

第 23 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
＜中央 JCT 北側 AHランプシールドトンネル＞

令和3年12月24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」を受け、事業者が中央 JCT 北側AH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、令和3年12月に「シールドトンネル施工技術検討会」でとりまとめられた「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、中央 JCT 北側AH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」をとりとまとめたので、以下のとおり報告する。

目 次

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	1～ 3
1-1	シールド掘進地盤に適した添加材の選定等	4～11
1-2	塑性流動性とチャンバー内圧力のモニタリングと対応	12～14
1-3	排土量管理について	15～23
1-4	カッター回転不能(閉塞)時の対応	23
1-5	再発防止対策を踏まえた掘進管理	24～28
2.	地域の安全・安心を高める取り組み	29
2-1	振動・騒音対策	30
2-1-1	振動・騒音の緩和	30～32
2-1-2	振動・騒音のモニタリングの強化	33
2-2	地表面変状の確認	34
2-2-1	地表面変状の把握	34～35
2-2-2	掘進完了区間における巡回監視の強化	36
2-3	地域住民の方への情報提供	37
2-3-1	自治体と連携した路面下空洞調査の実施	37
2-3-2	シールド工事の掘進状況、モニタリング情報の提供	38～39
2-4	シールドマシン停止に伴う保全措置	39
2-5	「トンネル工事の安全・安心確保の取り組み」の見直し	39

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

○推定メカニズム

〈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小に評価され、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。

○掘削土砂を分離・沈降させない、閉塞させない対応

- ・一定時間にわたり掘削土砂の塑性流動性・止水性を確保

○過剰な土砂取込みを生じさせない対応

- ・切羽を緩めない対応
- ・添加材の未回収傾向を把握
- ・排土量管理の強化

【万が一、閉塞が生じた場合】

○切羽を緩めない対応

（掘進前）

① シールド掘進地盤に適した添加材の選定等

- ・細粒分が少なく、均等係数が小さいなどの地盤については追加ボーリングを実施。
- ・土質調査結果を踏まえ、事前配合試験を実施し、添加材を選定。

1-1

（掘進中）

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

- ・チャンバー内圧力勾配などをリアルタイムに監視。
- ・手触に加え、都度、試験により排土性状を確認。
- ・適正なチャンバー内圧力の設定。

1-2

（掘進中）

③ 排土管理の強化

- ・これまでの排土管理に加えて、より厳しい管理値や気泡材を控除しない新しい管理項目を設定。
- ・管理値を超過した場合には、添加材の種類変更等の対応を適切に実施。

1-3

④ カッター回転不能（閉塞）時の対応

- ・安全のための必要な措置を実施した上で、工事を一時中断し、原因究明と地表面に影響を与えない対策を十分に検討。
- ・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。

1-4

■ 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ました。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。

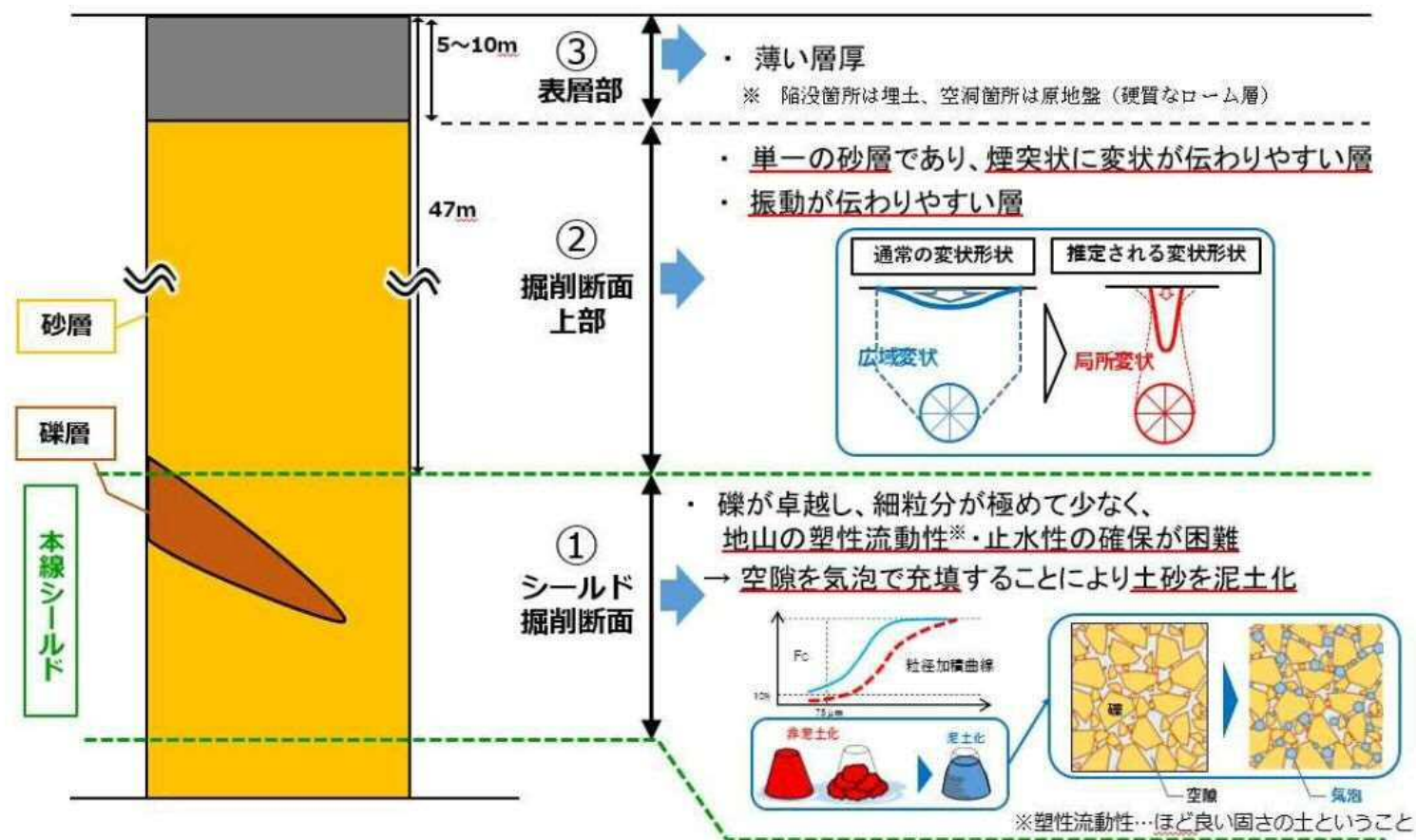
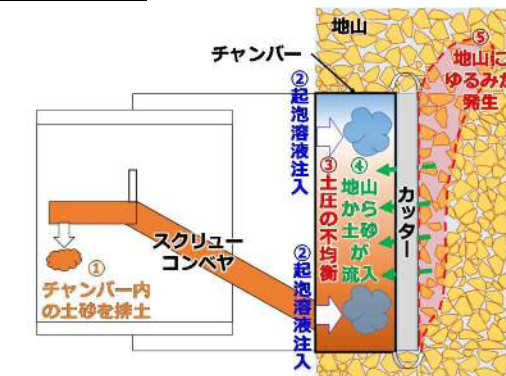


図1. 特殊な地盤条件

○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

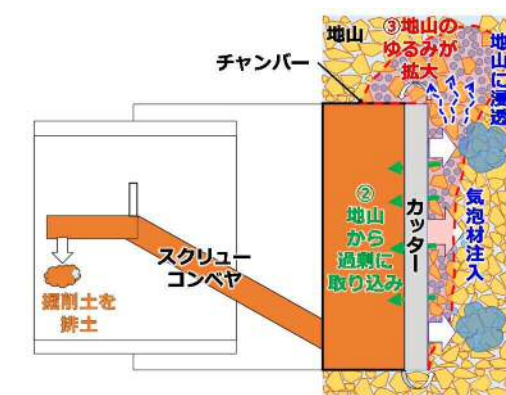
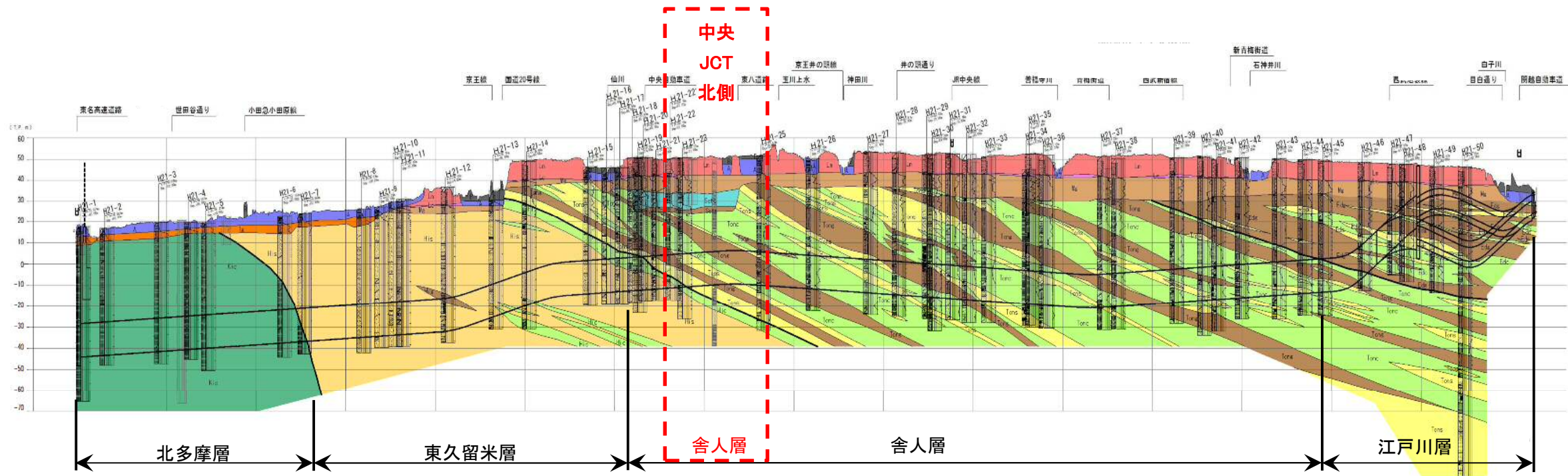


図2. 特別な作業

■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。
中央 JCT 北側の当該施工箇所は舎人層からなり、地層の概要は次のようになっている。



地質縦断面図(全体)

凡 例			
地質時代	地 層 名	地質記号	層 相
第四紀更新世	強土、埋土	B	礫混じり土主体
	沖積層	A	軟質な粘性土、腐植土
	関東ローム層	La	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
	立川礫層	Lg	砂 礫
	武蔵野礫層	Lg	砂 礫
	世田谷層	Seto	細粒分の多い粘性土
		Setz	砂 礫
	江戸川層	Edo	粘性土
		Eds	砂
上総層群		Edz	砂礫
	舎人層	Tono	粘性土
		Tons	砂
		Tong	砂礫
	東久留米層	Hic	粘性土
		His	砂
		Hig	砂礫
	北多摩層	Kio	粘性土

■地盤の特性

舎人層	
地層	砂礫層、砂層、粘性土層が重なるように交互に分布する地層である。 礫層は粘土分が少なく透水性が高く、粘性土層は不透水層である。
地質の状況	【表層】 厚さ 15m～20m 程度のローム層・武蔵野礫層 【掘削断面上部】 砂礫、砂、粘性土層の互層で構成される。 【掘削断面】 礫層：砂分と礫分の合計が 80～90%を占めており、細粒分に乏しい。 砂層：細砂～中砂が主体となっているが一部、シルト・粘性土の多いものや礫分を含むものが見られ、一部粒度にばらつきがある。 粘土層：試料の大部分で粘土・シルト分が 70%以上となっている。

1-1 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
 - ・掘削断面の粒度組成を模した模擬土(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
 - ・現在、気泡シールド工法で採用されている気泡材の他、細粒分を付加する鉱物系の材料の組み合わせにより配合を計画する
 - 材料: 気泡材、鉱物系
 - (※気泡材は破泡しにくい改良気泡を使用)
 - 配合組合せ: 気泡材、気泡材+鉱物系、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)



《 悪い事例 》



(スランプ判断目安外)



(テーブルフロー判断目安外)

[室内試験項目]

項目	規格	判断の目安
ミンスランプ	JIS A 1171	0.5cm～7.5cm
テーブルフロー	JIS R 5201	105mm～160mm
目視・手触	—	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 ミンスランプ試験機

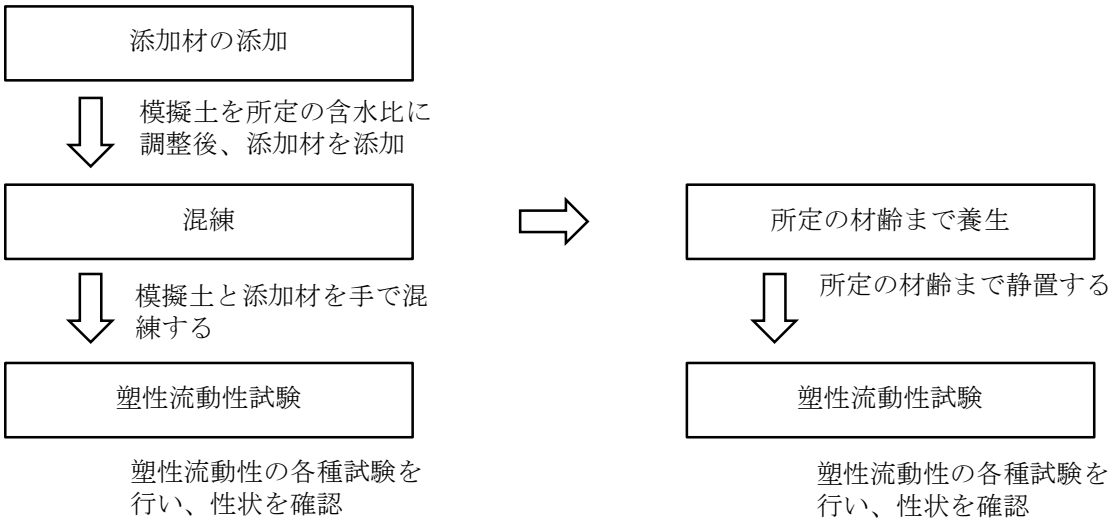
[室内試験材齢]

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	—

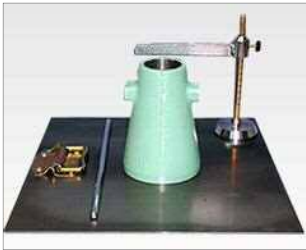


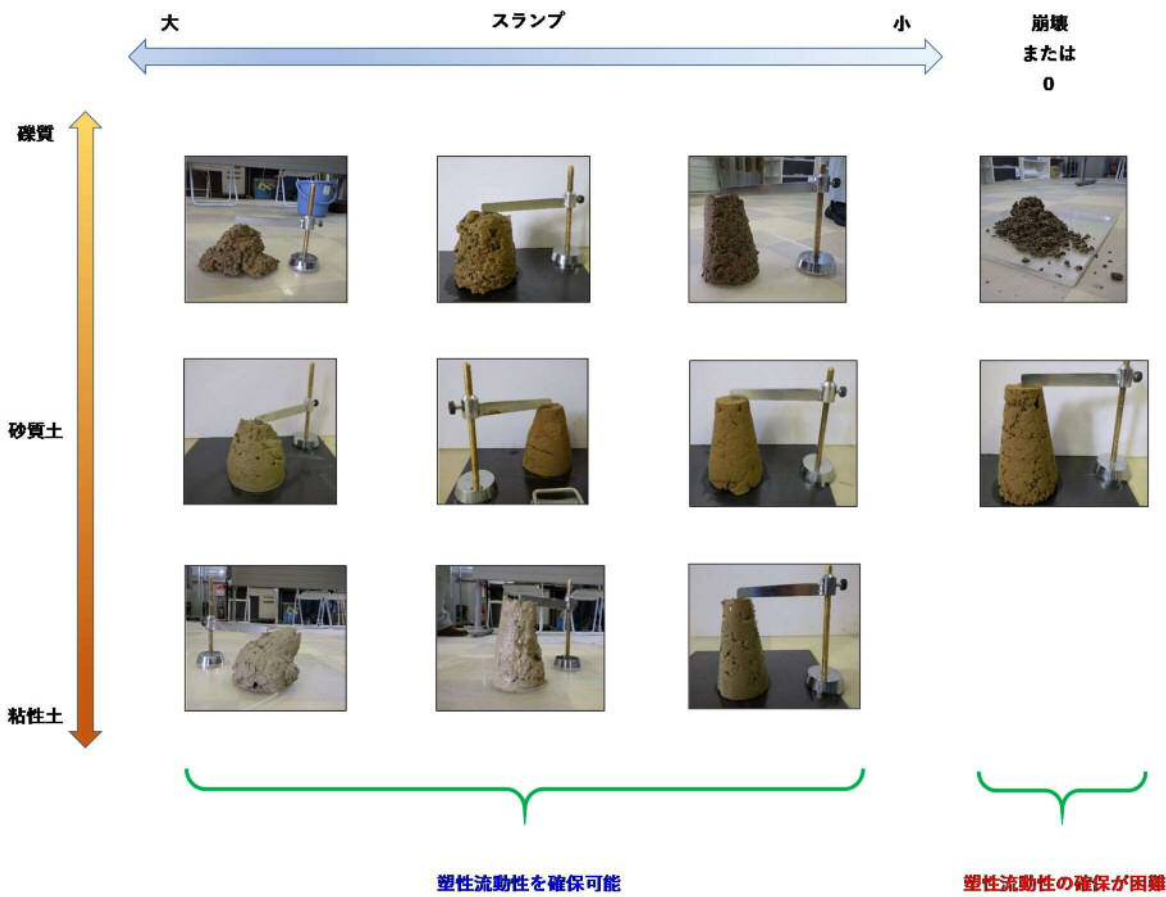
図-1 ミニスランプ試験機



図-2 テーブルフロー試験機

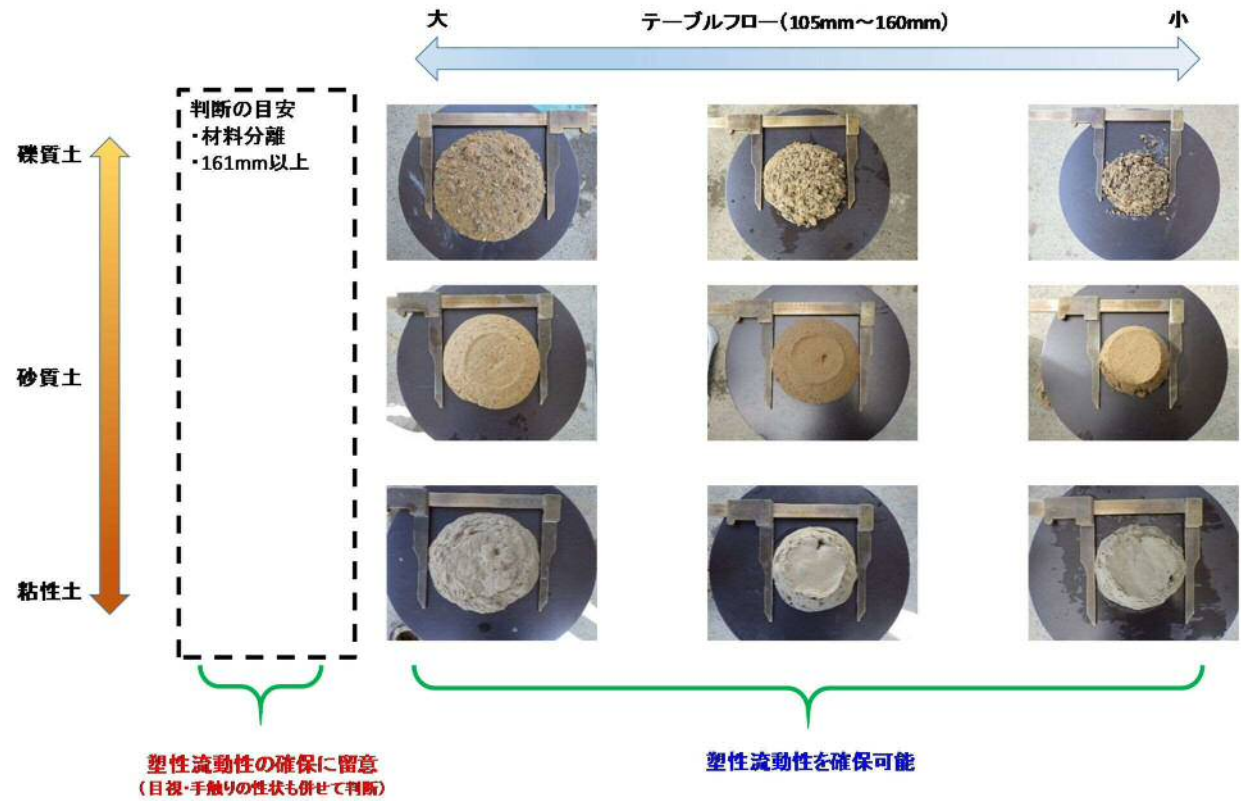
② ミニスランプの判断目安

- ・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

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

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

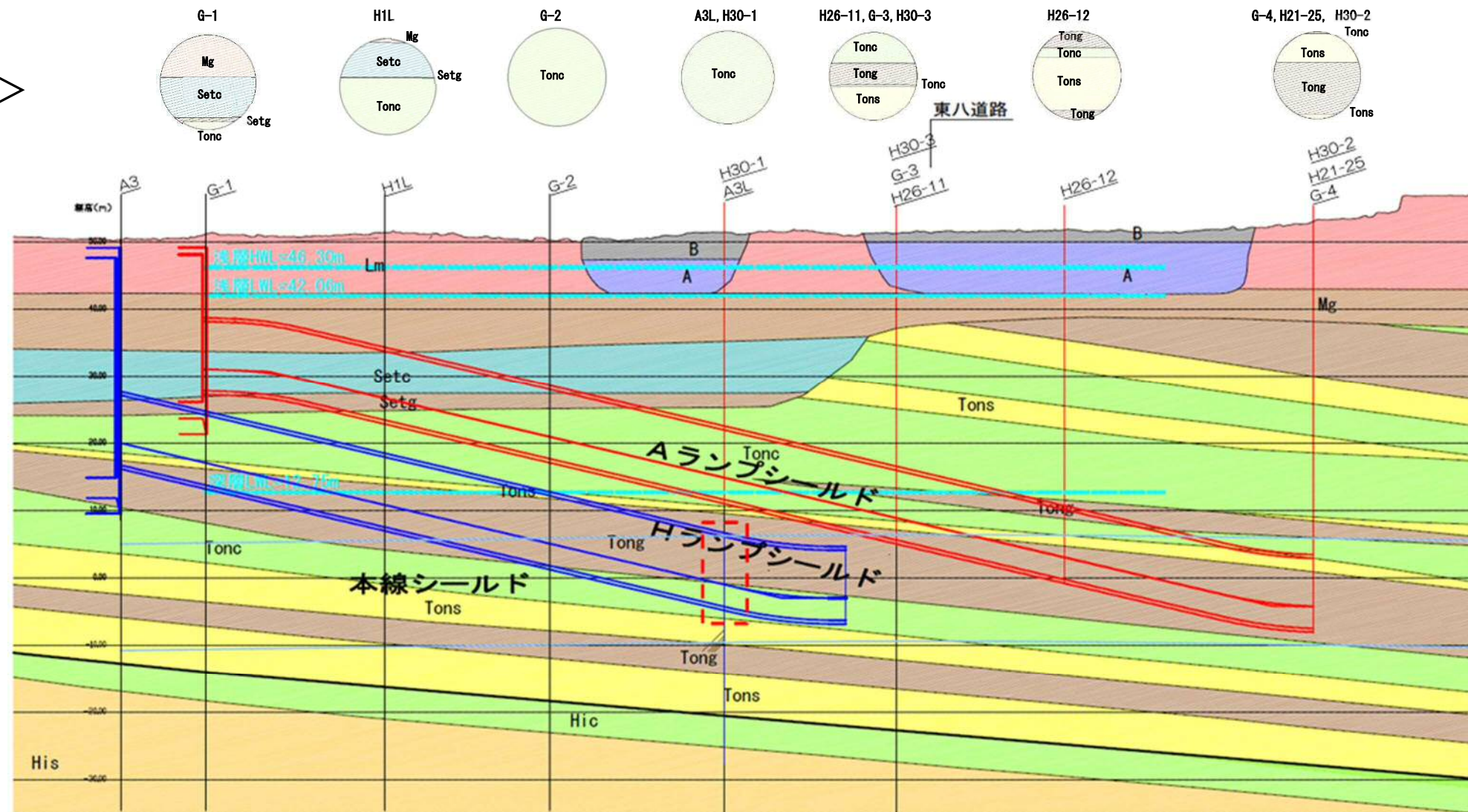
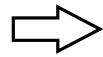
状況
適度な粘性を有する
粘性がやや不足
粘性がほとんどない

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

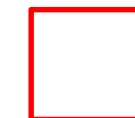
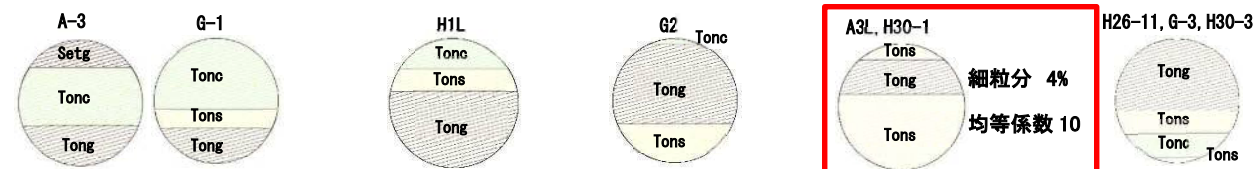
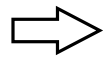
- ① 当該施工箇所のボーリング調査結果は大深度地下使用認可申請の支持地盤特定調査の他、本工事施工時の事前調査として必要であった可燃性ガス・地盤確認調査、また、中央 JCT 北側で計画されている地中拡幅部の設計条件調査などで13箇所存在している。これらの調査結果を用いて地盤の再確認(検証)を行い、塑性流動性の確保が最も厳しいと想定される箇所を試験対象断面とする。

A ランプシールド
の想定断面



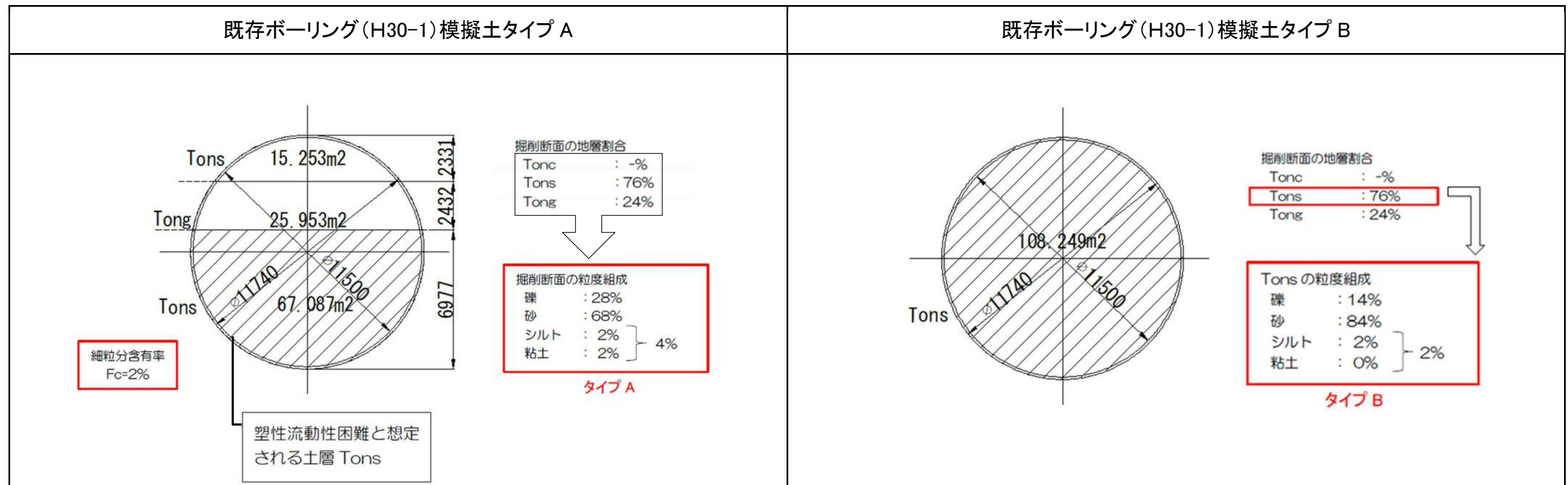
※路線地質縦断面図 (平成 26 年度時点)

H ランプシールド
の想定断面



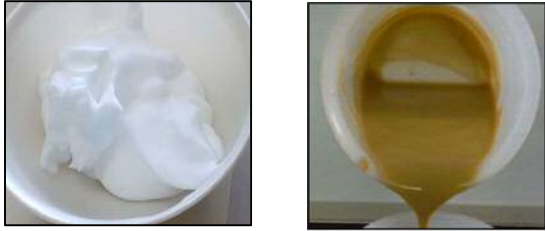
既往の土質調査から、塑性流動性の確保が最も
厳しいと想定される箇所を試験対象断面とする

②試験対象土は、試験対象断面の掘削断面の粒度組成を模した模擬土(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。

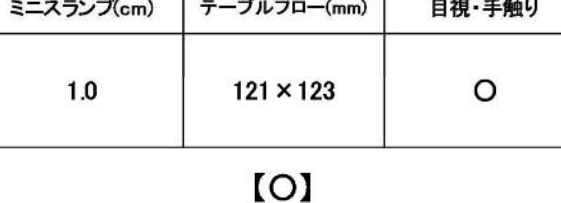
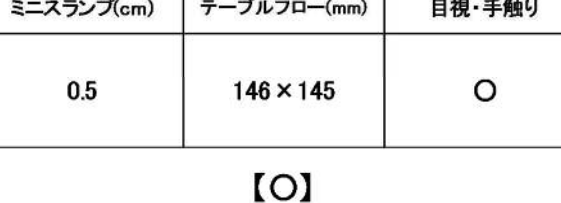


(4) 添加材

添加材種別

	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+鋳物系 (気泡材の助材として使用)	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

中央 JCT 北側Aランプシールド工事およびHランプシールド工事(共通) 添加材選定試験結果(1)

番号	添加材	材齢(直後)			材齢(1日)			材齢(3日)			材齢(7日)		
模擬土A CASE-1	気泡材(標準配合)												
	加水: 5% 気泡材 濃度: 0.6% 発泡倍率: 8倍 注入率: 25%	ミニスランプ(cm)	テーブルフロー(mm)	目視・手触り	ミニスランプ(cm)	テーブルフロー(mm)	目視・手触り	ミニスランプ(cm)	テーブルフロー(mm)	目視・手触り	ミニスランプ(cm)	テーブルフロー(mm)	目視・手触り
		1.5	141x132	○	1.0	129x124	○	0.0	崩壊	×	0.0	崩壊	×
		【○】			【○】			【×】			【×】		
													
模擬土A CASE-2	気泡材(高濃度配合)	ミニスランプ(cm)	テーブルフロー(mm)	目視・手触り	ミニスランプ(cm)	テーブルフロー(mm)	目視・手触り	ミニスランプ(cm)	テーブルフロー(mm)	目視・手触り	ミニスランプ(cm)	テーブルフロー(mm)	目視・手触り
	加水: 5% 気泡材 濃度: 5.0% 発泡倍率: 20倍 注入率: 20%	4.5	152x156	○	3.0	138x146	○	1.0	124 × 129	○	0.5	112 × 113	×
		【○】			【○】			【○】			【×】		
													
		ミニスランプ(cm)	テーブルフロー(mm)	目視・手触り	ミニスランプ(cm)	テーブルフロー(mm)	目視・手触り	ミニスランプ(cm)	テーブルフロー(mm)	目視・手触り	ミニスランプ(cm)	テーブルフロー(mm)	目視・手触り
模擬土A CASE-3	気泡材(高濃度配合) + 鉱物系	4.0	149x152	○	1.5	134x135	○	0.5	118 × 114	○	0.0	崩壊	×
	気泡材 濃度: 5.0% 発泡倍率: 20倍 注入率: 15% 鉱物系 濃度: 70kg/m ³ 注入率: 10%	【○】			【○】			【○】			【×】		
													
		ミニスランプ(cm)	テーブルフロー(mm)	目視・手触り	ミニスランプ(cm)	テーブルフロー(mm)	目視・手触り	ミニスランプ(cm)	テーブルフロー(mm)	目視・手触り	ミニスランプ(cm)	テーブルフロー(mm)	目視・手触り
		3.0	139 × 133	○	1.5	146 × 147	○	1.0	121 × 123	○	0.5	146 × 145	○
模擬土A CASE-4	鉱物系	【○】			【○】			【○】			【○】		
	鉱物系 濃度: 70kg/m ³ 注入率: 35%												
		ミニスランプ(cm)	テーブルフロー(mm)	目視・手触り	ミニスランプ(cm)	テーブルフロー(mm)	目視・手触り	ミニスランプ(cm)	テーブルフロー(mm)	目視・手触り	ミニスランプ(cm)	テーブルフロー(mm)	目視・手触り
		3.0	139 × 133	○	1.5	146 × 147	○	1.0	121 × 123	○	0.5	146 × 145	○
		【○】			【○】			【○】			【○】		

中央 JCT 北側Aランプシールド工事およびHランプシールド工事(共通) 添加材選定試験結果(2)

番号	添加材	材齢(直後)			材齢(1日)			材齢(3日)			材齢(7日)		
模擬土B CASE-1	気泡材(標準配合)												
	加水:5% 気泡材 濃度:0.6% 発泡倍率:8倍 注入率:15%	ミニスランプ(cm)	テーブルフロー(mm)	目視・手触り	ミニスランプ(cm)	テーブルフロー(mm)	目視・手触り	ミニスランプ(cm)	テーブルフロー(mm)	目視・手触り	ミニスランプ(cm)	テーブルフロー(mm)	目視・手触り
		4.0	141x139	○	2.0	128x130	○	0.0	136×137	×	0.0	崩壊	×
		【○】			【○】			【×】			【×】		
模擬土B CASE-2	気泡材(高濃度配合)												
	加水:5% 気泡材 濃度:5.0% 発泡倍率:20倍 注入率:15%	ミニスランプ(cm)	テーブルフロー(mm)	目視・手触り	ミニスランプ(cm)	テーブルフロー(mm)	目視・手触り	ミニスランプ(cm)	テーブルフロー(mm)	目視・手触り	ミニスランプ(cm)	テーブルフロー(mm)	目視・手触り
		7.5	160x160	○	6.5	159x159	○	2.0	146×147	○	2.0	118×121	×
		【○】			【○】			【○】			【×】		
模擬土B CASE-3	気泡材(高濃度配合) + 鉱物系												
	気泡材 濃度:5.0% 発泡倍率:20倍 注入率:15% 鉱物系 濃度:70kg/m3 注入率:5%	ミニスランプ(cm)	テーブルフロー(mm)	目視・手触り	ミニスランプ(cm)	テーブルフロー(mm)	目視・手触り	ミニスランプ(cm)	テーブルフロー(mm)	目視・手触り	ミニスランプ(cm)	テーブルフロー(mm)	目視・手触り
		7.5	160x160	○	7.0	160x160	○	1.0	133×129	○	0.0	崩壊	×
		【○】			【○】			【○】			【×】		
模擬土B CASE-4	鉱物系												
	鉱物系 濃度:70kg/m3 注入率:35%	ミニスランプ(cm)	テーブルフロー(mm)	目視・手触り	ミニスランプ(cm)	テーブルフロー(mm)	目視・手触り	ミニスランプ(cm)	テーブルフロー(mm)	目視・手触り	ミニスランプ(cm)	テーブルフロー(mm)	目視・手触り
		3.5	147×148	○	3.5	155×150	○	3.5	143×145	○	3.0	134×131	○
		【○】			【○】			【○】			【○】		

(5) 試験結果

① ランプトンネル(中央 JCT 北側AHランプシールド)

模擬土	対象 Bor	模擬土		CASE	気泡材			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 %]	注入率 [対 Vol %]	直後	1日	3日	7日
A	H30-1 全断面	タイプ A	4%	CASE-1	標準 (0.6)	8	25	－	－	5	○	○	×	×
				CASE-2	高濃度 (5.0)	20	20	－	－	5	○	○	○	×
				CASE-3	高濃度 (5.0)	20	15	70kg/m3 (7.0)	10	－	○	○	○	×
				CASE-4	－	－	－	70kg/m3 (7.0)	35	－	○	○	○	○
B	H30-1 Tons 層	タイプ B	2%	CASE-1	標準 (0.6)	8	15	－	－	5	○	○	×	×
				CASE-2	高濃度 (5.0)	20	15	－	－	5	○	○	○	×
				CASE-3	高濃度 (5.0)	20	15	70kg/m3 (7.0)	5	－	○	○	○	×
				CASE-4	－	－	－	70kg/m3 (7.0)	35	－	○	○	○	○

【試験結果及び対応方針】

- ・CASE-1 では、材齢3日以降の良好な塑性流動性が確保できないこと(部参照)を確認した。
→ 地盤状況によっては良好な塑性流動性が確保できなくなる可能性があるため、各種モニタリングや排土性状を確認し、気泡材の注入量等を調整する。
- ・CASE-2, 3 では、材齢 3 日まで良好な塑性流動性が確保できること(部参照)、材齢 7 日になると良好な塑性流動性が確保できないこと(部参照)を確認した。
→ 長期掘進停止時については、塑性流動性を保つため、事前に鉱物系添加材を使用する。※長期掘進停止とは 7 日を超える掘進停止を想定。
- ・CASE-4 では、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。

1-2 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。

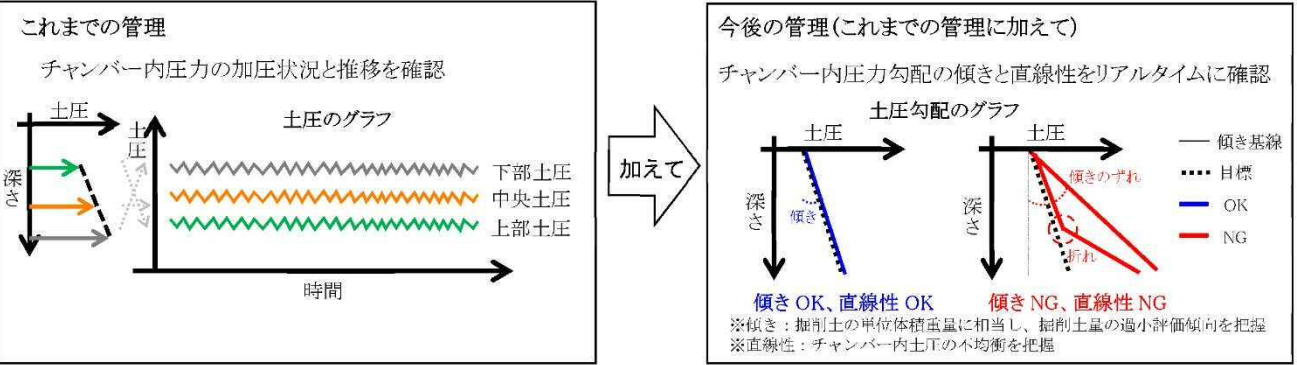
掘進データからの塑性流動性確認方法

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 ・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	
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		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

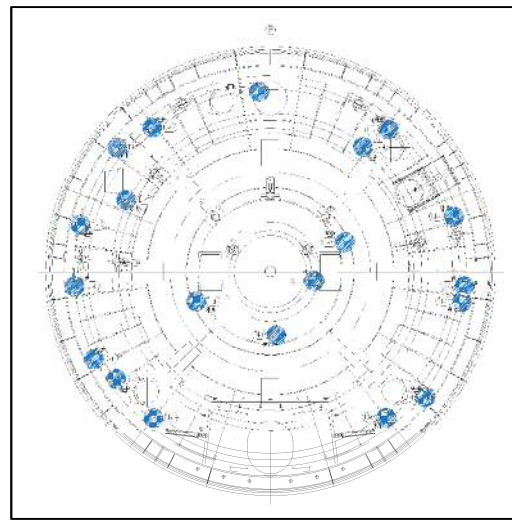


(1) チャンバー内圧力勾配の管理方法

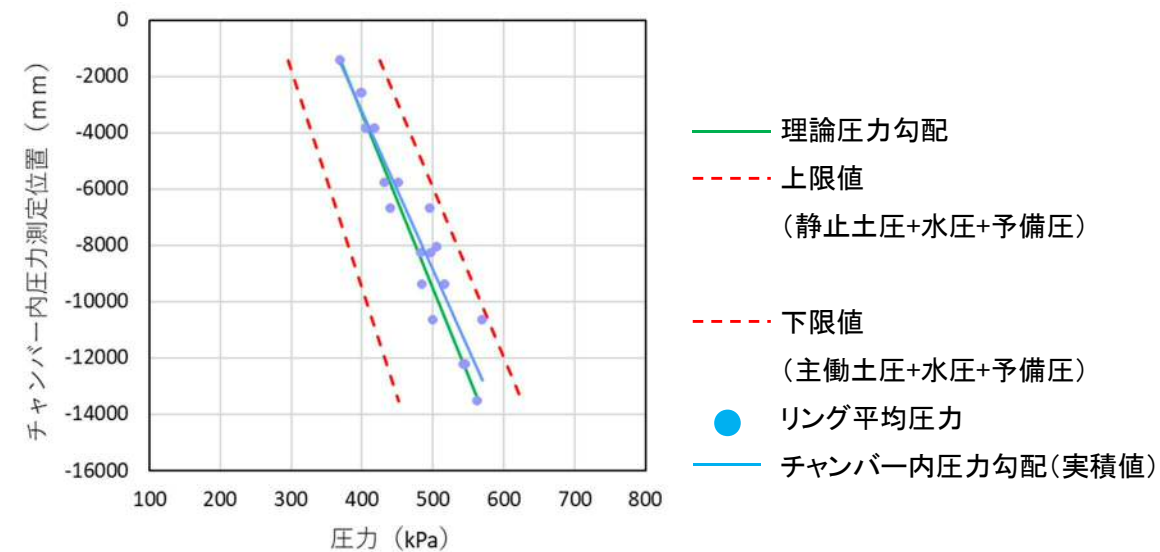
① チャンバー内圧力勾配の傾きと直線性の変化を把握するための管理方法を検討

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。

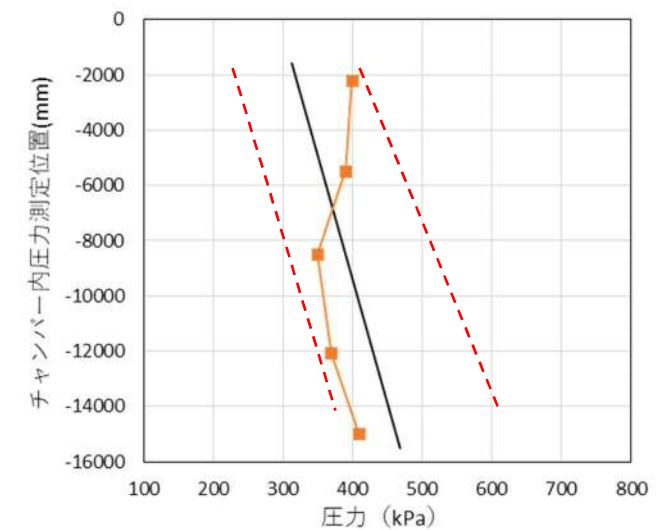
- ・チャンバー内における各圧力計の指示値から算出されるチャンバー内圧力勾配を下限圧力と上限圧力との間で管理することで、切羽の安定を常時管理する(図①-2)。なお、下限圧力については、安定したシールド停止状態の圧力を下回らないように設定する。
- ・チャンバー内圧力勾配は事前のボーリングデータと添加材注入率等から算出される理論圧力勾配との差を比較することで、チャンバー内の塑性流動性悪化の兆候を確認するとともに、添加材が地山に過度に浸透したことによる未回収傾向を把握する(図①-2)。
- ・チャンバー内圧力勾配の直線性はチャンバー内圧力分布の不均衡を確認し、チャンバー内の土砂の分離・沈降が生じて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



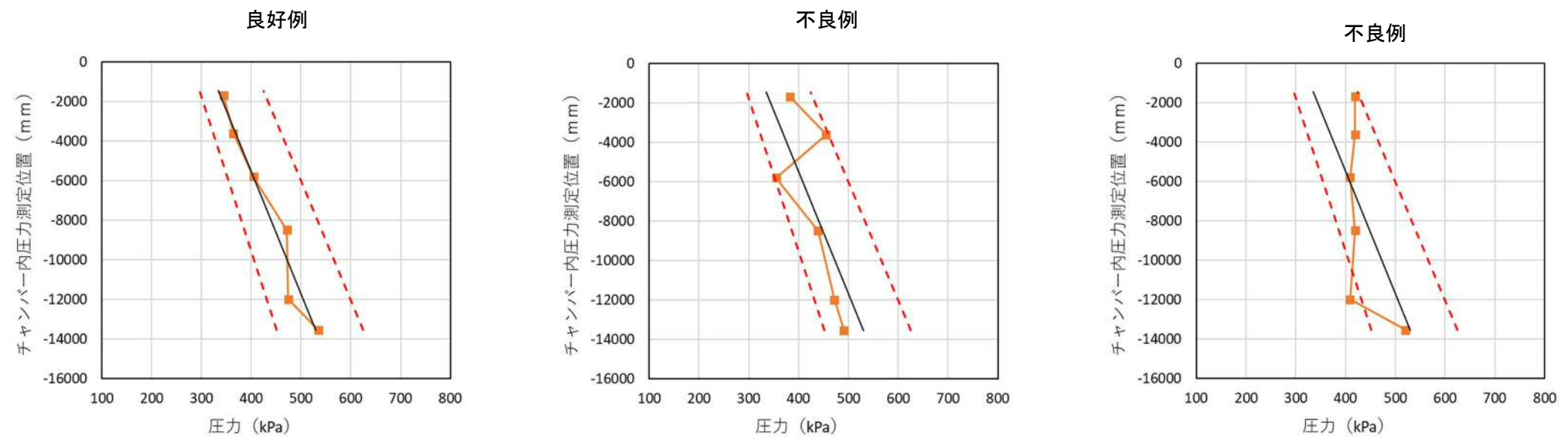
図①-1 圧力計位置(参考例)



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



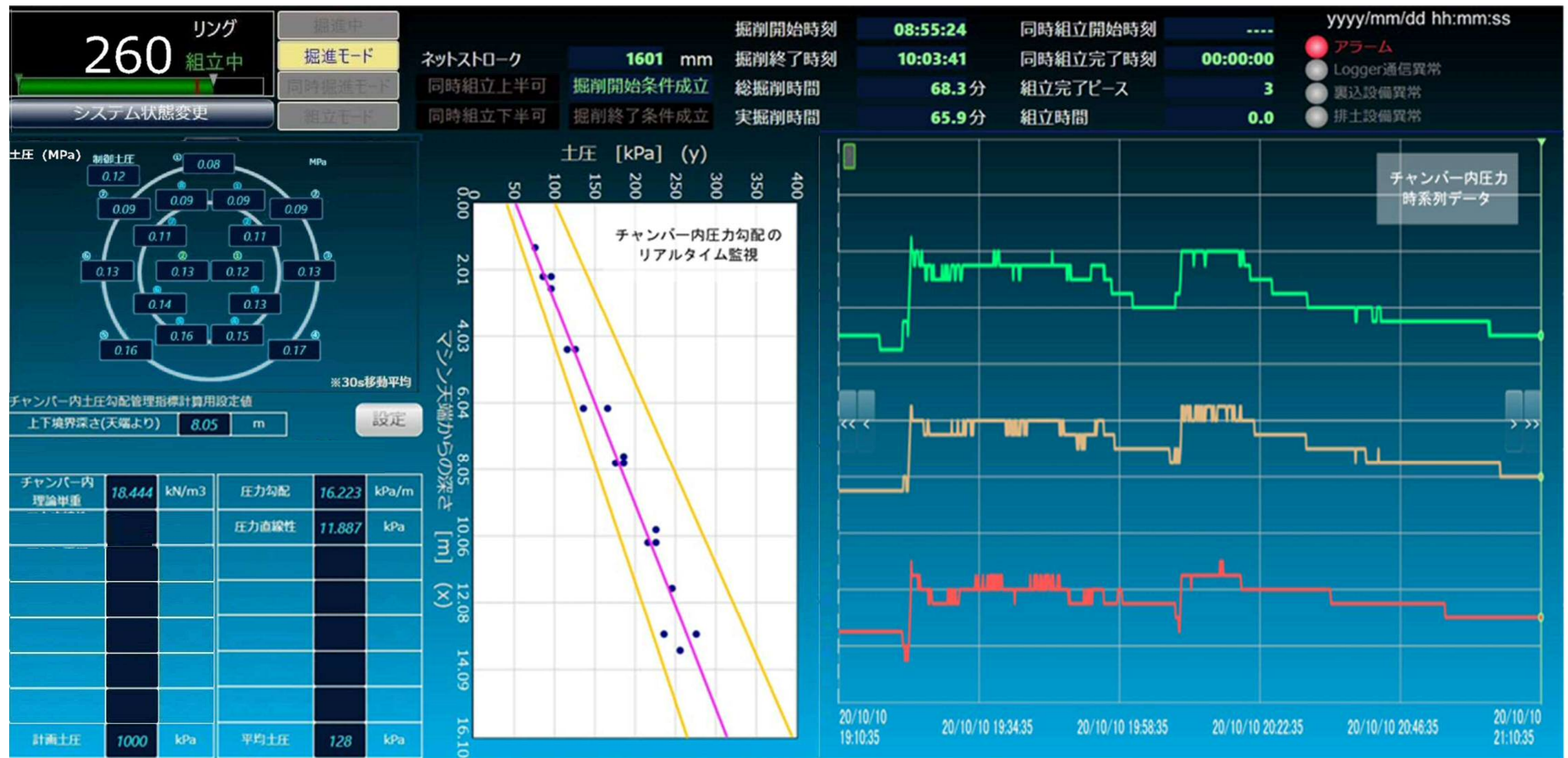
図①-4 チャンバー内圧力の不均衡を把握

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、速やかに鉱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)掘進管理システムにおける監視モニターのリアルタイム管理

- 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)

1-3 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

○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) 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 (m³)	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) 新たな管理値について

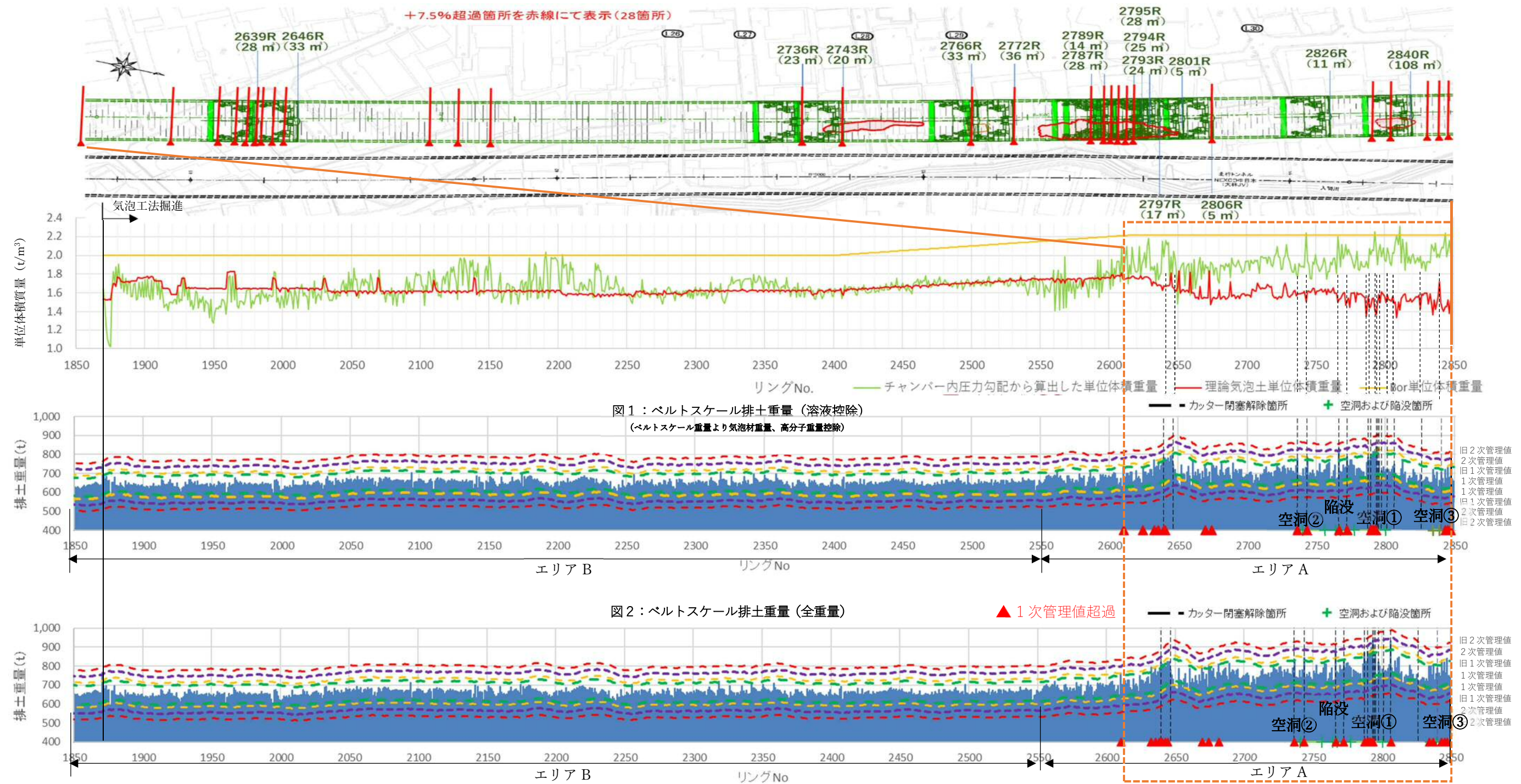
排土管理において、1次管理値(±7.5%)、2次管理値(±15%)を設定し、管理を行っていくことの妥当性を確認するため、今回事故における排土重量データを図に示す。

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。

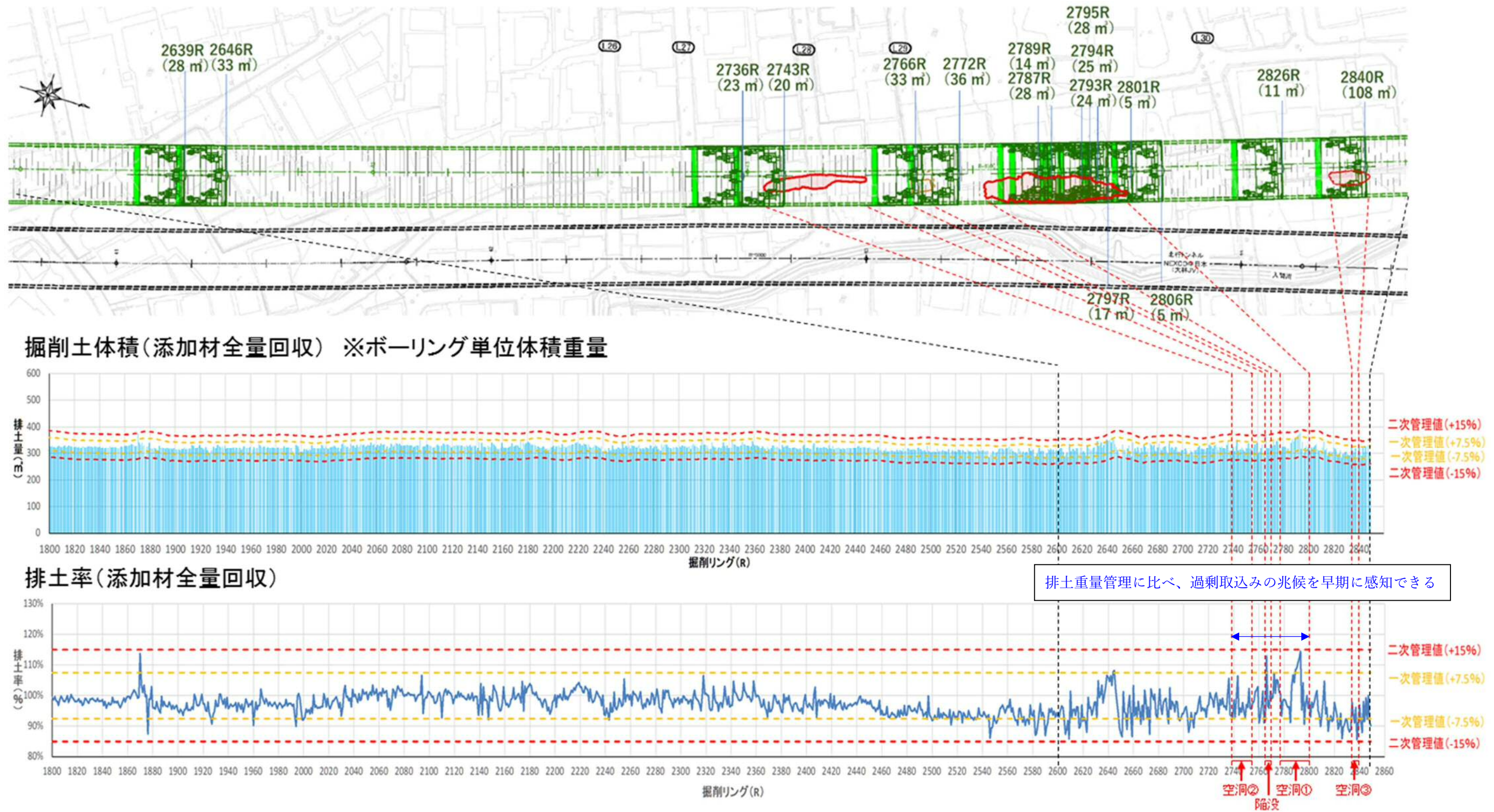
(本線トンネル(南行)東名北工事のデータを使用)



(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)

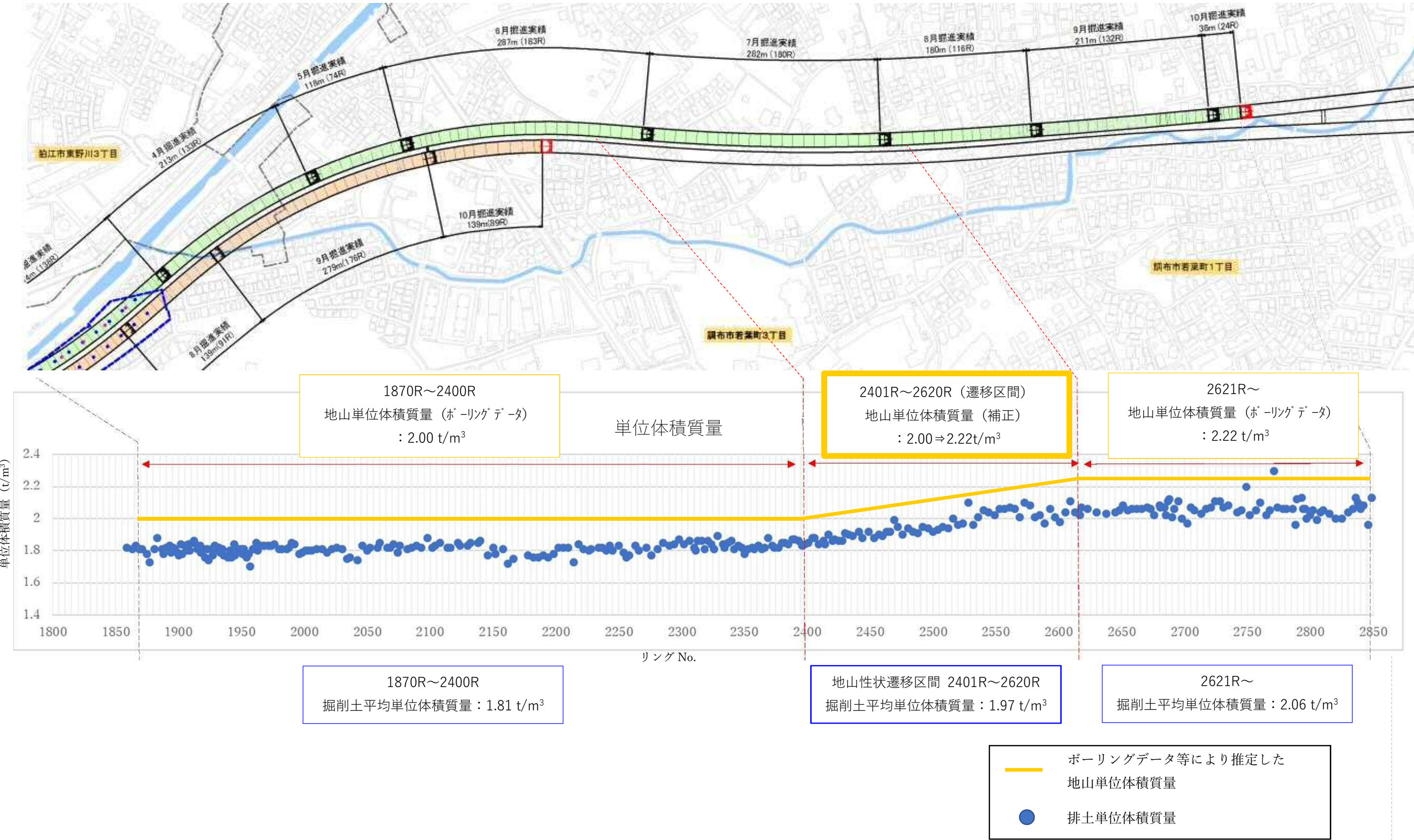
(本線トンネル(南行) 東名北工事のデータを使用)



(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)

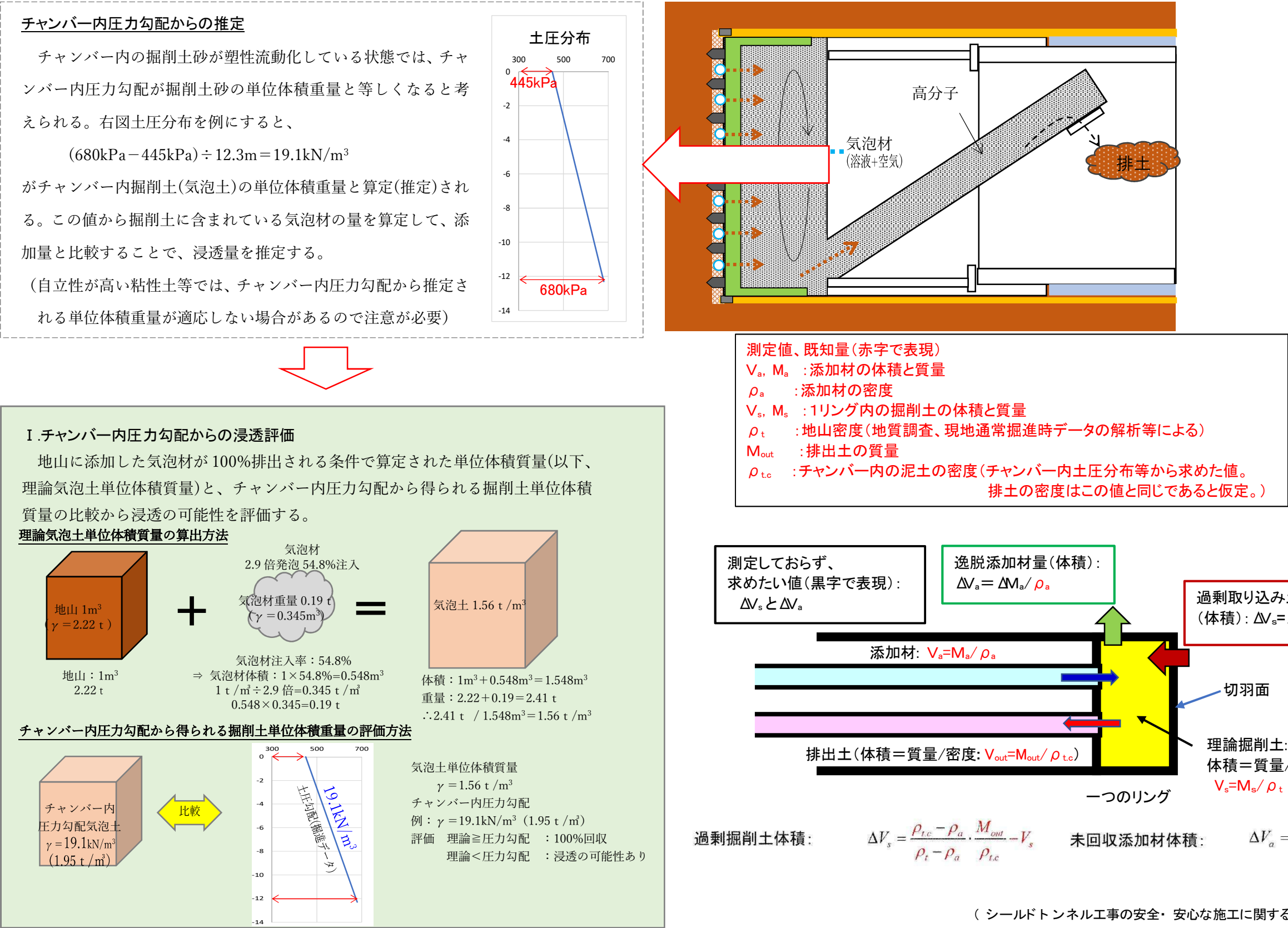


(5) 添加材未回収分を考慮した排土管理について

- ・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に、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

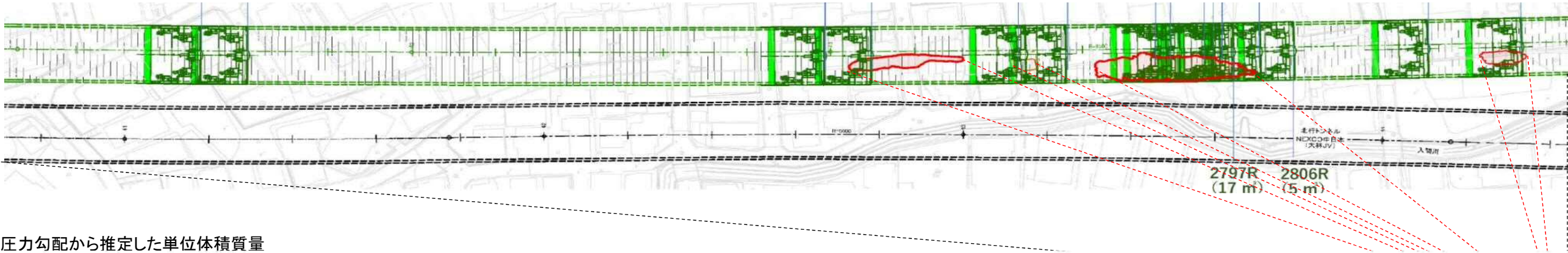
チャンバー内圧力勾配を用いた気泡材浸透量の評価手法の考え方を以下に示す。



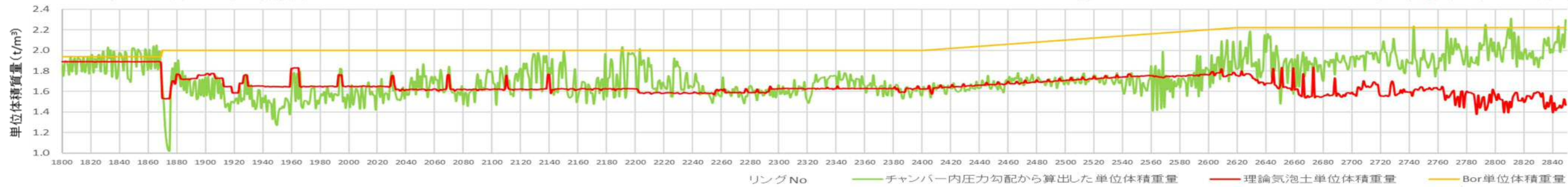
(6) 添加材未回収分を考慮した排土管理の適用

- ・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。

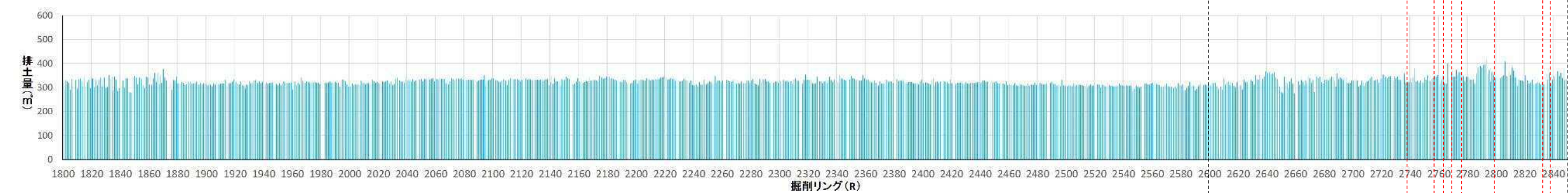
(本線トンネル(南行) 東名北工事のデータを使用)



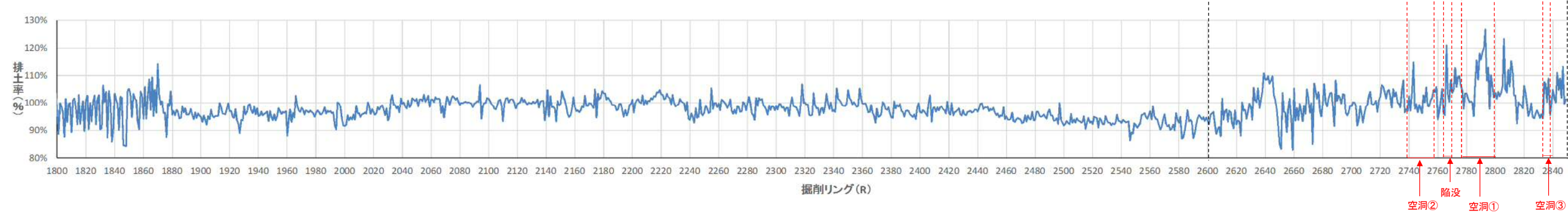
チャンバー内圧力勾配から推定した単位体積質量



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

(8) 掘進管理システムにおける監視モニターのリアルタイム管理

- 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。

本線トンネル(大泉 南行)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：25 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	上限値：静止土圧＋水圧＋予備圧(20kPa)～下限値：主働土圧＋水圧＋予備圧(20kPa) ＊SL の圧力を管理し、上限値～下限値の中間値よりも上側の値となるよう留意する	上限値：静止土圧＋水圧＋予備圧(20kPa)～下限値：主働土圧＋水圧＋予備圧(20kPa) ＊SL の圧力を管理し、上限値～下限値の中間値よりも上側の値となるよう留意する
		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

＊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

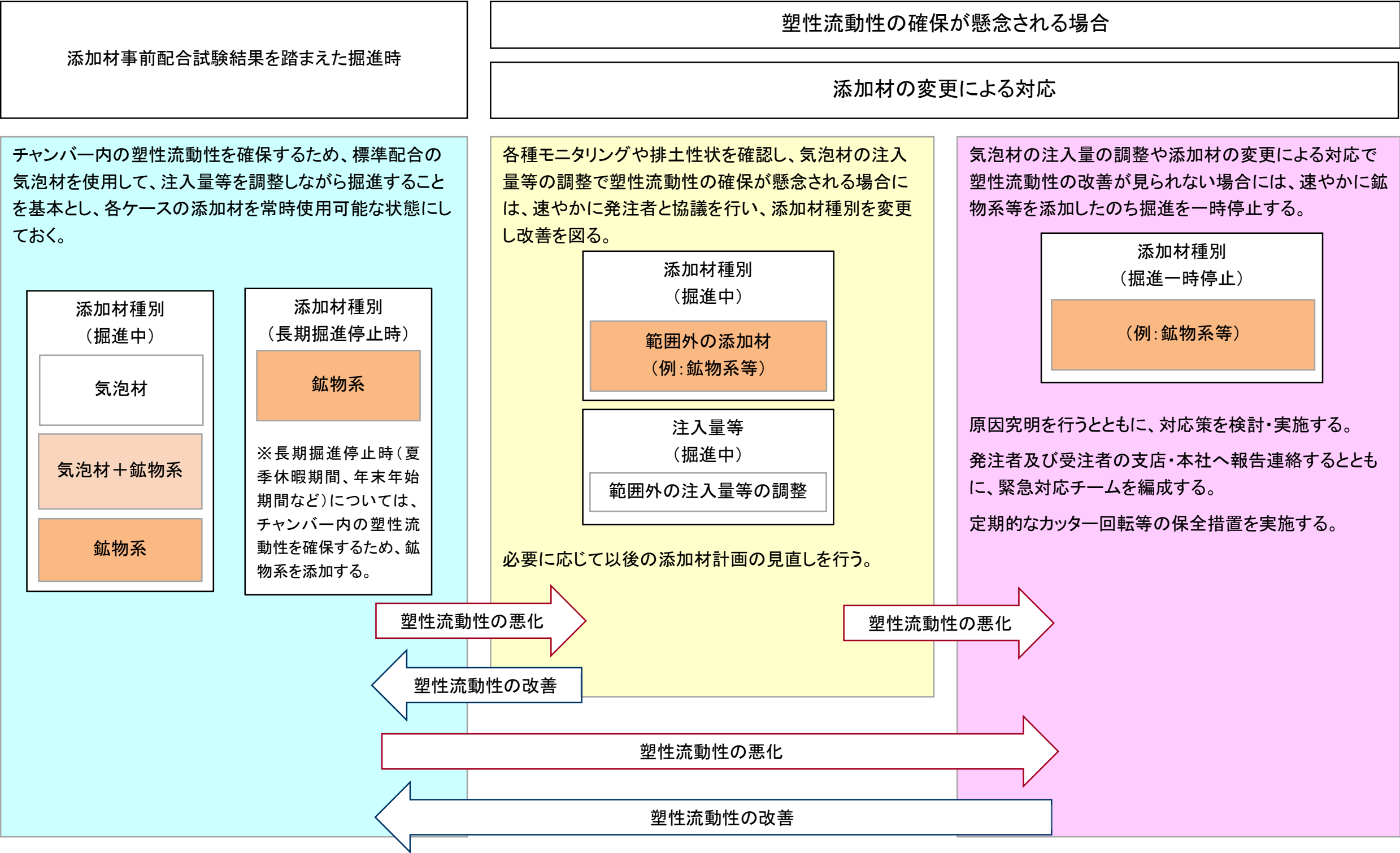
1－4 カッター回転不能（閉塞）時の対応

前記1－1、1－2、1－3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。

1-5 再発防止対策を踏まえた掘進管理

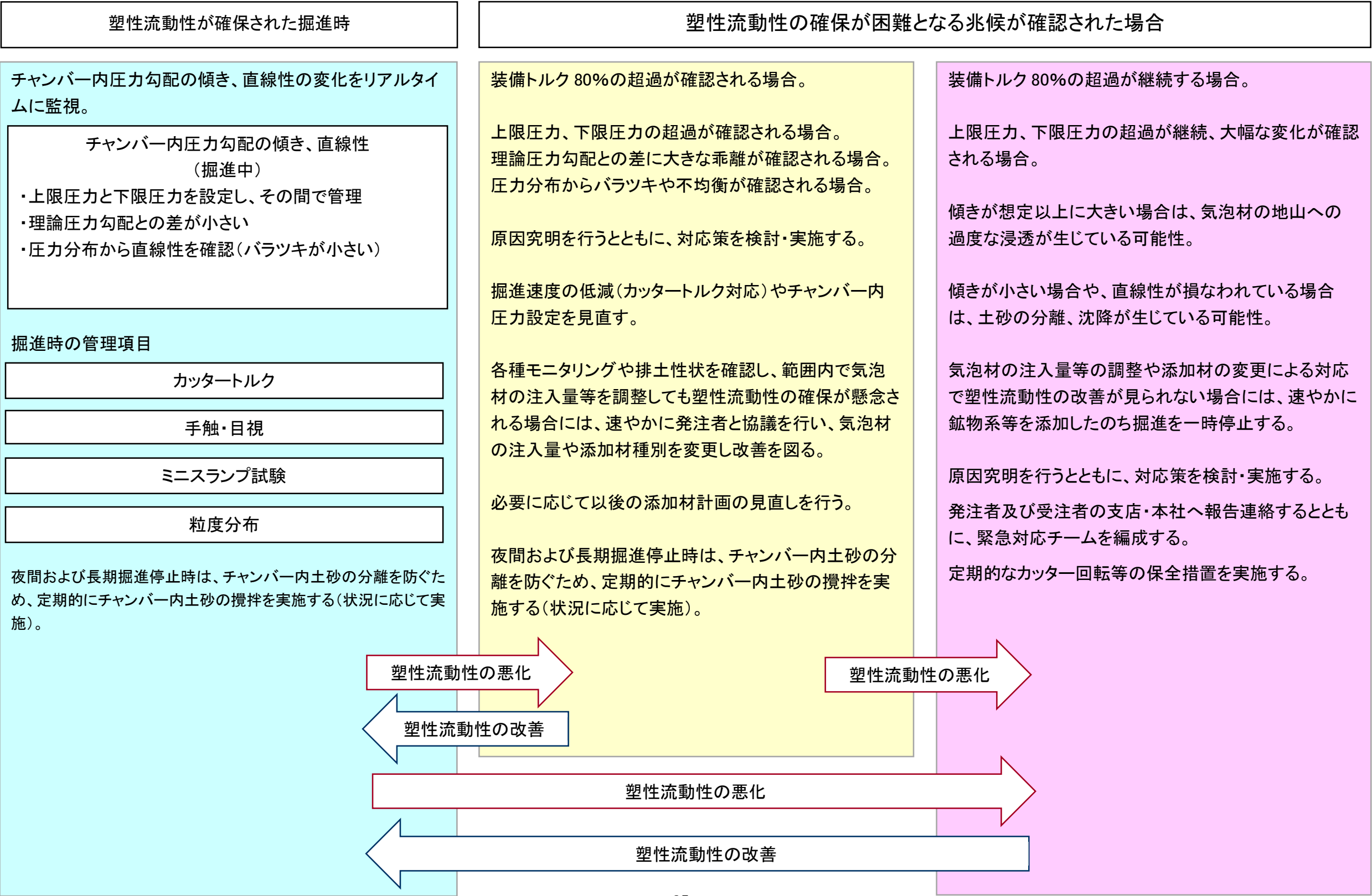
(1) シールド掘進地盤に適した添加材の選定等

- 添加材事前配合試験結果を踏まえ、標準配合の気泡材を使用して、注入量等を調整しながら掘進することを基本とし、各ケースの添加材を常時使用可能な状態にしておく。
- 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、添加材種別や注入量等を変更し改善を図る。
- 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掘進を一時停止する。



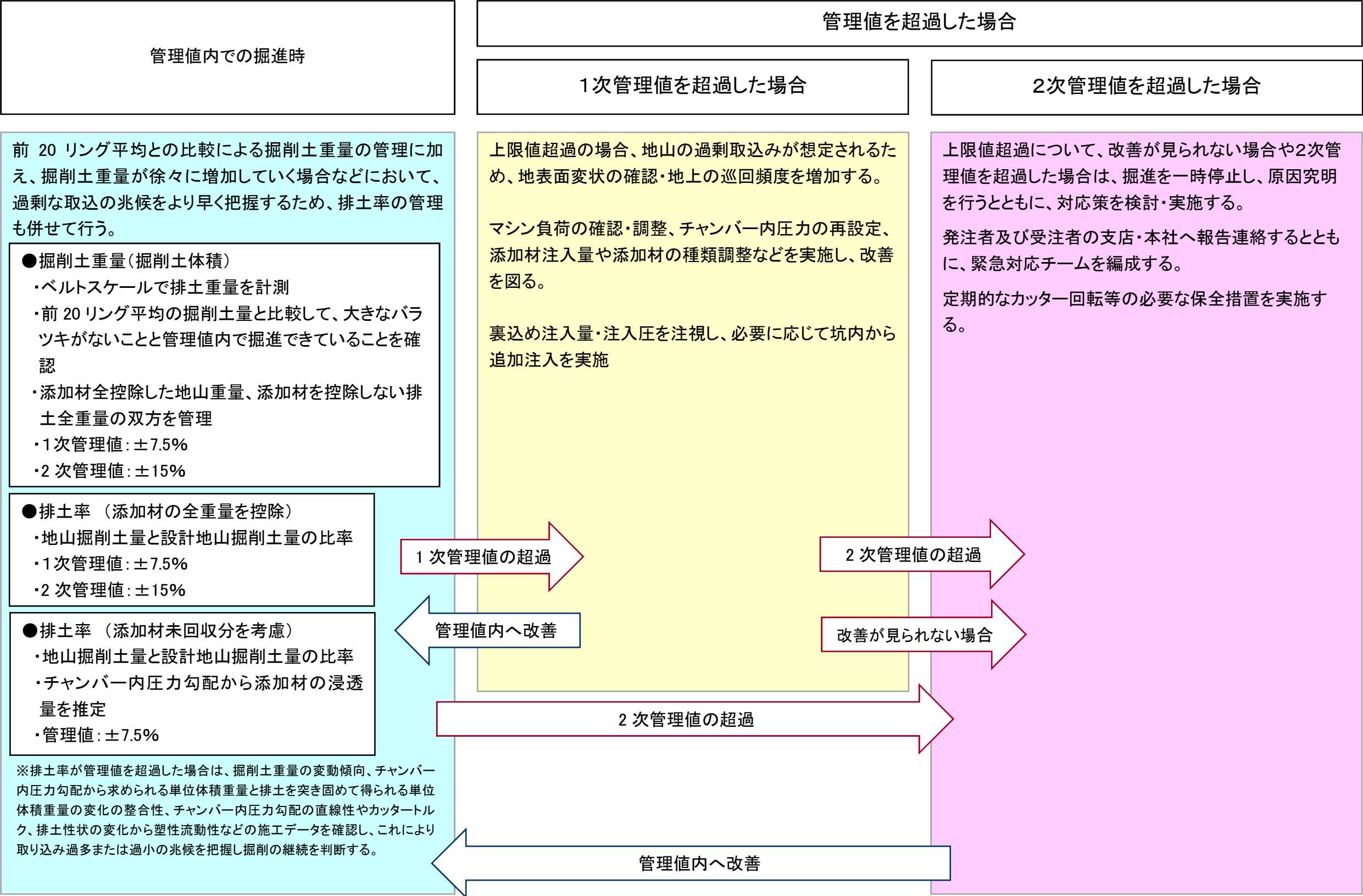
(2) 塑性流動性とチャンバー内圧力のモニタリングと対応

- 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、気泡材の注入量等の調整や添加材の種別を変更し改善を図る。
- 気泡材の注入量等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、速やかに鉱物系等を添加したのち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、これまでの実績を踏まえ、新たに1次管理値は±7.5%、2次管理値は±15%と従来よりも厳しく設定する。
- 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注入量や種類の調整等を行い、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。

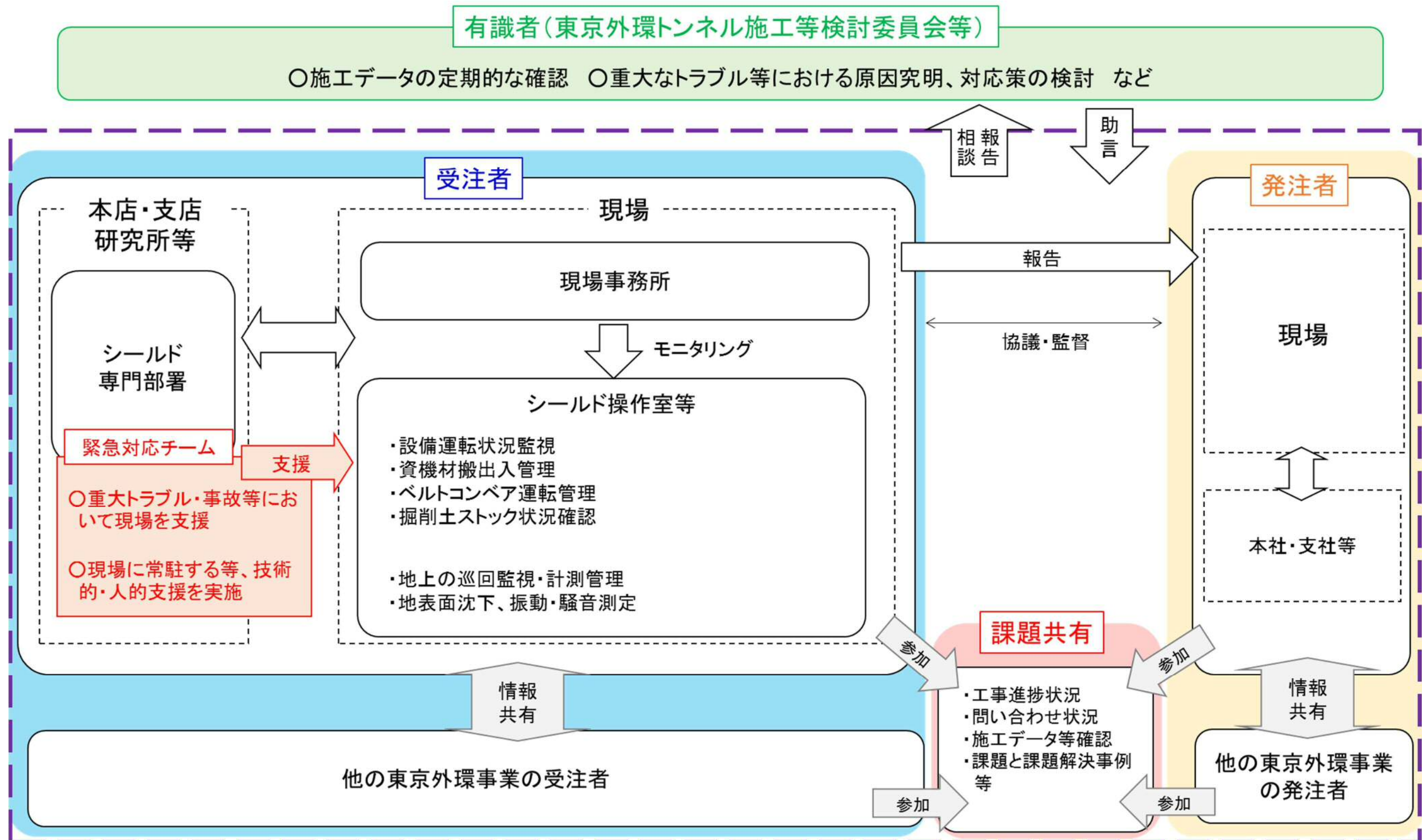


今後の掘進における管理フロー(切羽の安定管理、掘削土量)を別図に示す。



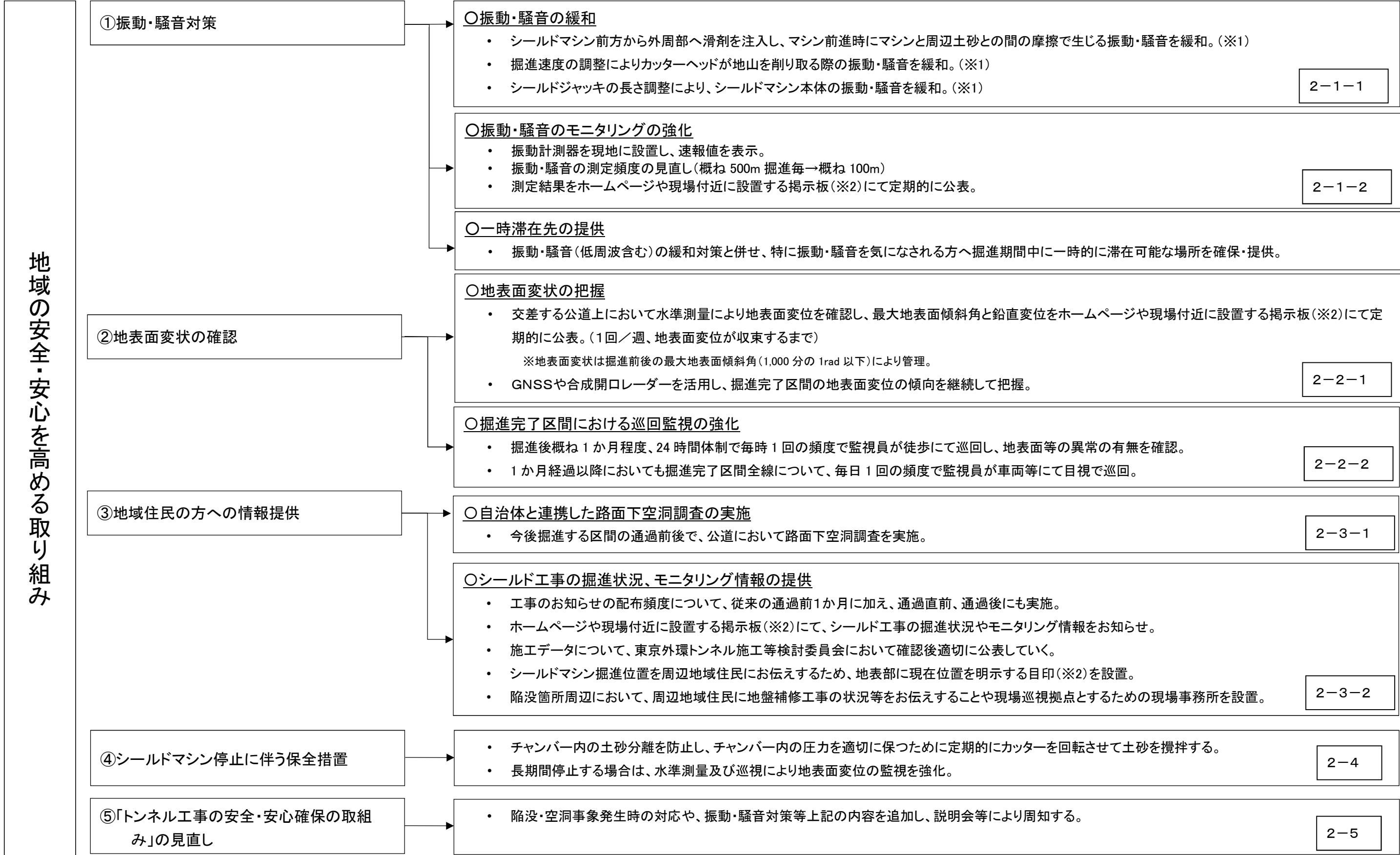
(5) 施工管理データをモニタリングする体制

- ・受注者内部の施工状況モニタリング体制を強化し、併せて、平時からの受発注者間の情報共有体制も構築する。
※課題共有を定期的実施(緊急時は都度実施)し、該当工事以外の受発注者も含め、課題や解決事例等の情報共有を強化する。
- ・重大なトラブル時には、原因究明と対応策の検討を行うため、受発注者及び有識者による緊急時対応体制を構築する。



2. 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

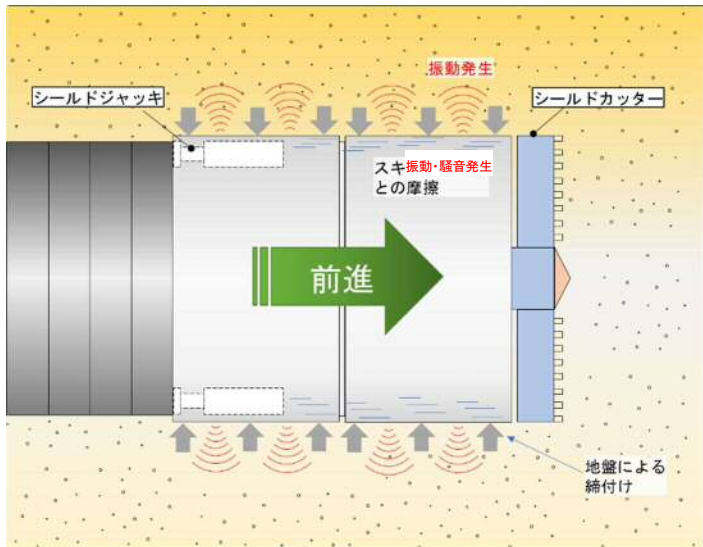
2-1 振動・騒音対策

2-1-1 騒音・振動の緩和

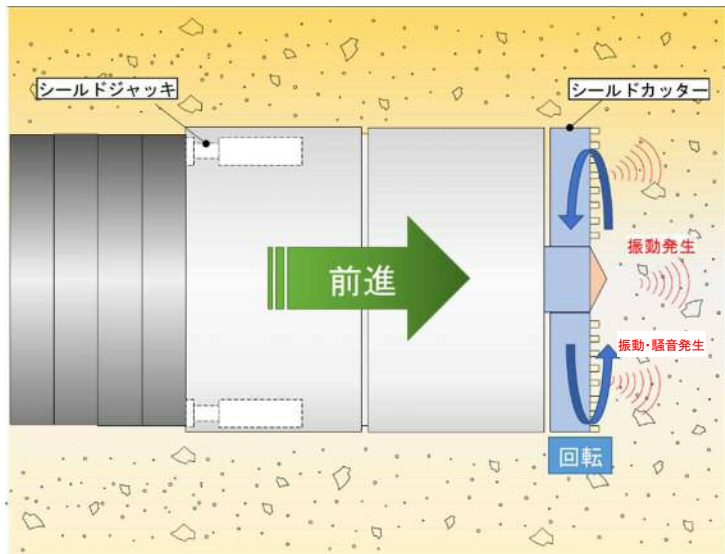
トンネル坑内で観測されたトンネル掘進に伴う振動のレベルは最大で震度 0 相当(約 4.5gal、62dB)であり、十分小さいものとなるが、今回の陥没・空洞発生箇所周辺は振動・騒音が減衰せず地上に伝搬しやすい地盤であったと考えられ、振動・騒音や低周波に対するお問い合わせを多くいただいた。今後の掘進においては、振動・騒音対策を地域の安全・安心を高める取り組みの一部として実施していく。

(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

大泉側から発進するシールドが主として掘進する舎人層において、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、ボーリング調査によって得られた粒度組成を用いて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。

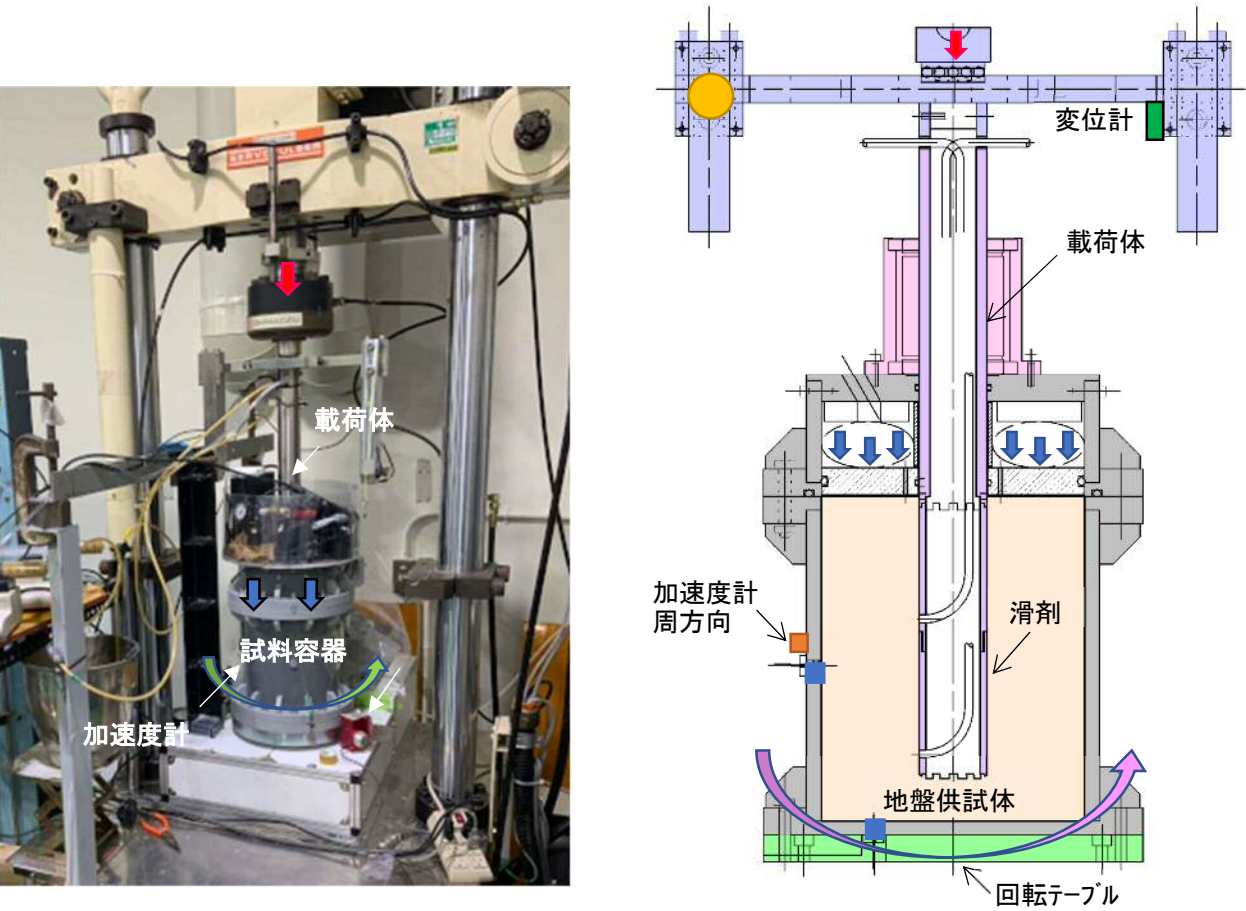


図 1 試験装置

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

舎人層に代表される互層地盤をボーリングデータの粒度組成をもとに、模擬土で再現した(表 1)。

表 1 地盤供試体									
計量値 (kg)	20- 26.5mm 12.5%	10- 19mm 12.5%	5- 10mm 12.5%	2-5mm 12.5%	珪砂 4 号 8.0%	珪砂 5 号 16.0%	珪砂 7 号 16.0%	トクレイ 10.0%	かさ 比重
3	0.375	0.375	0.375	0.375	0.240	0.480	0.480	0.300	1.8

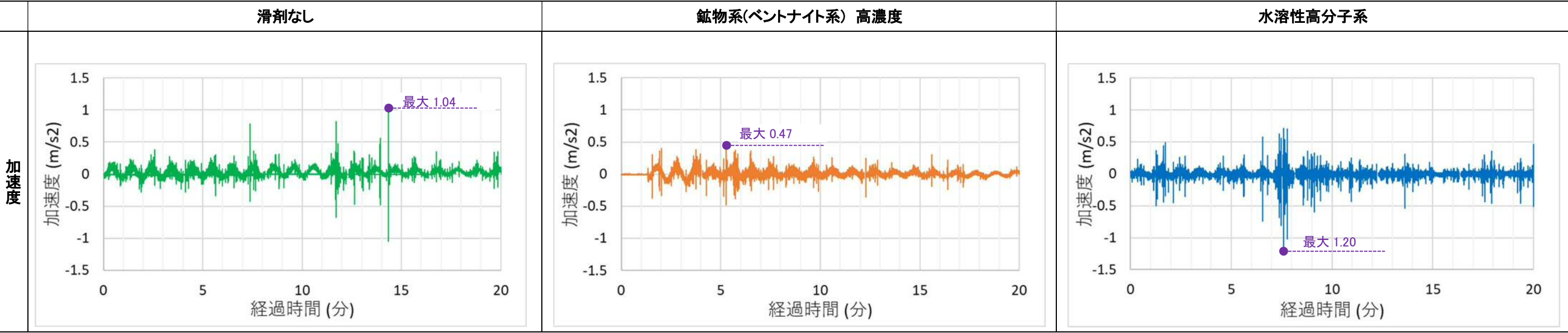
⑤ 試験ケース

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	ケース2	ケース3
種 別	滑剤なし	鉤物系(ベントナイト系)	水溶性高分子系
		高濃度	
外 観		淡黄色粉体	乳白色～淡黄色液体
			
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

加速度が瞬発的に大きく変動している箇所は、スキンプレートと周辺の土砂の摩擦による振動の発生を表す。滑剤を用いることで加速度波形の大きさ(振れ幅)が減少していることから振動発生を抑制したことを確認した。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、室内実験から、鉱物系(ベントナイト系)高濃度の滑剤を充填することによって、振動発生抑制効果が確認されたことから、掘進する際は、状況に応じて、当該滑剤を基本に実施していく。
- 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。

2-1-2 振動・騒音のモニタリングの強化

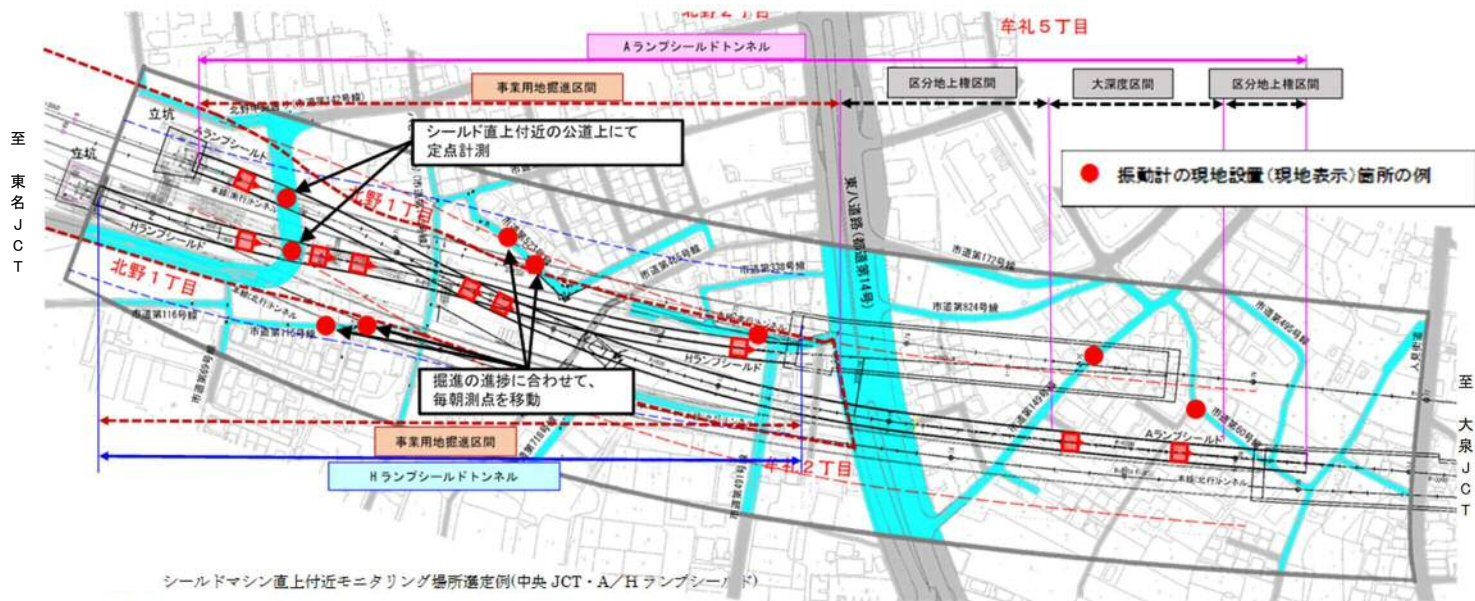
地上部での振動・騒音のモニタリングを強化する。具体的には、シールドマシン直上付近で簡易計測器を用いて振動・騒音を測定し、瞬間値を現地に電光掲示板で表示する。また、これまで行ってきた振動測定の取組みについても当初は概ね 500m 間隔で実施していた頻度を見直して概ね 100m 間隔で実施することとしたほか、測定結果をホームページと現地付近の掲示板にて公表する。

＜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～20 時	昼夜掘進中、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) ※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

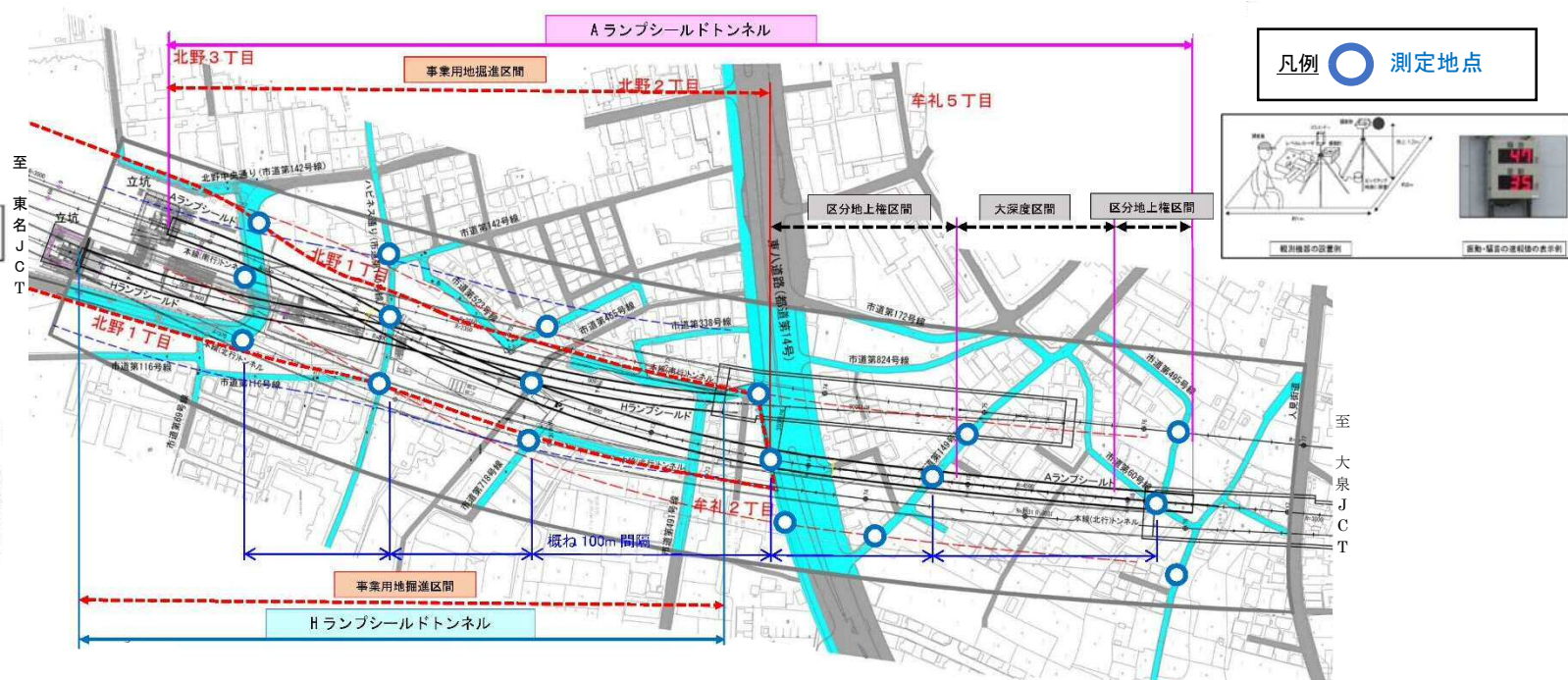
＜シールドマシン直上付近でのモニタリング(簡易計測)＞

- 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～20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夜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

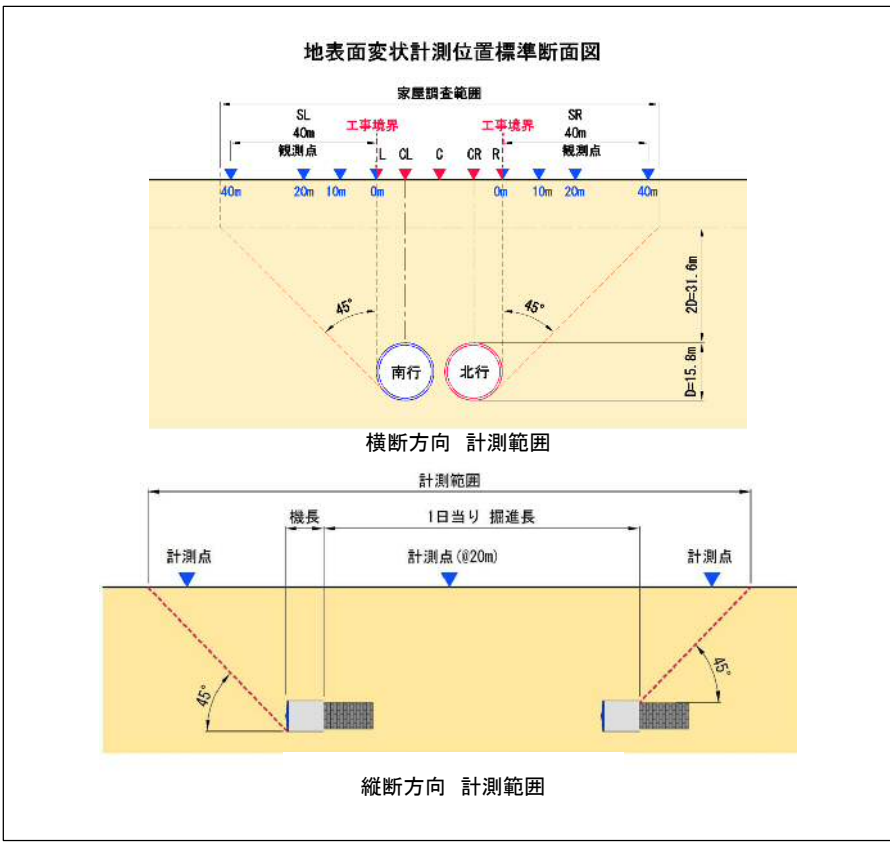


2-2 地表面変状の確認

2-2-1 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

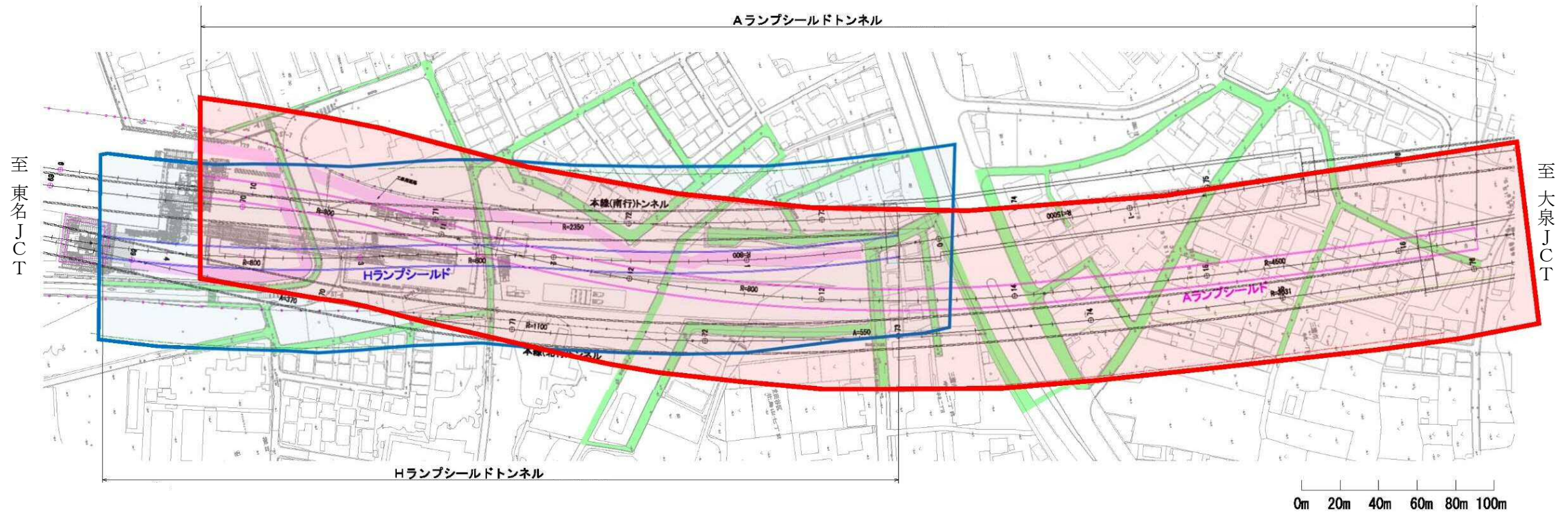


掲示・HP イメージ(中央北ランプ)

A・Hランプシールド 地表面変状の確認・把握範囲

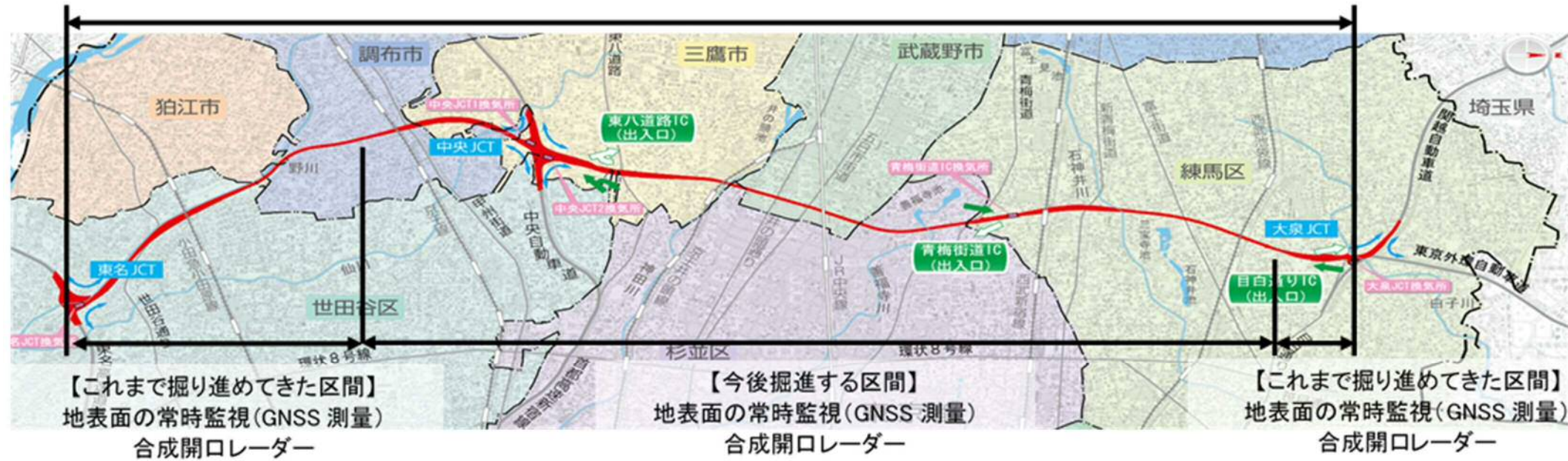
平面図 S=1:1000 (A1)

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。

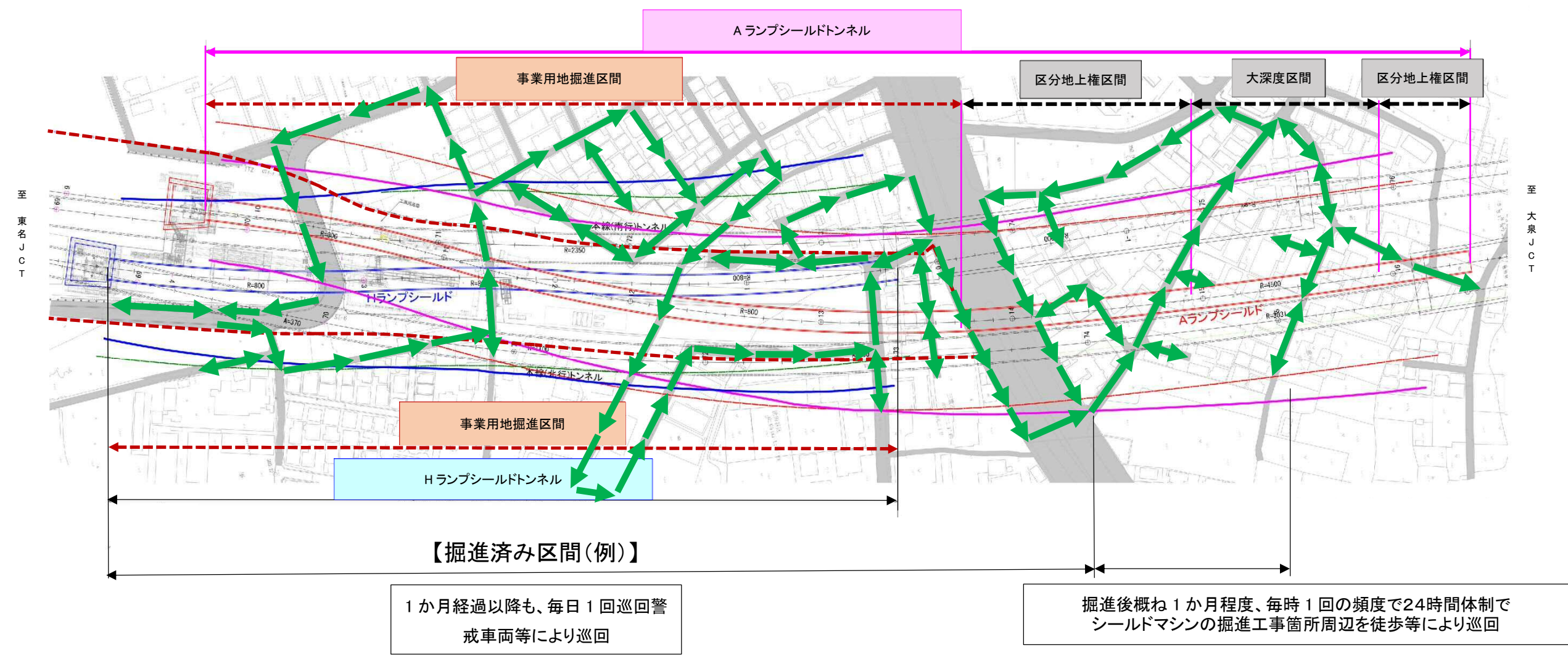


3D 点群データ調査イメージ

2-2-2 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 回の頻度で車両等により巡回を実施する。《巡回パーティー強化》

中央北側の巡回監視の場合



巡回員



警戒車両

2-3 地域住民の方への情報提供

2-3-1 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)



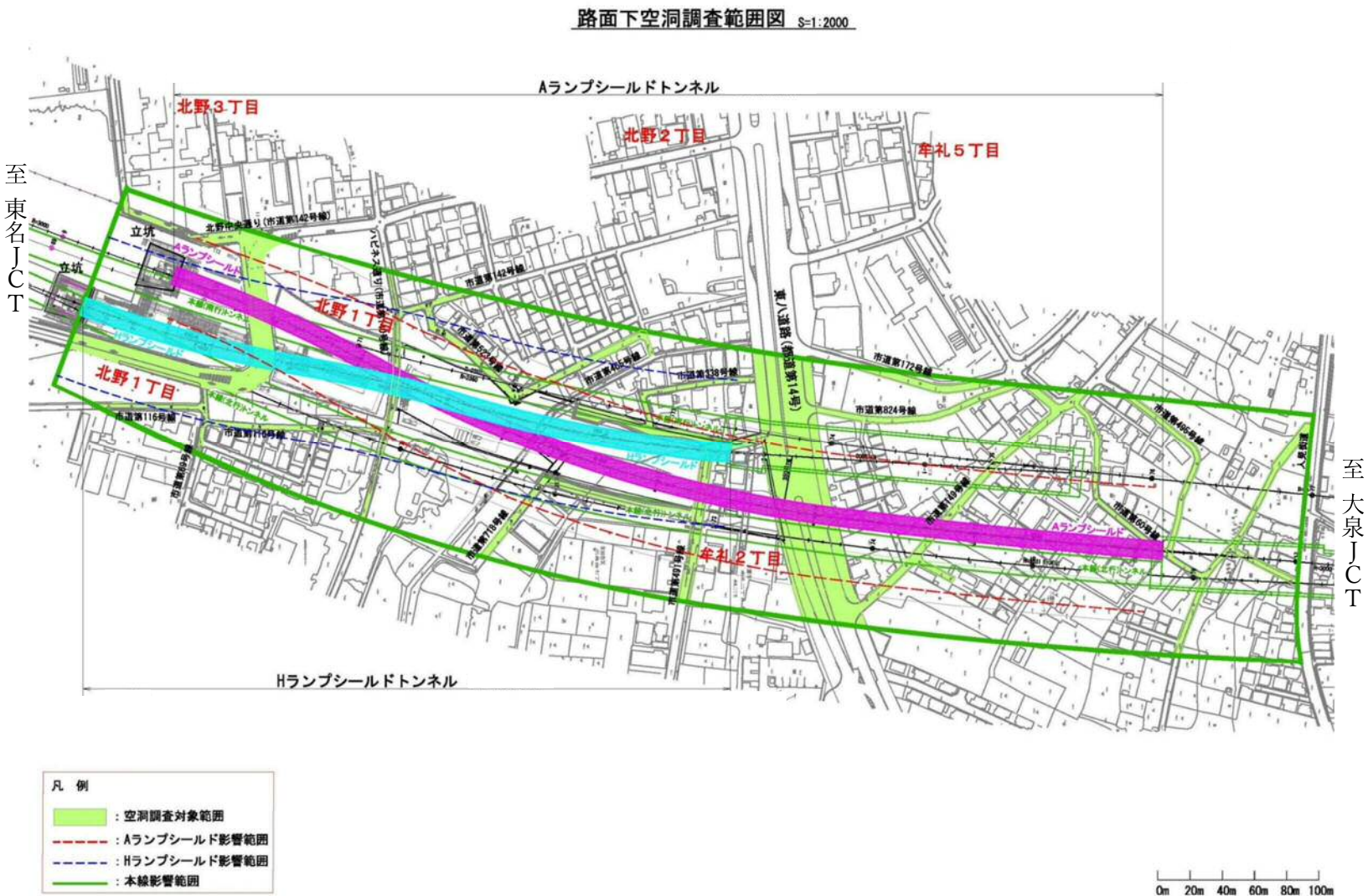
ハンディ型地中レーダー



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)



2-3-2 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＞

○従来のシールド通過前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。

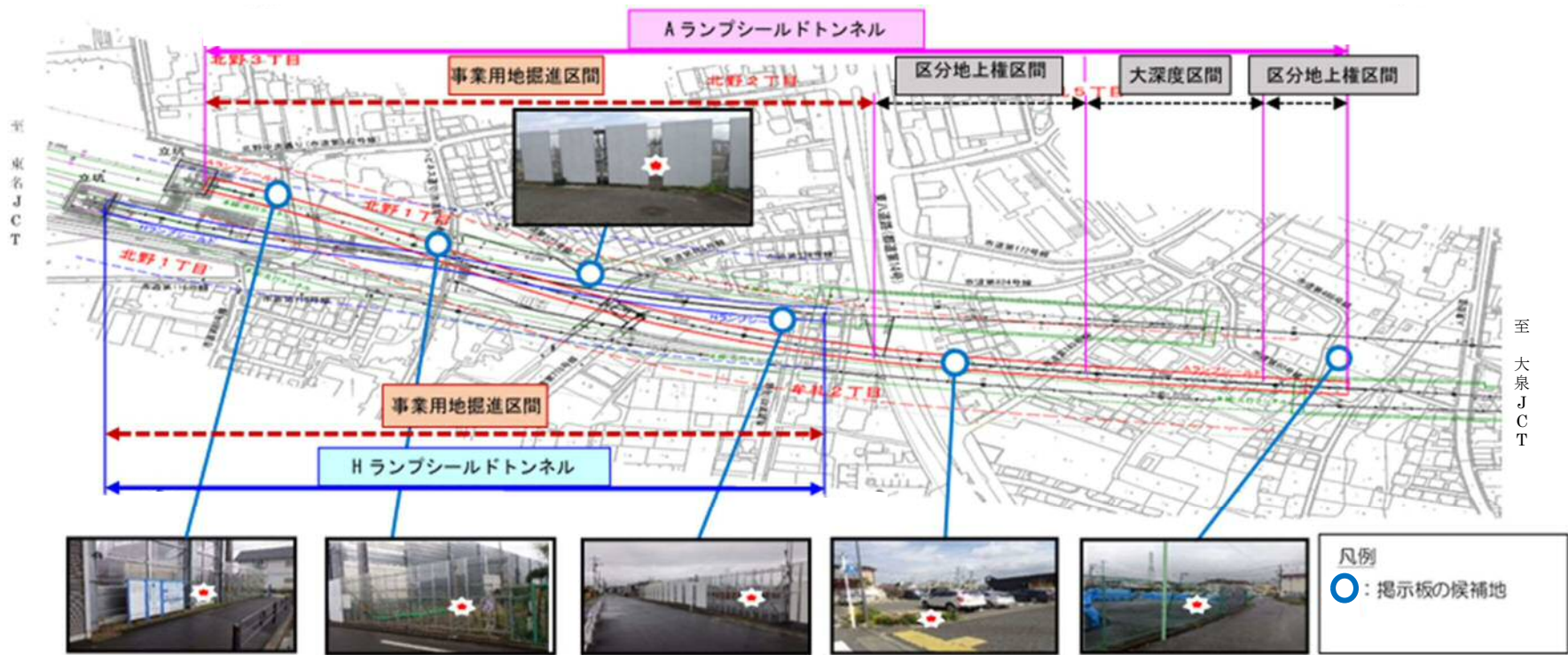
＜掲示板を用いた情報提供＞

- 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活用する予定）
- 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

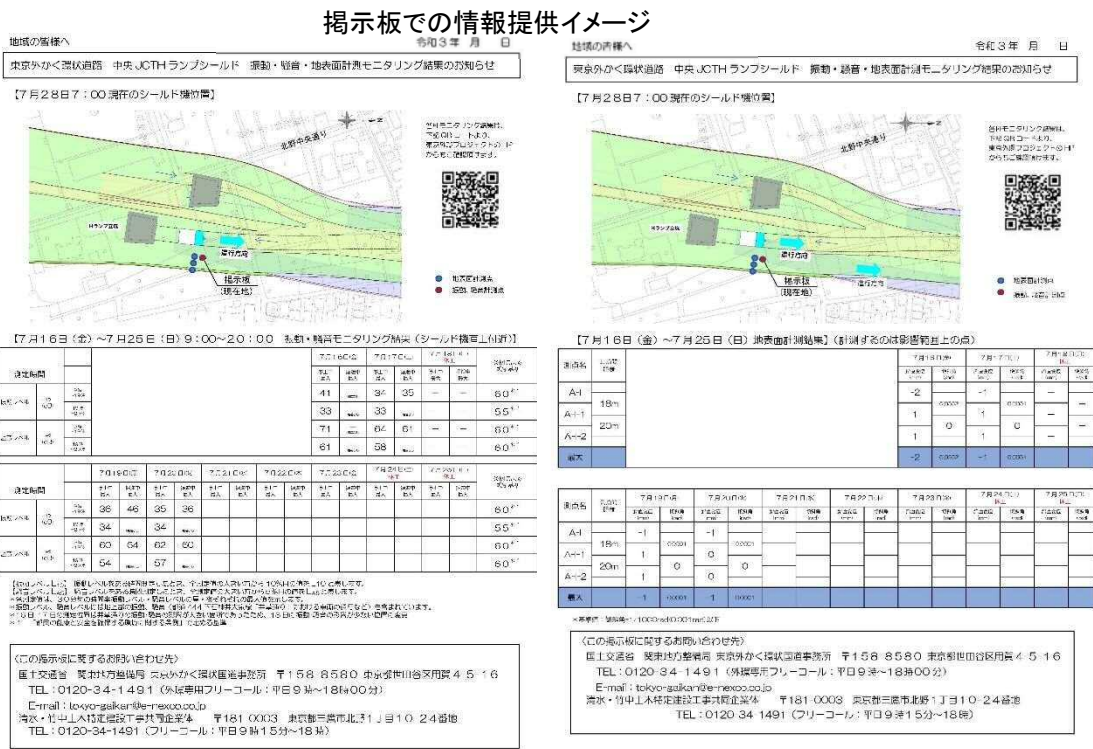


＜施工データの公表＞

○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。



地域掲示板の選定例（中央 JCT ランプシールド）

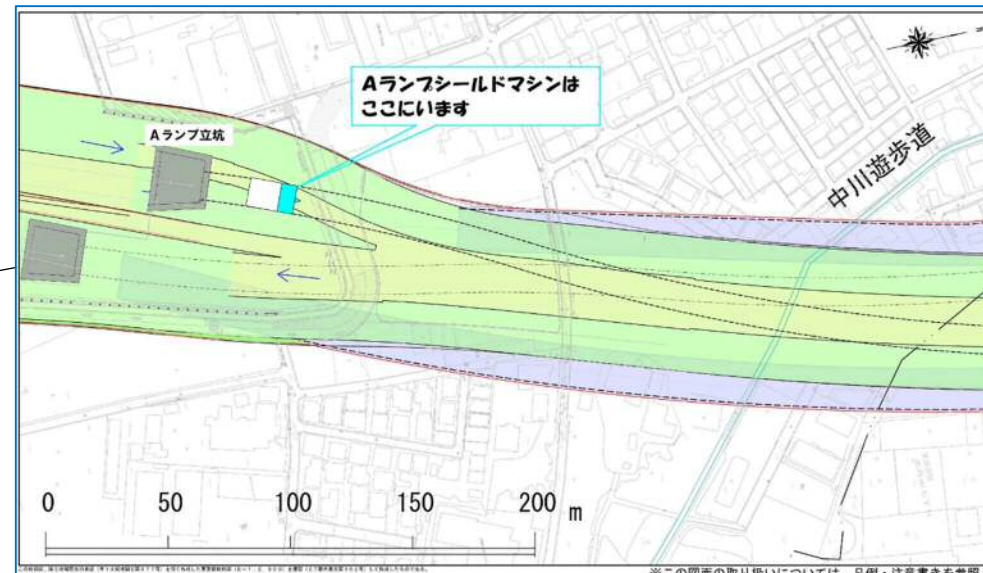


<モニタリング情報の公開及びシールドマシン掘進位置の明示>

- 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。



シールドマシン直上付近
モニタリングイメージ



シールドマシン掘削位置の
現地位置明示イメージ(中央北ランプ)

<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4月に開設。
- 大泉側事業用地内において、保全措置として実施した必要最低限の掘進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7月に開設。

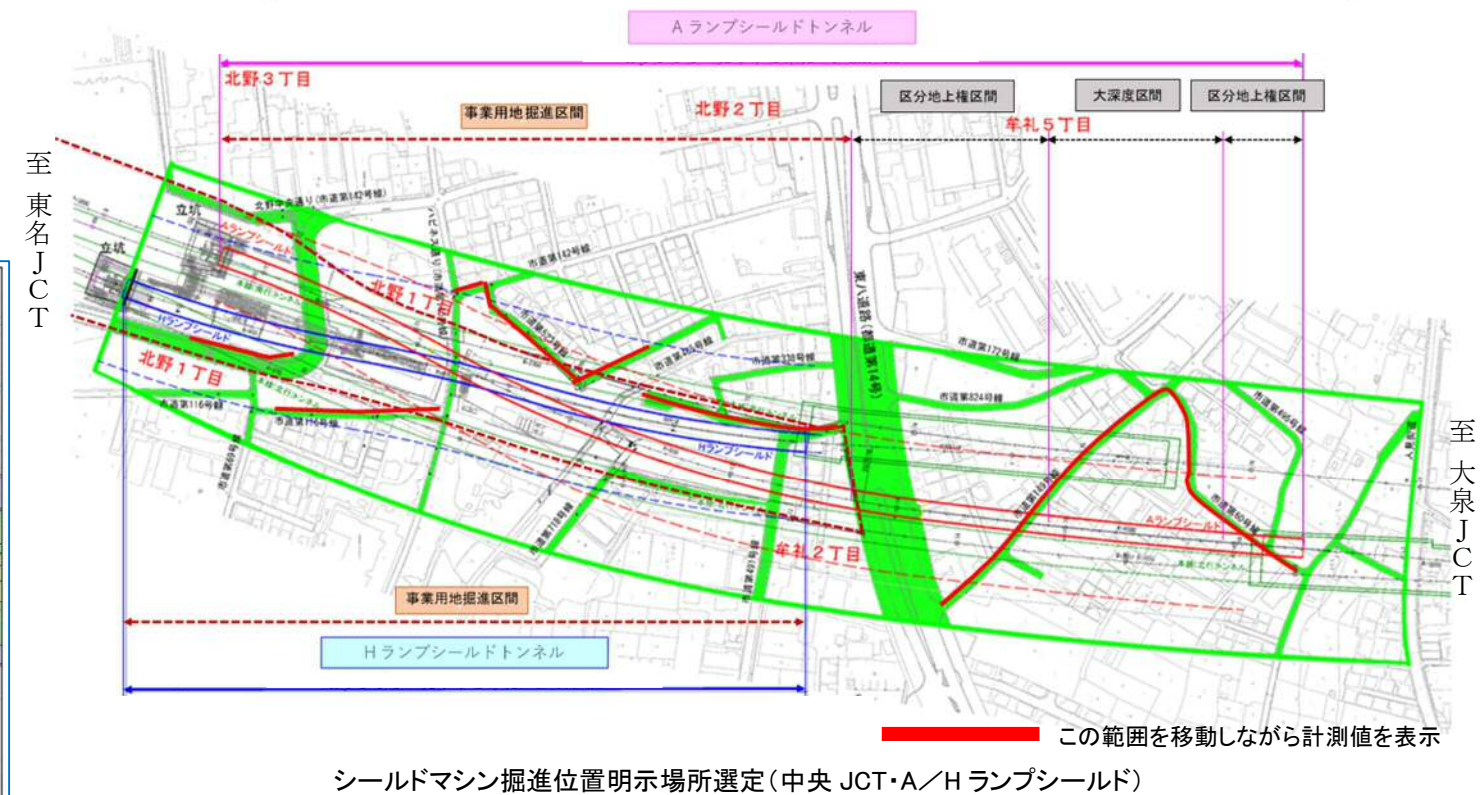
2-4 シールドマシン停止に伴う保全措置

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鉋物系添加材を使用し、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
- 改良地盤で停止する場合は、安全確保のため、チャンバー内への鉋物系添加材注入、定期的なカッター回転による土砂攪拌、必要最小限の掘進を行う必要がある。

2-5 「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。



シールドマシン掘進位置明示場所選定(中央JCT・A/Hランプシールド)



現場事務所の開設のお知らせ



「トンネル工事の安全・安心確保の取組み」パンフレット