

第2回 シールドトンネル施工技術検討会 議事要旨

1. 日時 令和3年10月25日（月）9：00～11：00

2. 出席者

龍岡文夫委員長、久保和幸委員、神田政幸委員、佐藤研一委員、建山和由委員、三村衛委員、森川嘉之委員

3. 議事概要

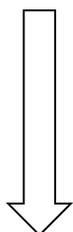
- 今後の進め方（案）について事務局より説明を行い、全委員から了解が得られた。
- 東日本高速道路（株）より、東京外かく環状道路工事現場付近で令和2年10月に発生した地表面陥没の再発防止対策の具体的な検討状況等についてヒアリングした。
- 東海旅客鉄道（株）より、中央新幹線シールドトンネルにおける安全・安心等の取組みについてヒアリングした。
- 各ヒアリング後の質疑応答において、委員より以下の趣旨の意見があった。
 - ・再確認として、シールド工事にあたっては、事前に地盤の性状の把握・評価を実施し、その結果を施工段階に引き継いでいくことが重要である。
 - ・排土量管理について、過剰な土砂の取り込みを早期に感知するため、仮定を置きつつも、測定可能な項目の活用などにより、従来よりも短時間で排土量を評価する手法の可能性を検討することが重要である。
 - ・特に、掘進停止後に再開する場合に、継続的な掘進時よりも慎重に排土量を管理することが重要である。
 - ・チャンバー内土砂の塑性流動性の確認について、客観的に評価できる手法を取り入れることが望ましい。
 - ・添加材の選定について、圧力が高くなる大土被りも含め、掘進を進める上で変化する条件に適応していくことが重要である。
 - ・掘進に伴う地表面変位について、新技術の活用も含め、掘進前の段階からモニタリングしていくことが重要である。
 - ・掘進時の振動について、建築物の基礎を通じて伝播するなど、条件により伝わり方が異なる可能性があることにも留意が必要である。
 - ・地表面陥没等の異常が発生した付近で、シールドを掘進する場合は、同じ事故を引き起こさないよう追加の地盤調査や監視を強化するなど細心の注意を払うことが必要である。

- 建設会社へのアンケートの結果の一部について事務局より説明を行い、次回の検討会において、いくつかの事例のヒアリングを行うことについて、全委員から了解が得られた。

今後の進め方(案)

9月28日

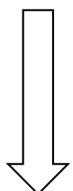
第1回 シールドトンネル施工技術検討会



- ・検討会の設置について
- ・ヒアリング(近年の事故発生事例)
- ・今後のスケジュール

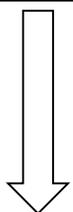
本日

第2回 シールドトンネル施工技術検討会



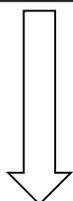
- ・ヒアリング(再発防止対策等の方針)
- ・アンケート結果(トラブルとその対策の事例)

第3回 シールドトンネル施工技術検討会



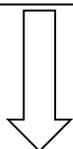
- ・ヒアリング(トラブルとその対策の事例)
- ・アンケート結果(工夫事例)
- ・ガイドライン(骨子案)

第4回 シールドトンネル施工技術検討会



- ・ガイドライン(素案)

第5回 シールドトンネル施工技術検討会



- ・ガイドライン(案)

ガイドライン策定・公表

東京外かく環状道路 **関越⇌東名**

具体的な再発防止対策の検討状況

東日本高速道路(株)
中日本高速道路(株)
国土交通省関東地方整備局

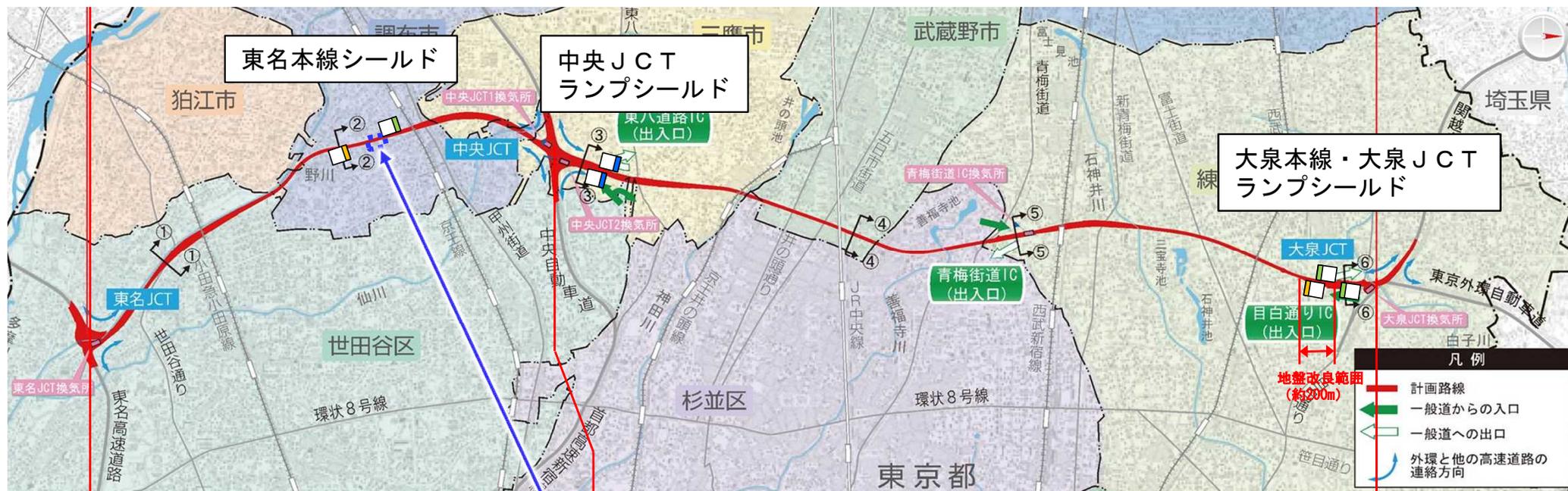
目次

有識者委員会においてとりまとめられた再発防止対策及び具体的な検討状況

東京外かく環状道路(関越～東名)の状況	…	2
I. 陥没・空洞を発生させない取り組み	…	3～4
I-① シールド掘進地盤に適した添加材の選定等	…	5～11
I-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	…	12～15
I-③ 排土管理の強化	…	16～22
I-④ カッター回転不能(閉塞)時の対応	…	23
II. 地域の安全・安心を高める取り組み	…	24
II-① 振動・騒音対策	…	25～26
II-② 地表面変状の確認	…	27
II-③ 地域住民の方への情報提供	…	28
II-④ シールドマシン停止に伴う保全措置	…	29
II-⑤ 「トンネル工事の安全・安心確保の取組み」の見直し	…	30
(参考)補償・補修の対応状況	…	31～34

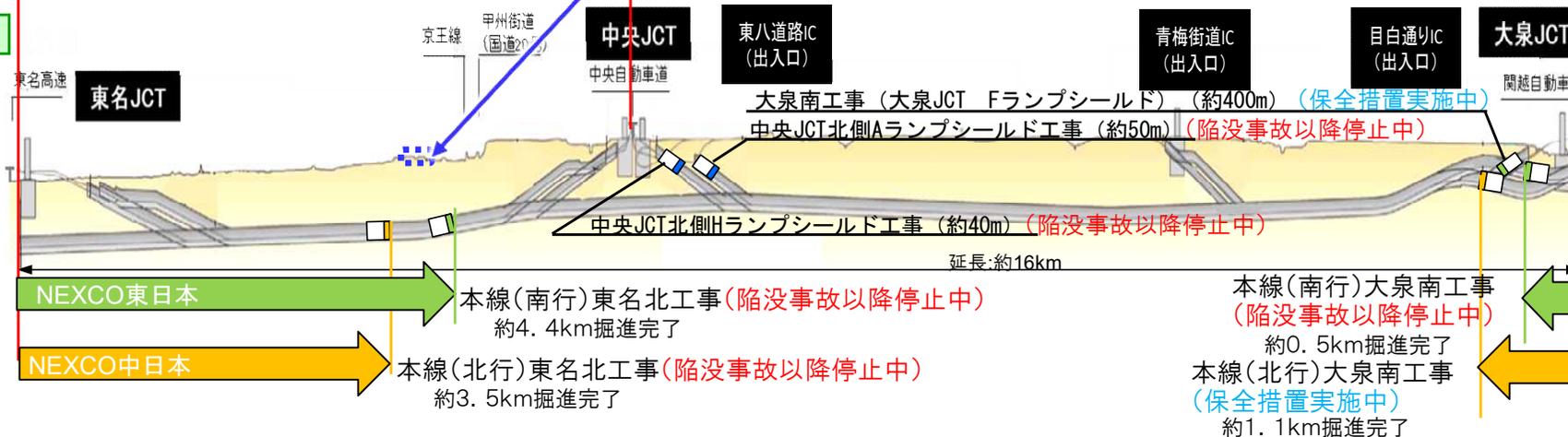
東京外かく環状道路(関越～東名)の状況

平面図



陥没・空洞発生箇所

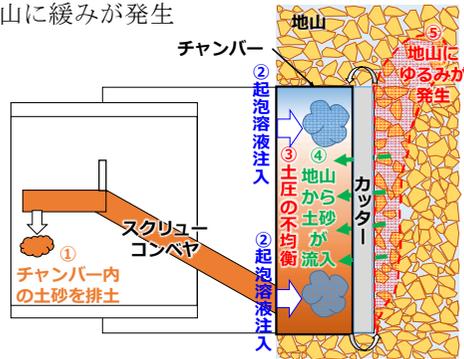
縦断面



<推定メカニズム>

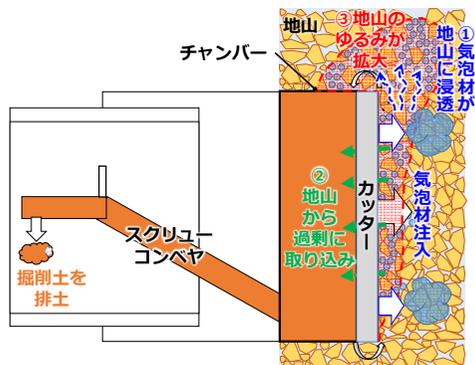
○閉塞及び閉塞を解除するための作業

- ・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パー内の土砂が分離・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パー内に流入
- ・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



<再発防止対策>

○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特殊な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

(掘進中)

② 塑性流動性とチャンパー内圧力のモニタリングと対応

- ・チャンパ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
- ・適正なチャンパー内圧力の設定

(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

④ カッター回転不能（閉塞）時の対応

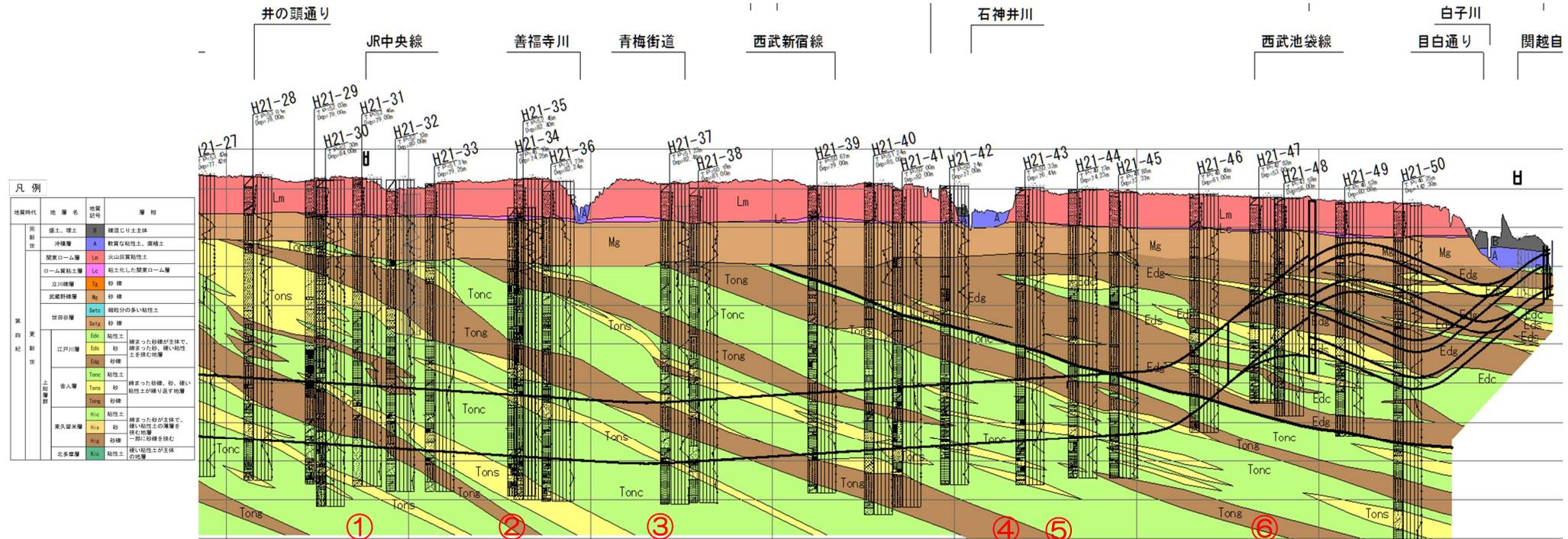
- ・工事を一時中断し、原因究明と地表面に影響を与えない対策を十分に検討
- ・地盤状況を確認するために、必要なボーリング調査等を実施する

I-① シールド掘進地盤に適した添加材の選定等

○事前配合試験を行う対象断面

□大泉本線シールド(大泉JCT～井の頭通り付近)の場合

・既往の土質調査から、細粒分含有率10%以下、均等係数5以下のいずれかに該当する箇所を試験対象断面とする



凡例	地層名	地質記号	層用	
第三紀	礫土、礫土	B	礫道りり土主体	
	沖積層	A	軟質な粘性土、腐植土	
	関東ローム層	Lm	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	
	立川砂層	Ts	砂	
	武蔵野砂層	Ts	砂	
	第四紀	世田谷層	Seta	細粒分の多い粘性土
		世田谷層	Seta	砂
		江戸川層	Eds	締まった砂層が主体で、締まった砂、礫・粘性土を挟む地層
		江戸川層	Eds	砂
		香入層	Ton	粘性土
		香入層	Ton	締まった砂層、砂、硬い粘性土が繰り返す地層
上新世	東久留米層	Hia	締まった砂が主体で、硬い粘性土の層を挟む地層	
	東久留米層	Hia	砂	
	東久留米層	Hia	砂	
	北多摩層	Kic	礫・粘性土が主体の層	

ボーリングNo	H21-28	H21-29	H21-30	H21-31	H21-32	H21-33	H21-34	H21-35	H21-36	H21-37	H21-38	H21-39	H21-40	H21-41	H21-42	H21-43	H21-44	H21-45	H21-46	H21-47	H21-48	H21-49	H21-50	
STA	91+64	95+03	95+63	97+64	99+46	101+63	106+10	106+45	107+97	114+48	116+05	122+51	125+63	127+03	129+70	133+80	136+71	138+95	143+40	146+69	148+08	151+41	154+60	154+60
評価① 細粒分含有率 10%以下			●													●					●			
評価② 均等係数 5以下			●			●			●							●								
地山の流動性			●																					

評価① 各断面における礫層または砂層の細粒分含有率が10%以下で、かつ粘性土層がない：●
 評価② 各断面におけるいずれかの土層の均等係数が5以下：●
 地山の流動性評価 評価①かつ評価②に該当：●
 (トンネル標準方書・同解説【山岳工法編】2016年制定の「表2.3.10 地山の流動化を示す指標の例」を基に評価設定)

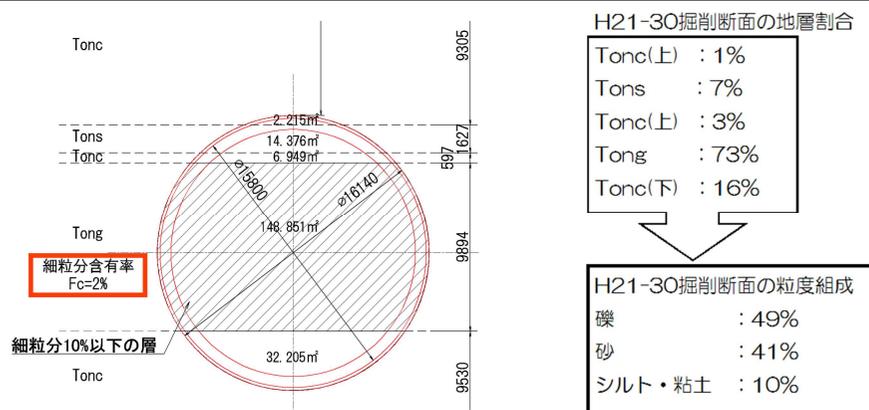
I-① シールド掘進地盤に適した添加材の選定等

○試験対象土の設定

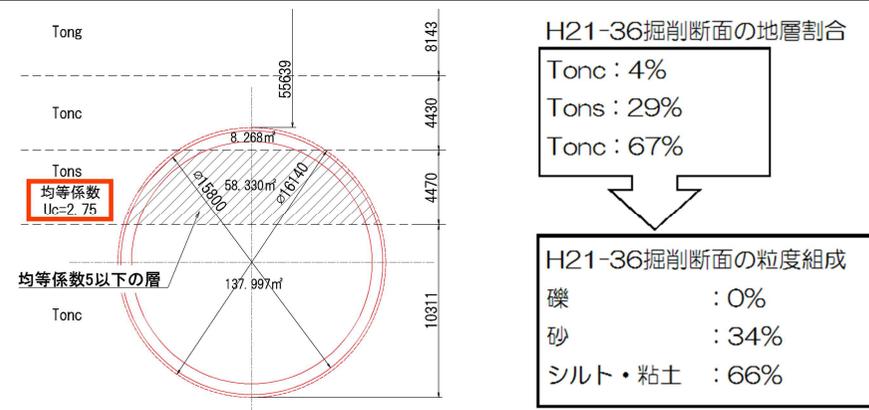
- ・タイプA: 各試験対象断面の掘削断面の粒度組成を想定した模擬土(6種類)
- ・タイプB: 塑性流動性の確保が最も厳しいと想定される土層が全断面に出現した場合の模擬土(2種類)

□細粒分含有率(Fc)が最も小さいH21-30の礫層、均等係数(Uc)が最も小さいH21-36の砂層の例を以下に示す。

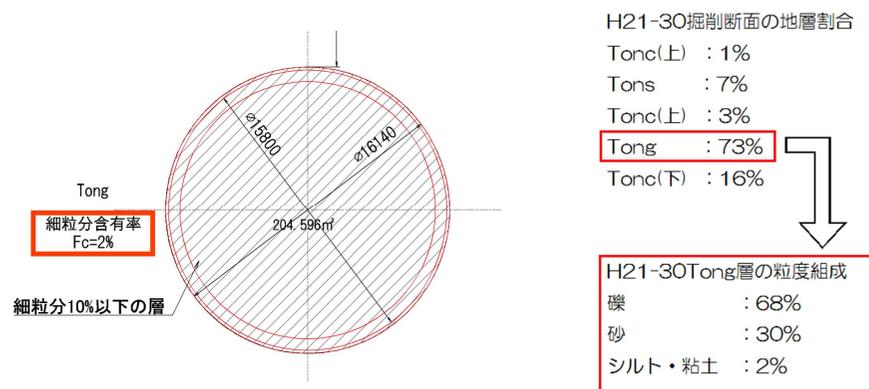
①-A 既存ボーリング(H21-30)模擬土タイプA



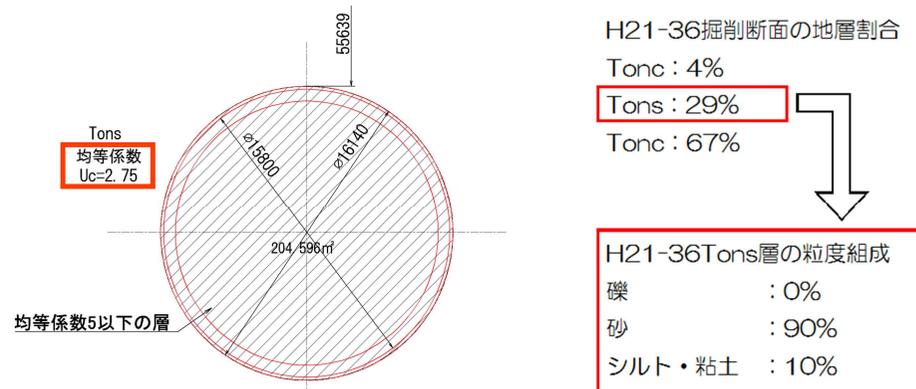
③-A 既存ボーリング(H21-36)模擬土タイプA



①-B 既存ボーリング(H21-30)模擬土タイプB



③-B 既存ボーリング(H21-36)模擬土タイプB



I-① シールド掘進地盤に適した添加材の選定等

○4種類の添加材により事前配合試験を実施

	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、より破泡しにく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(高濃度配合)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

I-① シールド掘進地盤に適した添加材の選定等

○事前配合試験の結果(大泉本線シールド南行の場合)

□対象断面① 既存ボーリング(H21-30)ータイプA

番号	添加材	材齢(直後)			材齢(7日)		
		ミニランプ(cm)	テーブルフロ-(mm)	目視・手触り	ミニランプ(cm)	テーブルフロ-(mm)	目視・手触り
①-A CASE-1	気泡材(標準配合)						
	加水: 3% 気泡材 濃度: 1.0% 発泡倍率: 10倍 注入率: 10%						
		5.5	159×162	○	0.0	111×116	×
		【 ○ 】			【 × 】		

□対象断面③ 既存ボーリング(H21-36)ータイプB

番号	添加材	材齢(直後)			材齢(7日)		
		ミニランプ(cm)	テーブルフロ-(mm)	目視・手触り	ミニランプ(cm)	テーブルフロ-(mm)	目視・手触り
③-B CASE-1	気泡材(標準配合)						
	加水: 6% 気泡材 濃度: 1.0% 発泡倍率: 10倍 注入率: 10%						
		1.0	146×144	○	0.0	110×110	×
		【 ○ 】			【 × 】		

I-① シールド掘進地盤に適した添加材の選定等

○細粒分含有率10%以下の試料では、地盤状況によっては気泡材のみでは良好な塑性流動性が確保できないケースがある

○この場合においても、鉱物系添加材を用いることにより、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

□事前配合試験の結果

模擬土	対象Bor	模擬土		CASE	気泡材			鉱物系		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
①-A	H21-30 全断面	タイプA	10%	CASE-1	標準 (1.0)	10	10	-	-	3	○	○	○	×
				CASE-2	高濃度 (5.0)	20	10	-	-	3	○	○	○	○
				CASE-3	高濃度 (5.0)	20	10	70kg/m3 (7.0)	5	-	○	○	○	○
				CASE-4	-	-	-	70kg/m3 (7.0)	15	-	○	○	○	○
①-B	H21-30 Tong層	タイプB	2%	CASE-1	標準 (1.0)	10	10	-	-	3	○	×	×	×
				CASE-2	高濃度 (5.0)	20	10	-	-	3	○	○	×	×
				CASE-3	高濃度 (5.0)	20	10	70kg/m3 (7.0)	5	-	○	○	○	×
				CASE-4	-	-	-	70kg/m3 (7.0)	35	-	○	○	○	○
②-A	H21-33 全断面	タイプA	75%	CASE-1	標準 (1.0)	10	30	-	-	20	○	○	○	○
				CASE-2	高濃度 (5.0)	20	30	-	-	20	○	○	○	○
				CASE-3	高濃度 (5.0)	20	30	70kg/m3 (7.0)	23	-	○	○	○	○
				CASE-4	-	-	-	70kg/m3 (7.0)	25	-	○	○	○	○
③-A	H21-36 全断面	タイプA	66%	CASE-1	標準 (1.0)	10	30	-	-	20	○	○	○	○
				CASE-2	高濃度 (5.0)	20	30	-	-	20	○	○	○	○
				CASE-3	高濃度 (5.0)	20	30	70kg/m3 (7.0)	24	-	○	○	○	○
				CASE-4	-	-	-	70kg/m3 (7.0)	27	-	○	○	○	○
③-B	H21-36 Tons層	タイプB	10%	CASE-1	標準 (1.0)	10	10	-	-	6	○	○	×	×
				CASE-2	高濃度 (5.0)	20	10	-	-	6	○	○	○	○
				CASE-3	高濃度 (5.0)	20	10	70kg/m3 (7.0)	6	-	○	○	○	○
				CASE-4	-	-	-	70kg/m3 (7.0)	25	-	○	○	○	○
④-A	H21-43 全断面	タイプA	68%	CASE-1	標準 (1.0)	10	30	-	-	20	○	○	○	○
				CASE-2	高濃度 (5.0)	20	30	-	-	20	○	○	○	○
				CASE-3	高濃度 (5.0)	20	30	70kg/m3 (7.0)	24	-	○	○	○	○
				CASE-4	-	-	-	70kg/m3 (7.0)	27	-	○	○	○	○
⑤-A	H21-44 全断面	タイプA	43%	CASE-1	標準 (1.0)	10	25	-	-	15	○	○	○	○
				CASE-2	高濃度 (5.0)	20	25	-	-	15	○	○	○	○
				CASE-3	高濃度 (5.0)	20	25	70kg/m3 (7.0)	18	-	○	○	○	○
				CASE-4	-	-	-	70kg/m3 (7.0)	22	-	○	○	○	○
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	-	○	○	○	○

I-① シールド掘進地盤に適した添加材の選定等

- 今回実施した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。
また、各種モニタリングや排土性状を確認し、気泡材の注入量等の調整で塑性流動性の改善が見られない場合には、鉱物系添加材を速やかに添加し塑性流動性を確保する。
今後、具体的な運用方法について検討を進める。
- 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。
※長期掘進停止時とは、7日を超える掘進停止を想定
- 今後の掘進区間において、掘削断面の細粒分含有率が10%以下でかついずれかの土層の均等係数が5以下の地盤は5箇所確認しており、安全を見てこれらの箇所などにおいて今後必要に応じ追加ボーリングを実施し、地盤の再確認を行う。
また、その具体的な場所について検討を進める。

② 塑性流動性のモニタリングと対応

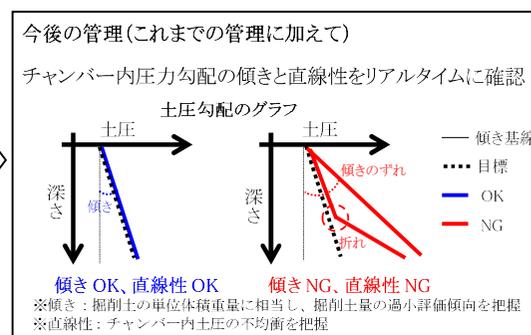
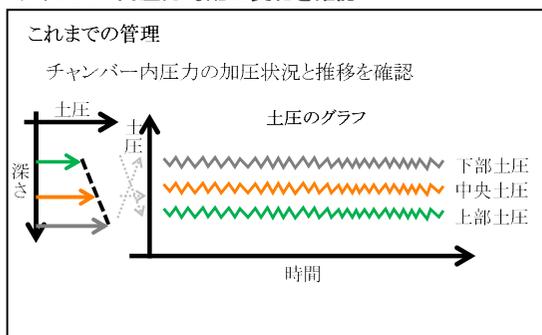
- これまでの塑性流動性の確認項目に加え、新たにチャンバー内の圧力勾配、ミニスランプ、粒度分布での確認を行うこととする。
- 塑性流動性のモニタリングをしながら、添加材注入量や添加材の種類を適切に調整し、塑性流動性・止水性の確保を行う。なお、塑性流動性の確保が困難となる兆候が確認された場合は原因の解明と対策を検討する。

表 8-1 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	<ul style="list-style-type: none"> 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）	圧力勾配の傾きと直線性を確認する 例) 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		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

*赤字は追加および変更項目

○ チャンバー内圧力勾配の変化を確認



○ 排土性状の確認

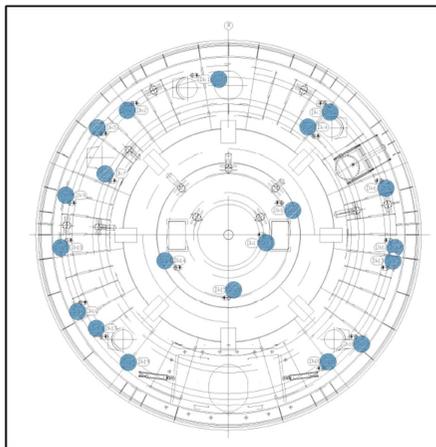


I - ② 塑性流動性とチャンバー内圧力のモニタリングと対応

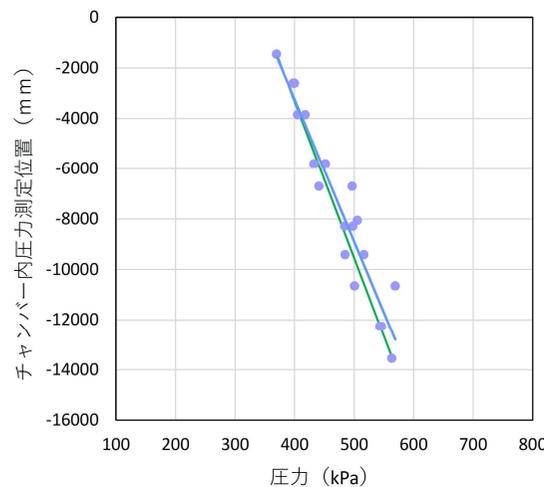
○新たにチャンバー内の圧力勾配、ミニスランプ、粒度分布での確認を行い、塑性流動性を確認する

□チャンバー内圧力勾配のモニタリング方法の具体検討

- ・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する。
- ・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。
- ・各土圧計で測定したチャンバー内圧力勾配の直線性の傾向を確認する。



圧力計位置(参考例)



チャンバー内圧力勾配の確認

— 理論圧力勾配
● チャンバー内圧力
— チャンバー内圧力勾配(実績値)



チャンバー内圧力勾配の直線性の確認

□塑性流動性の管理方法

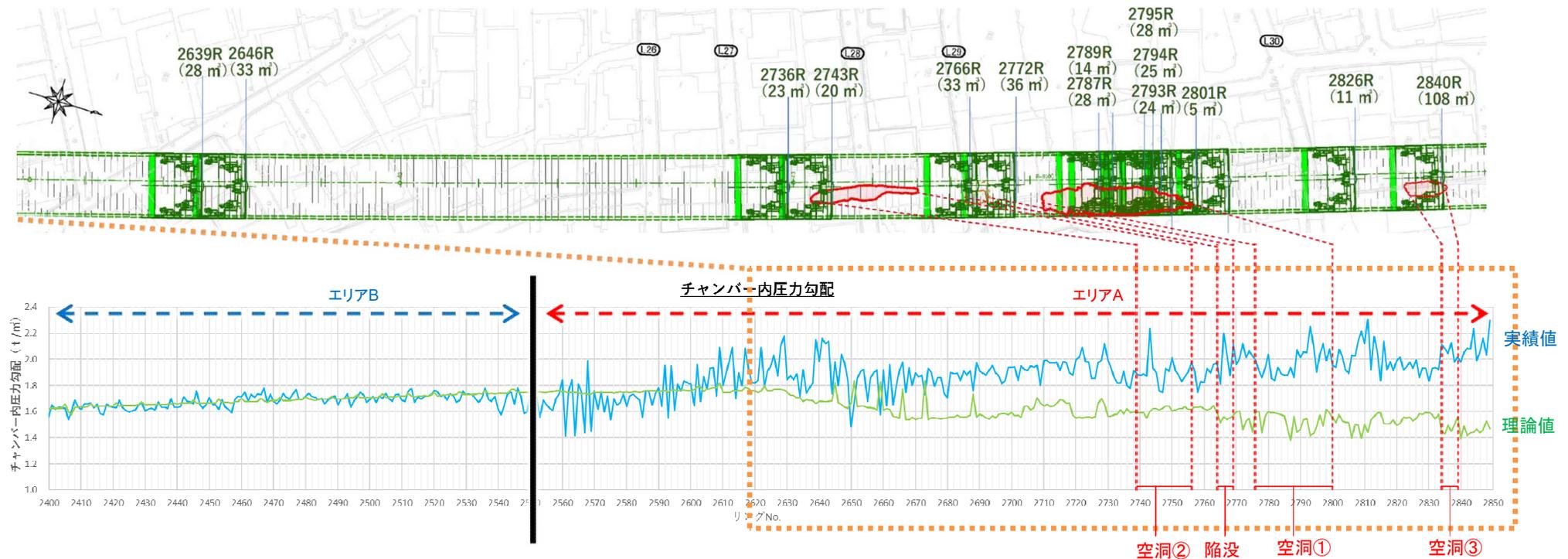
- ・チャンバー内圧力勾配を確認するとともに、カッタートルク、シールド施工熟練者による手触・目視、ミニスランプ試験および粒度分布などの確認結果も踏まえ総合的に判断する

I-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

○陥没・空洞箇所での検証

- ・エリアAでは、理論値圧力勾配と実際に計測したチャンバー内の圧力勾配に乖離が見られ始め、陥没・空洞箇所ではその乖離が大きくなっている。
- ・また直線性については、カッター回転不能が生じた前日の夜間休止後掘進再開時において、チャンバー内圧力にバラツキが確認された。

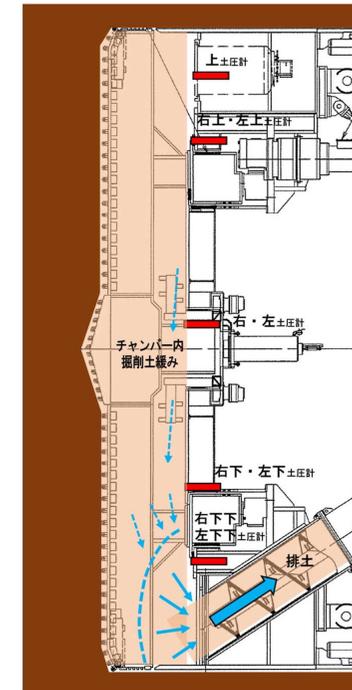
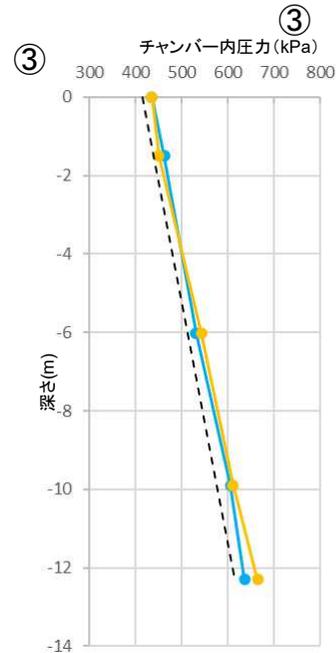
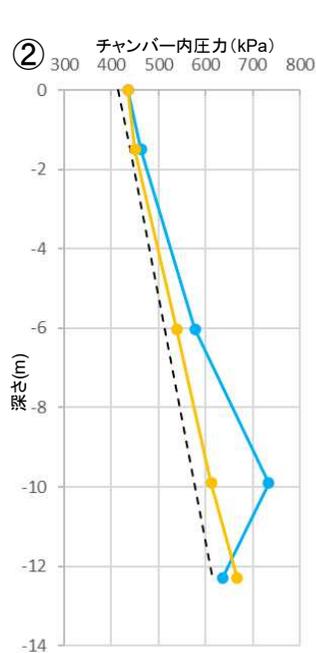
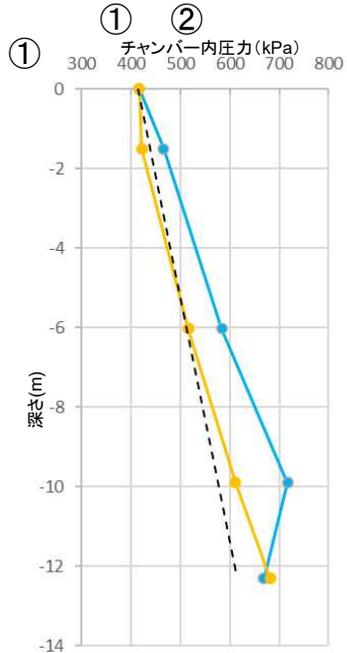
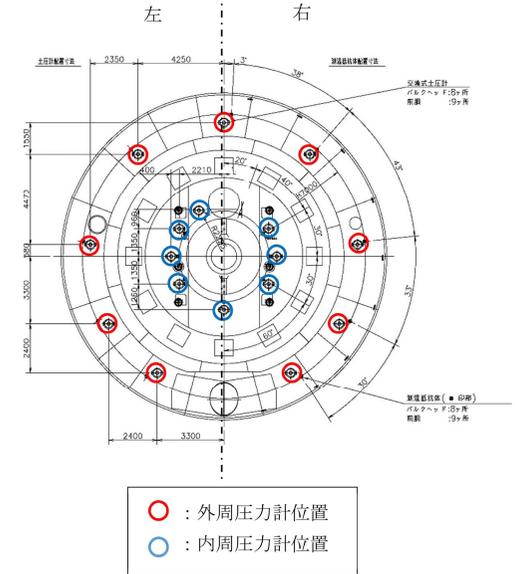
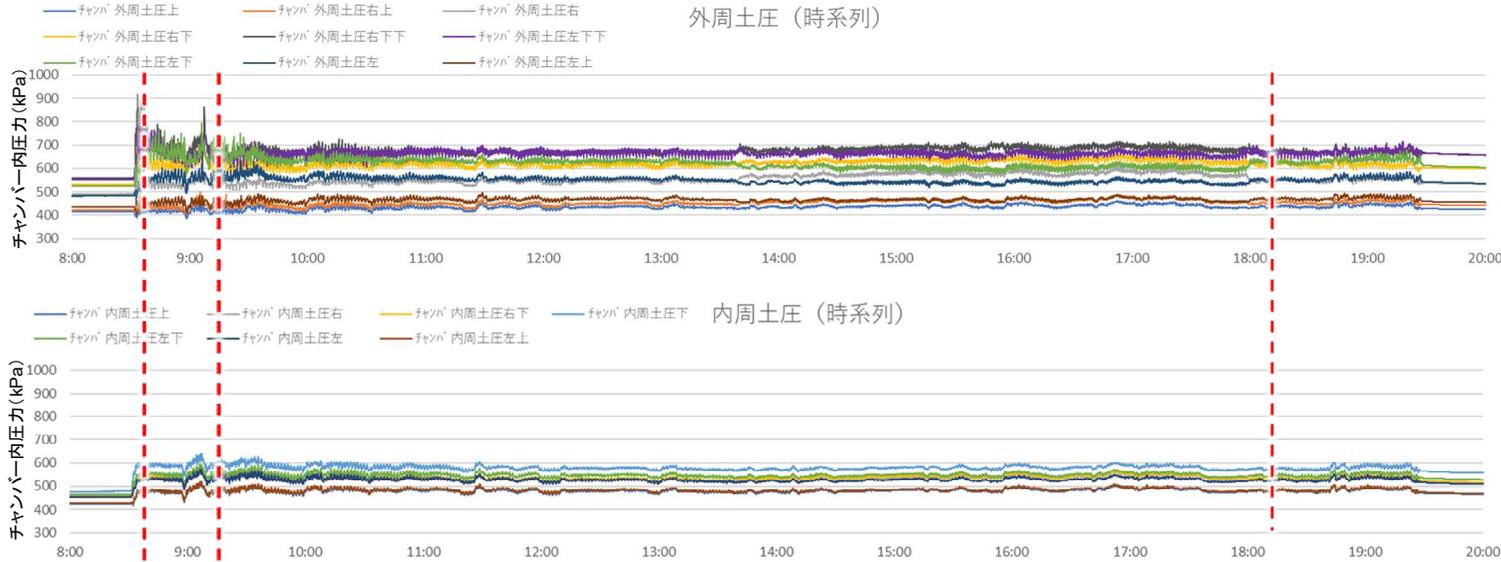
<チャンバー内圧力勾配>



I-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 直線性>

チャンバー内圧力(9月7日) (カッター回転不能解除の前日データ)



③排土管理について

排土管理として、これまでの実績を踏まえ、従来の1次管理値よりも厳しい±7.5%を新たな1次管理値とする。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）による管理を追加する。

表 8-2 掘削土量管理項目と管理値

管理項目	計測内容	計測目的	管理値の考え方	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、毎リング)	【取込み過多】 切羽が不安定になり、地表面沈下等周辺地盤への影響が大きくなる	・ベルトスケール重量から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 ・掘削土量の1次管理値±7.5%、2次管理値±15%として、管理を行う	t (m ³)	前20リング平均±7.5%以内	前20リング平均±15%以内	・添加材の重量を控除しない重量も併せて管理 ・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
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_毎リング)	【取込み不足】 地表面隆起が発生する可能性がある ジャッキ推力などのシールドマシンへの負荷が増大する	・掘削土重量を掘削土の単位体積重量で除して地山掘削土量(体積)を算出し、シールド断面と掘削長から求めた設計地山掘削土量との比率を1リング毎に確認・管理する	%	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体積換算

*赤字は追加および変更項目

○ 掘削土重量の確認

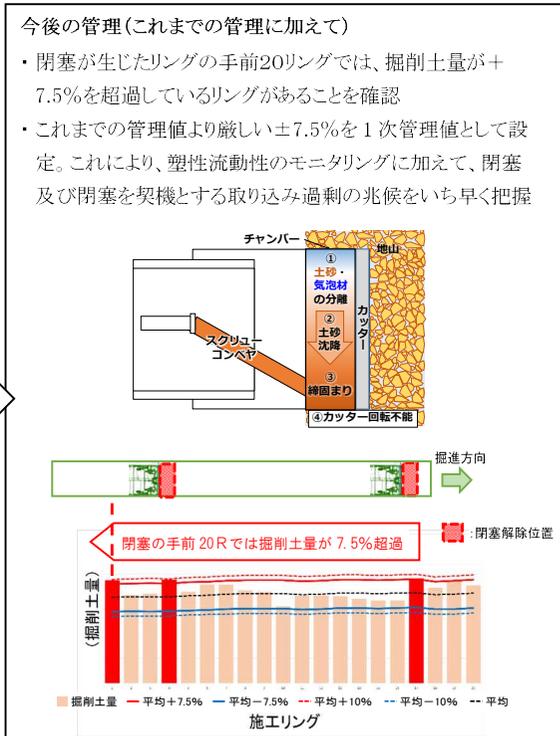
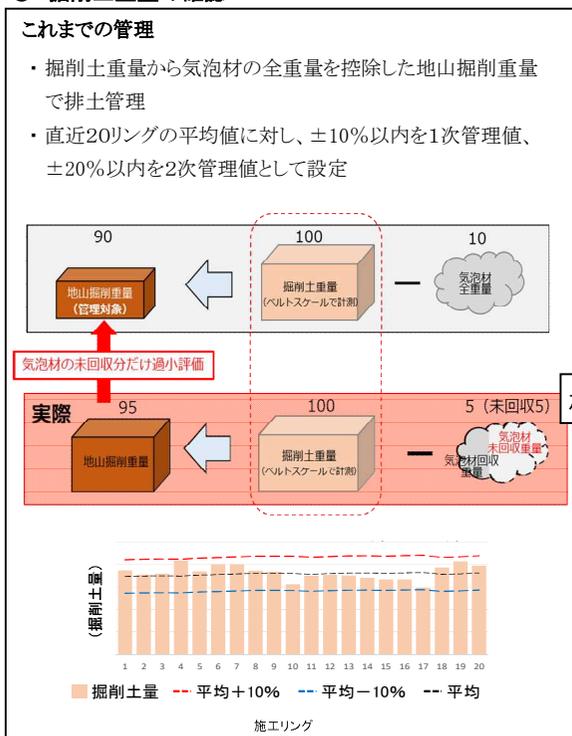


表 8-3 掘削土量の管理値を超過した際の対応

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、チャンパ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、工事を一時中断し、原因究明
	2次管理値	・工事を一時中断し、原因究明・対策検討(地上からの充填注入の検討等)

*赤字は追加および変更項目

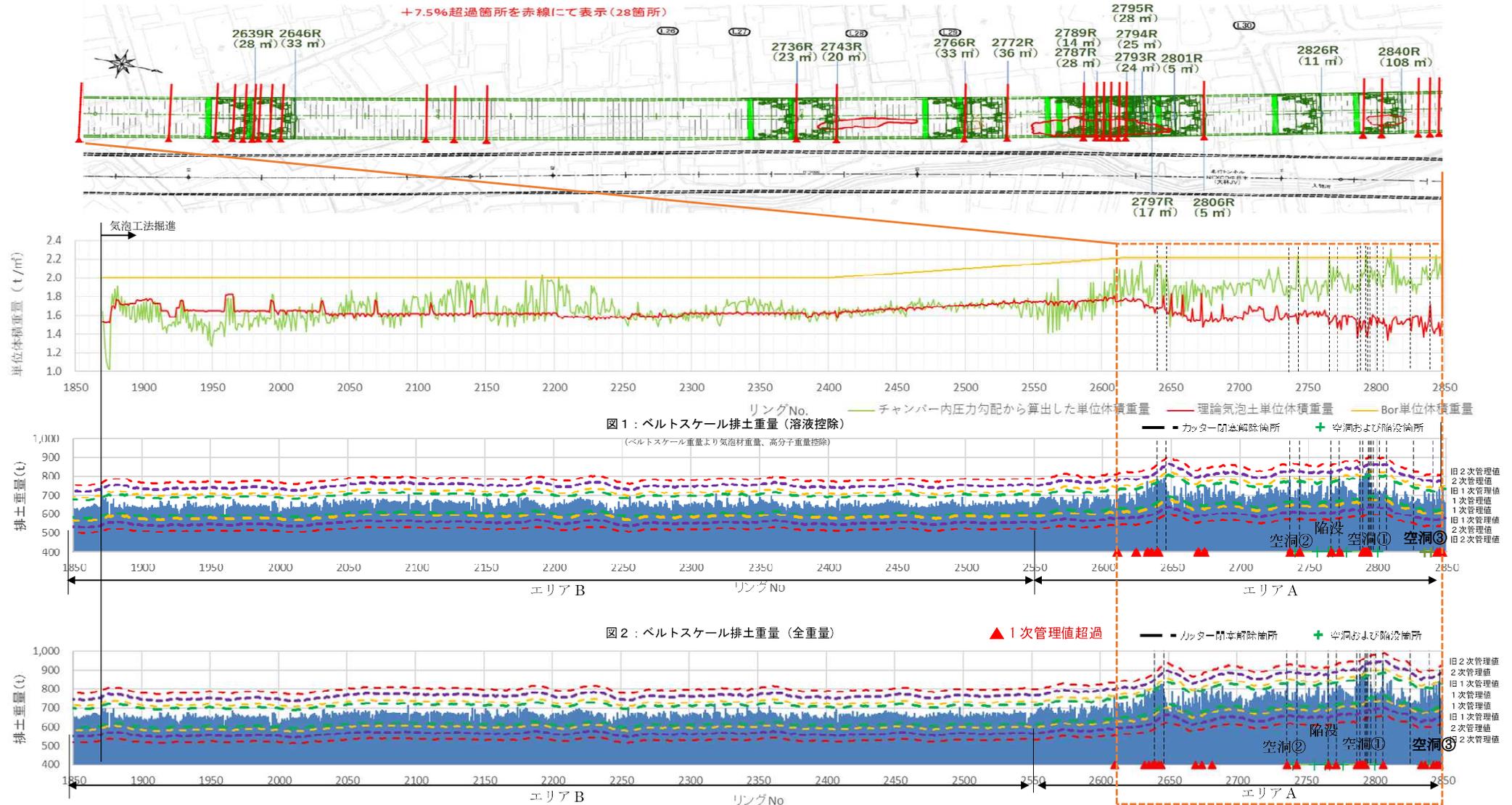
I-③ 排土管理の強化

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、今回事象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につながるものと考えられる。



I ー③ 排土管理の強化

- ベルトスケールで排土重量は計測し、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 $\pm 7.5\%$ 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 $\pm 7.5\%$ 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

- 排土率による、理論値と実績値を比較する新たな指標を追加
 - ・排土重量が徐々に増加していく場合などにおいては、手前20リング平均との比較では取り込み過剰の予兆を把握するが、さらにリング毎の排土率を確認することで、より早く予兆を把握
(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)

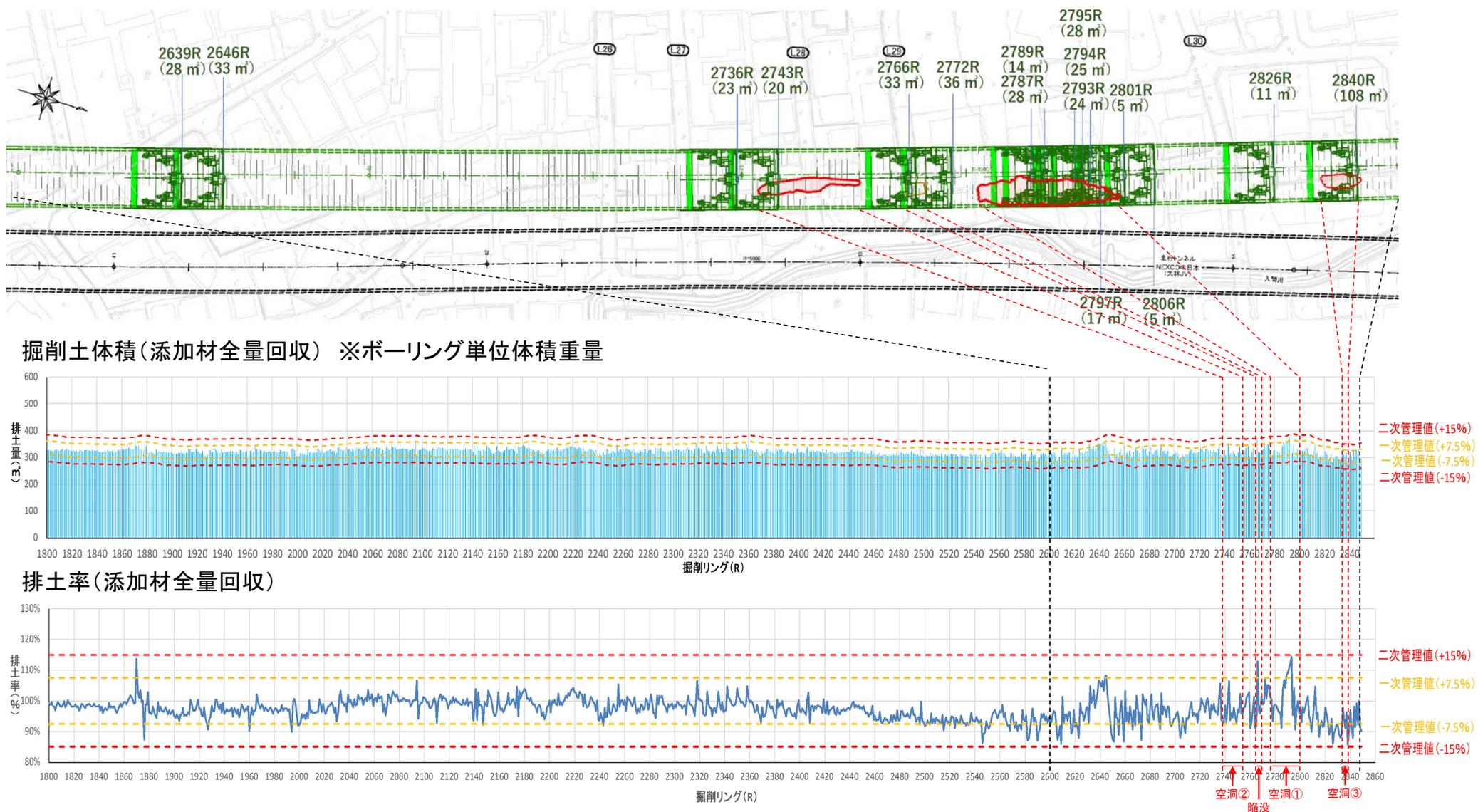
- 地山単位体積重量の変化を確認
 - ・排土率は、地山単位体積重量をボーリングデータを用いて算出するが、排土を突き固めて計測した排土単位体積重量により、地山単位体積重量の変化を確認

- 添加材未回収分を考慮した体積についても確認
 - ・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

I — ③ 排土管理の強化

○排土率の陥没・空洞箇所での検証

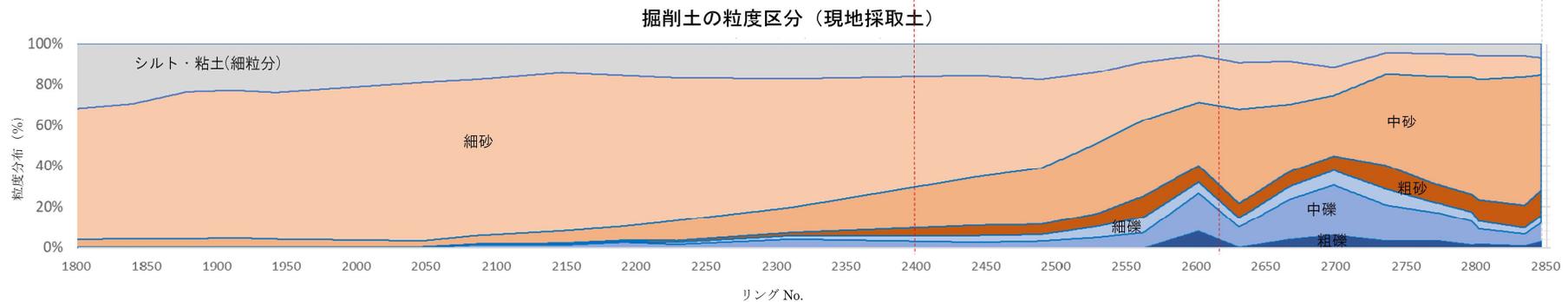
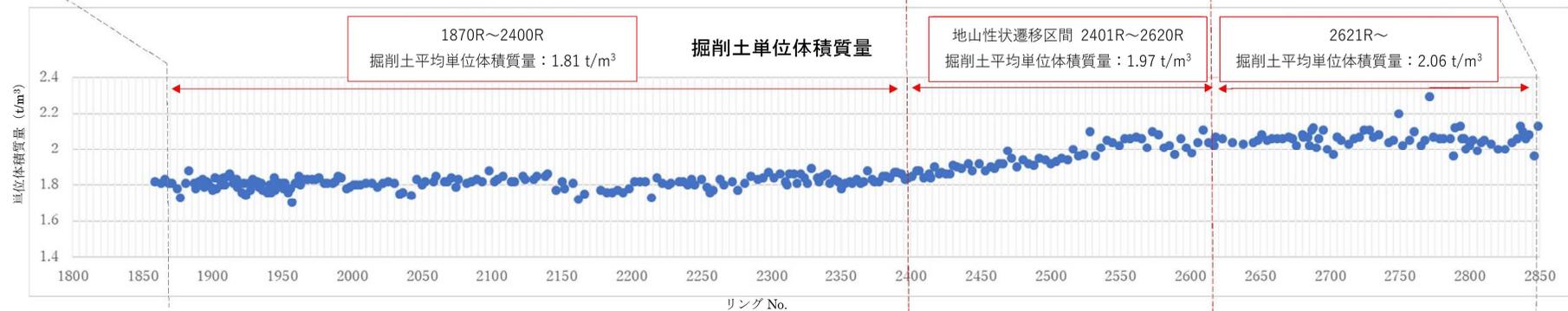
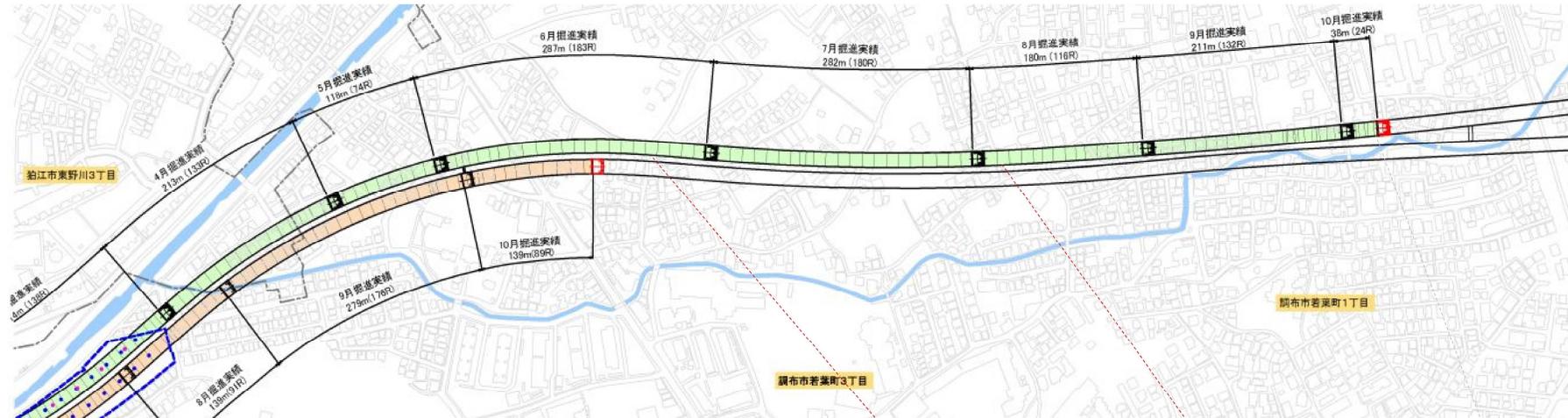
・空洞・陥没が発生した箇所において新たに設定した管理値を超過することが確認された。



I — ③ 排土管理の強化

○地山単位体積重量の変化を確認

- ・排土を突き固めて計測した排土単位体積重量により、ボーリング調査間の地山単位体積重量の変化を確認する
- ・上記を踏まえ、排土率の算出に用いる、ボーリング調査から得られた地山単位体積重量を決定する



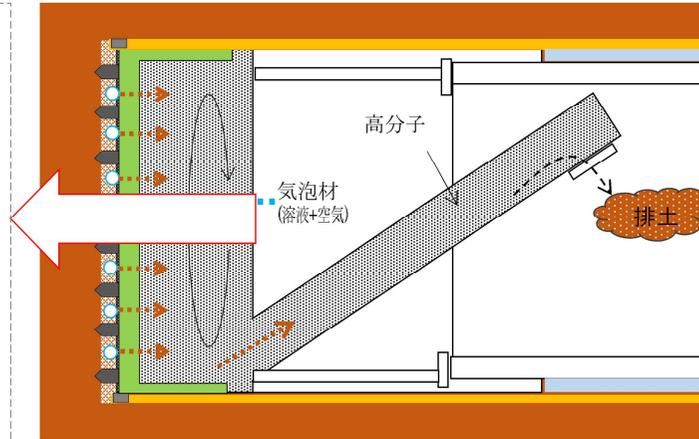
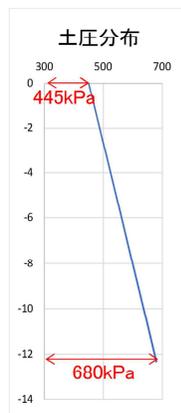
I — ③ 排土管理の強化

○添加材未回収分を考慮した体積についても確認

- ・添加材の回収状況について、チャンバー内圧力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

チャンバー内圧力勾配からの推定

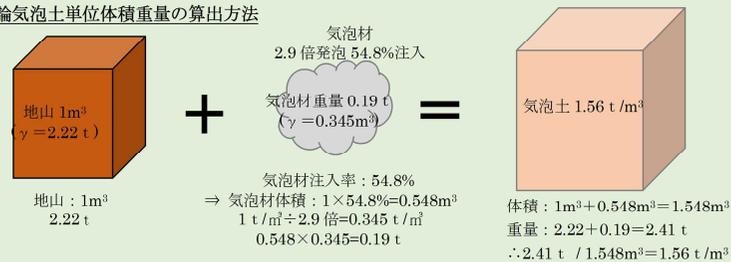
チャンバー内の掘削土砂が塑性流動化している状態では、チャンバー内圧力勾配が掘削土砂の単位体積重量と等しくなると考えられる。右図土圧分布を例にすると、
 $(680\text{kPa} - 445\text{kPa}) \div 12.3\text{m} = 19.1\text{kN/m}^3$
 がチャンバー内掘削土(気泡土)の単位体積重量と算定(推定)される。この値から掘削土に含まれている気泡材の量を算定して、添加量と比較することで、浸透量を推定する。
 (気泡の付着防止で使用される粘性土等では、上記推定が適応しない場合があるので注意が必要)



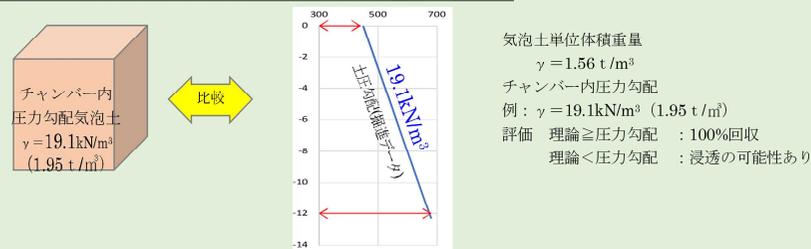
I. チャンバー内圧力勾配からの浸透評価

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重量(以下、理論気泡土単位体積重量)と、チャンバー内圧力勾配から得られる掘削土単位体積重量の比較から浸透の可能性を評価する。

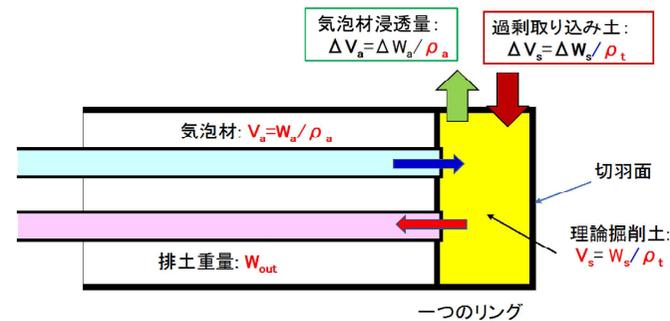
理論気泡土単位体積重量の算出方法



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



測定値、既知量は:
 V_a, W_a : 注入気泡材の体積と重量
 ρ_a : 気泡材密度
 V_s, W_s : リング内の土の体積と重量
 ρ_t : 地質調査による土密度
 ρ_{tc} : チャンバー内土圧分布から求めたチャンバー内の土の密度



$$\Delta Va = Va - \frac{\rho_t - \rho_{tc}}{\rho_t - \rho_a} \times \frac{W_{out}}{\rho_{tc}}$$

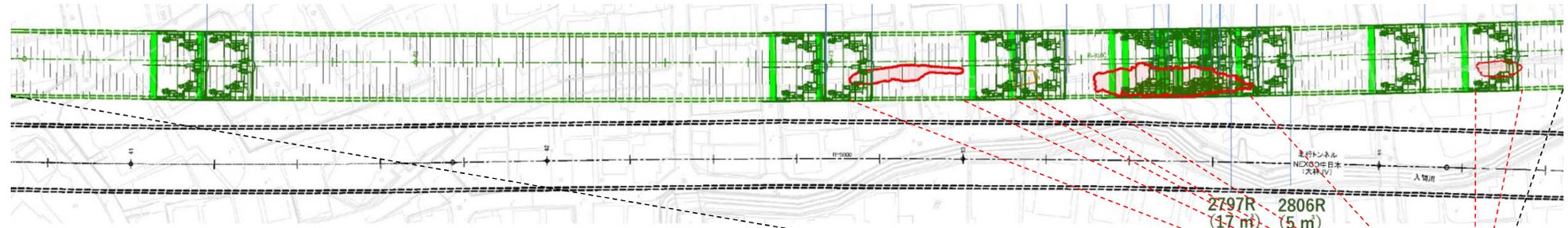
ΔVa : 気泡材浸透量、 Va : 気泡材注入量、 W_{out} : ペルトスケール重量、 W_s : 理論排土重量

ρ_t : ボーリング単位体積重量、 ρ_{tc} : チャンバ内圧力勾配による単位体積重量、 ρ_a : 気泡材単位体積重量

I-③ 排土管理の強化

○陥没・空洞箇所での検証

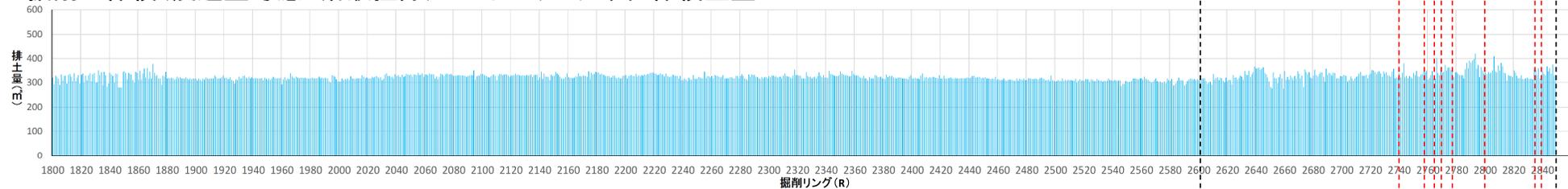
・チャンバー内圧力勾配より推定したチャンバー内土砂単位体積重量を用い、添加材未回収分を考慮した体積について確認したところ、排土率は陥没・空洞箇所付近で大きくなっている。



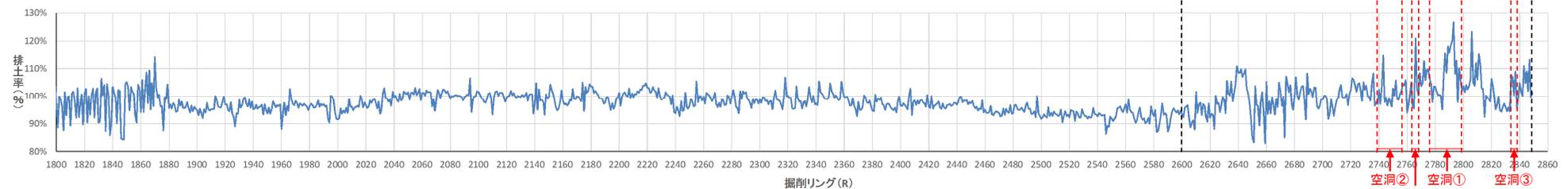
チャンバー内圧力勾配から推定した単位体積重量



掘削土体積(浸透量考慮 溶液控除) ※ボーリング単位体積重量



排土率(浸透量考慮 溶液控除)



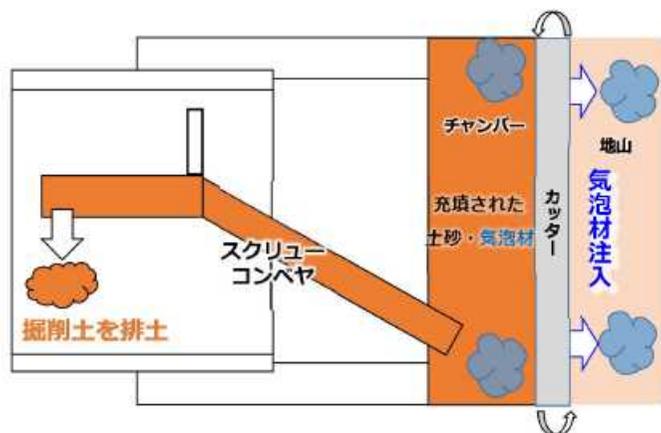
I-④ カッター回転不能(閉塞)時の対応

- 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
- 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

□本線TN(東名南行)の場合

①昼間(掘進中)

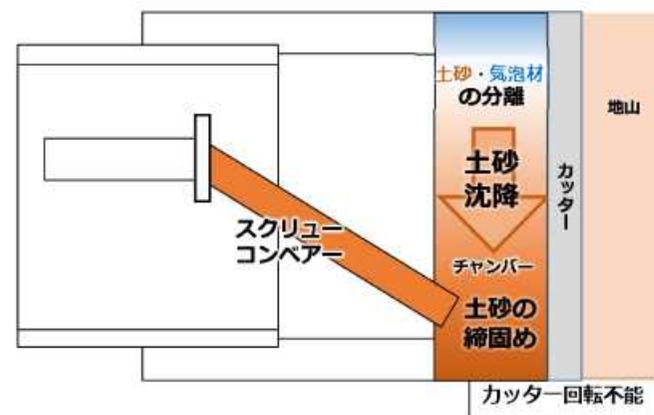
- ▶ チャンバー内土圧と地山からの圧力の均衡が取れている状態



②夜間
休止

③翌朝(掘進休止後)

- ▶ チャンバー内の土砂・気泡材が分離、土砂沈降及び締固まりが発生
⇒ カッター回転が不能に



④一時
中断

⑤原因究明及び対策検討

8.4 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、事業者におい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必要がある。



※1：状況に応じて実施

※2：設置箇所・手法は自治体と調整

① 振動・騒音対策

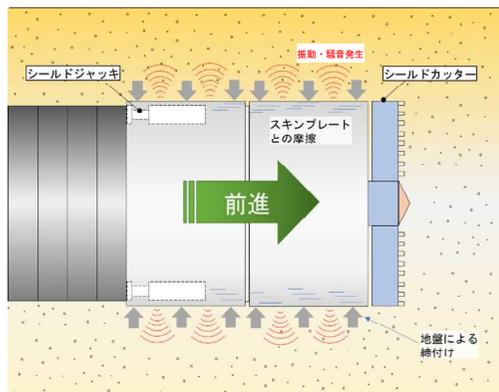
シールドマシンの掘進による振動・騒音は最大で55dB(2gal、震度0相当)程度で、レベル1地震動200~300galの1/100以下であるため、地盤に有害なひずみを生じさせるほどの加振力はなく、地盤に緩みや地盤災害を発生させるレベルではないと考えられる。振動・騒音は、規制基準(東京都条例)の55dB※を超過していないものの、今回の陥没・空洞発生箇所周辺は振動・騒音が減衰せず地上に伝搬しやすい地盤であったと考えられ、振動・騒音や低周波に対するお問い合わせを多くいただいた。今後の掘進においては、振動・騒音対策を地域の安全・安心を高める取り組みの一部として実施していく。

※(東京都 都民の健康と安全を確保する環境に関する条例)

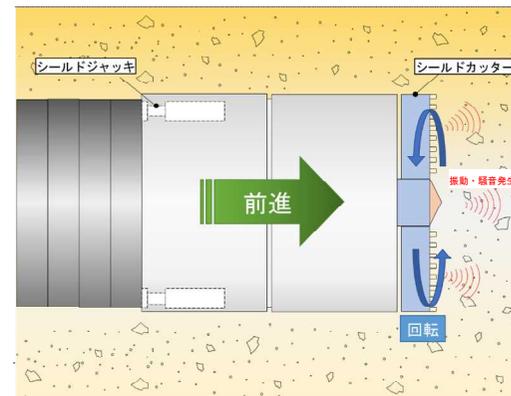
第136条_日常生活等に適用する規制基準[振動] (第1種低層住居専用地域の夜間19時~8時)

<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



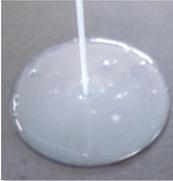
- ◆ 東つつじが丘周辺では、礫が卓越して介在し、単一の砂層が地表面近くまで連続しており振動・騒音が地上に伝達しやすい地盤であったと考えられる。
- ◆ 東つつじが丘周辺では、細粒分が少なく均等係数が小さい自立性が乏しい地盤であり、砂礫によるマシンの締付けが大きかったと考えられる。

<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。
- ・ シールドジャッキの可動長を短い状態で運用することで、ジャッキの振幅を抑制しシールドマシン本体の振動・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。

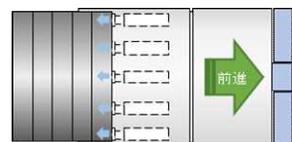
材料	① 鉱物系 淡黄色粉体	② 水溶性高分子系 乳白色~淡黄色液体
外観		
比重	2.5~2.7	1.02~1.08(25℃)
pH	9.0~11.0(2%懸濁液)	6.0~8.0(1%液)
特徴	持続性が高く、継続的な摩擦低減効果が期待できる	粘性土において、摩擦低減効果が期待できる

滑剤例

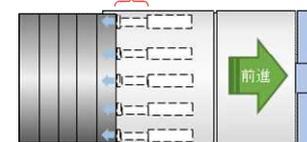
- ・ 掘進速度の調整によりカッターヘッドが土砂礫を削り取る際の振動・騒音を緩和。(状況に応じて実施)

◆ ジャッキ長さの調整による掘進

【調整前】

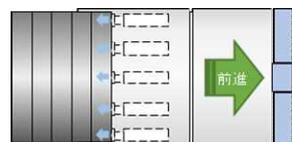


シールドジャッキ伸長大

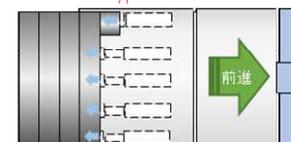


全ジャッキ伸長後にセグメントを組立

【調整後】



シールドジャッキ伸長小



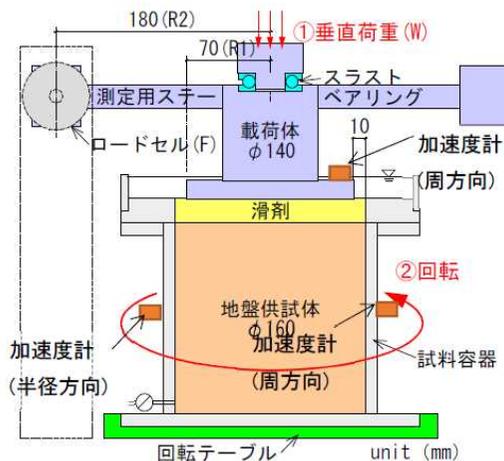
ジャッキ伸長途中でセグメントを組立

Ⅱ-① 振動・騒音対策

○スキンプレート周囲の滑剤の振動抑制効果の室内実験

- ・細粒分が少ない砂地盤においてシールド掘進時に振動が生じた場合、スキンプレートと地山の上に滑剤を注入することで振動が抑制されるか、原地盤の試料土を用いて検証
- ・滑剤を用いることで加速度変動の頻度が減少しており、振動発生を抑制することを確認

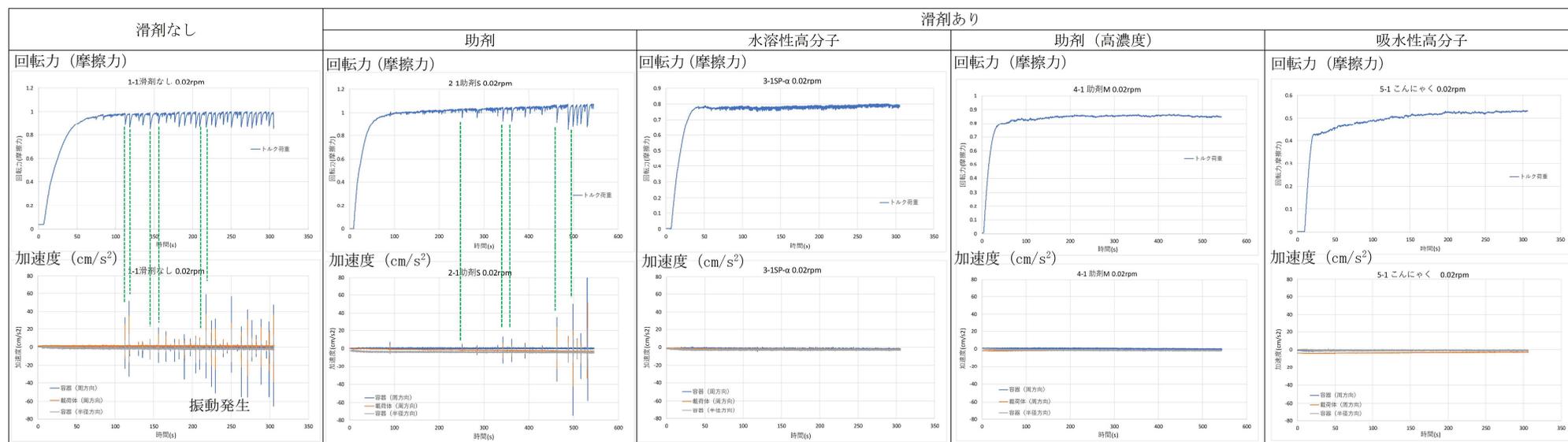
□試験概要



□滑剤材料

種別	鉱物系(ベントナイト系) 助剤	水溶性高分子系(高分子系)	鉱物系(ベントナイト系) 助剤(高濃度)	吸水性高分子系(高分子系)
外観	淡黄色粉体 	乳白色～淡黄色液体 	淡黄色粉体 	無色～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	粘性土において、摩擦低減効果が期待できる	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	持続性が高く、摩擦低減効果が期待できる。地下水の影響を受けにくい

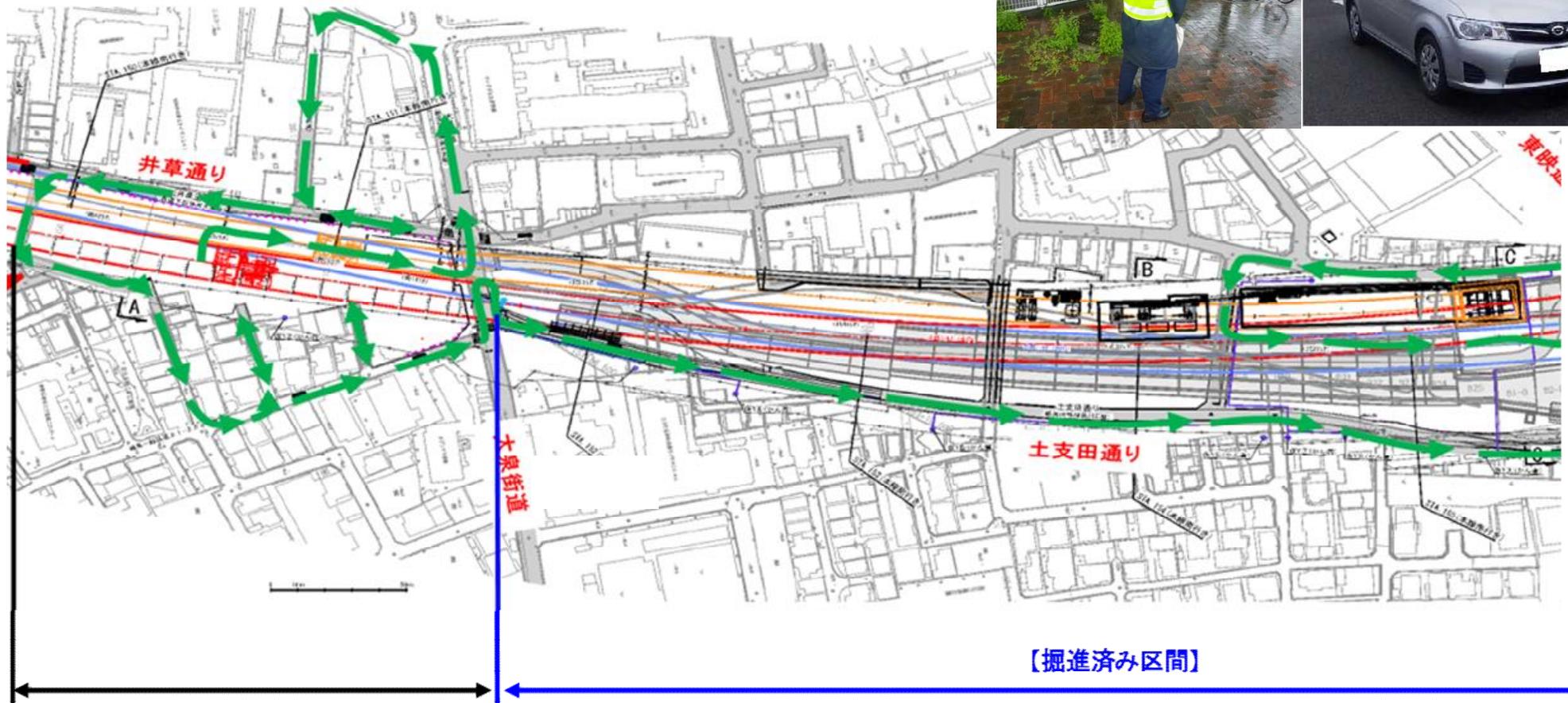
□室内試験結果



Ⅱ-② 地表面変状の確認

- 今後掘進する区間についても、GNSS・合成開口レーダーを用いて数百メートル単位で固定観測点を設置
- 掘進後概ね1ヶ月程度まで24時間体制でシールドマシンの掘進工事箇所周辺を警戒車両等により巡回するなど巡回監視を強化

□巡回監視の強化(大泉側の巡回監視の場合)



掘進後概ね1ヶ月程度、24時間体制でシールドマシンの掘進工事箇所周辺を警戒車両等により巡回

1か月経過以降も、毎日1回巡回警戒車両等により巡回

Ⅱ－③ 地域住民の方への情報提供

○工事のお知らせの配布頻度見直しや、掲示板を用いた情報提供など、地域住民の方への情報提供を強化

□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

- 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・騒音の値の公表及び掘進位置の目印の設置 等



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(本線南行き)



掲示板での情報提供イメージ

Ⅱ－④ シールドマシン停止に伴う保全措置

- シールドマシンの停止においては、チャンバー内の圧力低下や固結、オーバーカット分のすきまに伴う地表面沈下の防止、立坑内への出水防止、セメント改良地盤との固着等に対し、安全上の配慮が必要
- 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、必要最小限の掘進や初期掘進段階の本セグメントによる反力確保等が必要

シールドマシンの停止による保全措置の内容

	事象	配慮すべき事項	保全措置
1	チャンバー内の圧力低下	チャンバー内において、気泡が破泡する等により圧力が低下し、周辺土砂がチャンバー内へ流入することについて安全上の配慮が必要	チャンバー内の圧力を適正に保つために、チャンバー内に鉋物系添加材を注入する目的で必要最小限の掘進を行う チャンバー内の泥土の分離を防止し、チャンバー内の圧力を適正に保つために、定期的にかッター回転をさせて土砂を攪拌する
2	チャンバー内の固結	地盤改良区間で停止した場合、掘削土に含まれるセメント分によりチャンバー内が固結するため、チャンバー内の圧力を適正に保持する必要	地盤改良区間での掘削土に含まれるセメント分の固化を防止するため、定期的にかッターを回転させ土砂を攪拌する
3	オーバーカット分のすきま	オーバーカット分のすきまによる地表面の沈下を防止するため、シールドマシンの最小限の移動が必要	地表面の沈下を防ぐための、必要最小限の掘進を行う
4	立坑内への止水等	掘進初期段階で、立坑への止水等を止水シール(ゴム)のみで行っている場合、より確実に止水を行うための安全上の配慮が必要 仮セグメント等で推進反力を確保している状況では、安全上の配慮が必要	確実な止水が可能となり、シールドマシンのバックリングを防止するための必要反力を本セグメントで受けられる位置まで必要最小限の掘進を行う
5	シールド機の固着	シールド機と周辺のセメント改良地盤との固着に伴い、シールド機への負荷が大きくなり、切羽が不安定となることについて安全上の配慮が必要	地盤改良区間の外側までの必要最小限の掘進を行う

Ⅱ－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」(パンフレット)について、陥没等の発見時の対応や、再発防止対策における振動・騒音対策等の“地域の安全・安心を高める取組み”を追加



緊急時の対応をあらかじめ準備します

東京外かく環状道路(関越～東名)のトンネル工事については、地表面の安全性が損なわれる事象が生じないよう、従来の安全対策に加え、陥没・空洞の推定メカニズムを踏まえた再発防止対策を実施します。

ただし、地下40m以深の大深度地下を活用した初の道路事業であるとともに、大規模なトンネル工事を市街化された地域で行うことから、工事に際しての安心確保の取組みとして、緊急時の対応をあらかじめ準備します。

事業者・工事関係者が24時間体制で、現地情報を収集します

- ・ シールドマンの掘進工事箇所周辺で、異常が生じていないか確認を行うため、掘進時及び掘進後概ね1ヶ月程度は24時間体制で徒歩にて巡回します。更に、1ヶ月経過以降も掘進完了区間については、1回/日警戒車両等により巡回します。
- ・ 24時間受付ダイヤルを開設し、住民の皆さまが地上部で発見した異常などの情報をお受けします。
- ・ シールドマンの通過前、通過中、通過後にシールドマン周辺の道路等で、地表面高さの計測、振動・騒音のモニタリングを随時実施し、その結果を定期的に公開します。
- ・ 自治体と連携し、シールドマンの通過前、通過後に、路面下空洞調査を実施します。
- ・ 緊急時事象発生箇所周辺においては、重点監視を行うこととし、監視員が徒歩にて近接目視で地上の状況を随時確認します。

※事業者・工事関係者：事業者(国土交通省、東日本高速道路(株)、中日本高速道路(株))及び工事を施工する建設会社 ※重点監視員は、事業者・工事関係者であることがわかるよう「標準」を採用します。

24時間体制で、警戒車両等により巡回
24時間体制でシールドマンの掘進工事箇所周辺を徒歩や警戒車両により巡回します。

24時間工事情報受付ダイヤル
本線トンネル工事についてお気づきの点がございましたら下記の受付ダイヤルのどちらかにご連絡ください。

世田谷区、池江中、鎌倉市、三鷹市、杉野原(久保山4丁目)、武蔵野市(吉祥寺南町3丁目)の外環沿線地域の場合 03-5727-8511 東名発進 本線トンネル東名北工事担当	練馬区 杉野原(左記以外)、武蔵野市(左記以外)の外環沿線地域の場合 ※発進時3月1日までに連絡 ※発進時3月1日以後連絡 03-5947-5256 03-6904-5886 大泉発進 本線トンネル大泉南工事担当
--	---

※上記ダイヤルは、対応に正確を期するため、録音させていただきます。あらかじめご了承ください。

緊急時の際には、事業者・工事関係者が地上にお住まいの皆さまに、下記により、できるだけ速やかにお知らせ・対応します

- ・ 掘進工事箇所周辺にお住まいの皆さまの避難が必要となる場合には、24時間体制で巡回する徒歩巡回員や警戒車両等により、直接、周辺の皆さまに知らせます。
- ・ また、各戸を訪問するなど、周辺にいらっしゃる皆さまに直接、お知らせし、安全な場所やオープンスペース等に皆さまが避難できるよう誘導支援します。
- ・ 緊急時には、P7に記載の複数のツールにより、状況をお知らせします。

緊急時には関係機関と連携して下記のとおりお知らせ・対応します

緊急時には関係機関と連携して下記のとおりお知らせ・対応します

必要となる場合は、事業者・工事関係者等が確保する施設に移動

近隣の安全な場所まで移動後、公園や広場などに避難

地域住民

警察署
消防署
区役所 市役所

必要に応じて各種関係機関

連絡体制にもとづき速やかに連絡

・ 広範囲の場合、巡回する徒歩巡回員や警戒車両等によりお知らせ

・ 局地的な範囲の場合、緊急時事象発生箇所周辺へ戸別訪問等でお知らせ

・ 皆さまが避難できるよう誘導支援

情報伝達などの流れ

地域住民の動き

どういった時に周知するの？

⇒ トンネル内に掘削土以外の土砂等が大量流入する時、陥没等が発見された時を「緊急時」としています。トンネル内や地上部を24時間体制で監視します。

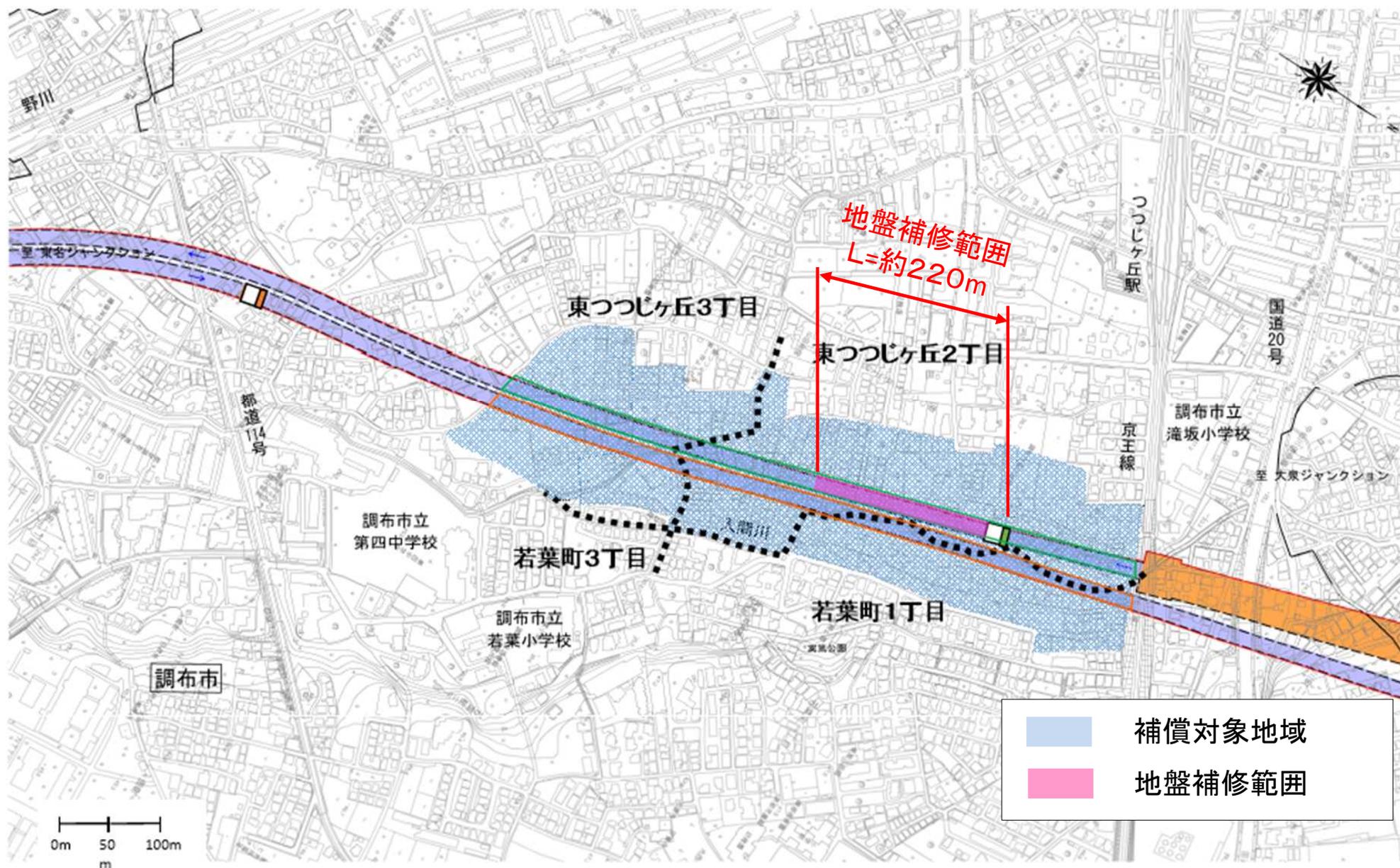
どういった範囲に周知するの？

⇒ 緊急時には事象について、すみやかに公表するとともに、周知する範囲は、掘削部を中心に土被り程度の範囲※、または陥没等の状況に応じた範囲としています。

※掘削箇所周辺にお住まいの皆さまには、地下での工事期間が近づいた際等に、チラシでお知らせします。

(参考) 補償・補修の対応状況

補償対象地域・地盤補修範囲



※上記範囲外についても損害等の申し出があった場合、因果関係等確認のうえ個別に対応を検討

補償の対応状況

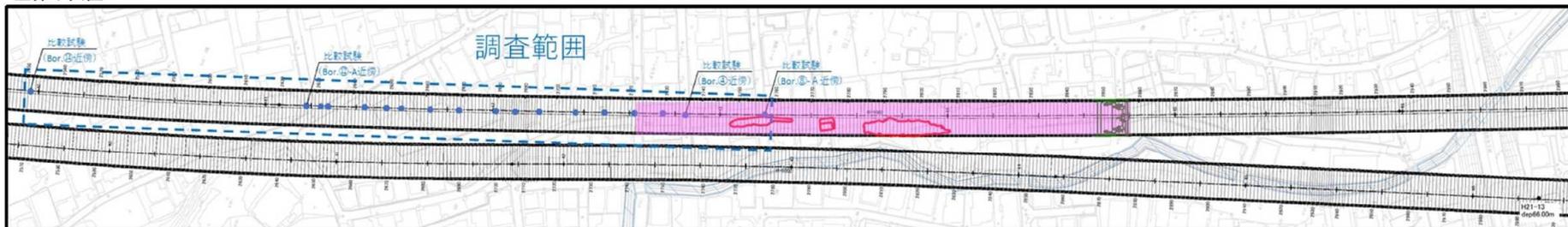
令和3年9月30日現在

対応状況	件数
補償対象地域の世帯数	約1,000
家屋調査のご相談がある世帯数	約 255
うち、家屋調査が完了した世帯数	約 250
うち、家屋の補修等を実施中もしくは完了となっている世帯数	約 200
上記以外の実際に発生した損害に関する補償等のご相談について対応を行っている世帯数	約 50

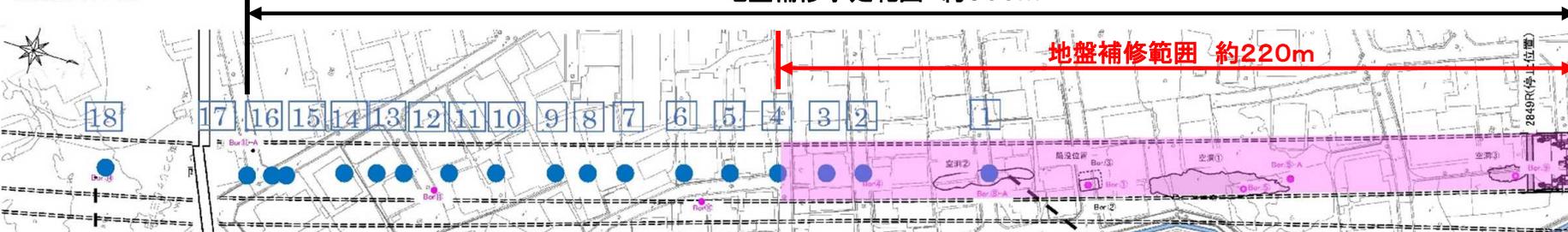
地盤補修範囲について

坑内調査結果および地盤補修範囲について

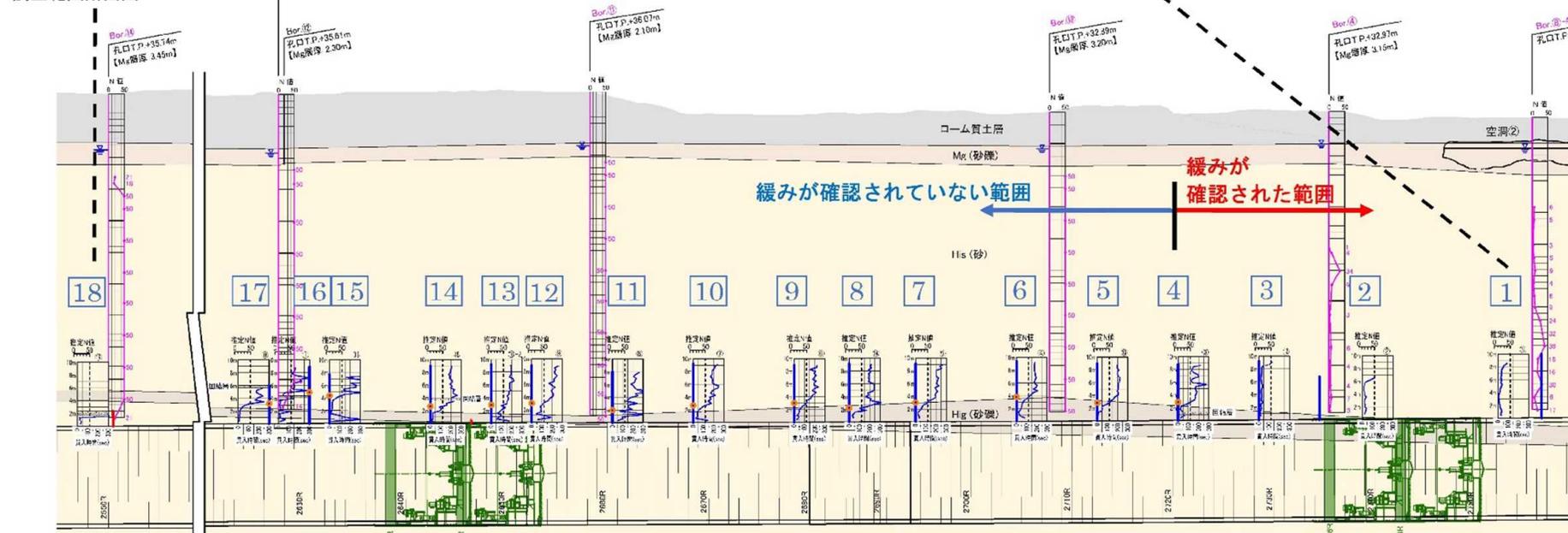
全体平面図



調査範囲平面図



調査範囲断面図



※ 1 2 17 18 は、比較試験用調査箇所