

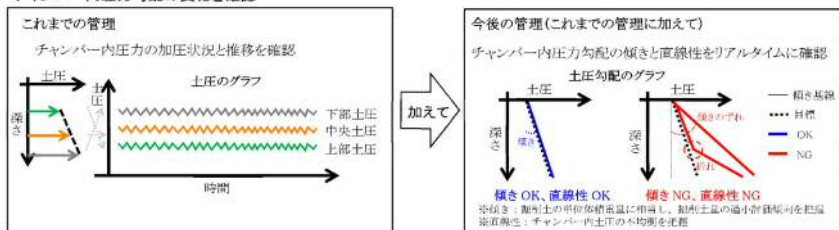
# 塑性流動性とチャンバー内圧力のモニタリングと対応

- ・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います。
- ・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・止水性の確保を行います。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します。

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	<ul style="list-style-type: none"> <li>・掘進速度の低減(カッタートルク対応)</li> <li>・チャンバー内圧力設定の見直し</li> <li>・添加材注入量の増加</li> <li>・ベントナイト溶液を含めた添加材の種類変更</li> <li>・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</li> </ul>	
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 ・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ないことを確認 ・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	掘削土のまとまり具合を手触と目視で確認する 確認頻度(目視:リアルタイム、手触:2回/日)	添加材の添加量や種類、濃度変更による掘削土の排土性状の変化を確認する 例) 気泡材注入量増加に見合う湿潤状態など		掘削土には高分子材が添加
ミニスランプ試験	掘削土のスランプ値を計測し、値と変化を傾向管理する (確認頻度_2回/日)	直近の掘削土の性状と比較する		掘削土には高分子材が添加
粒度分布	掘削地山の土層を把握するために試験室にて粒度分布試験を実施し添加材の注入率設定のデータとする (確認頻度_20リングに1回を基本とし、塑性流動性のモニタリングに応じて適宜実施)	既往ボーリング結果と比較する		細粒分や礫分の比率など地層の変化を確認

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

○ チャンバー内圧力勾配の変化を確認



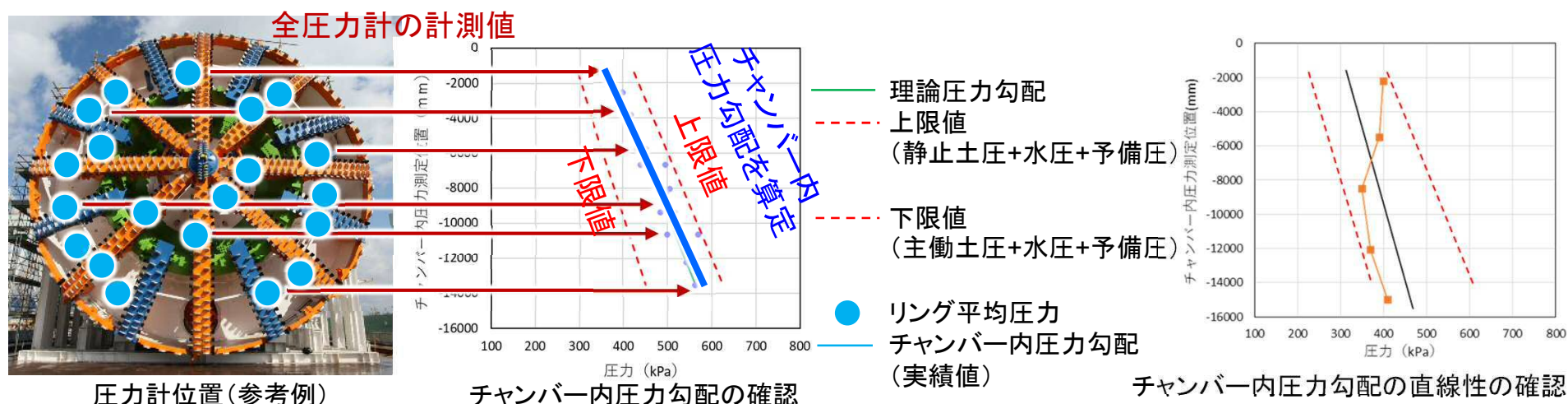
○ 排土性状の確認



# 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

- ・チャンバー内における各圧力計の計測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します。
- ・事前ボーリングのデータと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の差を確認します。
- ・各圧力計で測定したチャンバー内圧力分布の不均衡を把握し、圧力勾配の直線性を確認します。

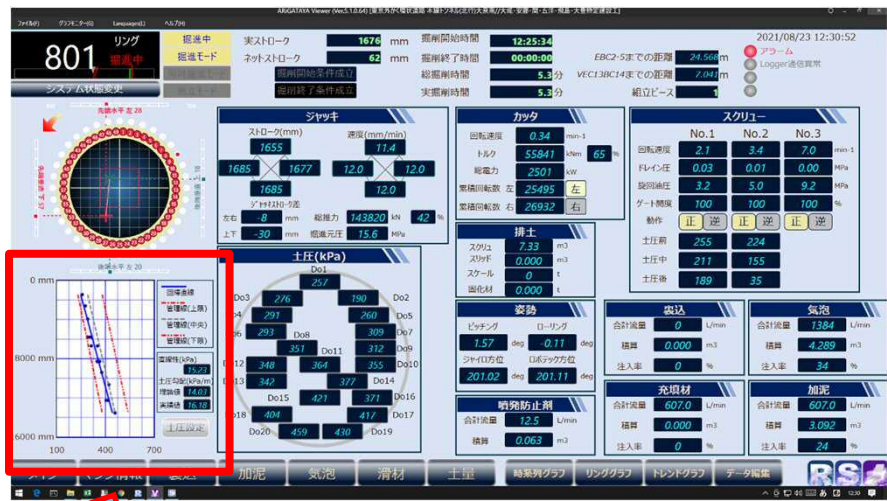


○塑性流動性の管理方法

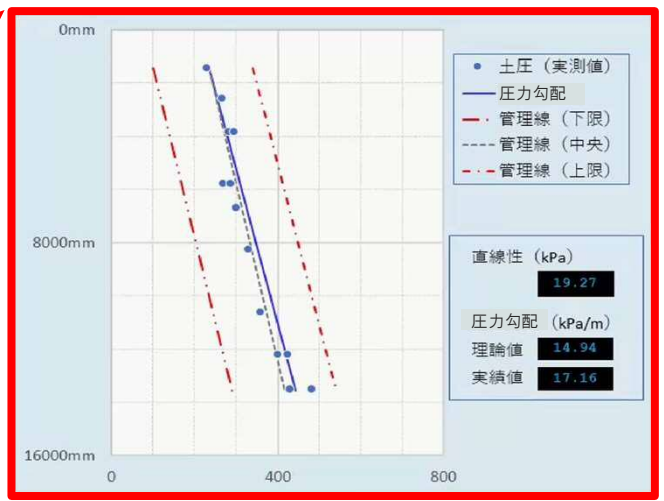
- ・シールド掘進中および停止中は、監視モニターで常時監視していくとともに、カッタートルク、シールド施工熟練者による手触・目視、ミニスランプ試験および粒度分布などの確認結果も踏まえ総合的に判断します。なお、気泡材の注入量の調整や添加材の変更による対応で塑性流動性の改善が見られない場合には、速やかに鉱物系等を添加したのちに掘進を一時停止し、原因究明・対策検討を行います。
- ・長期掘進停止時は、チャンバー内の土砂分離を防止し、チャンバー内の圧力を適切に保つためにカッターを回転させて土砂を攪拌します。なお、夜間掘進停止時においても必要に応じカッターを回転させて土砂を攪拌します。

# 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。



監視モニターのメイン画面(参考例)



掘進時のチャンバー内圧力勾配(リアルタイム管理)



監視モニターでリアルタイム管理(参考例)

## 排土管理の強化

- 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します。
- 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います。
- 新たな管理項目である排土率に、さらに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添加材の回収状況を確認することで、より早期に過剰な土砂取込の兆候を把握します。
- 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、改善を図ります。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・対策検討を実施します。

# 排土管理の強化

管理項目	計測内容	管理手法	単位	1次管理値	2次管理値	備考
掘削土重量 (掘削土体積)	掘削土の重量 (掘削土の体積) (確認頻度) リアルタイム監視 毎リング管理)	(1) 添加材の全重量を控除した地山掘削重量(体積) ・ベルトスケールで計測した排土重量から添加材が全量回収されることを前提とし添加材の全重量を控除した地山重量で掘削土量の管理を行う。 ・前20リング平均の掘削土量と比較して、大きなバラツキがないことと管理値内で掘進できていることを確認する。 (2) 添加材の重量を控除しない排土全重量(体積) ・ベルトスケールで計測した添加材の重量を控除しない排土全重量で掘削土量の管理を行う。 ・前20リング平均の掘削土量と比較して、大きなバラツキがないことと管理値内で掘進できていることを確認する。	t (m <sup>3</sup> )	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) チャンパー内土砂の理論単位体積重量とチャンパ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、チャンパ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	

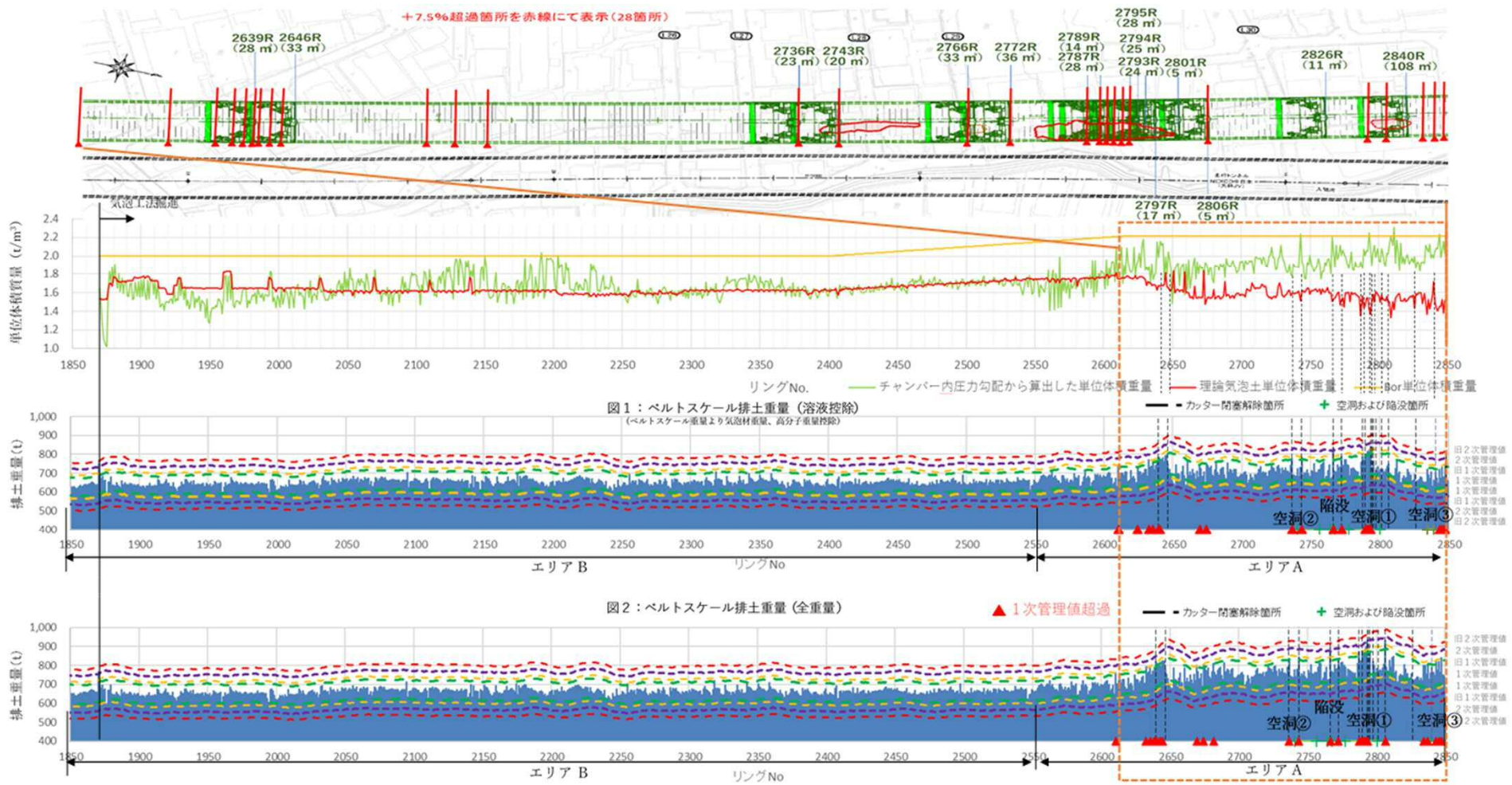
\*赤字は陥没事故前に比べ、令和3年3月の有識者委員会報告書で追加された内容及び変更項目

\*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

# 排土管理の強化

○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しました。

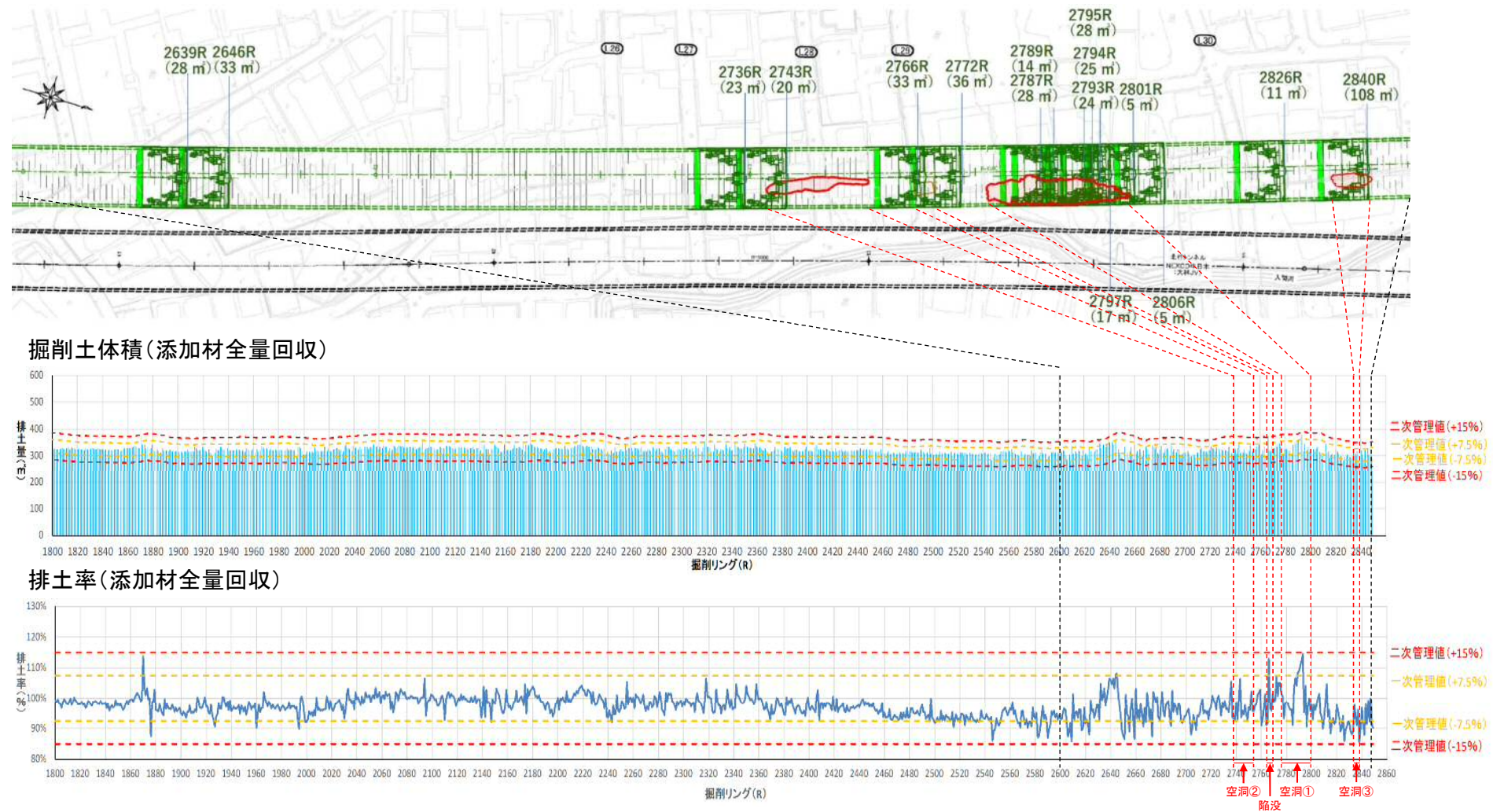
- ・陥没・空洞事故では、従来の1次管理値±10%では異常の兆候を確認することができませんでした。
- ・新たに設定した1次管理値±7.5%では、土砂の取り込み過剰の兆候を確認することができます。



# 排土管理の強化

○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します。

- ・従来の手前20リング平均との比較による管理に加え、1リング毎の排土率(地山掘削土量と設計地山掘削土量の比率)も確認することで、早期に異常の兆候を把握します。



# 排土管理の強化

○添加材未回収分を考慮した排土率も確認します。

- ・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ます。
- ・添加材回収状況について、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ます。

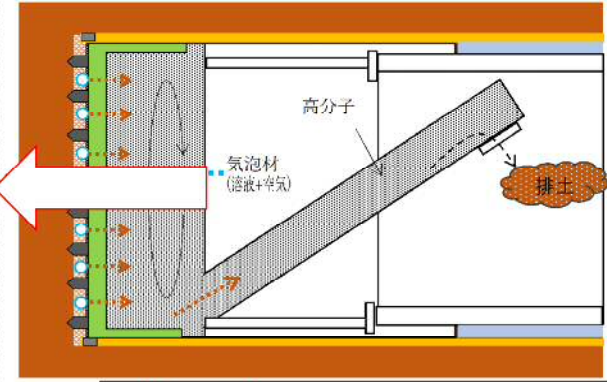
**チャンバー内圧力勾配からの推定**

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  
 $\rho_a$  : 添加材の密度  
 $V_r, M_r$  : 1リング内の掘削土の体積と質量  
 $\rho_t$  : 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  
 $\rho_{tc}$  : 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。)

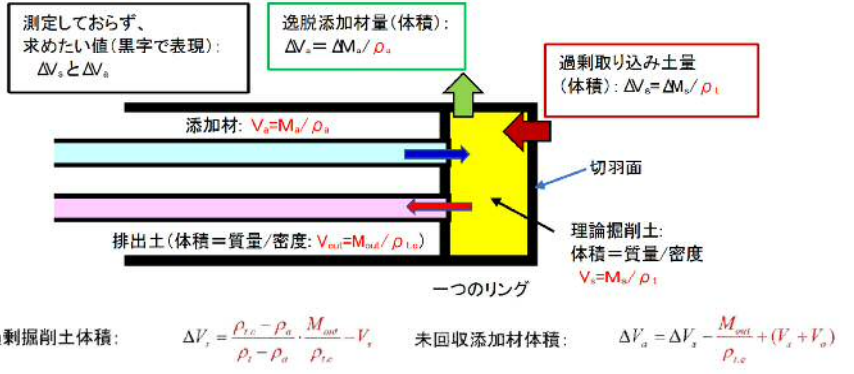
**I チャンバー内圧力勾配からの浸透評価**

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

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:  $\gamma = 19.1\text{kN/m}^3 (1.95 \text{ t/m}^3)$   
 評価 理論≧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)