにより理論圧力勾配及びチャンバー内圧力勾配が低くなっている

【参考】調布市陥没事故発生箇所のチャンバー内圧力勾配の傾き

・調布市の陥没事故発生箇所のチャンバー内圧力勾配と理論圧力勾配の傾きの傾向は大きく異なっている



チャンバー内土圧計配置図
(切羽から坑口を望む)



- 土圧計 (近似線算出に使用)
- 故障のため近似線算出に不使用
- 内周土圧計 (アジテーターの影響を受けるため近似線算出に不使用)

チャンバー内圧力勾配リアルタイム監視状況 (383R)



■掘進停止中のリアルタイムの塑性流動性の確認状況

平日夜間・休日掘進停止から掘進再開までの間も施工データをリアルタイムで監視している。以下に平日夜間・休日掘進停止から掘進再開までのチャンバー内圧力勾配データの一例を示す。圧力勾配の直線性や傾きを確認しており、チャンバー内土砂の分離・沈降の兆候はなく、平日夜間・休日停止後の掘進再開時のカッターの起動も円滑に行われている。

	平日夜間掘進停止・再開時	休日掘進停止・再開時	【参考】調布市陥没箇所掘進時
掘進完了時（停止）	353Ring 掘進完了時（停止） 土圧分布（03/08 16:08） 	379Ring 掘進完了時（停止） 土圧分布（03/19 12:10） 	—
掘進開始前（停止）	354Ring カッター起動前（停止） 土圧分布（03/9 11:22） 	380Ring カッター起動前（停止） 土圧分布（03/21 8:40） 	2766Ring 掘進前（停止時）
カッター起動時	354Ring カッター起動時 土圧分布（03/09 11:24） 	380Ring カッター起動時 土圧分布（03/21 8:47） 	2766Ring カッター回転不能解除時
掘進中	354Ring 掘進中（st800mm） 土圧分布（03/09 14:34） 	380Ring 掘進中（st800mm） 土圧分布（03/21 9:26） 	2766Ring 掘進中（st800mm）











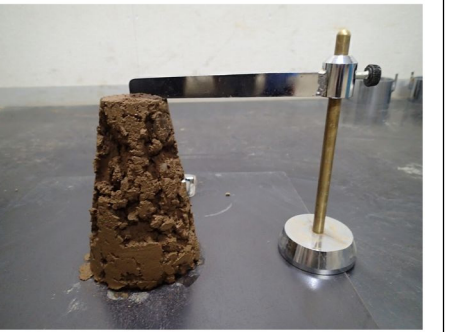

● 土圧計（近似線算出に使用）
 ● 故障のため近似線算出に不使用
 ● 内周土圧計（アジテーターの影響を受けるため近似線算出に不使用）

※掘進停止中は上限管理値を設定していない

(3) 手触、目視、ミニスランプ試験、粒度分布

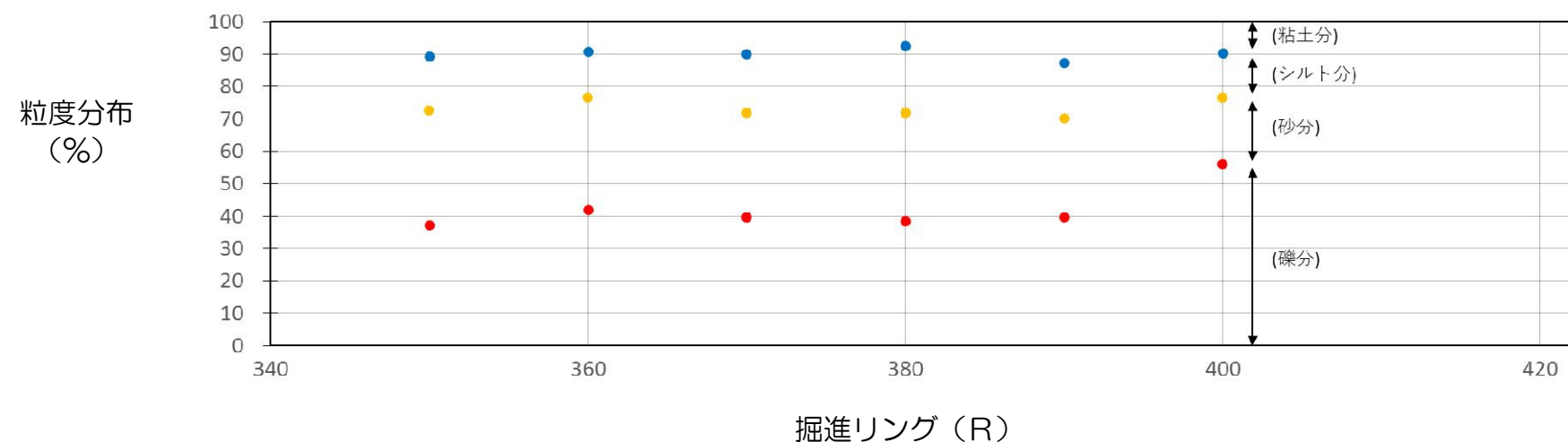
シールド施工熟練者によりリアルタイムでベルトコンベア上の掘削土の性状を目視するとともに、2回/日の頻度で掘削土を採取し、手触、目視、ミニスランプ試験により排土性状の変化を確認した。当該区間において排土性状の変化は確認されなかった。

20リングに1回の頻度を基本として掘削土の粒度分布試験を実施した。400Rで礫分の増加が見られるが、いずれのリングにおいても細粒分が多く含まれていることを確認した。また、既往ボーリングデータと比較し、細粒分がやや多い傾向であることを確認した。

350R	360R	370R	380R	390R	400R
手触・目視	手触・目視	手触・目視	手触・目視	手触・目視	手触・目視
					
ミニスランプ:0.0cm	ミニスランプ:0.5cm	ミニスランプ:0.5cm	ミニスランプ:0.0cm	ミニスランプ:0.5cm	ミニスランプ:0.5cm
					
<ul style="list-style-type: none"> ・砂礫土であるが、細粒分が多く含まれることが確認された ・直近で採取した土砂の傾向と大きな変化なし 	<ul style="list-style-type: none"> ・砂礫土であるが、細粒分が多く含まれることが確認された ・直近で採取した土砂の傾向と大きな変化なし 	<ul style="list-style-type: none"> ・砂礫土であるが、細粒分が多く含まれることが確認された ・直近で採取した土砂の傾向と大きな変化なし 	<ul style="list-style-type: none"> ・砂礫土であるが、細粒分が多く含まれることが確認された ・直近で採取した土砂の傾向と大きな変化なし 	<ul style="list-style-type: none"> ・砂礫土であるが、細粒分が多く含まれることが確認された ・直近で採取した土砂の傾向と大きな変化なし 	<ul style="list-style-type: none"> ・砂礫土であるが、細粒分が多く含まれることが確認された ・直近で採取した土砂の傾向と大きな変化なし

■ 粒度分布試験結果

(上表の掘削土は、排土時に高分子材を添加しているもの。)



2.3 排土量管理について

2.3.1 第23回東京外環トンネル施工等検討委員会で確認された再発防止対策

(1) 排土管理の内容について

従来は、地盤条件により地山単位体積重量が変化していくことを踏まえ、前20リング平均との比較により掘削土重量の傾向管理を行ってきたが、掘削土重量が徐々に増加していく場合などにおいて、過剰な取込の兆候をより早く把握するため、今後は、ボーリングデータ等から推定した地山単位体積重量を用いて1リング毎に掘削土体積を算出し、実績値と理論値とを比較する絶対値管理も併せて行っていく。

○ベルトスケールで排土重量を計測し、手前20リング平均との比較により以下の排土重量を管理

- ・添加材が全量回収されることを前提とし添加材の全重量を控除した地山重量
- ・添加材の重量を控除しない排土全重量

○これまでの管理値より厳しい±7.5%を1次管理値として設定

- ・閉塞が生じたリングの手前20リングでは、掘削土量が+7.5%を超過しているリングがあることを確認
- ・1次管理値を±7.5%として設定し、閉塞及び閉塞を契機とする取り込み過剰の兆候をいち早く把握

○排土率(地山掘削土量と設計地山掘削土量の比率)による、理論値と実績値を比較する新たな指標を追加

- ・従来の排土重量の管理では手前20リング平均との比較にて取り込み過剰の兆候を把握するが、排土重量が徐々に増加していく場合などにおいては、さらにリング毎の排土率を確認することで、早期に兆候を把握できる可能性がある(排土率は、添加材が全量回収されることを前提とし添加材の全重量を控除した地山重量を用いて算出)

○地山単位体積重量の変化を確認

- ・掘削土体積や排土率は、地山単位体積重量をボーリングデータを用いて算出するが、10リングかつ1日1回排土を突き固めて計測した排土単位体積重量により、地山単位体積重量の変化を確認

○添加材未回収分を考慮した排土率についても確認

- ・添加材の回収状況について、チャンバー内土圧勾配より推定したチャンバー内土砂単位体積重量を用いて確認し、過剰な土砂取込みの兆候を確認

管理項目	計測内容	管理手法	単位	1次管理値	2次管理値	備考
掘削土重量 (掘削土体積)	掘削土の重量 (掘削土の体積) (確認頻度 リアルタイム監視 毎リング管理)	(1)添加材の全重量を控除した地山掘削重量(体積) ・ベルトスケールで計測した排土重量から添加材が全量回収されることを前提とし添加材の全重量を控除した地山重量で掘削土量の管理を行う。 ・前20リング平均の掘削土量と比較して、大きなバラツキがないことと管理値内で掘進できていることを確認する。 (2)添加材の重量を控除しない排土全重量(体積) ・ベルトスケールで計測した添加材の重量を控除しない排土全重量で掘削土量の管理を行う。 ・前20リング平均の掘削土量と比較して、大きなバラツキがないことと管理値内で掘進できていることを確認する。	t (m ³)	前20リング平均 ±7.5%以内	前20リング平均 ±15%以内	・監視モニターでリアルタイムに監視 ・ボーリングデータおよび掘削土の単位体積重量をもとに換算した掘削土体積も管理 (掘削土の単位体積重量を用いてボーリングデータの単位体積重量を補正)
排土率	地山掘削土量と設計地山掘削土量の比率 (確認頻度 リアルタイム監視 毎リング管理)	(1)ベルトスケールで計測した排土重量から添加材が全量回収されることを前提とし添加材の全重量を控除した地山重量で排土率の管理を行う。	%	設計地山掘削土量の±7.5%以内	設計地山掘削土量の±15%以内	・ボーリングデータおよび掘削土の単位体積重量をもとに換算した掘削土体積も管理 ・添加材が地山へ浸透している場合は、排土率が過少に評価される
		(2)チャンバー内土砂の理論単位体積重量とチャンバー内圧力勾配から推定される単位体積重量とを比較することにより添加材の浸透量を評価し、それを考慮した排土率の管理を行う。	%	設計地山掘削土量の±7.5%以内		・ボーリングデータおよび掘削土の単位体積重量をもとに換算した掘削土体積も管理 ・添加材の浸透量を評価し、それを考慮した掘削土体積も管理 ・自立性が高い粘性土等では、チャンバー内圧力勾配から推定される単位体積重量が適応しない場合がある

* 赤字は陥没事故前に比べ、令和3年3月の有識者委員会報告書で追加された内容及び変更項目

* 青字は令和3年3月の有識者委員会報告書に比べ、追加した内容及び変更項目

(2) 掘削土量の管理値を超過した際の対応

排土量管理において、掘削土量の管理値を超過した際の対応を以下に示す。

掘削土量の管理値を超過した際の対応

① 掘削土重量、掘削土体積、排土率(添加材の全重量を控除)

現象	対 応	
下限値超過	1次管理値	・マシン負荷の確認・調整
	2次管理値	・掘進を一時停止し、原因究明・対策検討
上限値超過	1次管理値	・地表面変状の確認・地上の巡回頻度を増加 ・次リングの掘削土量を注視、必要に応じて、チャンバー内圧力の再設定を行う ・掘削土砂性状を確認、添加材注入量や添加材の種類を調整 ・裏込め注入量・注入圧を注視、必要に応じて坑内から追加注入 ・改善が見られない場合、掘進を一時停止し、原因究明
	2次管理値	・掘進を一時停止し、原因究明・対策検討(地上からの充填注入の検討等)

※添加材が地山へ浸透している場合は、排土率が過少に評価されてしまうことを踏まえ、排土率が管理値を超過した場合は、掘削土重量の変動傾向、チャンバー内圧力勾配から求められる単位体積重量と排土を突き固めて得られる単位体積重量の変化の整合性、チャンバー内圧力勾配の直線性やカッタートルク、排土性状の変化から塑性流動性などの施工データを確認し、これにより取り込み過多または過少の兆候を把握し掘削の継続を判断する。

② 排土率(添加材未回収分を考慮)

現象	対 応	
下限値超過	管理値	・粘性土層が存在する区間では、土砂の自立性などが影響していないか確認。 ・掘削土重量の減少傾向、チャンバー内圧力勾配から求められる単位体積重量と排土を突き固めて得られる単位体積重量の変化の整合性、チャンバー内圧力勾配の直線性やカッタートルク、排土性状の変化から塑性流動性などの施工データを確認し、これにより取り込み過少の兆候と判断される場合は、マシン負荷の確認・調整を行う。
上限値超過	管理値	・粘性土層が存在する区間では、土砂の自立性などが影響していないか確認。 ・掘削土重量の増加傾向、チャンバー内圧力勾配から求められる単位体積重量と排土を突き固めて得られる単位体積重量の変化の整合性、チャンバー内圧力勾配の直線性やカッタートルク、排土性状の変化から塑性流動性などの施工データを確認し、これにより取り込み過多の兆候と判断される場合は、①の掘削土重量の管理値超過対応(地表面変状の確認・地上の巡回頻度を増加、次リングの掘削土量を注視、必要に応じて、チャンバー内圧力の再設定を行う、掘削土砂性状を確認、添加材注入量や添加材の種類を調整、裏込め注入量・注入圧を注視、必要に応じて坑内から追加注入、改善が見られない場合、掘進を一時停止し、原因究明)を実施。

※この他、添加材浸透量を加味した取り込み量を1リング毎に確認し、過剰な土砂取込みの兆候を確認した場合は、裏込め注入量・注入圧を注視し必要に応じて追加注入を行う等、上記管理値によらず対応する。

*赤字は陥没事故前に比べ、令和3年3月の有識者委員会報告書で追加された内容及び変更項目

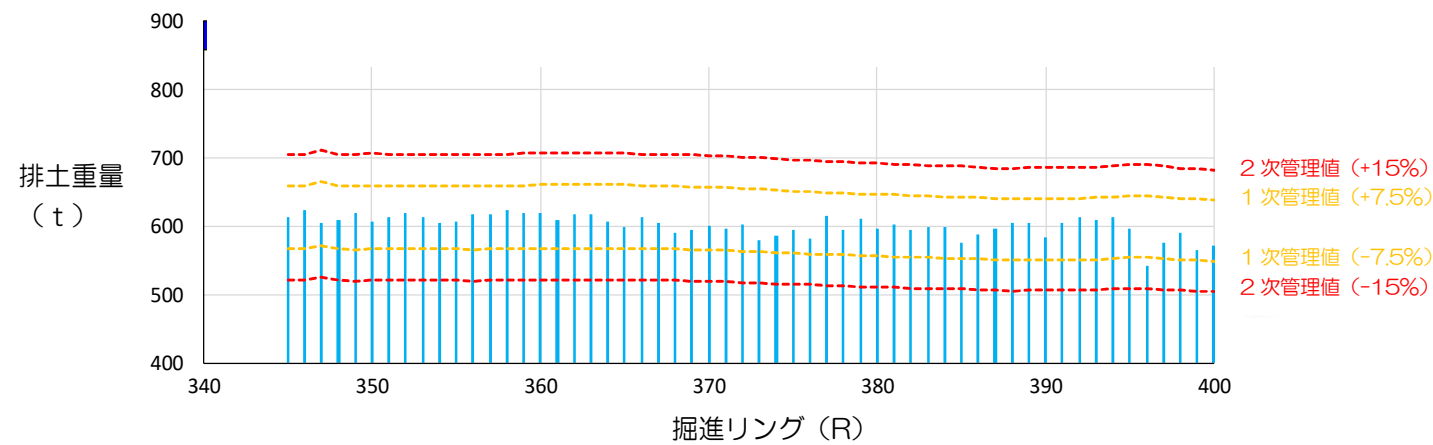
*青字は令和3年3月の有識者委員会報告書に比べ、追加した内容及び変更項目

2.3.2 大泉側本線（南行）シールドトンネル工事での対応状況

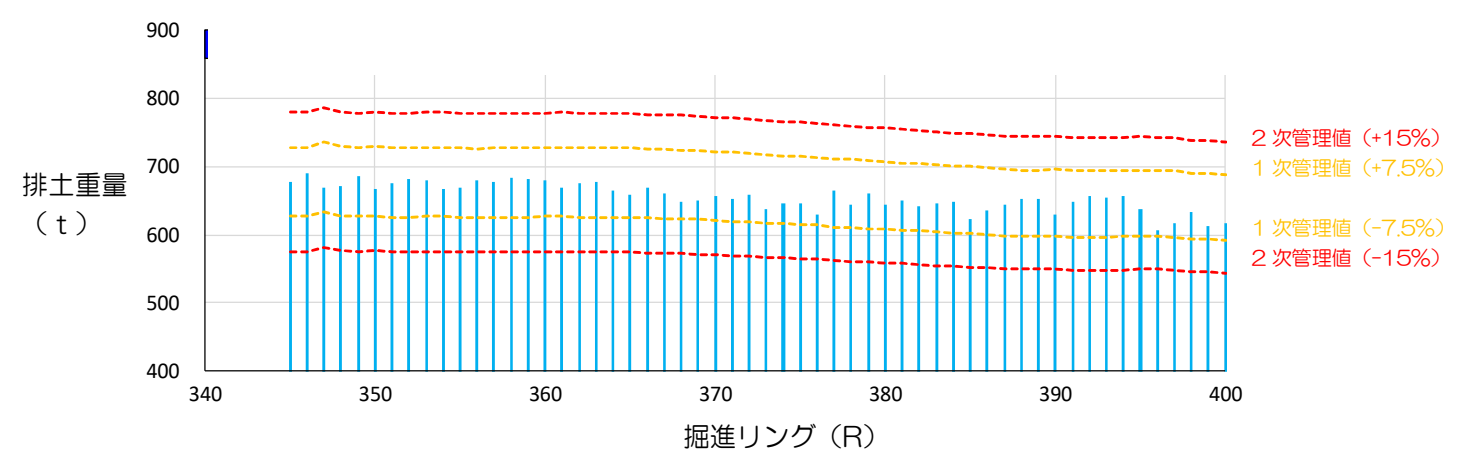
(1) 掘削土重量管理

添加材の全重量を控除した地山掘削土重量、および添加材の重量を控除しない排土全重量について、掘進管理フロー（P25）に基づき、前 20 リング平均の掘削土量と比較して大きなバラつきがなく、管理値内で掘進できていることを確認した。地中壁切削区間の施工データ（396R）において、下限側の 1 次管理値を超過している状況が確認されたが、地山よりも比重の軽い硬質ウレタン製部材が排土に混入することから、排土重量の急激な変化（減少）が生じ、手前 20 リング平均との比較による管理において、管理値を下回る可能性について事前に想定していた。そのため、掘削土重量の減少傾向、チャンバー内圧力勾配から求められる単位体積重量と排土を突き固めて得られる単位体積重量の変化の整合性、チャンバー内圧力勾配の直線性やカッタートルク、排土性状の変化から塑性流動性などの施工データの確認を行い、異常の兆候が見られないことを確認している（P19 を参照）。

① ベルトスケール排土重量（溶液控除）



② ベルトスケール排土重量（全重量）

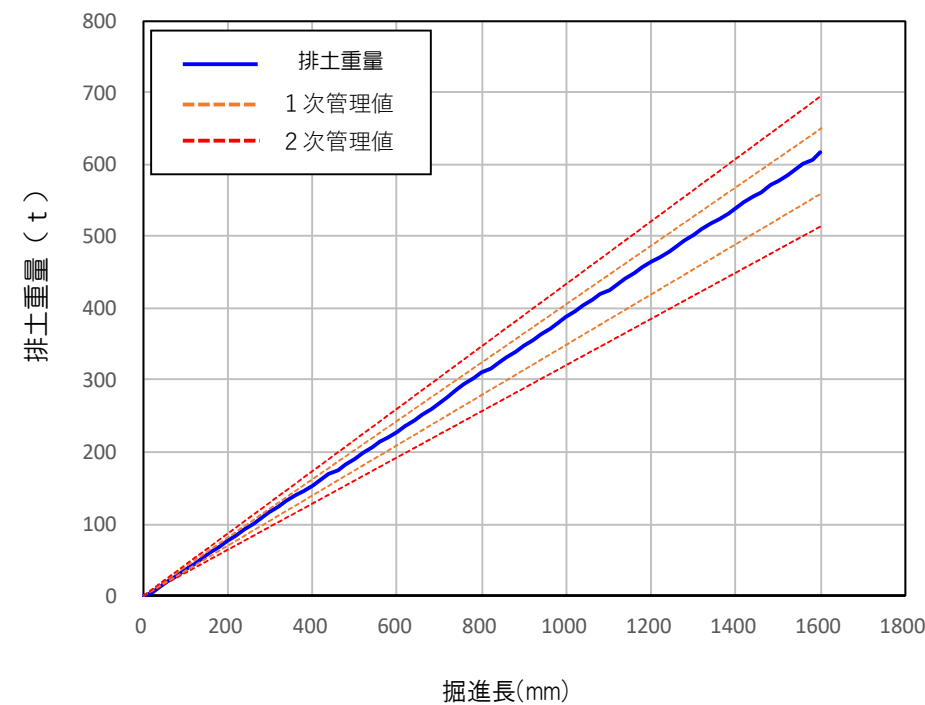


■排土重量のリアルタイムの監視状況

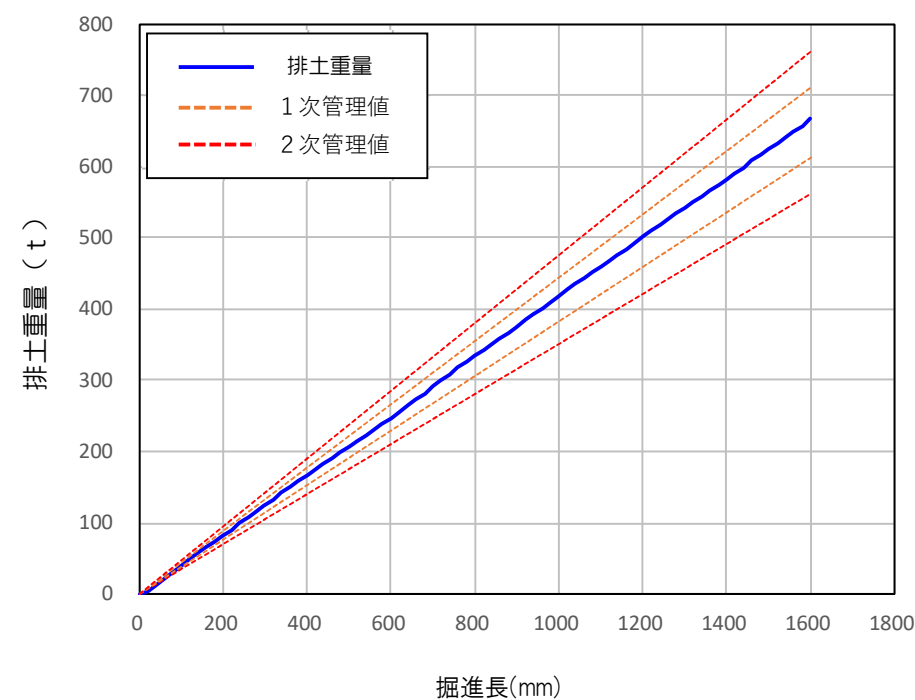
ベルトスケールで計測した排土重量を掘進管理システムの監視モニターでリアルタイムに監視している。今回の掘進範囲において前リングとのバラつきが最も大きかった 377R のリアルタイム監視例を示す。

377 Ring 掘削土量モニタリング

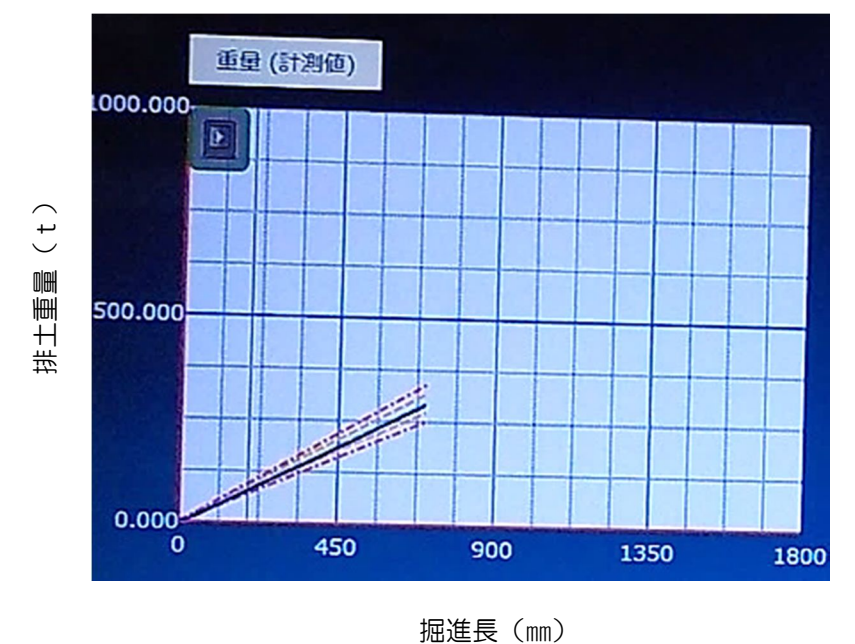
ベルトスケール排土重量（溶液控除）（t）



ベルトスケール排土重量（全重量）（t）



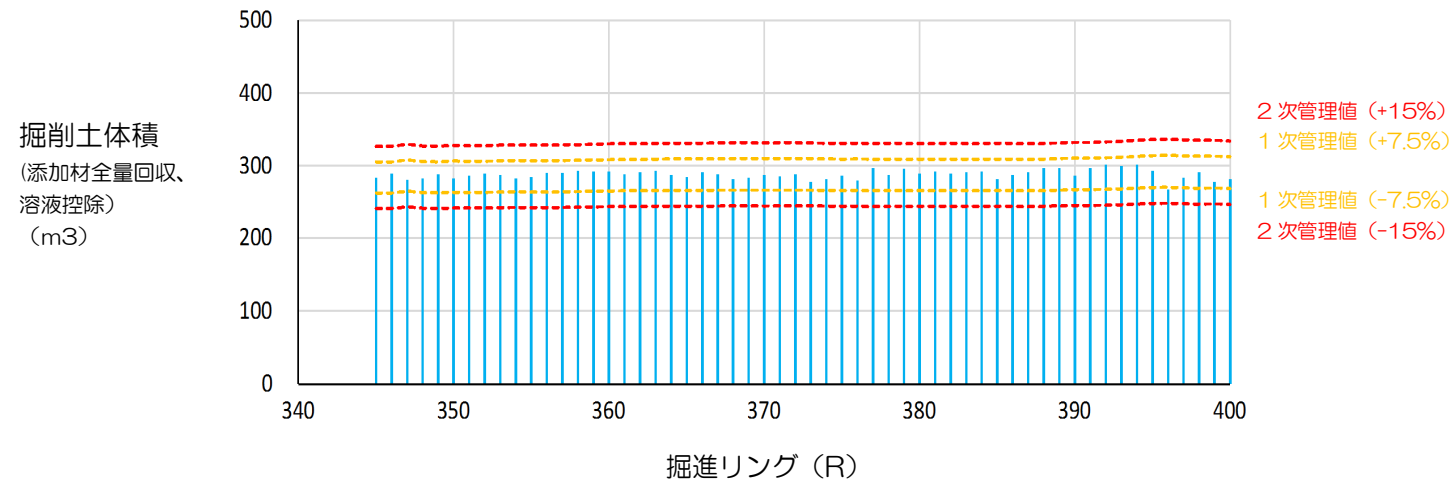
排土重量リアルタイム監視状況
（364R、掘進長 700mm 付近）



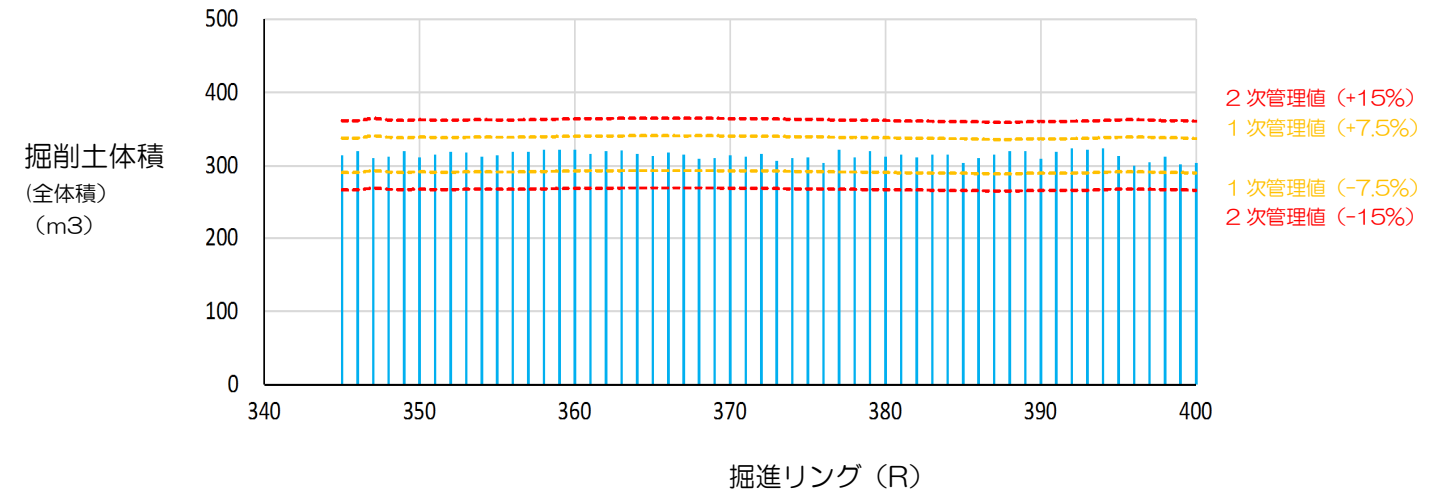
(2) 掘削土体積管理

添加材全量を控除した地山掘削土体積、および添加材全量を控除しない掘削土体積について、掘進管理フロー（P25）に基づき、前 20 リング平均の掘削土量と比較して大きなバラつきがなく、管理値内で掘進できていることを確認した。地中壁切削区間の施工データ（396R）において、下限側の 1 次管理値を超過している状況が確認されたが、掘削土重量と同様の理由で掘進継続の判断を行った。なお、掘削土体積はボーリングデータより得られた単位体積重量より算出している。

① 掘削土体積（添加材全量回収、溶液控除）



② 掘削土体積（全体積）

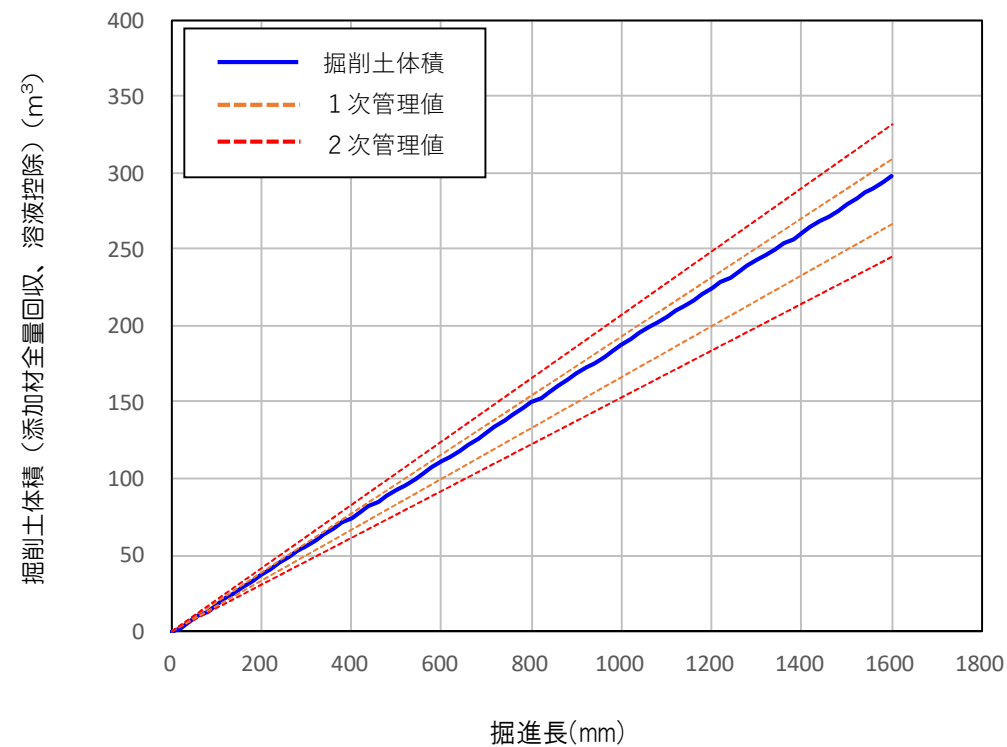


■ 掘削土体積のリアルタイムの監視状況

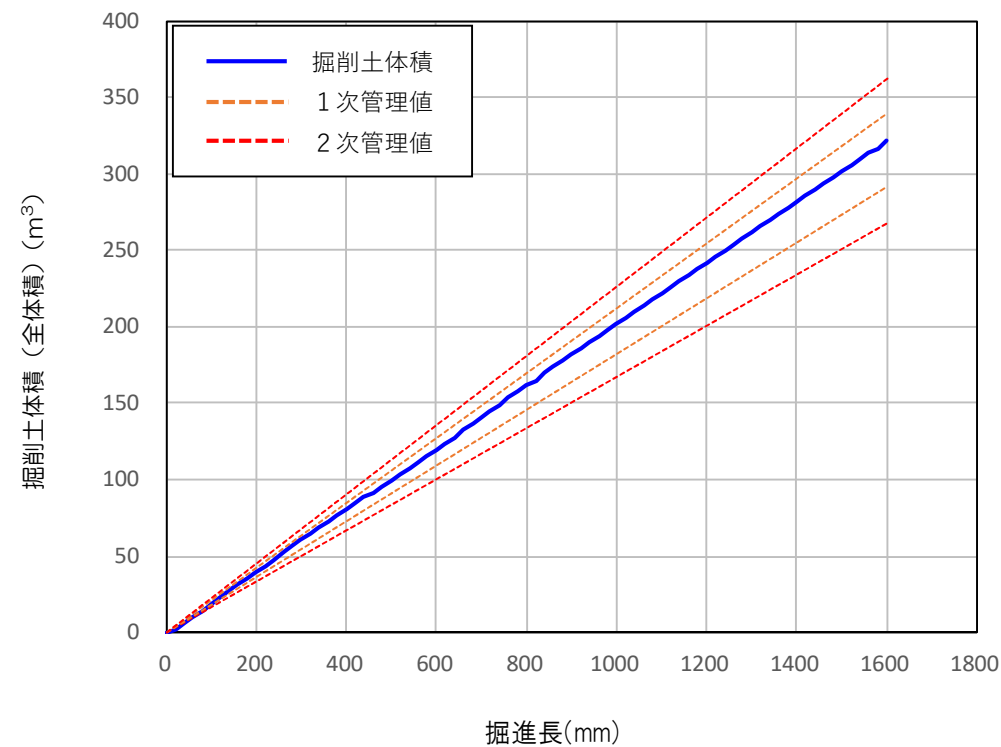
ベルトスケールで計測した排土重量から単位体積重量を用いて算出した掘削土体積を掘進管理システムの監視モニターでリアルタイムに監視している。掘削土重量と同様、今回の掘進範囲において前リングとのバラつきが最も大きかった 377R のリアルタイム監視例を示す。

377 Ring 掘削土量モニタリング

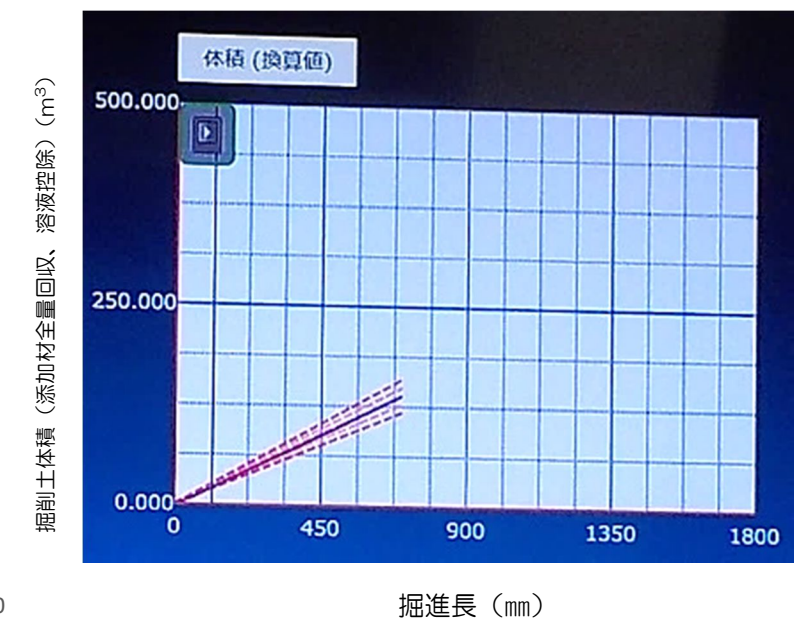
掘削土体積（添加材全量回収、溶液控除）(m³)



掘削土体積（全体積）(m³)



掘削土体積リアルタイム監視状況
(364R、掘進長 700mm 付近)



(3) 排土率管理

掘進管理フロー（P25）に基づき、ベルトスケールで計測した排土重量から添加材が全量回収されることを前提とし添加材の全重量を控除した地山重量から算出した排土率を確認した。また、チャンバー内土砂の理論単位体積重量とチャンバー内圧力勾配から推定される単位体積重量とを比較することにより添加材の地山への浸透量を評価し、それを考慮した排土率を確認した。

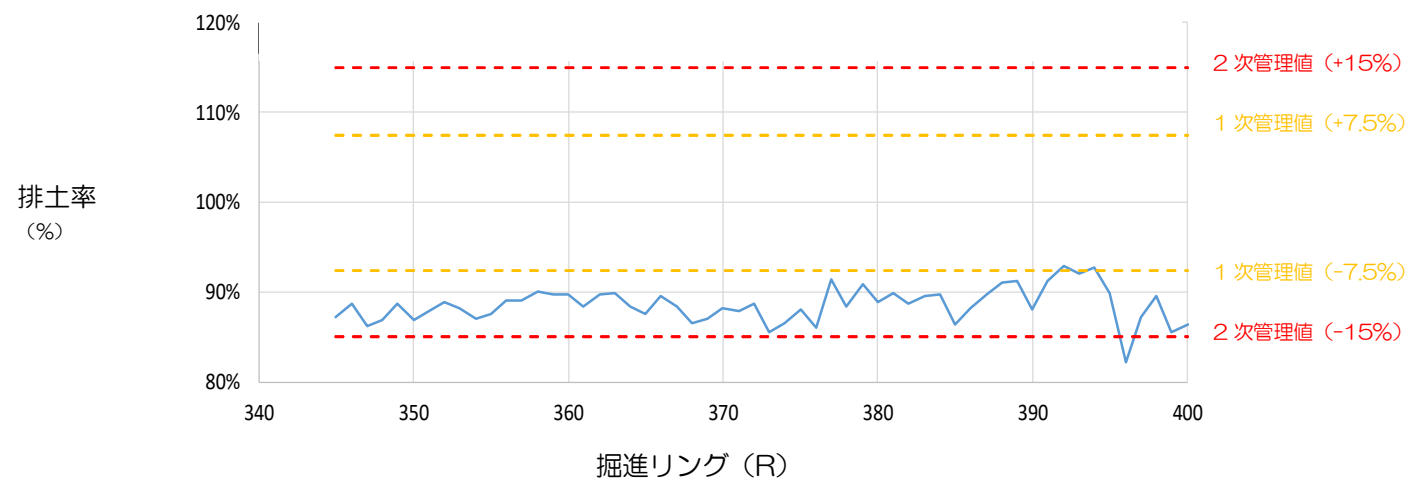
排土率は、掘進開始時より下限側の1次管理値を超過している状況が確認されたことから、掘進管理フロー（P25）に基づき、

- ・リアルタイムでマシン負荷（カッタートルク、掘進推力）に異常がない
- ・掘削土重量の変動傾向は減少傾向が見られるが、チャンバー内圧力勾配から求められる単位体積重量、排土を突き固めて得られる単位体積重量の変化の傾向と整合している
- ・チャンバー内圧力勾配の直線性やカッタートルク、排土性状の変化から塑性流動性などの施工データを確認した結果、塑性流動性の悪化の傾向は確認されていない（P11～14を参照）
- ・カッタートルクや掘進推力は安定しており、マシン負荷に異常の傾向は確認されない（P11・P22を参照）

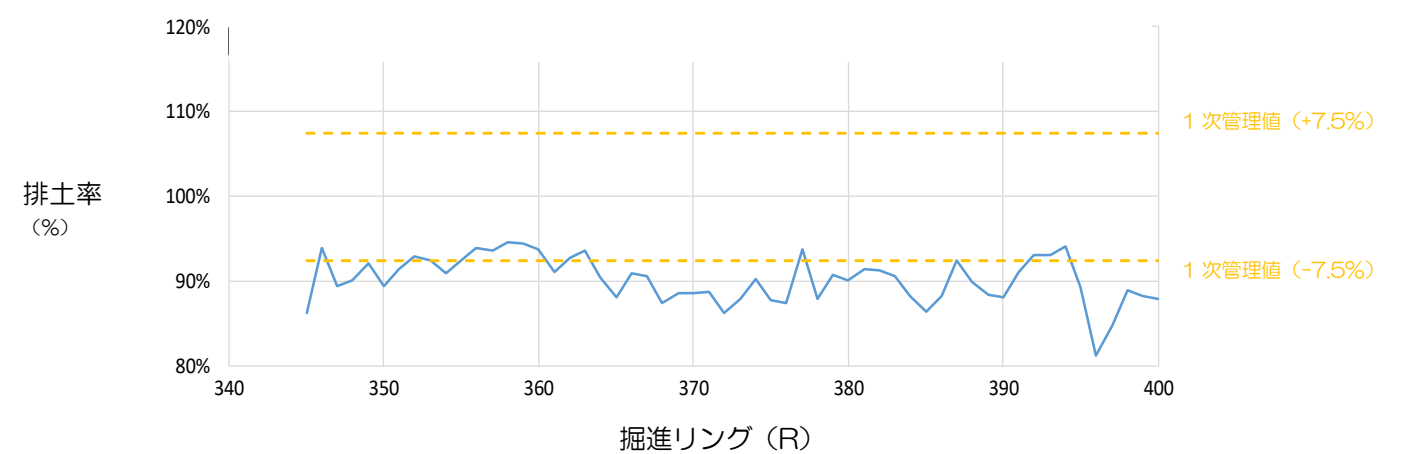
ことから、取り込み過少の兆候は確認されておらず、リング毎に掘進継続の判断を行っている。また、地中壁切削区間の施工データ（396R）において、下限側の2次管理値を超過している状況が確認され、掘進を一時停止したが、掘削土重量（体積）と同様、地山よりも比重の軽い硬質ウレタン製部材が排土に混入していることなどが原因であることを事前に把握しており、上記の掘削土の取込み過少の兆候も確認されていないため、次のリングの掘進継続の判断を行った。

なお、排土率が低くなる傾向については、砂・礫分が比較的多い地盤において、添加材を注入し、掘進する際の圧力により、地山に存在する間隙水が掘削断面の外に押し出されたこと等が要因であると推察される。今後、排土を突き固めて得られる単位体積重量や排土の粒度分布試験による地層の変化のデータ等を確認し、必要に応じて地山単位体積重量の補正を行い、排土率の精度の向上を図っていく。

① 排土率（添加材全量回収）

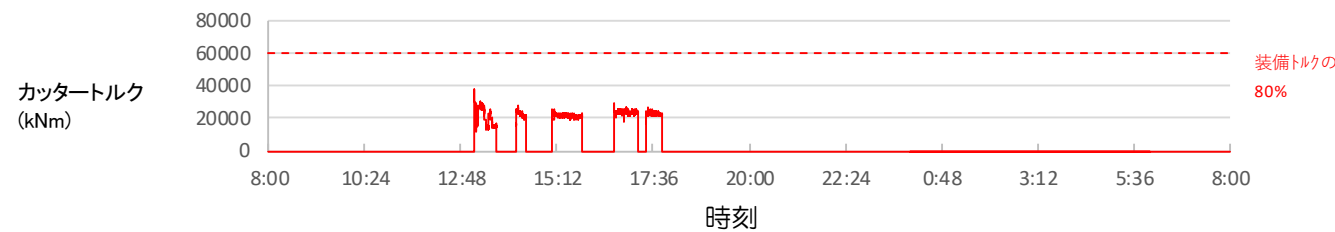


② 排土率（浸透量考慮、溶液控除）



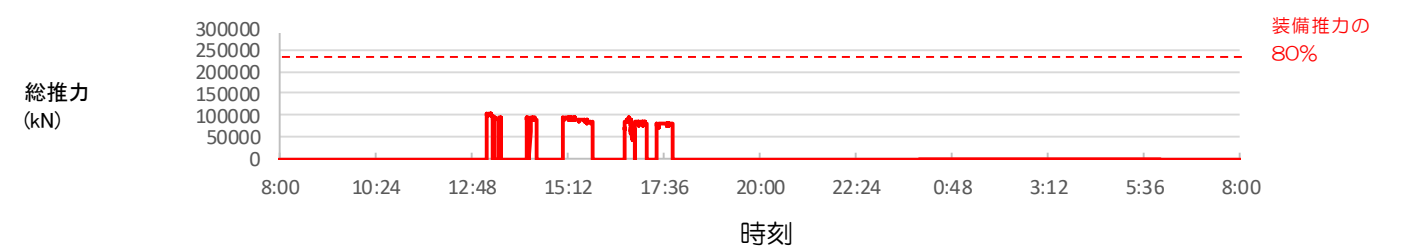
カッタートルク

時系列データ（346R）

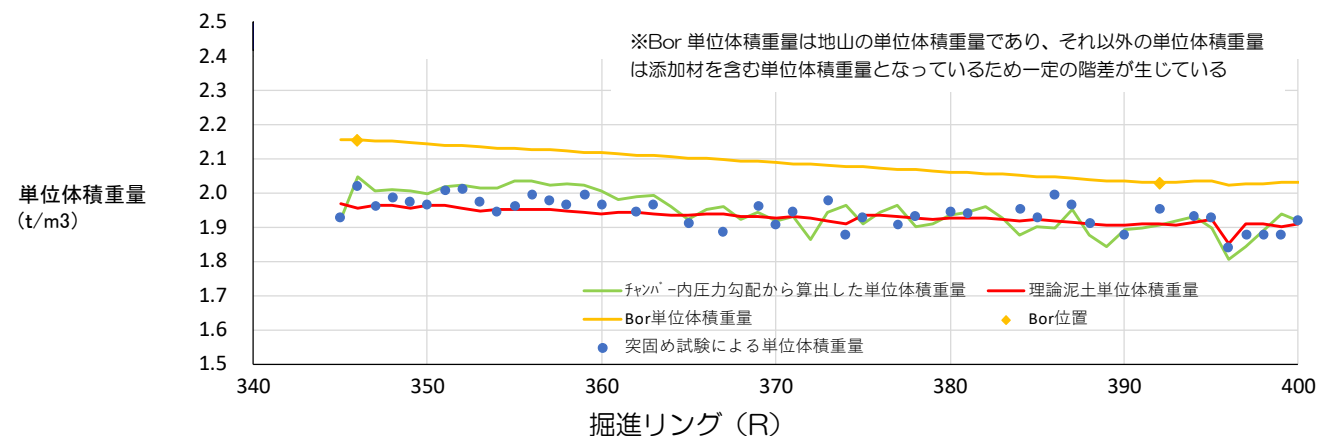


掘進推力

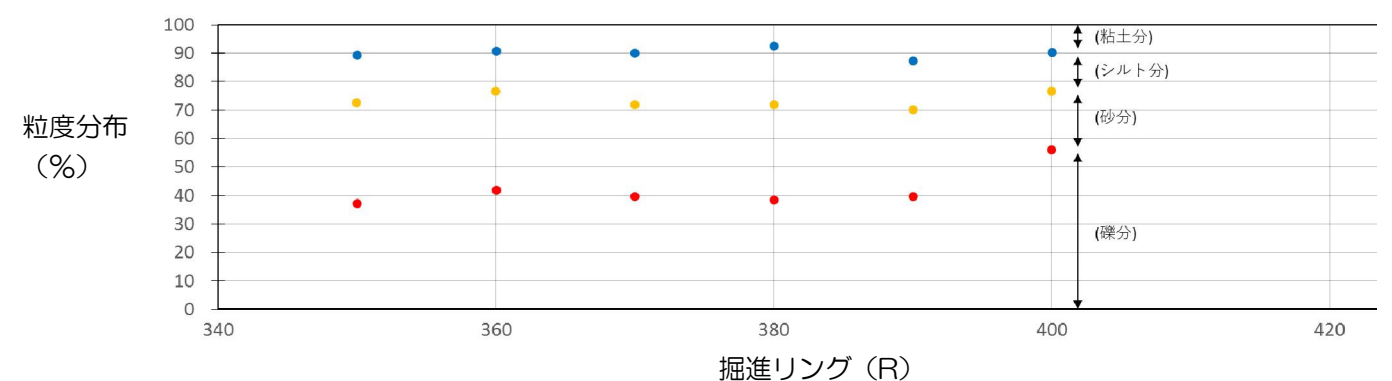
時系列データ（346R）



チャンバー内圧力勾配から推定した単位体積重量



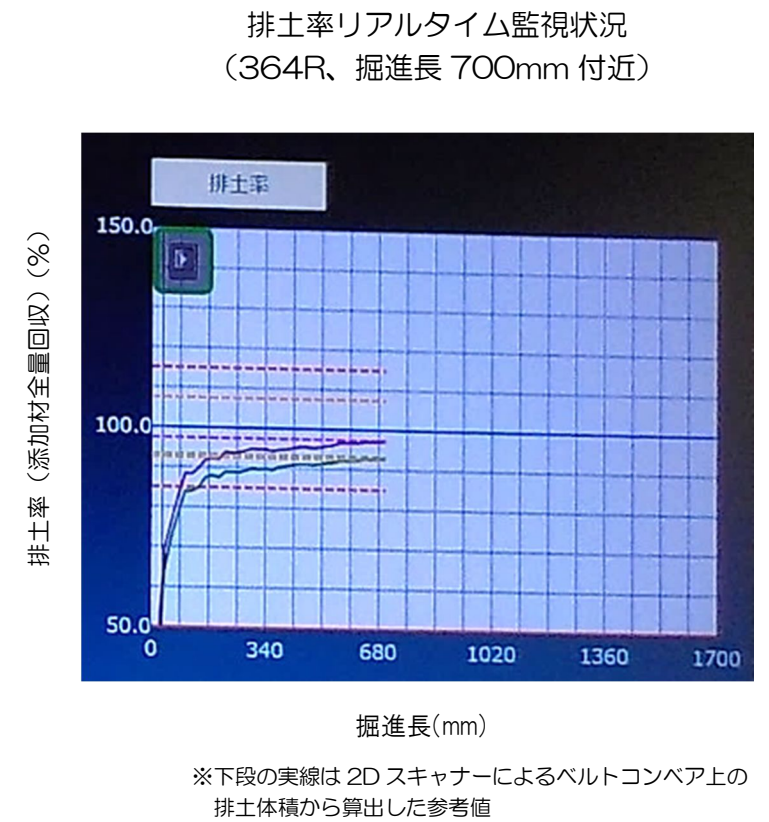
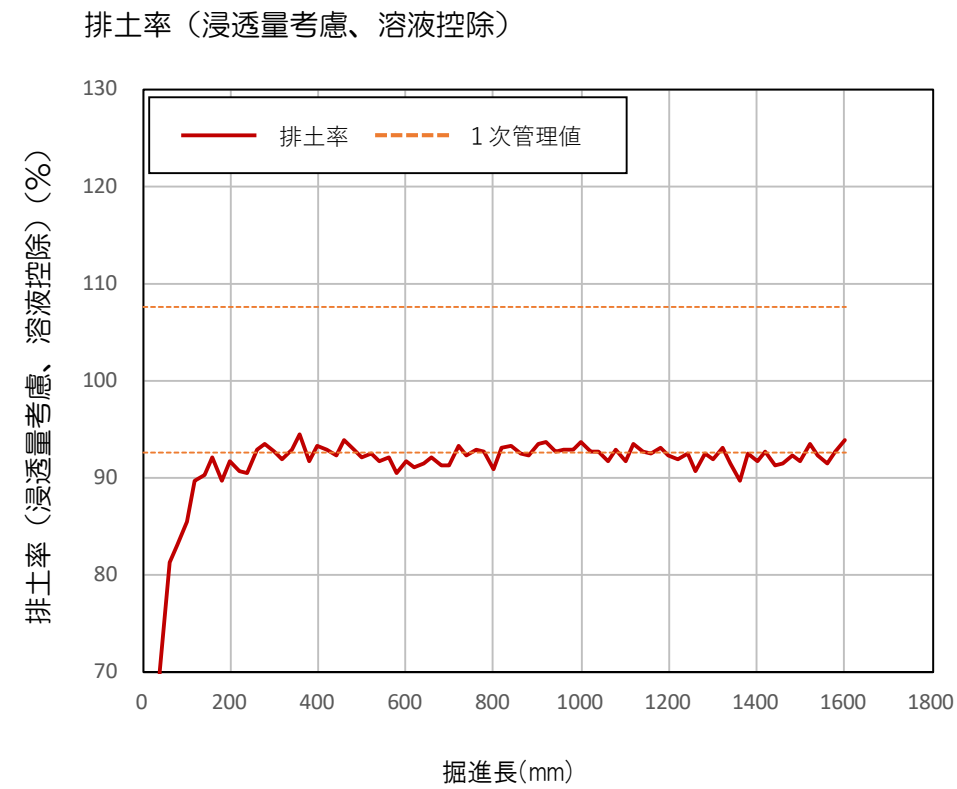
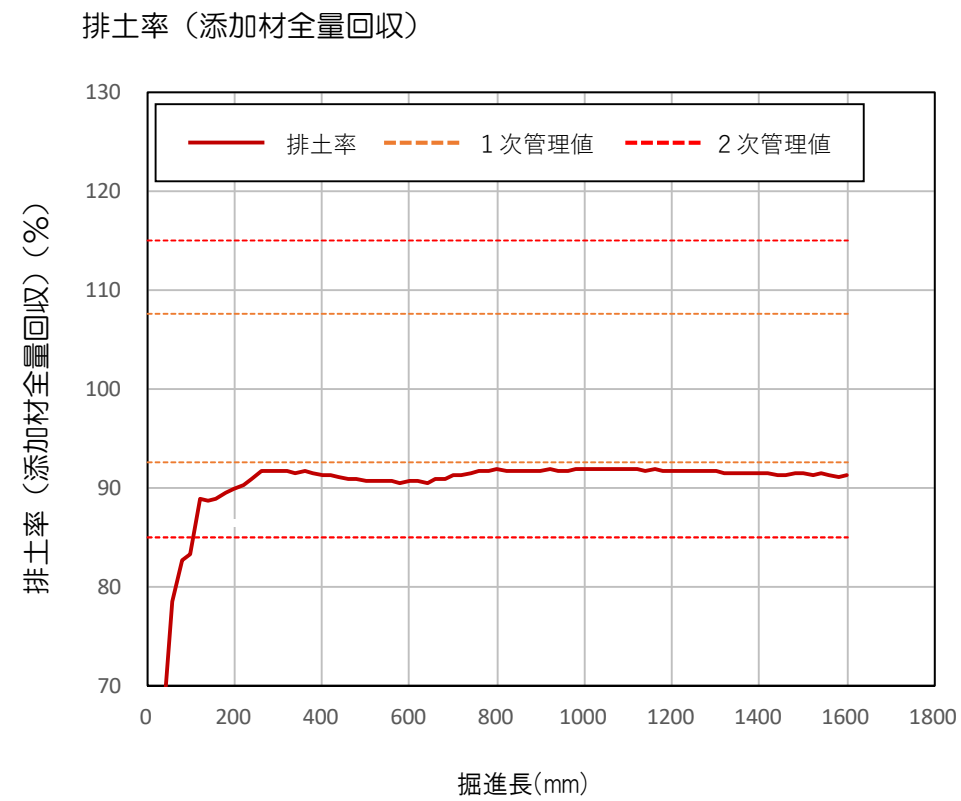
排土の粒度分布試験結果



■排土率のリアルタイムの監視状況

「添加材を全量回収されることを想定した排土率」と「添加材の浸透量を考慮した排土率」それぞれについて、掘進管理システムの監視モニターでリアルタイムに監視している。掘削土重量（体積）と同様、今回の掘進範囲において前リングとのバラつきが最も大きかった377Rを例にリアルタイム監視例を示す。

377 Ring 掘削土量モニタリング



※リアルタイム排土率は掘進開始時の初期値を0で設定し、掘進開始時は意図的に排土開始のタイミングを遅らせて所定の切羽圧力を保持している。
また、排土重量を計測するベルトスケールの位置がスクリーコンベアの後ろになるため初期の計測値が遅れて記録される。

2.3.3 掘進管理項目および掘進管理基準に関する施工データ

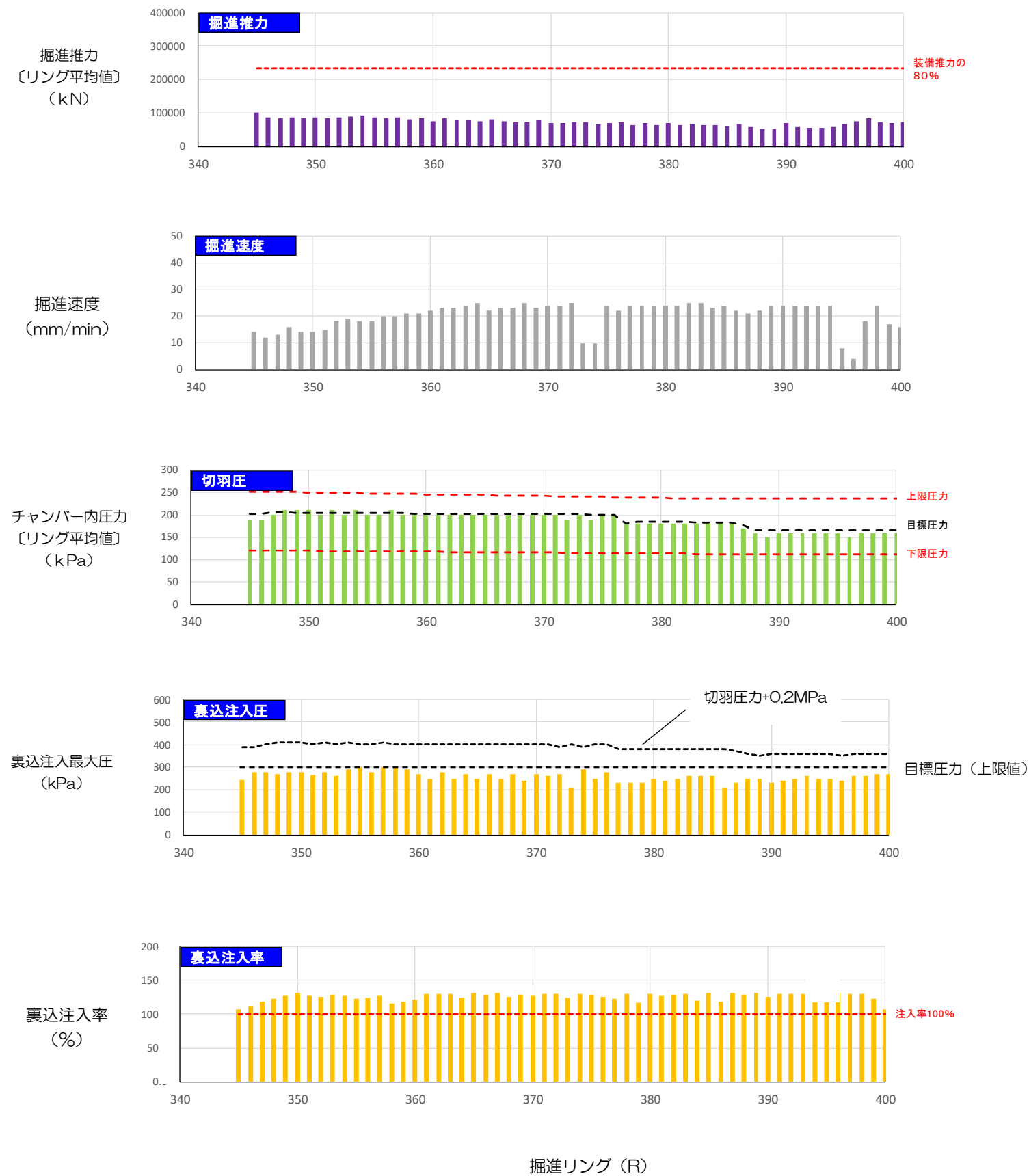
■第23回東京外環トンネル施工等検討委員会で確認した再発防止対策

赤枠に示す管理項目の施工データを次ページに示す。

管理項目		監視・測定項目等 (旧) これまでの管理	(新) 今後の管理
カッター	カッタートルク	管理値: 装備トルクの 80%以下	変更なし
		管理方法: モニターでリアルタイムで管理	※カッターヘッド回転不能(閉塞)時は、掘進を一時停止し、原因究明・対策検討を十分に実施
			管理方法: モニターでリアルタイムで管理
シールドジャッキ	推力	推力: 装備推力の 80%以下 管理方法: モニターでリアルタイムで管理	変更なし
掘進速度	掘進速度	標準掘進速度: 40 mm/min 管理方法: モニターでリアルタイムで管理	変更なし
マシン方向制御	方位	一次管理値: 設計値±0.2°	変更なし
		二次管理値: 設計値±0.4°	
	ピッチング	一次管理値: 設計値±0.2°	変更なし
		二次管理値: 設計値±0.4°	
ローリング	一次管理値: ±0.2°	変更なし	
	二次管理値: ±0.35°		
位置計測	一次管理値: 蛇行量 30 mm	変更なし	
	二次管理値: 蛇行量 40 mm		
	管理値: 蛇行量 50 mm		
土圧	チャンバー内土圧	管理土圧: 主働土圧+水圧+予備圧(0.02MPa)	管理土圧: 主働土圧+水圧+予備圧(0.02MPa)
		管理方法: 切羽圧力計計測結果をリアルタイムで管理	チャンバー内圧力値をリアルタイムにて管理(チャンバー内圧力分布から圧力勾配の傾きと直線性を確認、必要に応じて改善を実施)
排土管理	掘削土量	1次管理値: 前 20R 平均掘削土量±10%以内	1次管理値: 前 20R 平均掘削土量±7.5%以内
		2次管理値: 前 20R 平均掘削土量±20%以内	2次管理値: 前 20R 平均掘削土量±15%以内
		管理方法: ベルトスケールの計量結果をリアルタイムで管理	管理方法: ベルトスケールの計量結果をリアルタイムで管理
	排土率	-	1次管理値: 設計掘削土量の排土率±7.5%以内
-		2次管理値: 設計掘削土量の排土率±15%以内	
-		添加材の浸透を考慮した排土率も確認 管理値: ±7.5%以内	
チャンバー内土砂性状 (塑性流動性確認)	土砂性状	手触、目視により、土砂性状や地山土層の変化を確認	手触、目視により、土砂性状や地山土層の変化を確認
		-	ミニスランプ試験値: 事前配合試験結果および直近の掘削土の性状と比較
		粒度分布試験を実施し、掘削地山の土層を把握(確認頻度: 1回/週を基本)	粒度分布試験を実施し、掘削地山の土層を把握(確認頻度: 20 リングに 1 回を基本とし、塑性流動性のモニタリングに応じて適宜実施)
裏込注入工	注入圧	注入圧: 切羽圧+0.2Mpa	変更なし
	注入量	注入率: 100%以上	
		管理方法: モニターでリアルタイムで管理。基本的に設定注入圧以上、100%以上の注入率、地山によって注入量は変化する	
地表面変位	掘進時、掘進停止中、事後	管理値: 地表面傾斜角 1.0/1000rad 以下	変更なし

掘進管理フロー（P25）に基づき、掘進推力、チャンバー内圧力について、管理基準値内で掘進できていることを確認した。

裏込注入圧については、小土被り区間であることから、裏込め材の地上部への逸泥を防止するため初期掘進の実績から目標圧力（上限値）を設定し、注入量（裏込注入率）を確認しながら慎重に施工した。

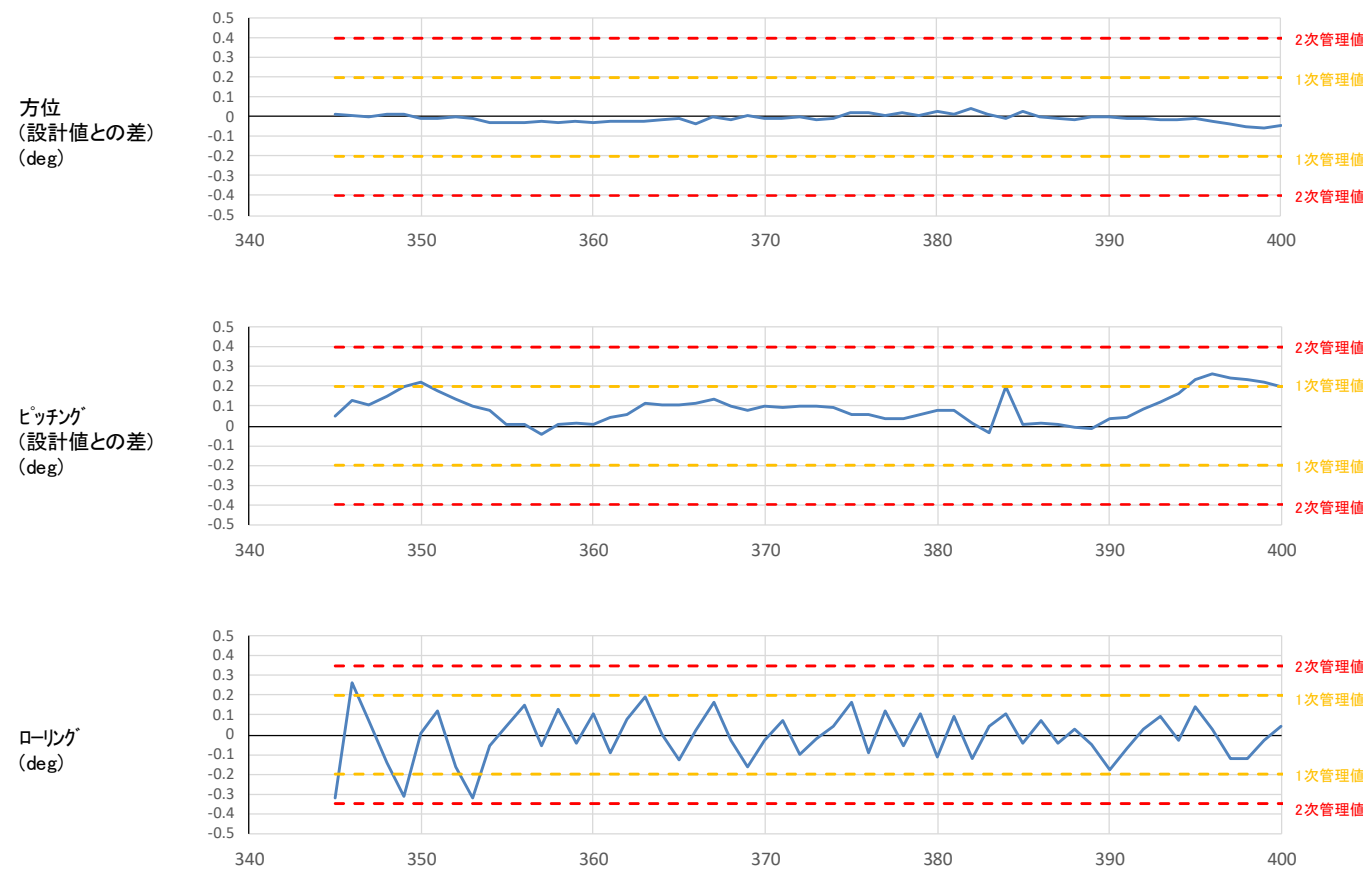


マシン方向制御の掘進管理項目（方位）及びセグメント位置について管理値内で掘進できていることを確認した。

ピッチングについては、一般的にシールドマシンは前方に機材が集中して配置され、重心が前方に偏っているため掘進時に下方へ蛇行しやすく、当該区間はシールド掘進時の深度が浅く硬質地盤ではないため、セグメント組立位置での下方への蛇行が懸念されることから、ピッチング角度を上向き側に目標値を設定しマシン姿勢制御を行っている。ピッチングの1次管理値を超過している箇所があるが、シールドマシンのテールとセグメントが競らないことを確認し、マシンの姿勢を制御しながら掘進を継続した。

ローリングについては、1次管理値を超過した際に2次管理値を超過しないようカッター回転を逆回転することで姿勢を制御し掘進を継続している。

■マシン方向制御



■セグメント位置（蛇行量）

