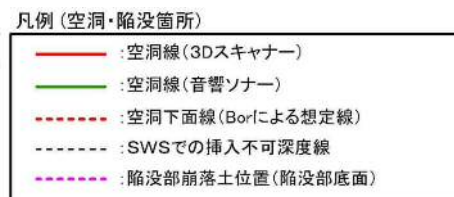
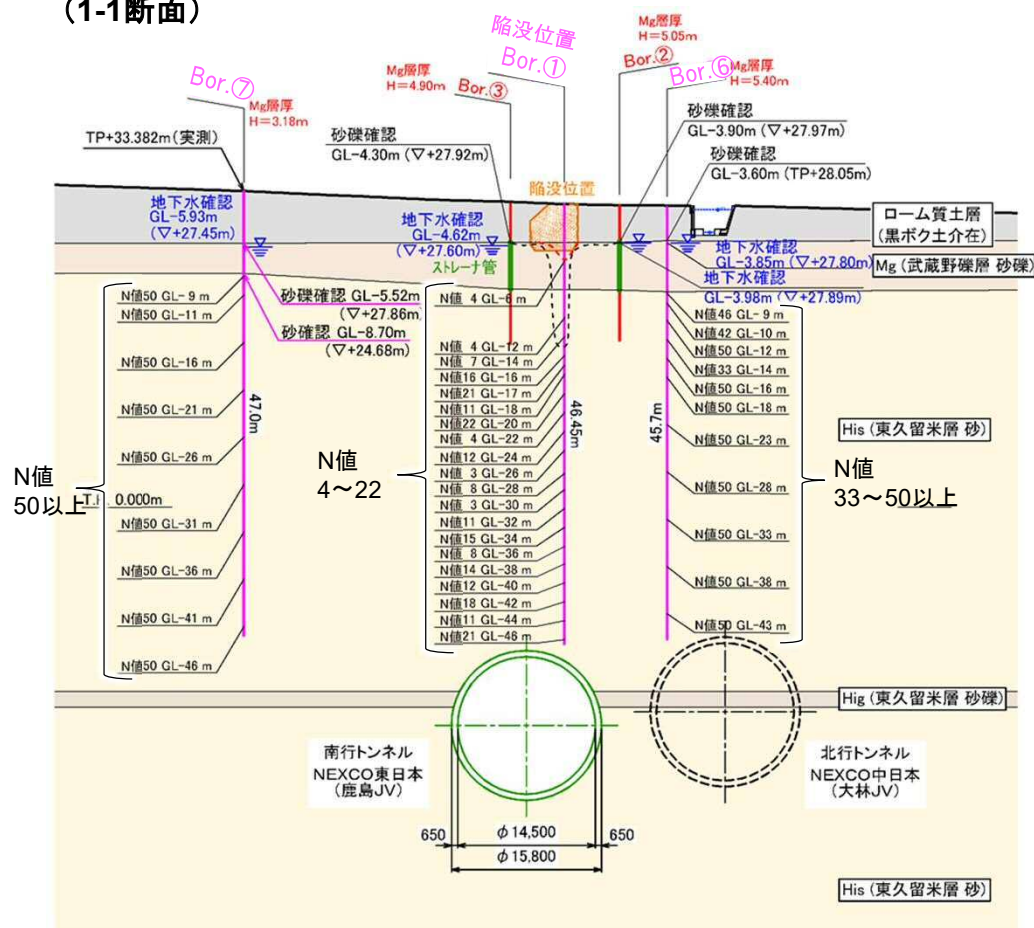


調査結果[陥没・空洞箇所周辺の地盤状況]

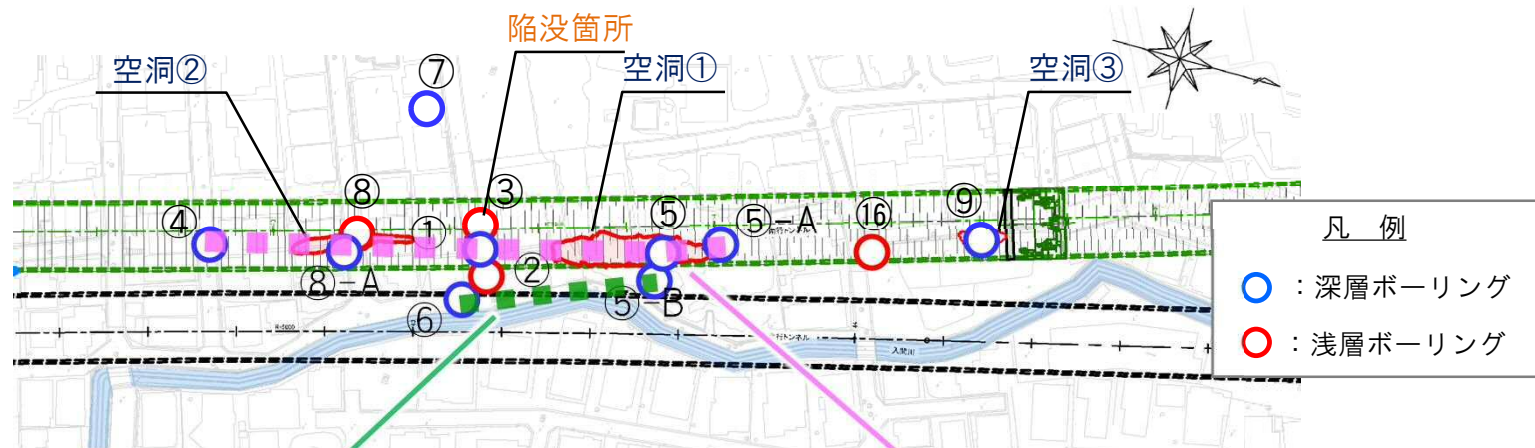
- ・陥没箇所のボーリング①では、トンネル上部までの地盤の緩みを確認しました。
- ・トンネルから東側のボーリング⑥および西側のボーリング⑦では緩みは確認されませんでした。

(1-1断面)



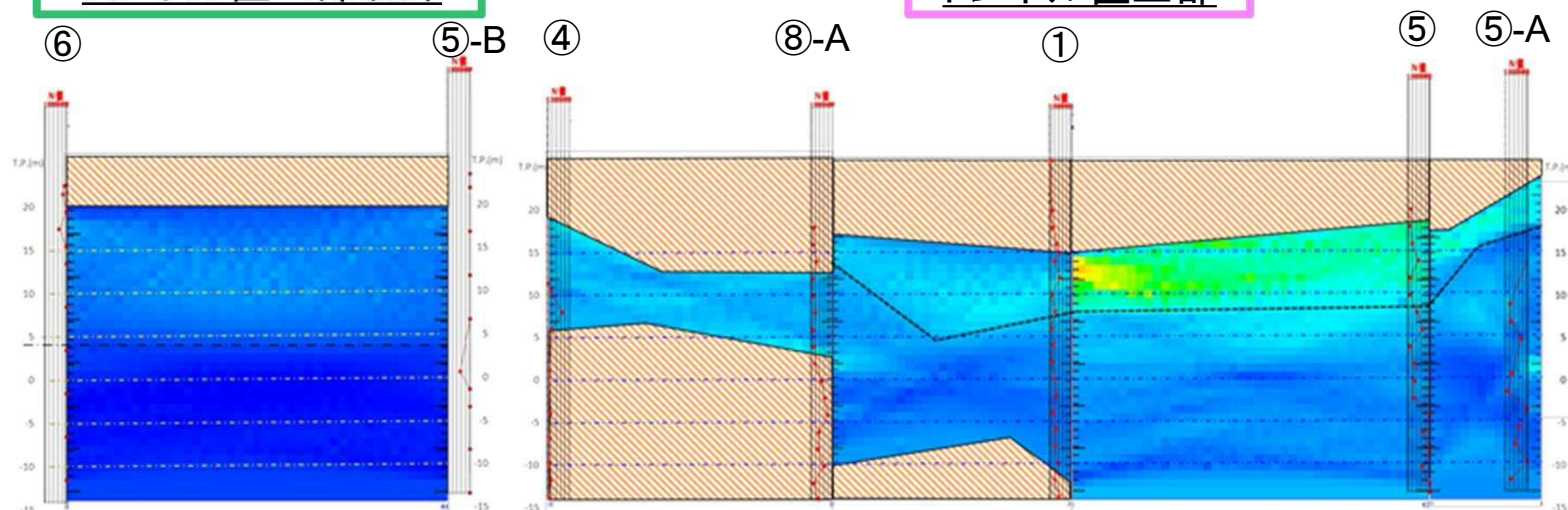
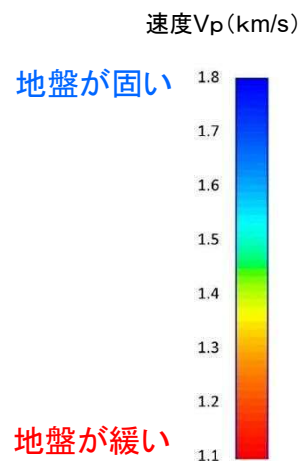
調査結果[陥没・空洞箇所周辺の地盤状況]

- 音響トモグラフィによる調査結果、トンネル直上部以外では地盤の緩みや空洞の存在は確認されませんでした。



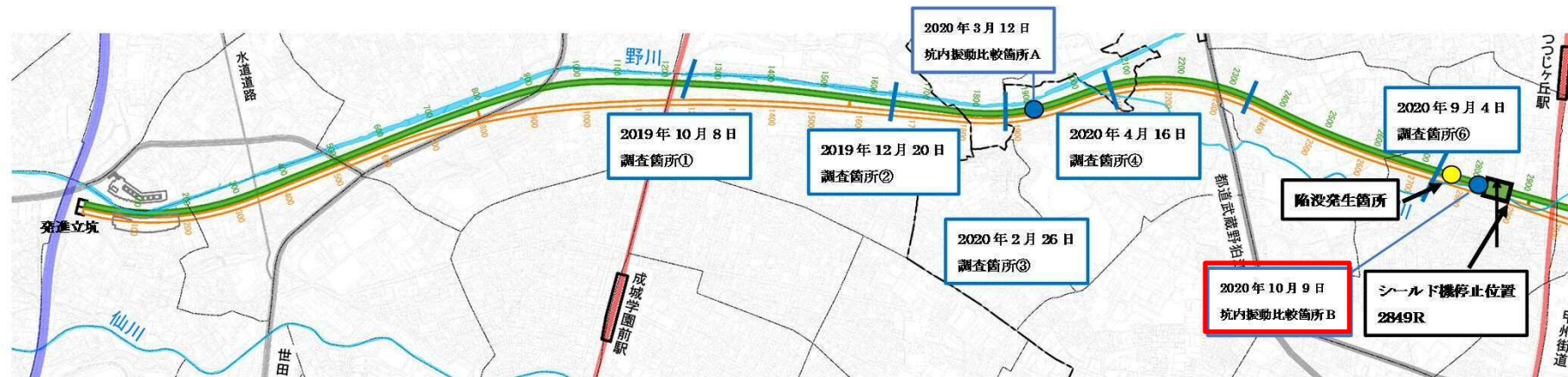
トンネル直上部以外

トンネル直上部



調査結果[陥没・空洞箇所周辺の地盤状況(振動計測結果)]

- ・陥没箇所周辺はシールド掘進の振動が地上に伝達しやすい地盤であったと考えられます。

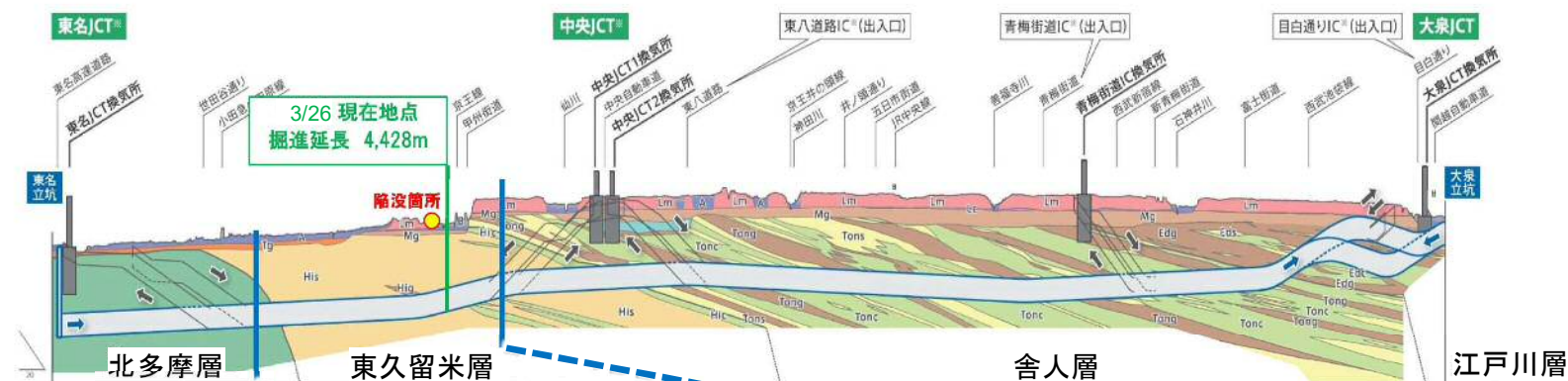


調査箇所	シールド機 先端からの 平面距離	調査日	調査時間	振動レベルL10(dB)	
				停止中最大	掘進中最大
①	掘進方向より左約50m	2019年 10/8(火)	18:00～23:00	27	43
	直上付近			28	41
	掘進方向より右約70m			24	31
②	掘進方向より左約50m	2019年 12/20(金)	18:00～23:00	29	37
	直上付近			24	37
	掘進方向より右約85m			26	33
③	掘進方向より左約100m	2020年 2/26(水)	15:00～23:00	26	40
	直上付近			25	45
	掘進方向より右約85m			27	49
A	地上	2020年 3/12(木)	9:00～20:00	24	39
	坑内			18	57

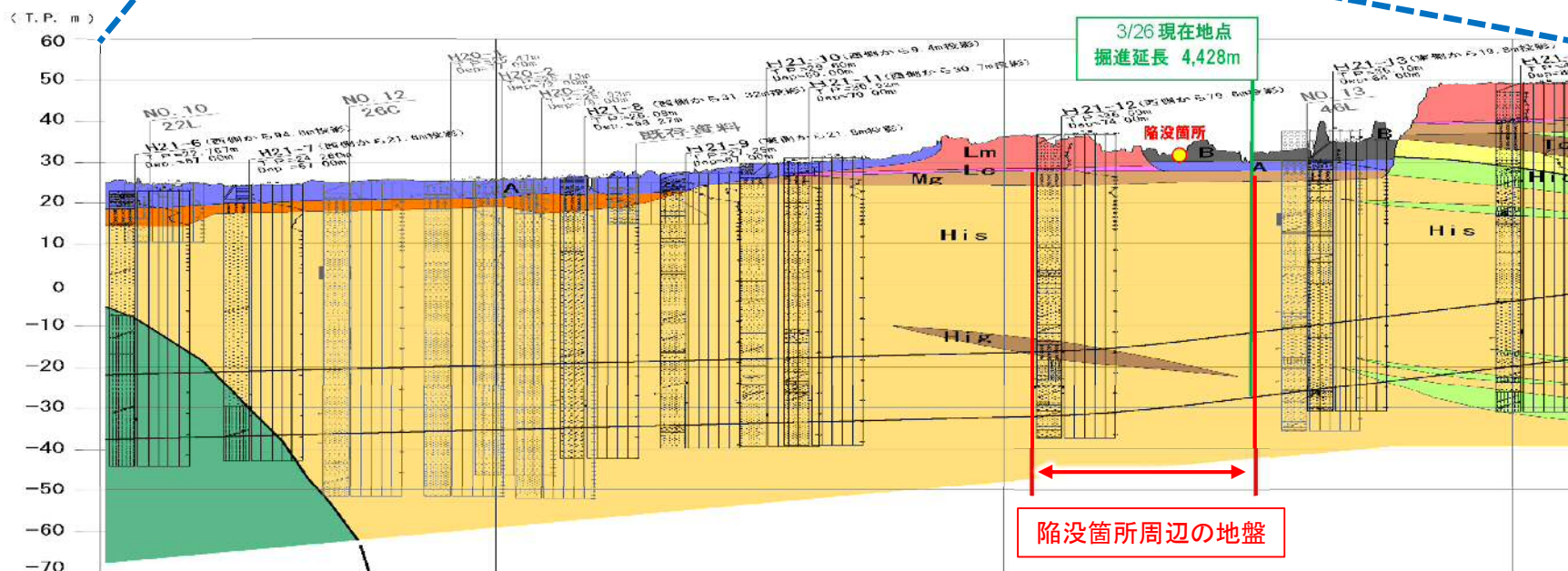
調査箇所	シールド機 先端からの 平面距離	調査日	調査時間	振動レベルL10(dB)	
				停止中最大	掘進中最大
④	掘進方向より左約55m	2020年 4/16(木)	13:00～23:00	37	45
	直上付近			25	42
	掘進方向より右約85m			22	36
⑤	掘進方向より左約80m	2020年 6/23(火)	13:00～23:00	25	39
	直上付近			30	47
	掘進方向より右約95m			25	38
⑥	掘進方向より左約70m	2020年 9/4(金)	13:00～21:00	41	44
	直上付近			31	46
	掘進方向より右約85m			24	36
B	地上	2020年 10/9(金)	9:00～20:00	29	52
	坑内			17	55

陥没・空洞の推定メカニズム [陥没箇所周辺の地盤]

地質縦断面図



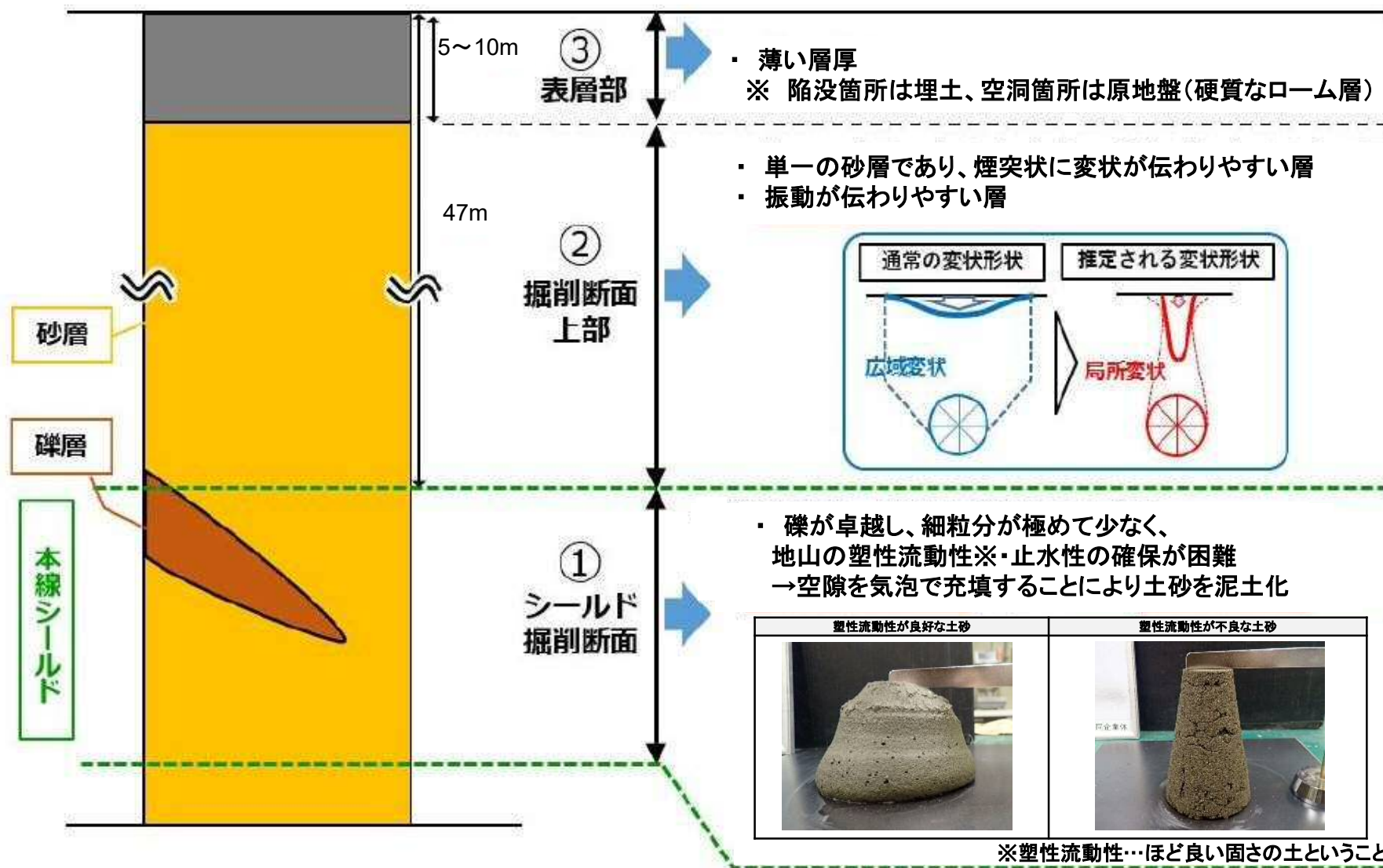
凡 例			
地質時代	地 層 名	地質記号	備 考
第四紀	埋土・埋土	B	埋土・埋土
	沖積層	A	軟弱な粘土、砂、礫
	関東ローム層	La	火山灰質粘土
	ローム質粘土層	Lc	粘土質の関東ローム層
	立川層	Is	砂 礫
	武蔵野層	Ms	砂 礫
	世田谷層	Seis	粘土質の多い砂
	Seta	砂 礫	
	江戸川層	Eds	粘土質の砂、礫、砂、粘土質の砂、礫、砂、粘土質の砂、礫
	Eds	砂	
第三紀	Edr	砂 礫	
	Tons	砂	粘土質の砂、礫、砂、粘土質の砂、礫、砂、粘土質の砂、礫
	Tons	砂	
	Tons	砂	
	His	粘土質	
	His	粘土質	
	His	粘土質	
	His	粘土質	
	His	粘土質	
	His	粘土質	
白垩紀	His	粘土質	
	His	粘土質	



陥没・空洞の推定メカニズム [陥没箇所周辺の地盤]

○ 陥没・空洞箇所周辺は、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

①塑性流動性・止水性の確保が困難な掘削断面、②変状が伝わりやすい掘削断面上部、③薄い層厚の表層部

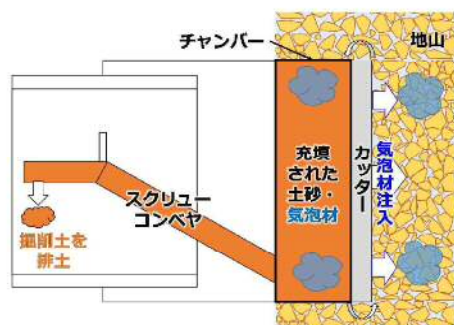


陥没・空洞の推定メカニズム [カッター回転不能に至る現象と解除作業手順]

○ 陥没・空洞箇所下部がトンネル方向に局所的に引き込まれている現象が調査によって確認されており、特殊な地盤条件下においてカッター回転が回転不能になる事象(閉塞)を解除するために行った特殊な作業に起因するシールドトンネルの施工が陥没・空洞事故の要因と推定される。

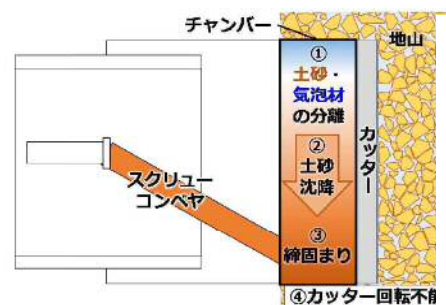
(1) 昼間 (掘進中)

- 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
- 細粒分・細砂分の減少、礫の介在してくる中で、気泡材の種別変更及び添加量の調整、掘進速度の調整を行いながら掘進を実施



(3) 翌朝 (掘進休止後)

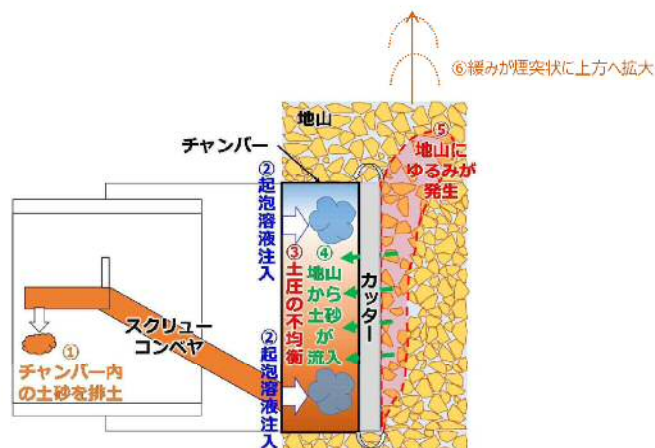
- チャンバー内の①土砂・気泡材が分離、②土砂沈降及び③締固まりが発生
⇒ ④カッター回転不能(閉塞)が発生



(2) 夜間
休止

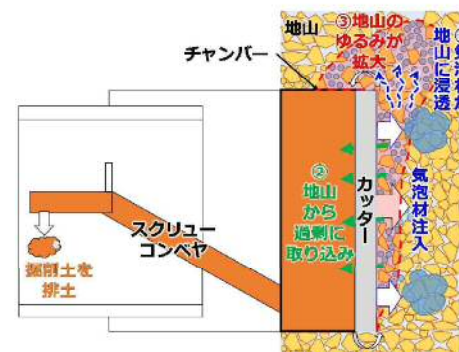
(4) 閉塞解除作業

- カッターを再回転するため、①チャンバー内の締め固まった土砂を一部排出
- 排出によるチャンバー内圧力の低下を防止するため、②直ちに排出土砂分の起泡溶液と置き換える必要がある
- ⇒ この際、③土圧の均衡がとれず、④地山から土砂がチャンバー内に流入することで、結果として、⑤地山に緩みが発生し、⑥煙突状に上方へ拡大



(5) 掘進再開後

- 特殊な地盤下で塑性流動性を保つため、通常より多くの気泡材を地山に注入し、掘進を再開
- 掘進を再開後、①気泡材が(4)閉塞解除作業で緩んだ地山に過度に浸透
⇒ 塑性流動性・止水性が低下し、閉塞解除作業で緩んだ地山に対する切羽土圧の不均衡
- ⇒ 一部の気泡材は回収できず、掘削した地山重量を過少に評価し、②土砂の取り込みが想定より過剰に発生
- ⇒ 繰り返しの閉塞解除作業により生じた地山の緩みを掘進時にさらに助長し、③地山の緩みが拡大し、地表面付近に硬質のロームをアーチとする空洞が地中に形成
- ⇒ 硬質ロームが欠如している箇所で陥没に至った



掘進
再開

陥没・空洞の推定メカニズム [まとめ]

(有識者委員会報告書「はじめに」より抜粋)

今回の陥没や空洞形成は、礫が卓越して介在する細粒分が極めて少ない砂層が掘削断面にあり、単一の流動化しやすい砂層が地表付近まで続くという、東京外環全線の中で特殊な地盤条件となる区間において、チャンバー内の良好な塑性流動性・止水性の確保が困難となり、カッターが回転不能になる事象(閉塞)が発生し、これ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要因であると推定された。

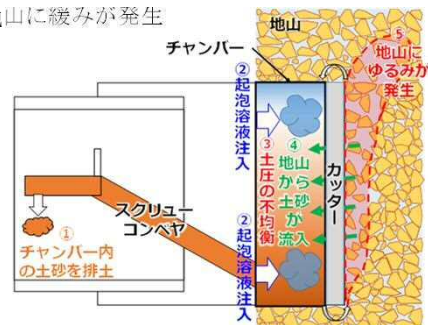
また、結果として土砂の取込みが過剰に生じていたと推定され、施工に課題があった。

再発防止対策(陥没・空洞事故を発生させない取り組み)について

＜推定メカニズム＞

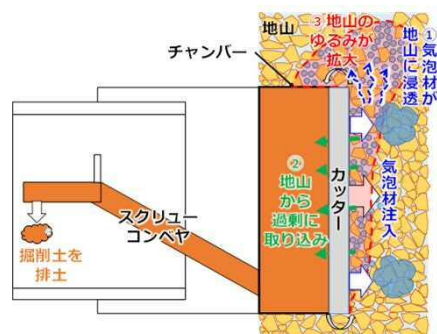
○閉塞及び閉塞を解除するための作業

- ・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



○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

(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

(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

【万が一、閉塞が生じた場合】

○切羽を緩めない対応

○ 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

再発防止対策(地域の安全・安心を高める取り組み)について



※1：状況に応じて実施
※2：設置箇所・手法は自治体と調整

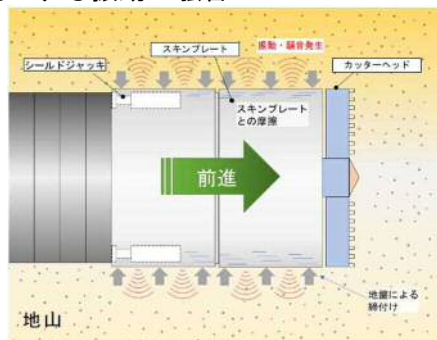
再発防止対策(地域の安全・安心を高める取り組み)について

○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ます。

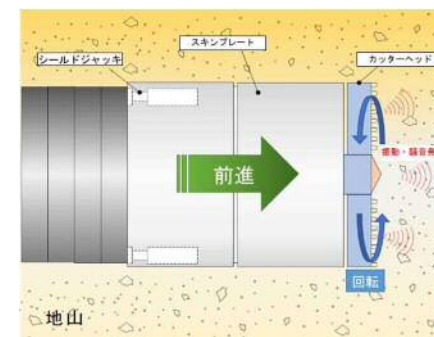
○今後の掘進においては振動・騒音対策を地域の安全安心を高める取り組みの一部として実施していきます。

＜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



＜振動・騒音緩和対策＞

・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。(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		
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

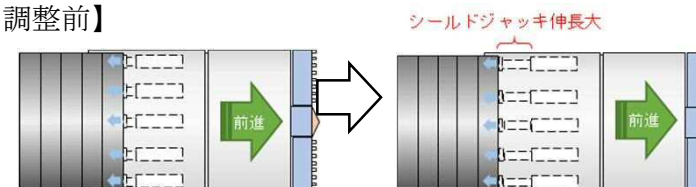
滑剤例

・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)

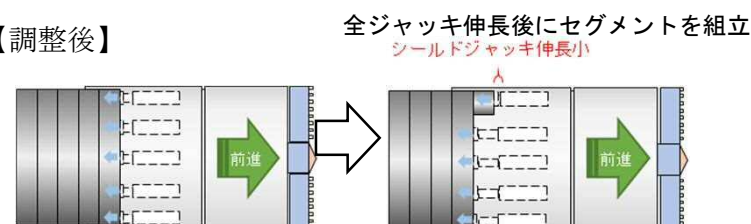
・シールドジャッキの可動長を短い状態で運用することで、ジャッキの振れ幅を抑制しシールドマシン本体の振動・騒音を緩和。(状況に応じて実施)

ジャッキの長さ調整による掘進

【調整前】



【調整後】



全ジャッキ伸長後にセグメントを組立
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 22

再発防止対策(地域の安全・安心を高める取り組み)について

○地表面変状の確認として、水準測量結果の定期公表と巡回監視強化

＜水準測量結果の定期的な公表＞

- ・水準測量により工事前後の地表面変位を確認し、最大地表面傾斜角と鉛直変位を定期的に公表



水準測量

＜巡回監視の強化＞

- ・掘進後概ね1か月程度、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を実施
- ・1か月経過以降においても掘進完了区間全線について、毎日1回の頻度で巡回を実施



巡回員



警戒車両

○地域住民の方への情報提供として、路面下空洞調査の実施と掲示板等によるモニタリング情報のお知らせ

＜路面下空洞調査＞

- ・マシン通過前後に、空洞探査車の走行（狭隘部は作業員によるハンディ型の探査機使用）を行い、路面の空洞調査を実施



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

＜情報提供＞

- ・掲示板やホームページ、お知らせチラシ等を活用し、シールド工事の掘進状況やモニタリング情報をお知らせ



掲示板(イメージ)



HP(イメージ)

○シールドマシン停止に伴う保全措置

- ・チャンバー内の土砂分離を防止し、圧力を適切に保つために定期的にカッターを回転させて土砂攪拌
- ・長期間停止する場合は、水準測量及び巡視により地表面変位の監視を強化

○「トンネル工事の安全・安心確保の取組み」の見直し

- ・“地域の安全・安心を高める取組み”を追加