

第26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
＜東名 JCTA・H ランプシールドトンネル＞

令和4年12月1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」や、「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」を受け、事業者が東名JCT A・Hランプシールドトンネル工事の実施に際し、再発防止対策の具体化や、地域の安全・安心を高める取り組みについて検討を実施してきたところである。

また「第25回東京外環トンネル施工等検討委員会」にて、大泉側本線シールドトンネル工事や中央JCT北側ランプシールドトンネル工事のこれまでの掘進状況において、再発防止対策が有効に機能していたことを確認されたところである。

今回、東名JCT 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」をまとめたので、以下のとおり報告する。

目 次

1. 工事の状況	1
1. 1. 検討(工事)の経緯	1
1. 2. 工事の状況	2
2. 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	3～ 5
2. 1. シールド掘進地盤に適した添加材の選定等	6～14
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	15～17
2. 3. 排土量管理について	18～26
2. 4. カッター回転不能(閉塞)時の対応	26
2. 5. 再発防止対策を踏まえた掘進管理	27～32
3. 地域の安全・安心を高める取り組み	33
3. 1. 振動・騒音対策	34～38
3. 2. 地表面変状の確認	39～41
3. 3. 地域住民の方への情報提供	42～44
3. 4. シールドマシン停止に伴う保全措置	44
3. 5. 「トンネル工事の安全・安心確保の取り組み」の見直し	44

1. 工事の状況

1. 1. 検討(工事)の経緯

東名 JCT ランプシールドトンネル工事の検討(工事)の経緯については以下のとおりである。

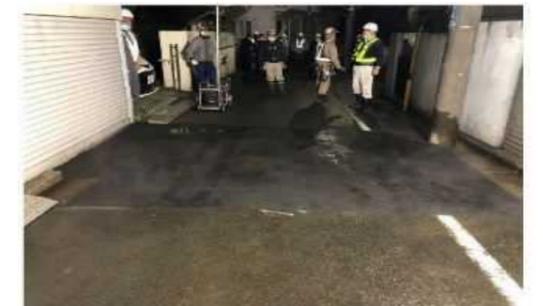
赤字は東名 JCT ランプシールドトンネル工事の経緯

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及び事故を受けた再発防止対策検討の経緯(抜粋)

青字はシールドトンネル施工技術検討会の経緯(抜粋)



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)

■これまでの経緯

2020年(令和2年)

- 8月7、8日 東名 JCTA・H ランプシールドトンネル工事の坑外設備工(土砂ピット等)・シールド機組立などに関する説明会を開催
- 10月18日 地表面の陥没を確認
- 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

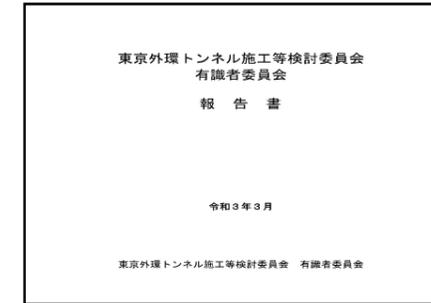
2021年(令和3年)

- 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
- 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

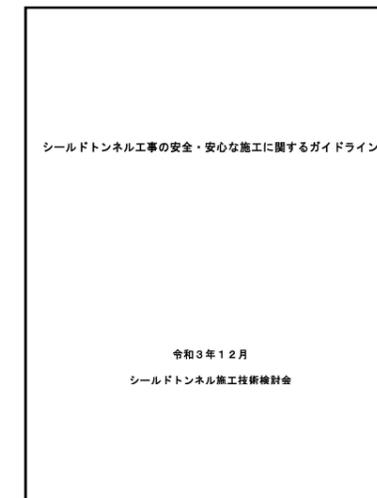
- 12月24日 第23回東京外環トンネル施工等検討委員会 開催
「再発防止対策及び地域の安全・安心を高める取り組み」の内容が妥当であることを確認

2022年(令和4年)

- 6月2日 第24回東京外環トンネル施工等検討委員会 開催
大泉側本線シールドトンネル工事及び中央JCT北側ランプシールドトンネル工事の再発防止対策等が有効に機能していたことを確認
- 10月26日 第25回東京外環トンネル施工等検討委員会 開催
大泉側本線シールドトンネル工事及び中央JCT北側ランプシールドトンネル工事の再発防止対策等が有効に機能していたことを確認



3月19日 第7回有識者委員会
報告書表紙



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)

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、地盤に適した添加剤配合を再確認する。特に、細粒分含有率が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剤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剤注入量や添加剤の種類等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%、±1.5%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

1. 2. 工事の状況

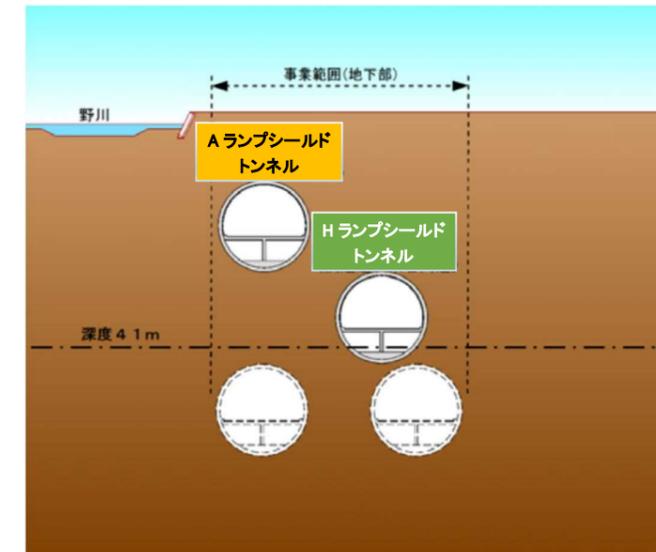
1. 2. 1. 東名 JCT A・H ランプシールドトンネル工事の概要

【Aランプシールドトンネル】

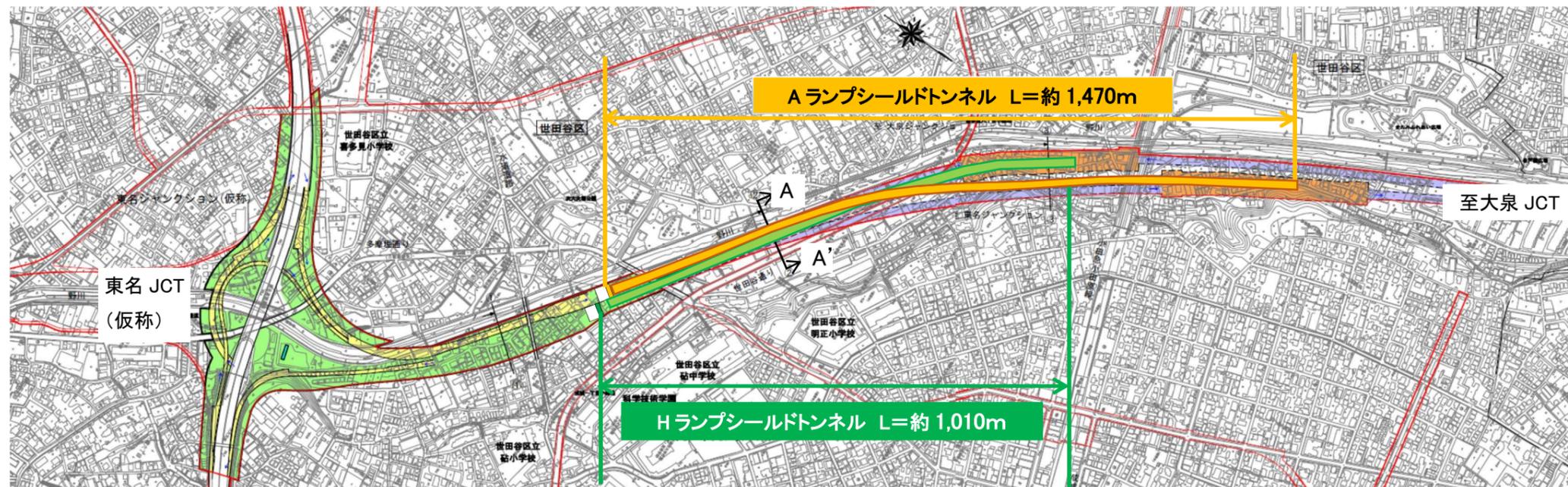
工事名称：東京外かく環状道路 東名ジャンクションランプシールドトンネル・地中拡幅(北行)工事
 発注者：中日本高速道路(株) 東京支社
 施工者：前田・奥村・安藤・間特定建設工事共同企業体
 工事内容：泥土圧シールド(シールド機外径 約φ14m、セグメント外径 約φ13.7m) 延長 約1,470m
 工事箇所：東京都世田谷区大蔵～世田谷区成城

【Hランプシールドトンネル】

工事名称：東京外かく環状道路 東名ジャンクションランプシールドトンネル・地中拡幅(南行)工事
 発注者：東日本高速道路(株) 関東支社
 施工者：安藤・間・西松・日本国土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 約φ14m、セグメント外径 約φ13.7m) 延長 約1,010m
 工事箇所：東京都世田谷区大蔵～世田谷区成城



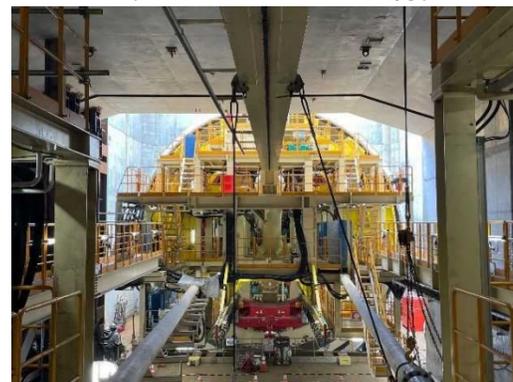
A-A' 断面図



A ランプシールドマシン上面



A ランプシールドマシン背面



H ランプシールドマシン上面



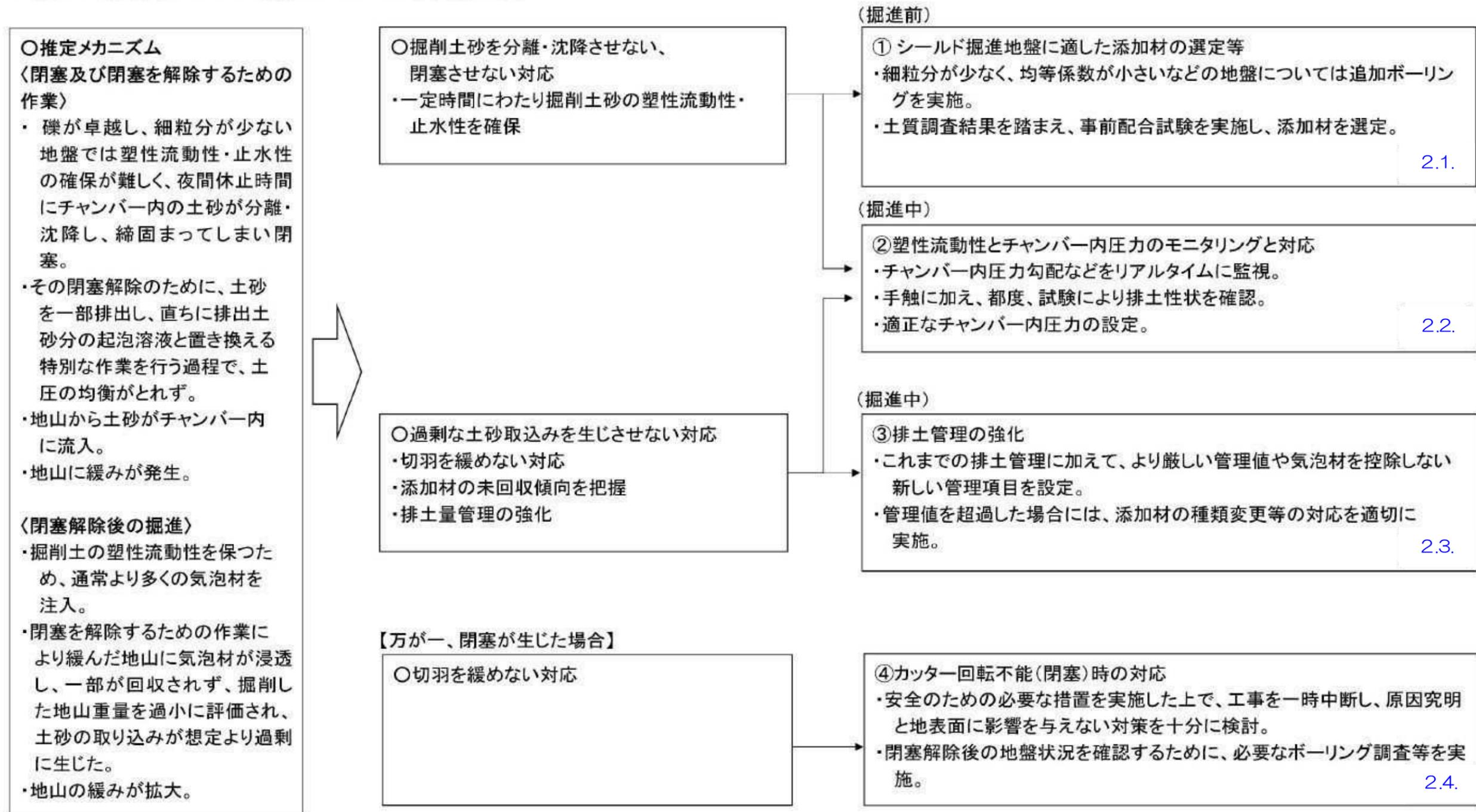
H ランプシールドマシン背面



2. 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



■ 今回の陥没・空洞の推定メカニズム

今回の陥没・空洞のメカニズムとしては、特殊な地盤条件下において、カッターが回転不能になる閉塞を解除するために行った特別な作業に起因するシールドトンネルの施工が陥没・空洞事象の要因と推定された。今回発生した陥没・空洞箇所周辺の地盤は、次の全てに該当する、東京外環全線の中で特殊な地盤条件である。

<特殊な地盤条件>

- ①掘削断面は、細粒分が少なく、均等係数が小さいため、自立性が乏しく、礫が卓越して介在し、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地盤であること。
- ②掘削断面上部は、単一の砂層である流動化しやすい層が地表面近くまで連続している地盤であること。
- ③表層部は、外環沿線における他の区間と比べ薄い地盤であること。

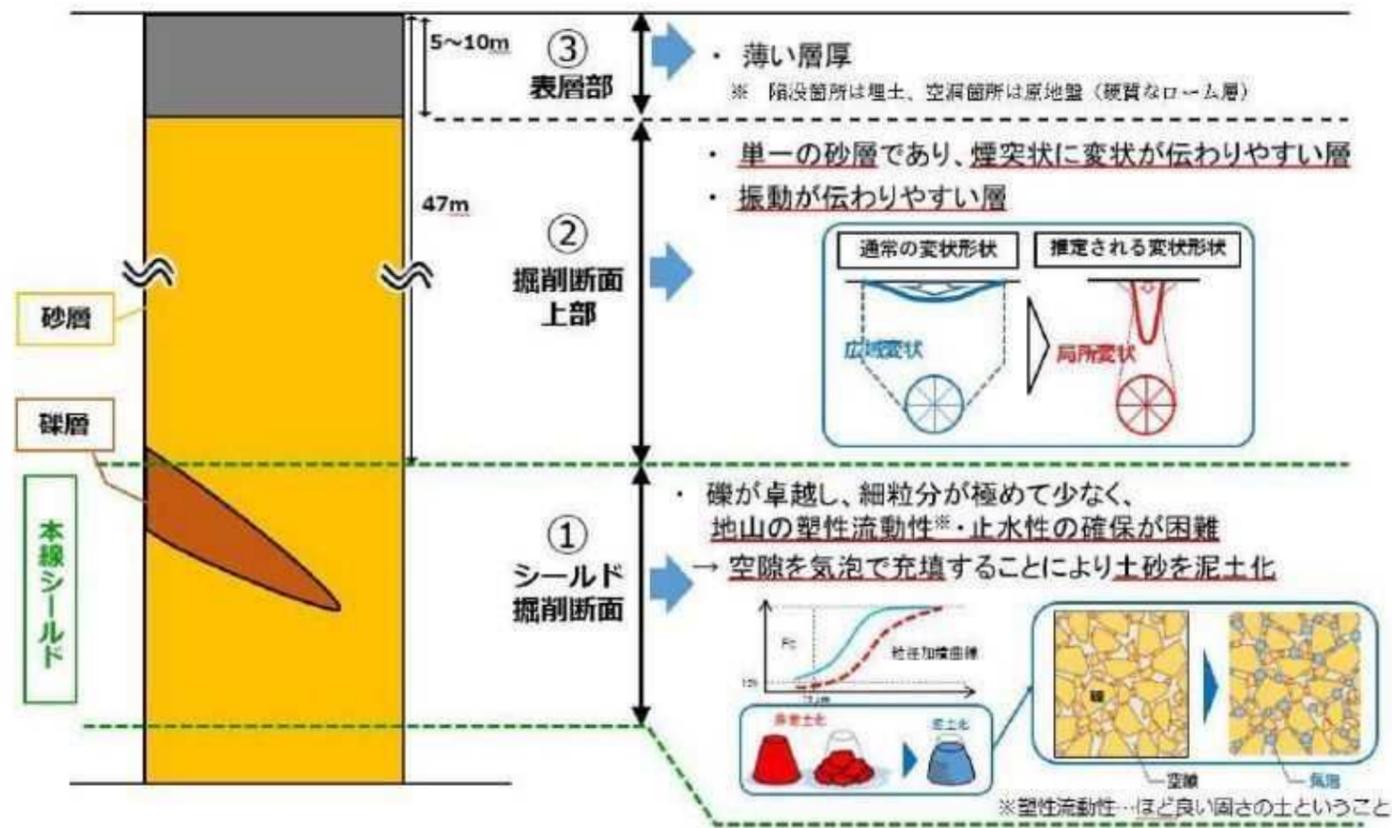
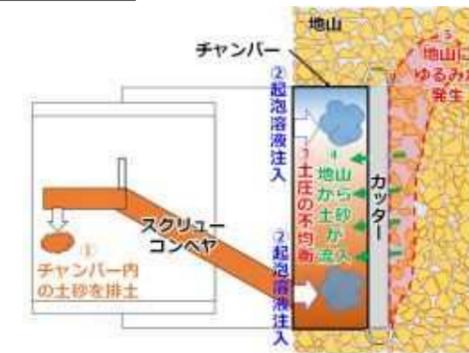


図1. 特殊な地盤条件

○閉塞及び閉塞を解除するための作業

- ・礫が卓越し、細粒分が少ない地盤では塑性流動性・止水性の確保が難しく、夜間休止時間にチャンバー内の土砂が分離・沈降し、締固まってしまい閉塞
- ・その閉塞解除のために、土砂を一部排出し、直ちに排出土砂分の起泡溶液と置き換える特別な作業を行う過程で、土圧の均衡がとれず
- ・地山から土砂がチャンバー内に流入
- ・地山に緩みが発生



○閉塞解除後の掘進

- ・掘削土の塑性流動性を保つため、通常より多くの気泡材を注入
- ・閉塞を解除するための作業により緩んだ地山に気泡材が浸透し、一部が回収されず。
- ・掘削した地山重量を過少に評価され、土砂の取り込みが想定より過剰に生じた
- ・地山の緩みが拡大

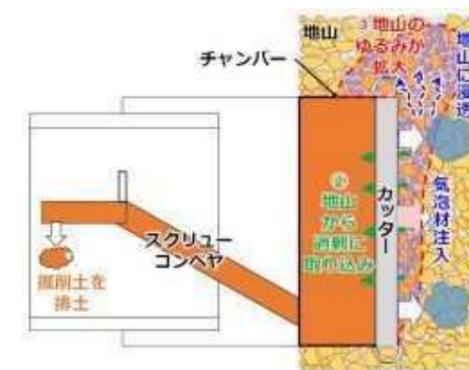
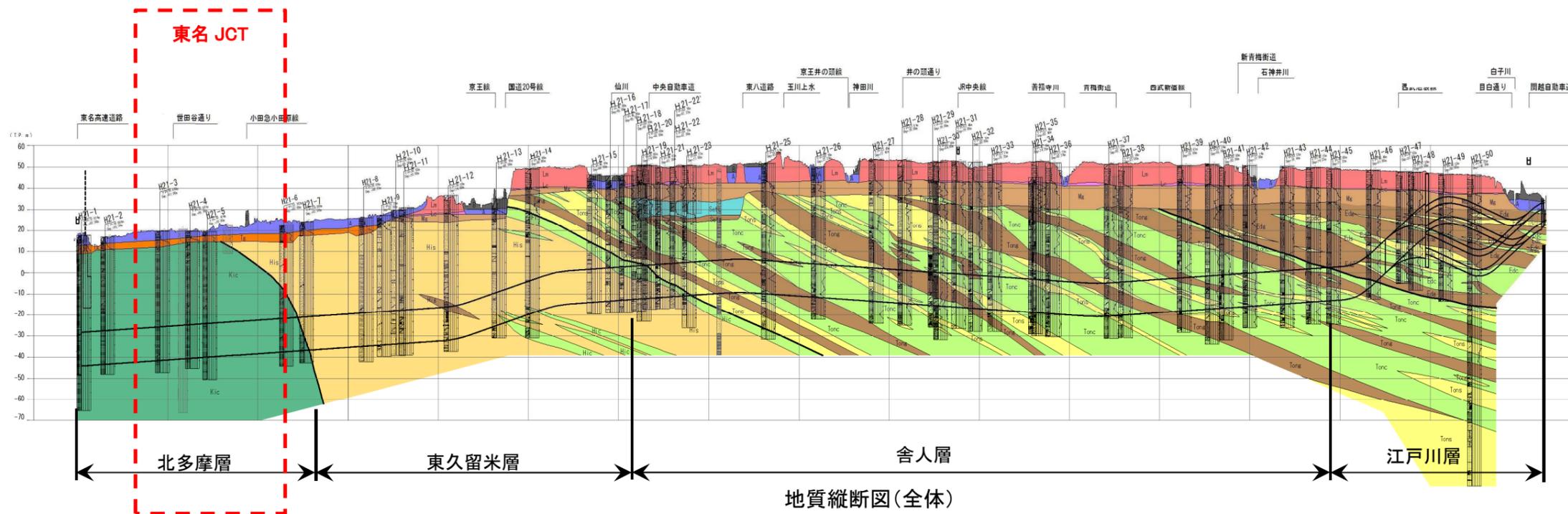


図2. 特別な作業

■地盤の概要

東京外環全線の地盤状況を見ると、表面には関東ローム層、武蔵野礫層、立川礫層が分布し、河川沿いには沖積層が分布している。表層地質の下位には基盤となる上総層群が分布し、上総層群は南側(東名 JCT)から北側(大泉 JCT)にかけて、北多摩層、東久留米層、舎人層、江戸川層の4つの地層が分布している。東名 JCT 北側の当該施工箇所は北多摩層からなり、地層の概要は次のようになっている。



凡例

地質時代	地層名	地質記号	層相	
完新世	盛土、埋土	F	雑溜り土主体	
	沖積層	A	軟質な粘性土、腐植土	
	関東ローム層	Ln	火山灰質粘性土	
	ローム質粘土層	Lc	粘土化した関東ローム層	
第四紀更新世	立川礫層	Tg	砂礫	
	武蔵野礫層	Tg	砂礫	
	世田谷層	Seto	細粒分の多い粘性土	
		Setg	砂礫	
	上総層群	江戸川層	Edc	粘性土
			Eds	砂
			Edg	砂礫
		舎人層	Tono	粘性土
		Tons	砂	
		Tong	砂礫	
東久留米層		Hic	粘性土	
		Hia	砂	
		Hig	砂礫	
北多摩層	Kio	粘性土	締まった砂が主体で、硬い粘性土の薄層を挟む地層	

■地盤の特性

北多摩層	
地層	半固結状のシルト岩主体である。所々に砂分の多いゾーンが認められる。軽石や火山灰の挟みも認められる。
地質の状況	<p>【表層】</p> <p>厚さ5m～10m程度の沖積層・立川礫層</p> <p>【掘削断面上部】</p> <p>粘土層(北多摩層の南側)：細粒分の割合が概ね70%以上であり、礫分は含まれていない。</p> <p>砂から粘性土への漸移層(北多摩層の北側)：細粒分の割合が概ね55%以上であり、礫分は含まれていない。</p> <p>【掘削断面】</p> <p>粘土層：シールド掘削の大部分で粘土・シルト分細粒分の割合が概ね70%以上であり、礫分は含まれていない。</p>

2. 1. シールド掘進地盤に適した添加材の選定等

(1) 目的

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)、掘削断面に出現する土層のうち条件が最も厳しいと想定される土層が全断面に出現した場合を想定した模擬土(タイプB)の2つの試料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。

(2) 添加材選定試験の流れ

- ① 既往土質ボーリング調査の確認
- ② 土質調査再検証の結果から塑性流動性の確保が最も厳しいと想定される断面において
 - ・掘削断面の塑性流動性を模した模擬土(タイプA)を設定
 - ・掘削断面に出現する土層のうち塑性流動性の確保に留意する必要がある土層が全断面に出現した場合を想定した模擬土(タイプB)を設定
- ③ ②で設定した模擬土を作成(粘土シルト、砂、礫、含水)
- ④ 試験方法の立案
 - ・試験項目、試験材齢、試験機、試験フロー
- ⑤ 添加材の選定と配合
 - ・P5 に示す掘進区間の地盤特性を踏まえ、気泡シールド工法で採用されている気泡材の他、本線トンネル工事において地上への空気の漏出を抑制する掘進方法に使用した起泡溶液、細粒分を付加する鉱物系により配合を計画する。
材料: 気泡材、起泡溶液、鉱物系
- ⑥ 添加材選定試験実施
- ⑦ 最適な添加材の選定
 - ・添加材選定試験結果等を踏まえ、シールド掘進中の掘削状況等を常時確認し、添加材の添加量や種類の変更を行いながらシールド掘進施工を行うものとする。

● 添加材選定試験結果の良い事例、悪い事例

《良い事例》



(スランプ判断目安以内)



(テーブルフロー判断目安以内)



(スランプ判断目安外)



(テーブルフロー判断目安外)

《悪い事例》

[室内試験項目]

項目	規格	判断の目安
ミニスランプ	JIS A 1171	0.5cm~7.5cm
テーブルフロー	JIS R 5201	105mm~160mm
目視・手触り	—	容易に混練できる、分離しない (同一技術者による判断)

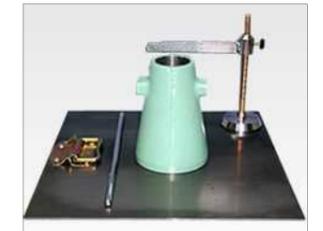


図-1 ミニスランプ試験機

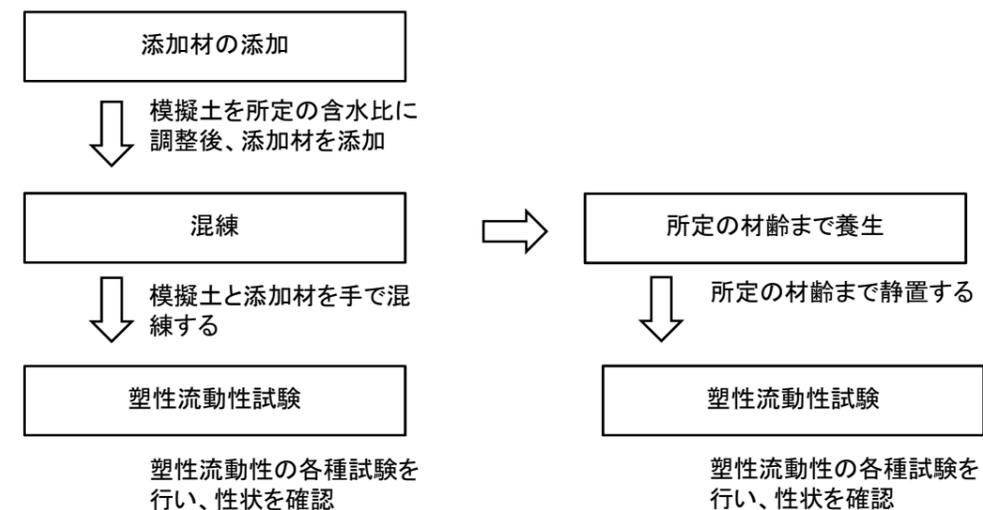
[室内試験材齢]

材齢	想定される状況
混練直後	掘進中の塑性流動性
1日	夜間掘進停止後の翌日に掘進再開する際の塑性流動性
3日	週末等に掘進停止した後に掘進再開する際の塑性流動性
7日	長期休暇等に掘進停止した後に掘進再開する際の塑性流動性



図-2 テーブルフロー試験機

[室内試験フロー]



室内試験 判断の目安

① 室内試験項目

項目	規格
ミニスランプ	JIS A 1171
テーブルフロー	JIS R 5201
目視・手触り	—



図-1 ミニスランプ試験機



図-2 テーブルフロー試験機

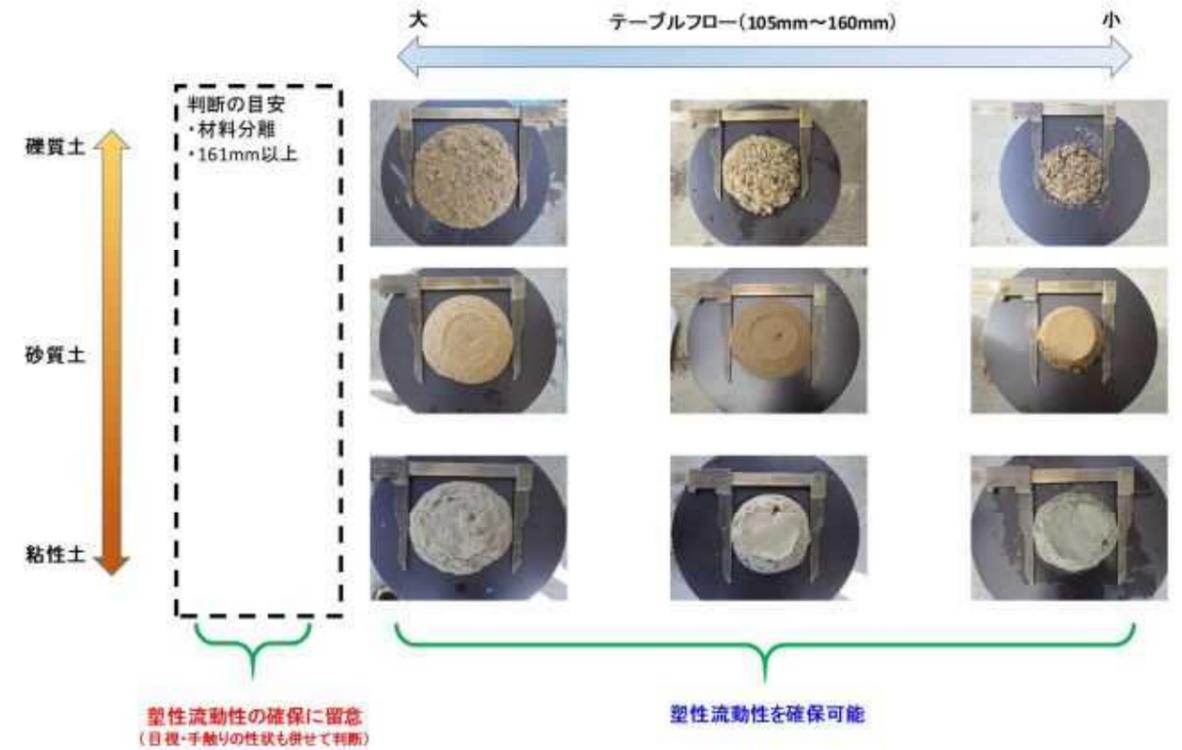
② ミニスランプの判断目安

- ・0.5cm～7.5cm を目安
- ・緩やかに形を変え、崩壊しないこと
- ・材料等の分離がないこと



③ テーブルフローの判断目安

- ・105mm～160mm を目安
- ・フローの広がりに偏りが無いこと
- ・材料等が分離せずに広がること



④ 目視・手触りの判断目安

- ・容易に混練できる、分離しない
- ・同一技術者による判断

① 分離抵抗性

状況
攪拌後に礫・砂の沈降がない
攪拌後に礫分がわずかに沈降する
攪拌後に表面に気泡や水分が分離する
攪拌後に気泡材の分離・破泡がみられる

③ 粘性

状況
適度な粘性を有する
粘性がやや不足
粘性がほとんどない

② 流動性

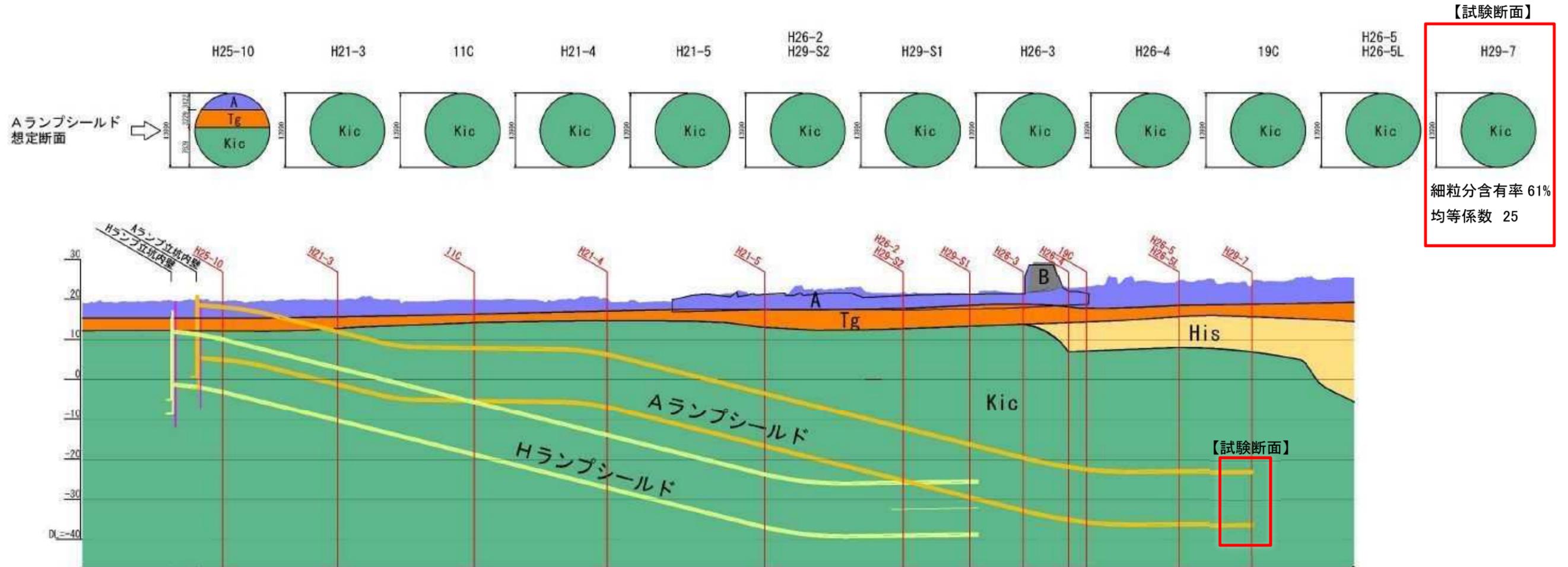
状況
混練時の負荷が小さい
混練時の負荷がやや大きい
混練が困難
混練時に全体がまとまって流動化する
混練時に流動化するもののまとまりがない
混練時に流動化が困難

④ 触感

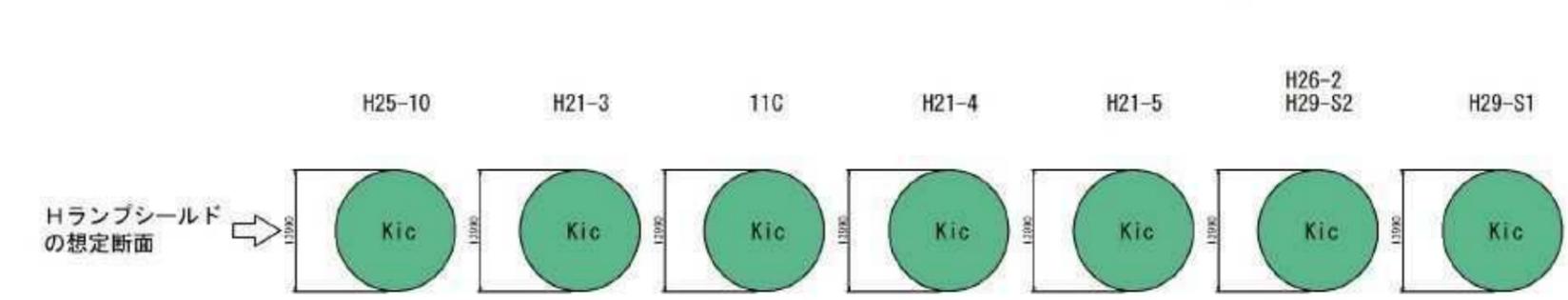
状況
握った際に芯が残らない
握った際にわずかに芯が残る
握った際に容易に脱水され固い芯が残る

(3) 試験対象土の選定

① 当該施工箇所のボーリング調査結果は大深度地下使用認可申請の支持地盤特定調査の他、東名 JCT 北側で計画されている地中拡幅部の設計条件調査などで 14 箇所存在している。これらの調査結果を用いて、地盤の再確認(検証)を行い、塑性流動性の確保が最も厳しいと想定される箇所を試験対象断面とする。



【試験断面】
H29-7
細粒分含有率 61%
均等係数 25



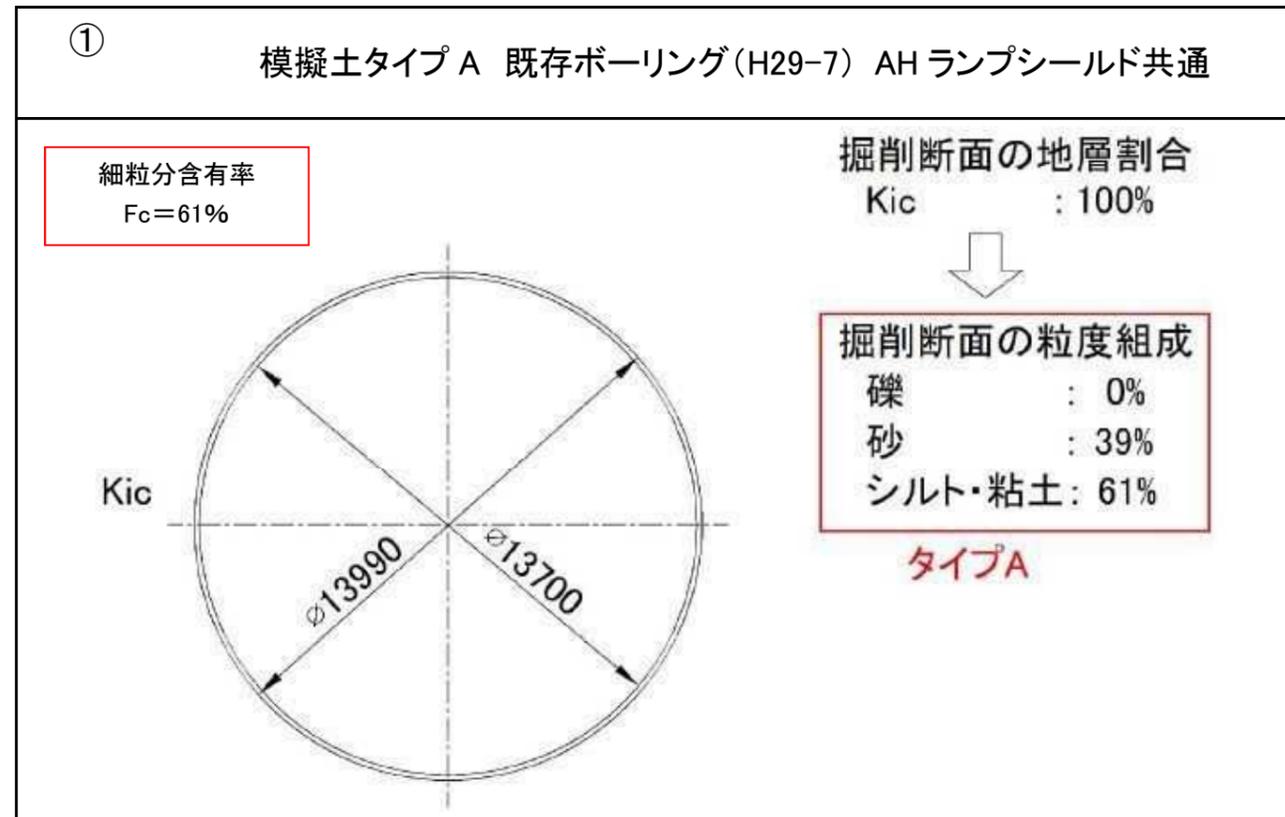
凡例

地質時代	地層名	地層記号	層相
更新世	粘土、極土	B	硬直リリ土主体
	沖積層	A	軟質な粘性土、腐食土
第四紀	立川層	Tg	砂・礫
	東久留米層	Hic	粘性土
		His	砂
		Hig	砂礫
	北多摩層	Kic	粘性土

注: 砂まじり砂が主体で、硬い粘性土の薄層を挟む地層。一部に砂礫を核む。

【試験断面】
既往の土質調査から、塑性流動性の確保が最も厳しいと想定される箇所を試験対象断面とする

②試験対象土は、試験対象断面の掘削断面の模した模擬土(タイプA)に加え、試験対象断面の掘削断面に出現する土層のうち、塑性流動性の確保が最も厳しいと想定される土層が全断面に出現した場合の模擬土(タイプB)とするが、ランプシールドの掘進土層は全断面北多摩層(Kic)であるためタイプAとタイプBは同じものとなる。調査ボーリングデータのうち細粒分が最も少ない粒度組成を以下に示す。



(4) 添加材

添加材種別

	CASE-1	CASE-2	CASE-3
添加材種別	気泡材 (標準配合)	起泡溶液	鉍物系
外観			
特徴	標準的に使用されている気泡材	発泡前の起泡溶液を添加、界面活性剤の効果で固結シルトの粘性を低減	鉍物系を主材として添加

東名ジャンクションランプシールドトンネル・地中拡幅(北行)工事 添加材選定試験結果 その1 対象断面: 既往ボーリング(H29-7)タイプ A

番号	添加材	材齢 (直後)			材齢 (1日)			材齢 (3日)			材齢 (7日)						
		ミスランプ (cm)	テーパー径 (mm)	目視・手触り													
① CASE-1	気泡材																
	気泡材 濃度: 1.0% 発泡倍率: 10倍 注入率: 40.0%	7.5	159×157	○	2.3	146×141	○	1.2	130×133	○	1.7	125×125	○	【 ○ 】			
	【 ○ 】			【 ○ 】			【 ○ 】			【 ○ 】							
	【 ○ 】			【 ○ 】			【 ○ 】			【 ○ 】							
① CASE-2	起泡溶液																
	起泡溶液 濃度: 0.4% 注入率: 15.0%	2.7	158×158	○	3.3	137×142	○	1.6	134×131	○	1.9	128×128	○	【 ○ 】			
	【 ○ 】			【 ○ 】			【 ○ 】			【 ○ 】							
	【 ○ 】			【 ○ 】			【 ○ 】			【 ○ 】							
① CASE-4	鉱物系																
	鉱物系 濃度: 7.0% 注入率: 15.0%	0.5	111×115	○	1.0	120×119	○	1.0	120×117	○	0.5	109×109	○	【 ○ 】			
	【 ○ 】			【 ○ 】			【 ○ 】			【 ○ 】							
	【 ○ 】			【 ○ 】			【 ○ 】			【 ○ 】							

東名ジャンクションランプシールドトンネル・地中拡幅(南行)工事 添加材選定試験結果 その1 対象断面: 既往ボーリング(H29-7)タイプ A

番号	添加材	材齢 (直後)			材齢 (1日)			材齢 (4日)			材齢 (7日)						
		ミニランプ (cm)	テーパーフロー(mm)	目視・手触り													
① CASE-1	気泡材																
	加水:2.3% 気泡材(T-9SP) 希釈濃度:5.0% 発泡倍率:20倍 注入率:20.0%																
		2.0	154×153	○	0.6	130×134	○	1.0	141×142	○	0.5	112×115	○				
		【 ○ 】			【 ○ 】			【 ○ 】			【 ○ 】						
① CASE-2	起泡溶液																
	加水:2.3% 起泡溶液(T-10) 濃度:0.7% 注入率:5.0%																
		3.3	160×158	○	1.8	132×132	○	0.5	122×124	○	0.7	120×121	○				
		【 ○ 】			【 ○ 】			【 ○ 】			【 ○ 】						
① CASE-3	鉱物系																
	加水:2.3% 鉱物系 濃度:7.0% 注入率:10.0%																
		2.8	146×147	○	3.2	144×144	○	1.0	140×141	○	2.1	135×132	○				
		【 ○ 】			【 ○ 】			【 ○ 】			【 ○ 】						

(5) 試験結果

① A ランプシールドトンネル工事

模擬土	対象 Bor	模擬土		CASE	気泡材			起泡溶液		鉱物系		水	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 %]	配合(濃度[%])	注入率[対 Vol %]		注入率[対 Vol %]	直後	1日	3日
①	H29-7 全断面	タイプ A	61%	CASE-1	10kg/m3 (1.0)	10	40	-	-	-	-	0.0	○	○	○	○
				CASE-2	-	-	-	4.0kg/m3 (0.4)	15.0	-	-	0.0	○	○	○	○
				CASE-3	-	-	-	-	-	70kg/m3 (7.0)	15.0	0.0	○	○	○	○

② H ランプシールドトンネル工事

模擬土	対象 Bor	模擬土		CASE	気泡材			起泡溶液		鉱物系		水	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 %]	配合(濃度[%])	注入率[対 Vol %]		注入率[対 Vol %]	直後	1日	3日
①	H29-7 全断面	タイプ A	61%	CASE-1	5.0kg/m3 (0.5)	20	20	-	-	-	-	2.3	○	○	○	○
				CASE-2	-	-	-	7.0kg/m3 (0.7)	5.0	-	-	2.3	○	○	○	○
				CASE-3	-	-	-	-	-	70kg/m3 (7.0)	10.0	2.3	○	○	○	○

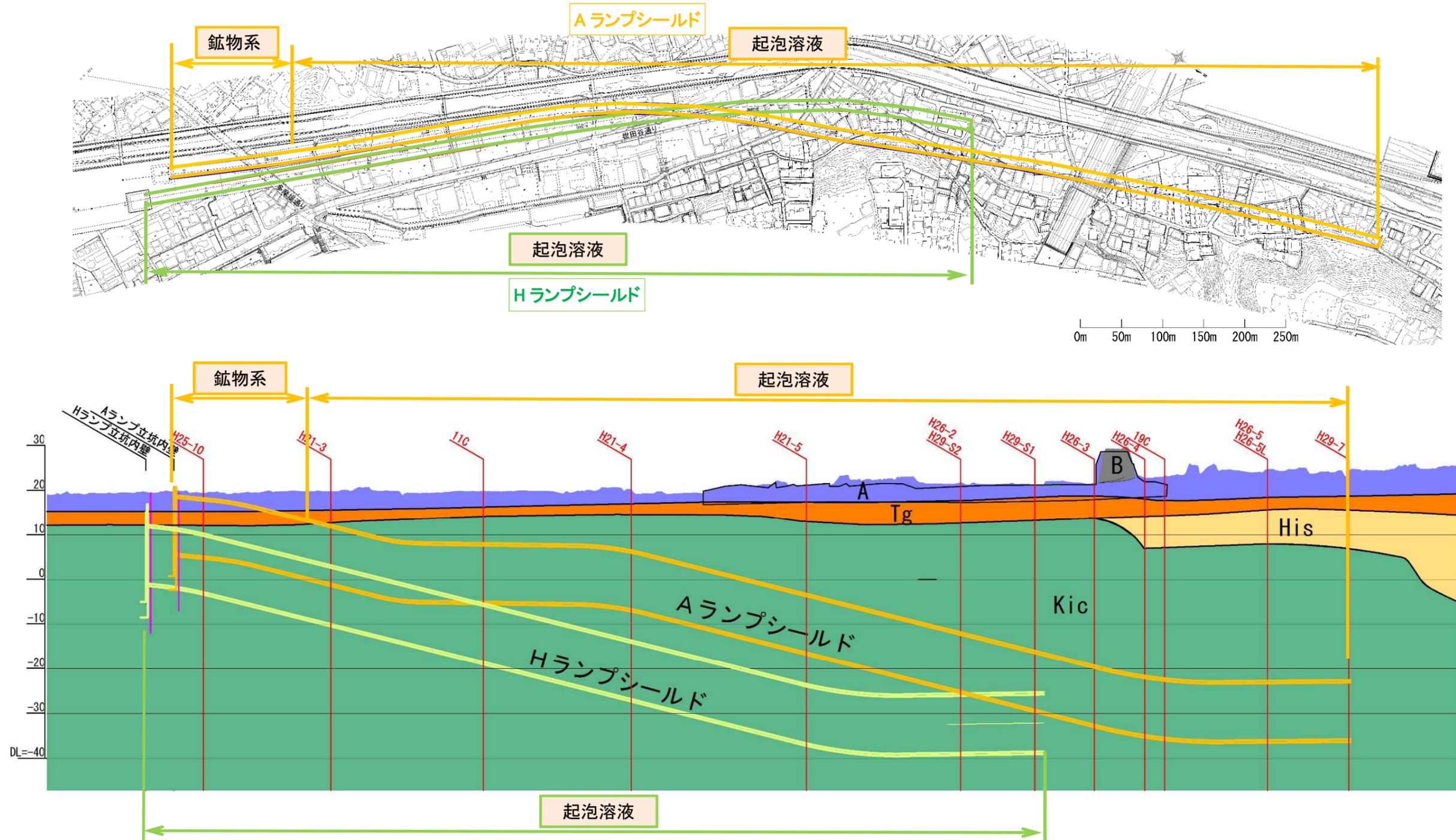
【試験結果及び対応方針】

- ・CASE-1～CASE-3において、材齢7日にわたり、良好な塑性流動性が確保できることを確認した。
- 本工事においては掘進対象土層(北多摩層)における本線のトンネル工事で気泡漏出事象及び起泡溶液による掘進実績を踏まえ、起泡溶液による掘進を基本とする。

(6) 添加材使用基本計画

再発防止対策のシールド掘進地盤に適した選定等の結果を踏まえ、添加材は起泡溶液を適切に使用する計画としている。
 なお、東名JCT Aランプシールドトンネル工事については、掘進作業の初期段階において土砂圧送管による排土を計画しているため、圧送土砂の流動性を確保できる鉋物系での掘削を計画している。

添加材使用基本計画



各種モニタリングや排土性状を確認し、塑性流動性の確保が懸念される場合は、添加材の注入量や濃度を変更し改善を図る。

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

- ・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。

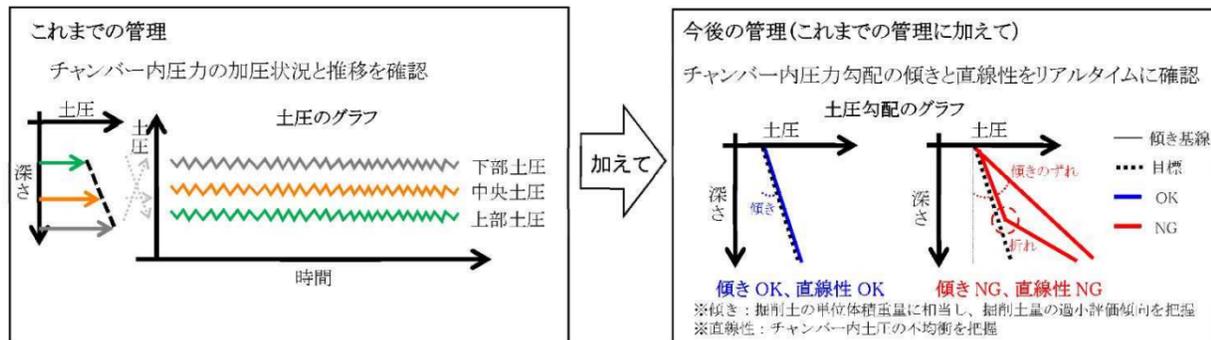
掘進データからの塑性流動性確認方法

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	・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、添加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) 添加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

*赤字は陥没事故前から、令和3年3月の有識者委員会報告書で追加・変更した項目

*青字は令和3年3月の有識者委員会報告書から、追加・変更した内容

○ チャンバー内圧力勾配の変化を確認



○ 排土性状の確認

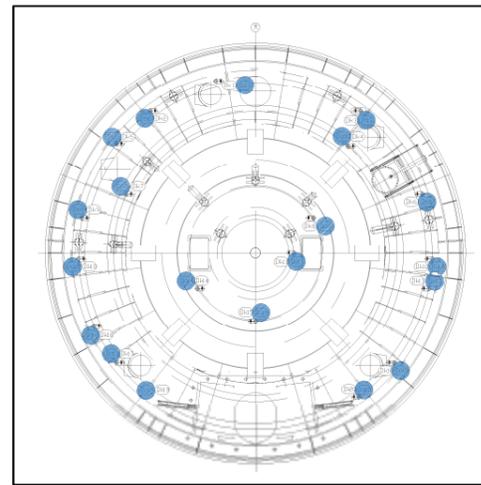


(1)チャンバー内圧力勾配の管理方法

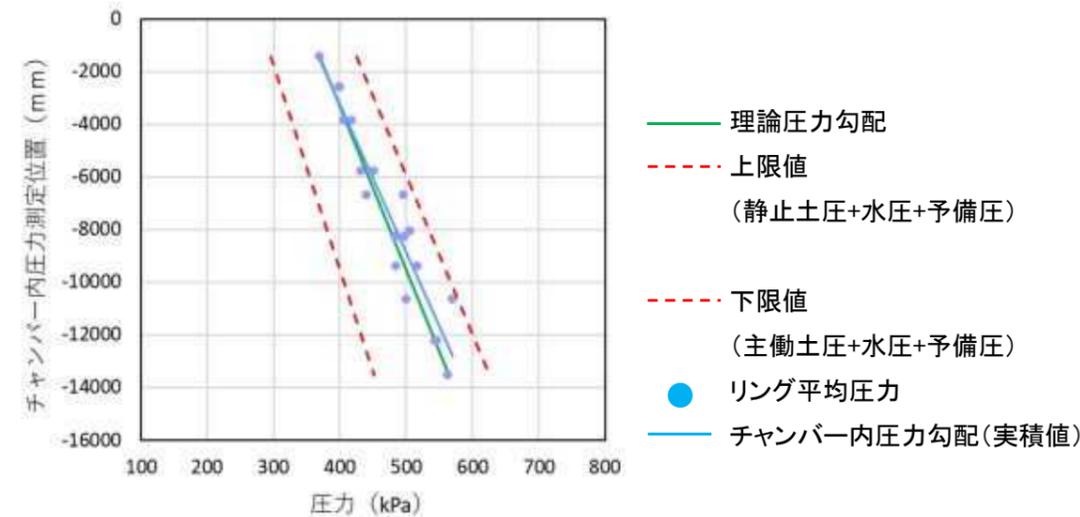
① チャンバー内圧力勾配の傾きと直線性の変化を把握するための管理方法を検討

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。

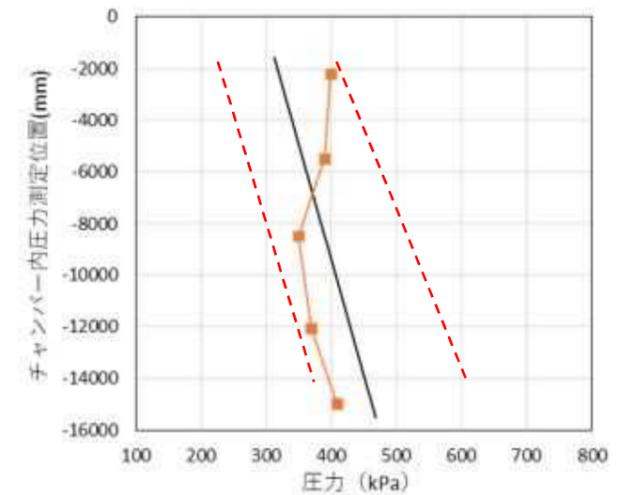
- ・チャンバー内における各圧力計の指示値から算出されるチャンバー内圧力勾配を下限圧力と上限圧力との間で管理することで、切羽の安定を常時管理する(図①-2)。なお、下限圧力については、安定したシールド停止状態の圧力を下回らないように設定する。
- ・チャンバー内圧力勾配は事前のボーリングデータと添加材注入率等から算出される理論圧力勾配との差を比較することで、チャンバー内の塑性流動性悪化の兆候を確認するとともに、添加材が地山に過度に浸透したことによる未回収傾向を把握する(図①-2)。
- ・チャンバー内圧力勾配の直線性はチャンバー内圧力分布の不均衡を確認し、チャンバー内の土砂の分離・沈降が生じて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



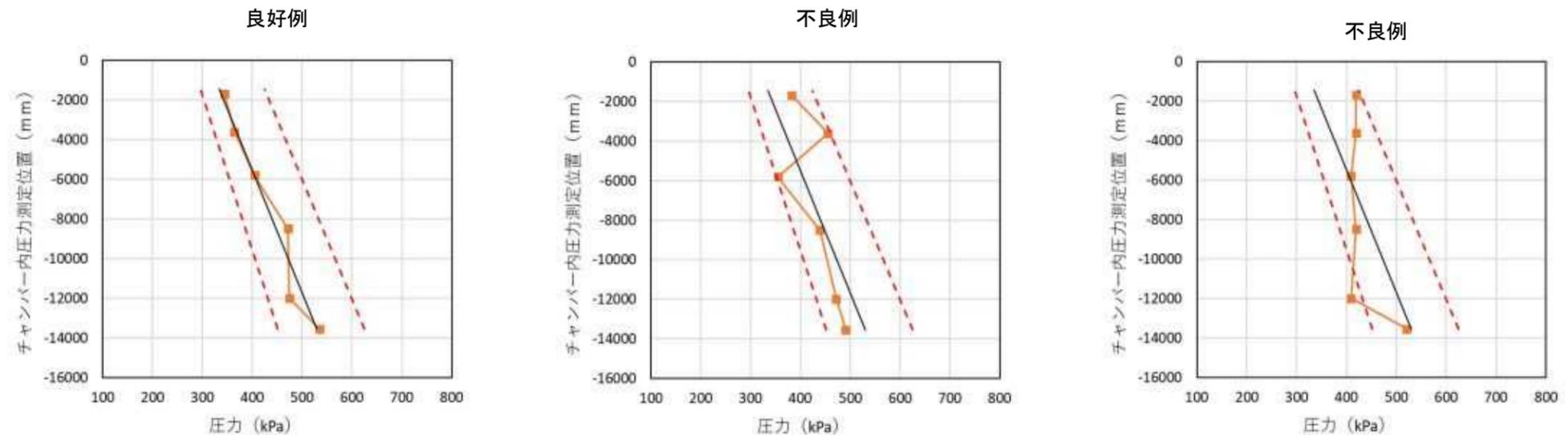
図①-1 圧力計位置(参考例)



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



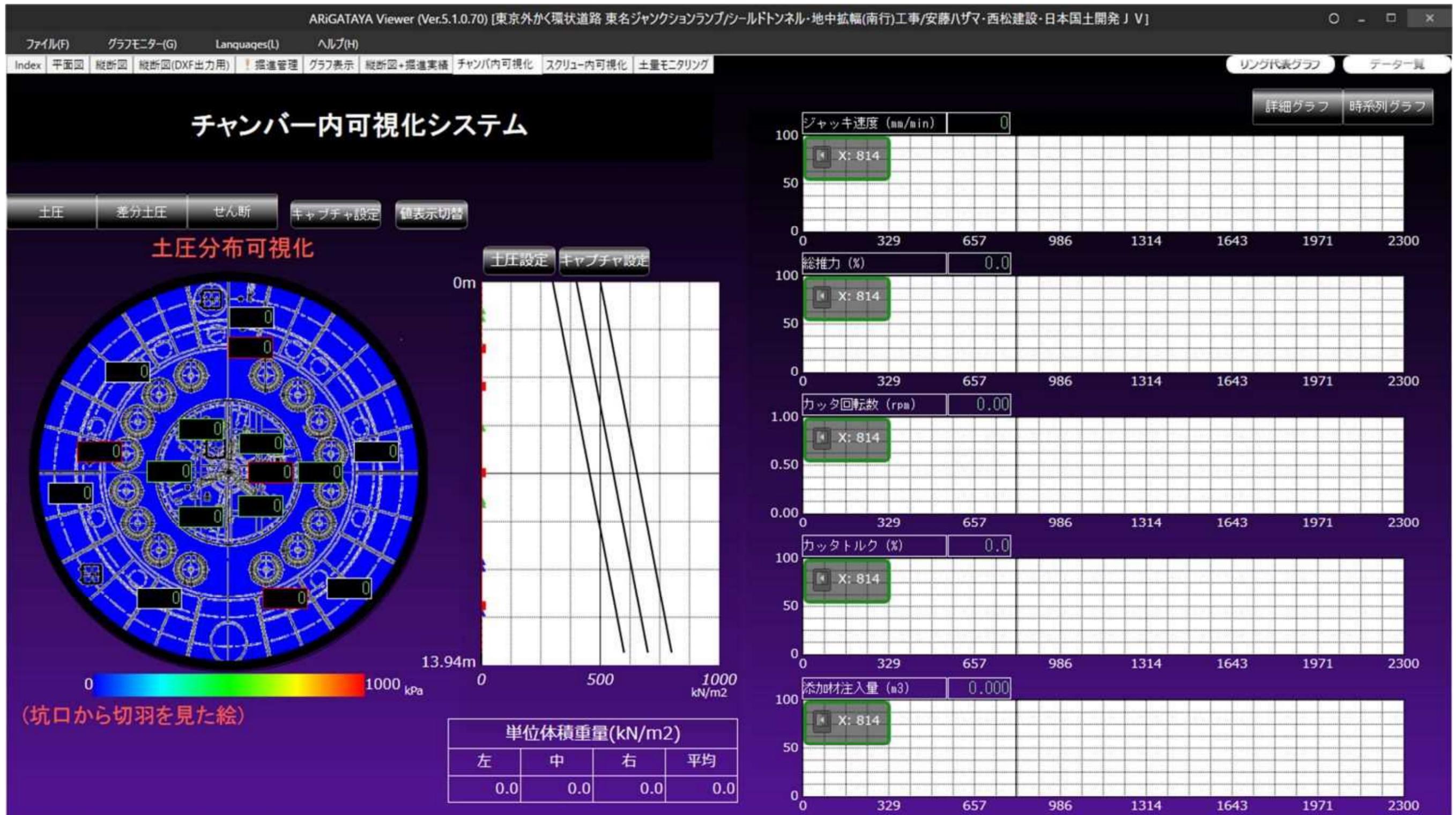
図①-4 チャンバー内圧力の不均衡を把握

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、添加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、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)掘進管理システムにおける監視モニターの実タイム管理

- 掘進管理システムの監視モニターでリアルタイム監視を強化する。



掘進管理モニター(参考例)

2.3. 排土量管理について

(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

○管理値は、厳格化した±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。	重量:t (体積: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

* 赤字は陥没事故前から、令和3年3月の有識者委員会報告書で追加・変更した項目

* 青字は令和3年3月の有識者委員会報告書から、追加・変更した内容

(2) 新たな管理値について

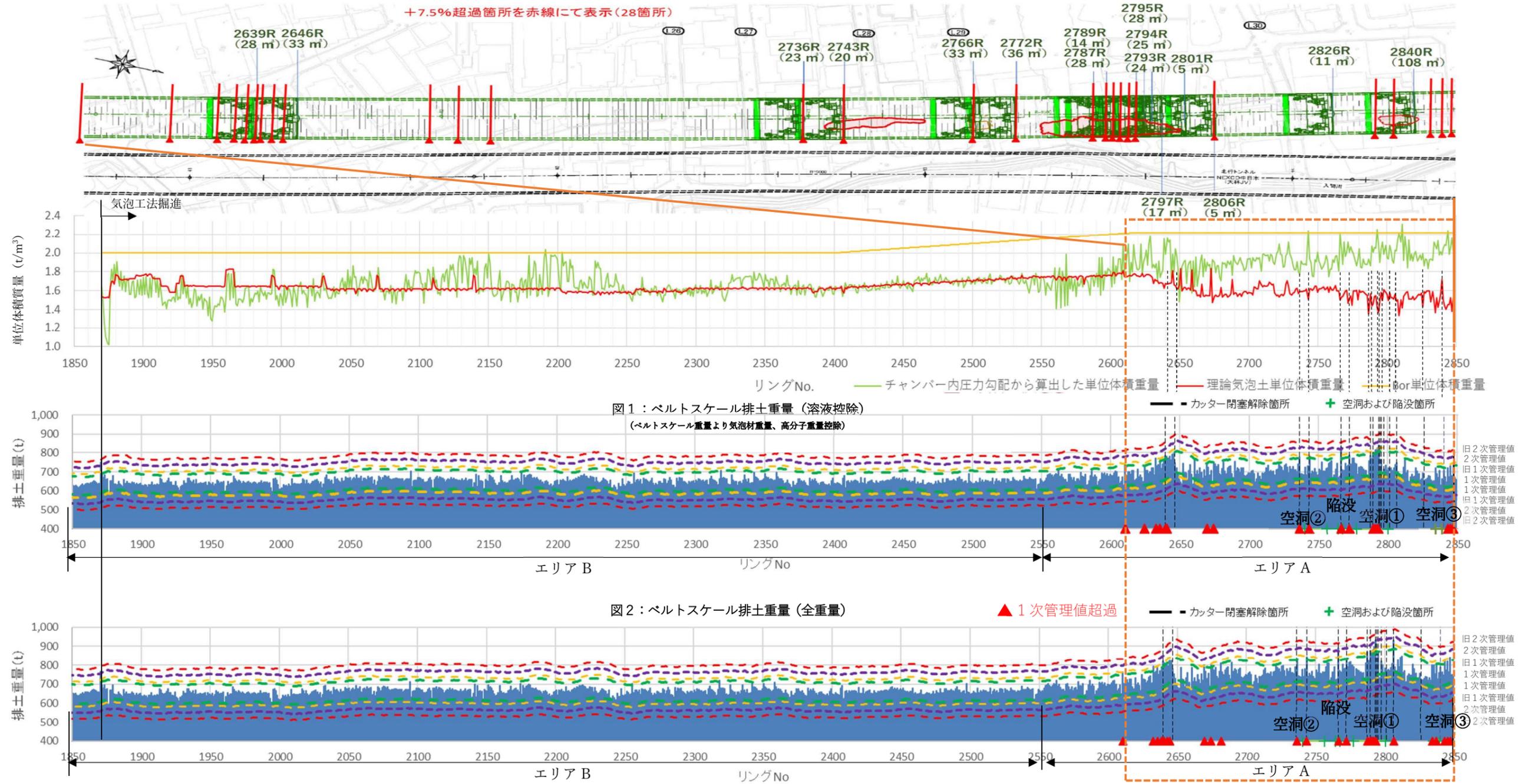
排土管理において、1次管理値(±7.5%)、2次管理値(±15%)を設定し、管理を行っていくことの妥当性を確認するため、今回事故における排土重量データを図に示す。

図1は、気泡材をすべて回収することを前提とした地山重量に相当する重量を示したグラフであるが、今回、気泡材が地山に過度に浸透したことにより未回収となったと推定されることから、気泡材重量を控除しない排土重量についても整理を行った(図2)。

これらより、細粒分・細砂分の減少が見られ始め、掘削土の良好な塑性流動性の確保が困難となってきた2600R以降、断続的に1次管理値とした7.5%を超過する排土量となっていることが確認できる。

また、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した。このことから、±7.5%を1次管理値として設定し、チャンバー内の圧力勾配の確認と合わせて添加材重量を控除しない排土重量も管理することにより、大断面シールドにおける閉塞およ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することが可能となり、より安全な掘進管理を行っていく。

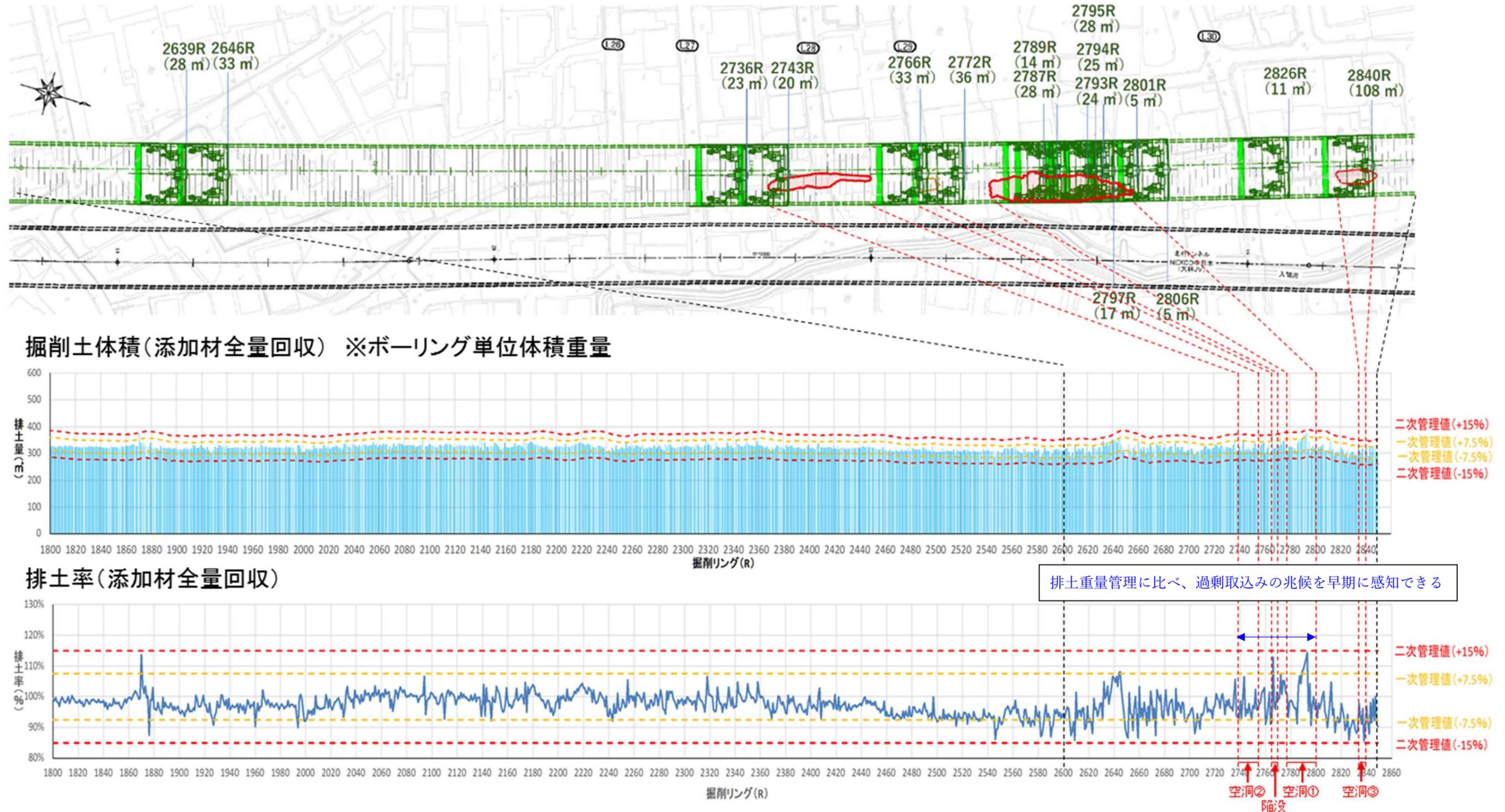
(本線トンネル(南行)東名北工事のデータを使用)



(3) 排土率について

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)

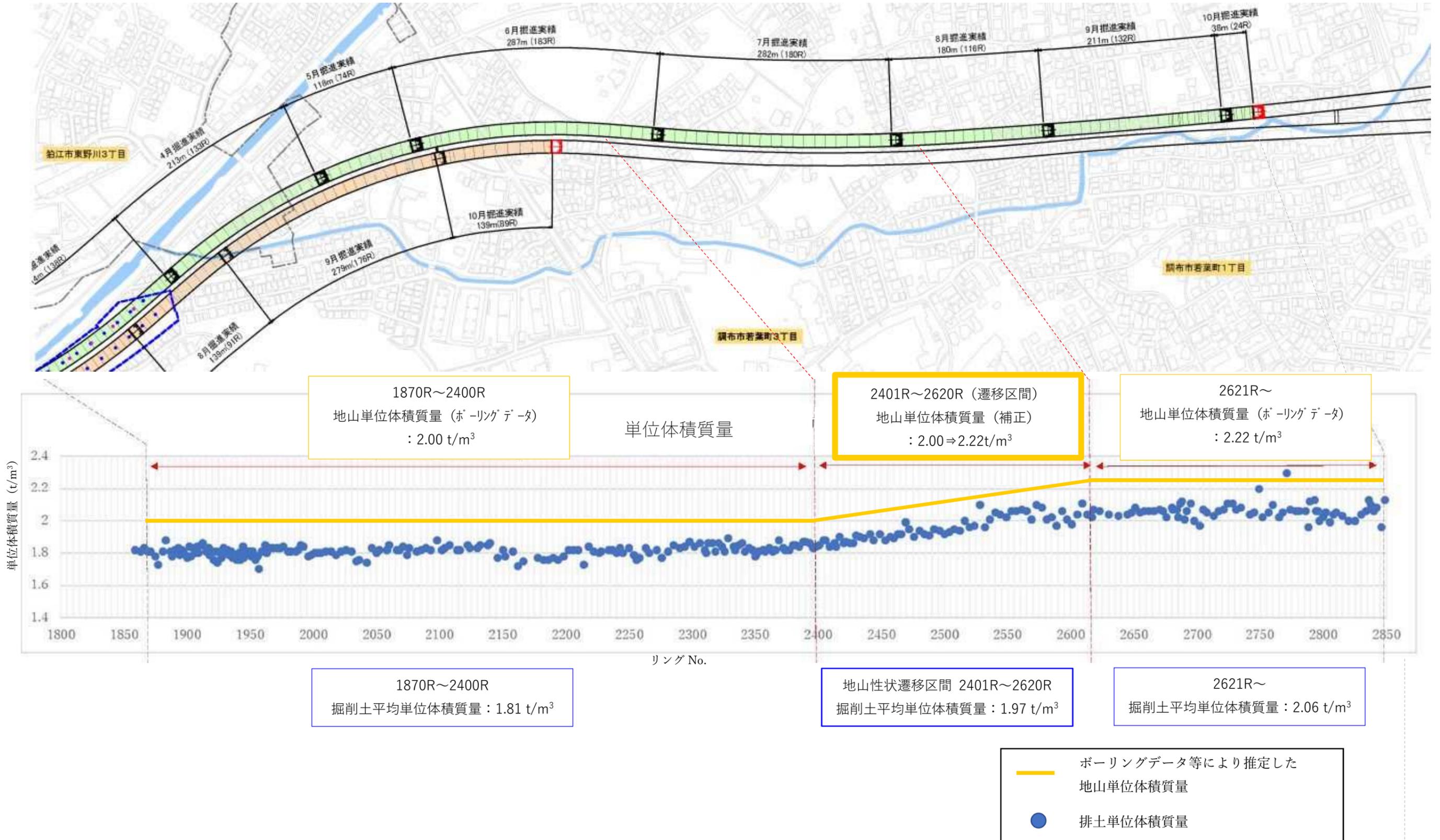
(本線トンネル(南行)東名北工事のデータを使用)



(4) 地山単位体積質量について

掘削土体積や排土率は、地山単位体積質量について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質量の変化を確認し、地山単位体積質量の補正を行い、排土率の精度の維持・向上を図っていく。

(本線トンネル(南行)東名北工事のデータを使用)



(5) 添加材未回収分を考慮した排土管理について

- ・陥没・空洞事故は地山に浸透した気泡材の一部を回収できず、掘削した地山重量を過少評価し、土砂の取り込み過ぎが発生したことが原因と推定されている。
- ・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の管理を行う。

① 気泡土の浸透量の評価手法

チャンバー内圧力勾配を用いた気泡材浸透量の評価手法の考え方を以下に示す。

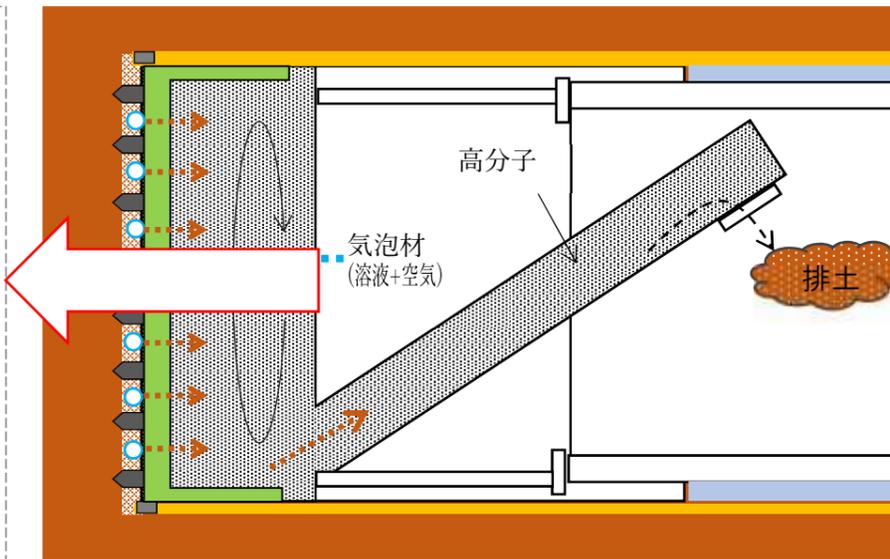
チャンバー内圧力勾配からの推定

チャンバー内の掘削土砂が塑性流動化している状態では、チャンバー内圧力勾配が掘削土砂の単位体積重量と等しくなると考えられる。右図土圧分布を例にすると、

$$(680\text{kPa} - 445\text{kPa}) \div 12.3\text{m} = 19.1\text{kN/m}^3$$

がチャンバー内掘削土(気泡土)の単位体積重量と算定(推定)される。この値から掘削土に含まれている気泡材の量を算定して、添加量と比較することで、浸透量を推定する。

(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ので注意が必要)



- 測定値、既知量(赤字で表現)
- V_a, M_a : 添加材の体積と質量
 - ρ_a : 添加材の密度
 - V_s, M_s : 1リング内の掘削土の体積と質量
 - ρ_t : 地山密度(地質調査、現地通常掘進時データの解析等による)
 - M_{out} : 排出土の質量
 - ρ_{tc} : チャンバー内の泥土の密度(チャンバー内土圧分布等から求めた値。排土の密度はこの値と同じであると仮定。)

I. チャンバー内圧力勾配からの浸透評価

地山に添加した気泡材が100%排出される条件で算定された単位体積質量(以下、理論気泡土単位体積質量)と、チャンバー内圧力勾配から得られる掘削土単位体積質量の比較から浸透の可能性を評価する。

理論気泡土単位体積質量の算出方法

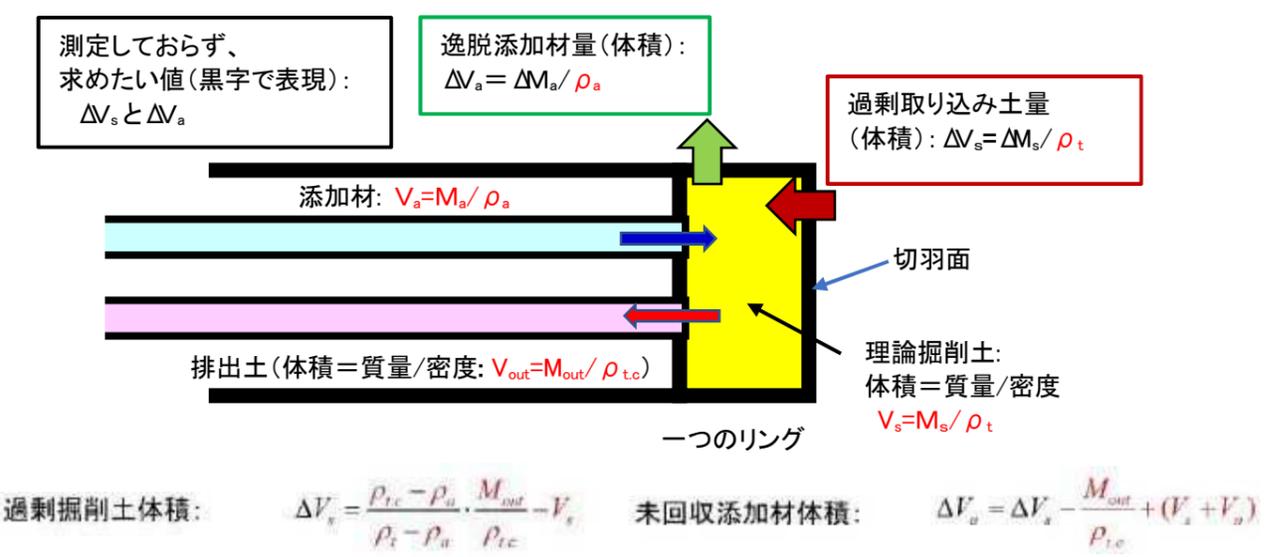
地山 1m^3 ($\gamma = 2.22\text{ t}$) + 気泡材 (2.9倍発泡 54.8%注入, 気泡材重量 0.19 t , $\gamma = 0.345\text{ m}^3$) = 気泡土 1.56 t/m^3

気泡材注入率: 54.8%
 \Rightarrow 気泡材体積: $1 \times 54.8\% = 0.548\text{ m}^3$
 $1\text{ t/m}^3 \div 2.9\text{倍} = 0.345\text{ t/m}^3$
 $0.548 \times 0.345 = 0.19\text{ t}$

体積: $1\text{m}^3 + 0.548\text{m}^3 = 1.548\text{m}^3$
 重量: $2.22 + 0.19 = 2.41\text{ t}$
 $\therefore 2.41\text{ t} / 1.548\text{m}^3 = 1.56\text{ t/m}^3$

チャンバー内圧力勾配から得られる掘削土単位体積重量の評価方法

気泡土単位体積質量 $\gamma = 1.56\text{ t/m}^3$
 チャンバー内圧力勾配 例: $\gamma = 19.1\text{kN/m}^3$ (1.95 t/m^3)
 評価 理論 \geq 圧力勾配 : 100%回収
 理論 $<$ 圧力勾配 : 浸透の可能性あり

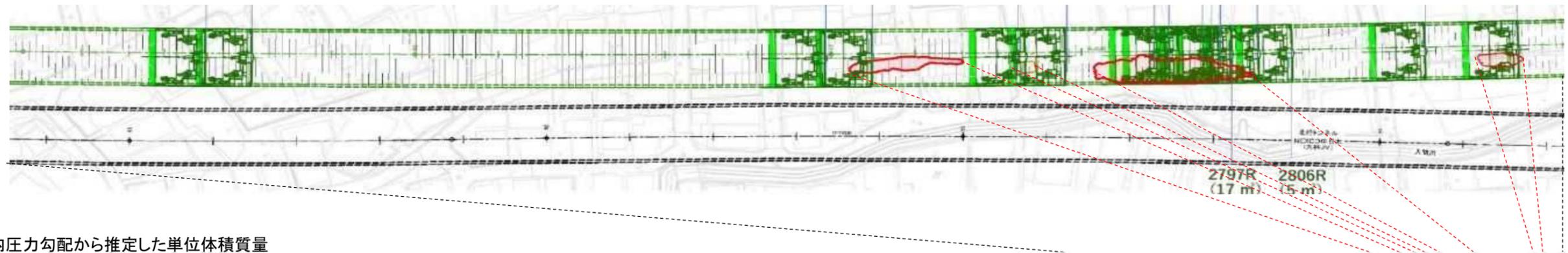


(シールドトンネル工事の安全・安心な施工に関するガイドラインを引用)

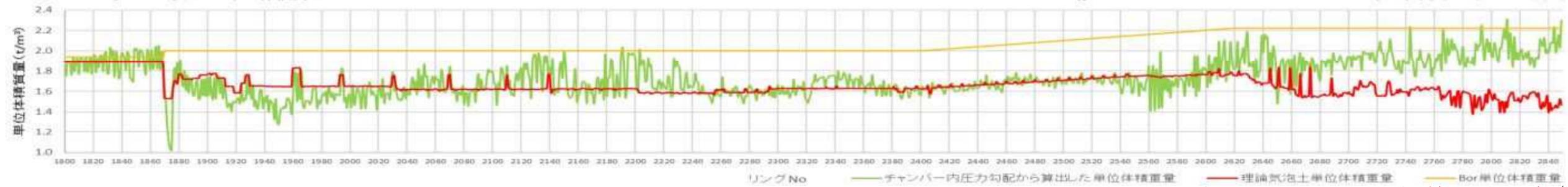
(6) 添加材未回収分を考慮した排土管理の適用

- ・添加材の地山への浸透量を評価し反映した排土率の管理は、添加材の全重量を控除した排土率に比べて、より顕著に取込過剰の兆候が現れることから、より早期に取込過剰の兆候を把握できる可能性がある。

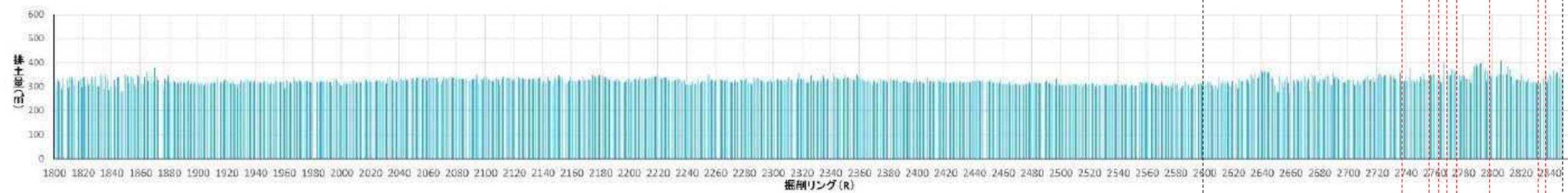
(本線トンネル(南行)東名北工事のデータを使用)



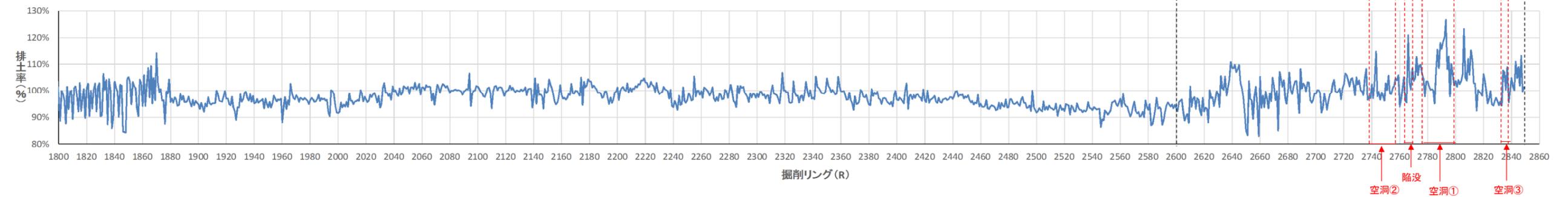
チャンバー内圧力勾配から推定した単位体積質量



掘削土体積(浸透量考慮 溶液控除)



排土率(浸透量考慮 溶液控除)



(7) 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小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。

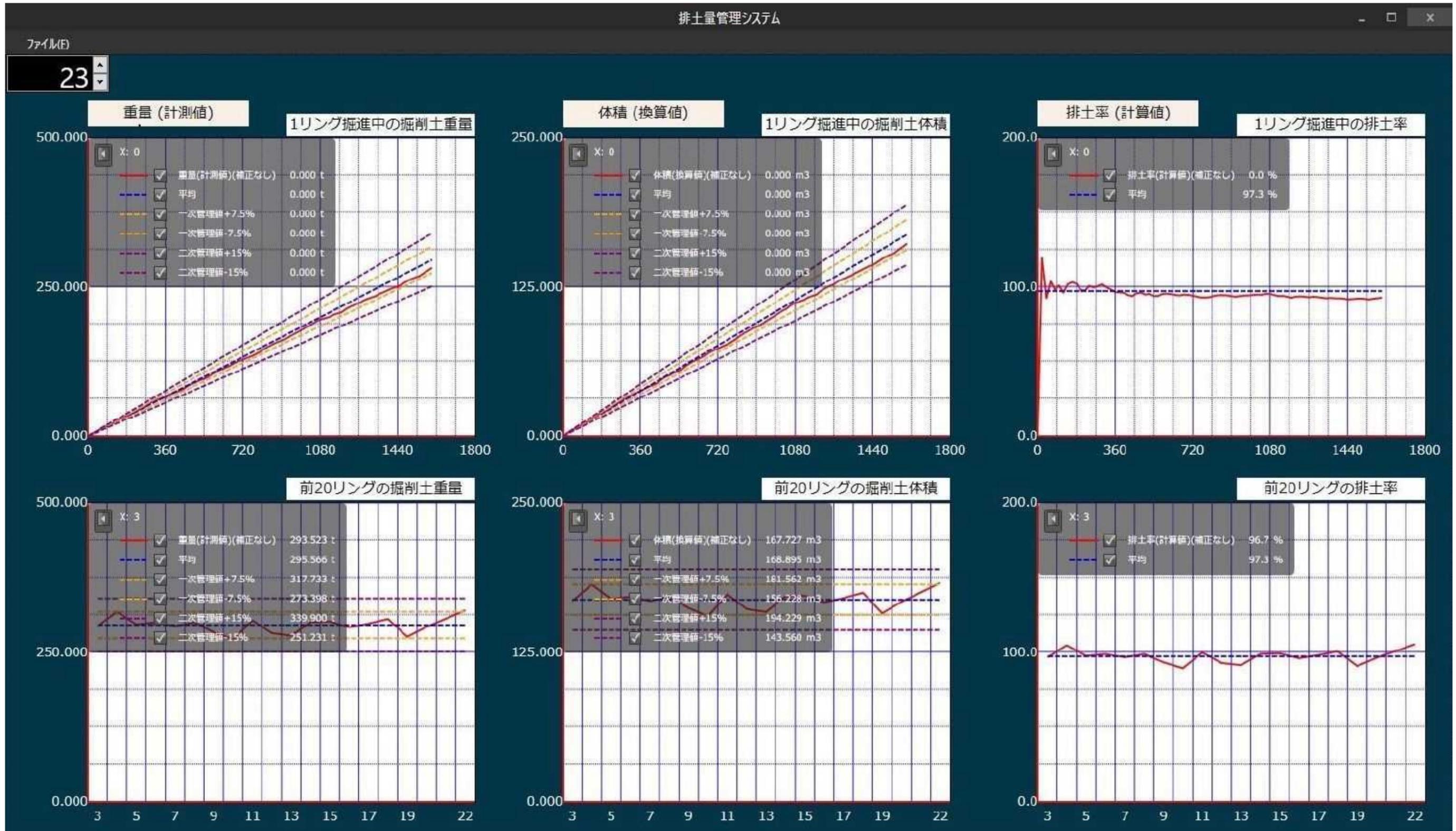
* 赤字は陥没事故前から、令和3年3月の有識者委員会報告書で追加・変更した項目

* 青字は令和3年3月の有識者委員会報告書から、追加・変更した内容

(8) 掘進管理システムにおける監視モニターの実タイム管理

・掘進管理システムの監視モニターでリアルタイムでの監視を強化する。

東名 JCT H ランプシールドトンネルの例



掘削土量 リアルタイム監視(参考)

(9) 掘進管理項目および掘進管理基準の新旧対比表

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	変更なし
		管理方法: モニターでリアルタイムで管理	
掘進速度	掘進速度	標準掘進速度: 30 mm/min	変更なし
		管理方法: モニターでリアルタイムで管理	
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
		-	ミニスランブ試験値: 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

* 赤字は陥没事故前から、令和3年3月の有識者委員会報告書で追加・変更した項目

* 青字は令和3年3月の有識者委員会報告書から、追加・変更した内容

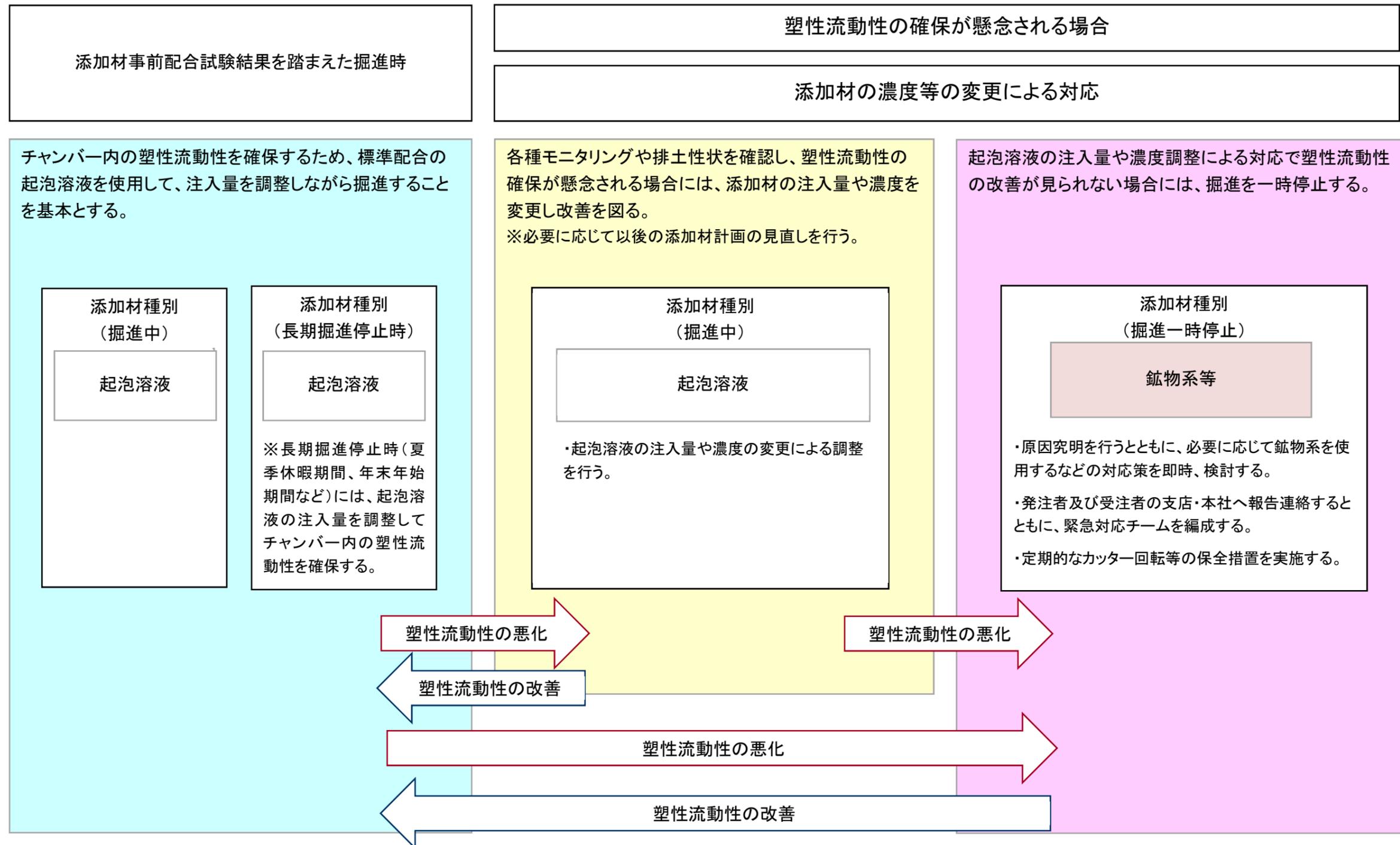
2.4. カッター回転不能(閉塞)時の対応

前記2.1.、2.2.、2.3.によりチャンバー内土砂の塑性流動性を改善させることでカッター回転不能を生じさせないよう対策を講じるが、万が一閉塞事象が発生した場合には、掘進を一時停止し、緊急対策チームを編成した上で、原因究明と地表面に影響を与えない対策を十分に検討する。また、閉塞解除後の地盤状況を確認するために、必要なボーリング調査等を実施する。

2. 5. 再発防止対策を踏まえた掘進管理

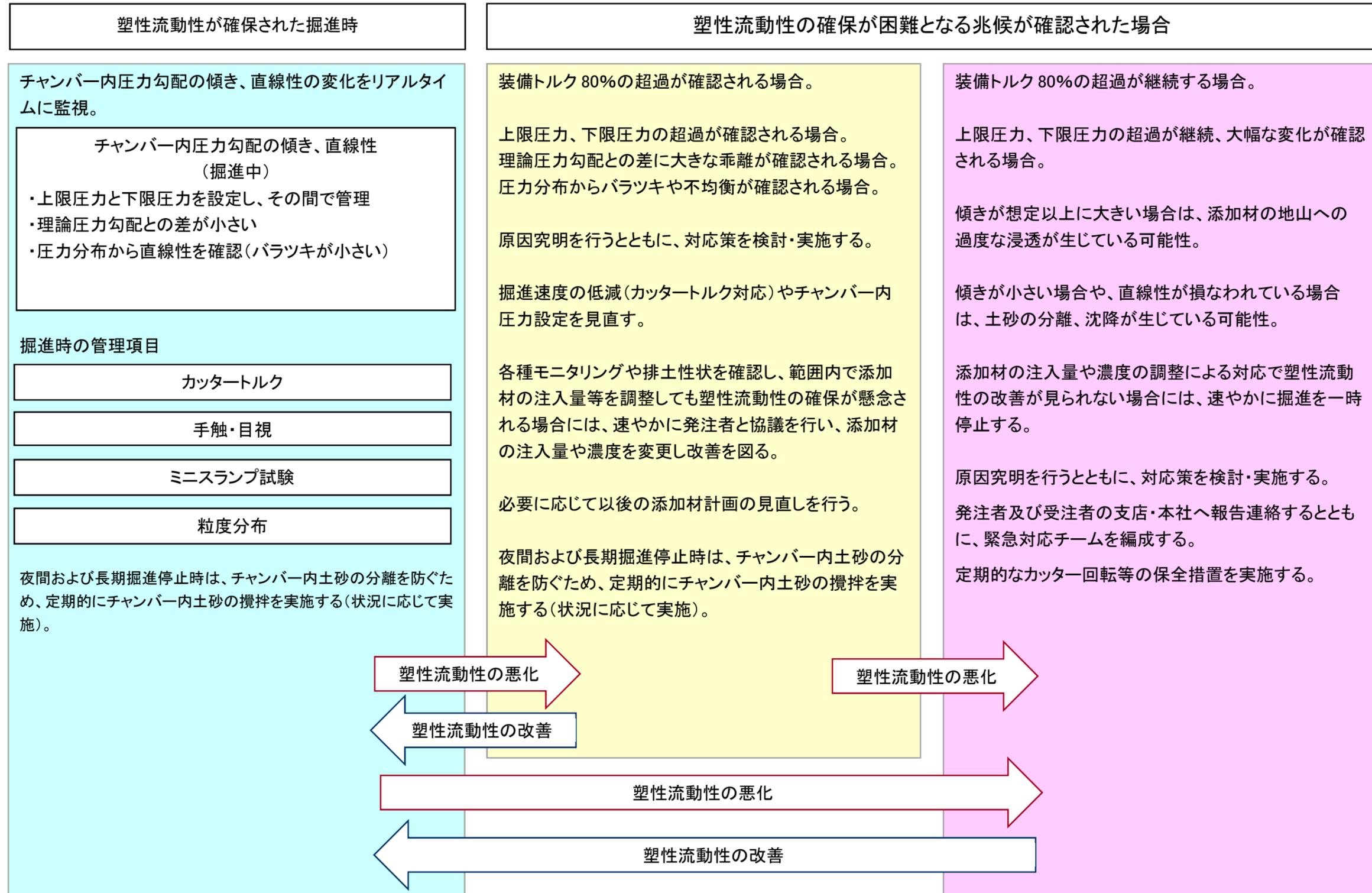
(1) シールド掘進地盤(北多摩層)に適した添加材の選定等

- 添加材事前配合試験結果を踏まえ、起泡溶液を使用して、注入量を調整しながら掘進することを基本とする。
- 各種モニタリングや排土性状を確認し、塑性流動性の確保が懸念される場合には、起泡溶液の注入量や濃度を変更し改善を図る。
- 起泡溶液の注入量や濃度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、掘進を一時停止し、鉤物系の使用などの対応策を即時、検討する。



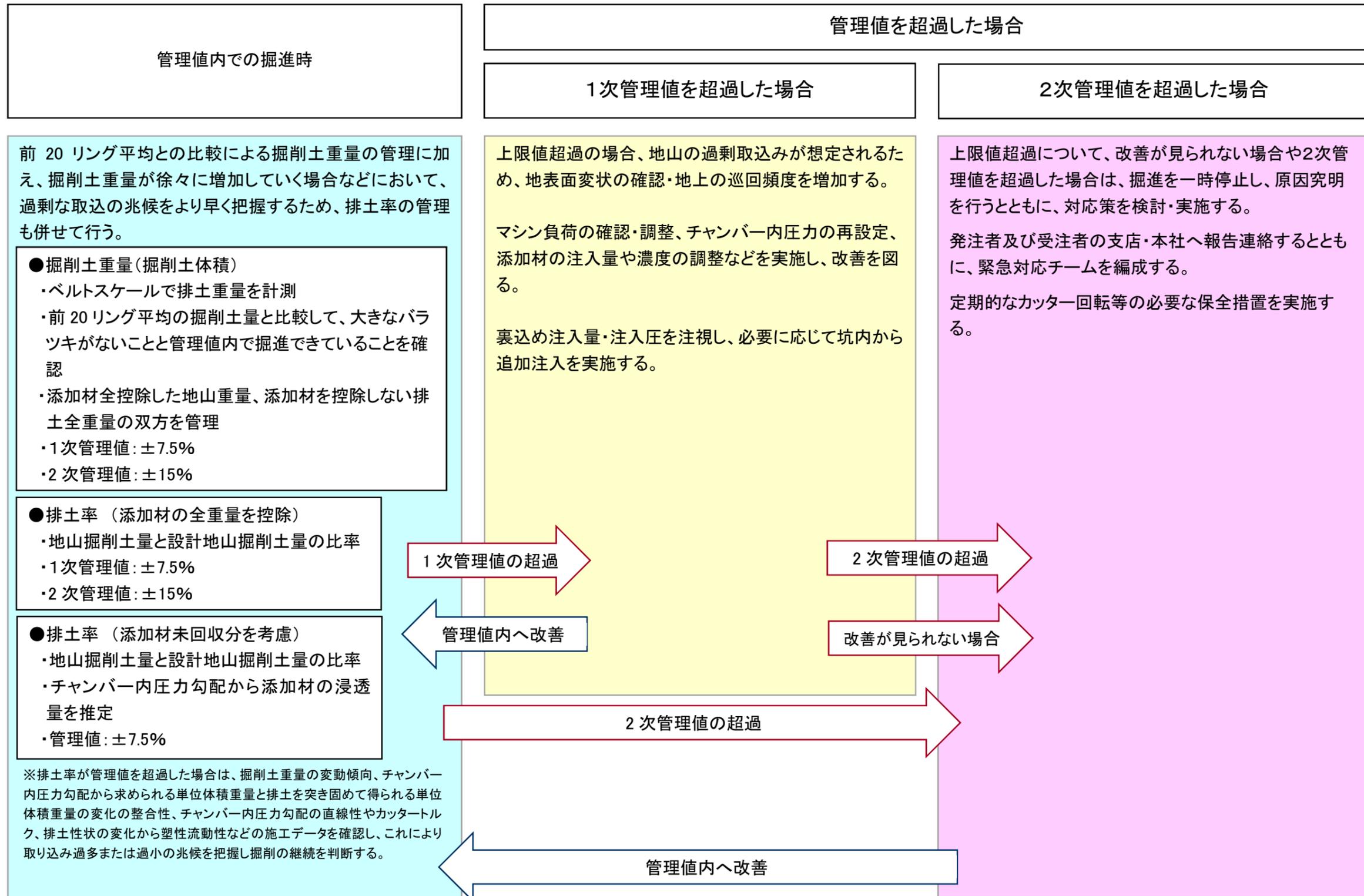
(2) 塑性流動性とチャンバー内圧力のモニタリングと対応

- 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カッタートルクやチャンバー内圧力勾配の変化を確認するとともに、手触・目視に加えミニスランプ試験及び粒度分布など排土性状の確認結果を踏まえ塑性流動性の確保について総合的に判断する。
- 各種モニタリングや排土性状を確認し、塑性流動性の確保が懸念される場合には、掘進速度の調整(カッタートルク対応)やチャンバー内圧力設定の見直し、添加材の注入量や濃度を調整し、改善を図る。
- 添加材の注入量や調整による対応で塑性流動性の改善が見られない場合には、速やかに掘進を一時停止する。



(3) 排土量管理

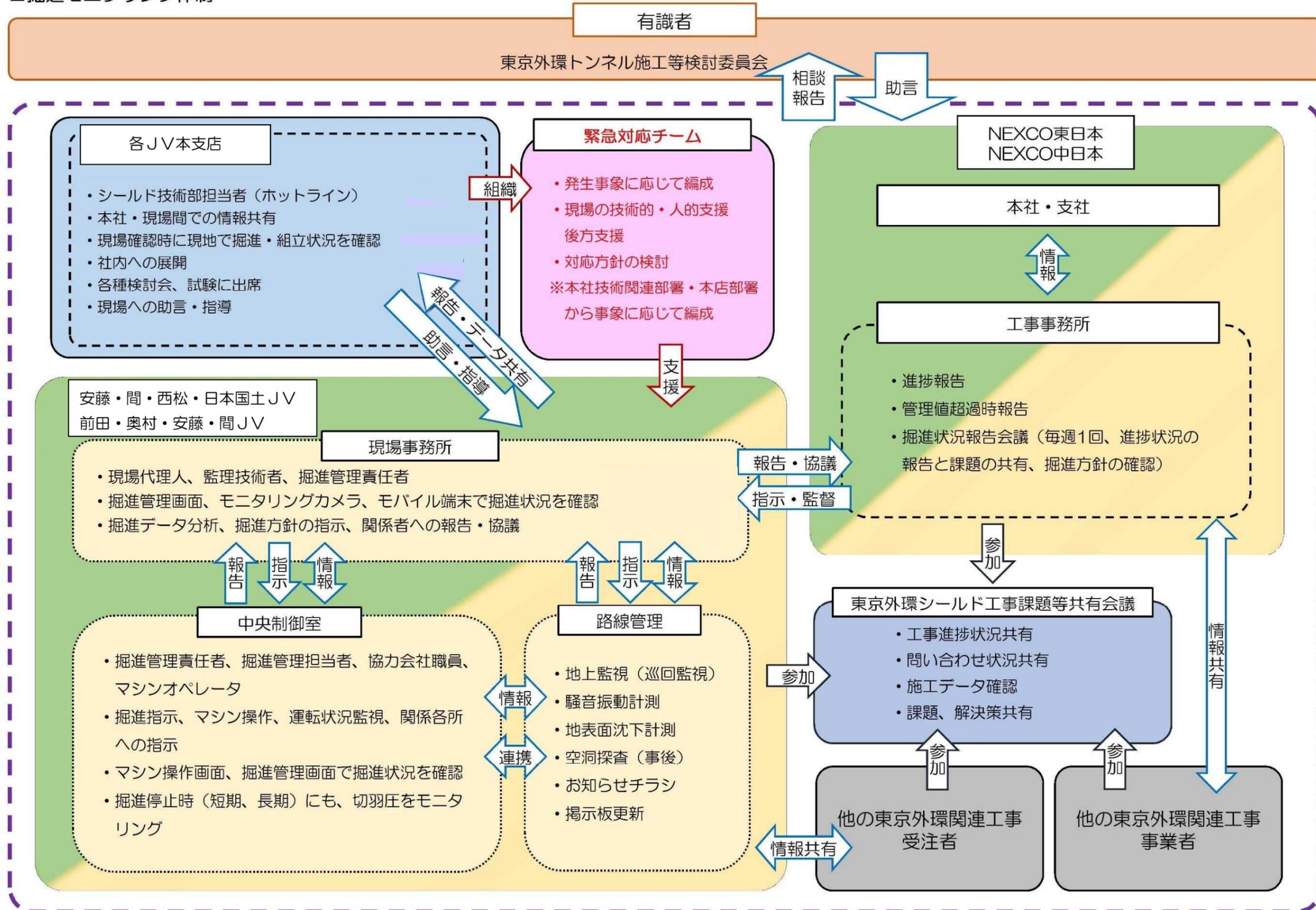
- 排土量管理の管理値について、他工事での実績を踏まえ、1次管理値を±7.5%、2次管理値を±15%と厳格化する。
- 管理項目は従来から実施しているベルトスケール重量による掘削土重量管理に加えて、ボーリングデータ等から推定した地山単位体積重量を用いて1リング毎に掘削土体積を算出し、実績値と理論値とを比較する排土率の管理も併せて行っていく。
- 上限値超過について、1次管理値を超過する場合は、マシンの調整や添加材の注入量や濃度の調整を行い、改善を図る。改善が見られない場合や2次管理値を超過する場合は、掘進を一時停止し、速やかに原因究明・対策検討を実施する。



(5) 施工管理データをモニタリングする体制

・再発防止対策に示す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、リング毎に各掘進管理項目を監視し、マシンの調整や添加材注入量の調整等を行い掘進する。
 また、受注者内部の施工状況のモニタリング体制を強化し、平時からの受発注者間の情報共有体制を構築するとともに、関係者への日々の掘進状況の定時報告等の情報共有を確実に実施する。
 なお緊急時には、速やかな状況確認や原因調査のための緊急対応チームを受注者内部に立ち上げるとともに、受発注者間で情報共有、協議を行いながら一体となって対応を図る。
 また、ランプシールドトンネル工事箇所での施工者による設計照査について、チェック体制の確認等も含め改めて発注者から受注者へ指示を行った。

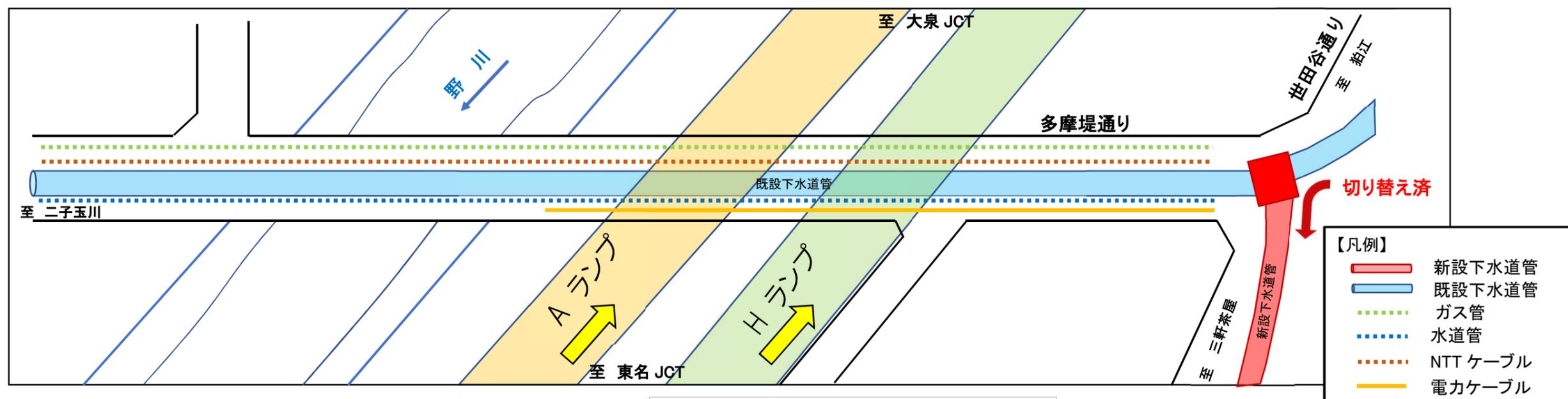
■掘進モニタリング体制



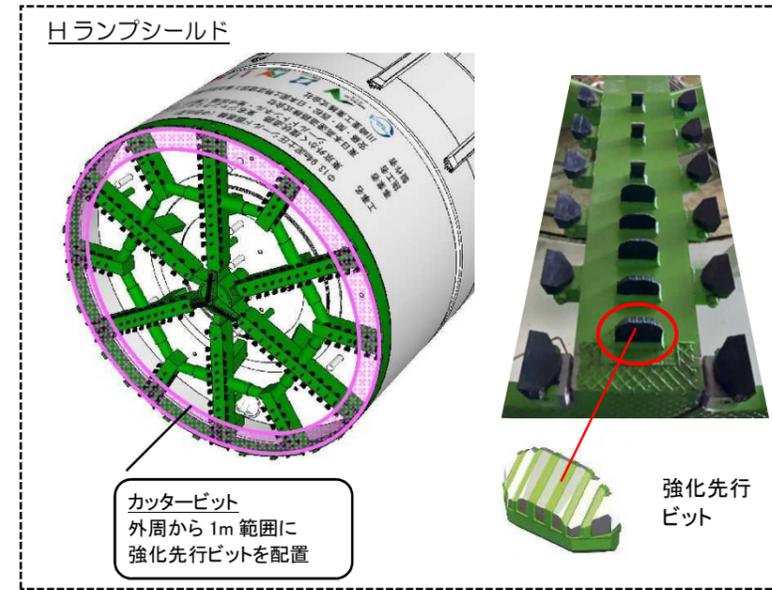
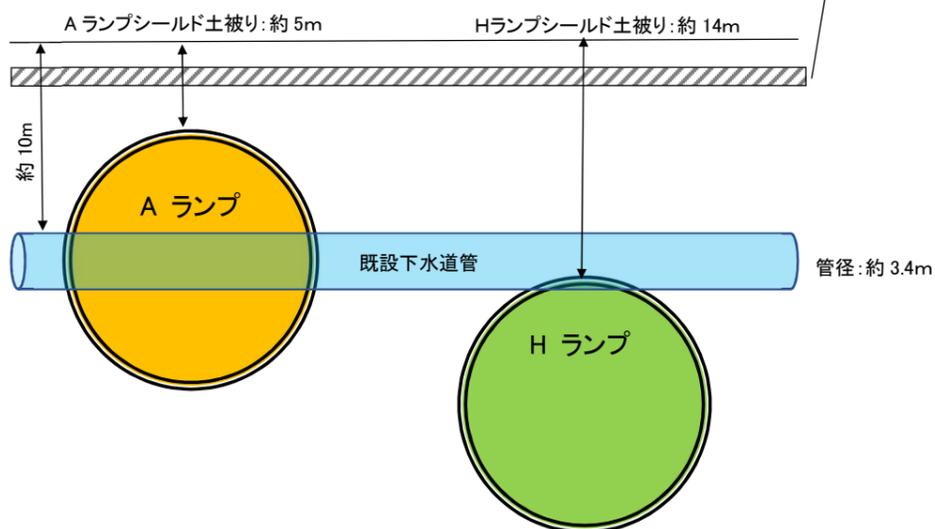
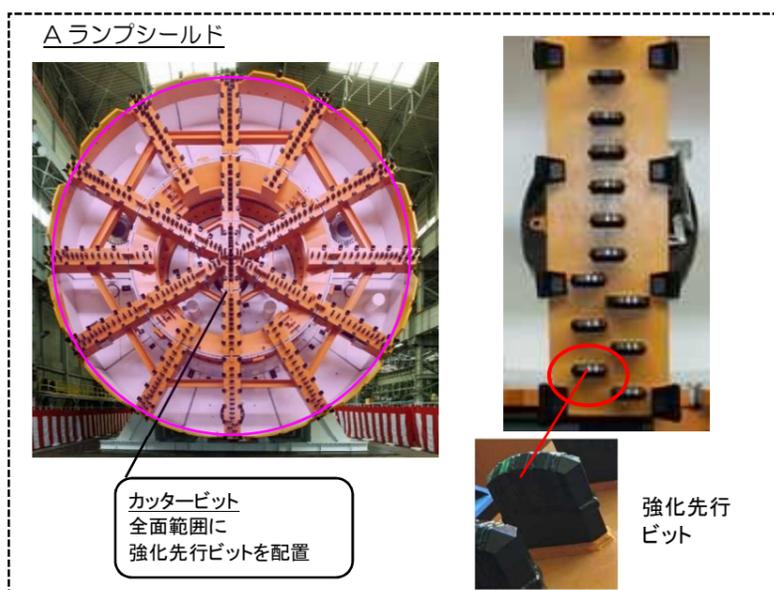
(6) 支障物への対応

東名 A・H ランプシールドトンネルは、都道多摩堤通りを小土被り(A ランプシールドトンネル:土被り約 5m、Hランプシールドトンネル:土被り約 14m)にて交差掘削する。都道多摩堤通りには、主要なライフラインが埋設されており、「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 令和 3 年 12 月 シールドトンネル施工技術検討会」に基づき、下水道管、ガス管、水道管、NTT ケーブル、電力ケーブル等の各ライフライン管理者の台帳による調査や、試掘等を行い正確な位置を把握し、支障となるライフラインについては、シールド掘進前に切り替え等による対応を行っている。

この切り替えを行った後に不要となった下水道管は、シールド掘進時に直接支障となるため、管内を充填材料で閉塞し、シールド掘進により管を直接切削して通過する計画とした。下水道管の切削時においては、掘進速度を調整し、振動・騒音の軽減に努め、地表面や振動のモニタリングを実施するなどの対策により、安全・安心なシールド掘進を行う。



複数の埋設物範囲(土被り:約1m)
下水道管(取込管)、ガス管、水道管、NTT ケーブル、電力ケーブル



3. 地域の安全・安心を高める取り組み

振動・騒音対策や地盤変状の確認、地域住民の方への情報提供、緊急時の運用の見直しについて、シールドトンネル工事に伴う地域の安全・安心を高める取り組みとして、陥没地域で実施した説明会や相談窓口等においていただいたご意見、沿線区市よりいただいた要請書等を参考に次のとおりとりまとめた。引き続き、沿線住民からの問い合わせ等に対し、適切に対応するとともに、不安を取り除くことに努めていく。



※1:状況に応じて実施
 ※2:設置箇所・手法は自治体と調整

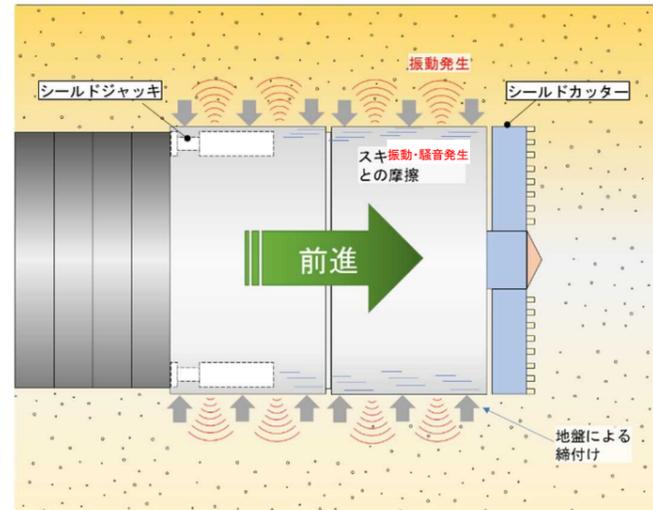
3. 1. 振動・騒音対策

3. 1. 1 振動・騒音の緩和

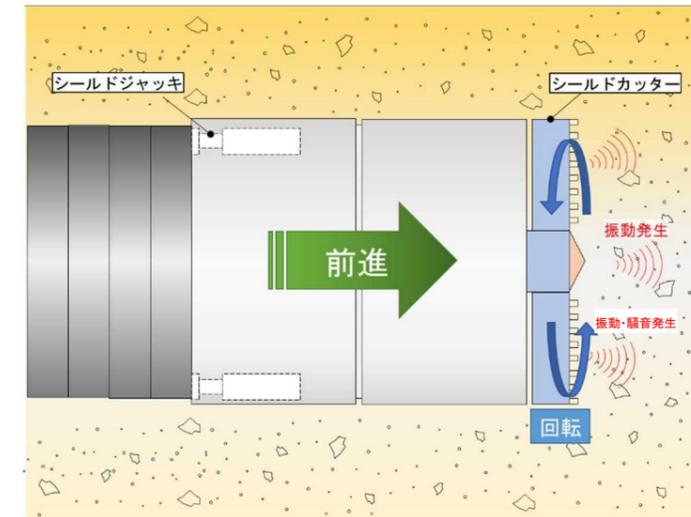
トンネル坑内で観測されたトンネル掘進に伴う振動のレベルは最大で震度0相当(約4.5gal、62dB)であり、十分小さいものとなるが、今回の陥没・空洞発生箇所周辺は振動・騒音が減衰せず地上に伝搬しやすい地盤であったと考えられ、振動・騒音や低周波に対するお問い合わせを多くいただいた。今後の掘進においては、振動・騒音対策を地域の安全・安心を高める取り組みの一部として実施していく。

(1) 想定される振動・騒音発生メカニズム

1. 前進する際に、シールドマシンのスキンプレートと周辺の土砂の摩擦から発生する振動・騒音



2. シールドマシンのカッターヘッドで、地山を削り取る際に発生する振動・騒音



- ◆ 東つつじヶ丘周辺では、礫が卓越して介在し、単一の砂層が地表面近くまで連続しており振動・騒音が地上に伝達しやすい地盤であったと考えられる。
- ◆ 東つつじヶ丘周辺では、細粒分が少なく均等係数が小さい自立性が乏しい地盤であり、砂礫によるマシンの締付けが大きかったと考えられる。

(2) 振動・騒音抑制対策

- ・ スキンプレートと地山との間に滑剤を充填することにより摩擦低減。
- ・ 掘進速度の調整によりカッターヘッドが土砂礫を削り取る際の振動・騒音を緩和。(状況に応じて実施)

◆ 滑剤

摩擦の低減効果が大きい安定性に優れた材料を選定。

材料	①鉱物系 淡黄色粉体	②水溶性高分子系 乳白色～淡黄色液体
外観		
比重	2.5～2.7	1.02～1.08(25℃)
pH	9.0～11.0(2%懸濁液)	6.0～8.0(1%液)
特徴	持続性が高く、継続的な摩擦低減効果が期待できる	粘性土において、摩擦低減効果が期待できる

滑剤例

(3)スキンプレート周囲の滑剤の振動抑制効果の室内実験

① 目的

東名側から発進するシールドが主として掘進する北多摩層において、シールド掘進時に振動が生じた場合にスキンプレートと地山との間に滑剤を充填することで振動が抑制されるか、近隣他工区で採取した北多摩層の試料土を用い室内実験で検証した。

② 実験の原理

本実験は、载荷体(鋼製ケーシング)を上部より垂直荷重を作用させた状態で、地盤供試体を入れた容器を回転させながら载荷体を貫入させることで、地盤供試体と载荷体間に摩擦を発生させ、回転時の振動を測定する。また、载荷体(鋼製ケーシング)は実験中に滑剤を連続して注入できる仕様になっている。

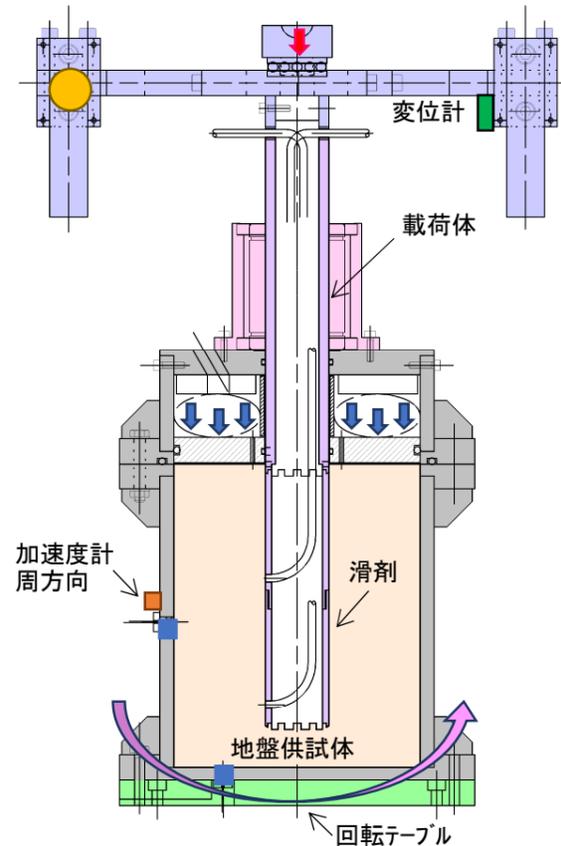
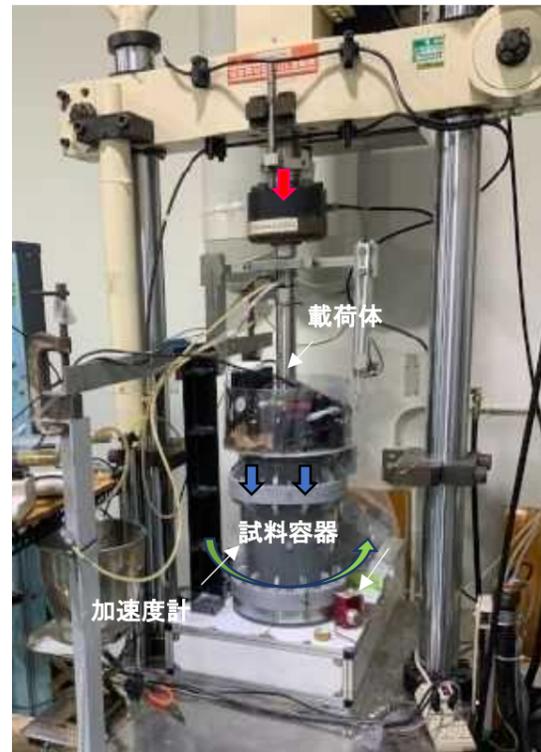


図1 試験装置

③ 測定項目

測定項目を以下に示す。

加速度計：試料容器の振動を測定

荷重計：载荷体と地盤供試体との回転力(摩擦力)を測定

変位計：载荷体の鉛直方向の変位を測定

④ 地盤供試体

近隣他工区で採取した北多摩層(固結シルト)の試料土を使用し、シールド掘削土を模すよう地盤供試体を作成した。(表1)

表1 地盤供試体

粒度構成 (%)						湿潤密度 (g/cm ³)	自然含水比 (%)
細礫分 4.75~ 2mm	粗砂分 2~ 0.85mm	中砂分 0.85~ 0.25mm	細砂分 0.25~ 0.075mm	シルト分 0.075~ 0.005mm	粘土分 0.005mm ~		
0.1	0.4	2.9	29.4	49.6	17.6	1.809	27.6

⑤ 試験ケース

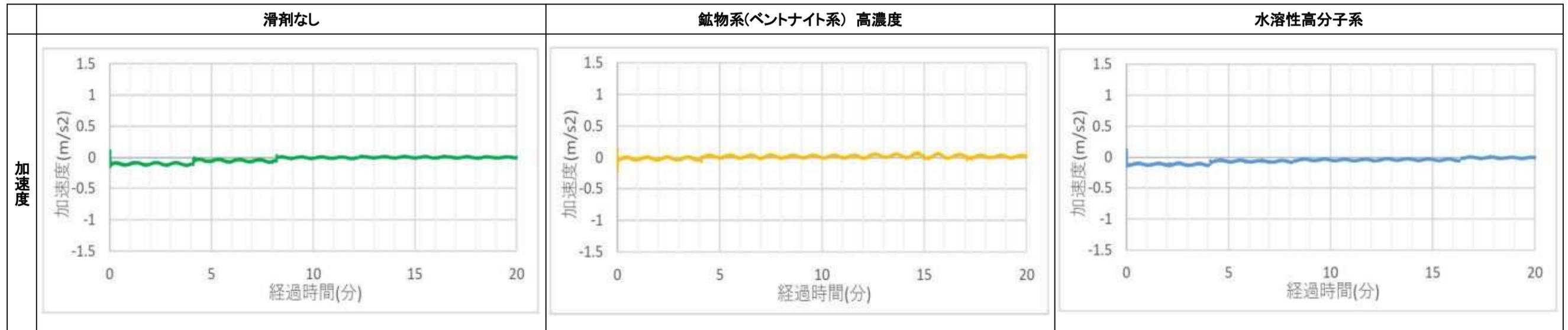
試験ケースを表2に示す。試験ケースは、滑剤なしと2種類の滑剤の合計3ケースについて試験を実施した。

表2 試験ケース

試験ケース	ケース1 滑剤なし	ケース2 鉱物系(ベントナイト系) 高濃度	ケース3 水溶性高分子系
種別		淡黄色粉体	乳白色~淡黄色液体
外観			
特徴		持続性が高く、摩擦低減効果が期待できる。濃度が濃く地下水の影響を受けにくい	粘性土において、摩擦低減効果が期待できる

⑥ 実験結果

スキンプレートと周辺の土砂の摩擦による振動の発生レベルは滑剤の使用の有無にかかわらず小さい結果となった。なお、実験結果に示す加速度(振動)は、本実験装置により計測した計測値であり、実際の掘進時に発生する振動値を示すものではない。



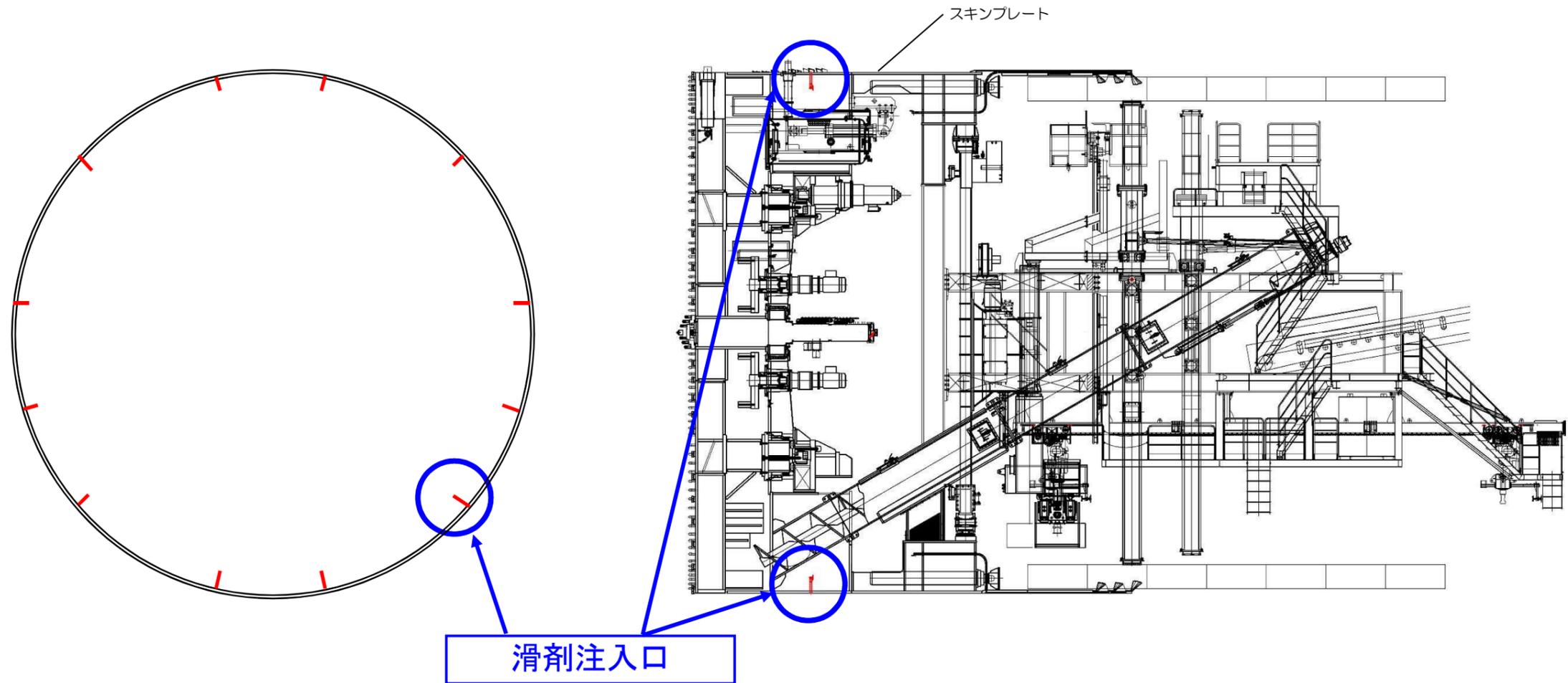
⑦ 振動・騒音対策のまとめ

- シールドマシンが前進する際に地山との摩擦によって生じる振動・騒音については、室内試験では大きな振動の発生は確認できなかった。一方、他の地盤(舎人層)での室内試験では滑剤の効果が確認できている(※)ことから、掘進の際は、不測の振動発生に備え滑剤をいつでも注入できる設備を準備しておく。
※第23回 東京外環トンネル施工等検討委員会にて確認
- 掘進する際にカッターヘッドから発生する振動・騒音については、掘進速度の調整など状況に応じて実施していく。
- シールド掘進時の振動・騒音レベルを注視しながら滑剤の使用、掘進速度の調整などを総合的に判断し、振動・騒音の抑制を図る。

(4)東名 JCT ランプシールドトンネル工事での対応状況

シールド掘進に伴う振動・騒音発生時の抑制対策の対応として、以下を準備するなどの対応を実施する。

- ・スキンプレートと地山との間に滑剤をいつでも充填できる設備を搭載
- ・掘進速度の調整



3. 1. 2. 振動・騒音のモニタリングの強化

地上部での振動・騒音のモニタリングを強化する。具体的には、シールドマシン直上付近で簡易計測器を用いて振動・騒音を測定し、瞬間値を現地に電光掲示板で表示する。また、振動測定の取組みについて頻度を概ね 100m 間隔で実施することとしたほか、測定結果をホームページと現地付近の掲示板にて公表する。

<振動・騒音のモニタリングの強化 一覧>

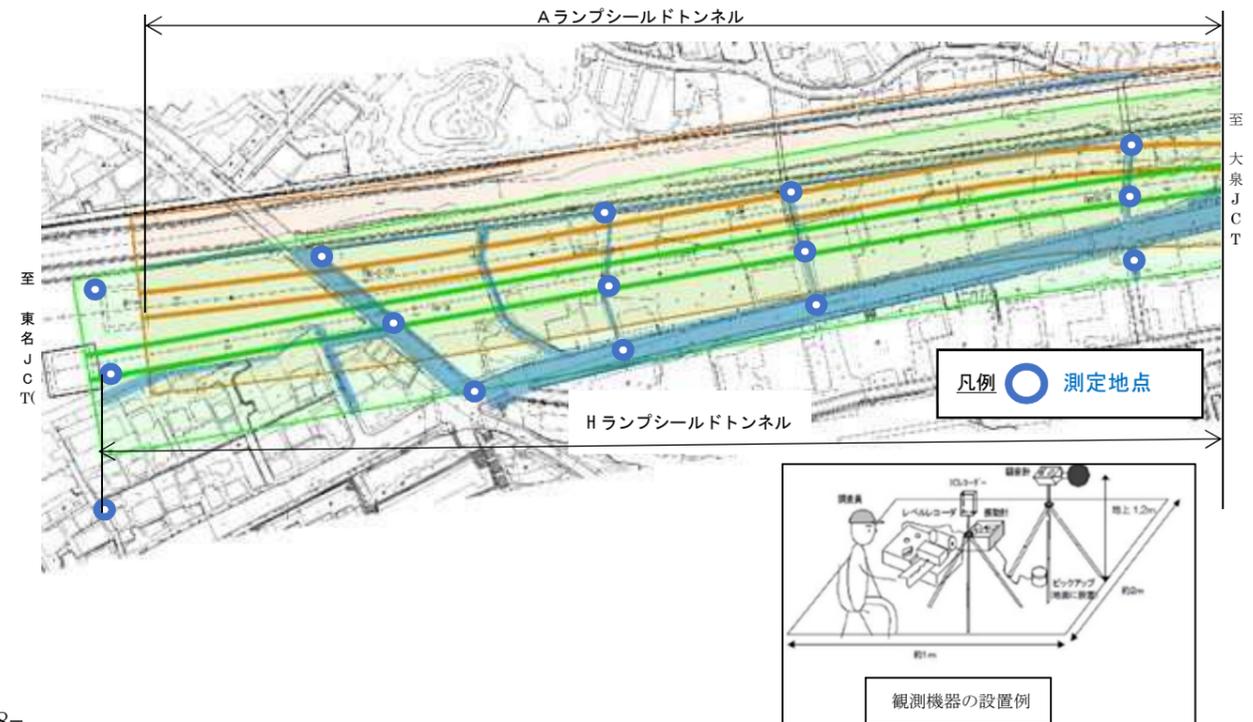
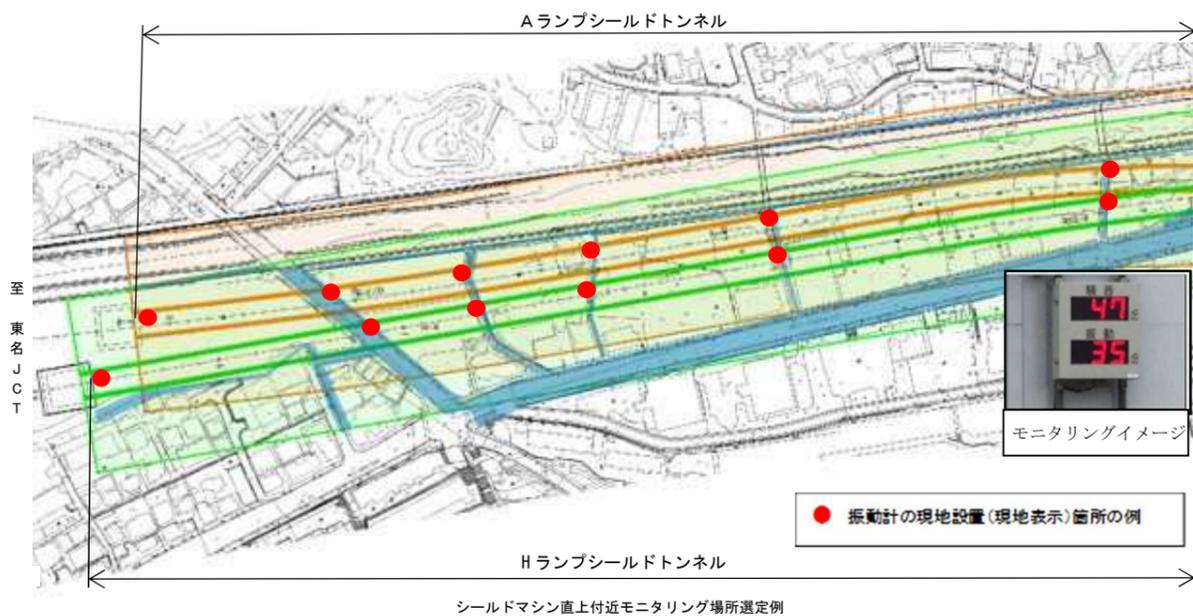
	① 簡易計測値	② 速報値	③ 確定値
測定位置	掘進進捗に合わせてシールドマシン直上付近の公共用地で 1 点(振動・騒音)	シールドマシン直上付近と影響範囲端部付近の公共用地で断面方向 3 点(振動・騒音) シールドマシン直上付近の公共用地で 1 点(低周波)	
測定頻度	掘進稼働日	トンネル縦断方向に概ね 100m 間隔	
測定内容	振動レベル(鉛直Z方向)、騒音レベル	振動レベル(鉛直Z方向)、騒音レベル、低周波レベル	
測定時間	9 時～17 時	中間掘進中、停止中	
公表値	瞬間値 振動レベル 瞬間値 騒音レベル ※特異値(例:大型車両通過に伴う振動、緊急車両サイレンなど)を含む値	公表値 振動レベル L10(シールドマシン直上付近の 1 点) 公表値 騒音レベル LA5(シールドマシン直上付近の 1 点) た値 ※特異値(例:大型車両通過に伴う振動、緊急車両サイレンなど)を除去した値	公表値 振動レベル L10 公表値 騒音レベル LA5 公表値 低周波レベル L50、LG5 ※特異値(例:大型車両通過に伴う振動、緊急車両サイレンなど)を除去した値
情報提供	電光掲示板(測定位置)で瞬間値を自動掲示 掘進の進捗に合わせて、日ごとに配置位置を移動	現地付近の掲示板等に掲示	ホームページと現地付近の掲示板等に掲示

<シールドマシン直上付近でのモニタリング(簡易計測)>

- 測定場所: シールドマシン直上付近の公共用地 1 箇所にて定点計測
掘進の進捗に伴い 1 日ごとに計測点を移動
※荒天時及び道路状況により測定不可となる場合あり
- 測定期間: シールド掘進稼働日の 9 時～17 時に計測を実施
- 測定内容: Z 方向振動レベル、騒音レベル
- 情報提供: 電光掲示板で瞬間値を自動掲示
※上記には特異値(例:大型車両通過に伴う振動、緊急車両サイレンなど)を含む値

<計測頻度の見直し、速報値・確定値の公表>

- 測定場所: トンネル縦断方向に概ね 100m 間隔の公共用地にて、
断面方向 3 点(シールドマシン直上付近・影響範囲端部)で定点計測
- 測定期間: シールドマシン通過時の昼間掘進中および停止時
- 測定内容: Z 方向振動レベル、騒音レベル、低周波レベル
- 情報提供: 速報値: 現地付近の掲示板等に掲示
確定値: 現地付近の掲示板等及びホームページに掲示
※上記には特異値(例:大型車両通過に伴う振動、緊急車両サイレンなど)を除去した値

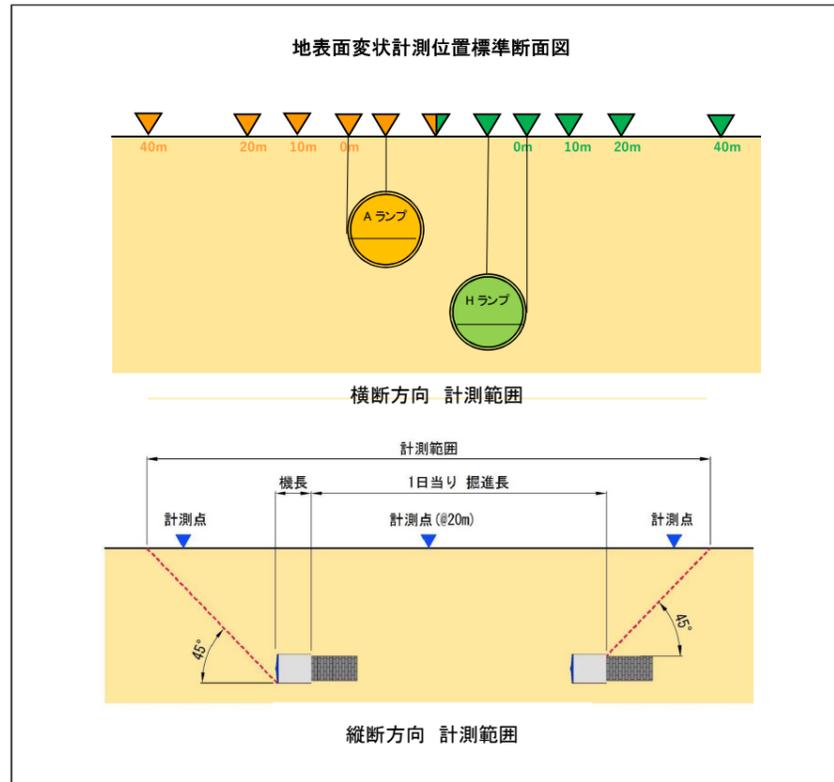


3.2 地表面変状の確認

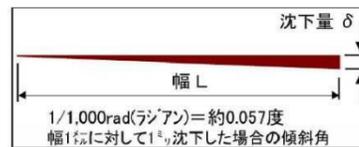
3.2.1 地表面変状の把握

(1) シールド掘削に伴う地表面計測

- ・交差する公道上において水準測量により地表面変位を確認する。シールド通過まで1回/日、通過後1回/月の頻度で変位が収束するまで計測する。
- ・最大地表面傾斜角と鉛直変位をホームページや現場付近に設置する掲示板にて1回/週の頻度で変位が収束するまで定期的に公表する。



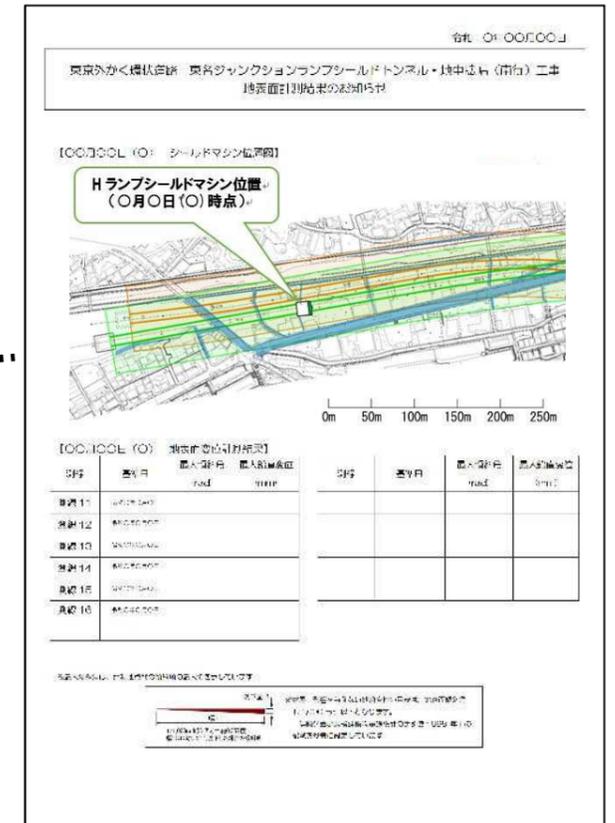
地表面変状は掘進前後の最大地表面傾斜角(1,000分の1rad以下)により管理する。



地表面傾斜角 1,000 分の 1rad 以下とは家屋に影響を与えない地盤変位の目安である。「建築学会小規模建築物基礎設計の手引き 1998 年」の記載を参考に設定。



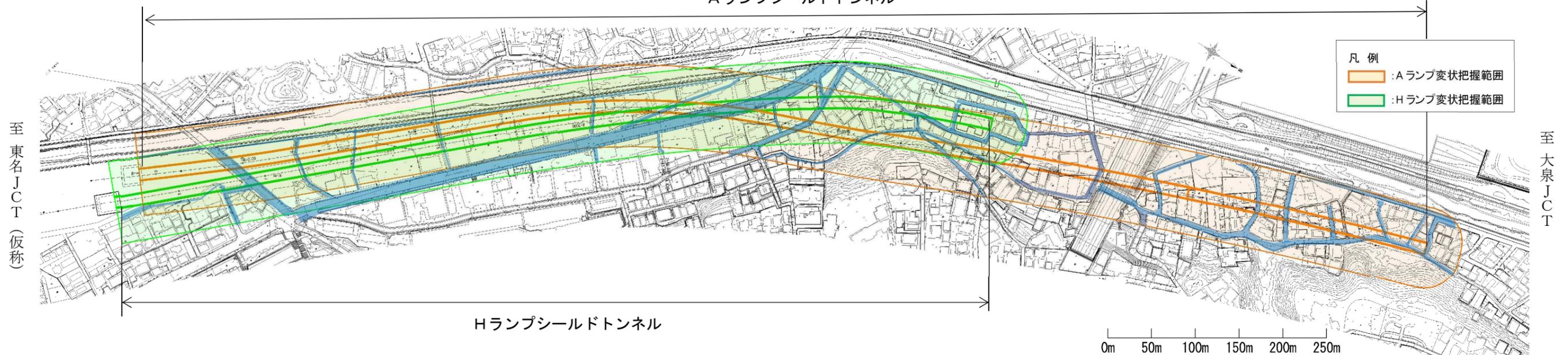
掲示板での情報提供イメージ



掲示・HP イメージ (東名 JCTA・H ランプシールドトンネル)

地表面変状の確認・把握範囲

A ランプシールドトンネル



(2)GNSS・合成開口レーダー・3D点群データ

GNSSや合成開口レーダーを活用し、掘進完了区間の地表面変位の傾向を継続して把握する。更には、今後掘進する区間においても掘進前に地表面変位の傾向を把握する。GNSS測量の実施にあたり、数百メートル単位で固定観測点を設置する予定であり、固定観測点の位置や観測開始等の詳細については、今後、関係機関との協議を実施する。また、新たに3D点群データの計測を実施する。

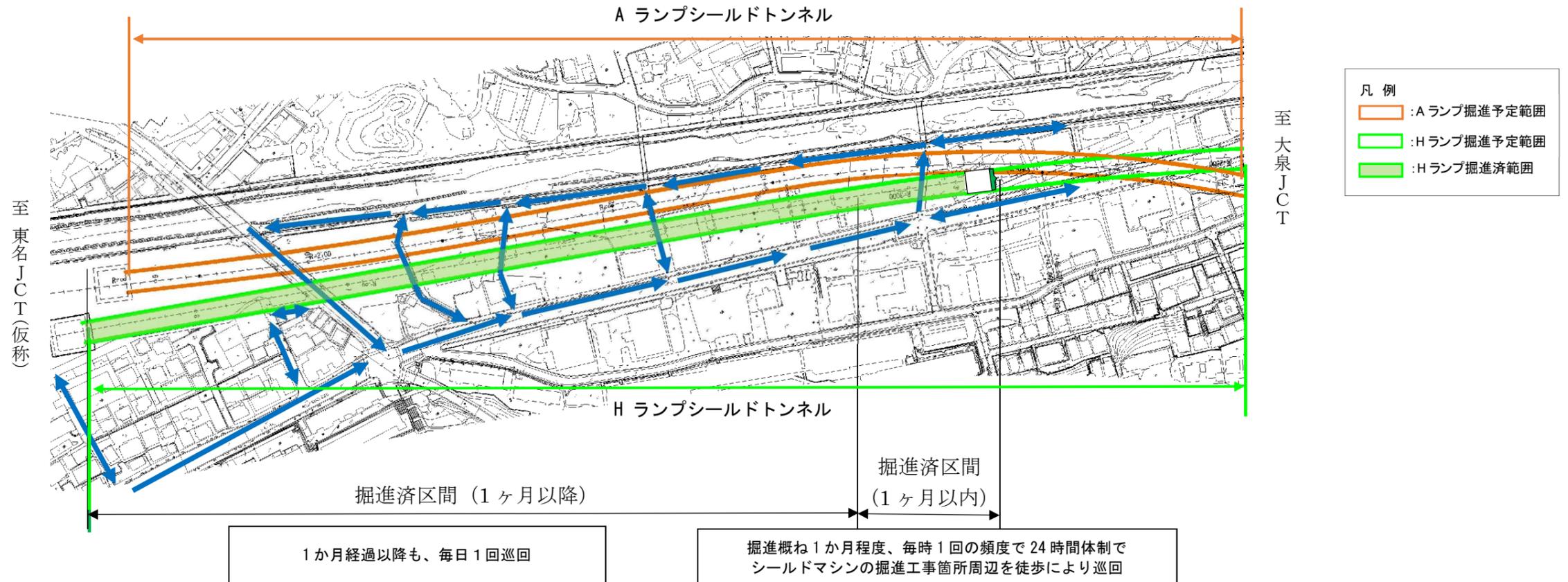


3D 点群データ調査イメージ

3. 2. 2. 掘進完了区間における巡回監視の強化

シールド掘進中は、事業者・工事関係者がシールドマシンの掘進工事箇所周辺で、異常が生じていないか確認するため、掘進時及び掘進後概ね1か月程度は毎時1回の頻度で24時間体制でシールドマシンの掘進工事箇所周辺を徒歩等により監視員が巡回し、更に、1か月経過以降も掘進完了区間については、毎日1回の頻度で巡回を実施する。《巡回パーティー強化》

巡回監視の範囲(例)



巡回員

3. 3. 地域住民の方への情報提供

3. 3. 1. 自治体と連携した路面下空洞調査の実施

- ・今後掘進する区間の安全を確認するため、公道を対象に「路面下空洞探査車(車載型レーダー)」を用いて、掘進前及び掘進後に空洞の有無を調査する。
- ・調査は空洞探査車の走行(狭隘部は作業員によるハンディ型地中レーダーの探査機使用)により実施。
- ・調査完了後は、道路管理者等と協議を行い、必要な対応を行っていく。



路面下空洞探査車(車載型レーダー)



ハンディ型地中レーダー

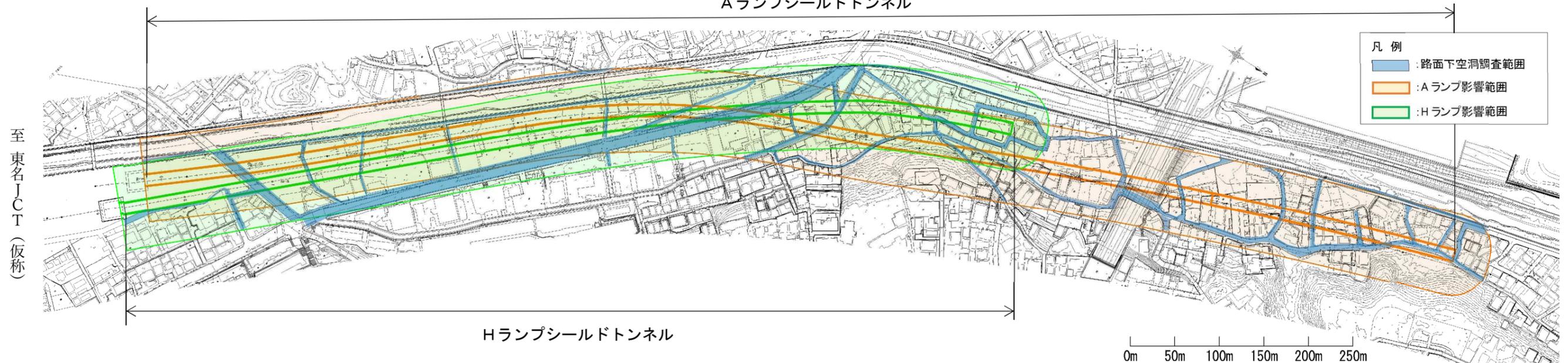


路面陥没発生の可能性評価基準図

(出典: 空洞判定実施方針(案) 平成 22 年国土交通省北陸地方整備局北陸技術事務所)

路面下空洞調査範囲図

Aランプシールドトンネル



Hランプシールドトンネル

3.3.2. シールド工事の掘進状況、モニタリング情報の提供

地域住民の方への情報提供として、シールド工事の掘進状況及びモニタリング情報の提供を行う。具体的には、①工事のお知らせの配布頻度の見直し、②ホームページや現場付近の掲示板を用いたシールド工事の掘進状況や計測結果のお知らせ、③施工データの適切な公表、④シールドマシン直上付近での振動・騒音の値の公表および掘進位置の目印の設置、⑤陥没箇所周辺等における現場事務所の設置を行う。

<工事のお知らせの配布頻度>

○シールド通過前1ヶ月に加え、通過前1週間、通過後1ヶ月にもお知らせ配布を実施。

<掲示板を用いた情報提供>

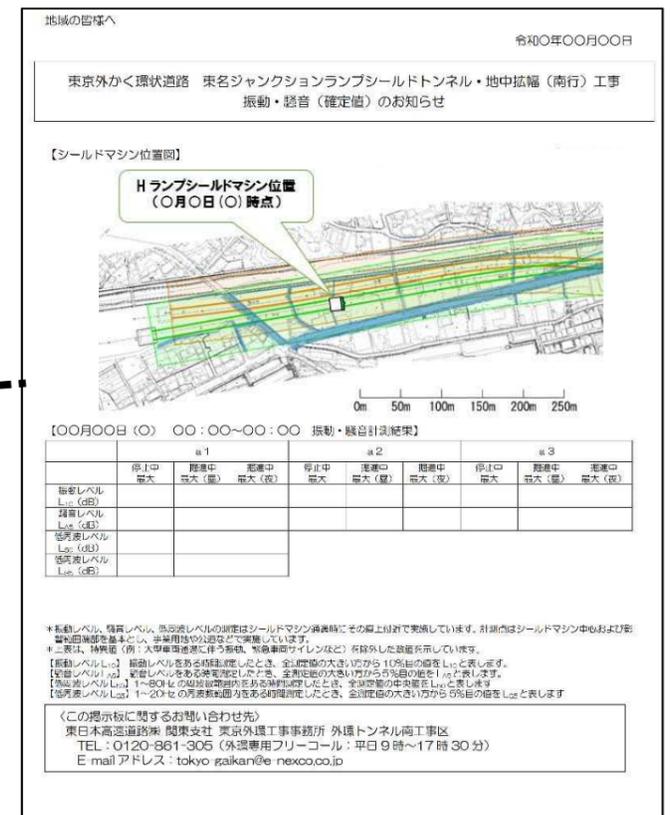
- 実施場所：東京外環事業ホームページに加え、地域の掲示板を活用
(地域の掲示板は、今後自治体や自治会が管理する既存のものを利用する予定)
- 情報提供の内容：
 - ・ シールドマシン位置(掘進進捗)
 - ・ シールドマシン直上付近での振動・騒音計測結果
 - ・ 地表面変位の最新状況
 - ・ 振動・騒音・地表面変位の計測地点

<施工データの公表>

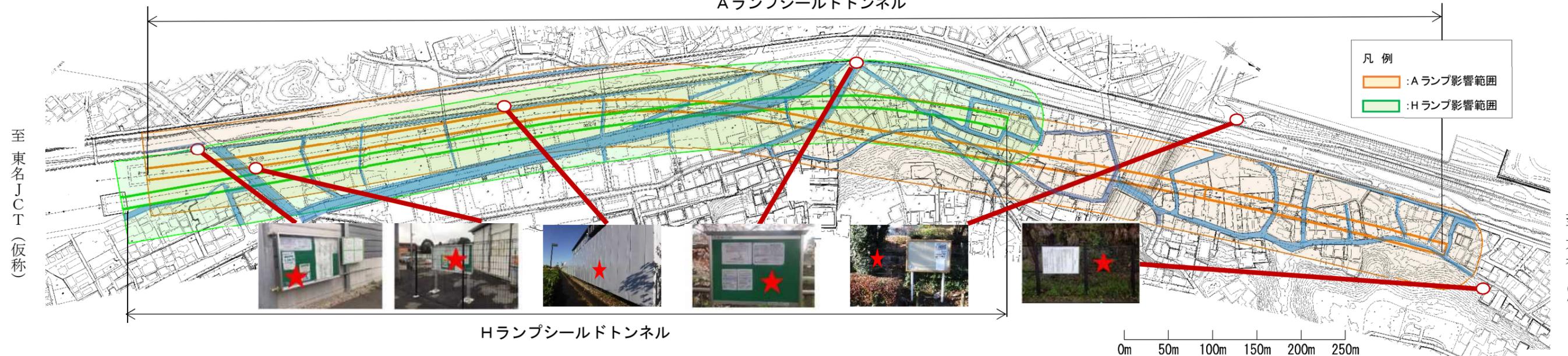
○施工データについて、東京外環トンネル施工等検討委員会において確認後適切に公表していく。



掲示板での情報提供イメージ



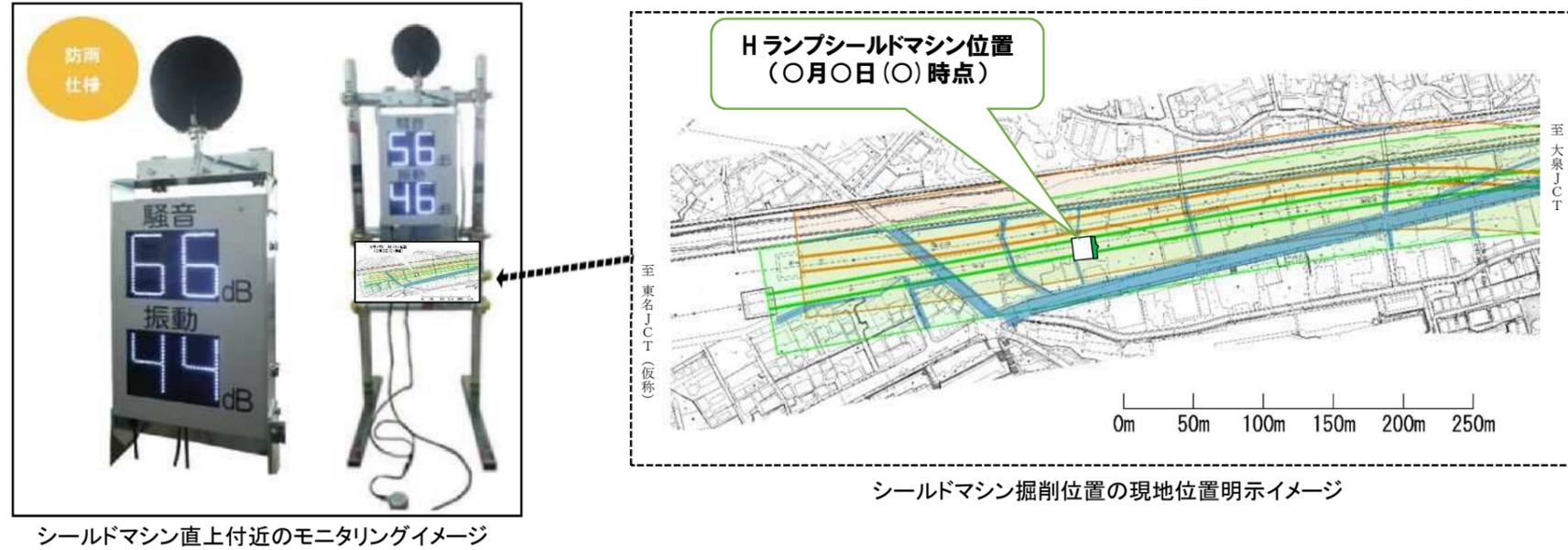
Aランプシールドトンネル



地域掲示板の選定例(東名 JCTA・Hランプシールドトンネル)

<モニタリング情報の公開及びシールドマシン掘進位置の明示>

- シールドマシン直上付近での振動・騒音のモニタリングについて、計測場所に電光掲示板を配置し振動・騒音のリアルタイムな値を表示。
- シールドマシン掘進位置を周辺地域住民にお伝えするため、上記の振動・騒音モニタリング表示と併せて目印を現地表示。



<現場事務所の開設(対応例)>

○陥没箇所周辺において、被害に関する補償や緩んだ地盤の補修工事などについてのご相談やご意見を周辺地域住民からお受けするための現場事務所として、相談窓口を令和3年4月に開設。

3.4. シールドマシン停止に伴う保全措置

- 掘進に伴う坑内設備(ベルトコンベヤーやセグメント運搬車軌道等)の延伸などの設備段取り替えやシールド機の設備トラブルなどにより、掘進が一時停止する際に、以下の事項を実施する。
- ・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。
 - ・長期掘進停止時は、塑性流動性を保つため事前に起泡溶液の注入量や濃度の変更による調整を行い、水準測量及び巡視により地表面変位の監視を強化。※長期掘進停止時とは、7日を超える掘進停止を想定

3.5. 「トンネル工事の安全・安心確保の取組み」の見直し

○「トンネル工事の安全・安心確保の取組み」について、陥没・空洞事象発生時の対応や、振動・騒音対策等上記の“地域の安全・安心を高める取り組み”を追加し、説明会等により周知するとともに、確実に実施する。

令和3年4月15日

東京外かく環状道路『つつじヶ丘相談所』の開設について

平素より、東京外かく環状道路事業にご理解とご協力いただきありがとうございます。調布市東つつじヶ丘2丁目付近において、地表面陥没や地中の空洞が確認され、外環道沿線にお住まいの皆様にはご心配、ご迷惑をおかけしております。令和3年1月から3月に掛けて、陥没・空洞箇所周辺にお住まいの方を対象とした、被害に関する補償や緩んだ地盤の補修工事などについてのご相談やご意見をお受けする「相談窓口」をつつじヶ丘児童館ホール等で不定期に開催(全18回)してきました。このたび、常設の相談窓口として、『つつじヶ丘相談所』を開設することいたしましたので、お知らせいたします。

●開設日時: 令和3年4月19日(月) 午前10時から
●場 所: 東京都調布市東つつじヶ丘2丁目30-4 (YSコア 地下1階)

相談ブース

●運営について

- 開 所 日: 毎週月曜日から金曜日(祝祭日は休み)
- 開所時間: 午前10時~午後5時まで(ただし、午後0時~午後1時は除く)
- 新型コロナウイルス感染拡大防止やプライバシー保護の観点から、事前予約にご理解ご協力をお願いします。
- 事前予約のない方も当日お受けいたします。その場合、事前予約の方が優先となりますので、お待ちいただく事がございます。あらかじめご了承ください。

(事前予約・お問合せ) TEL 03-5969-9185

【専用フリーダイヤル】
地表面陥没事象における補償等に関するご相談については、下記番号でもお受けしております。

- ・ 東日本高速道路㈱ 関東支社 東京外環工事事務所
- ・ TEL: 0800-170-6186 (フリーダイヤル)
- ・ 受付時間: 平日 9:00~17:30

現場事務所の開設のお知らせのイメージ

2021年3月版

東京外かく環状道路
(関越~東名)

トンネル工事の
安全・安心確保の取組み

東日本高速道路株式会社
東京外かく環状道路事業部

東日本高速道路株式会社
関東支社 東京外環工事事務所

東日本高速道路株式会社
国土交通省 国土院 国土院 国土院

東京外環プロジェクト

「トンネル工事の安全・安心確保の取組み」パンフレット