

第6回 東京外環トンネル施工等検討委員会 有識者委員会

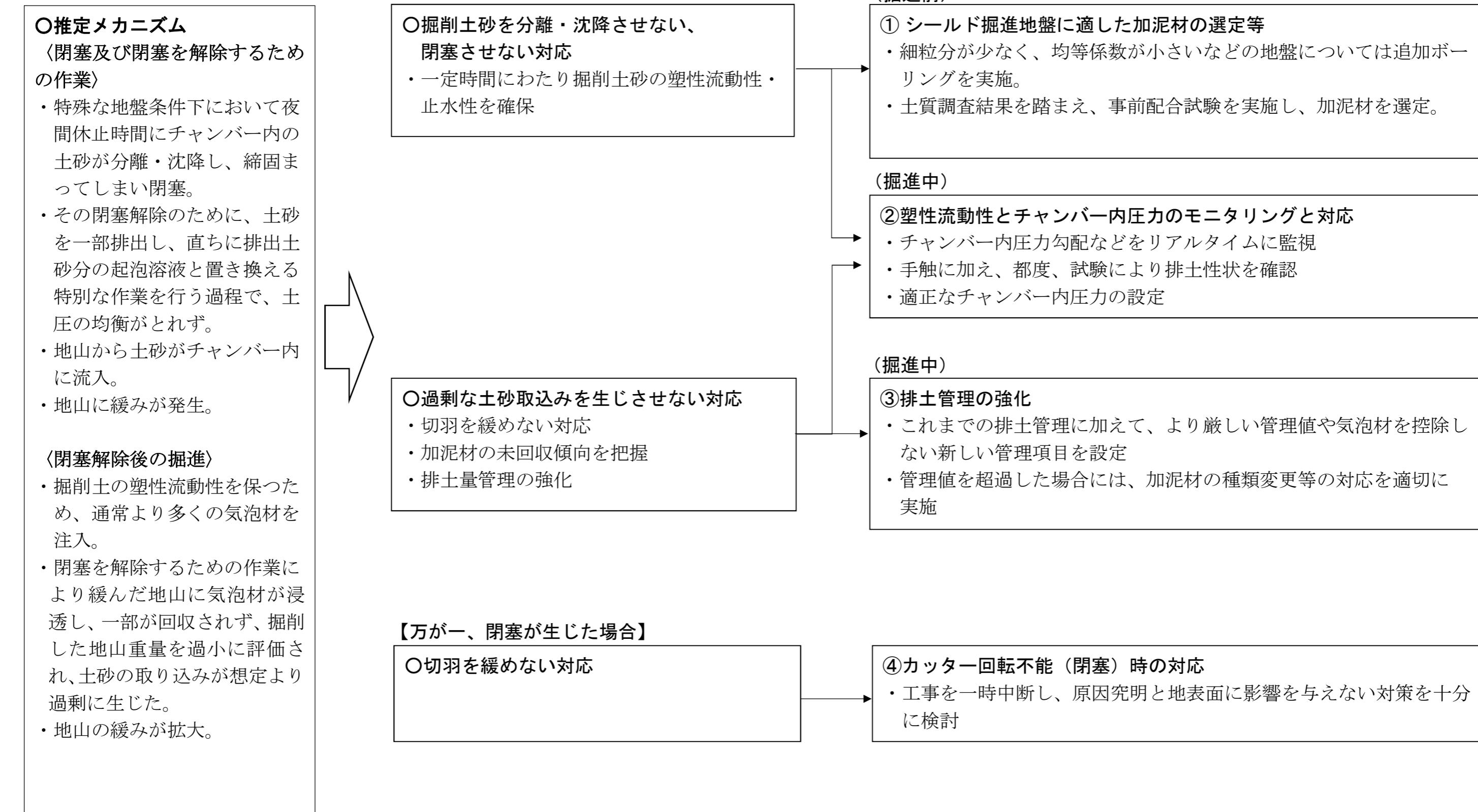
再発防止対策の基本方針

令和3年 2月 12日

東日本高速道路株式会社関東支社東京外環工事事務所
鹿島・前田・三井住友・鉄建・西武特定建設工事共同企業体

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の基本方針

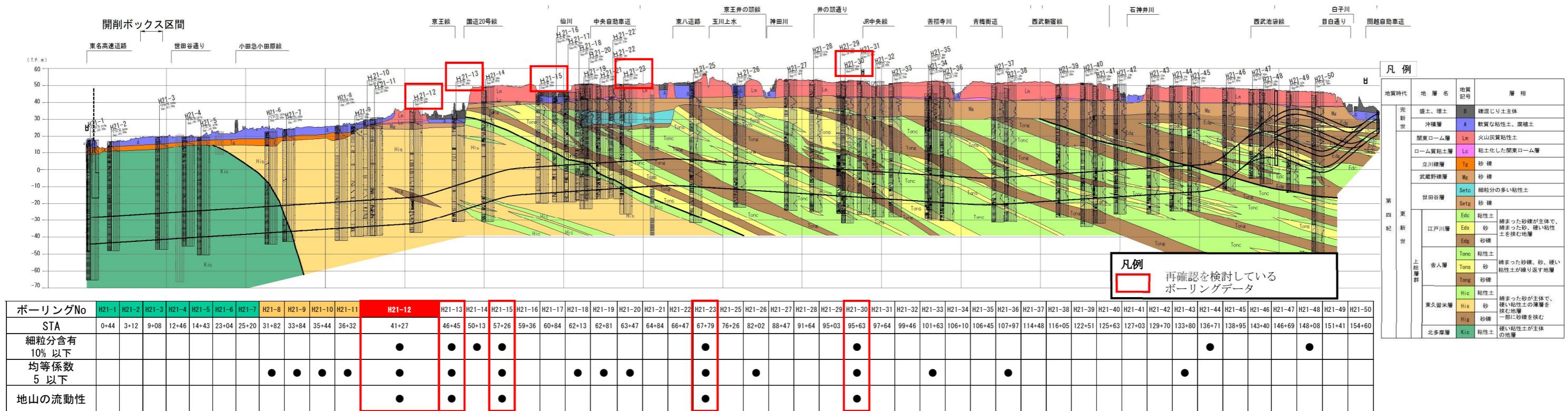
陥没・空洞の推定メカニズムを踏まえた、東京外環事業における今後のシールドトンネル施工を安全に行うための再発防止対策の基本方針は以下のとおりである。今後、この基本方針をもとに、再発防止対策の実施に向けた具体的な検討を進めることとする。また、空洞・陥没が発生したことでシールドトンネル工事に起因した陥没等に対する懸念や、振動等に対する不安の声等が多く寄せられることを受け、地盤変状の監視強化や振動計測箇所の追加、振動対策の強化など安心確保のための対策についても検討を進める。



①-1 シールド掘進地盤の再確認

資料2に示すとおり、東京外環全線の中で陥没・空洞箇所周辺以外は、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、②掘削断面上部は単一の砂層、③表層部は他の区間と比較して薄い地盤、の全てに該当する特殊な地盤条件にはあたらない。しかしながら、トンネル標準示方書・同解説〔山岳工法編〕2016によると、地山流動化の指標として細粒分10%以下、均等係数5以下であるとされており、細粒分が少なく均等係数が小さい砂質層などは自立性が乏しくなる。また、細粒分が少ない場合や礫を含む場合は、シールドトンネル施工における掘削土の塑性流動性・止水性の確保にも留意する必要がある。

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、安全をみ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。



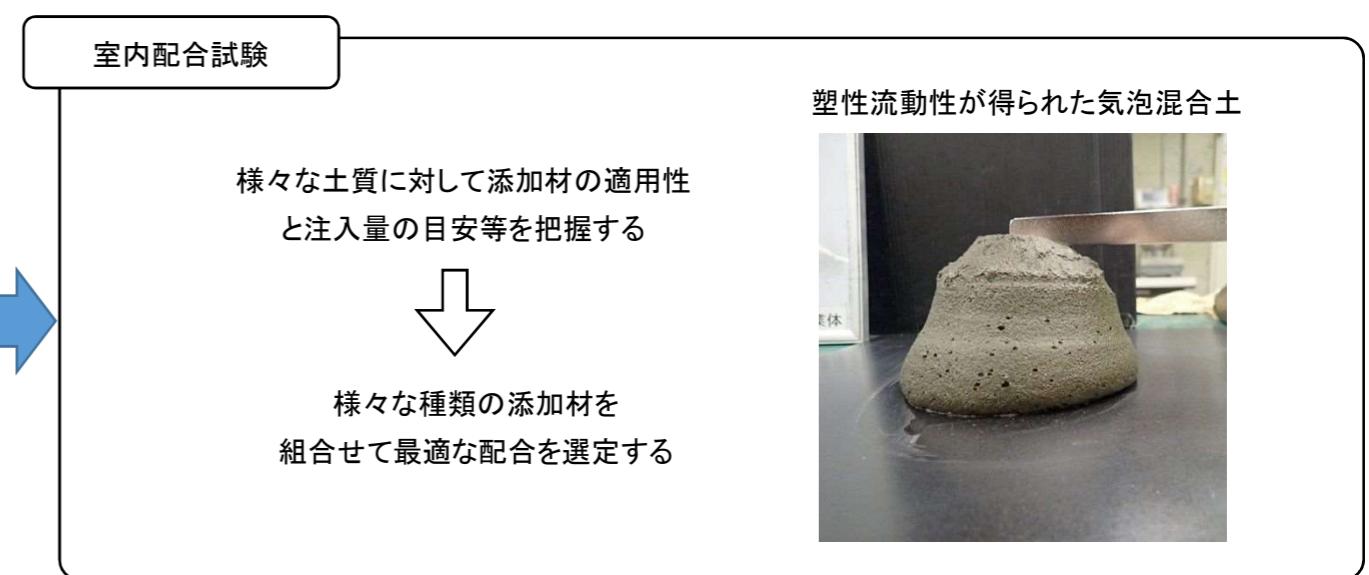
①-2 シールド掘削地盤に適した加泥材の選定

追加ボーリングなどから得られる土質調査結果を踏まえて事前配合試験を行い、地盤に適した加泥配合を再確認する。

掘削土砂が塑性流動性・止水性を有した良好な泥土となるためには細粒分が必要となり、これを粘土・ベントナイト等を主材として補給するものが鉱物系添加材である。このため、細粒分（粘土・シルト）の割合が10%以下の地盤に対しては、ベントナイト溶液を含めた鉱物系添加材の使用についても十分検討する必要がある。

○ 加泥材の種類

種類	特徴	使用目的
界面活性剤系(気泡材)	特殊起泡材と圧縮空気で作られた気泡材を注入	流動性と止水性を高める
鉱物系(ベントナイト等)	最も使用実績が多く、幅広い土質に対応できる	細粒分を補い、強力な粘性を発揮
高吸水性樹脂系	地下水による希釀劣化が少ない	高水圧地盤での噴発防止
水溶性高分子系	主原料の成分が多い	粘性を増大させる



② 塑性流動性のモニタリングと対応

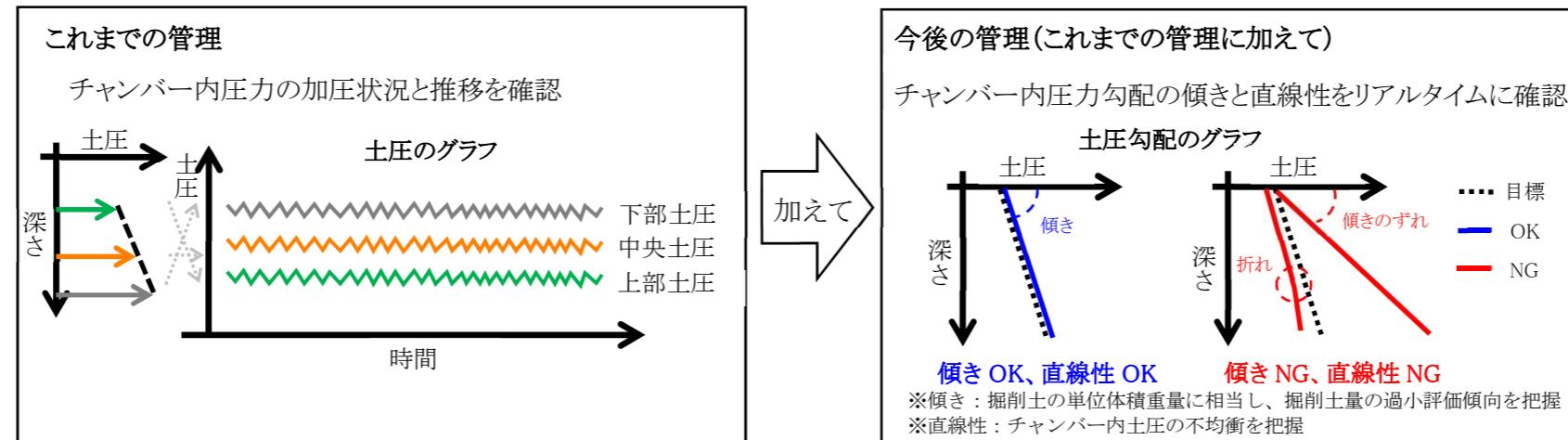
- これまでの塑性流動性の確認項目に加え、新たにチャンバー内の圧力勾配、ミニスランプ、粒度分布での確認を行うこととする。
- 塑性流動性のモニタリングをしながら、加泥材注入量や加泥材の種類を適切に調整し、塑性流動性・止水性の確保を行う。なお、塑性流動性の確保が困難となる兆候が確認された場合は原因の解明と対策を検討する。

表-1 掘進データからの塑性流動性確認方法

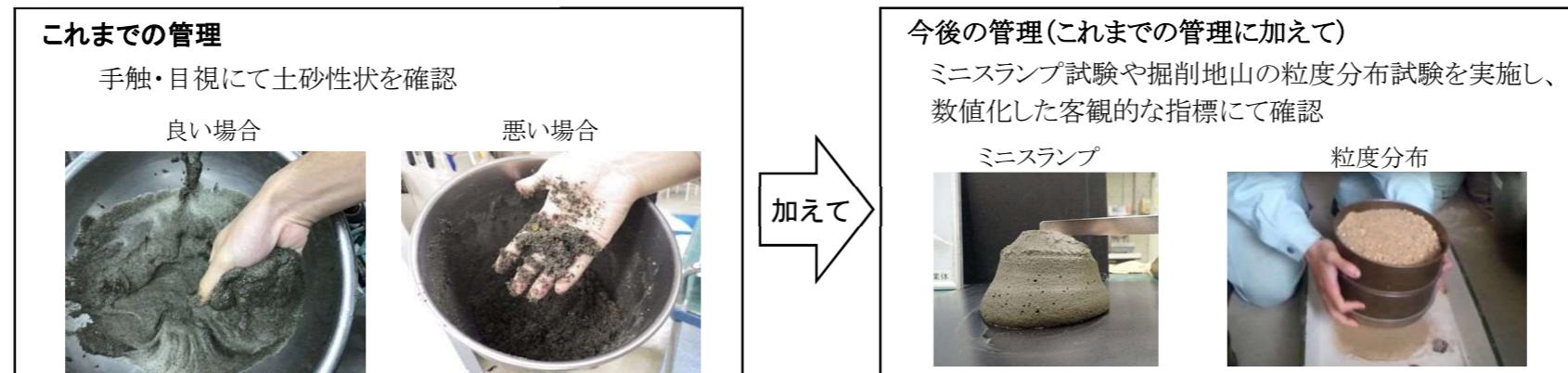
管理項目	管理内容	管理値・確認内容	対応	備考
カッタートルク	カッターヘッドを回転させるために必要なトルク値であり、地盤状況ごとの想定トルク値および装備能力に対して計測トルクの割合と計測トルクの変動についても確認を行う（確認頻度_リアルタイム）	管理値：装備トルク 80%以下	<ul style="list-style-type: none"> 掘進速度の低減（カッタートルク対応） チャンバー内圧力設定の見直し 加泥材注入量の増加 ペントナイト溶液を含めた加泥材の種類変更 夜間等掘進休止時において、チャンバー内土砂の分離を防ぐため、定期的にチャンバー内土砂の搅拌を実施 	
チャンバー内圧力勾配	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 小さい場合は、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）	加泥材の添加量や種類、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加泥材の注入率設定のデータとする（確認頻度_週2回を基本）	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



③排土管理について

排土管理として、管理値を3段階にして設定することとし、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%を新たな管理値として追加する。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-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	3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 【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	・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±10%、3次管理値±20%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±10%以内	前20リング平均±20%以内	・加泥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)		・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±10%以内	設計地山掘削土量の±20%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

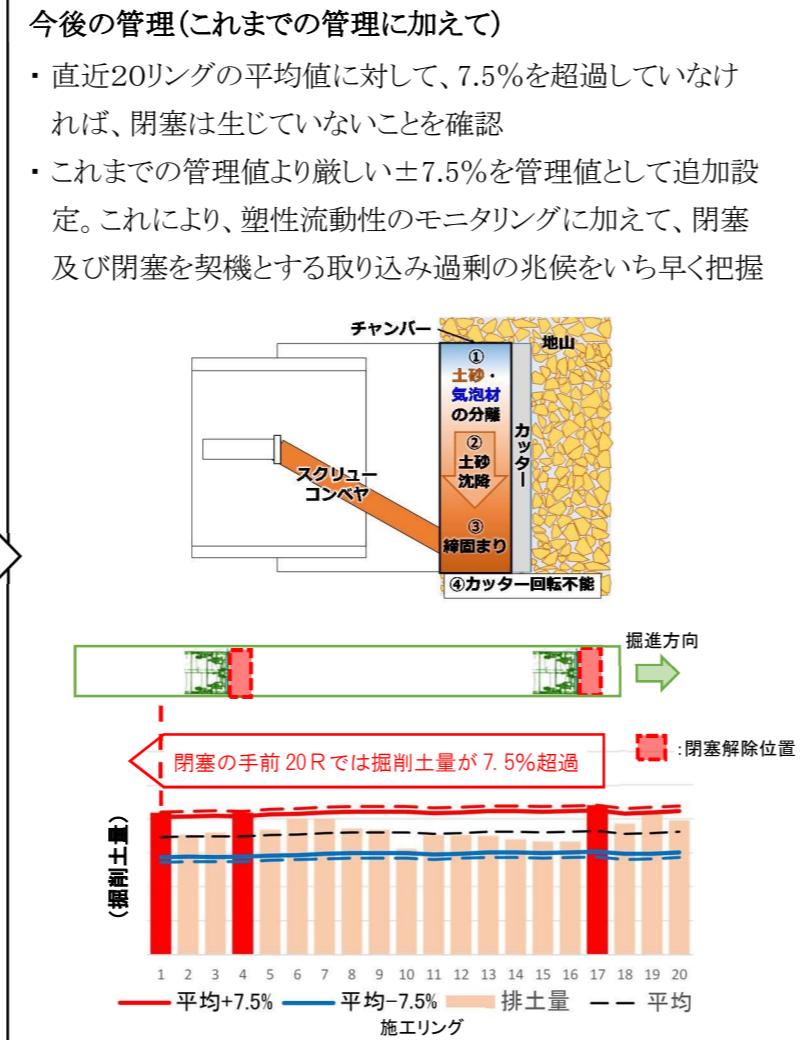
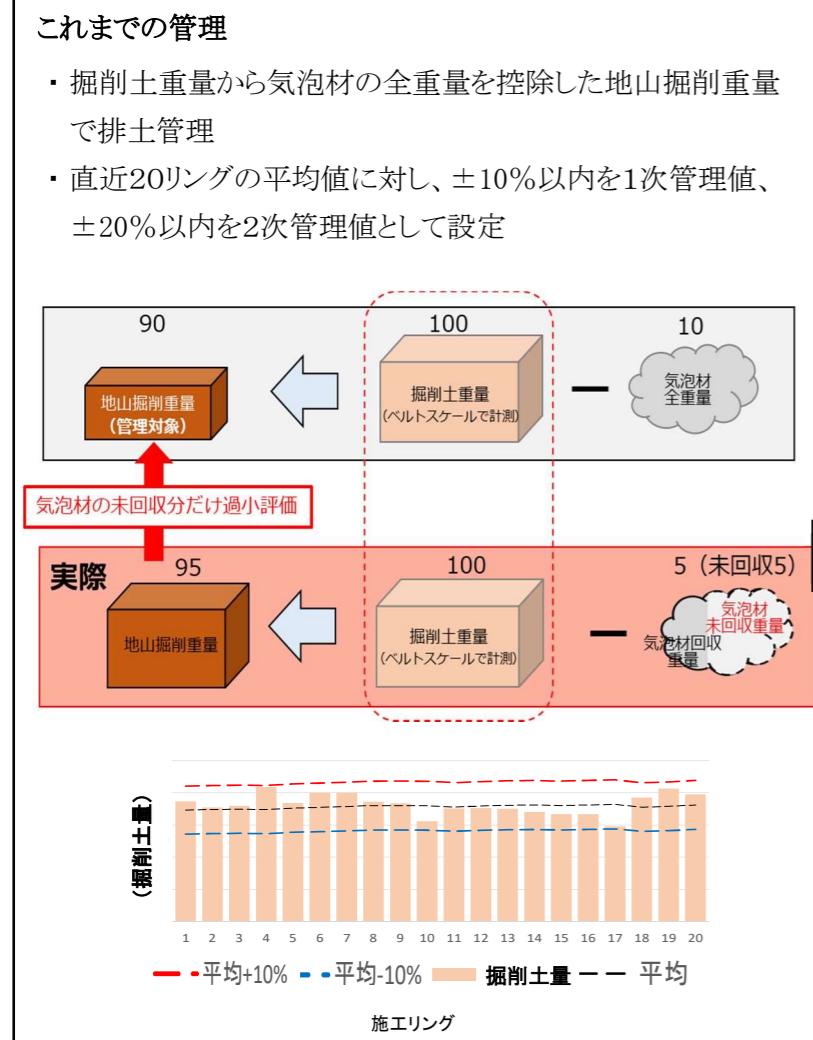


表-3 掘削土量の管理値を超過した際の対応

現象	対策		
下限値 超過	1次管理値	・マシン負荷の確認	
	2次管理値	・掘進一時停止 → 原因究明・対策検討	
	3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、掘進中の掘削土量から必要に応じて、チャンバー内圧力の再設定を行う ・掘削土砂性状を確認する ・裏込め注入量・注入圧を注視する ・連続した場合、3次管理値と同等の対応を行う	
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、掘進中の掘削土量から必要に応じて、チャンバー内圧力の再設定を行う ・掘削土砂性状を確認する ・裏込め注入量・注入圧を注視する ・連続した場合、3次管理値と同等の対応を行う	
	2次管理値	・次リングでのチャンバー内圧力の再設定する ・連続した場合、3次管理値と同等の対応を行う	
	3次管理値	・工事の一時中断 → 原因究明 ・地上からの充填注入の検討	

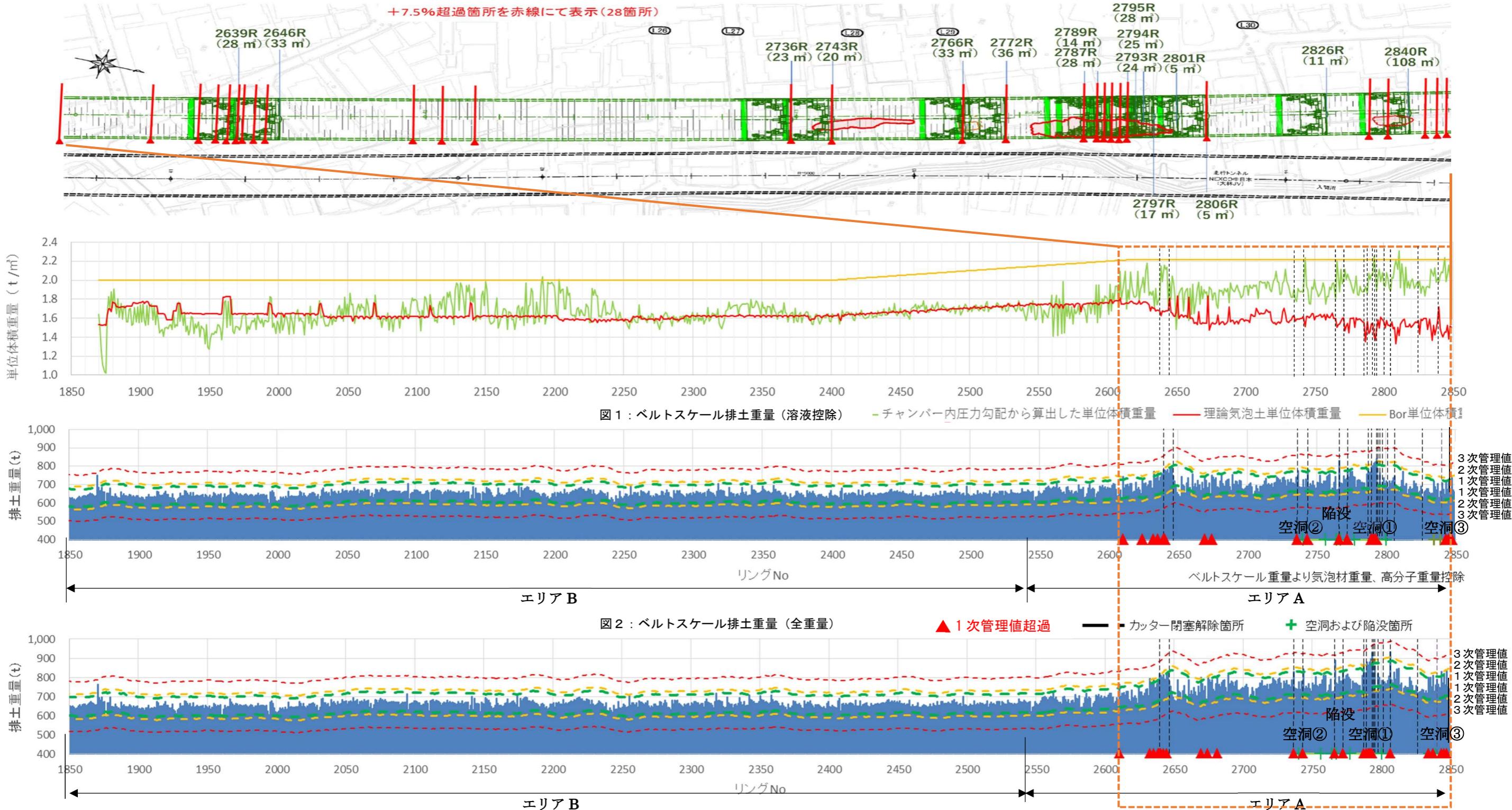
*赤字は追加および変更項目

排土管理において、1次管理値（ $\pm 7.5\%$ ）、2次管理値（ $\pm 10\%$ ）、3次管理値（ $\pm 20\%$ ）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可能性が確認されていることから、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、1次管理値 $\pm 7.5\%$ を超過していなければ、閉塞は生じていないことを確認した。このことから、 $\pm 7.5\%$ 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。



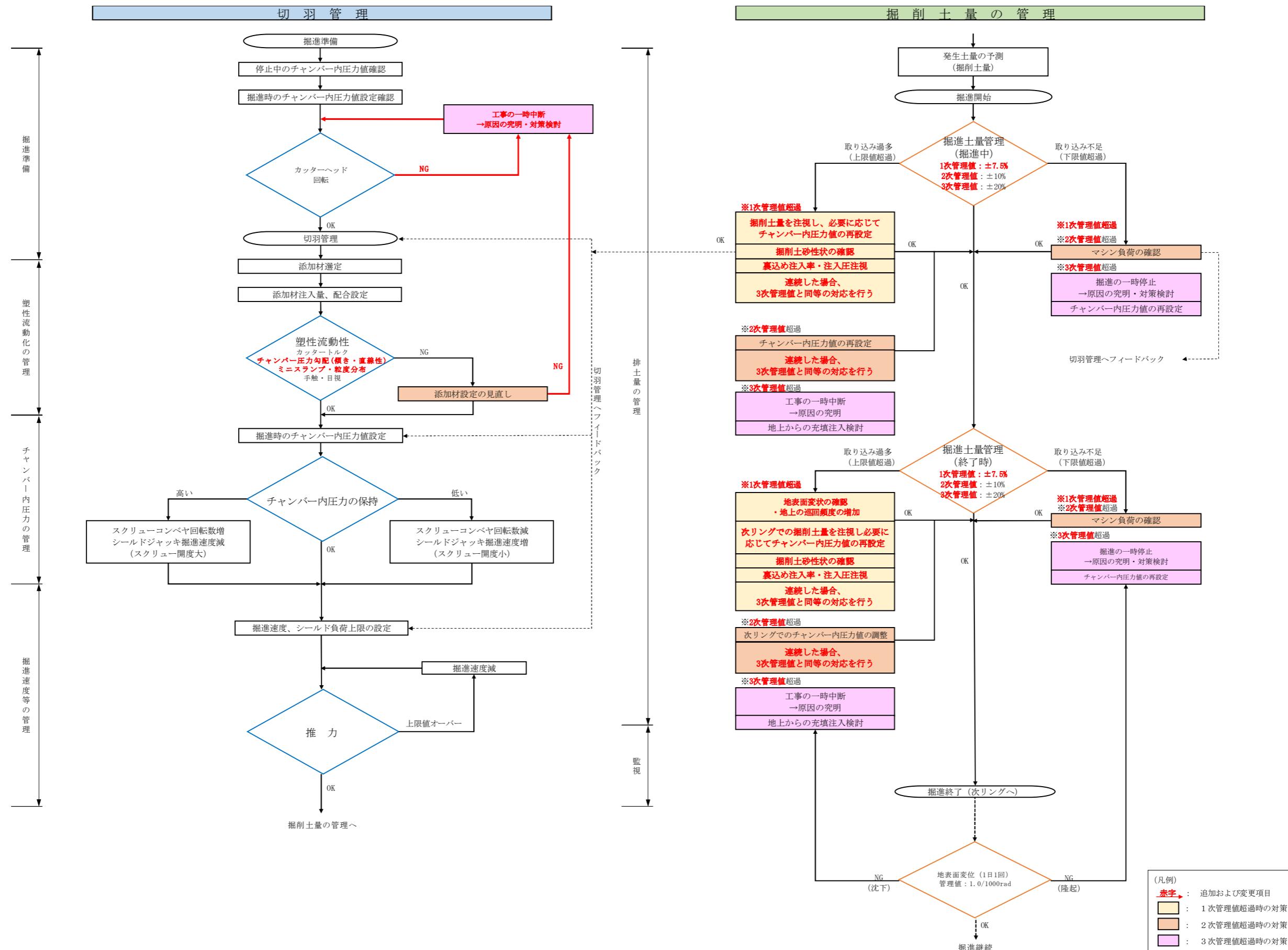
④ カッター回転不能(閉塞)時の対応

前記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、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する。

2. 管理のフロー

①掘進管理のフロー

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。



3. 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、工事を一時中断し、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: 40mm/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30mm	変更なし
		二次管理値: 蛇行量40mm	
		管理値: 蛇行量50mm	
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±7.5%以内
		1次管理値: 前20R平均掘削土量+10%、下限値: 前20R平均掘削土量-10%	2次管理値: 前20R平均掘削土量±10%
		2次管理値: 前20R平均掘削土量+20%、下限値: 前20R平均掘削土量-20%	3次管理値: 前20R平均掘削土量±20%
		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±10%以内
		-	3次管理値: 設計掘削土量の排土率±20%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: 2回/週を基本)
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

*赤字は追加および変更項目