

## 【付録②】シールドトンネル工事に関する事例集

本付録は、本検討会で実施したアンケート調査およびヒアリングで得られたトラブルや事故とその対策事例等をまとめたものであり、「1. シールドトンネル工事の事例集（総括表）」、「2. アンケート調査結果（トラブルとその対策事例、工夫事例）」、「3. 検討会でのヒアリング結果」で構成されている。それぞれの記載内容を以下に示す。

### 1. 総括表

アンケート調査およびヒアリングで得られたトラブルとその対策事例を泥水式シールド、泥土圧シールドそれぞれで事例の内容ごとに分類した。また、事例から参考となる対策を確認できるように、個別事例ごとに関連する本ガイドラインの項目、参考となる工夫事例や新技術について整理した。

### 2. アンケート調査結果

本検討会で実施したアンケート調査結果をとりまとめた。アンケート調査の概要は巻末の「シールド工事を行う建設会社のアンケート調査の概要について」に示す。

#### 2-1. トラブルとその対策事例

泥水式シールド 17 事例、泥土圧シールド 23 事例のトラブルとその対策事例をとりまとめた。

#### 2-2. 工夫事例

26 社の工夫事例や新技術の活用事例をとりまとめた。

### 3. 検討会でのヒアリング結果

本検討会で実施した以下のヒアリングで確認した内容をとりまとめた。

#### ○第1回検討会（令和3年9月28日）

- ・相鉄・東急直通線新横浜トンネル工事現場付近での道路陥没について  
(独)鉄道建設・運輸施設整備支援機構
- ・東京外かく環状道路工事現場付近での地表面陥没事故について  
(東日本高速道路(株))

#### ○第2回検討会（令和3年10月25日）

- ・東京外かく環状道路 具体的な再発防止対策の検討状況（東日本高速道路(株)）
- ・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（東海旅客鉄道(株)）

#### ○第3回検討会（令和3年11月9日）

- ・建設会社へのヒアリング 3 会社

# 1.総括表

## ■泥水式シールド工事

事例区分	整理番号	シールド概要	地質概要	事例の概要	地表部への 予期せぬ影響	ガイドラインの関連項目 (4-12.異常の兆候の早期管理と迅速な対応は全ての事例に関連する)	参考となる工夫事例	参考となる新技術
礫等による排泥管閉塞	1-2	シールド径:φ5~10m 土被り:9.9~42.5m 地下水位:GL-1.3~1.8m 地上部:道路	・海外の特殊地盤(ミックスフェース)の事例 ・日本でも同様な地盤も東北や中部地方にもみられる ・最大200~400Mpaの花崗岩掘削と粘性土、流砂現象を伴う細砂	・排泥管閉塞解消時の地表面沈下に対し、注水や薬液注入等により対応。	地表面沈下	2-1.地質調査 4-1.泥水・添加材の調整と管理 4-2.切羽圧力の管理 4-3.排土量管理	・土圧計の数を増やしてチャンバー内の切羽圧力分布や変動を可視化(G社①) ・泥水:地盤により事前に比重や粘性を高めた高濃度泥水を送泥(B社④、G社④、I社④、Q社④、R社④、X社④) ・泥水式シールドで、流体データ(密度、流量)及び掘削地盤の土粒子真比重、含水比により排土量を常時演算(H社③) ・地表面監視体制の強化(ヒアリング③)	・チャンバー内塑性流動性と止水性、切羽管理の可視化(B社⑥、G社⑥、S社⑥、X社⑥) ・リアルタイム路面沈下管理(Y社⑥) ・シールド掘進位置の地上リアルタイム確認システム(D社⑥)
	1-5	シールド径:φ5~10m 土被り:11.4m 地下水位:GL-1.7m 地上部:道路	・洪積砂礫層(N値21~50以上) 中~粗砂、10~70mm程度の亜円、亜角礫が主体 Φ100~300mmの玉石が混入	・逸泥や礫による排泥管の閉塞に対し、泥水の改良、各種計測を強化や状況に応じた切羽圧等の調整により掘進完了。		2-1.地質調査 4-1.泥水・添加材の調整と管理 4-2.切羽圧力の管理 4-3.排土量管理	・泥水:地盤により事前に比重や粘性を高めた高濃度泥水を送泥(B社④、G社④、I社④、Q社④、R社④、X社④) ・土圧計の数を増やしてチャンバー内の切羽圧力分布や変動を可視化(G社①)	・チャンバー内塑性流動性と止水性、切羽管理の可視化(B社⑥、G社⑥、S社⑥、X社⑥)
	1-11	シールド径:~φ5m 土被り:19.2m 地下水位:GL-1.3m 地上部:道路	・風化礫岩(N値50以上)	・風化礫岩層の巨礫による排泥管の閉塞に対し、機械の解体による礫の除去やカッターヘッドの補修等により対応。	路面変状	2-1.地質調査 4-1.泥水・添加材の調整と管理 4-2.切羽圧力の管理 4-3.排土量管理 4-11掘進停止時の対策	・泥水式シールドで、流体データ(密度、流量)及び掘削地盤の土粒子真比重、含水比により排土量を常時演算(H社③) ・泥水:別系統の送泥ラインを解放し切羽圧を自動的に保持(B社④) ・地表面監視体制の強化(ヒアリング③)	・三次元CIM等による地質や近接構造物のリアルタイム可視化(B社⑥、G社⑥、S社⑥) ・電磁波地中レーダーによる路面下空洞調査(O社⑥) ・シールド掘進位置の地上リアルタイム確認システム(D社⑥)
	1-12	シールド径:~φ5m 土被り:50.2~57.1m 地下水位:GL-7.0~8.0m 地上部:道路	粘土混じり砂礫~細砂~硬質粘土・砂混り粘土~砂礫・粘土混じり砂礫~シルト質固結粘土	・巨礫により排泥管の閉塞に対し、チャンバー内を薬液注入により止水のうえ巨礫を撤去して対応。		2-1.地質調査 4-1.泥水・添加材の調整と管理 4-2.切羽圧力の管理 4-3.排土量管理	・余剰泥水槽に高濃度泥水をストック(K社①) ・泥水式シールドで、流体データ(密度、流量)及び掘削地盤の土粒子真比重、含水比により排土量を常時演算(H社③)	・三次元CIM等による地質や近接構造物のリアルタイム可視化(B社⑥、G社⑥、S社⑥) ・ICT監視・管理(K社⑥、O社⑥、S社⑥)
	1-13	シールド径:~φ5m 土被り:27.0m 地下水位:GL-3.0m 地上部:住宅地	・洪積砂礫層(N値50以上)	・砂礫層によるカッター回転不能に対し、高圧泥水噴射により対応。		2-1.地質調査 4-1.泥水・添加材の調整と管理 4-2.切羽圧力の管理 4-3.排土量管理 4-11掘進停止時の対策	・2種類以上の排土量管理方法を用いる(P社) ・掘進再開時には、安定した掘削状態となるまで、掘進速度を上げ過ぎず、低負荷の掘進となるように管理(H社④、L社④、P社④)	・三次元CIM等による地質や近接構造物のリアルタイム可視化(B社⑥、G社⑥、S社⑥)
	1-14	シールド径:~φ5m 土被り:河川横断面7.3m 最大21.4m 地下水位:GL-1.7m 地上部:道路等	・沖積の砂質土、砂礫土であり、N値が20~50程度の概ね硬質な地盤である。河川氾濫地帯であった事から、地質が湾曲している事や所々に腐植土や粘性土の薄層狭在が認められた。	・想定以上の礫による排泥管の閉塞に対し、機械設備を改良(面盤改造、排泥管インチアップ、クラッシュャー配備)して対応。	泥水噴出	2-1.地質調査 4-1.泥水・添加材の調整と管理 4-2.切羽圧力の管理 4-3.排土量管理 4-11掘進停止時の対策	・同種地盤における施工実績の調査、確認(B社②) ・余剰泥水槽に高濃度泥水をストック(K社①) ・土圧計の数を増やしてチャンバー内の切羽圧力分布や変動を可視化(G社①) ・泥水の比重管理において自動計測と人による計測を実施(N社①、O社①)	・チャンバー内塑性流動性と止水性、切羽管理の可視化(B社⑥、G社⑥、S社⑥、X社⑥) ・三次元CIM等による地質や近接構造物のリアルタイム可視化(B社⑥、G社⑥、S社⑥)
	1-15	シールド径:~φ5m 土被り:8.0~15.7m 地下水位:GL-1.5m 地上部:道路等	・沖積砂層(シルト混り砂N値4~17、シルト質砂N値3~10)、砂分70%、細粒分30%、透水係数4.53×10 <sup>-6</sup> m/sec	・想定以上の礫による排泥管の閉塞に対し、礫をの除去、入念な裏込注入管理、地表面計測を強化により異常なく掘進。		2-1.地質調査 4-1.泥水・添加材の調整と管理 4-2.切羽圧力の管理 4-3.排土量管理	・同種地盤における施工実績の調査、確認(B社②) ・余剰泥水槽に高濃度泥水をストック(K社①) ・土圧計の数を増やしてチャンバー内の切羽圧力分布や変動を可視化(G社①) ・泥水の比重管理において自動計測と人による計測を実施(N社①、O社①)	・チャンバー内塑性流動性と止水性、切羽管理の可視化(B社⑥、G社⑥、S社⑥、X社⑥) ・三次元CIM等による地質や近接構造物のリアルタイム可視化(B社⑥、G社⑥、S社⑥)
	1-17	シールド径:~φ5m 土被り:4.6~6.4m 地下水位:GL-0.4~1.8m 地上部:道路	・全線、細砂主体の砂質土層。平均N値12。平均均等係数5	・到達後の調査により路面空洞を確認。各種施工管理は確実に実施していたものの緩みやすい地山で土被りが浅いため発生したと推定。		2-1.地質調査 4-2.切羽圧力の管理	・泥水:地盤により事前に比重や粘性を高めた高濃度泥水を送泥(B社④、G社④、I社④、Q社④、R社④、X社④) ・土圧計の数を増やしてチャンバー内の切羽圧力分布や変動を可視化(G社①) ・泥水の比重管理において自動計測と人による計測を実施(N社①、O社①)	・チャンバー内塑性流動性と止水性、切羽管理の可視化(B社⑥、G社⑥、S社⑥、X社⑥) ・三次元CIM等による地質や近接構造物のリアルタイム可視化(B社⑥、G社⑥、S社⑥)

# 1.総括表

## ■泥水式シールド工事

事例区分	整理番号	シールド概要	地質概要	事例の概要	地表部への 予期せぬ影響	ガイドラインの関連項目 (4-12.異常の兆候の早期管理と迅速な対応は全ての事例に関連する)	参考となる工夫事例	参考となる新技術
礫等による排泥管閉塞	ヒアリング結果①	シールド径: φ9.7m 土被り: 18~19m 地下水位: - 地上部: 道路	(トンネル断面およびその上部)上総層砂質土層、粘性土層(泥岩層または土丹層)と両者の中間的な地層、またはそれらの互層(上記の上部)地表面から10m以上の沖積層	・排泥管閉塞後の掘進、停止の繰り返しや閉塞物除去作業時に発生した掘削土の過剰取込みに対し、各リングにおける全行程でのリアルタイムかつ連続的な排土量管理により掘進完了。	道路陥没	2-1.地質調査 4-1.泥水・添加材の調整と管理 4-2.切羽圧力の管理 4-3.排土量管理 4-4.裏込め注入工 4-11.掘進停止時の対策	・泥水式シールドで配管密度計(γ線)と配管流量計を用いて乾砂重量をリアルタイムで計算(D社③) ・泥水式シールドで、流体データ(密度、流量)及び掘削地盤の土粒子真比重、含水比により排土量を常時演算(H社③) ・地表監視体制の強化(ヒアリング③)	・チャンバー内塑性流動性と止水性、切羽管理の可視化(B社⑥、G社⑥、S社⑥、X社⑥) ・三次元CIM等による地質や近接構造物のリアルタイム可視化(B社⑥、G社⑥、S社⑥) ・シールド掘進位置の地上リアルタイム確認システム(D社⑥)
土被り変化部での切羽圧管理	1-4	シールド径: ~φ5m 土被り: 3.0m 地下水位: GL-2.5m 地上部: 公園	表土、砂質土、腐植土	・土被り変化部で泥水の流出に伴い各種計測を強化。	泥水流出	4-1.泥水・添加材の調整と管理 4-2.切羽圧力の管理	・土圧計の数を増やしてチャンバー内の切羽圧力分布や変動を可視化(G社①) ・泥水の比重管理において自動計測と人による計測を実施(N社①、O社①) ・地表監視体制の強化(ヒアリング③)	・チャンバー内塑性流動性と止水性、切羽管理の可視化(B社⑥、G社⑥、S社⑥、X社⑥)
泥膜形成や泥水品質管理	1-1	シールド径: φ5~10m 土被り: 21.0~28.0m 地下水位: GL-1.8m 地上部: 道路	発進~300m 区間 N値4以下の軟弱な粘土層 300m~到達区間 洪積砂質土層(トンネル上部は、砂層や粘土層、砂礫層等が表層部より堆積した多層構造)	・海水による泥水劣化に対し、泥水の改良等により対応。		4-1.泥水・添加材の調整と管理	・泥水の比重管理において自動計測と人による計測を実施(N社①、O社①) ・余剰泥水槽に高濃度泥水をストック(K社①)	・チャンバー内塑性流動性と止水性、切羽管理の可視化(B社⑥、G社⑥、S社⑥、X社⑥) ・三次元CIM等による地質や近接構造物のリアルタイム可視化(B社⑥、G社⑥、S社⑥)
泥膜形成や泥水品質管理	1-3 (ヒアリング結果⑤)	シールド径: φ5~10m 土被り: 12.8m 地下水位: GL-2.0m 地上部: 道路等	(シールド断面) N値3~29の沖積砂質シルト層 (シールド上部) N値30~45の沖積砂礫層が介在	・泥水流出に対し、泥水品質の改良や地表面計測の強化等により対応。	泥水流出、地表面沈下	4-1.泥水・添加材の調整と管理 4-2.切羽圧力の管理	・同種地盤における施工実績の調査、確認(B社②) ・泥水:別系統の送泥ラインを解放し切羽圧を自動的に保持(B社④) ・泥水:地盤により事前に比重や粘性を高めた高濃度泥水を送泥(B社④、G社④、I社④、Q社④、R社④、X社④) ・地表監視体制の強化(ヒアリング③)	・チャンバー内塑性流動性と止水性、切羽管理の可視化(B社⑥、G社⑥、S社⑥、X社⑥) ・三次元CIM等による地質や近接構造物のリアルタイム可視化(B社⑥、G社⑥、S社⑥) ・リアルタイム路面沈下管理(Y社⑥) ・シールド掘進位置の地上リアルタイム確認システム(D社⑥)
残存物などでの排泥管閉塞	1-6	シールド径: φ5~10m 土被り: 17.0~57.0m 地下水位: - m 地上部: 道路	粘土・シルト(N値3~50) 砂(N値16~50) 礫(N値25~50)	・人工物による排泥管の閉塞に伴うシールド機停止時も土量等データを時系列で管理して対応。	地盤変状	2-2.支障物調査 4-2.切羽圧力の管理 4-11.掘進停止時の対策	・切羽の圧力計を標準より増設(D社①) ・泥水式シールドで配管密度計(γ線)と配管流量計を用いて乾砂重量をリアルタイムで計算(D社③) ・泥水:別系統の送泥ラインを解放し切羽圧を自動的に保持(B社④) ・泥水:地盤により事前に比重や粘性を高めた高濃度泥水を送泥(B社④、G社④、I社④、Q社④、R社④、X社④) ・地表監視体制の強化(ヒアリング③)	・三次元CIM等による地質や近接構造物のリアルタイム可視化(B社⑥、G社⑥、S社⑥) ・地盤内の支障物・空洞や地質の急変に対する切羽からの前方探査(Q社⑥) ・カッタービット振動計内蔵支障物判定システム(I社⑥)
残存物などでの排泥管閉塞	1-7 (ヒアリング結果⑦)	シールド径: φ10m~ 土被り: 13.7~34.1m 地下水位: GL-6.0~ 12.0m 地上部: 道路	砂質土・粘性土・礫層	・残置薬注鋼管による排泥管閉塞の繰り返しに対し、予備排泥管や送排泥バイパスバルブの開放操作、圧力変動監視による閉塞物の早期回収等により地表部に影響を与えることなく掘進完了。		2-2.支障物調査 4-2.切羽圧力の管理 4-11.掘進停止時の対策	・土圧計の数を増やしてチャンバー内の切羽圧力分布や変動を可視化(G社①) ・泥水の比重管理において自動計測と人による計測を実施(N社①、O社①) ・泥水:別系統の送泥ラインを解放し切羽圧を自動的に保持(B社④) ・泥水:地盤により事前に比重や粘性を高めた高濃度泥水を送泥(B社④、G社④、I社④、Q社④、R社④、X社④)	・三次元CIM等による地質や近接構造物のリアルタイム可視化(B社⑥、G社⑥、S社⑥) ・超音波式・電磁波レーダー・貫入式等による切羽での地盤の緩みの検知(I社⑥、X社⑥) ・地盤内の支障物・空洞や地質の急変に対する切羽からの前方探査(Q社⑥) ・カッタービット振動計内蔵支障物判定システム(I社⑥)

# 1.総括表

## ■泥水式シールド工事

事例区分	整理番号	シールド概要	地質概要	事例の概要	地表部への 予期せぬ影響	ガイドラインの関連項目 (4-12.異常の兆候の早期管理と迅速な対応は全ての事例に関連する)	参考となる工夫事例	参考となる新技術
残存物などとの接触	1-8	シールド径: φ5~10m 土被り: 25.3~38.0m 地下水位: GL-2.0m 地上部: 道路	砂質シルト(N値2~8) 埋没段丘層にはメタンガスが溶存	・H鋼とマシンの接触に対し、H鋼を直接切削して対応(ビットにダメージはあったが影響なし)。		2-2.支障物調査 4-2.切羽圧力の管理 4-11.掘進停止時の対策	・掘進再開時には、安定した掘削状態となるまで、掘進速度を上げ過ぎず、低負荷の掘進となるように管理(H社④、L社④、P社④) ・泥水:別系統の送泥ラインを解放し切羽圧を自動的に保持(B社④) ・泥水:地盤により事前に比重や粘性を高めた高濃度泥水を送泥(B社④、G社④、I社④、Q社④、R社④、X社④)	・三次元CIM等による地質や近接構造物のリアルタイム可視化(B社⑥、G社⑥、S社⑥) ・地盤内の支障物・空洞や地質の急変に対する切羽からの前方探査(Q社⑥) ・カッタービット振動計内蔵支障物判定システム(I社⑥)
	1-9	シールド径: ~φ5m 土被り: 17.0m 地下水位: GL-3.0m 地上部: 道路	砂質土(N値10~50以上)	・既設構造物の施工の際の観測孔とマシンの接触に対し、観測孔を切断・撤去して対応。		2-2.支障物調査 4-2.切羽圧力の管理 4-11.掘進停止時の対策	・カッター回転速度、掘進速度の低下(I社⑤、P社⑤、S社⑤) ・泥水:別系統の送泥ラインを解放し切羽圧を自動的に保持(B社④) ・泥水:地盤により事前に比重や粘性を高めた高濃度泥水を送泥(B社④、G社④、I社④、Q社④、R社④、X社④)	・チャンバー内塑性流動性と止水性、切羽管理の可視化(B社⑥、G社⑥、S社⑥、X社⑥) ・三次元CIM等による地質や近接構造物のリアルタイム可視化(B社⑥、G社⑥、S社⑥) ・地盤内の支障物・空洞や地質の急変に対する切羽からの前方探査(Q社⑥) ・カッタービット振動計内蔵支障物判定システム(I社⑥)
到達部での土砂取込み	1-16	シールド径: ~φ5m 土被り: 7.6m 地下水位: GL-3.0m 地上部: 公園	砂質土	・到達部での土砂取込みによる陥没に対し、薬液注入等により対応。	工事用地陥没	4-3.排土量管理 4-4.裏込め注入工	・泥水式シールドで配管密度計(γ線)と配管流量計を用いて乾砂重量をリアルタイムで計算(D社③) ・泥水式シールドで、流体データ(密度、流量)及び掘削地盤の土粒子真比重、含水比により排土量を常時演算(H社③) ・地表面監視体制の強化(ヒアリング③)	・リアルタイム路面沈下管理(Y社⑥) ・シールド掘進位置の地上リアルタイム確認システム(D社⑥)
その他	1-10 (ヒアリング結果⑦)	シールド径: φ10m~ 土被り: 13.7~34.1m 地下水位: GL-6.0~12.0m 地上部: 道路	砂質土・粘性土・礫層	・地山の緩み空洞に対し、裏込め注入により対応。		4-4.裏込め注入工	・泥水式シールドで配管密度計(γ線)と配管流量計を用いて乾砂重量をリアルタイムで計算(D社③) ・泥水式シールドで、流体データ(密度、流量)及び掘削地盤の土粒子真比重、含水比により排土量を常時演算(H社③) ・カッター回転速度、掘進速度の低下(I社⑤、P社⑤、S社⑤)	・三次元CIM等による地質や近接構造物のリアルタイム可視化(B社⑥、G社⑥、S社⑥) ・超音波式・電磁波レーダー・貫入式等による切羽での地盤の緩みの検知(I社⑥、X社⑥)

# 1.総括表

## ■泥土圧シールド工事

事例区分	整理番号	シールド概要	地質概要	事例の概要	地表部への予期せぬ影響	ガイドラインの関連項目 (4-12.異常の兆候の早期管理と迅速な対応は全ての事例に関連する)	参考となる工夫事例	参考となる新技術
スクリーコンベア ・チャンバー等閉塞	2-4	シールド径:~φ5m 土被り:8.0m 地下水位:GL-2.5m 地上部:道路等	沖積粘性土層 (N値0~1)	・チャンバー内の異物閉塞解除のためチャンパー内圧力を高めたことによる作泥材の噴出に対し、強制掘進停止システムの導入や弱部の事前補修等により対応。	作泥材の噴出	2-2.支障物調査 4-2.切羽圧力の管理 4-11.掘進停止時の対策	・土圧計の数を増やしてチャンパー内の切羽圧力分布や変動を可視化(G社①) ・掘進再開時には、安定した掘削状態となるまで、掘進速度を上げ過ぎず、低負荷の掘進となるように管理(H社④、L社④、P社④) ・カッター回転速度、掘進速度の低下(I社⑤、P社⑤、S社⑤) ・地表面監視体制の強化(ヒアリング③)	・チャンパー内塑性流動性と止水性、切羽管理の可視化(B社⑥、G社⑥、S社⑥、X社⑥) ・三次元CIM等による地質や近接構造物のリアルタイム可視化(B社⑥、G社⑥、S社⑥)
	2-5	シールド径:~φ5m 土被り:13.5m 地下水位:GL-1.8m 地上部:道路	掘削断面は、N値6程度の粘性土とN値30~40程度洪積砂層の互層。シールド直上部は、ハンマーが自沈するN値0~2の緩い沖積粘性土層5m程度堆積、さらに地表面まではN値3~19の緩い~中程度の砂層が7m程度堆積。	・玉石・流木等混入による閉塞解除や掘削断面の土質の変化による排土制御不良に伴う道路陥没の発生に対し、陥没箇所の補修、空洞調査、管理値の再設定等により対応。	道路陥没	2-1.地質調査 4-2.切羽圧力の管理 4-3.排土量管理 4-11.掘進停止時の対策	・泥土圧シールドで排土重量をベルトスケール、排土体積をレーザースキャナーで計測(C社③、G社③、J社③、S社③、U社③、X社③) ・システム自動判別で特異値の有無を管理。土砂ピット容量変化は人により計測し、システムとの整合を図る(O社③) ・排土の比重や含水比も定期的に測定(Q社③) ・地山探査装置により取込み過多による地山崩壊の有無を探査(H社③) ・地表面監視体制の強化(ヒアリング③)	・三次元CIM等による地質や近接構造物のリアルタイム可視化(B社⑥、G社⑥、S社⑥) ・リアルタイム路面沈下管理(Y社⑥) ・シールド掘進位置の地上リアルタイム確認システム(D社⑥)
	2-14 (ヒアリング結果⑤)	シールド径:φ5~10m 土被り:9.3~14.4m 地下水位:GL-4.8m 地上部:河川	シールド断面は概ねN値50~300を示すDH級の風化花崗岩が分布し、一部区間で掘削断面下半にCL級風化花崗岩を想定	・硬質な風化花崗岩によるビット摩耗、チャンパー閉塞や河床への漏気の発生に対し、ビット交換やビットの長寿命化、添加材の変更等により掘進完了。	河川での漏気と小陥没	2-1.地質調査 4-1.泥水・添加材の調整と管理 4-11.掘進停止時の対策	・攪拌固定翼に添加材注入孔を装備(B社①) ・同種地盤における施工実績の調査、確認(B社②) ・ボーリング採取土による添加材の配合試験練り(B社②、H社②、O社②、R社②、S社②) ・掘削土を用いた添加材の配合試験練り(C社②、D社②) ・機能の異なる複数種類の添加材の使い分け(B社②) ・排土性状確認について日々の現地確認に加えWEBカメラを用いて中央制御室で常時監視(R社②) ・添加材の配合を即座に変更できるよう、添加材設備を坑内後続台車に設置(T社②) ・地表面監視体制の強化(ヒアリング③)	・チャンパー内塑性流動性と止水性、切羽管理の可視化(B社⑥、G社⑥、S社⑥、X社⑥) ・三次元CIM等による地質や近接構造物のリアルタイム可視化(B社⑥、G社⑥、S社⑥) ・リアルタイム路面沈下管理(Y社⑥) ・シールド掘進位置の地上リアルタイム確認システム(D社⑥)
	2-15	シールド径:~φ5m 土被り:6.8~11.4m 地下水位:GL-1.0~3.0m 地上部:道路等	沖積砂礫層、N値32~50以上、礫分43~73%、細粒分5~10%、想定最大礫径400mm、透水係数1×10 <sup>-4</sup> ~1×10 <sup>-2</sup> m/sec、地下水流速7.23~14.35m/h	・鉋物系添加材等付着による閉塞に対し、添加材の変更により対応。		2-1.地質調査 4-1.泥水・添加材の調整と管理	・ボーリング採取土による添加材の配合試験練り(B社②、H社②、O社②、R社②、S社②) ・掘削土を用いた添加材の配合試験練り(C社②、D社②) ・機能の異なる複数種類の添加材の使い分け(B社②) ・排土性状確認について日々の現地確認に加えWEBカメラを用いて中央制御室で常時監視(R社②) ・添加材の配合を即座に変更できるよう、添加材設備を坑内後続台車に設置(T社②)	・チャンパー内塑性流動性と止水性、切羽管理の可視化(B社⑥、G社⑥、S社⑥、X社⑥) ・三次元CIM等による地質や近接構造物のリアルタイム可視化(B社⑥、G社⑥、S社⑥) ・材料分離等が発生しにくい高性能な添加材開発(I社⑥、U社⑥)
2-16	シールド径:~φ5m 土被り:18.3~35.5m 地下水位:GL-2.0~3.0m 地上部:道路	礫地盤主体だが、洪積粘性土、洪積砂礫層、沖積砂質土層と多種に渡る。メタンガスの含有。	・メタンガス対応のための圧送管が、礫による繰り返し閉塞・掘進停止に対し、土砂搬出方式を変更して対応。		2-1.地質調査 3-2-1.シールド形式の選定	・同種地盤における施工実績の調査、確認(B社②) ・排土性状確認について日々の現地確認に加えWEBカメラを用いて中央制御室で常時監視(R社②)	・三次元CIM等による地質や近接構造物のリアルタイム可視化(B社⑥、G社⑥、S社⑥)	

# 1.総括表

## ■泥土圧シールド工事

事例区分	整理番号	シールド概要	地質概要	事例の概要	地表面への予期せぬ影響	ガイドラインの関連項目 (4-12.異常の兆候の早期管理と迅速な対応は全ての事例に関連する)	参考となる工夫事例	参考となる新技術
スクリーコンベア・チャンバー等閉塞	2-18	シールド径:~φ5m 土被り:8.1~21.8m 地下水位:GL-1.4~1.9m 地上部:道路	粘性土層(N値0~5)を主体とし、到達手前で砂礫層(N値30~50)やローム層(N値7~9)が出現	・メタンガス対応のための圧送管が、細粒分の急激減少による閉塞。それに対し、加泥材を変更し、その後閉塞することなく掘進完了。		4-1.泥水・添加材の調整と管理	<ul style="list-style-type: none"> <li>ボーリング採取土による添加材の配合試験練り(B社②、H社②、O社②、R社②、S社②)</li> <li>掘削土を用いた添加材の配合試験練り(C社②、D社②)</li> <li>機能の異なる複数種類の添加材の使い分け(B社②)</li> <li>排土性状確認について日々の現地確認に加えWEBカメラを用いて中央制御室で常時監視(R社②)</li> <li>添加材の配合を即座に変更できるよう、添加材設備を坑内後続台車に設置(T社②)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>チャンバー内塑性流動性と止水性、切羽管理の可視化(B社⑥、G社⑥、S社⑥、X社⑥)</li> <li>三次元CIM等による地質や近接構造物のリアルタイム可視化(B社⑥、G社⑥、S社⑥)</li> <li>材料分離等が発生しにくい高性能な添加材開発(I社⑥、U社⑥)</li> </ul>
	ヒアリング結果②③	シールド径:~φ16.1m 土被り:47m 地下水位:GL-4.0m 地上部:住宅地、道路等	(トンネル断面)細粒分10%以下、均等係数5以下である東久留米層で礫層も介在(トンネル上部)流動化しやすい層が地表面近くまで連続(表層)厚さ5~10mの埋土・ローム層・武蔵野礫層	・夜間停止後の再開時にカッター回転不能となる閉塞の解除のために行った作業に起因した陥没事象の発生に対し、掘進地盤に適した添加材の選定、切羽圧力監視や排土量管理の強化を検討。	道路陥没および空洞形成	4-1.泥水・添加材の調整と管理 4-2.切羽圧力の管理 4-3.排土量管理 4-11.掘進停止時の対策 5-2.騒音・振動対策	<ul style="list-style-type: none"> <li>ボーリング採取土による添加材の配合試験練り(B社②、H社②、O社②、R社②、S社②)</li> <li>掘削土を用いた添加材の配合試験練り(C社②、D社②)</li> <li>機能の異なる複数種類の添加材の使い分け(B社②)</li> <li>排土性状確認について日々の現地確認に加えWEBカメラを用いて中央制御室で常時監視(R社②)</li> <li>気泡材の浸透を考慮した排土率を算出し、新たな指標による管理を追加(ヒアリング)</li> <li>システム自動判別で特異値の有無を管理。土砂ピット容量変化は人により計測し、システムとの整合を図る(O社③)</li> <li>2種類以上の排土量管理方法を用いる(P社③)</li> <li>地表面監視体制の強化(ヒアリング③)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>チャンバー内塑性流動性と止水性、切羽管理の可視化(B社⑥、G社⑥、S社⑥、X社⑥)</li> <li>材料分離等が発生しにくい高性能な添加材開発(I社⑥、U社⑥)</li> <li>電磁波地中レーダーによる路面下空洞調査(O社⑥)</li> <li>リアルタイム路面沈下管理(Y社⑥)</li> <li>シールド掘進位置の地上リアルタイム確認システム(D社⑥)</li> <li>振動低減アクティブ制振技術(C社)</li> </ul>
計器・マシンの損傷	2-2	シールド径:~φ5m 土被り:6.8~11.4m 地下水位:GL-1.0~3.0m 地上部:道路等	沖積砂礫層、N値32~50以上、礫分43~73%細粒分5~10%、想定最大礫径400mm、透水係数1×10 <sup>-4</sup> ~1×10 <sup>-2</sup> m/sec、地下水流速7.23~14.34m/h	・玉石・礫による土圧計損傷の頻発に対し、隔膜式圧力計を用いた油封入式圧力計の製作や隔壁の注入孔の取付けにより対応。		2-1.地質調査 4-2.切羽圧力の管理	<ul style="list-style-type: none"> <li>土圧計の数を増やしてチャンバー内の切羽圧力分布や変動を可視化(G社①)</li> <li>同種地盤における施工実績の調査、確認(B社②)</li> <li>排土性状確認について日々の現地確認に加えWEBカメラを用いて中央制御室で常時監視(R社②)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>チャンバー内塑性流動性と止水性、切羽管理の可視化(B社⑥、G社⑥、S社⑥、X社⑥)</li> <li>三次元CIM等による地質や近接構造物のリアルタイム可視化(B社⑥、G社⑥、S社⑥)</li> </ul>
	2-16	シールド径:~φ5m 土被り:18.3~35.5m 地下水位:GL-2.0~3.0m 地上部:道路	礫地盤主体だが、洪積粘性土、洪積砂礫層、沖積砂質土層と多種に渡る。メタンガスの含有。	・掘進不能時の押し引きや首振りによるスキンプレートの損傷に伴う出水に対し、地盤改良による止水、スキンプレートの補強により対応。		4-2.切羽圧力の管理 4-11.掘進停止時の対策	<ul style="list-style-type: none"> <li>土圧計の数を増やしてチャンバー内の切羽圧力分布や変動を可視化(G社①)</li> <li>シールド設計段階での回転抵抗低減(I社④)</li> <li>掘進停止中、添加材を注入した上で定期的にカッターを回転させてチャンバー内の掘削土を攪拌し、分離、沈降を防止(B社④、C社④、N社④、O社④、T社④、V社④、X社④)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>チャンバー内塑性流動性と止水性、切羽管理の可視化(B社⑥、G社⑥、S社⑥、X社⑥)</li> <li>三次元CIM等による地質や近接構造物のリアルタイム可視化(B社⑥、G社⑥、S社⑥)</li> <li>機械式ビット交換(I社⑥、S社⑥)</li> </ul>
硬質地盤等での切羽圧管理	2-1	シールド径:φ10m~ 土被り:30.0m 地下水位:GL-1.5m 地上部:道路等	洪積層で互層(砂・砂礫・粘土)、N値30を超える硬質地盤	・過大な推力とカッタートルクに対し、切羽圧を下げ安定化を図り地表面に影響を与えることなく掘進完了。		2-1.地質調査 4-2.切羽圧力の管理	<ul style="list-style-type: none"> <li>中央部にアジテーターを装備(B社①)</li> <li>切羽の圧力計を標準より増設(D社①)</li> <li>周辺環境への影響が懸念されるケースでは、ベントナイト加泥材を供給(I社①)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>チャンバー内塑性流動性と止水性、切羽管理の可視化(B社⑥、G社⑥、S社⑥、X社⑥)</li> <li>三次元CIM等による地質や近接構造物のリアルタイム可視化(B社⑥、G社⑥、S社⑥)</li> </ul>
	2-7	シールド径:~φ5m 土被り:2.4~9.7m 地下水位:GL-1.4m 地上部:道路	発進立坑~約300m区間:下半は泥岩(土丹)(N値50以上)、上半は粘性土(N値3)のMixed Face地盤 約300m~到達立坑:砂岩~泥岩	・泥岩に対するノンタックホース径不適合による圧力上昇に対し、加泥材の変更、加泥材添加ルートの増設により対応。	地表面隆起	2-1.地質調査 4-1.泥水・添加材の調整と管理 4-2.切羽圧力の管理 4-3.排土量管理	<ul style="list-style-type: none"> <li>掘進初期段階や近接施工前に、地中変位計を設置してトライアル施工を行い管理土圧の妥当性を検証(C社)</li> <li>切羽の圧力計を標準より増設(D社①)</li> <li>周辺環境への影響が懸念されるケースでは、ベントナイト加泥材を供給(I社①)</li> <li>立坑掘削土による添加材の配合試験練り(B社②、J社②、L社②、T社②)</li> <li>地表面監視体制の強化(ヒアリング③)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>チャンバー内塑性流動性と止水性、切羽管理の可視化(B社⑥、G社⑥、S社⑥、X社⑥)</li> <li>三次元CIM等による地質や近接構造物のリアルタイム可視化(B社⑥、G社⑥、S社⑥)</li> <li>リアルタイム路面沈下管理(Y社⑥)</li> <li>シールド掘進位置の地上リアルタイム確認システム(D社⑥)</li> </ul>

# 1.総括表

## ■泥土圧シールド工事

事例区分	整理番号	シールド概要	地質概要	事例の概要	地表部への予期せぬ影響	ガイドラインの関連項目 (4-12.異常の兆候の早期管理と迅速な対応は全ての事例に関連する)	参考となる工夫事例	参考となる新技術
硬質地盤等での切羽圧管理	2-17	シールド径:~φ5m 土被り:14.0m 地下水位:GL-1.5m 地上部:道路	玉石混じり砂礫層	・玉石によるトルク・推力上昇に対し、玉石の除去、薬液注入による止水対策により対応。		2-1.地質調査 4-2.切羽圧力の管理	・同種地盤における施工実績の調査、確認(B社②) ・排土性状確認について日々の現地確認に加えWEBカメラを用いて中央制御室で常時監視(R社②)	・チャンバー内塑性流動性と止水性、切羽管理の可視化(B社⑥、G社⑥、S社⑥、X社⑥) ・三次元CIM等による地質や近接構造物のリアルタイム可視化(B社⑥、G社⑥、S社⑥)
掘削土の過剰取込み	2-6 (ヒアリング結果⑥)	シールド径:~φ5m 土被り:6.8~11.4m 地下水位:GL-1.0~3.0m 地上部:道路等	沖積砂礫層、N値32~50以上、礫分43~73%、細粒分5~10%、想定最大礫径400mm、透水係数1×10 <sup>-4</sup> ~1×10 <sup>-2</sup> m/sec、地下水流速7.23~14.35m/h	・細粒分が少なく透水性が高い地盤での土砂取込み過多に対し、排土量管理の強化により地表への影響を未然に防止し掘進完了。		2-1.地質調査 4-2.切羽圧力の管理 4-3.排土量管理	・システム自動判別で特異値の有無を管理。土砂ピット容量変化は人により計測し、システムとの整合を図る(O社③) ・2種類以上の排土量管理方法を用いる(P社③) ・排土の比重や含水比も定期的に測定(Q社③) ・地山探査装置により取込み過多による地山崩壊の有無を探査(H社③)	・三次元CIM等による地質や近接構造物のリアルタイム可視化(B社⑥、G社⑥、S社⑥) ・電磁波地中レーダーによる路面下空洞調査(O社⑥) ・シールド掘進位置の地上リアルタイム確認システム(D社⑥)
残存物などとの接触	2-10	シールド径:~φ5m 土被り:7.0~11.0m 地下水位:GL-1.5~3.7m 地上部:道路等	N値12程度の砂、砂礫混じり粘土からN値60以上の砂礫の互層	・基礎杭との接触に対し、構造物への矢板施工や計測管理を行い、基礎杭を切断・撤去して対応。		2-2.支障物調査 4-2.切羽圧力の管理 4-3.排土量管理 4-11.掘進停止時の対策	・掘進停止中、添加材を注入した上で定期的にカッターを回転させてチャンバー内の掘削土を攪拌し、分離、沈降を防止(B社④、C社④、N社④、O社④、T社④、V社④、X社④) ・掘進再開時には、安定した掘削状態となるまで、掘進速度を上げ過ぎず、低負荷の掘進となるように管理(H社④、L社④、P社④)	・三次元CIM等による地質や近接構造物のリアルタイム可視化(B社⑥、G社⑥、S社⑥) ・地盤内の支障物・空洞や地質の急変に対する切羽からの前方探査(Q社⑥)
	2-11	シールド径:~φ5m 土被り:19.2~23.2m 地下水位:GL-1.4~2.4m 地上部:道路	洪積砂礫層、洪積砂質土	・グラウンドアンカーとの接触に対し、干渉範囲を改良後、アンカーを直接切削して対応。		2-2.支障物調査 4-2.切羽圧力の管理 4-3.排土量管理 4-11.掘進停止時の対策	・掘進停止中、添加材を注入した上で定期的にカッターを回転させてチャンバー内の掘削土を攪拌し、分離、沈降を防止(B社④、C社④、N社④、O社④、T社④、V社④、X社④) ・掘進再開時には、安定した掘削状態となるまで、掘進速度を上げ過ぎず、低負荷の掘進となるように管理(H社④、L社④、P社④)	・三次元CIM等による地質や近接構造物のリアルタイム可視化(B社⑥、G社⑥、S社⑥) ・地盤内の支障物・空洞や地質の急変に対する切羽からの前方探査(Q社⑥)
	2-12	シールド径:~φ5m 土被り:7.0~27.0m 地下水位:-m 地上部:道路等	砂(N値7~35) 礫(N値50~250)	・図面と構造物の位置不整合による鋼矢板との接触に対し、鋼矢板を切削して対応。		2-2.支障物調査 4-2.切羽圧力の管理 4-3.排土量管理 4-11.掘進停止時の対策	・掘進停止中、添加材を注入した上で定期的にカッターを回転させてチャンバー内の掘削土を攪拌し、分離、沈降を防止(B社④、C社④、N社④、O社④、T社④、V社④、X社④) ・掘進再開時には、安定した掘削状態となるまで、掘進速度を上げ過ぎず、低負荷の掘進となるように管理(H社④、L社④、P社④)	・三次元CIM等による地質や近接構造物のリアルタイム可視化(B社⑥、G社⑥、S社⑥) ・地盤内の支障物・空洞や地質の急変に対する切羽からの前方探査(Q社⑥)
	2-13	シールド径:~φ5m 土被り:5.0~13.0m 地下水位:-m 地上部:道路等	粘土・シルト(N値3~10)	・鋼矢板との接触に対し、別トンネルを築造。		2-2.支障物調査 4-2.切羽圧力の管理 4-3.排土量管理 4-11.掘進停止時の対策	・泥土:長期間の掘進停止中は、チャンバー内土砂を超粘性可塑状充填材に置き換え、分離、沈降を防止(B社④、D社④、Q社④、S社④)	・三次元CIM等による地質や近接構造物のリアルタイム可視化(B社⑥、G社⑥、S社⑥) ・地盤内の支障物・空洞や地質の急変に対する切羽からの前方探査(Q社⑥)



# 1.総括表

## ■泥土圧シールド工事

事例区分	整理番号	シールド概要	地質概要	事例の概要	地表部への予期せぬ影響	ガイドラインの関連項目 (4-12.異常の兆候の早期管理と迅速な対応は全ての事例に関連する)	参考となる工夫事例	参考となる新技術
残存物などを通じた気泡等漏出	2-3	シールド径:~φ5m 土被り:3.0m 地下水位:GL-2.5m 地上部:道路	表土、砂質土	・高裏込め注入圧による泥水噴出に対し、裏込め注入圧を規定注入率の範囲で最小にすることにより対応。	泥水噴出	4-4.裏込め注入工	・ 地表面監視体制の強化(ヒアリング③)	・ シールド掘進位置の地上リアルタイム確認システム(D社⑥)
	2-19	シールド径:φ10m~ 土被り:1D~3D程度 地下水位:GL-2.0m 地上部:道路	硬質粘性土	・既存のボーリング跡による気泡・裏込め材の漏出に対し、漏出状況を監視しながら対応。	添加材、裏込め材の漏出	2-2.支障物調査 4-4.裏込め注入工	・ 地表面監視体制の強化(ヒアリング③)	・ シールド掘進位置の地上リアルタイム確認システム(D社⑥)
	2-20	シールド径:φ5~10m 土被り:2D程度 地下水位:GL-2.0m 地上部:道路	砂岩	・既存の水位観測孔による気泡材の漏出に対し、観測孔の充填、発泡させない添加材の変更により対応。	添加材の漏出	2-2.支障物調査 4-1.泥水・添加材の調整と管理	・ 機能の異なる複数種類の添加材の使い分け(B社②) ・ 地表面監視体制の強化(ヒアリング③)	・ シールド掘進位置の地上リアルタイム確認システム(D社⑥)
	2-21	シールド径:~φ5m 土被り:2D以上 地下水位:GL-3.0m 地上部:農地	礫層	・地中の空洞による気泡漏出に対し、気泡から鉋物系添加材への変更により対応。	添加材の漏出	4-1.泥水・添加材の調整と管理	・ 機能の異なる複数種類の添加材の使い分け(B社②) ・ 地表面監視体制の強化(ヒアリング③)	・ シールド掘進位置の地上リアルタイム確認システム(D社⑥)
残存物などでの切羽圧管理	2-8	シールド径:φ10m~ 土被り:9.0m 地下水位:GL-8.0m 地上部:事業用地	盛土層、粘性土・砂質土・砂礫の互層	・鋼管接触による切羽力低下に伴う地表沈下(管理値内)に対し、シールド機外周への裏込め注入や添加材の変更等により対応。		2-2.支障物調査 4-2.切羽圧力の管理 4-3.排土量管理 4-4.裏込め注入工	・ 周辺環境への影響が懸念されるケースでは、ベントナイト加泥材を供給(I社①) ・ 掘削土を用いた添加材の配合試験練り(C社②、D社②) ・ 機能の異なる複数種類の添加材の使い分け(B社②) ・ シールドの締め付け防止対策として、高分子材等をシールド外周に注入(I社④、S社④、U社④、V社④) ・ 地表面監視体制の強化(ヒアリング③)	・ チャンバー内塑性流動性と止水性、切羽管理の可視化(B社⑥、G社⑥、S社⑥、X社⑥) ・ 三次元CIM等による地質や近接構造物のリアルタイム可視化(B社⑥、G社⑥、S社⑥) ・ カッタービット振動計内蔵支障物判定システム(I社⑥) ・ 地盤内の支障物・空洞や地質の急変に対する切羽からの前方探査(Q社⑥) ・ 材料分離等が発生しにくい高性能な添加材開発(I社⑥、U社⑥) ・ シールド掘進位置の地上リアルタイム確認システム(D社⑥)
	2-9	シールド径:φ10m~ 土被り:30.0m 地下水位:GL-5.0m 地上部:道路	粘性土・砂質土	・金属製障害物による排土悪化に対し、掘進速度の低下、裏込め注入や加泥材注入率の増加等により対応。		2-2.支障物調査 4-2.切羽圧力の管理 4-3.排土量管理 4-4.裏込め注入工	・ 周辺環境への影響が懸念されるケースでは、ベントナイト加泥材を供給(I社①) ・ 掘削土を用いた添加材の配合試験練り(C社②、D社②) ・ 機能の異なる複数種類の添加材の使い分け(B社②) ・ カッター回転速度、掘進速度の低下(I社⑤、P社⑤、S社⑤) ・ 地表面監視体制の強化(ヒアリング③)	・ チャンバー内塑性流動性と止水性、切羽管理の可視化(B社⑥、G社⑥、S社⑥、X社⑥) ・ 三次元CIM等による地質や近接構造物のリアルタイム可視化(B社⑥、G社⑥、S社⑥) ・ カッタービット振動計内蔵支障物判定システム(I社⑥) ・ 地盤内の支障物・空洞や地質の急変に対する切羽からの前方探査(Q社⑥) ・ 材料分離等が発生しにくい高性能な添加材開発(I社⑥、U社⑥) ・ シールド掘進位置の地上リアルタイム確認システム(D社⑥)
騒音・振動	2-22	シールド径:~φ5m 土被り:11.0m 地下水位:GL-3.0m 地上部:道路等	軟弱な粘性土	・騒音・振動による住民からの問い合わせに対し、掘進速度の低下により対応。	騒音	5-2.騒音・振動対策	・ 夜間の掘進を制限(B社⑤、E社⑤、G社⑤、R社⑤) ・ 夜間の坑内運搬の制限、夜間の材料搬入停止、坑内運搬の緩衝(B社⑤、S社⑤、T社⑤、U社⑤、Z社⑤) ・ カッター回転速度、掘進速度の低下(I社⑤、P社⑤、S社⑤) ・ シールド周辺に縁切りの可塑性充填材等の注入(D社⑤、H社⑤、I社⑤、L社⑤、S社⑤、U社⑤、X社⑤) ・ シールドの方向制御において蛇行修正を最小化するように掘進管理(I社⑤)	
その他	2-23	シールド径:~φ5m 土被り:10.0m 地下水位:GL-8.0m 地上部:道路	表土、砂質土、粘性土、風化花崗岩	・砂質地山から風化花崗岩に変化する地点にて半年後に陥没が発生したことに対し、地表面を補修して対応。	道路陥没	2-1.地質調査 4-3.排土量管理 4-4.裏込め注入工 6-1.記録及びその活用	・ 泥土圧シールドで排土重量をベルトスケール、排土体積をレーザースキャナーで計測(C社③、G社③、J社③、S社③、U社③、X社③) ・ システム自動判別で特異値の有無を管理。土砂ビット容量変化は人により計測し、システムとの整合を図る(O社③) ・ 2種類以上の排土量管理方法を用いる(P社③) ・ 排土の比重や含水比も定期的に測定(Q社③) ・ 地山探査装置により取込み過多による地山崩壊の有無を探査(H社③) ・ 地表面監視体制の強化(ヒアリング③)	・ 電磁波地中レーダーによる路面下空洞調査(O社⑥)



## 2-1. トラブルとその対策事例【泥水式シールド】

※トラブルごとにシールド径の大きな順番で整理

整理番号	該当トラブル	シールド径 (m)	土被り (m)	地下水位 (m)	地質概要	地表部の土地利用 (道路、住宅地等)	地表部への予期せぬ影響 (有、無、記載なし)	トラブル発生状況	トラブル対応・工夫事例
1-1	①-1切羽圧の管理 ①-2泥水の比重管理 ③排土量の管理 ④-1掘進停止再開 (支障物) ④-2掘進停止再開 (想定外地盤) その他 (騒音、添加材・裏込め材漏出等)	③排土量の管理	φ5~10	21.0 ~28.0	GL-1.8 発進~300m 区間 N値4 以下の軟弱な粘土層 300m~到達区間 洪積砂質土層 (トンネル上部は、砂層や粘土層、砂礫層等が表層部より堆積した多層構造)	道路	無	①発進~300m 区間 ・地下水位がGL-1.8m と高い上に現場が護岸から近く、満潮時に海水の影響を直接受けた。 ・掘削土の取込み量増加が続いたため、泥水圧を上昇させたが解決に至らず、一時切羽保持が困難となり、直上にある道路が沈下する危険性が生じた。 ・なお、事後対策を含め、本トラブルによる道路沈下等の地上への影響は、管理値内で収まった。 ②300m~到達区間 ・埋立地のため掘進地盤の透水性が高く、海水が泥水に混入した。 ・満潮時は大量の海水が混入し、泥水が激しく凝集した。 ・粘性やろ過水量 (造壁性) の上昇によるチャンパー閉塞や土砂の運搬・分離の中断、P1 ポンプ停止による工期遅延、薬剤コストの増加を生じた。 ・なお、事後対策を含め、本トラブルによる道路沈下等の地上への影響は、管理値内で収まった。	①発進~300m 区間 <泥膜の強化> ・地盤中に微細粒子 (バインダー分) を含んでいたことから、粘土やベントナイトの補充は行わず、切羽保持のために増粘剤を添加した。 ・増粘剤は、泥水1m3 あたり0.2~1kg (0.02~0.1wt%) となるよう添加した。 ・対象とする泥水は、調整槽、配管、チャンパー、土砂分級機アンダータンクの各容量 (概算) を足した値とした。 ②300m~到達区間 <凝集対策> ・管理基準値を越えた粘性や、凝集に伴い増加したろ過水量は、ソーダ灰泥水1m3 あたり0.5~2kg (0.05~0.2wt%) 添加して改善した。 ※泥水の凝集は、海水中の陽イオン (ナトリウム: Na+, カルシウム: Ca2+, マグネシウム: Mg2+) が泥水中的粘土やベントナイトと化学的に結合することが原因である。 ・ソーダ灰での粘性改善が難しい場合、新液や清水添加、また掘進開始および終了前30 分間にバイパス運転を行い、除去し切れなかった土砂の分離を行った。 <泥膜の強化と耐イオン性の向上> ・海水の混入防止 (= 泥膜の強化) および泥水の耐イオン性を高めるために、増粘剤を添加した。 ・増粘剤は、泥水1m3 あたり0.2~1kg (0.02~0.1wt%) 添加した。
1-2		③排土量の管理	φ5~10	9.9 ~42.5	GL-1.3 ~1.8 ・海外の特殊地盤 (ミックスフェース) の事例 ・日本でも同様な地盤も東北や中部地方にもみられる ・最大200~400Mpa の花崗岩掘削と粘性土、流砂現象を伴う細砂	道路 (歩道橋、地下鉄、共同溝等の近接施工多数)	有 (地表面沈下)	①切羽圧が管理値を逸脱および排土量が管理値を逸脱 ・岩盤と軟弱粘性土とのミックスフェースの土質を掘進時に切羽管理圧低下が生じた。粘性土部分の取り込み過多によるものが原因であり、その対処として一時的に充填材をチャンパー内の充填で対処した。 ②排泥管の詰まり、管理値を超過した沈下 ・排泥管の詰まりを解消するために、チャンパー内を圧気作業で実施中に地表面沈下が発生した。岩盤内での作業で圧気圧を小さくしたため、水の流れによる細砂を引き込みしたことが原因と考えられる。	①の対策 ・掘進管理の排土量管理は容積管理 (偏差流量) と重量管理 (ベルコンの重量計) の2 種類で対処したが、一部で管理値の逸脱を防止できなかった。この対策については精度向上に努め、10~20 リング毎の土量変化を捉えるよう徹底的な管理を追加した ・泥水式の送泥材は掘削土を再利用して調整していたが、比重。粘性が不適合だったので購入した泥水に置き換えて対処した。 ②の対策 ・圧気圧を高め、さらに地盤内に注水し (リチャージウエルがシールド路線に約50m 間隔で事前に設置)、沈下の解消し、薬液注入で地盤内の強化を実施した。
1-3		④-2掘進停止再開 (想定外地盤)	φ5~10	12.8	GL-2.0 (シールド断面) N値3~29 の沖積砂質シルト層 (シールド上部) N 値30~45 の沖積砂礫層が介在	道路、住宅地	有 (歩道部での泥水流出、地表面沈下)	・2018 年8 月、距離程2,895m地点において、地上歩道部で泥水が流出するトラブルが発生。 ・トラブル停止約2ヶ月後の再発進以降、2,900m付近で地表面沈下の累計量が一次管理値である10mm に達し、その後、一時再開したものの管理値に達する測点が多数発生し、10 月、作業時に距離程2,950m、2,955mのシールド中心地点で地表面沈下の累計が14mmに達しシールド掘進を停止。	■地盤の再調査 ・トラブル個所以前において切羽管理、泥水管理に特段の不具合がなかったため、泥水流出、地表面沈下増大の原因として、地盤の緩みを想定し、追加の地盤調査を実施。着目点は、地盤強度 (N値)、土質構成、粒度分布、透水性、文献調査 (地歴調査)。 ■泥水品質の改良 ・地盤調査より、当初想定よりも全体的に緩い地盤であることが判明したため、原因を泥膜形成の不具合、逸泥増大による地盤の緩みの誘発と推定。その対策として、泥水品質の改良とモニタリングを実施した。また、泥水品質維持のため、地上泥水プラントや、坑内泥水輸送設備を増強した。 ■シールド通過時の可塑状充填材による地山保持と裏込め注入の増加 ・シールドのオーバーカットによる通過中の地盤沈下を防止するため、地山とシールドとの空隙に可塑状充填材を注入した。注入はシールド前胴に装備している外周部への注入管から実施した。 ■地表面変状観測の強化 (頻度増大と人員態勢) ・道路上にて地表面沈下測定の頻度を大きくし、掘進と地表面沈下の相関をリアルタイムで把握した。
1-4			~φ5	3.0	GL-2.5 表土、砂質土、腐植土	公園	有 (公園での泥水の流出)	・丘陵部 (土被り10m) から谷部 (土被り3m) に入ったところで切羽圧力の変動が激しく、切羽バランスが崩れ泥水が上部の公園の砂場に溢れた。	・泥水切羽圧は、初期設定圧 (主動土圧、緩み土圧+水圧+変動圧) に対して、実掘削時の偏差流量、乾砂量、残土排出量等から地山に適した切羽水圧にフィードバックして設定することが多い。また、泥水比重は基本的に送排泥管に設置した密度計と、調整槽における泥水採取による比重計測で把握している。管理については、送泥水の比重だけでなく、粘性 (ファンネル・YV)、砂分、濾水量、PH等を地質特性に合わせて管理値を決めて管理している。

## 2-1. トラブルとその対策事例【泥水式シールド】

※トラブルごとにシールド径の大きな順番で整理

整理番号	該当トラブル	シールド径 (m)	土被り (m)	地下水位 (m)	地質概要	地表部の土地利用 (道路、住宅地等)	地表部への予期せぬ影響 (有、無、記載なし)	トラブル発生状況	トラブル対応・工夫事例
1-5	①-2泥水の比重管理	φ5~10	11.4	GL-1.7	洪積砂礫層 (N 値21~50 以上) 中~粗砂、10~70mm 程度の亜円、亜角礫が主体φ100~300 mmの玉石が混入	道路	記載なし	・洪積砂礫層の透水係数が大きく(概ね10-3cm/s オーダー) 施工時に、作泥により泥水の比重、粘性を高くして掘削した(比重1.2、粘性:30~35 秒)が、泥水が逸脱し、礫によるチャンパー・排泥系統の閉塞が繰り返し発生した。	・逸脱防止のために泥水に砂分や増粘材を追加配合し、流体輸送データから逸脱程度を計測しながら掘進した。また、地表面を計測して沈下隆起傾向を把握し、状況に応じて泥水性状、切羽圧、裏込注入量・圧を調整した。以上により、問題なく掘進を完了した。
1-6	③排土量の管理	④-1掘進停止再開 (支障物)	φ5~10	17.0~57.0	粘土・シルト(N 値3~50) 砂(N 値16~50) 礫(N 値25~50)	道路	有(地盤変状)	・シールド掘進中に、切羽付近で土塊(人工物)が排泥管に詰まり、泥水の環流が不能になった。環流不能を解消するため、排泥管に詰まっている土塊を除去しながら進めたが、地上において地盤変状が発生した。排泥管の詰まりを解消するために、流体設備にて、泥水の流れを正送、逆走の操作を繰り返し行ったことによる土砂の取り込み過多が原因であった。	・配管の詰まり等のトラブルが発生した場合は、土量等の管理データをシールド掘進中のストローク毎の管理に加えて、シールド機停止時も管理できるように、時系列データでも管理するようにした。
1-7	④-1掘進停止再開 (支障物)	φ10~	13.7~34.1	GL-6.0~12.0	砂質土・粘性土・礫層	道路	無	・シールド掘進に先行して平行して存在していた既設とう道(φ3m)が撤去されていたが、その外周に薬液注入用の鋼管(φ40mm 程度)が残置されており、シールド掘進中にこの支障物を取り込み、排泥管の閉塞を繰り返した。 注入管が出現した区間:約500m 掘進一時停止:約200 回	・排泥管への注入管の閉塞に伴い、一時的な切羽水圧の上昇が見られ、地上部への泥水噴出、切羽崩壊等の懸念があったため、以下の対策を実施した。 ・掘進中に送排泥ポンプ圧力を監視し、切羽水圧に急激な変動が生じないよう、予備排泥管バルブの開放、送排泥バイパスバルブ開放の操作を行い切羽水圧の安定を図った。 ・ポンプ圧力変動の上下限値を定め、早期に排泥管や排泥ポンプに閉塞する支障物(注入管)を除去し急激な閉塞を防止した。 ・支障物が存在していた区間の裏込注入工については圧力管理(切羽水圧+100kPa)を徹底した。 ・支障物の影響区間の測量、監視を強化し、裏込め注入管理を確実に実施したことで、地盤変状、管理値を超える沈下は発生しなかった。
1-8		φ5~10	25.3~38.0	GL-2.0	砂質シルト(N 値2~8) 埋没段丘層にはメタンガスが溶存	道路	記載なし	・掘進途中で地中に存置にされたH型鋼に接触した。シールドマシンを停止させ、対象物を確認後、地上からの撤去は困難と考え直接切削することにした。	・支障物(H-350, 切削部長さL=不明、約12 本)を通常の切削ビットで切断しながら再掘進した。本体構造物には影響がないことは確認している。 ・停止期間は調査と協議を含めて約2 週間、残置杭切削をするにあたっては、地表部の路面計測と共に監視員を配置し、シールド機内との通信連絡を可能にし、地上と坑内との連絡体制に留意した。到達時に切削ビットの摩耗・損耗状況を確認した。多くのビットが大きなダメージを被っていたが、軟弱地盤の掘進という点が幸いした。 ・地中構造物の本体部の図面は残っているが、構築に伴って使用された仮設部材が表記されていないことがよくある。
1-9		~φ5	17.0	GL-3.0	砂質土(N 値10~50 以上)	道路	無	・泥水シールド掘進時に突然カッターが停止し、シールド機内でもカッターが固いものにぶつかるような異音と振動があったので、掘進を停止した。結果として、当シールドの下部に施工された既設シールドの施工時に設置された観測孔(鋼管φ250mm)であった。 ・なお、事後対策を含め、本トラブルによる道路沈下等の地上への影響は、管理値内で収まった。	・発注者にただちに連絡して状況を報告、既設シールド施工会社より観測孔であるとの回答を得た。その後、発注者より、無理な引き抜きやシールド機での切削は既設シールドの覆工に損傷を与えかねないので、既設シールドに影響のない位置で切断して撤去するように要請があった。 ・協議した結果、鋼管内のエアモルタルを洗浄し、鋼管内にインナーカッターを挿入し、シールド機下端で切断、引き抜くこととした。 手順:磁気探査→立坑築造→観測孔内モルタル除去→インナーカッターによる観測孔切断→シールド機バックリング→φ400mm 被せ掘り→観測孔引き抜き→立坑撤去→道路復旧シールド機バックリング:カッタービットが障害物に食い込んでいると考えられたため、前胴部を中折れジャッキで中折れ余裕分(2cm 程度)バックし、センターホールジャッキを後方セグメントから反力を得て、シールド機全体をテールシールドが反転しないと想定された8cm 程度、合計カッター面で10cm 程度バックさせた。

## 2-1. トラブルとその対策事例【泥水式シールド】

※トラブルごとにシールド径の大きな順番で整理

整理番号	該当トラブル ①-1切羽圧の管理 ①-2泥水の比重管理 ③排土量の管理 ④-1掘進停止再開（支障物） ④-2掘進停止再開（想定外地盤） その他（騒音、添加材・裏込め材漏出等）	シールド径 (m) ~φ5 φ5~10 φ10~	土被り (m)	地下水位 (m)	地質概要	地表部の土地利用 (道路、住宅地等)	地表部への予期せぬ影響 (有、無、記載なし)	トラブル発生状況	トラブル対応・工夫事例
1-10	④-2掘進停止再開（想定外地盤）	φ10~	13.7 ~34.1	GL-6.0 ~12.0	砂質土・粘性土、礫層	道路	無	・シールドが地下鉄函体に近接して下部を横断するに当たり、地下鉄函体の側部に注入用の深礎立坑（φ5m）を設置して水平方向に防護薬液注入が施工されていた。この立坑は本シールドの直上に位置していたため、シールド通過前に流動化処理土で埋め戻されていたが、シールドがこの部分を通るときのから装備していた地山崩壊探査装置（油圧式）が伸びるようになり、地山の緩みまたは空洞があるものと予想された。	・対策として、地山探査装置のストロークよりシールド上部の緩み（空洞）範囲を想定し、通常の裏込め注入量にこの体積を加えてリングごとの目標注入量を設定し、裏込め注入を行った。 ・結果として、地山探査装置が伸びた範囲と裏込め注入率が大きくなった範囲がほぼ一致し、緩み（空洞）範囲を充填できたものと考えられた。また、シールド掘進前後の計測においても、地下鉄函体、地表面に大きな変状は見られなかった。
1-11		~φ5	19.2	GL-1.3	風化礫岩（N値50以上）	道路	有（路面変状）	・風化礫岩層を掘進するため、ローラカッタを装備し、排泥管より小さく破碎してシールド機に取り込む計画とした。掘進時には、幾度か巨礫に遭遇し、ローラカッタで破碎したが、チャンパー内、クラッシャー、排泥系統に礫による閉塞が発生し、逆送や排泥管や機械の解体により閉塞した礫を撤去した。 ・掘進ルート上の道路に路面変状が見られたため、舗装を撤去したところ、舗装下に幅3.3m、長さ3.9m、深さ2.1mの空洞が確認された。ボーリングにより地盤調査したところ、局所的に軟弱層があることが判明した。閉塞による切羽圧の変動により軟弱層部が緩み、変状につながったと考えられる。	・その後、排泥系統からローラカッタの破片が排出されたため、地盤改良を行ってカッタヘッドを補修した。 ・カッタ補修後、礫による閉塞は発生したが、都度閉塞を解除し、問題なく掘進を完了した。
1-12		~φ5	50.2 ~57.1	GL-7.0 ~8.0	粘土混じり砂礫~細砂 ~硬質粘土・砂混り粘土 ~砂礫・粘土混じり砂礫 ~シルト質固結粘土	道路（都道府県道~市道）	記載なし	・初期掘進直後に、巨礫による、チャンパー内、スクリーコンベア内の閉塞が発生した。	・チャンパー内に薬液を注入、止水を行ったうえで排泥管内の巨礫を除去し、次にチャンパー内に高圧水を噴射させ巨礫を除去した。
1-13		~φ5	27.0	GL-3.0	洪積砂礫層（N値50以上）	住宅地	記載なし	・泥水シールドで掘進していた際に、カッターが回転不能となった。当時、掘削断面の約3割を占める砂礫層由来の礫がチャンパー内に堆積して閉塞を引き起こしていたため、閉塞解除のために泥水の正送・逆走を繰り返した。この対策が逆効果となり、チャンパー下半部に大量の礫が締固められてしまい、カッター背面の攪拌翼で攪拌できないほどの硬さになってしまったため、カッターが回転不能となったものと考えられる。	・締固められた礫をほぐすため、排泥管にバルブを増設し、高圧噴射ロッドをチャンパー内まで差し込んで高圧の泥水を噴射したところ、礫がほぐれ、掘進を再開することができた。
1-14		~φ5	河川横断部7.3 最大21.4	GL-1.7	沖積の砂質土、砂礫土であり、N値が20~50程度の概ね硬質な地盤である。河川氾濫地帯であったことから、地質が湾曲している事や所々に腐植土や粘性土の薄層状在が認められた。	田畑、道路（農道、県道）	有（地表面への泥水の噴出）	・掘進開始直後（河川横断）から想定以上の大きさの礫の出現により、排泥管の閉塞が頻繁に発生した。閉塞時の急激な切羽圧の上昇により地表面に泥水が噴出する事象が発生し、周辺地盤を乱す事による地表面沈下等の影響が懸念された。 ・計画路線上で大口径調査ボーリング（φ150）を実施し試料を確認した結果、掘進対象土は玉石混り砂礫層であり当初想定と異なり、礫を多く含有（礫率65.6%）する地層である事が判明した。	・排泥管閉塞対策として、以下の対策を実施した。 1. シールドマシン面盤の改造（インナカッターの配置、面盤に礫制限版（スリット）を追加） 2. 排泥管のインチUP 3. ジョークラッシャーの配備（ロータリークラッシャーとの二段階破碎の実施）
1-15		~φ5	8.0 ~15.7	GL-1.5	沖積砂層（シルト混り砂 N値4~17、シルト質砂 N値3~10）、砂分70%、細粒分30%、透水係数4.53×10 <sup>-6</sup> m/sec	道路、住宅、商業施設等	記載なし	・掘進中に排泥ラインの閉塞により急激に切羽圧力が上昇し、土質調査では確認されていない最大径13cm程度の礫が排出された。閉塞箇所がチャンパーの排泥口と特定されたため、流体の逆送を行ったが閉塞を解除することはできなかった。	・そこで、シールド機内の排泥バルブを閉じ、バルブ後方の排泥管を1インチに絞ったレジャーに突き棒を通した部材に取り換え、排泥バルブを開いて突き棒を押し込み、排泥口に閉塞した礫をチャンパー内に押し込んだ。掘進再開時は、排泥管に礫取り箱を設けて礫を回収することとした。 ・トラブル対応に要した4日間は数cm/日の掘進が続いたが、掘削土量、掘削乾砂量に異常は見られなかった。ただし、切羽圧力の急激な上昇や閉塞解除のための流体逆送等により切羽の地山を乱した可能性があるため裏込め注入管理を入念に行ったが、注入量・注入圧とも通常の掘進と同等であった。また、数値に表れない土砂の取込み過多を懸念し、地表面沈下計測の頻度を増やした。

## 2-1. トラブルとその対策事例【泥水式シールド】

※トラブルごとにシールド径の大きな順番で整理

整理番号	該当トラブル	シールド径 (m)	土被り (m)	地下水位 (m)	地質概要	地表部の土地利用 (道路、住宅地等)	地表部への予期せぬ影響 (有、無、記載なし)	トラブル発生状況	トラブル対応・工夫事例
1-16	①-1切羽圧の管理 ①-2泥水の比重管理 ③排土量の管理 ④-1掘進停止再開 (支障物) ④-2掘進停止再開 (想定外地盤) その他 (騒音、添加材・裏込め材漏出等)	~φ5 φ5~10 φ10~	7.6	GL-3	砂質土	公園	有 (工事用地内の陥没)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・泥水式シールド機の面板が、公園内に構築された到達立坑の山留壁に到達して作業を終え、翌朝に現場確認したところ、山留壁背面のシールド機の直上 (工事用地内) に直径約3m、深さ約0.7m (約1.6m<sup>3</sup>) の陥没が発生していた。</li> <li>・到達部は崩壊性の高い砂質土であるため受け入れ部として、シールド機長+3mの薬液注入による地盤改良が必要であると、発注者と協議したが認められず、鏡切りのための高圧噴射攪拌工のみ実施し、慎重に掘進した。</li> <li>・シールド機が地盤改良体内に入った段階で、推力の上昇や山留壁への影響を抑えるため切羽圧を下げ掘進した。シールド機と地山の隙間 (フリクションカット部) から土砂を取り込み、陥没に至ったものと考えられる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・立坑内から水平に薬液注入を行い、シールド機と地山の隙間を充てんした後に鏡切りを実施した。</li> <li>・立坑内に湛水して、シールド機を所定の位置まで水中到達させ、機内からシールド機周辺への裏込め注入を実施。確実に止水できたことを確認したうえで立坑内の水を揚水した。</li> </ul>
1-17	その他 (到達後の空洞確認)	~φ5	4.6~6.4	GL-0.4~1.8	全線、細砂主体の砂質土層。平均N値12。平均均等係数5	道路 (県道、市道)	有 (路面空洞)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・本工事のシールド到達後に、数km離れた類似地盤の近隣シールド工事 (他社工事) において陥没事故が発生したため、全路線にわたり路面空洞探査を行い、舗装下に2か所の小規模な空洞 (W0.6m×L0.7m×t0.1m、W0.9m×L0.85m×t0.3m) が発見された。シールド通過時の路面の沈下測量結果には空洞の影響は見られなかった。</li> <li>【推定要因】</li> <li>・施工場所は、過去の大地震により液状化現象が発生した場所であるため、空隙はその際に発生した可能性がある。但し、空隙が発生した箇所は、細砂が固結した塊が出現し、排泥管に引っかかり閉塞が頻発した。閉塞により切羽圧が瞬間的に変動することで地山にゆるみが生じ、空洞が発生した可能性もある。</li> <li>・排泥管閉塞時は、直ちに送排泥を停止することで、泥水が地上に噴発することもなく空隙も最小限にとどめることができた。</li> <li>・排泥管閉塞は、通常のシールド工事においても頻繁に発生するが、陥没につながる事例は稀である。本工事は、近隣シールド工事で陥没が発生するような非常にゆるみやすい地山で土被りも浅いため、排泥管閉塞による切羽圧の変動が空洞の発生につながったと考えられる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・切羽の圧力は、主働土圧+0.02MPa~静止土圧+0.02MPaの範囲で管理を行った。切羽圧力は、管理値内となるよう切羽圧力計の値を基に送泥ポンプを自動制御した。</li> <li>・泥水比重は、地山の密度を参考に下限値を1.17とする管理を行い、毎リング掘進開始時と途中の2回計測を行った。管理値を外れた場合は、ただちに泥水調整を行った。自動作泥プラントを設置して常時良好な泥水を作泥、ストックすることで、速やかな泥水調整を可能とした。</li> <li>・排土量は、排泥管に設置した電磁流量計と密度計より算出し、リアルタイムで表示し、過去20リングの平均土量±20%の範囲を管理値とした。管理値逸脱の可能性がある場合、前もって切羽圧を上げるなどの処置を行い、排土量を管理値内に収めた。</li> <li>・掘進停止中は、専用バルブの自動開閉により切羽圧力を管理値内に維持した。また、休工日前は掘進停止中にチャンパー内の掘削土砂の沈降や切羽の崩落が生じないようにチャンパー内を粘性が高い泥水に置き換えた。掘進再開時は、掘進再開前にチャンパー内の泥水を循環して、土砂の沈降や切羽の崩落などによる排土量の急激な上昇がないことを確認した。上記対策により、掘進再開時にカッターが回転不能となるトラブルはなかった。</li> </ul>

## 2-1. トラブルとその対策事例【泥土圧シールド】

※トラブルごとにシールド径の大きな順番で整理

整理番号	該当トラブル	シールド径 (m)	土被り (m)	地下水位 (m)	地質概要	地表部の土地利用 (道路、住宅地等)	地表部への予期せぬ影響 (有、無、記載なし)	トラブル発生状況	トラブル対応・工夫事例
2-1	①-1切羽圧の管理 ④-2掘進停止再開 (想定外地盤)	φ10~	30.0	GL-1.5	洪積層で互層 (砂・砂礫・粘土), N値30を超える硬質地盤	住宅地、幹線道路、地下鉄など	無	①シールドジャッキ総推力の過大 崩壊性の高い砂層を多く含む地層の掘進時に総推力を大きく上げないと前に進まないくらいの症状 (胴締め) になった。 ②カッタートルクの過大 段取替え後の掘進再開時にカッタートルク値が上がった。	①コピカッターや外周充填で摩擦軽減を図るが、改善されないで前に進めるために切羽圧を下げて掘進を行った。⇒地表面への影響はなかった ②チャンバー内に加泥材を添加したが、噴発気味になったため断念し、切羽圧を下げて安定するまでそのまま掘進を行った。⇒地表面への影響はなかった
2-2		~φ5	6.8~11.4	GL-1.0~3.0	沖積砂礫層、N値32~50以上、礫分43~73% 細粒分5~10%、想定最大礫径400mm、透水係数1×10 <sup>-4</sup> ~1×10 <sup>-2</sup> m/sec、地下水流速7.23~14.34m/h	道路、住宅、商業施設等	記載なし	・玉石が混じる砂礫層において、礫の点接触による土圧計の損傷に備えて交換型土圧計を装備したが、過度な集中荷重により固定型・交換型土圧計の双方において損傷が頻発したため、25A鋼管の先端に小型土圧計を取り付け、隔壁にある2インチの注入孔に挿入することで対応した。しかし、注入孔の設置位置は攪拌翼の通過軌跡を考慮していないため、攪拌翼通過時の礫の噛み込みにより衝撃が加わり、小型土圧計の故障が頻発した。	・角膜式圧力計を用いた油封入式土圧計を新たに製作し、隔壁の注入孔に取付けることとした。本土圧計は、32A鋼管 (シリンダ) の先端内部に摺動可能なピストンを設置し、シリンダ内に作動油を封入して後端に設けた隔膜式圧力計にてチャンバー内圧力を検出するものである。 ・隔膜式圧力計の測定レンジは一般のロードセルを用いた土圧計よりも大きく、シリンダに封入した油を介して圧力を計測することにより、加圧時間の短い衝撃圧力に対して破損し難い利点がある。
2-3		~φ5	3.0	GL-2.5	表土、砂質土	道路	有 (泥水の噴出)	・シールド掘進終了後、数分で道路上に泥水が若干噴出。清掃後、対策検討。後日再発進。 ・切羽水圧は記録から適正であったが、裏込圧が停止時に若干高かったため、地中の間隙水と掘削泥水の一部が地上に溢れたものと推測される。	・裏込注入圧を規定注入率の範囲で最小として管理して、その後の噴発はなかった。
2-4		~φ5	8.0	GL-1.5	沖積粘性土層 (N値0~1)	道路 (区道)、民家	有 (区道での作泥材の噴出)	・泥土圧シールドにて掘進中に、シールドの約3m後方の区道の中央継目部から作泥土材が噴出した。路上監視員よりトラブル発生の一報を受け、直ちに掘進を停止し、作業帯を設置して清掃作業を行った。 ・トラブル発生当時、チャンバー内の異物による閉塞を解除するために、チャンバー内圧力よりも50kPa程度高い注入圧でスクリーコンベヤから作泥土材を注入していた。なお、チャンバー内圧力は地表面の沈下を防止するためにやや高めに設定していた。これに加え、閉塞解除のためにカッターの正転・反転等も行っていたため、地盤に緩みが生じて作泥土材が逸走し、地上に噴出したものと考えられる。	・掘進再開に際し、チャンバー内圧力が管理値を逸脱しないよう、上限値に達した際に強制的に掘進を停止するシステムの導入や、作泥土材が噴出する恐れのある区道の弱部の事前補修等の対応を行った。
2-5	③排土量の管理 ④-2掘進停止再開 (想定外地盤)	~φ5	13.5	GL-1.8	掘削断面は、N値6程度の粘性土とN値30~40程度洪積砂層の互層。 シールド直上部は、ハンマーが自沈するN値0~2の緩い沖積粘性土層5m程度堆積、さらに地表面まではN値3~19の緩い~中程度の砂層が7m程度堆積。	道路、下水道・水道・ガス管などが埋設	有 (道路陥没)	・排土制御が困難となったが、判断ミスにより掘進を続けたため道路陥没が発生した。 ・掘進中、φ20cmの玉石や流木 (L=40cm) の出現によりスクリーコンベヤや圧送ポンプの度重なる閉塞解除と大礫が混入したり粘性土が卓越したりと掘削断面の土質が大きく変化していた。 ・そのような状況の中、地上ホッパー排出される土砂は、水分が多く微細砂や粘土分が多くなっていてことを認識していたが、スクリーコンベヤの回転を止めても排土されている状態となり、排土制御を上手くコントロールできない状態で掘進を続けた。 ・一方、電磁流量計で計測された土量のボリュームの大半は水分であり計画値以上の土砂の取り込みはないものと判断して掘進を続けたが、結果的に計画排土量以上の土砂を取り込んだことから地表面が陥没した。(陥没箇所は、当路管理センターにより約40tの砕石投入を実施。)	・陥没箇所は恒久グラウトを実施。 ・追加土質調査の実施や残り区間の空洞調査の実施。 ・シールド掘進管理値の再設定や掘進管理体制を見直した。
2-6		~φ5	6.8~11.4	GL-1.0~3.0	沖積砂礫層、N値32~50以上、礫分43~73%、細粒分5~10%、想定最大礫径400mm、透水係数1×10 <sup>-4</sup> ~1×10 <sup>-2</sup> m/sec、地下水流速7.23~14.35m/h	道路、住宅、商業施設等	無	・排土量計測において取込み過多の傾向が見られた。	・シールド機の天端に装備した地山崩壊探査装置により空洞の有無を確認するとともに、路面下空洞探査車により道路下の空洞を探査し、空洞箇所を充填することにより道路陥没を未然に防いだ。 ・掘削の対象となる砂礫層は細粒分の含有率が低く、透水性が高いため、切羽圧力の不均衡が生じやすい地盤である。このため、地山の緩みや排土量過多を原因とする地盤変状の防止を目的として、従来方式である超音波センサーによる鋼車容量計測に併用してリアルタイム鋼車重量管理システムを採用した。 ・リアルタイム鋼車重量計測とは台車の4点にロードセルを取り付け、鋼車に積み込む掘削土砂の重量を1台毎に計測するものである。 計測データは台車に設置した無線送信機によりシールド運転席に伝送し、排土量と掘進長の関係をディスプレイにリアルタイム表示する。計測装置と無線装置に使用する電源は、台車に搭載したバッテリーにて供給する。 ・超音波センサーによる容量計測では、鋼車に積載された土砂の荷姿や添加材に気泡を採用したことから、計測値のばらつきが大きかったため、重量計測値を正、容量計測値を副とした管理を行った。 ・また、重量計測値から体積換算する際には掘削土砂の比重設定が重要となるため、立坑下にて鋼車積載土量の体積を人為計測し、見掛け比重設定値の更新を行った。

## 2-1. トラブルとその対策事例【泥土圧シールド】

※トラブルごとにシールド径の大きな順番で整理

整理番号	該当トラブル	シールド径 (m)	土被り (m)	地下水位 (m)	地質概要	地表部の土地利用 (道路、住宅地等)	地表部への予期せぬ影響 (有、無、記載なし)	トラブル発生状況	トラブル対応・工夫事例
2-7	③排土量の管理	~φ5 φ5~10 φ10~	2.4 ~9.7	GL-1.4	発進立坑~約300m 区間：下半は泥岩（土丹）（N 値50 以上）、上半は粘性土（N値3）のMixed Face 地盤約300m~到達立坑：砂岩~泥岩	シールド路線は道路直下、到達立坑付近の道路沿線には民家	有（地表面隆起）	・シールド機からズリ鋼車までの排土搬送は、2 箇所の急曲線部の対応とスクリュージェート付近での噴発などによる土砂の取込み防止のため、ベルトコンベア方式に代えて、ノンタックホース方式を採用した。 ・スクリュコンベア（以下、SC）内径はφ300mm であったが、ノンタックホースは後方設備の制約からφ200mm となり、SC 排土口に接続レジュースーを設けてノンタックホースと接続した。このように排土口径を縮小したため、接続レジュースー部分では粘性土が圧縮され、その圧力が切羽の地盤に伝達され、土被りが1D 程度であったこともあり地表面が隆起傾向になった。特に、発進直後は度重なるレジュースー内閉塞が発生し、地表面が最大32mm 隆起した。	・立掘削時の現位置土砂を用いて各種添加材の試験施工を実施した結果、分散剤系の添泥材が最も適当と判断し掘進を開始したが前述のトラブル発生のため、掘削土の流動性の向上とレジュースー部での摩擦抵抗を低減させる目的で増粘剤系の加泥材に変更した。 ・さらに、接続レジュースーに直接加泥材を添加できるルートを増設するとともに、エア配管も追加した。
2-8	④-1掘進停止再開（支障物）	φ10~	9.0	GL-8.0	盛土層、粘性土・砂質土・砂礫の互層	事業用地	無	・土被り1D未満の区間において、障害物（鋼管）に干渉したことで切羽圧力が急激に低下し、シールド機直上の地表面に管理値以内であるが局所的な沈下が生じた。 ・局所的に逸泥しやすい埋戻し地盤が主体であったことから、一時的に加泥材等の逸泥が発生したことが影響したと考えられた。	・地表面変状の進行抑制として、薬液注入工により埋戻し地盤の間隙を充填し、周辺地盤を補強した。あわせて空隙探査を実施した。 ・チャンパー内の土砂性状の塑性流動性、分離抵抗を向上させるために、室内試験を実施して逸泥しにくい高比重、高粘性の加泥材に変更した。 ・シールド掘進に合わせて、シールド機外周に胴体注入を行うことで地盤変状を抑制した。その後、地盤変状なくシールドを通過した。
2-9		φ10~	30.0	GL-5.0	粘性土・砂質土	道路	無	・掘進延長7k m付近/8k m地点の掘進中に異常発生、金属性の障害物に接触し掘進を一時停止（スクリュコンベアからの排土が悪化、切羽土圧の上昇、シールド機内からの異音が発生）	・地上路面変状監視、測量を強化 ・掘進速度を低下させ掘進 ・障害物を取り込むために加泥材注入率を増加 ・地山探査装置により地山崩壊の有無の監視を強化 ・回収物が鋼管の井戸であることが判明したため、支障物接触箇所の区間の裏込め注入を圧力管理で増加させた。 ・地表面に異状なくシールドを通過した ・発注者、隣接工区と支障物の情報を共有
2-10		~φ5	7.0 ~11.0	GL-1.5 ~3.7	N 値12 程度の砂、砂礫混じり粘土からN 値60 以上の砂礫の互層	道路、下水道用地	記載なし	・親子シールドの子機で鉄道高架下部分を通途中、突如カッタートルク上昇したため、掘進停止した。鉄道会社で旧構造物等の確認したところ、旧橋台の基礎杭（H300、L=7.2m、18 本）が残置されていることが判明した。	・基礎杭については高架への影響防止矢板・計測管理を実施したうえで、深礎及び低空全旋回機にて支障となる11 本を切断、除去を実施した。良質土で埋め戻し後、地上観測を実施しながら再掘進した。 ・掘進停止中は土圧下降がないか確認し、下降がみられる場合は可塑性泥しょう材を注入した。再開時は、加泥材の十分な注入と攪拌による塑性流動化を確認の上、掘進開始した。
2-11		~φ5	19.2 ~23.2	GL-1.4 ~2.4	洪積砂礫層、洪積砂質土	道路	無	・発進基地に隣接する建物の地下部分で施工されたグラウンドアンカーが残置されており、シールド掘進中にスクリュコンベアが閉塞し、一時的に掘進不能となった。建物の再調査の結果、アンカー鋼線が連続的に残置されていることが判明した。	・この残置アンカーがシールド線形に干渉する範囲を高圧噴射攪拌工法で改良した後、シールド機でアンカー鋼線を直接切削しながら掘進し、地盤改良防護の状況下で、定期的にチャンパー内を点検し、チャンパー内に取り込まれたアンカー鋼線を人力で回収しながら掘進を行った。 ・また、アンカー支障区間の終端部に中間立坑を設置して、残区間のシールド掘進を確実にを行うため、カッターを点検の上、ビットを新品に交換して再発進させ、シールドを無事完了した。
2-12		~φ5	7.0 ~27.0	-	砂(N 値7~35) 礫(N 値50~250)	道路等	無	・設計路線に対して蛇行量など管理基準値内で掘削を進めていた。夜間の掘進施工中に、カッタートルクが突発的に上昇しはじめ、掘進速度が毎分30mmから5mmほどまで低下。シールドに異常が発生したと判断し、掘削作業停止。 ・昼間に再度カッターを回転させて掘削を試みるも状況の改善が見られないことから施工を中止し、埋設管理図を確認。直近に地下構造物がある位置で止まっている事が確認できたため、構造物所有者へ事情を説明し確認をとった。	・その後、構造物の現状把握のため地表面より試掘作業を行ったところ、受領図と構造物の位置がずれており、構造物施工時の残置鋼矢板へシールドが接触している事が判明した。 ・原因判明後は、地表面の影響監視（震動計、沈下測量）と構造物の監視（内部クラック調査）を行いながら低速で鋼矢板を直接切削した。直接切削での施工による地表面、構造物への影響は見られなかった。
2-13		~φ5	5.0 ~13.0	-	粘土・シルト(N 値3~10)	道路等	記載なし	・シールド掘進中、カッター圧異常、大きなローリング発生により掘進停止。少しシールドジャッキを締めバックリングを行い、再度掘進を行うが、同じ位置でカッター圧異常により掘進が停止するため、支障物に接触したと判断し掘進を中断した。 ・掘進停止場所は、二級河川の河川区域内であった。土被りは約13m である。掘進停止後、河川内の残置物について調査した結果、河川を渡る橋の架け替え工事の際に残置した鋼矢板であることが判明した。また、残置されているものは、土留め用の鋼矢板が3列、旧橋台の基礎杭が2 本あり、そのままの掘進は不可能となった。	・様々な検討を行った結果、工期に限られていること、河川内で中間立坑など地上からのアプローチが困難であったこと、等を総合的に判断し、停止したシールド機および掘進した430m のトンネルを残置し、発進立坑から新たなシールド機で別トンネルを築造する方法を選定した。 ・シールドの発進にあたり、発進立坑から約10m 分のセグメントが支障となるため、開削工法で撤去し残りは流動化処理土で中詰めを行った。新しい線形は、発進部は既設のトンネルの下部に構築し、支障物と接触した場所については、急曲線のS 字曲線にて平面的に回避した。

## 2-1. トラブルとその対策事例【泥土圧シールド】

※トラブルごとにシールド径の大きな順番で整理

整理番号	該当トラブル	シールド径 (m)	土被り (m)	地下水位 (m)	地質概要	地表部の土地利用 (道路、住宅地等)	地表部への予期せぬ影響 (有、無、記載なし)	トラブル発生状況	トラブル対応・工夫事例
2-14	④-2掘進停止再開 (想定外地盤) その他 (漏気)	φ5~10 φ5~10 φ10~	9.3 ~14.4	GL-4.8	シールド断面は概ねN値50~300を示すDH級の風化花崗岩が分布し、一部区間で掘削断面下半にCL級風化花崗岩を想定	河川	有 (河川での漏気と小陥没)	・当初計画では、風化花崗岩を硬質な土砂相当と評価していた。そのため、シールド掘進は、強化型先行ビットによる切削を主体とし、路線内でのビット交換は不要と判断していた。しかし、風化花崗岩シールド発進後約60m掘進後、カッタートルクの増大および掘進速度の低下に陥った。これにより、ビットの早期摩耗および面板、チャンバーの閉塞が推定された。 ・また、当初計画では、添加材として気泡材を選定していたが、風化花崗岩の方状節理 (割れ目) を通じて、河床への漏気と小陥没が観察されたため、添加材を見直した。 ・シュミットロックハンマーによる原位置地山の調査結果では、事前調査を上回圧縮強度 (平均16MPa) を確認。風化岩においては、ボールリングによるコアリングでは強度低下が生じ、事前調査時点で正確なデータが得られなかったと推察される。	■トラブル対応策 ・計画的に2ヵ所でのビット交換を行う計画へ変更 ・強化先行ビットの増設とビットの高低差配置によるビットの長寿命化 ・面板の改造 (開口率のアップ34%→38%) ・カッター中心付近への攪拌翼の追加 ・高分子系とベントナイトを併用した添加材へ変更 ■対応後の状況 ・結果としてカッタートルクの増大傾向は解消されなかったが、添加材の変更により河床への漏気や小陥没は抑制できた。また、ビット交換計画および長寿命化により変更計画どおり、シールド掘進を完了した。
2-15	④-2掘進停止再開 (想定外地盤)	~φ5	6.8 ~11.4	GL-1.0 ~3.0	沖積砂礫層、N値32~50以上、礫分43~73%、細粒分5~10%、想定最大礫径400mm、透水係数1×10 <sup>-4</sup> ~1×10 <sup>-2</sup> m/sec、地下水流速7.23~14.35m/h	道路、住宅、商業施設等	記載なし	・高分子系の添加材で掘進を開始したが、排土性状が液状となり、掘削土砂の噴発、推力上昇、カッタートルク上昇、掘進速度低下が生じたため、鉱物系添加材+ケイ酸と気泡を併用した添加材に変更し、良好な排土性状を得ることができた。しかし、掘進の途中でスクリーコンベヤの閉塞やカッタートルクの上昇傾向が見られたことから、チャンパー内に鉱物系添加材や地山細粒分が固着している可能性が考えられた。	・そこで、砂礫層におけるチャンパー内固着は考え難いものの、チャンパー内を付着防止効果のある高分子系添加材で洗浄することとした。掘進停止時に高分子系添加材の分散剤と浸透剤をチャンパー内に注入し、スクリーコンベヤから排土することで、チャンパー内掘削土砂を高分子系添加材に置換した。 ・チャンパー内の置換・洗浄後は閉塞、カッタートルク、推力等が回復した。 また、鉱物系添加材+ケイ酸が高価なため気泡単体での掘進を試みたが、掘進再開時にカッター回転不能となった。気泡のみでの掘進は可能であるが、掘進を停止するとチャンパー内の気泡は消泡し、礫の噛み合いでカッター攪拌抵抗が上昇する。このため、鉱物系添加材+ケイ酸と気泡を必ず併用するようにした。
2-16		~φ5	18.3 ~35.5	GL-2.0 ~3.0	礫地盤主体だが、洪積粘性土、洪積砂礫層、沖積砂質土層と多種に渡る。メタンガスの含有。	道路 (鉄道、地下鉄、高架橋等の重要構造物の近接施工)	記載なし	①礫の排管閉塞 ・メタンガス対策のため、土砂圧送が指定工法だったが、φ100~150の礫が多数存在、率率が70%以上で掘進停止の繰り返しが発生。 ②カッター回転不能、スキンプレート破損 ・地下鉄の近接影響区間を抜けた段階で推力が装備推力の90%以上やカッター回転がたびたび停止した。マシンの拘束解除のため、中折れジャッキ押し引きや首振り拘束解除を実施しながら掘進中にマシンのスキンプレート破損で出水した。	①鋼車方式に変更して掘進再開したがテールブラシ損傷して出水し、対策として凍結工法によるテールブラシ交換を実施。 ②土砂の取り込みは殆どなく、地盤改良にて止水、スキンプレート、マシン全体補強を実施して再開中。
2-17		~φ5	14.0	GL-1.5	玉石混じり砂礫層	道路	記載なし	・切羽に支障物 (巨石) が出現したことに伴うカッタートルク、推力上昇による掘進不能	・路上からの探査ボーリングによる支障物確認 ・止水対策として路上から地盤改良として薬液注入を施工 ・シールド機内から切羽に人が入り、人力にて支障物 (巨石) を撤去 ・薬液注入による推力上昇の対策としてRCセグメントからSTセグメントに変更
2-18		~φ5	8.1 21.8	GL-1.4 ~1.9	粘性土層 (N値0~5) を主体とし、到達手前で砂礫層 (N値30~50) やローム層 (N値7~9) が出現	シールド路線は道路直下、道路沿線には民家やビル	記載なし	・メタンガス対策の一環としてシールド掘削土の排土方式に土砂圧送方式が設計されていた。掘削土砂の性状は、土質調査結果より75μm以下のシルト分・粘土分 (細粒分) が最小40%含有で、加泥材は1,595m全線で添加不要となっていた。しかし、実施では、掘進延長約1100m以降、掘削土砂中の細粒分が急激に減少して圧送管の閉塞が度々発生し、土砂圧送が困難となった。	・当初、ベントナイト溶液主体の加泥材を使用し、掘削土砂に対して40%の注入率で改良を実施したが、土砂粒子と加泥材の結合力が弱く分離し、再び圧送管の閉塞を引き起こした。これに対し、分離 (脱水) を生じにくくするため、土粒子間の水分の保水性を高める高分子系の加泥材に変更したところ、到達まで閉塞することなく、掘進することができた。
2-19	その他 (添加材・裏込め材の地表への流出)	φ10~	1D~3D程度	GL-2.0	硬質粘性土	道路	有 (添加材、裏込め材の漏出)	・掘進中に気泡材や裏込め材が地表に漏出。 ・漏出した箇所には、シールドから地表につながる空隙があった模様 (地質調査ボーリング跡や水位観測孔跡など)。	・当該箇所での漏出状況を監視しながら、速やかにシールドを通過。 ・地質調査ボーリング跡等を調査し、当該箇所があった場合は、シールド通過時は監視体制を強化。
2-20		φ5~10	2D程度	GL-2.0	砂岩	道路 (中央分離帯)	有 (添加材の漏出)	・掘進中に気泡材が地表に漏出。 ・漏出した箇所には、シールドから地表につながる水位観測孔があり、地質調査会社が閉塞するのを忘れていた。	・掘削添加材を気泡溶液 (発泡させない) に変更して当該箇所を通過。 ・当該箇所付近の裏込め注入を実施する前に掘進を停止。 ・観測孔をモルタルで充填してから掘進再開。 ・掘進再開後は、掘削添加材を気泡 (発泡させる) に戻す。
2-21		~φ5	2D以上	GL-3.0	礫層	農地	有 (添加材の漏出)	・掘進中に気泡材が地表に漏出。 ・地中に空隙があったため漏出したと推測。	・掘削添加材を気泡から鉱物系添加材に変更
2-22	その他 (騒音・振動等)	~φ5	11.0	GL-3.0	軟弱な粘性土	道路、住宅地等	有 (騒音)	・夜間作業の掘進時、寝ていてうるさいとの苦情があった。	・通常掘進スピードよりも2/3~1/2程度のスピードに落として対応。 ・スピードを落とした結果、苦情もおさまり無事に掘進完了できた。
2-23	その他 (到達後の空洞確認)	~φ5	10.0	GL-8.0	表土、砂質土、粘性土、風化花崗岩	道路 (歩道)	有 (道路陥没)	・シールド掘進完了半年後に、路線上部の歩道の一部で30cm程度の陥没穴があり、1m <sup>3</sup> 程度の空洞であることが分かった。 ・シールド掘進データを再度検証しても、取込み、逸泥の挙動を示すデータはなかったが、その部分は砂質地山から弱風化花崗岩に変わる場所で掘進に時間を要した場所となっていた。そのことから、多少の地山の取込みがあったのと、ミニシールド工法であったことから裏込め注入のタイミングが遅く、地山の緩みに繋がったのではないかと想定された。	・地表面補修済み



## 2－2．工夫事例

	①	②	③
整理 記号	切羽圧の管理として、どのような工夫を行っていますか。 泥水式の場合、泥水の比重管理にどのような工夫を行っていますか。 それぞれについて、特にトラブルが発生した際にはどのような対処を行っていますか。	地盤に適した添加材をどのように選定していますか。 発生土の性状が想定と違った場合などに、工夫を行った例はありませんか。	排土量の管理として、どのような工夫を行っていますか。 特にトラブルが発生した際にはどのような対処を行っていますか。
A	作泥材の添加量の調整で粘性度を調節し、土圧管理している。	①と同様	・排土の際、すべて重量を測り想定比重から土量を算出して管理をおこなっている。
B	<p>■泥土圧シールドにおいて</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>掘進停止時の平衡土圧（計測値）を基準とし、予備圧（5～20kPa程度）を付加して管理する。</li> <li>土被りや地下水位、掘削土量、裏込め注入量、地表面変位等の状況に応じて、予備圧を適宜見直す。</li> <li>バルクヘッドの上下左右に複数の土圧計を装備し、土圧分布の均質性や直線性からチャンパー内の塑性流動性を判断する。必要に応じて添加材の注入率や配合、注入箇所を変更する。</li> <li>攪拌固定翼に添加材注入孔を装備し、塑性流動性の促進および掘削土砂の付着防止を図る。</li> <li>大口径シールドでは中央部にアジテーターを装備し、塑性流動性の促進および掘削土砂の閉塞防止を図る。</li> </ul> <p>【事例1-3】</p> <p>■泥水シールドにおいて</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>掘進停止時の平衡水圧（計測値）を基準とし、予備圧（5～20kPa程度）を付加して管理する。</li> <li>土被りや地下水位、送・排泥水の偏差流量、掘削土量、裏込め注入量、地表面変位等の状況に応じて、予備圧を適宜見直す。</li> <li>泥水調整槽を2式設備して、切羽の状況に応じて品質の異なる送泥水に切り替える。</li> <li>長距離施工では切羽付近においても送泥水を採取して品質確認を行い、管理に反映する。</li> <li>カッター面板に添加材注入孔を、後統台車に高分子系添加材注入設備を装備し、地質変化等に伴う急激な逸泥現象に対して添加材を切羽に直接注入して、迅速に対応する。</li> </ul>	<p>■泥土圧シールドにおいて</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>同種地盤における施工実績を調査、確認する。</li> <li>ボーリングによる採取土や立坑掘削土を用いて、添加材の配合試験練りを実施する。また、粒度や含水率の異なる試料を作成して、材料や配合、注入率等を変化させた試験を行い、土質別に最適な添加材および配合を選定する。</li> <li>特に大断面で大深度の施工において気泡材を用いる場合は、圧力変動や時間経過に伴う破泡状況を確認し、抵抗性の高い材料や配合、発泡倍率、注入率を選定する。</li> <li>現場施工においては、土質の変化や発生土の性状が想定と異なる場合に応じて、機能の異なる複数種類の高分子系添加材を使い分ける。なお、金属イオンなど土壌中に添加材の性能劣化因子が含まれる場合があり、因子別の相性に注意する。</li> </ul>	<p>■泥土圧シールドにおいて</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>排土の重量および容積を複数手法により計測し、相関や傾向を分析して補完することにより排土量の測定精度を向上する。</li> <li>スクリュウコンベヤーからの排出土またはチャンパーからの採取土を用いて土質試験を行い、事前の土質調査結果に基づく理論掘削土量の想定を補正して、排土率の管理精度を向上する。</li> <li>直近の掘進実績（15～20リング程度）における排土量との対比をリアルタイムで実施し、異状を早期に検知する。</li> <li>切羽において取込み過多が疑われる場合はその位置を特定し、テール部に到達した段階で重点的に裏込め注入を実施する。地山崩壊探査や天端土圧計により崩壊が想定され、テール部に到達するまでに対応が必要な場合は、シールド機天端付近の注入孔から高粘性可塑状充填材等を注入する。ただし、崩壊が著しい場合や連続する場合は直ちに掘進を中断し、地上からの薬液注入等を検討、実施する。</li> </ul> <p>■泥水シールドにおいて</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>掘削量（送排泥流量の差分）と乾砂量（送排泥乾砂量の差分）の両者を指標とし、排土量の適否を総合的に評価する。</li> <li>流量および密度から算定される計測乾砂量と分級処理後の実乾砂量を対比し、適宜、算定式を補正することで計測乾砂量の精度を向上する。</li> <li>3次元CIMを用いて切羽面の土質構成をリアルタイムで設定し、理論乾砂量の計算区間を細分化する。また、1リングにおける計測乾砂量のうち、掘進開始時の不安定なデータを除いた平均値を以降の理論乾砂量に反映する方法を併用する。これらにより、理論乾砂量の想定精度を向上する。</li> <li>直近の掘進実績（15～20リング程度）における掘削量、乾砂量との対比をリアルタイムで実施し、異状を早期に検知する。</li> <li>機内および後方のバイパス運転時を除き、逆送運転時を含めて全ての排泥水は掘削土量として積算する。</li> <li>切羽において取込み過多が疑われる場合の対応は、泥土圧シールドの場合と同様である。</li> </ul>
C	<p>【事例2-19、2-20、2-21】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>チャンパー内上部の土圧計の値に着目し、管理土圧を逸脱しないように管理する。</li> <li>掘進初期段階や近接施工前に、地中変位計等を設置してトライアル施工を行い管理土圧の妥当性を検証し、切羽圧管理に反映する。</li> <li>なお、掘進中は直上の地表面変位の計測を行い、変動がある場合には切羽圧力の設定値にフィードバックする。</li> </ul> <p>・掘進土質に応じて、泥水性状（比重、粘性、造壁性等）を管理する。</p> <p>・チャンパー内下部の土圧計の値が上昇傾向にある時は、チャンパー内が閉塞する可能性があるため、添加材量を増やす等の対応をする。</p> <p>・掘進土質が変わると泥水性状によっては切羽の安定が損なわれる可能性があるため、掘進土質の変化を、カッタートルク等の掘進データや掘削土量、逸泥量等の計測データの経時変化を観察して察知し、適切な泥水性状に変更する。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>掘進地盤と同様の模擬土等を使って試験練りを実施し選定する。</li> <li>なお、掘進中は排出土の塑性流動状態の監視を行い、状態が悪い場合には添加材の配合、注入率等にフィードバックする。</li> </ul> <p>・まずは、添加材の量を変更する。</p> <p>・上記でも対応できなかった場合は、掘削土を採取して試験練りを実施し、適切な添加材や添加量を再設定する。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>泥土圧シールドで、連続ベルトコンで搬出する場合は、排土重量をベルトスケールで、排土体積をレーザースキャンで計測し、統計的手法により管理する。ずり鋼車や土砂圧送で搬出する場合も荷重計や電磁流量計等で排土量を計測し、統計的手法により管理する。</li> <li>泥水式シールドの場合は、送泥管と排泥管に設置した流量計や密度計の計測データから偏差流量と乾砂量を求め、統計的手法により管理する。</li> </ul> <p>・泥土圧シールドでは、排土量の経時変化を観察し排土量に変化があった場合は、「取り込みすぎによるものか」、「土質の変化や添加材の量によるものか」を確認する。「取り込みすぎによるもの」と判断した場合は、切羽圧を上げる、裏込め注入量を多くする、地表面の状況を注視する、等の対応をする。</p> <p>・泥水式シールドでは、排土量の経時変化を観察し排土量に変化があった場合は「取り込みすぎによるものか」、「土質の変化等によるものか」を確認する。「取り込みすぎによるもの」と判断した場合は、泥水圧を上げる、泥水性状を見直す、裏込め注入量を多くする、地表面の状況を注視する、等の対応をする。</p>
D	<ul style="list-style-type: none"> <li>土被り、土質、N値を考慮して主働土圧、静止土圧に予備圧を加えた範囲で管理範囲を定めており、管理限界値に達すると警告が出るように、掘進管理システムに設定して管理している。地表面の沈下量計測や場合によっては、地中の変位等を把握するための計測によるトライアル施工を行い、管理値の妥当性を確認する。また、比較的、断面の大きいシールドにおいては、切羽の圧力計（土圧計、水圧計）を、標準より増やすことで、管理の充実を図っている（上下左右+<math>\alpha</math>）。</li> </ul> <p>・泥水圧を確実に作用させるため、泥水管理として粘性、比重、砂分率、泥膜厚さと濾水量、pHを2回/日を行う。複雑に土質が変化する時には、毎リング品質管理試験を行い、泥水の品質調整を行って切羽を保持する。比重管理は、送排泥管の比重を自動計測して、結果を掘進管理システムに表示して管理を行う。</p> <p>・トラブル発生時において、土圧式シールド（泥土圧）では切羽に可塑状充填材を充填して、切羽圧の見直しや地表面の沈下計測を行いながら再掘進を行い、泥水圧では、前述の泥水品質の見直しを行う。</p> <p>また、掘進管理のデータについて、掘進中のストロークごとの管理に加えて、掘進停止時においても時系列で内容を確認するようにしている。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>土圧式シールド（泥土圧）の切羽の添加材は、土質試験の粒度構成により、種類や注入率、注入量を選定している。所定の塑性流動性が得られない場合は、高分子材（粘性を調整）等の検討を行い、排土にて試験を行うことで注入効果を確認する。</li> <li>泥水式シールドにおける逸泥の影響抑制を目的に、事前に調査した掘削部の透水係数より、逸泥防止材の添加を検討する。</li> <li>カッタートルクの著しい変化があった場合、添加材の配合を見直す。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>土圧式シールド（泥土圧）においては、容積と重量計測の併用で排土量を管理している。</li> <li>泥水式シールドにおいては、送泥量と排泥量の差と、乾砂量の変化を管理している。具体的には、配管密度計（<math>\gamma</math>線）と配管流量計を用いて、乾砂量をリアルタイムに計算し、想定される乾砂量および統計的（直近の掘進データ）に計算した乾砂量との比較から、排土量を管理する。両者ともに掘進管理システムで統計処理して、管理値を設定して管理する。</li> </ul> <p>【事例1-6】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>トラブル（掘削土量過多）発生時には、地表面沈下計測の頻度を増加するとともに、掘削土量に応じた裏込め注入を実施する。シールド機通過後に沈下が収束しない場合には、空洞範囲の調査を実施し、当該箇所坑内からの追加注入や地上からの空洞充填注入を行う。また、掘進管理のデータについて、掘進中のストロークごとの管理に加えて、掘進停止時においても時系列で内容を確認するようにしている。</li> </ul>

## 2-2. 工夫事例

	①	②	③																																																								
整理 記号	切羽圧の管理として、どのような工夫を行っていますか。 泥水式の場合、泥水の比重管理にどのような工夫を行っていますか。 それぞれについて、特にトラブルが発生した際にはどのような対処を行っていますか。	地盤に適した添加材をどのように選定していますか。 発生土の性状が想定と違った場合などに、工夫を行った例はありませんか。	排土量の管理として、どのような工夫を行っていますか。 特にトラブルが発生した際にはどのような対処を行っていますか。																																																								
E	・トラブル事例に記載 【トラブル事例】排土制御が困難となったが、判断ミスにより掘進を続けたため道路陥没が発生した。 【発生状況】掘進中、φ20cmの玉石や流木（L=40cm）の出現によりスクリュコンベアや圧送ポンプの度重なる閉塞解除と大襟が混入したり粘性土が卓越したりと掘削断面の土質が大きく変化していた。 そのよう状況の中、地上ホッパー排出される土砂は、水分が多く微細砂や粘土分が多くなっていてことを認識していたが、スクリュコンベアの回転を止めても排土されている状態となり、排土制御を上手くコントロールできない状態で掘進を続けた。 一方、電磁流量計で計測された土量のボリュームの大半は水分であり計画値以上の土砂の取り込みはないものと判断して掘進を続けたが、結果的に計画排土量以上の土砂を取り込んだことから地表面が陥没した。 （陥没箇所は、当路管理センターにより約40tの砕石投入を実施。）	・トラブル事例に記載 【トラブル事例】 発達立坑掘削土等を用いた配合試験を行い、添加材の配合と添加量を決定しています。 【発生状況】 本工事では、メタンガス対策の一環としてシールド掘削土の排土方式に土砂圧送方式が設計されていた。掘削土砂の性状は、土質調査結果より75μm以下のシルト分・粘土分（細粒分）が最小40%含有で、加泥材は1,595m全線で添加不要となっていた。しかし、実施工では、掘進延長約1100m以降、掘削土砂中の細粒分が急激に減少して圧送管の閉塞が度々発生し、土砂圧送が困難となった。 （トラブルに対する工夫） 当初、ベントナイト溶液主体の加泥材を使用し、掘削土砂に対して40%の注入率で改良を実施したが、土砂粒子と加泥材の結合力が弱く分離し、再び圧送管の閉塞を引き起こした。 これに対し、分離（脱水）を生じにくくするため、土粒子間の水分の保水性を高める高分子系の加泥材に変更したところ、到達まで閉塞することなく、掘進することができた。	・トラブル事例に記載 【トラブル発生状況】 シールド機からズリ鋼車までの排土搬送は、2箇所急曲線部の対応とスクリュゲート付近での噴発などによる土砂の取込み防止のため、ベルトコンベア方式に代えて、ノンタックホース方式を採用した。 スクリュコンベア（以下、SC）内径はφ300mmであったが、ノンタックホースは後方設備の制約からφ200mmとなり、SC排土口に接続レジャーサーを設けてノンタックホースと接続した。このように排土口径を縮小したため、接続レジャーサー部分では粘性土が圧縮され、その圧力が切羽の地盤に伝達され、土被りが1D程度であったこともあり地表面が隆起傾向になった。特に、発達直後は度重なるレジャーサー内閉塞が発生し、地表面が最大32mm隆起した。 （トラブルに対する工夫） 立掘削時の現位置土砂を用いて各種添加材の試験施工を実施した結果、分散剤系の添泥材が最も適当と判断し掘進を開始したが前述のトラブル発生のため、掘削土の流動性の向上とレジャーサー部での摩擦抵抗を低減させる目的で増粘剤系の加泥材に変更した。さらに、接続レジャーサーに直接加泥材を添加できるルートを増設するとともに、エア配管も追加した。																																																								
F	・土被りおよび土質を考慮し、土圧は主働土圧程度、水圧は地下水位を目安として管理を開始する。施工開始後は、掘進停止中の土圧計（水圧計）の計測値も参考に、地表面の変位計測結果等も踏まえ、調整する。  ・泥水の比重管理は、土質調査による試験結果を用いる。適用する試料は想定される地層構成から選択し、実際の掘削土砂を見て必要に応じて他の試料も参考に調整する。 ・土圧計（水圧計）は複数設置し、計測器に不具合がないか確認するとともに、チャンバ内が均一な状態にあるか等を確認する。	・自社の使用実績および材料製造元の使用実績を基本に設定する。 ・自社実績あるいは材料製造元の提案等に基づき、添加材を変更して試行する。	・泥土圧シールドの場合では、立坑でのズリ函の荷揚げに合わせて実施する計量（重量）管理となる。 ・泥水式シールドの場合、送・排泥の流路に設置した流量計・密度計による土量（容量）計算での管理となる。 土量計算に用いる泥水の比重や含水比は、土質調査による試験結果を用いる。適用する試料は想定される地層構成から選択し、実際の掘削土砂を見て必要に応じて他の試料も参考に調整する。																																																								
G	【事例1-2】 ■切羽圧の管理の工夫について ・泥水式、泥土圧を問わず、初期掘進時のトライアル施工による切羽圧の管理値を設定・見直しを実施し、泥水比重および粘性や加泥材の選定に加え、掘進中もチャンバー内の塑性流動化を重視し、見直している。また、切羽の見える化として、土圧計の数を増やしてチャンバー内の可視化をする工夫を実施している。 ■泥水比重の管理の工夫について ・土質に合わせて比重調整を実施している。特に砂分量が泥水比重に関係するので特に重視して管理する。 ■トラブル発生時の対処 ・泥水式の場合のトラブルは逸泥と噴発であると考えている。逸泥対策として切羽泥水圧が保持できない状態かつ掘削土量が理論値よりも小さい状態を解消するために、特に泥膜形成を優先に比重・粘性の見直しを実施する。それでも解消できない場合は、高粘性の充填材（ベントナイト+急硬剤）を使用して逸泥を防止する。この材料は噴発対策にも有効。	■地盤に適した添加材（加泥材）の選定について ・事前にシールド路線の掘削対象土質を取得し、加泥材の種類、量を変化させて室内試験を実施する。さらに初期掘進時に掘削土の塑性流動性をスランプ試験等で確認する。 ■発生土性状が想定と違った場合の工夫事例 ・地下30mの高水圧の礫地盤で噴発が多発して切羽圧の管理ができない状態のシールド工事では、掘削土砂の礫径、礫率、細粒分含有量が日々変化するので、それに対応して添加材の種類・量を変更して対処した（下記文献参照）。 第63回「シールド・トンネル工法施工技術講習会」2019年4月 日本プロジェクトリサーチ 厳しい施工条件下における立坑ケーソン工と泥土圧シールドの計画と施工 －高水圧下（0.28MPa）巨礫混じり硬質砂礫層の小断面長距離掘進－	【事例1-2】 ■排土量管理の工夫 ・泥水式で特に掘進が厳しい条件下の場合は、偏差流量（容積）の管理だけでは取り込み過多の把握が困難になる場合がある。土砂の重量を直接ベルトコンベアの重量計で計測して二重チェックを実施した。 ・泥土圧の場合も、容積と重量の二重での管理を標準としている。 ■トラブル発生時の対処について ・掘削土量の取り込み過ぎによるトラブルは、地表面沈下および地盤内の緩み空洞化を引き起こし最終的には陥没に至る。排土量管理では、特に1リングの掘進土量にのみ注目せずに10リング以上の標準偏差を用いて管理する。																																																								
H	・切羽圧の管理は、近傍のボーリングデータをもとに切羽面における地層構成や土質性状により土圧、水圧および変動圧を考慮して定めている。切羽土質による切羽圧の設定基準を表-1に示す。  <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <caption>表-1 計画切羽圧設定基準</caption> <thead> <tr> <th>土質(地層)</th> <th>計画土圧の考え方</th> <th>変動圧の設定値</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>軟弱粘性土(沖積層)</td> <td>上限値=ズリ+水圧+変動圧 (または突進土圧) 下限値=静止土圧+水圧+変動圧</td> <td>20~30kN/m<sup>2</sup></td> </tr> <tr> <td>硬い砂質土~砂礫(沖積層)</td> <td>上限値=静止土圧+水圧+変動圧 下限値=主働土圧+水圧+変動圧</td> <td>20~30kN/m<sup>2</sup></td> </tr> <tr> <td>中位~固結粘性土(洪積層)</td> <td>上限値=静止土圧+水圧+変動圧 下限値=主働土圧+水圧+変動圧</td> <td>20~30kN/m<sup>2</sup></td> </tr> <tr> <td>中位~締まった砂質土(洪積層)</td> <td>上限値=静止土圧+水圧+変動圧 下限値=主働土圧+水圧+変動圧 (または緩み土圧による)</td> <td>20~30kN/m<sup>2</sup></td> </tr> <tr> <td>注 記</td> <td colspan="2">切羽の安定に対して注意が必要となる地盤の目安は、 ●細粒分(シルト+粘土分)含有量が10%以下 ●透水係数が k=10<sup>-7</sup>~10<sup>-6</sup>cm/s以上 ●均等係数が G<sub>s</sub>&lt;10(粒度分布が悪い)</td> </tr> </tbody> </table> 【事例1-5】 ・泥水の性状（比重、粘性等）は、掘削対象地盤により切羽の安定、流体輸送、土砂分離等を勘案して設定する。切羽土質による泥水性状基準を表-2に示す。掘進中は、切羽圧、泥水比重を常時計測し、範囲から逸脱のないように管理する。また、地表面地盤を計測して、沈下・隆起傾向を把握し、状況に応じて調整を行う。  <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <caption>表-2 土質別泥水性状基準</caption> <thead> <tr> <th>地層</th> <th>土質</th> <th>比重</th> <th>ファンネル粘度</th> <th>砂分率</th> <th>濾過水量</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">沖積層</td> <td>砂・シルト</td> <td>1.15~1.20</td> <td>25秒</td> <td>—</td> <td>—</td> </tr> <tr> <td>粘土</td> <td>1.10</td> <td>—</td> <td>—</td> <td>—</td> </tr> <tr> <td rowspan="4">洪積層</td> <td>礫</td> <td>1.25~1.35</td> <td>35~40秒</td> <td>10~15%</td> <td>20~30cc</td> </tr> <tr> <td>砂</td> <td>1.20~1.25</td> <td>25~30秒</td> <td>—</td> <td>—</td> </tr> <tr> <td>シルト</td> <td>1.10~1.20</td> <td>22~25秒</td> <td>—</td> <td>—</td> </tr> <tr> <td>粘土</td> <td>1.05~1.10</td> <td>—</td> <td>—</td> <td>—</td> </tr> </tbody> </table>	土質(地層)	計画土圧の考え方	変動圧の設定値	軟弱粘性土(沖積層)	上限値=ズリ+水圧+変動圧 (または突進土圧) 下限値=静止土圧+水圧+変動圧	20~30kN/m <sup>2</sup>	硬い砂質土~砂礫(沖積層)	上限値=静止土圧+水圧+変動圧 下限値=主働土圧+水圧+変動圧	20~30kN/m <sup>2</sup>	中位~固結粘性土(洪積層)	上限値=静止土圧+水圧+変動圧 下限値=主働土圧+水圧+変動圧	20~30kN/m <sup>2</sup>	中位~締まった砂質土(洪積層)	上限値=静止土圧+水圧+変動圧 下限値=主働土圧+水圧+変動圧 (または緩み土圧による)	20~30kN/m <sup>2</sup>	注 記	切羽の安定に対して注意が必要となる地盤の目安は、 ●細粒分(シルト+粘土分)含有量が10%以下 ●透水係数が k=10 <sup>-7</sup> ~10 <sup>-6</sup> cm/s以上 ●均等係数が G <sub>s</sub> <10(粒度分布が悪い)		地層	土質	比重	ファンネル粘度	砂分率	濾過水量	沖積層	砂・シルト	1.15~1.20	25秒	—	—	粘土	1.10	—	—	—	洪積層	礫	1.25~1.35	35~40秒	10~15%	20~30cc	砂	1.20~1.25	25~30秒	—	—	シルト	1.10~1.20	22~25秒	—	—	粘土	1.05~1.10	—	—	—	・添加材は掘削土を塑性流動性を有する泥土に変換するために必要な材料であり、地山の土質および掘削土の搬出方法(ズリ鋼車/ポンプ圧送)に適したものを選定している。 ・一般に、切羽の土質が図-1の直線の下方領域に当たる場合に添加材を使用することとしている。 ・添加材として必要な性質は、 (1)掘削土と混合しやすい (2)混合された土砂は流動性と不透水性を発揮する (3)材料分離をおこさない (4)無公害である 等であり、一般に用いられている材料はだまかに分類すると「鉱物系」、「界面活性剤系」、「高吸水水性樹脂系」、「水溶性高分子系」の4種類あり、その中から施工条件に適合したものを選定している。 ・添加材の配合は、現地の土質試料に使用する添加材を加えて試験練りを行って決定する。  ・掘削土の性状は、土質および添加材の性状や坑内土砂搬送方式により、排土の最適性状や許容範囲を適時定めて管理する。性状把握は、スランプフロー、触手および目視により行い、排土性状が大きく異なってくる前に添加材の種類の変更や注入率の修正により対応する。	■泥水式シールドの排土量管理 ・排土量は、流体データ（密度、流量）および掘削地盤の土粒子真比重、間隙比により常時演算する(図2参照)。但し、計測誤差や土質構成の変化によりばらつきを示すため、過去のデータを統計処理して管理幅を設定し、掘進ストロークに対して土量が範囲内にあることを確認する。 ■泥土圧シールドの排土量の管理 ・排土量は排土量体積Vおよび重量Wを排土（坑内搬送）方式に応じて計測し、理論土量（体積、重量）と比較して管理を行う(図-3参照)。 ・崩壊性地盤掘削時や大断面シールドでは、切羽での取込過多による地山崩壊を探索する「地山崩壊探索装置」をシールド機上部に設けて、地山崩壊の有無を検知する工夫を行う。 ■泥水式シールドでのトラブルと対応 (1)閉塞（チャンバー、排泥管）：閉塞解除作業（流体逆送、配管バラン）、クラッシャー・P0ポンプ等流体設備の増設、泥水性状の調整 (2)（切羽地盤への）逸泥、逸水：泥水性状の調整、切羽圧の調整 (3)（地表への）泥水の噴発：泥水性状の調整、切羽圧の調整（低減） (4)取込過多・地表面変状・陥没：泥水性状の調整、切羽圧の調整、裏込注入 ■泥土圧シールドでのトラブルと対応 (1)閉塞（チャンバー）：閉塞解除作業（固結した土砂の解膠、除去）、チャンバー内土砂の塑性流動性の改善（添加材の種類・添加率の修正） (2)（切羽地盤への）逸泥・漏気（気泡）：添加材種類の変更、切羽圧の調整 (3)（地表への）添加材（気泡）の噴発：添加材の種類の変更、切羽圧の低減 (4)取込過多・地表面変状・陥没：添加材の種類の変更、切羽圧の低減、裏込注入
土質(地層)	計画土圧の考え方	変動圧の設定値																																																									
軟弱粘性土(沖積層)	上限値=ズリ+水圧+変動圧 (または突進土圧) 下限値=静止土圧+水圧+変動圧	20~30kN/m <sup>2</sup>																																																									
硬い砂質土~砂礫(沖積層)	上限値=静止土圧+水圧+変動圧 下限値=主働土圧+水圧+変動圧	20~30kN/m <sup>2</sup>																																																									
中位~固結粘性土(洪積層)	上限値=静止土圧+水圧+変動圧 下限値=主働土圧+水圧+変動圧	20~30kN/m <sup>2</sup>																																																									
中位~締まった砂質土(洪積層)	上限値=静止土圧+水圧+変動圧 下限値=主働土圧+水圧+変動圧 (または緩み土圧による)	20~30kN/m <sup>2</sup>																																																									
注 記	切羽の安定に対して注意が必要となる地盤の目安は、 ●細粒分(シルト+粘土分)含有量が10%以下 ●透水係数が k=10 <sup>-7</sup> ~10 <sup>-6</sup> cm/s以上 ●均等係数が G <sub>s</sub> <10(粒度分布が悪い)																																																										
地層	土質	比重	ファンネル粘度	砂分率	濾過水量																																																						
沖積層	砂・シルト	1.15~1.20	25秒	—	—																																																						
	粘土	1.10	—	—	—																																																						
洪積層	礫	1.25~1.35	35~40秒	10~15%	20~30cc																																																						
	砂	1.20~1.25	25~30秒	—	—																																																						
	シルト	1.10~1.20	22~25秒	—	—																																																						
	粘土	1.05~1.10	—	—	—																																																						
		<p>図-1 作泥土材算定グラフ（泥土圧シールド工法資料より）</p>	<p>図-2 泥水式シールド排土量演算</p> <p>①掘削土の容積(m<sup>3</sup>) V<sub>0</sub> = Σ(Q<sub>0</sub> - Q<sub>1</sub>) × Δt Δt: サンプル間隔(min)</p> <p>②掘削偏差流量(m<sup>3</sup>・min) ε = Q<sub>0</sub> - (Q<sub>0</sub> + S × A) ε &gt; 0 取り込みあり ε &lt; 0 逸水あり</p> <p>③掘削土水中質量 M<sub>0</sub> = Σ(Q<sub>0</sub>(ρ<sub>0</sub> - 1) - Q<sub>1</sub>(ρ<sub>0</sub> - 1)) × Δt 送排泥密度差より掘削土粒子の水中重量をえる。</p> <p>④掘削土乾砂量(t)      ⑤掘削土地山換算体積(m<sup>3</sup>) W<sub>0</sub> = <math>\frac{G_s}{G_s - 1} \times M_0</math>      V = <math>\frac{1+e}{G_s} \times W_0</math></p>																																																								



## 2－2．工夫事例

	①	②	③																																																																			
整理記号	切羽圧の管理として、どのような工夫を行っていますか。 泥水式の場合、泥水の比重管理にどのような工夫を行っていますか。 それぞれについて、特にトラブルが発生した際にはどのような対処を行っていますか。	地盤に適した添加材をどのように選定していますか。 発生土の性状が想定と違った場合などに、工夫を行った例はありませんか。	排土量の管理として、どのような工夫を行っていますか。 特にトラブルが発生した際にはどのような対処を行っていますか。																																																																			
	<p>【共通事項】</p> <p>(1) シールド路線をおよそ200メートルごとに区分して、切羽圧の目標管理値、上限値、下限値を区間ごとに設定する。</p> <p>(2) 地層に傾斜がある場合は、地層の勾配に十分配慮して、必要に応じて追加ボーリングを実施する。</p> <p>(3) 地表面に段差や高低差がある場合には、その高低差を考慮した切羽圧の計画を行う。とくに大断面シールドでは高低差の影響が大きくなる場合があることから、切羽圧の上限値・下限値の設定にとりわけ注意が必要である。</p> <p>(4) 切羽圧の一般的な設定は、下限値＝主動土圧＋水圧＋余裕圧、上限値＝静止土圧＋水圧＋余裕圧の範囲内を基本とする。余裕圧は20 k N/m2～50 k N/m2で設定する。</p> <p>(5) 土被り厚さ1.0Dを下回るような小被り区間においては、表層部の土質状況により、静止土圧＋水圧＋余裕圧を目標管理値として、受働土圧＋水圧を上限値とする。(表-1)</p> <p>(6) シールド機に複数の土水圧計を配置し、各土水圧計及び平均勾配が上記の切羽圧の上下限ライン以内にあることをリアルタイムで管理する。故障や異常を考慮した場合の土水圧計の設置数の目安は表-2の通りである。</p> <p>【泥水式シールド】</p> <p>(7) 泥水式シールドの停止時においては、泥水自動供給、切羽圧自動制御による保持を行う。</p> <p>(8) 泥水式シールドにおいて、休日や段取り替え作業で数日間～数か月間シールドが停止する場合は、逸泥を抑え、切羽圧を安定させるために、高濃度、高粘性の泥水をチャンパーに充填する。</p> <p>【泥土圧シールド】</p> <p>(9) 一般的な泥土圧シールドでは停止時の切羽圧制御装置は装備しないが、大断面シールドで周辺環境への影響が懸念されるケースでは、泥水式シールド同様にベントナイト加泥材等を供給して所定の切羽圧を保持する装置を装備する。</p> <p>(10) 泥土圧シールドにおいて、休日や段取り替え作業で数日間～数か月間シールドが停止する場合は、チャンパー内の土砂の分離・沈降を抑え、切羽圧を安定させるために、高比重、高粘性の泥土にチャンパーを置換、充填する。</p> <p>(11) 泥水性状の品質管理は、切羽からの逸泥を防止して切羽保持の安定性を確保し、泥水の流体輸送において砂分の沈降を防止して安定したポンプ循環と圧力の安定を図るために非常に重要である。測定項目は、比重、ファンネル粘性、砂分含有量、濾過水量、ールドバリュー値（YV：泥水のせん断抵抗力）である。</p> <p>表-3に泥水性状の社内品質管理の一覧表を示す。</p> <p>トラブル発生時の対処（切羽管理）</p> <p>【事前の計画・準備】</p> <p>(1) シールド工事においては、工事着手前に地質状況や周辺構造物の情報を十分に確認した上で、あらゆる視点からリスク分析を行い、そのリスク対策を計画段階から予め準備しておく必要がある。シールド機械の性能や工法選定に不備があった場合、施工段階ではリカバリーできないことに十分留意する必要がある。以下に泥水式、泥土圧シールドの切羽管理に関する事前と事後の対処方法について記述する。</p> <p>【泥水式シールド】</p> <p>(2) 透水係数が高い砂礫層や、均等係数の小さい砂層を含む地盤を泥水式シールドで施工する場合、通常の泥水循環による掘進方式では著しい逸水発生や切羽保持不能による切羽崩壊が懸念され、施工段階で添加材に頼る方法には限界がある。したがって、シールド機及び掘進設備の計画、選定段階からの事前対策が重要となる。地盤状況によっては泥土圧方式への切替が可能な「泥水・泥土複合式」の採用を検討する必要がある。</p> <p>(3) 数十センチ以上の巨礫を含む礫層や固結粘性土層を含む地盤を泥水式シールドで施工する場合、排泥管の閉塞による切羽圧の急変と掘進不能による停止が懸念される。上記同様に施工段階での対応は困難であり、シールド機の計画、選定段階からの事前対策が必要である。土質に合わせたカッタービットを装備することのほか、排泥管閉塞による掘進停止を防止するため、排泥管径に合わせた開口制御板を設置するなど閉塞を防止する機能を予め装備する必要がある。</p> <p>(4) 泥水式シールドで切羽圧が不安定となるのは地山への逸水現象と泥水性状の不適合が主な原因である。この場合、①-2の表-泥水性状の品質管理の表に示す通り、良質泥水の置換により、泥水性状の諸数値を改善することで対処する。</p> <p>(5) シールド路線近傍に既設構造物やボーリング坑が存在する場合は、泥水の空洞部への逸水、噴出による切羽圧の急激な低下に繋がる可能性があるため、周辺影響を検討した上で、事前に薬液注入等の防護を検討する必要がある。</p> <p>【事例2-8】</p> <p>【泥土圧シールド】</p> <p>(6) 近年、泥土圧シールドの採用件数が多くなり、とりわけ大断面・大深度のシールド工事において、気泡シールド工法の採用件数が増加している。その背景には、掘削土の含水比を低減できるため建設発生土の再利用、有効利用に適していること。また、連続ベルトコンベヤによる土砂搬出が可能で大断面シールドの高速施工に適しているという、事業計画上の優位性がある。特殊な地盤特性において、大断面・大深度での気泡シールドの適用には、切羽安定性向上に注意を要する。</p> <p>表-4に大断面・大深度における気泡シールド工法の切羽管理に関するトラブル防止、リスク対策を示す。</p> <p>(7) 小土被り区間や構造物近接施工における切羽管理はより一層の注意が必要である。(表-5)</p> <p>(8) 長期停止時の対応として、大断面シールドで周辺環境への影響が懸念されるケースでは、泥水式シールド同様にベントナイト加泥材等を供給して所定の切羽圧を保持する装置を装備する。また、休日や段取り替え作業で数日間～数か月間シールドが停止する場合は、チャンパー内の土砂の分離・沈降を抑え、切羽圧を安定させるために、高比重、高粘性の泥土にチャンパーを置換、充填する。</p>	<p>■共通事項</p> <p>(1) シールド工事で用いる添加材は、泥水式、泥土圧で異なり、土質、地下水条件によっても異なる。多くの場合、添加材の選択は、類似工事の使用実績等から決定されるが、現地採取土又は模擬土を用いて、事前に複数のケースで室内配合実験を行い、目的とする性能を確保し、土質の変化に迅速に対応できるように予め準備しておくことが重要である。</p> <p>■泥水式シールド</p> <p>(2) 表-1に泥水式シールドで用いられる添加剤の種類と特徴を示す。</p> <p>■泥土圧シールド</p> <p>(3) 泥土圧シールドの添加材の注入率等については、シールド工法技術協会の各種技術資料が参考になるが、過去の類似工事の使用実績や室内試験で決められることが多い。下表に泥土圧シールドで用いられる添加材とその特徴を示す。近年、泥土圧シールドが大深度に適用され、地盤変状に対してより確実な安全性が求められる市街地での施工が増えていることから、添加材の選定にあたっては、現場条件を十分に反映した条件下での室内試験が必要である。(表-2)</p> <p>表-1 泥水式シールドで用いられる添加剤の種類と特徴</p> <table border="1"> <tbody><tr> <th>材料種類</th> <th>用途・特徴</th> <th>泥水 1m<sup>3</sup> 当り混合量目安</th></tr> <tr> <td>ベントナイト</td> <td>比重調整、増粘効果</td> <td>50kg～100kg</td></tr> <tr> <td>粉末粘土</td> <td>比重調整、コロイド材補給</td> <td>～100kg ※比重調整による</td></tr> <tr> <td>高分子剤、CMC</td> <td>増粘剤</td> <td>0.5kg～2.0kg</td></tr> <tr> <td>分散剤</td> <td>粘土またはセメント改良材固着防止</td> <td>1kg～3kg</td></tr> </tbody></table> <p>表-2 泥土圧シールドで用いられる添加材と特徴</p> <table border="1"> <tbody><tr> <th>材料種類</th> <th>用途・特徴</th></tr> <tr> <td>界面活性剤系</td> <td>特殊起泡剤 <p>界面活性剤を8倍程度に発泡させて混合し、土砂の流動性を高め、粘性土の付着を防止する効果がある。特殊起泡剤単体は A タイプとして、細粒分含有率 10%程度以上の粘性土から砂層に適用される。排出土の含水比が小さく、連続・バルコン運搬が可能となることから、大断面シールドで多く適用される。</p> <p>特殊起泡剤＋添加剤 <p>特殊起泡剤にセルロース系の高分子剤や天然植物性有機ポリマーのゲル化剤を添加することで、気泡を安定強化して、細粒分含有率の少ない砂礫層に適用できる。 ※大断面シールドでの適用性は上記と同じ</p> <p>特殊起泡剤（全地盤対応型）※TAS-6mm <p>緻密化した気泡により疎水性を向上させた特殊起泡剤であり、粘性土から細粒分含有率の少ない砂礫層まで幅広い土質に適用でき、高水深での施工にも対応可能である。 ※大断面シールドでの適用性は上記と同じ ※外環大泉本線シールド、外環大泉南ランプ、相鉄線高通訳駅トンネル、名古屋中央雨水幹線など、高水深・砂礫地盤の現場で採用。</p></p></p></td></tr> <tr> <td>鉱物系</td> <td>ベントナイト <p>ボーリングや運搬の補助用泥材料として幅広く利用され、膨潤性と粘性を有する。シールドでは細粒分の補完材料として添加し、土砂の流動性を確保し止水性を向上させる。高分子系添加剤と併用されるケースが多い。</p></td></tr> <tr> <td>高分子系</td> <td>高分子剤(単体) <p>凝集剤として土粒と水を凝集することで、砂質土では土砂の流動性を確保し、粘性土では付着防止効果を発揮する。粘性土から砂礫層まで幅広い土質に適用できる。</p> <p>高分子剤(複合) <p>高親水性樹脂とメチオン系増粘剤系の高分子剤を組み合わせた添加剤の混合により、高い増粘効果を発揮し、透水性の高い砂礫層においても掘削土の流動性を確保する。</p> <p>分散剤 <p>粘性土やセメント系材料で改良された地盤において付着を防止し、土砂の流動性を確保する。粘性土から硬化した地層や、発泡到達時間区間で適用される。</p> <p>天然高分子剤 <p>天然植物系の高分子材料であり、高い粘性を発現することで、透水性が高く、細粒分が少ない砂礫層で適用される。材料を大量に扱うことができないことから、主に小断面のシールドで使用される。</p></p></p></p></td></tr> </tbody></table>	材料種類	用途・特徴	泥水 1m <sup>3</sup> 当り混合量目安	ベントナイト	比重調整、増粘効果	50kg～100kg	粉末粘土	比重調整、コロイド材補給	～100kg ※比重調整による	高分子剤、CMC	増粘剤	0.5kg～2.0kg	分散剤	粘土またはセメント改良材固着防止	1kg～3kg	材料種類	用途・特徴	界面活性剤系	特殊起泡剤 <p>界面活性剤を8倍程度に発泡させて混合し、土砂の流動性を高め、粘性土の付着を防止する効果がある。特殊起泡剤単体は A タイプとして、細粒分含有率 10%程度以上の粘性土から砂層に適用される。排出土の含水比が小さく、連続・バルコン運搬が可能となることから、大断面シールドで多く適用される。</p> <p>特殊起泡剤＋添加剤 <p>特殊起泡剤にセルロース系の高分子剤や天然植物性有機ポリマーのゲル化剤を添加することで、気泡を安定強化して、細粒分含有率の少ない砂礫層に適用できる。 ※大断面シールドでの適用性は上記と同じ</p> <p>特殊起泡剤（全地盤対応型）※TAS-6mm <p>緻密化した気泡により疎水性を向上させた特殊起泡剤であり、粘性土から細粒分含有率の少ない砂礫層まで幅広い土質に適用でき、高水深での施工にも対応可能である。 ※大断面シールドでの適用性は上記と同じ ※外環大泉本線シールド、外環大泉南ランプ、相鉄線高通訳駅トンネル、名古屋中央雨水幹線など、高水深・砂礫地盤の現場で採用。</p></p></p>	鉱物系	ベントナイト <p>ボーリングや運搬の補助用泥材料として幅広く利用され、膨潤性と粘性を有する。シールドでは細粒分の補完材料として添加し、土砂の流動性を確保し止水性を向上させる。高分子系添加剤と併用されるケースが多い。</p>	高分子系	高分子剤(単体) <p>凝集剤として土粒と水を凝集することで、砂質土では土砂の流動性を確保し、粘性土では付着防止効果を発揮する。粘性土から砂礫層まで幅広い土質に適用できる。</p> <p>高分子剤(複合) <p>高親水性樹脂とメチオン系増粘剤系の高分子剤を組み合わせた添加剤の混合により、高い増粘効果を発揮し、透水性の高い砂礫層においても掘削土の流動性を確保する。</p> <p>分散剤 <p>粘性土やセメント系材料で改良された地盤において付着を防止し、土砂の流動性を確保する。粘性土から硬化した地層や、発泡到達時間区間で適用される。</p> <p>天然高分子剤 <p>天然植物系の高分子材料であり、高い粘性を発現することで、透水性が高く、細粒分が少ない砂礫層で適用される。材料を大量に扱うことができないことから、主に小断面のシールドで使用される。</p></p></p></p>	<p>■共通事項</p> <p>・シールド工事における排土量の管理は、地盤変状を防止し、周辺環境への影響を最小限とするために最も重要な施工管理項目である。また、排土量の管理はリアルタイムで行い、1リング毎にチェックすることを重視しなければならない。</p> <p>■泥水式シールド</p> <p>・泥水式シールドにおける排土量の管理項目と管理値を表-1に示す。</p> <p>表-1 泥水式シールドにおける排土量の管理項目と管理値</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>測定項目</th> <th>測定方法・管理方法</th> <th>管理値(社内)</th> <th>備考(測定頻度)</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>掘削土量 乾砂量</td> <td>送排管に設置した流量計と密度計を基に偏流流量と乾砂量を演算し、掘削土量を算出して、地山土量(理論掘削量)と対比する。なお、掘進中はリアルタイムで掘削土量と地山土量の関係が管理値以内であることを確認する。</td> <td>1次管理値 理論掘削量の±5%以内 2次管理値 理論掘削量の±8%以内</td> <td>1リング毎 ※停止中パイパス運転の土量計測を含めて管理する。</td></tr> <tr> <td>偏差流量</td> <td>排泥流量から返泥流量と理論掘削量を引いた数値</td> <td>ゼロ以下(取込みが無いこと)</td> <td></td></tr> </tbody> </table> <p>■泥土圧シールド</p> <p>・泥土圧シールド工法の排土量管理は、掘削土砂の搬出方法により異なり、シールド断面の大小によっても様々な方法で行われる。泥水式に比べて測定誤差が生じやすいが、体積と重量の両方を併用した測定や、ダンプ車による搬出重量の管理と合わせて、二重三重の管理により、異常を早期に発見して地盤変状事故を未然に防ぐことが重要である。以下に土砂搬出方法別の排土量測定方法（表-2）と、大断面シールドにおける排土量の管理項目と管理値（表-3）を示す。</p> <p>■トラブル発生時の対処（排土管理）</p> <p>(1) 排土量に異常（2次管理値超過の連続）があった場合は、速やかに掘進を停止し超過土量算出と原因分析を行う。</p> <p>(2) 停止時の措置として、切羽への良質加泥材の注入と切羽保持を継続する。</p> <p>(3) 取込み土量が多い場合は胴体注入のほか、必要に応じて地上または機内から薬液注入による空洞充填を行う。</p> <p>(4) 地上の管理者との連絡体制を早期に確立して、地表面の計測管理を強化する。</p> <p>(5) 再開の際には切羽圧の不足、土質に適合した添加材の見直しを行う。</p> <p>(6) 排土量が多い位置での裏込め注入量の追加を行う。この際、排土量の超過と裏込め量の増加をリンクさせて管理する。</p> <p>表-2 土砂搬出方法別の排土量の測定方法</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>土砂搬出方法</th> <th>重量測定</th> <th>体積測定</th> <th>備考(測定頻度)</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>ズリ列車</td> <td>クレーン荷重計によるズリ列車重量測定</td> <td>手動またはレーザースキャナー</td> <td>1リング毎</td></tr> <tr> <td>ポンプ圧送</td> <td>トラックスケールによるダンプ車積載重量</td> <td>電磁流量計、密度計</td> <td>1リング毎、重量は1日単位</td></tr> <tr> <td>連続ベルトコン</td> <td>ベルトスケール(ロードセル)</td> <td>レーザースキャナー</td> <td>1リング毎、リアルタイム測定</td></tr> </tbody> </table> <p>表-3 連続ベルトコンベヤを用いる大断面シールドにおける排土量の管理項目と管理値</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>測定項目</th> <th>測定方法・管理方法</th> <th>管理値(社内管理値)</th> <th>備考(測定頻度)</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>排土量 1リング</td> <td>ベルトコンに固定設置したベルトスケールにより排土重量を連続的に計測する(計測間隔:2秒)。 理論地山土量(重量)に添加材重量を加えた値と排土重量をリアルタイムで管理する。</td> <td>理論土量(重量)との対比 1次管理値 ±7.5%以内 2次管理値 ±10%以内 ※3リング超過の連続で工事中断</td> <td>1リング毎 リアルタイム測定</td></tr> <tr> <td>前 20 リング平均値との対比</td> <td>前 20 リング平均値との対比を行うことで、排土量の急な変化を把握する。</td> <td>1次管理値 ±7.5%以内 2次管理値 ±10%以内</td> <td>1リング毎</td></tr> <tr> <td>地山探査計測(前線探査)</td> <td>貫入式地山探査装置、電磁波レーダーまたは超音波探査装置など、シールド機前胴部の崩壊の有無及び前線高さを測定することで、切羽圧の見直しのほか、胴体注入の追加や裏込め注入量の増量の指標とする。</td> <td>著しい崩壊が発生していないことを確認する。 異常時は胴体注入、裏込め注入量の必要量の追加を実施する。</td> <td>1リング毎</td></tr> </tbody> </table> <p>※前 20 リング平均値との対比よりも 1 リング毎の排土量を重視して管理する。</p>	測定項目	測定方法・管理方法	管理値(社内)	備考(測定頻度)	掘削土量 乾砂量	送排管に設置した流量計と密度計を基に偏流流量と乾砂量を演算し、掘削土量を算出して、地山土量(理論掘削量)と対比する。なお、掘進中はリアルタイムで掘削土量と地山土量の関係が管理値以内であることを確認する。	1次管理値 理論掘削量の±5%以内 2次管理値 理論掘削量の±8%以内	1リング毎 ※停止中パイパス運転の土量計測を含めて管理する。	偏差流量	排泥流量から返泥流量と理論掘削量を引いた数値	ゼロ以下(取込みが無いこと)		土砂搬出方法	重量測定	体積測定	備考(測定頻度)	ズリ列車	クレーン荷重計によるズリ列車重量測定	手動またはレーザースキャナー	1リング毎	ポンプ圧送	トラックスケールによるダンプ車積載重量	電磁流量計、密度計	1リング毎、重量は1日単位	連続ベルトコン	ベルトスケール(ロードセル)	レーザースキャナー	1リング毎、リアルタイム測定	測定項目	測定方法・管理方法	管理値(社内管理値)	備考(測定頻度)	排土量 1リング	ベルトコンに固定設置したベルトスケールにより排土重量を連続的に計測する(計測間隔:2秒)。 理論地山土量(重量)に添加材重量を加えた値と排土重量をリアルタイムで管理する。	理論土量(重量)との対比 1次管理値 ±7.5%以内 2次管理値 ±10%以内 ※3リング超過の連続で工事中断	1リング毎 リアルタイム測定	前 20 リング平均値との対比	前 20 リング平均値との対比を行うことで、排土量の急な変化を把握する。	1次管理値 ±7.5%以内 2次管理値 ±10%以内	1リング毎	地山探査計測(前線探査)	貫入式地山探査装置、電磁波レーダーまたは超音波探査装置など、シールド機前胴部の崩壊の有無及び前線高さを測定することで、切羽圧の見直しのほか、胴体注入の追加や裏込め注入量の増量の指標とする。	著しい崩壊が発生していないことを確認する。 異常時は胴体注入、裏込め注入量の必要量の追加を実施する。	1リング毎
材料種類	用途・特徴	泥水 1m <sup>3</sup> 当り混合量目安																																																																				
ベントナイト	比重調整、増粘効果	50kg～100kg																																																																				
粉末粘土	比重調整、コロイド材補給	～100kg ※比重調整による																																																																				
高分子剤、CMC	増粘剤	0.5kg～2.0kg																																																																				
分散剤	粘土またはセメント改良材固着防止	1kg～3kg																																																																				
材料種類	用途・特徴																																																																					
界面活性剤系	特殊起泡剤 <p>界面活性剤を8倍程度に発泡させて混合し、土砂の流動性を高め、粘性土の付着を防止する効果がある。特殊起泡剤単体は A タイプとして、細粒分含有率 10%程度以上の粘性土から砂層に適用される。排出土の含水比が小さく、連続・バルコン運搬が可能となることから、大断面シールドで多く適用される。</p> <p>特殊起泡剤＋添加剤 <p>特殊起泡剤にセルロース系の高分子剤や天然植物性有機ポリマーのゲル化剤を添加することで、気泡を安定強化して、細粒分含有率の少ない砂礫層に適用できる。 ※大断面シールドでの適用性は上記と同じ</p> <p>特殊起泡剤（全地盤対応型）※TAS-6mm <p>緻密化した気泡により疎水性を向上させた特殊起泡剤であり、粘性土から細粒分含有率の少ない砂礫層まで幅広い土質に適用でき、高水深での施工にも対応可能である。 ※大断面シールドでの適用性は上記と同じ ※外環大泉本線シールド、外環大泉南ランプ、相鉄線高通訳駅トンネル、名古屋中央雨水幹線など、高水深・砂礫地盤の現場で採用。</p></p></p>																																																																					
鉱物系	ベントナイト <p>ボーリングや運搬の補助用泥材料として幅広く利用され、膨潤性と粘性を有する。シールドでは細粒分の補完材料として添加し、土砂の流動性を確保し止水性を向上させる。高分子系添加剤と併用されるケースが多い。</p>																																																																					
高分子系	高分子剤(単体) <p>凝集剤として土粒と水を凝集することで、砂質土では土砂の流動性を確保し、粘性土では付着防止効果を発揮する。粘性土から砂礫層まで幅広い土質に適用できる。</p> <p>高分子剤(複合) <p>高親水性樹脂とメチオン系増粘剤系の高分子剤を組み合わせた添加剤の混合により、高い増粘効果を発揮し、透水性の高い砂礫層においても掘削土の流動性を確保する。</p> <p>分散剤 <p>粘性土やセメント系材料で改良された地盤において付着を防止し、土砂の流動性を確保する。粘性土から硬化した地層や、発泡到達時間区間で適用される。</p> <p>天然高分子剤 <p>天然植物系の高分子材料であり、高い粘性を発現することで、透水性が高く、細粒分が少ない砂礫層で適用される。材料を大量に扱うことができないことから、主に小断面のシールドで使用される。</p></p></p></p>																																																																					
測定項目	測定方法・管理方法	管理値(社内)	備考(測定頻度)																																																																			
掘削土量 乾砂量	送排管に設置した流量計と密度計を基に偏流流量と乾砂量を演算し、掘削土量を算出して、地山土量(理論掘削量)と対比する。なお、掘進中はリアルタイムで掘削土量と地山土量の関係が管理値以内であることを確認する。	1次管理値 理論掘削量の±5%以内 2次管理値 理論掘削量の±8%以内	1リング毎 ※停止中パイパス運転の土量計測を含めて管理する。																																																																			
偏差流量	排泥流量から返泥流量と理論掘削量を引いた数値	ゼロ以下(取込みが無いこと)																																																																				
土砂搬出方法	重量測定	体積測定	備考(測定頻度)																																																																			
ズリ列車	クレーン荷重計によるズリ列車重量測定	手動またはレーザースキャナー	1リング毎																																																																			
ポンプ圧送	トラックスケールによるダンプ車積載重量	電磁流量計、密度計	1リング毎、重量は1日単位																																																																			
連続ベルトコン	ベルトスケール(ロードセル)	レーザースキャナー	1リング毎、リアルタイム測定																																																																			
測定項目	測定方法・管理方法	管理値(社内管理値)	備考(測定頻度)																																																																			
排土量 1リング	ベルトコンに固定設置したベルトスケールにより排土重量を連続的に計測する(計測間隔:2秒)。 理論地山土量(重量)に添加材重量を加えた値と排土重量をリアルタイムで管理する。	理論土量(重量)との対比 1次管理値 ±7.5%以内 2次管理値 ±10%以内 ※3リング超過の連続で工事中断	1リング毎 リアルタイム測定																																																																			
前 20 リング平均値との対比	前 20 リング平均値との対比を行うことで、排土量の急な変化を把握する。	1次管理値 ±7.5%以内 2次管理値 ±10%以内	1リング毎																																																																			
地山探査計測(前線探査)	貫入式地山探査装置、電磁波レーダーまたは超音波探査装置など、シールド機前胴部の崩壊の有無及び前線高さを測定することで、切羽圧の見直しのほか、胴体注入の追加や裏込め注入量の増量の指標とする。	著しい崩壊が発生していないことを確認する。 異常時は胴体注入、裏込め注入量の必要量の追加を実施する。	1リング毎																																																																			

## 2-2. 工夫事例

整理 記号	①	②	③																																																																								
I	<p>切羽圧の管理として、どのような工夫を行っていますか。</p> <p>泥水式の場合、泥水の比重管理にどのような工夫を行っていますか。</p> <p>それぞれについて、特にトラブルが発生した際にはどのような対処を行っていますか。</p> <p style="text-align: center;">表-1 切羽圧の基本的な管理値</p> <table border="1" data-bbox="231 262 848 323"> <tr> <th>切羽圧の管理値</th> <th>管理値(下限値)</th> <th>管理値(上限値)</th> <th>備考</th> </tr> <tr> <td>土被り1D以上</td> <td>主動土圧+水圧+余裕圧</td> <td>静止土圧+水圧+余裕圧</td> <td>余裕係:</td> </tr> <tr> <td>土被り1D未満</td> <td>静止土圧+水圧+余裕圧</td> <td>受働土圧+水圧</td> <td>20kN/m<sup>2</sup>~50kN/m<sup>2</sup></td> </tr> </table> <p style="text-align: center;">表-2 シールド機の土水圧計の設置数の目安</p> <table border="1" data-bbox="249 359 831 413"> <tr> <th>シールド機外径</th> <th>D≦φ5m</th> <th>φ5m&lt;D&lt;φ10m</th> <th>φ10m≦D</th> </tr> <tr> <td>土水圧計の設置数の目安</td> <td>3~4個</td> <td>4~8個</td> <td>8個以上</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>6~10m<sup>2</sup>に1個程度</td> <td>10m<sup>2</sup>~15m<sup>2</sup>に1個程度</td> </tr> </table> <p style="text-align: center;">表-3 泥水性状の社内品質管理の一覧表</p> <table border="1" data-bbox="249 443 822 554"> <tr> <th>品質管理項目</th> <th>比重 (g/cm<sup>3</sup>)</th> <th>ファンネル粘性 (秒)</th> <th>砂分含有量 (%)</th> <th>濾過水量 (ml)</th> <th>イーロードバリュー (dyne・sec/cm<sup>2</sup>)</th> </tr> <tr> <td>社内管理値</td> <td>1.15~1.25</td> <td>25~45</td> <td>5~10</td> <td>&lt;40</td> <td>30~100</td> </tr> <tr> <td>管理値</td> <td>希釈または良質泥水の戻換(粘土、ベントナイト等)</td> <td>希釈または良質泥水の戻換(粘土、ベントナイト、増粘剤等)</td> <td>バイパス運転またはプレス打ち込みによる調整</td> <td>良質泥水の置換(粘土、ベントナイト、増粘剤等)</td> <td>良質泥水の置換(粘土、ベントナイト、増粘剤等)</td> </tr> <tr> <td>測定頻度</td> <td>毎リング</td> <td>毎リング</td> <td>毎リング</td> <td>2回以上/日</td> <td>2回以上/日</td> </tr> </table> <p style="text-align: center;">表-4 大断面・大深度気泡シールドにおける事前及び事後の切羽管理対策</p> <table border="1" data-bbox="261 594 813 835"> <tr> <th></th> <th>事前の対策</th> <th>施工中の対策</th> </tr> <tr> <td>切羽圧の安定化</td> <td>・ボーンラダーデータ3次元化、各4限の比重設定 ・約200m区間以内ごとに切羽圧管理体の設定 ・バルクヘッドに十分な量の土圧計を配置 ・スクリーン内圧力計を複数設置 ・切羽圧分布・勾配のリアルタイム管理システム設置</td> <td>・排土量をリアルタイムで計測し、異常時は即座に調整 ・異常時は即座に切羽圧管理体を見直し再開する ・急激な土圧増大を監視し、異常時は即座に調整 ・スクリーン内圧力調整で切羽圧調整、異常防止を行う ・切羽圧、掘削液注入流量の管理、異常に作用する</td> </tr> <tr> <td>塑性流動性の確保</td> <td>・掘削土又は掘削土に土中の水分配合試験 ・スローコンベヤコンベヤに十分な量の注入水を配置 ・掘削時の高いチャンパー内圧力の監視 ・塑性流動化モニタリング計測機器・システムの整備</td> <td>・切羽圧異常時は室内試験を参考に配合を見直す ・掘削圧の異常な異常発生や塑性流動化のモニタリング結果に応じて、注入水を選択して適切な注入比率を決定することで、塑性流動性を確保コントロールする</td> </tr> <tr> <td>漏洩の防止</td> <td>・多段式スクリーンコンベヤを装備 ・複数の1砂ゲートを装備 ・掘削圧(高圧)と注入流量の管理</td> <td>・多段式スクリーンコンベヤを複数設置して掘削圧の調整を促す ・掘削圧を低減すると、スクリーン内圧力の調整余裕を確保することで、切羽圧調整の精度を高める</td> </tr> <tr> <td>特殊地盤における掘削の安定化</td> <td>・砂源対比早期掘削・加泥材の事前試験と準備 ・掘削液以外の加泥材注入設備の設置</td> <td>・砂源対比早期掘削・加泥材の事前試験と準備 ・掘削液以外の加泥材注入設備の設置</td> </tr> </table> <p style="text-align: center;">表-5 泥土圧シールド工法の小土被り区間・構造物近接施工の切羽管理対策</p> <table border="1" data-bbox="261 865 813 1016"> <tr> <th></th> <th>事前の対策</th> <th>施工中の対策</th> </tr> <tr> <td>小土被り区間</td> <td>・支保物・埋設物の調査と防護の実施 ・浮力対策の必要性の確認 ・切羽圧、掘削液注入圧力の管理値設定 ・加泥材の室内配合試験の実施 ・地表面、周辺環境の計測管理の準備</td> <td>・想定外の支保物・埋設物の掘削には掘削を中止する ・シールド機、セグメントに必要な浮力対策を実施する ・切羽圧は静止土圧+水圧以上、掘削液注入圧は受働土圧未満で管理、加泥材はベントナイトや高分子を決定 ・リアルタイム計測を実施し異常発生時は掘削を中止する</td> </tr> <tr> <td>構造物近接施工</td> <td>・構造物本体の圧力・変位・基礎まで調査する ・影響検討を行い必要に応じて地盤改良防護を実施 ・切羽圧、掘削液注入圧力の管理値設定 ・構造物の計測管理の準備</td> <td>・切羽圧異常時は室内試験を参考に配合を見直す ・切羽圧、掘削液注入圧は構造物影響を考慮し適切に設定する。加泥材はベントナイトや高分子を決定する。 ・リアルタイム計測を実施し異常発生時は掘削を中止する</td> </tr> </table>	切羽圧の管理値	管理値(下限値)	管理値(上限値)	備考	土被り1D以上	主動土圧+水圧+余裕圧	静止土圧+水圧+余裕圧	余裕係:	土被り1D未満	静止土圧+水圧+余裕圧	受働土圧+水圧	20kN/m <sup>2</sup> ~50kN/m <sup>2</sup>	シールド機外径	D≦φ5m	φ5m<D<φ10m	φ10m≦D	土水圧計の設置数の目安	3~4個	4~8個	8個以上			6~10m <sup>2</sup> に1個程度	10m <sup>2</sup> ~15m <sup>2</sup> に1個程度	品質管理項目	比重 (g/cm <sup>3</sup> )	ファンネル粘性 (秒)	砂分含有量 (%)	濾過水量 (ml)	イーロードバリュー (dyne・sec/cm <sup>2</sup> )	社内管理値	1.15~1.25	25~45	5~10	<40	30~100	管理値	希釈または良質泥水の戻換(粘土、ベントナイト等)	希釈または良質泥水の戻換(粘土、ベントナイト、増粘剤等)	バイパス運転またはプレス打ち込みによる調整	良質泥水の置換(粘土、ベントナイト、増粘剤等)	良質泥水の置換(粘土、ベントナイト、増粘剤等)	測定頻度	毎リング	毎リング	毎リング	2回以上/日	2回以上/日		事前の対策	施工中の対策	切羽圧の安定化	・ボーンラダーデータ3次元化、各4限の比重設定 ・約200m区間以内ごとに切羽圧管理体の設定 ・バルクヘッドに十分な量の土圧計を配置 ・スクリーン内圧力計を複数設置 ・切羽圧分布・勾配のリアルタイム管理システム設置	・排土量をリアルタイムで計測し、異常時は即座に調整 ・異常時は即座に切羽圧管理体を見直し再開する ・急激な土圧増大を監視し、異常時は即座に調整 ・スクリーン内圧力調整で切羽圧調整、異常防止を行う ・切羽圧、掘削液注入流量の管理、異常に作用する	塑性流動性の確保	・掘削土又は掘削土に土中の水分配合試験 ・スローコンベヤコンベヤに十分な量の注入水を配置 ・掘削時の高いチャンパー内圧力の監視 ・塑性流動化モニタリング計測機器・システムの整備	・切羽圧異常時は室内試験を参考に配合を見直す ・掘削圧の異常な異常発生や塑性流動化のモニタリング結果に応じて、注入水を選択して適切な注入比率を決定することで、塑性流動性を確保コントロールする	漏洩の防止	・多段式スクリーンコンベヤを装備 ・複数の1砂ゲートを装備 ・掘削圧(高圧)と注入流量の管理	・多段式スクリーンコンベヤを複数設置して掘削圧の調整を促す ・掘削圧を低減すると、スクリーン内圧力の調整余裕を確保することで、切羽圧調整の精度を高める	特殊地盤における掘削の安定化	・砂源対比早期掘削・加泥材の事前試験と準備 ・掘削液以外の加泥材注入設備の設置	・砂源対比早期掘削・加泥材の事前試験と準備 ・掘削液以外の加泥材注入設備の設置		事前の対策	施工中の対策	小土被り区間	・支保物・埋設物の調査と防護の実施 ・浮力対策の必要性の確認 ・切羽圧、掘削液注入圧力の管理値設定 ・加泥材の室内配合試験の実施 ・地表面、周辺環境の計測管理の準備	・想定外の支保物・埋設物の掘削には掘削を中止する ・シールド機、セグメントに必要な浮力対策を実施する ・切羽圧は静止土圧+水圧以上、掘削液注入圧は受働土圧未満で管理、加泥材はベントナイトや高分子を決定 ・リアルタイム計測を実施し異常発生時は掘削を中止する	構造物近接施工	・構造物本体の圧力・変位・基礎まで調査する ・影響検討を行い必要に応じて地盤改良防護を実施 ・切羽圧、掘削液注入圧力の管理値設定 ・構造物の計測管理の準備	・切羽圧異常時は室内試験を参考に配合を見直す ・切羽圧、掘削液注入圧は構造物影響を考慮し適切に設定する。加泥材はベントナイトや高分子を決定する。 ・リアルタイム計測を実施し異常発生時は掘削を中止する	<p>地盤に適した添加材をどのように選定していますか。</p> <p>発生土の性状が想定と違った場合などに、工夫を行った例はありませんか。</p>	<p>排土量の管理として、どのような工夫を行っていますか。</p> <p>特にトラブルが発生した際にはどのような対処を行っていますか。</p>
切羽圧の管理値	管理値(下限値)	管理値(上限値)	備考																																																																								
土被り1D以上	主動土圧+水圧+余裕圧	静止土圧+水圧+余裕圧	余裕係:																																																																								
土被り1D未満	静止土圧+水圧+余裕圧	受働土圧+水圧	20kN/m <sup>2</sup> ~50kN/m <sup>2</sup>																																																																								
シールド機外径	D≦φ5m	φ5m<D<φ10m	φ10m≦D																																																																								
土水圧計の設置数の目安	3~4個	4~8個	8個以上																																																																								
		6~10m <sup>2</sup> に1個程度	10m <sup>2</sup> ~15m <sup>2</sup> に1個程度																																																																								
品質管理項目	比重 (g/cm <sup>3</sup> )	ファンネル粘性 (秒)	砂分含有量 (%)	濾過水量 (ml)	イーロードバリュー (dyne・sec/cm <sup>2</sup> )																																																																						
社内管理値	1.15~1.25	25~45	5~10	<40	30~100																																																																						
管理値	希釈または良質泥水の戻換(粘土、ベントナイト等)	希釈または良質泥水の戻換(粘土、ベントナイト、増粘剤等)	バイパス運転またはプレス打ち込みによる調整	良質泥水の置換(粘土、ベントナイト、増粘剤等)	良質泥水の置換(粘土、ベントナイト、増粘剤等)																																																																						
測定頻度	毎リング	毎リング	毎リング	2回以上/日	2回以上/日																																																																						
	事前の対策	施工中の対策																																																																									
切羽圧の安定化	・ボーンラダーデータ3次元化、各4限の比重設定 ・約200m区間以内ごとに切羽圧管理体の設定 ・バルクヘッドに十分な量の土圧計を配置 ・スクリーン内圧力計を複数設置 ・切羽圧分布・勾配のリアルタイム管理システム設置	・排土量をリアルタイムで計測し、異常時は即座に調整 ・異常時は即座に切羽圧管理体を見直し再開する ・急激な土圧増大を監視し、異常時は即座に調整 ・スクリーン内圧力調整で切羽圧調整、異常防止を行う ・切羽圧、掘削液注入流量の管理、異常に作用する																																																																									
塑性流動性の確保	・掘削土又は掘削土に土中の水分配合試験 ・スローコンベヤコンベヤに十分な量の注入水を配置 ・掘削時の高いチャンパー内圧力の監視 ・塑性流動化モニタリング計測機器・システムの整備	・切羽圧異常時は室内試験を参考に配合を見直す ・掘削圧の異常な異常発生や塑性流動化のモニタリング結果に応じて、注入水を選択して適切な注入比率を決定することで、塑性流動性を確保コントロールする																																																																									
漏洩の防止	・多段式スクリーンコンベヤを装備 ・複数の1砂ゲートを装備 ・掘削圧(高圧)と注入流量の管理	・多段式スクリーンコンベヤを複数設置して掘削圧の調整を促す ・掘削圧を低減すると、スクリーン内圧力の調整余裕を確保することで、切羽圧調整の精度を高める																																																																									
特殊地盤における掘削の安定化	・砂源対比早期掘削・加泥材の事前試験と準備 ・掘削液以外の加泥材注入設備の設置	・砂源対比早期掘削・加泥材の事前試験と準備 ・掘削液以外の加泥材注入設備の設置																																																																									
	事前の対策	施工中の対策																																																																									
小土被り区間	・支保物・埋設物の調査と防護の実施 ・浮力対策の必要性の確認 ・切羽圧、掘削液注入圧力の管理値設定 ・加泥材の室内配合試験の実施 ・地表面、周辺環境の計測管理の準備	・想定外の支保物・埋設物の掘削には掘削を中止する ・シールド機、セグメントに必要な浮力対策を実施する ・切羽圧は静止土圧+水圧以上、掘削液注入圧は受働土圧未満で管理、加泥材はベントナイトや高分子を決定 ・リアルタイム計測を実施し異常発生時は掘削を中止する																																																																									
構造物近接施工	・構造物本体の圧力・変位・基礎まで調査する ・影響検討を行い必要に応じて地盤改良防護を実施 ・切羽圧、掘削液注入圧力の管理値設定 ・構造物の計測管理の準備	・切羽圧異常時は室内試験を参考に配合を見直す ・切羽圧、掘削液注入圧は構造物影響を考慮し適切に設定する。加泥材はベントナイトや高分子を決定する。 ・リアルタイム計測を実施し異常発生時は掘削を中止する																																																																									
J	<p>・シールドマシンに土圧計を設置し、地盤調査結果で想定される必要な切羽圧と地盤変状計測（トライアル計測）の結果と比較して実管理切羽土圧を設定している。</p> <p>・トラブルによる切羽圧低下の原因の一つにシールド機停電による排土の噴発が考えられる。</p> <p>・対処方法として、①緊急用発電機の装備、②アキュムレーターによる排土口閉鎖等がある。</p>	<p>・地盤調査結果より工法に合せた添加材を選定（試験配合で確認）しているが、排土を確認して添加量等の調整を行っている。</p> <p>・立坑掘削時に採取した対象深さの土砂を使い、各種添加材と混練りした時の性状を比較して選定したこともある。</p> <p>・加泥材の場合、排土性状を確認しながら濃度や添加量に変化を付けているので、想定と違った性状であってもある程度は対応できる。</p>	<p>・排土量管理：複数の計測方法により管理(機器の異常、バラつき補正)</p> <p>・計測方法：ベルトスケール、スキャンセンサー、スクリュー、ダンプの実排出量など</p> <p>・トライアル計測の層別沈下量が限りなく小さくなるように切羽圧を設定し、その切羽圧で掘進するためにスクリュー回転数を調整して排土を行っていく、排土された土砂はベルトスケール、スキャンセンサーにより排土重量や排土量が確認でき、その関係性をグラフにして管理することで、取り込み過ぎ等のトラブル発生を早期に発見できる。</p>																																																																								
K	<p>・切羽圧管理：切羽の泥水圧が低下しないよう、1)切羽圧保持装置を使用、2)送泥管に逆流防止弁を設置。</p> <p>・泥水比重管理：機械備え付けの比重計による測定のほかに、マッドバランスによる計測を併用。トラブル発生に備えて余剰泥水槽に高濃度泥水をストックするよう留意。</p>																																																																										
L	<p>■切羽圧の管理について（泥土圧シールドの場合）</p> <p>・掘削土を塑性流動化した泥土によって切羽を抑えながら掘進することが基本となる。したがって、掘進にあたり泥土圧、カッタートルク、添加材、排土の状況をシールドマシンオペレーターと担当職員が常時確認できる体制で施工を行っている。掘進時管理土圧および適正な泥土状態の判断基準を以下に示す。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>●掘進時管理土圧 <math>P = P_0 + (0.02 \sim 0.05 \text{MPa})</math> ※<math>P_0</math>：停止時のチャンパー内の泥土圧</li> <li>●適正な泥土状態 スランプ値の目安 SL=5~15 cm</li> </ul>	<p>■添加材の選定について（泥土圧シールドの場合）</p> <p>・掘削に先立ち、発進立坑の掘削土砂を採取して添加材の試験練りを行い、添加材の種類、配合、添加量を決定している。掘削中に排土状況、カッタートルクに大きな変化が発生した場合、添加材の種類・配合・添加量を再検討する。</p> <p>・掘進地盤が粘性の強い硬質粘性土に変化した場合、通常の粘性付与を目的とした添加材に替えて粘性低下材を使用することで改善させた事例がある。</p>	<p>■排土量の管理について（泥土圧シールドの場合）</p> <p>・シールド径、施工延長によって排土量の管理は異なる。</p> <p>・大口径、長距離の場合には、長尺ベルトコンベアを採用することが多く、ベルトスケール（ロードセル）で排土量を管理している。ベルトスケールでは掘削と計量のタイムラグがなく、掘削土量を高い精度で計測できる。</p> <p>・また、施工延長が数百mから1km程度の中小口径の場合には、土砂ビットから搬出される重量を計測し、土量に換算して排土量を求めているのが実態である。</p> <p>どちらの場合も、リング毎に取り込み量が超過していないか管理することが重要となる。</p>																																																																								
M	<p>【事例1-14】</p> <p>・切羽圧の管理は土圧計により標準的に実施した。</p> <p>・泥水式シールド工法であったが、事前の調査ボーリングに追加し、河川横断部の施工に際し、現地採取土による模擬地盤を作成し、泥水浸透試験を実施した上で泥水配合を決定した。</p> <p>・但し、想定外の礫の発生により閉塞を繰り返し、切羽圧が上昇する事により地表面に泥水が噴出した。（トラブル事例）</p>	<p>・透水係数の大きい地盤条件に対し、「逸泥対策用増粘剤」を配合した泥水を使用した。</p> <p>・上述した通り、想定外の礫の発生により排泥管、チャンパー内の閉塞を繰り返し、地表面に影響を及ぼした事から、掘進途中で下記の対策を講じた。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-排泥管のインチUP</li> <li>-シールド機の面板改造</li> <li>-シールド機から後方台車間に壊砕装置（ジョークラッシャー）を設置（後方台車にはロータリークラッシャーを設置）</li> </ul>	<p>・排土量の管理は標準的な、送排泥水の密度及び流量から掘進中の排土量を管理した。</p>																																																																								

## 2 - 2. 工夫事例

	①	②	③
整理 記号	切羽圧の管理として、どのような工夫を行っていますか。 泥水式の場合、泥水の比重管理にどのような工夫を行っていますか。 それぞれについて、特にトラブルが発生した際にはどのような対処を行っていますか。	地盤に適した添加材をどのように選定していますか。 発生土の性状が想定と違った場合などに、工夫を行った例はありませんか。	排土量の管理として、どのような工夫を行っていますか。 特にトラブルが発生した際にはどのような対処を行っていますか。
N	<p>■切羽圧の管理</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・通常は、事前のボーリングデータから最低、最高値を定めて送泥・排泥量を調節することで基準の切羽圧を管理する。オペレーターの人的ミス無くするために自動化運転とする。また、不足の事態(コンピューターエラー等)に備えて緊急圧抜き弁を設置する。</li> </ul> <p>■泥水の比重管理</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・基本的には自動計測とし、定期的に人的計測にて泥水比重管理を実施している。自動計測機には少し誤差がでるため、二つ設置して二つの平均値を採用している。また、定期的な人的計測にて自動計測機は補正を実施している。</li> </ul>	<p>■添加材の選定方法</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・過去の実績にもとに選定をしている。特に礫層においては、泥水の逸泥があるため、振動篩を通過する逸泥防止材を使用している。</li> </ul> <p>■発生土の性状が想定と違った場合の措置</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・発生土の性状が想定と違った場合は、特に工夫は実施していないが、オペレーターが泥水の調整をおこない切羽圧、排土量を管理しながら施工している。</li> </ul>	<p>■排土量の管理方法</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・排土量の管理方法は排泥量・送泥量としている。計測方法は流量計、密度計を使用して算出している。泥水比重管理と同様に機械誤差を無くするため計測機を複数台設置している。</li> </ul>
O	<ul style="list-style-type: none"> <li>・切羽圧に異常が発生した際は、現場関係者全員に携帯メール通知が送信され、Web上で管理画面を確認する事で遠隔監視している。泥水比重は機械(自動密度計)による常時計測と、人による比重・粘性・砂分測定を施工方毎に実施し、適正な泥水性状の維持と、機械の精度確認を実施している。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・掘削地盤を採取してテーブルテストを行い、最適な添加材・配合を選定する。掘進中も切羽圧の圧力分布・掘削土の性状を確認・見直しを行い、最適な状態を維持できる添加材を選定している。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・自社の土量統計管理システム内の自動判別により排土量の特異値の有無を管理している。また、土砂ピットの容量変化を人により計測し、システムとの整合を図っている。</li> </ul>
P	<p>【事例2-4】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・シールドの掘進中におけるチャンパー内圧力は、「静止土圧+水圧+変動圧」を上限、「主働土圧+水圧+変動圧」を下限として管理するのが一般的(変動圧は20~50kPa程度)。泥土圧シールドの場合は掘削ずりの適正な塑性流動化によりスクリーコンベヤからの噴発防止を、泥水シールドの場合は泥水の比重調整により排泥管の閉塞防止を図ることで、チャンパー内圧力が不安定にならないようにする。なお、小土被りかつ軟弱な地盤で施工を行う際は、シールドの通過に伴う地盤沈下の防止を目的としてチャンパー内圧力を高めに設定するケースが多いが、高压で切羽に送った添加材が地中を逸走し、車道の亀裂等から噴出する可能性があるため注意が必要。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・泥土圧シールドにおける添加材(作泥土材)は、無機系に分類されるベントナイトが標準的に使用される。また、近年は高分子系の材料や気泡が用いられることもあり、後者は消泡すれば発生土として処分できるという利点がある。但し、いずれの材料も礫分が多い地盤では逸泥が生じるおそれがあり、適宜粘土等を追加して逸泥防止を図る。また、粘性の強い地盤では、添加材によって逆に泥土の取込みが困難になる場合があるため、状況に応じて添加材の濃度を薄くする等の対策を取る。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・排土量の管理方法は排土方式によって異なる。ずり鋼車方式であれば、鋼車の上端から積載土砂の表面までの下がり測定したり、鋼車の重量を測定する等して排土量を算定する。また、ベルトコンベヤ方式であれば形状計測センサーによる排土形状の測定を、圧送方式であれば流量測定や排土ポンプのポンピング回数の測定を行い、排土量を計算する。いずれの方式においても、2種類以上の排土量管理方法を用い、かつリアルタイム性を重視して排土量を算出し、計画排土量との差異を常時監視することが、周辺地盤の変状を未然に防ぐための基本的な対策となる。</li> </ul>
Q	<p>【事例1-16】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・基本的には、「主働土圧+水圧+20kPa(予備圧)」と「静止土圧+水圧+20kPa(予備圧)」の範囲で管理している。泥水比重に関しては、1.1~1.2程度にしているが、特に崩壊しやすい緩い砂層や砂礫層等では、泥水の粘性に重点を置いている。ファンネル粘性のほか降伏値(イーロード・バリュー)やろ過試験機を使用してろ水量を測定する場合もある。</li> </ul> <ul style="list-style-type: none"> <li>・トラブルが発生した場合は、泥水性状の確認し、ベントナイトや増粘剤、目詰め材等の変更も行う。泥水圧に関しては、地表面変位等の関係から、最適な管理圧を設定する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・泥水の場合、逸水がないか、粘性が管理値以内になっているかで判断し、適正な添加剤を選定する。</li> <li>・土圧の場合、スクリーから出てくる掘削土砂の性状を確認し、適正な添加剤を選定する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・泥水式シールドに関しては、送泥量と排泥量の差が掘削土量なのでその値を常に管理する。ただし、逸水と取り込み過ぎが同時に起こった場合、この差だけでは管理できないので、乾砂量についても管理する必要があり、1リングでどの程度泥水量が減ったかも確認する。</li> <li>・土圧式シールドに関しては、排土の重量と体積の両方で管理する。また、排土の比重や含水比も定期的に測定する。</li> <li>・排土量の取り込みが多い傾向となった場合は、シールド機前面より可塑状充填剤の注入やマシン通過後の裏込注入量を増やすことで対処する。</li> </ul>
R	<p>【事例1-17】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・切羽の圧力は、主働土圧+0.02MPa~静止土圧+0.02MPaの範囲で管理を行った。切羽圧力は、管理値内となるよう切羽圧力計の値を基に送泥ポンプを自動制御した。</li> <li>・泥水比重は、地山の密度を参考に下限値を1.17とする管理を行い、毎リング掘進開始時と途中の2回計測を行った。管理値を外れた場合は、ただちに泥水調整を行った。自動作泥プラントを設置して常時良好な泥水を作泥、ストックすることで、速やかな泥水調整を可能とした。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・シールド路線において事前の土質調査を行い、シールド掘削深度の試料を採取。掘削地盤の変化部がある場合(設計図書から読み取り)は、その都度、試料を採取する。その試料を用いて添加材の配合試験を行い、掘削土砂の塑性流動性を確保する最適な添加材の配合及び注入量を計画している。</li> <li>・予期せず土質が変化した場合は、排土の性状を確認したうえで、事前の配合試験を基に添加材を変更する。排土の性状確認は、職員が毎日切羽に行くたびに行うとともに、WEBカメラで中央制御室でも常時監視している。</li> </ul>	<p>【事例1-17】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・排土量は、排泥管に設置した電磁流量計と密度計より算出し、リアルタイムで表示し、過去20リングの平均土量±20%の範囲を管理値とした。管理値逸脱の可能性がある場合、前もって切羽圧力を上げるなどの処置を行い、排土量を管理値内に収めた。</li> </ul>
S	<p>【事例1-1】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・調整槽からの送泥比重については、マッドバランスで人為的高精度に測定する。また、差圧式密度計によりリアルタイムの計測も併用。</li> <li>・切羽保持には泥水比重だけでなく、泥膜形成性が重要であり、API規格のろ過試験で脱水量を計測し、切羽での逸泥がなく泥膜形成により切羽拘束圧を確実に作用できる泥水品質としている。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・泥土圧シールドにおける切羽添加材は、ボーリング採取した掘削対象土から断面比率で調整し、チャンパ内土砂を厳密に再現し、切羽添加材試験を行う。塑性流動性の評価を、ペーンゼン断試験、ミニスランプ試験等で定量的に評価し、切羽添加材の種別、注入率等を決定する。特に、気泡材を使用する場合は、これらに加え、加圧下での気泡添加試験を行い、消泡度合いが低く、塑性流動性をできるだけ長期に渡り発揮できる気泡材料、発泡倍率、注入率を決定する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・泥水式シールドの場合は、掘削乾砂量で管理、泥土圧シールドで土砂圧送の場合は、流量計と密度計から掘削体積と掘削重量を管理、コンベア輸送の場合は、ベルトスケールとバルクスキャンから掘削重量と掘削体積を管理、必要に応じて実測排土比重からの検証を行う。</li> </ul>



## 2－2．工夫事例

	①	②	③
整理 記号	切羽圧の管理として、どのような工夫を行っていますか。 泥水式の場合、泥水の比重管理にどのような工夫を行っていますか。 それぞれについて、特にトラブルが発生した際にはどのような対処を行っていますか。	地盤に適した添加材をどのように選定していますか。 発生土の性状が想定と違った場合などに、工夫を行った例はありませんか。	排土量の管理として、どのような工夫を行っていますか。 特にトラブルが発生した際にはどのような対処を行っていますか。
T	<ul style="list-style-type: none"> <li>土圧計を確認し、排土量の調整を行い、切羽圧を適正に保った。</li> <li>今回は、泥土圧式シールドの為、泥水の比重管理は、行わなかった。</li> <li>特にトラブルは、無かった。</li> </ul> <p>・チャンパー内の土圧は掘進速度とスクリーコンベア回転数により制御されるため、圧力の変動を抑えるためにその掘進速度とコンベア回転数を適性値に保つよう管理した。具体的には掘削土砂の流動性及び止水性を確保するよう適切な添加剤の注入を実施した。</p> <p>■泥土圧</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>チャンパー内を完全に塑性流動化させ、ゲートを（100％）開けて排土可能な状況を作ることを何よりも最優先する。これにより、スクリーの回転によってのみ排土可能となり、取込み量を詳細に制御し、切羽土圧の安定化につながる。</li> <li>周辺地山との関係性をより把握するために、土圧計を増設する。前胴上部に天井土圧計を標準装備とし、同時裏込めの場合はテル土圧計も追加する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>立坑掘削時に原位置での試料採取を行い、試験練りの結果、添加剤の種類、量を選定した。特に性状の変化はなかった。</li> <li>通常掘削土砂が塑性流動化するためには30％以上の細粒分含有率が必要とされている。細粒分の少ない地盤では添加剤の配合を見直し、場合によっては止水性を確保する目的で高分子吸収剤の注入も実施した。また、切羽での土砂閉塞、チャンパー内の付着に対して水、分散剤、液状加泥剤の注入を行った。</li> <li>対象地山が透水係数の大きな場合などには、配合を即座に変更で来るよう、添加剤設備を坑内（後続台車）に設置する。これにより、例えば糞発気味になった場合は、水をベントナイト溶液に変更したり、高分子の割合を上げるなどの対応が素早くできる。（地上からの配管内添加材が置き換わるタイムラグが無い）</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ズリ台車による掘削土の運搬だったので、搬出台数による数量管理を行った。掘削量、排土量のバランスを確認し、トラブル等はなかった。</li> <li>当該シールドは土砂スキップ（ずり缶）によって搬出する。土砂スキップの重量を測定することで取り込土量の判定を行った。</li> </ul> <p>■コンベア排土の場合</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>クレーンスケールによる重量計測と、ズリ鋼車上部からのレーザー照射による容積計測を合わせて行うことにより、地下水に影響を受けない排土量管理を行った。</li> </ul> <p>■圧送ポンプの場合</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>電磁流量計を設置し、排土量管理を行った。</li> </ul>
U	<p>【事例2-3】</p> <p>■泥土圧</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>チャンパー内土圧計の増設、及びチャンパー内に曲げセンサーを数か所設置することにより、チャンパー内に取り込まれた土砂の圧力分布・塑性流動性を精度よく把握して切羽圧力値の設定、加泥材添加量にフィードバックしている。</li> </ul> <p>【事例1-4】</p> <p>■泥水式</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>泥水切羽圧は、初期設定圧（主動土圧、緩み土圧＋水圧＋変動圧）に対して、実掘削時の偏差流量、乾砂量、残土排出量等から地山に適した切羽水圧にフィードバックして設定することが多い。また、泥水比重は基本的に送排泥管に設置した密度計と、調整槽における泥水採取による比重計測で把握している。管理については、送泥水の比重だけでなく、粘性（ファンネル・YV）、砂分、濾水量、PH等を地質特性に合わせて管理値を決めて管理している。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>シールド掘進前に、ボーリングサンプル、及び立坑掘削残土等を使用し、室内テーブル試験によって、最適な加泥・添加材を選定するようにしている。また、想定と違った場合は、その都度掘削土のサンプリングから試験を行い修正している。</li> </ul>	<p>■泥土圧</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>以下の土量計測を行い、リアルタイムか即時に切羽圧力、加泥材注入量、掘進パラメータにフィードバックしている。ズリ鋼車による土砂運搬の場合： <ol style="list-style-type: none"> <li>超音波センサーでズリ鋼車内の土砂の高さを自動計測し、容量を把握する。</li> <li>ベルコンで流れてくる土砂を3Dスキャナで連続計測し土量容積を把握する。</li> <li>ベルコンに重量計測装置を装備するか、ズリ鋼車自体にロードセルを装備するか、立坑部で楊重時にクレーンスケールで重量計測を行い、比重計測と共に容積を把握する。</li> </ol> </li> <li>土砂圧送による土砂運搬の場合： <ol style="list-style-type: none"> <li>γ密度計、流量計による比重、容積計測により把握する。</li> <li>土砂圧送ポンプの打設回数を記録して流量を把握する。</li> </ol> </li> </ul> <p>後方流体輸送（ハイブリット）の場合：</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>γ密度計、流量計による比重、容積計測により把握する。</li> </ol> <p>■泥水式</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>各種密度計、流量計等による比重、流量計測により、偏差流量、乾砂量を自動計算し、過掘りがないかリアルタイムに確認しながら掘進制御している。</li> </ul> <p>■トラブル発生時（計算上過掘り、取込み過ぎが確認された場合）</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>シールド前胴部から可塑状充填材の注入、裏込注入の増量、補足裏込注入の実施、地上部の監視強化を実施。</li> </ul>
V	<ul style="list-style-type: none"> <li>事前に各ボーリング地点の土質定数から掘進管理土圧を想定しておく。（上限値：静止土圧＋水圧＋変動圧、下限値：主動土圧＋水圧＋変動圧）</li> <li>実際の施工の切羽圧管理は、シールド機停止時にチャンパー内に設置した土圧計で切羽土圧を計測し、切羽土圧±20～30kPa程度の管理目標幅を定めて掘進の制御を行う。</li> <li>掘進の制御方法は下記のとおり。（スクリーウコンベアの回転数の制御、スクリーウゲートの開度の制御、シールドジャッキの掘進速度の制御）</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>地盤に適した添加材は、各ボーリング地点の土質データから添加材を選定し、実績や掘削する土砂を用いた事前試験を踏まえて決定する。その際、排土の塑性流動化だけでなく、チャンパーやスリットの固着防止効果や、噴発対処効果などを考慮する。</li> <li>発生土の性状が想定と違った場合は、排土状況を確認して、配合や注入量の修正、添加材の変更等を行う。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>土圧シールドにおいては、チャンパー内の掘削土をスクリーウコンベアで排出し、ズリ鋼車またはポンプ圧送により排土する。</li> <li>ズリ鋼車の場合は、排土を目視できるため、クレーンスケールで鋼車の重量を計測する方法や、土砂の載ったベルトコンベア上にセンサーを取り付け、通過した排土重量を計測して排土量の管理を行う。</li> <li>ポンプ圧送は、配管内が見えないため、センサーにより流量を計測する。</li> </ul>
W	<ul style="list-style-type: none"> <li>自然水圧の切羽圧で管理。特別な工夫は行っていない。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>事前に土質等を確認し選定。特別な工夫は行っていない。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>掘進量と排泥量の確認。特別な工夫は行っていない。</li> </ul>
X	<ul style="list-style-type: none"> <li>泥水式の場合、切羽泥水圧の設定値は、下式を基準に設定している。 切羽泥水圧力＝地下圧力＋Δp（20kPa程度）</li> <li>沈下量、掘削土量、偏差流量の値あるいはその変動状況などに基づいて切羽泥水圧を見直している。</li> <li>泥水の比重・粘性については地山状況により決定しているが、逸泥量の変動に基づき見直している。</li> <li>泥土圧シールドの場合、土圧の設定値は下式を基準に設定している。 切羽土圧＝静止土圧＋Δp（20kPa程度）</li> <li>沈下量、掘削土量あるいはその変動状況などに基づいて切羽土圧を見直している。</li> <li>泥土圧シールドの土圧計は掘削径に合わせ、数、位置を検討し設置している。</li> <li>トラブルの発生事例はなし。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>土質調査ボーリング結果(N値、均等係数、粒径等)及び土砂の排出条件により、ベントナイト、高分子系、気泡等の添加材を選定し、注入率を決定している。</li> <li>随時、スクリーウからの排土について、塑性流動化状況を確認し(触手、ミニスランプ試験等)、添加材種類、注入率を見直している。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>泥水式の場合、掘削土砂量、掘削乾砂量について、リング内、リング間グラフを基に計画量との比較、管理を行っている。リング間については管理図を使用し、管理している。</li> <li>泥土圧の場合、鋼車あるいは土砂ビットにより、リング毎の実掘削土砂量を計画量と比較管理している。ベルコンによる坑内輸送方式では重量計及び土量計(3Dスキャナー)を使用し、掘削土砂重量、掘削土砂量を測定している。リング間については管理図を使用し、管理している。</li> <li>閉塞等のトラブル発生時の中断中についても土砂量を把握し、取込み過多を防止している。</li> </ul>
Y	<p>【事例2-2】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>切羽圧は掘進停止時土圧＋0.02MPaで管理。</li> <li>掘進速度や土圧計の計測値に応じてスクリーコンベアの回転速度を自動制御する土圧制御方式を採用する場合もあるが、スクリーコンベアの回転速度の調整はオペレータの手動制御で行うのが実情である。</li> <li>泥水式シールドにおいて、透水性の高い砂層や砂礫層では、泥水の比重、粘性の管理に加え、ろ過水量、ケーキ厚、砂分量、pHの計測を行って泥膜の形成性を確認する。</li> <li>泥土圧シールドにおけるトラブル対処は「トラブルの概要様式」に記載</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>発進立坑掘削時に採取した原位置土を用い、添加剤の配合試験を実施して添加材を選定する。</li> <li>砂礫層の掘進で排土性状が液状となり、掘削土砂の噴発、推力上昇、カッタートルク上昇、掘進速度低下が生じた際、適正な排土性状を得るまで添加材の変更を続けた。以下に添加材変更の経緯を示す。 高吸水性樹脂→水溶性高分子→ ベントナイト＋高分子凝集材→鉱物系添加材＋ケイ酸→鉱物系添加材＋ケイ酸＋気泡</li> </ul>	<p>【事例2-6】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>泥土圧シールドの排土量管理では容積管理と重量管理を併用し、トンネル口径の制約が無い限り、リアルタイムに近い排土量計測を行う。</li> <li>重量計測値から体積換算する際には掘削土砂の比重設定が重要となるため、定期的に比重測定を行う。</li> <li>排土性状は目視、手触りのほか、スランプ試験により定量的に管理する。</li> <li>一般の排土量計測のほか、スクリーコンベア回転数、土砂ビット容量、残土搬出ダンプ数、トラックスケールによる重量計測等を併用し、過大な土砂取り込みを把握。 トラブル対処は「トラブルの概要様式」に記載</li> </ul>
Z	<ul style="list-style-type: none"> <li>静止土圧±20MPを基準に管理しています。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>バインダー分30％以上の地山に対して粘性土の性状によって注水しても混練性が悪く配管等が閉塞する可能性あったので高分子（凝集系）加泥材を使用している。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>排土率100％±10％の管理をしている。土量の管理方法としては自動計測装置及び人力により運搬台車重量測定で管理している。</li> </ul>

## 2－2．工夫事例

	④	⑤	⑥
整理 記号	掘進停止中または掘進再開時にどのような工夫を行っていますか。 カッターが回転不能になった場合、どのような対処を行いましたか。	市街地直下での施工にあたり、掘進に伴って発生する地上部での騒音や振動に対してどのような工夫を行っていますか。	施工管理における安全性向上や周辺環境対策の観点から導入した新技術を紹介して下さい。（直近10年程度）
A	作泥材を送り切羽の土圧を維持させている。	<b>【事例2-22】</b> ・ある程度の騒音や振動の発生は防ぐことはできないので、夜間の掘進時間を協議し施工をおこなった。	・特になし。
B	<p><b>【事例2-14】</b></p> <p>■泥土圧シールドにおいて</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>掘進停止中は、日当たり1回程度の頻度でカッターを回転させてチャンパー内の掘削土砂を攪拌し、分離、沈降を防止する。切羽の緩みを防止するために排土は行わない。</li> <li>掘進停止中は、バルクヘッドに装備した油圧シリンダー（圧力変動抑制装置）によりチャンパー内の掘削土砂の加減圧を行い、切羽土圧の変動に対応する。</li> <li>段取替えなど長期間の掘進停止時は、チャンパー内の掘削土砂を高粘性可塑状充填材に置き換え、分離、沈降を防止する。また、シールド機外周に高粘性可塑状充填材を注入し、胴締めや付着による異常な推力上昇を防止する。</li> <li>掘進再開時は、切羽およびチャンパー内に添加材を注入しながらカッターを回転させて、カッタートルクや土圧分布が安定し、塑性流動性を確認した後に掘進を開始する。</li> <li>掘進再開時は、必要に応じて高分子系添加材をスクリュウコンベヤーに注入し、排土口からの噴発を防止する。</li> <li>カッタースポークやチャンパーの閉塞により推力やトルクに過負荷が作用する場合は、あらかじめバルクヘッドに装備する洗浄用バルブより削孔し、超高压水噴流で閉塞を除去する。</li> </ul> <p>■泥水シールドにおいて</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>掘進停止中は、切羽保持装置を経由する別系統の送泥ラインを解放し、切羽圧を自動的に保持する。</li> <li>崩壊性の高い地盤や逸泥量の多い地盤での掘進停止時には、事前に比重や粘性を高めた高濃度泥水を送泥する。特に逸泥量が多い場合は、増粘材や逸泥防止材をチャンパー内へ直接注入する。</li> <li>段取替えなど長期間の掘進停止時は、チャンパー内の泥水を高濃度泥水に置き換え、切羽の安定とチャンパー内の土粒子の沈降を防止する。特に崩壊性の高い地盤では、チャンパー内を高粘性可塑状充填材に置き換える。</li> <li>チャンパー排泥口付近のアジテーター装備を標準とし、掘進停止中に沈降する土粒子の攪拌および固結した土塊の破砕により、排泥口および排泥管の閉塞を防止する。</li> <li>掘進再開時は、カッターおよびアジテーターを回転してチャンパー内を十分に攪拌した後に、送泥を切羽に回して掘進を開始する。</li> <li>カッター面板の閉塞やチャンパー内の泥土の固着により推力やトルクに過負荷が作用する場合は、あらかじめバルクヘッドに装備する洗浄用バルブより挿管し、超高压水噴流で閉塞を除去する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>切羽の安定を確保したうえで、推力、トルク等のマシン負荷を必要最小限に低減し、円滑な掘進を維持する。泥水シールドおよび泥土圧シールドともに、閉塞を起こさない掘進管理を優先する。</li> <li>夜間におけるシールド坑内運搬を制限する。そのため、夜間施工分のセグメント貯留・搬送設備を後続台車区間に装備する。</li> <li>有害な影響が不可避である場合は、夜間の掘進を制限する。その場合は3交代制を執り、昼間は連続2交代で掘進作業を優先して促進し、夜間は配管・配線の延長やメンテナンス、内部構築等を集中して行うなど、工程ロスを極力低減する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>土圧せん断力計を用いたチャンパー内塑性流動性の可視化</li> <li>3次元CIMを用いた地質や近接構造物等のリアルタイム可視化</li> <li>デジタルツインによるセグメント組立作業の遠隔監視</li> <li>シールド坑内通信環境のWi-Fi化による情報伝達の迅速化および画像を用いた意思疎通の円滑化</li> <li>現場事務所および本・支店等の管理拠点におけるシールド掘進データの遠隔監視</li> <li>シールド機からの空洞探査（弾性波探査）</li> </ul> 亜炭塵坑の存在が懸念される工事に適用中。現段階では、掘進に伴う緩みや空洞の探査は対象としていない。
C	掘進停止中、定期的にかッターを回転させ、カッタートルクを確認する。カッタートルクが上昇する傾向がみられた場合は、カッターを回転させる頻度を増やす、添加材を注入して塑性流動性を確保する、といった対応をする。	・住民とのコミュニケーションをとる。シールド機の位置や振動計測の状況を確認してもらうなど、通過するまでの数日間、受忍してもらうよう理解を求める。状況によっては、夜間の掘進を中止する。	・シールド機の掘進に伴う振動を低減するアクティブ制振技術を開発した。
D	<p><b>【トラブル事例2-12、2-13】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>掘進停止中は、シールド機周囲のボイド沈下や付着抑制を目的として、可塑状充填材を注入する（チャンパー内にも同様に充填し、切羽を保持）。掘進再開時には、機械の試運転を行う。</li> <li>地山との付着・固結により、カッター回転不能の場合にはカッターモーターの能力増強を検討する。また、回転時の反力を得るために、シールド機胴体から、地盤内へスタビライザーを挿入することを検討する。</li> <li>カッタートルクの上昇による回転不能の場合は、掘進速度を低下させてカッタートルクを下げながら掘進する。また、カッター回転の正転、反転を行い、カッタートルクが低下するよう対応する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>シールド機と地山との摩擦が原因の振動については、シールド機周囲に縁切りの可塑状充填材等の注入による影響抑制を図る。</li> <li>地上部の振動と切羽における振動の相関を計測結果から計算して、掘進速度やカッター回転数の調整等で地上部の振動を制御する工夫を行った事例がある。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>シールド掘進位置を地上でリアルタイムに確認できるシステムを構築（地図ソフトと連携）し、地上の監視に利用した。監視には、一般的な路面沈下計測に加えて、現在掘進中のシールド機面板の直上を計測し、沈下傾向を把握した。さらに、路面沈下計測の結果をリアルタイムにシールド機運転室や中央管理室に表示し、掘進管理に反映させた。</li> </ul>



## 2-2. 工夫事例

	④	⑤	⑥
整理 記号	掘進停止中または掘進再開時にどのような工夫を行っていますか。 カッターが回転不能になった場合、どのような対処を行いましたか。	市街地直下での施工にあたり、掘進に伴って発生する地上部での騒音や振動に対してどのような工夫を行っていますか。	施工管理における安全性向上や周辺環境対策の観点から導入した新技術を紹介して下さい。（直近10年程度）
E	<p>・トラブル事例に記載</p> <p>【トラブル事例】</p> <p>掘進停止中は土圧下降がないか確認し、下降がみられる場合は可塑性泥しょう材を注入した。再開時は、加泥材の十分な注入と攪拌による塑性流動化を確認の上、掘進開始した。</p> <p>【発生状況】</p> <p>親子シールド（φ4.55⇒2.75m）の子機で鉄道高架下部分を通過中、突如カッタートルク上昇したため、掘進停止した。鉄道会社で旧構造物等の確認したところ、旧橋台の基礎杭（H300、L=7.2m、18本）が残置されていることが判明した。基礎杭については高架への影響防止矢板・計測管理を実施したうえで、深礎及び低空安全旋回機にて支障となる11本を切断、除去を実施した。良質土で埋め戻し後、地上観測を実施ながら再掘進した。</p>	<p>・シールドマシンでの対応は現在のところ困難である。施工時間帯を変則的にして対応する。</p>	<p>・防音ハウス内天井クレーン走行騒音低減（ウレタン車輪）</p> <p>・基地内バックホウ下部の低振動材の採用（D-BOX等）</p> <p>・坑内の連絡通信環境のWifi化（坑内どこでも連絡可能）</p> <p>・掘進管理システムの一元化（管理室）による情報管理</p>
F	<p>・掘進停止が長期の場合、定期的なカッターの回転（チャンパー内の攪拌）と併せて切羽圧が作用するようにジャッキを張り直す。</p> <p>・掘進再開は、カッターを回転させ、各種計測値（カッター回転圧等）が十分安定したことを確認して行う。</p>	<p>・掘進においてシールドに過度な負荷が発生しないように、日常的に掘進状況を補正し、適切に管理する。（過度な負荷が騒音や振動につながりやすいと思われる。）</p>	<p>・CIMに準じ、シールド掘進管理データと、地盤や近接構造物の情報等を一元的に管理し、PC画面上に、認識すべき状況をリアルタイムに3次元図等で表示することで、現場職員の誤認の防止に努めている。</p>
G	<p>【事例2-16】</p> <p>■掘進停止中または掘進再開時の工夫</p> <p>・掘進停止中に切羽土圧の低下を避けるために、泥水式の場合では送泥の自動添加装備の配備、粘性の高い充填材をチャンパー内への加泥を実施し、切羽の安定を第一に優先する。掘進再開時も切羽の安定を同様である。</p> <p>■カッターが回転不能になった場合の対処</p> <p>・カッター回転不能の原因追及が第一である。マシン異常、切羽の崩壊もしくは支障物の遭遇の原因追及から今後の対処方法を立案する。切羽崩壊（細砂の取り込みによる礫のチャンパーへの落ち込み）によるものは充填材の追加注入、切羽前方、上方への薬液注入等の地盤改良も実施する。</p>	<p>■掘進に伴って発生する地上部での騒音や振動削減の工夫</p> <p>・低土被りの礫地盤掘削では、どうしても振動発生抑制は困難である。そのため、昼間限定、変則2交代（早朝～0時迄等）で掘進する時間で対処しているのが現状である。また、住民に振動が発生する期間の事前通知、終了時期を明確に伝達して個別対処が最も有効と考える（個人によって振動の感じやすさが異なるため）。</p>	<p>・切羽の状態を職員、作業員ともに認識を一致させるうえで、切羽圧管理の可視化技術を導入している。</p> <p>・切羽の状態、掘進管理や指示書、地表面の状況等を職員、協力会社の職長等に迅速かつ数値で伝達、共有するために、ipad等を使用した情報伝達機能を強化している。</p>
H	<p>【事例1-11】</p> <p>・長期掘進停止時には、泥水の逸泥や分離が生じない材料への置換（泥水式）、チャンパー内土砂の分離が生じないような添加材の使用（泥土圧）により、逸泥・逸水・チャンパー内の土砂沈降等を防止する。</p> <p>・掘進再開時には、安定した掘削状態となるまで掘進速度を上げすぎず、低負荷での掘進となるように管理する。</p> <p>・カッタ負荷が上昇する傾向が続いた場合、添加材の種類・配合を見直し、回転不能になる事態を回避する。</p> <p>・岩盤シールドで破碎した礫によりチャンパー・排泥系統が閉塞した事例：風化礫岩層を掘進するためローラカッタを装備していたが、巨礫遭遇時に、チャンパー内、排泥系統で礫による閉塞が頻発した。シールド掘進ルート上で路面変状がみられたため、舗装を撤去したところ舗装下に空洞が発見された。空洞箇所ボーリング調査を行ったところ、局所的に軟弱層が確認された。閉塞による切羽圧の変動により軟弱層がゆるみ、空洞が発生したものと考えられる。</p> <p>・地盤中に支障物（金属片等）が出現し、排泥管が閉塞した事例： 埋立地盤を泥水シールドで掘進中に金属片等の支障物が出現して排泥管がたびたび閉塞した。</p>	<p>・シールド機の掘進によって生じる騒音、振動は対応が難しい。</p> <p>・騒音・振動の原因および対応</p> <p>(1)カッタにより地盤（特に礫や岩盤）を切削する際にカッタが鉱物に接触する：対応は難しい。</p> <p>(2)シールド機スキンプレートが地山に締め付けられる：(対応)シールド機スキンプレート廻りに滑材を注入し、摩擦を低減。適切な切羽圧を保持し、地山がゆるまないようにする。掘進速度を調整(遅くする)。</p> <p>(3)セグメントとシールド機（後胴内側）がせる。：(対応)シールド機の姿勢にあわせてセグメントを組むように配置する（適切な線形管理）。</p>	<p>・合成開口レーダー(GB-SAR)による地表面変位測定技術。立入り制限地直下のシールド工事において、地上設置型の合成開口レーダ（GB-SAR）を用いて、常時地表面計測を行い、その有用性を確認した。</p>

## 2－2．工夫事例

	④	⑤	⑥
整理記号	掘進停止中または掘進再開時にどのような工夫を行っていますか。 カッターが回転不能になった場合、どのような対処を行いましたか。	市街地直下での施工にあたり、掘進に伴って発生する地上部での騒音や振動に対してどのような工夫を行っていますか。	施工管理における安全性向上や周辺環境対策の観点から導入した新技術を紹介して下さい。（直近10年程度）
	<p><b>【事例1-7、1-10、2-8、2-9、2-11】</b></p> <p><b>■掘進停止中、再開時の工夫</b></p> <p><b>【泥水式シールド】</b></p> <p>(1) 泥水式シールドの停止時においては、泥水自動供給、切羽圧自動制御による切羽保持を行う。</p> <p>(2) 泥水式シールドにおいて掘進停止が長期間に及ぶ場合は、逸泥を抑制し切羽圧を安定させるために、高濃度、高粘性の泥水をチャンバーに充填する。</p> <p>(3) シールド機の締め付け防止対策として高分子剤等により胴体注入を行う。</p> <p>(4) 泥水シールドの長期停止後の発進時は、チャンバー下半に土砂堆積の可能性があることから、予備管を用いたバイパス運転など慎重に切羽バイパスを行う。この際、土量計測データをリングデータに含めて掘削土と一体で管理する。</p> <p><b>【泥土圧シールド】</b></p> <p>(5) 泥土圧シールドでは、一般的に停止時の切羽圧制御装置を装備しないが、大断面で周辺環境への影響が懸念されるケースでは、泥水式シールドと同様にベントナイト加泥材等の供給により、所定の切羽圧を保持する対策を実施する。</p> <p>(6) 泥土圧シールドにおいて、掘進停止が長期間に及ぶ場合は、チャンバー内の土砂の分離・沈降を抑制し切羽圧を安定させるために、高比重、高粘性の泥土でチャンバーに充填する。</p> <p>(7) シールド機の締め付け防止対策として高分子剤等により胴体注入を行う。</p> <p>(8) 掘進再開時においては、チャンバー内の高比重、高粘性または沈降した泥土を段階的にベントナイト加泥材等で置換することで、カッター回転の負荷を低減してシールド機の始動を行う。</p> <p><b>■カッター回転不能になった場合の対処</b></p> <p><b>【事前計画、シールド機設計段階の対策】</b></p> <p>(1) 前述の通り、シールド工事においては、工事着手前に地質状況や周辺構造物の情報を十分に確認した上で、あらゆる視点からリスク分析を行い、そのリスク対策を計画段階から予め準備しておく必要がある。シールド機械の性能や工法選定に不備があった場合、施工段階ではリカバリーできないことに十分留意する必要がある。</p> <p>(2) シールド機の設計においては、地盤条件を十分に考慮して、泥土圧シールド機の土砂閉塞によるカッター回転不能や、泥水式シールド機の礫や粘土塊の閉塞による掘進不能を発生させない計画、機械設計を行わなければならない。</p> <p>(3) 泥土圧シールド機では、カッタースポークの前面抵抗や回転抵抗を少なくする構造形式を選定し、攪拌翼及び添加材注入孔はカッター回転を効率化させる配置が求められる。大深度、長距離対応のために寸法の大きなビット交換装置などをカッターに搭載する場合は、それ自体がカッター回転時に受ける抵抗力を考慮した検討が必要である。</p> <p>(4) 泥水式シールド機では、巨礫や固結粘性土の排泥管閉塞による掘進不能や、粘性土層での面板またはチャンバーへの粘土固着による掘進不能などが考えられる。前者の対策としては予備排泥管の増設や開口制御板の設置などがあり、後者に対しては高压洗浄ラインの装備などの対策がある。</p> <p><b>【回転不能となった事後の処置】</b></p> <p>(5) 当社では泥土圧シールド工事でのカッター回転不能の事例はないが、泥土圧シールド機におけるカッター回転不能の事象として、チャンバー内土砂が圧密状態で閉塞した場合の対処方法を想定する。この場合、切羽圧の低下と土砂の過取込みを防ぐことが最も重要である。切羽圧を地山の土水圧以上に保持した上で、流動性、粘性の高い材料を段階的に添加しながら、スクリーコンベヤを低速で回転させてチャンバー内の土砂を排出し置換する方法が考えられる。この場合、チャンバー内全体の体積の数％程度以下を1サイクルとして置換することが良いと考えられる。</p> <p>(6) 泥水式シールド工事では、地中残置物（鋼管井戸）により排泥管が閉塞して一時的に掘進不能となった事例がある。この対処に際して、切羽水圧を大きく変動させず切羽圧を一定範囲内に保持すること、また、地山の崩壊状態及び地表面の異常の有無を入念に監視、計測することを行った。解除方法としては、良質泥水への置換、予備排泥管の併用、地山探査装置による観察などを行いながら慎重に掘進を継続し、支障物を排出することに成功した。また、閉塞区間をシールド機が通過する際に、裏込め注入を圧力管理にて追加充填したことで、地表面への影響は生じなかった。</p>	<p>・シールド機の掘進に伴う振動の発生原因として、以下の事象が考えられる。</p> <p>－カッター本体の回転音による騒音・振動・地山切削に伴う騒音・振動</p> <p>－シールド機通過時の地山接触、摩擦による振動</p> <p>－支障物や立坑部の直接切削壁の切削による騒音・振動支障物や直接切削壁を除いて、過去のいくつかの工事事例では、シールド機の地山接触、摩擦による振動が発現している事例がある。以下に振動対策（工夫）について記述する。</p> <p><b>【対策1】</b></p> <p>・シールド機胴体注入による摩擦の低減 土砂と鋼板を接触、回転させながら回転抵抗と振動を計測する小型実験装置を製作して、室内実験によりベントナイト加泥材や滑剤を緩衝材として適用した場合の振動抑制効果を確認する実験を実施した。その結果、緩衝材の使用効果が確認されたことから、φ16mとφ11mの大断面シールド機で試験的に胴体注入を実施し、シールド掘進時の振動測定を行い確認中である。</p> <p><b>【対策2】</b></p> <p>・シールド機の姿勢制御による振動防止 硬質地盤を大断面シールドが通過する際には、周辺地盤からの締め付けによる摩擦力やシールド機の方向修正に伴う地山との接触（せり）が発生する。これらの摩擦や接触（せり）が振動源となる可能性があり、その振動源としてのエネルギーは、シールド機の体積や重量に比例して大きくなる可能性がある。したがって、シールド機の方向制御において、蛇行修正を最小化することで、掘削断面をシールド機の全長が正確に通過することとなり、振動発生 の抑制に繋がると考えられる。今後、姿勢制御と振動の関係についても検証が必要だと思われる。</p> <p><b>【対策3】</b></p> <p>・シールド機の掘進速度制御による振動低減 シールド機掘進中にシールド機と地山の接触による振動が発生している状況において、掘進速度を低下することで振動は低下する。振動計測結果に合わせて、掘進速度を調整することは最も確実な対策ではあるが、工程の大幅な延長に繋がることから、掘進速度と振動の関係についても検証が必要だと思われる。</p>	<p>安全性向上や周辺対策の新技術として下記技術を紹介する。</p> <p>(1) 地山崩壊探査装置（超音波式/電磁波レーダー/貫入式）</p> <p>・シールド機前胴部の地山崩壊状況を探査または連続的に計測することで、速やかに胴体注入や裏込め注入の追加等の地盤変状対策を実施する。</p> <p>(2) 連続ベルトコンベア計測・管理システム</p> <p>・ベルコンの重量測定と合わせて、ベルコン上の土砂体積を連続的に計測する。</p> <p>(3) ズリ鋼車の土砂体積計測システム</p> <p>・中小口径の泥土圧シールド工法でズリ鋼車による土砂搬出を行う際、迅速かつ正確に体積測定を行う。</p> <p>(4) 部分バドル式スクリーコンベヤ</p> <p>・泥土圧シールドの礫層や高水圧が作用する現場で奮発が懸念される場面において、スクリーコンベヤ内で高分子剤等の止水材を効率的に攪拌混合する。</p> <p>(5) 支障物接触判定システム</p> <p>・カッタービットに振動計を内蔵し、支障物や巨礫に遭遇した場合に瞬時に接触を判別し、シールド機の損傷や地盤変状を防止する。</p> <p>(6) 全地盤対応型起泡剤</p> <p>・緻密化した気泡により疎水性を向上させた特殊起泡剤であり、粘性土から細粒含有率の少ない砂礫層まで幅広い土質に適用でき、高水圧下の施工にも対応可能。</p> <p>(7) 高度型気泡注入システム</p> <p>・気泡注入の圧力および量を任意に調整できるように、従来の設備に複数台の専用スクイーズポンプを追加するとともに、発泡装置より切羽側に点検窓を設置することで、発泡状態を目視確認できるようにしたものである。これにより、大断面や大深度の気泡シールドで問題となる、気泡と作用土水圧との圧力差に伴う切羽圧の低下を抑制するとともに、施工ミスによるトラブルを防止する。</p> <p>(8) チャンバー内塑性流動性可視化技術</p> <p>・シールド機カッターに配置する攪拌翼、固定翼に、それぞれ正・反転各1台の圧力計を設置して、チャンバー内の土砂の硬軟から、塑性流動状態を把握する技術である。複数箇所の攪拌翼および固定翼に圧力計を配置し、カッター回転時の抵抗となる土圧をプロットすることで、チャンバー全体の可視化が可能となる。</p> <p>(9) 機械式ビット交換工法</p> <p>・シールド機のバルクヘッドに伸縮可能な可動式マンホールを配置し、これをカッター背面に接合して機内とカッターを連続空間にして、可動式マンホールからビット交換を行う工法。大口径シールドはもとより、カッター内に人が入ることが難しい中小口径シールドにも適用可能である。</p> <p>(10) シールド施工関連情報の管理・共有システム</p> <p>・シールド工事の施工管理状況を可視化するもので、現在のシールド機の掘進位置、掘削対象土質等の情報をクラウドを介して共有することが可能である。</p> <p>(11) シールド総合診断システム</p> <p>・シールド工事の掘進管理に必要となる情報を一画面で統合的に監視するためのシステムである。アラート機能によりトラブルの予兆を段階的に警告し、対処方法をリストアップして提示することで、トラブルの発生を防止することが可能となる。</p>

## 2-2. 工夫事例

整理 記号	④	⑤	⑥
I	掘進停止中または掘進再開時にどのような工夫を行っていますか。 カッターが回転不能になった場合、どのような対処を行いましたか。	市街地直下での施工にあたり、掘進に伴って発生する地上部での騒音や振動に対してどのような工夫を行っていますか。	施工管理における安全性向上や周辺環境対策の観点から導入した新技術を紹介して下さい。（直近10年程度）
J	<p><b>【事例2-1】</b></p> <p>・切羽圧の自動保持(地山崩壊防止)、定期的にカッターの回転と掘進による地盤とマシンの縁切り実施(カッター回転不能、掘進不能防止)、外周充填材による地盤との縁切り、掘進の停止の原因で考えられる事象(過去に経験有り:別紙記載)として、シールドジャッキ総推力の過大、カッタートルクの過大、カッターモーター温度異常等がある。総推力の過大についてはシールド機の周辺摩擦や切羽圧の影響が考えられ外周充填材による摩擦低減や切羽圧を下げて対応することがある。カッタートルクの過大についてもチャンパー閉塞の恐れからトルクが下がるまでの間、切羽圧を下げて対応することがある。また、総推力やトルクの過大が長く続くことで停止、再開が繰り返され、モーター温度の異常が発生する悪循環を引き起こしてしまうため、切羽圧を下げて早期に解決しようという傾向があると思われる。</p>	<p>・立坑と資材ヤードからの揚重作業、プラントの稼働に伴う騒音等に対し、防音ハウスや防音壁で対応している。設置前後に騒音計測(音源と発生条件)し、効果確認を行っている。</p> <p>・振動は、再発進時のマシンジャッキの油圧操作を緩やかに行うようにすることで発進時の大きな振動に対し低減を図った。また、掘進途中でジャッキの受替え(ジャッキを外して、突き直す)を行うことで低減効果があった。</p> <p>・計測管理と地元説明、問合せへの個別対応を行っている。</p>	<p>・ETCを活用したシールド発生土運搬管理</p> <p>①出入場・計量管理をETCとトラックスケールにより完全自動化</p> <p>②上記記録による manifests のリアルタイム処理(交付、自動集計・登録)</p> <p>③GPSにより走行経路・渋滞状況の把握、経路外走行車両への警告他による車両運行管理</p> <p>残土搬出に関する管理が大幅に軽減され、円滑な運行(輸送量確保)に繋がった。</p>
K	<p><b>【事例1-12】</b></p> <p>・掘進途中で他工事に発進立坑を4ヶ月ほど明け渡すために工事を中断した。その間、週に3回程度、流体輸送及びカッター回転を実施し、1~2cm掘進させた。</p> <p>・巨礫による排泥設備閉塞のため掘進を停止、チャンパー内に薬液を注入、止水を行ったうえで排泥管内の巨礫を除去し、次にチャンパー内に高圧水を噴射させ巨礫を除去した。</p>	<p>・施工を行う前と、シールド掘進中に、騒音、振動を測定し両者の比較を行った。</p>	<p>・発進立坑内にカメラを設置しインターネットを介してどこでもいつでも作業状況を監視できるようにした。このカメラ画像に対してAIによって、機械との接触、吊り荷下への侵入などの不安全行動を検出するシステムを試験的に導入した。</p>
L	<p>■掘進再開時の措置(泥土圧シールドの場合)</p> <p>・通常、掘進再開は以下の手順で行っている。</p> <p>・チャンパー内の泥土圧が停止時の泥土圧より低下していないことを確認し、次にカッターを回転させて起動トルクを確認する。シールド機を微速で作動させ掘進管理土圧域に達したら、掘進速度を徐々にあげ、添加材の注入を確認し、スクリーコンベアを作動して排土する。適切な泥土圧を維持しておくため、スクリーコンベアの作動は最後に行う。</p> <p><b>【事例1-8】</b></p> <p>・掘進中に障害物(H型钢)に接触したトラブル事例を別紙「トラブルの概要」に示す。</p>	<p>■振動対策について</p> <p>・N値30以上の硬質地盤で、粗砂・小礫が卓越した地盤において振動が発生することが多い。カッタービットによる地山切削時の振動と礫等の破碎による振動が直接地山に伝播するためと考えられる。</p> <p>・この際は、掘進速度を抑えると共に滑剤をシールド機外周面に注入する。状況によっては地域住民に配慮し、夜間、深夜の掘進を避ける。</p>	<p>■人工衛星(SAR衛星)による地盤変状測量(実施予定)</p> <p>・シールド掘進に伴う路面変状を広範囲かつ詳細に把握するため、通常実施されている人によるレベル測量に加えて、人工衛星(SAR衛星)を用いた測量を行う。</p> <p>・シールド通過による影響を長期間、少ない労力で計測が可能となることが期待される。</p>
M	<p>・掘進停止中及び長期休憩時にはチャンパー内に可塑状充填材を充填し泥水の逸水により切羽圧の低下を防止した。</p>		<p>・掘進中はシールド機前端部より可塑状充填材を注入し掘進する事でシールド機通過時の地表面沈下を抑制した。</p>

## 2-2. 工夫事例

	④	⑤	⑥
整理記号	掘進停止中または掘進再開時にどのような工夫を行っていますか。 カッターが回転不能になった場合、どのような対処を行いましたか。	市街地直下での施工にあたり、掘進に伴って発生する地上部での騒音や振動に対してどのような工夫を行っていますか。	施工管理における安全性向上や周辺環境対策の観点から導入した新技術を紹介して下さい。（直近10年程度）
N	<p>■掘進が停止、再開時</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>掘進再開するときに、カッターが回転不能にならないように毎日2回カッターを回転させ、カッタートルクの異常がない確認をした。</li> </ul> <p>■カッター回転不能となった場合の対処</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>シールドマシン外周に地盤改良を実施して、マシンに内部から高圧水にて地盤との縁切りを実施しカッター回転不能を回避した。</li> </ul>	<p>■地下部での騒音振動について</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>市街地付近の施工では、地上道路にてシールド掘進箇所の騒音・振動調査を実施した。そこで、基準値を超えている箇所はなかったが、地元の方からの情報もあり昼間の施工のみとして夜間施工を中止した。</li> </ul>	特になし。
O	<ul style="list-style-type: none"> <li>掘進停止中、カッターを定期的に回転して回転不能防止を図っている。停止が長期にわたる場合は可塑性の添加材をチャンパー内およびシールド機外周に注入し、沈降・付着・締付け防止を行い、再掘進時の地山への影響低減を図っている。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>住民へのお知らせチラシ配布や進捗状況掲示等による情報提供を通して、住民の意見・問い合わせなどから現況を把握し、適切に対処できる体制を整えている。状況により掘進速度の抑制、シールド機外周への添加材注入等の緩和策を実施。また、掘進時間帯の変更など住民の理解を得られる打開策の協議を実施。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ICTを活用した中央管理室での一元集中管理、遠隔監視による異常事態への迅速な対応と情報共有体制の構築。</li> <li>地表面の鉛直変位を自動追尾TSシステムで常時計測監視。</li> <li>電磁波地中レーダ方式による路面下の空洞調査。</li> <li>デジタルサイネージ利用による情報発信力、伝達力強化。</li> </ul>
P	<p>【事例1-13、2-4】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>シールドが掘進停止に陥る原因として、排土機構の閉塞（閉塞物の多くが礫や支障物）、シールドとセグメントの競り等による計画推力の超過、支障物との遭遇やチャンパー内土砂の固結等によるカッターの回転不能（カッタートルクの急増）、掘進線形不良、機械設備の故障等が挙げられる。掘進停止中は、バックング防止材の設置と余掘り充填を行い、切羽や周辺の地盤を緩ませないように対策を講じる必要がある。また、長期間の掘進停止を行った場合、シールドが周囲の地盤により胴締めを受けていることが多いため、掘進再開時は微速で前進して周囲の摩擦を切る「縁切り掘進」を行う。</li> <li>なお、カッターが回転不能となった場合には、支障物との接触が原因であればその支障物を地上から撤去し、チャンパー内土砂の固結が原因であれば固結物をほぐしながら除去する。後者については、切羽部を覆う薬液注入ゾーンを形成したり、圧気を行う等して切羽の崩壊を防ぎつつ、チャンパー内での高圧泥水の噴射や、作業員による人力掘削で固結物をほぐす。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>シールドの掘削に伴う騒音や振動は、市街地の浅い深度にはあまり分布していない礫地盤や固結地盤で発生することが多い。深い地盤で発生した騒音や振動は地上まで伝達されることはほとんどないが、稀に杭基礎等を介して地上の建物まで振動が及ぶケースがある。このような場合、夜間工事を避けて片番のみで施工を行うのが最も一般的な対策であり、それでも解決が困難な場合は、掘進速度および推力を落としてカッタートルクの低減を図る（チャンパー内圧力を低下させないよう留意する）。</li> <li>なお、市街地には旧建造物の基礎杭等が残置されているケースがあり、浅い深度の掘進ではこうした支障物の存在に気付かずに接触し、想定外の騒音・振動を引き起こしてしまうことがある。この対策として、古地図や試掘による調査を行って事前に支障物の有無を確認し、支障物が存在する場合には、シールドが当該位置に到達する前に撤去しておくこと等が考えられる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>急曲線施工ではコピーカッターの使用により余掘り量が増え、周辺地盤が緩みやすくなるため、余掘り充填材を充填して地盤の安定化を図った事例が数多くある。</li> </ul>
Q	<p>■掘進停止中</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>泥水の場合、切羽圧保持装置により切羽圧管理を行い、逸水量が多い場合は、粘性がある泥水に置き換える。</li> <li>土圧の場合、停止前に可塑状充填剤を充填する。</li> <li>泥水、土圧ともに、掘進再開までのシールド機の定期的な保守運転が必要で、カッターは数日に一度回転させる。またカッターを回転させることによりチャンパー内の土砂の沈降や分離を 방지、切羽の安定を図る。</li> </ul> <p>■カッター回転不能の場合</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>巨礫が出現し、シールド機攪拌棒とスクリューに挟まり、カッター回転不能となった場合等は、シールド機前面、薬液注入を行った後、チャンパー内に入り、カッター回転に干渉していた攪拌棒、スクリューの変形を処置したのち、掘進を再開したことがある。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>泥水では一次処理機にエアーダンパーを設置し、騒音・振動対策を行う。また、低周波対策用の防音ハウスで囲う。</li> <li>天井クレーンの走行時の振動・騒音対策として、走行車輪をウレタン車輪とし、走行レールを使用せず平滑な鋼材上を走行させる。</li> <li>土砂積み込みのバックホウの振動・騒音対策として、キャタピラを鉄製でなく、ゴムキャタピラを使用する。</li> </ul>	<p>■発進立坑の用地の小面積化</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>発進立坑用地が省面積化できるとともにコスト縮減、環境負荷低減にも寄与する。</li> </ul> <p>■シールド前方の探知システム</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>シールド前方に存在する既設構造物（管渠、マンホール、杭等）や障害物（残置杭、シートパイル、H型鋼等）の探知やマシン前面の土質の判別が可能。</li> </ul> <p>■掘進停止時の裏込め材の自動注入システム</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>掘進停止時の裏込め注入材の圧力を保持することで裏込め注入材の圧密による地山の緩みを防止し、地盤沈下を抑制する。</li> </ul>
R	<p>【事例1-17】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>掘進停止中は、専用バルブの自動開閉により切羽圧力を管理値内に維持した。また、休工日前は掘進停止中にチャンパー内の掘削土砂の沈降や切羽の崩落が生じないようにチャンパー内を粘性が高い泥水に置き換えた。掘進再開時は、掘進再開前にチャンパー内の泥水を循環して、土砂の沈降や切羽の崩落などによる排土量の急激な上昇がないことを確認した。上記対策により、掘進再開時にカッターが回転不能となるトラブルはなかった。</li> </ul> <p>■トラブル発生時の掘進管理状況</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>施工場所は、過去の大地震により液状化現象が発生した場所であるため、空隙はその際に発生した可能性がある。</li> <li>但し、空隙が発生した箇所は、細砂が固結した塊が出現し、排泥管に引っかかり閉塞が頻発した。閉塞により切羽圧が瞬間的に変動することで地山にゆるみが生じ、空洞が発生した可能性もある。</li> <li>排泥管閉塞時は、直ちに送排泥を停止することで、泥水が地上に噴発することもなく空隙も最小限にとどめることができた。</li> <li>排泥管閉塞は、通常のシールド工事においても頻繁に発生するが、陥没につながる事例は稀である。本工事は、近隣シールド工事で陥没が発生するような非常にゆるみやすい地山で土被りも浅いため、排泥管閉塞による切羽圧の変動が空洞の発生につながったと考えられる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>沿道に1週間程度のピッチで工事進捗状況を配布するとともに、シールド掘進による騒音、振動が発生する可能性があることを事前に予告し、騒音、振動が発生してもシールド通過後（3日間前後）で騒音振動が消えることを説明する。</li> <li>騒音、振動が大きい場合は、沿道の意向に従い施工時間を調整して、深夜の施工を無くす。</li> </ul> <p>&lt;施工時間調整例：1方目：7:00～15:00、2方目：15:00～22:00&gt;</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>シールド坑内の危険箇所や安全通路に高照度LED帯ライト（NETIS：KK-210028-A）を取付け、注意喚起を実施した。</li> <li>立坑用地における防音ハウス設置前の期間において、周辺への騒音低減対策として、防音壁を設置した。</li> </ul>
S	<p>【事例1-9】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>掘進停止中は切羽泥水圧保持機構（泥水式）、泥土圧の場合は、必要に応じて中間充填材をチャンパー内上部に注入する。カッタ回転不能となった場合は、その原因を究明し、土砂の沈降が原因であれば作泥材を注入しながらカッタをインチングすることで解消する。チャンパー内閉塞の場合は、バルクヘッドから固結土砂へボーリング削孔を行い、解膠材を高圧噴射することで固結閉塞を解除した後、インチングすることで解消する。決してシールドが停止した状態では排土は行わない。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>振動の発生源は、カッタによる地山の切削とシールド本体が地山との静止摩擦を切りながら推進するノッキングがあるが、前者にはカッタ回転速度、掘進速度を調整することでビット切込み量を少なくして振動発生を抑える。後者の場合は、シールド外周に摩擦低減材を注入し、静止摩擦を低減させる。いずれにしても、シールド振動計を装備し、地上で観測される振動との関係を把握する。</li> <li>騒音については、施工環境により希に坑内の音（軌道運搬車など）が地上でも測定されるが、その際は音の発生源を低減させる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>衛星により広範囲な地表面変状計測。</li> <li>膨大なシールドデータをバックグラウンドで解析することでトラブルの予兆を自動把握するシステム。</li> <li>チャンパー内塑性流動化可視化システム（泥土圧シールド）</li> <li>シールド機内からのビット交換システム（泥土圧シールド）</li> </ul>





## 2-2. 工夫事例

	④	⑤	⑥
整理 記号	掘進停止中または掘進再開時にどのような工夫を行っていますか。 カッターが回転不能になった場合、どのような対処を行いましたか。	市街地直下での施工にあたり、掘進に伴って発生する地上部での騒音や振動に対してどのような工夫を行っていますか。	施工管理における安全性向上や周辺環境対策の観点から導入した新技術を紹介して下さい。（直近10年程度）
T	<ul style="list-style-type: none"> <li>掘進停止中は、バックリング防止を行った。</li> <li>掘進再開時は、添加剤を先に注入し、掘進しないで、その場でカッターを回転させ、地山との縁切りを行ってから、掘進作業を行った。</li> </ul> <ul style="list-style-type: none"> <li>前述のとおり土砂閉塞、チャンパー内の付着に対して水、分散剤、液状加泥剤の注入で対応した。</li> </ul> <ul style="list-style-type: none"> <li>掘進停止の該当はないが、カッタ回転不能等の場合は隔壁温度チェックやグリス室（ベアリング、ピニオンギア、土砂シールに何かあった場合には異物混入）の点検を実施する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>特に無し。近隣からの問合せも無し。</li> </ul> <ul style="list-style-type: none"> <li>発信基地では、防音ハウスを設置し夜間工事を含めて防音対策とした。加えて発信基地に騒音計・振動計を取付、見える化して地元の信頼・安心対策を行った。掘進路線での対策は行っていない。</li> </ul> <ul style="list-style-type: none"> <li>急曲線部のレールきしみ音対策として、スプリンクラーによる散水</li> <li>変則夜勤（8～16時、16時～24時）とし、24時以降の作業を無くした。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>発達立坑直上部に国道橋梁部の桁が存在し、桁とクレーンブーム先端との接触防止を図るためレーザー照射による接触防止システムを設置した。</li> </ul> <ul style="list-style-type: none"> <li>シールド路線上に道路橋が近接していたため、掘進中に道路橋への影響の有無をリアルタイムで計測できる計測システムを実施した。</li> <li>具体的にはターゲットプリズムを道路橋に取付、自動追尾式三次元測量器で計測し、パソコンでデータ収集して管理値超過の場合には各担当者に警報メールが届くシステムを採用した。</li> <li>ICタグを用いた坑内移動体システムを導入、坑内を全てWi-Fi化し、バッテリーロコ含めどこに誰がいるの見える化した。（制御室で監視・管理）</li> <li>Wi-Fi化することにより、坑内のどこにいても地上職員と連絡が可能となり、タイムリーな施工管理に繋がった。（ローカルネットワーク内でのSNSもしくは情報共有ツールの運用）</li> </ul>
U	<ul style="list-style-type: none"> <li>■掘進停止中、再開時</li> <li>掘進停止中は、切羽圧力が低下、変動しないように泥土圧の場合は加泥材注入で、泥水の場合は送泥水の自動注入により切羽圧を保持する。</li> <li>シールドマシンが周囲の地山による締付で前進不能に至らないように、滑剤等をマシンから地山に注入する。</li> <li>チャンパー内土砂の流動性確保、居つき防止。</li> <li>マシン停止位置は事前に地盤改良等を行っておく。</li> <li>地上の変位監視を強化する。</li> </ul> <ul style="list-style-type: none"> <li>■カッター回転不能</li> <li>加泥材の増し注入、カッタートルクの変更、正転・反転の繰り返し</li> <li>数ミリ単位のパッキング（中折ジャッキ使用による）</li> <li>チャンパー内圧を加泥材で保持しつつ、スクリーコンベアでチャンパー内土砂の搬出を一定量ずつ行いカッター回転を試みる。</li> </ul>	<p><b>【事例2-23】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>シールドマシンと地山の摩擦による振動が想定される場合、シールドマシンから滑剤、可塑状充填材等の注入、オーバーカットを検討する。</li> <li>面板回転切削による振動の場合、加泥材による振動低減を検討する。</li> <li>坑内運搬車両による振動騒音の場合、枕木セグメント間に緩衝材を入れる、運行車両の速度制限を行う。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>気泡シールド工法においてシールド掘削中は緻密な気泡で切羽の安定を図り、掘削後の排出土は自然消泡性に優れた環境にやさしい起泡剤『環境8号』シリーズ(環境8号、環境8号R)を開発</li> <li>個別CO<sub>2</sub>削減技術</li> <li>①立坑クレーン電力回生システム：立坑クレーンがセグメントを降ろす際、巻き下げ時に発生する回生エネルギーを他の機械設備電源に再利用。（クレーン消費電力30%低減）</li> <li>②事務所太陽光発電システム</li> <li>③現場内風力式発電機</li> <li>④坑内LED照明</li> <li>⑤高圧薄層フィルタープレス：泥水シールドの場合、掘削土砂の脱水には「高圧薄層フィルタープレス」を導入し、脱水後に発生する汚泥（二次処理土）の量を削減し、搬出ダンプの使用燃料を削減。</li> </ul>
V	<p><b>【事例2-17】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>掘進停止時に各計器の数値をひかえておき、掘進再開時に数値の変化がない確認する。</li> <li>長期間掘進を停止する場合は、掘進再開時に掘進をスムーズに再開できるよう、下記のとおり対応する <ul style="list-style-type: none"> <li>シールド機面板を回転して縁切りする（2～3日に1回程度）。</li> <li>シールド機胴回りに滑剤を注入して地盤による締付けを防止する。</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>昼夜施工の掘進の場合、8:00～17:00、20:00～5:00の施工体制で作業を行うことが多いが、土被りが浅い場合や近隣住宅に近い施工箇所の場合、7:00～15:00、16:00～24:00等作業時間を変更して影響を低減する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>長距離掘進の場合、バッテリーカー運転手の居眠りによるヒューマンエラーを防止するために、一定時間バッテリーカーの操作が行われない場合、自動でバッテリーカーが停止する装置を装備する。</li> </ul>
W	<ul style="list-style-type: none"> <li>掘進再開時はカッタートルクの確認に留意。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>特別な工夫は行っていない。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>新技術の導入は行っていない。</li> </ul>
X	<ul style="list-style-type: none"> <li>泥水式の場合、地山状況に応じ、長期の掘進停止期間はチャンパー内泥水のゲル化及び切羽圧の変動防止を図っている。</li> <li>泥土圧の場合、切羽土圧低下時の添加材注入による切羽土圧保持とチャンパー内土砂の塑性流動化保持のため、定期的なカッター回転を実施している。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>泥土圧では騒音、振動の状況に応じて、シールド機からの滑材注入を検討、実施している。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>泥土圧シールドにおいて、切羽可視化システムの導入</li> <li>崩壊性地盤等において、切羽崩壊探査装置の導入</li> <li>軟弱地盤において、早硬性裏込材の使用</li> <li>急曲線部等において、余掘り充填材の使用</li> </ul>
Y	<p><b>【事例1-15、2-15】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>休日に入る前はセグメント組み上がりで掘進を停止し、緊急時に掘進をすぐに再開できる状態とする。</li> <li>長期休暇中は切羽圧力をWebで監視できるシステムを整える。</li> </ul> <p>トラブル対処は「トラブルの概要様式」に記載</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>発信基地から発生する騒音や岩盤等の硬質地盤掘削時にシールド機から発生する騒音・振動に対して近隣住民から苦情がある場合、変則2交代制の勤務体系をとり、深夜の作業を行わないようにした。例) 昼勤：6:00～14:30、夜勤：14:30～23:00</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>一般の路面沈下測量では、測量結果を掘進管理に反映させるまでにタイムラグが生じる。そこで、路面沈下測量にバーコード標尺（バーコードスタッフ）の目盛を自動で読み取る電子レベルを使用し、スマートフォンで自動計算した後に中央管理室に転送してグラフ表示するシステムを導入した。また、交通量の多い道路では、スタッフを使用するレベル測量では通行に支障を来す恐れがあるため、ノンプリズムトータルステーションを用いた同システムを導入した。測量結果を中央管理室に即座に表示できるため、掘進データとの関連付けが容易に行え、路面変状の原因究明と変状に応じた掘進管理値修正までのタイムラグが削減できる。</li> </ul>
Z	<ul style="list-style-type: none"> <li>掘削再開前、保全掘進として50mm 週2回程度行っています。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>防音ハウス内施工、夜間の材料搬入はしていない。</li> </ul>	

### 3. 検討会でのヒアリング結果

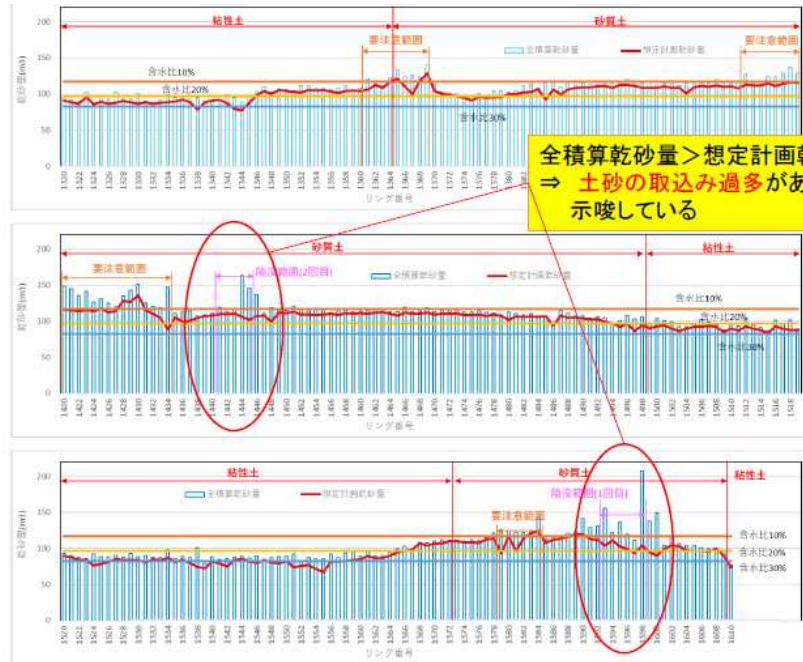
#### ヒアリング結果① 第1回検討会（令和3年9月28日）

#### ■相鉄・東急直通線新横浜トンネル工事現場付近での道路陥没について （（独）鉄道建設・運輸施設整備支援機構）

項目	内容
シールド概要	<p>泥水式シールド シールド径：φ9.7m 土被り：1 回目の陥没箇所 18m、2 回目の陥没箇所 19m 地下水位：記載なし（写真より地下水位が高いことが確認できる） 地質概要：（トンネル断面およびその上部）上総層砂質土層、粘性土層（泥岩層または土丹層）と両者の中間的な地層、またはそれらの互層 （上記の上部）地表面から 10m 以上の沖積層 地表部の土地利用：道路</p>
地表部への 予期せぬ影響	<p>1 回目：11m×8m×深さ 4m 程度の陥没 2 回目：7m×6m×深さ 2m 程度の陥没</p>
トラブル 発生状況	<p>・令和2年6月12日(金)14時30分頃 11m×8m×深さ 4m 程度の陥没が切羽の後方約 30m で発生 ・令和2年6月30日(火)5時30分頃 7m×6m×深さ 2m 程度の陥没が切羽の後方約 330m で発生</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>切羽の後方約30mで陥没発生</p>  <p>【1回目：令和2年6月12日発生】</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>切羽の後方約330mで陥没発生</p>  <p>【2回目：令和2年6月30日発生】</p> </div> </div>
トラブル対応	<p>■ 応急復旧 ・砂と碎石による埋戻し、仮舗装の実施。その後、陥没箇所周辺の空隙探査、探査ボーリング、充填注入、また、舗装下の路盤のセメント改良を実施。</p> <p>■ 地盤の再調査 ・トンネル掘削による地山への影響および陥没箇所の詳細な地質を把握するため、ボーリングによる地質調査を実施 （1 回目の陥没箇所：7 本、2 回目の陥没箇所：5 本） ・上総層の一部が圧縮されていた。 ・トンネル掘進範囲では、上部の上総層の N 値が下がっており、緩みが広がっていた。 ・トンネル側方では、トンネル直近でも、事前調査と同様に上総層は健全な状態であった。 ・充填注入を実施した箇所では、側方までは注入材は入っていなかった。</p> <p>■ 掘進データの再評価 ・掘削中のデータの分析結果からは、過剰な土砂の取込みがあった兆候はうかがえなかった。各リングにおける掘進停止時も含めた全工程の時系列データ（5秒ごと）の分析を実施。 →1 リングあたりの全積算乾砂量が、想定計画乾砂量を超えているリングが複数あることを確認した。送泥比重が低い状態が続いていることが確認された一方、排泥比重については、掘進停止時間においても高い状態となっている箇所</p>

が見受けられた。

【全積算乾砂量と想定計画乾砂量】



全積算乾砂量 > 想定計画乾砂量  
⇒ 土砂の取込み過多があったことを示唆している

注) 全積算乾砂量と想定計画乾砂量はⅡ排土量の計算例(1)泥水式シールド(本ガイドライン 38 ページ)に示す計算式により算定

トラブル発生要因

・複合的な要因によりシールドが土砂を過剰に取込み、空隙が形成されたことが原因と推定された。

■ステップ 1

- ・上総層は通常の状態では、N 値 50 以上の極めて安定した層であるが、砂質土層の拘束圧が解放されて地下水の浸透力を受けると流動性が高くなる。
- ・流動化しやすい砂質土層に対して、泥水密度が不十分な状態であった。
- ・掘削停止中または低速掘進時に、シールド上部の砂質土層が泥水に長時間さらされるとともに閉塞に伴う圧力変動を受けることにより不安定化し、天端部より砂質土層が流動的に切羽内に流入した。
- ・これによりシールド上部に空隙が発生した。
- ・シールド工法では、セグメントと地山との間隙に裏込め注入が行われるが、当該区間では空隙を埋めるまでの充填は行われなかった。

■ステップ 2

- ・シールドの停止中または低速掘進に伴い一部の区間において、天端の地山が崩壊して取込みすぎが発生したことにより、空隙が連続的に形成された。また、各リングでの追加裏込め注入を十分に実施して地盤内の空隙を確実に充填することは行われなかった。これにより、砂質土層上部の粘土質層(泥岩または土丹層)は支持を失い、上からの土圧に耐えられなくなり崩落した。

■ステップ 3

- ・さらにその上部の層も時間の経過とともに崩落し、シールド通過後ある程度の時間が経過した後に道路陥没が発生した。

再発防止対策

- ① 空隙を生じさせないための再発防止策を徹底する。
  - ・先行して追加ボーリング調査の実施による詳細な地質状況の把握
  - ・切羽土圧および泥水性状の適切な管理
  - ・各リングにおける全工程でのリアルタイムでかつ連続的な、土砂の過剰な取込みの有無の監視
  - ・裏込め注入の量および圧の適切な管理
- ② 土砂の取込み過ぎが疑われる箇所が認められれば、トンネル内から速やか




に再充填を実施する。

⇒令和 2 年 9 月 2 日に掘進再開し、再発防止策を確実に実施した結果、トラブル等が発生することなく令和 2 年 11 月 27 日新横浜駅に到達

※現在はマシン解体も完了し、軌道工事を実施中

## ヒアリング結果② 第1回検討会（令和3年9月28日）

### ■東京外かく環状道路工事現場付近での地表面陥没事故について（東日本高速道路(株)）

項目	内容
シールド概要	<p>泥土圧シールド（添加材は気泡材を使用）</p> <p>シールド径：φ16.1m</p> <p>&lt;地表面陥没事故発生箇所&gt;</p> <p>土被り：47m</p> <p>地下水位：GL-4m</p> <p>地質概要：</p> <p>（トンネル断面）細粒分が少なく（10%以下）、均等係数が小さい（5以下）であり未固結、あるいは固結度が低い砂質土の東久留米層で、礫層が卓越して介在</p> <p>（トンネル上部）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（表層）他の区間と比較して薄い地盤（厚さ5～10mの埋土・ローム層・武蔵野礫層）</p> <p>地表部の土地利用：住宅地、道路等</p>
地表部への予期せぬ影響	<p>地表面陥没および空洞</p>
トラブル発生状況	<ul style="list-style-type: none"> <li>令和2年8月26日より掘進時間を8:00～20:00に変更（振動の問合せ増加を踏まえた対応）</li> <li>9月8日1R目からカッター回転不能が頻発</li> <li>9月21日より土曜・祝日の掘進時間を8:00～18:00に変更（夜間の振動問合せ増加を踏まえた対応）</li> <li>10月18日（9月14日の切羽通過箇所）にシールドトンネル直上地表部において5m×3m程度、地中部において6m×5m程度、深さ約5m程度と推定される地表面陥没が発生</li> </ul>  <ul style="list-style-type: none"> <li>その後の陥没箇所周辺の調査において、同11月3日に空洞①（地表面からの空洞深度約5m、幅約4m×長さ約30m、厚さ約3m）、同11月21日に空洞②（地表面からの深度約4m、幅約3m×長さ約27m、厚さ約4m程度）、令和3年1月14日に空洞③（地表面からの深度約16m、幅約4m×長さ約10m、厚さ約4m程度）を確認</li> </ul>
トラブル対応	<p>■応急復旧</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>陥没箇所は令和2年10月18日から砂（約140m<sup>3</sup>）で埋戻し。</li> <li>空洞①は11月7日から流動化処理土および高流動材料（約600m<sup>3</sup>）で充填</li> <li>空洞②は11月23日から流動化処理土および高流動材料で充填（約200m<sup>3</sup>）</li> <li>空洞③は令和3年1月18日から高流動材料で充填（約90m<sup>3</sup>）</li> </ul> <p>■原因究明のための調査</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>①ボーリング調査（コアボーリング、標準貫入試験）、②陥没・空洞箇所の写真観察、③音響トモグラフィ、④微動アレイ探査、⑤地下水調査（水位、流向・流速計測、トレーサー試験、採取土砂XRD（X線解析）、XRF（蛍光X線解析）、地下水成分分析）、⑥人工物調査、⑦地歴調査、⑧気泡材混合土配合試験（ミニスランプ試験、ベーンせん断試験、簡易透水試験）、⑨落戸実験（重力場、遠心力場）を実施</li> </ul> <p>■施工データの評価</p>

- ・時系列データの分析からは掘削土の過剰取込みは確認されなかったため、詳細分析を実施
- ・事後的に行った地盤を再現した配合試験では、試験直後は塑性流動性、止水性が確保されていたものの、時間経過により土砂と気泡材が分離することを確認
- ・掘進再開時の閉塞解除の過程で局所的にチャンバー内の圧力が低下したことが確認
- ・チャンバー内の土圧勾配から推定されるチャンバー内掘削土の単位体積重量から掘進中の塑性流動性を評価したところ、塑性流動性の低下が発生していると推定される。このことから、閉塞解除作業が行われていた箇所付近から、気泡材が全量回収されず掘削土量を過少評価していたと推定
- ・事後的に行った落戸実験により、掘削土の過剰取込みにより、トンネル直上に煙突状の緩み領域が生じうることを確認

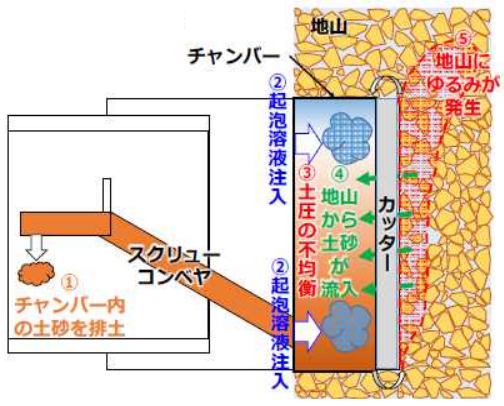
トラブル発生要因

地山の塑性流動性、止水性の確保が困難等の地盤条件下において行われたカッター回転不能と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・空洞事故の要因と推定

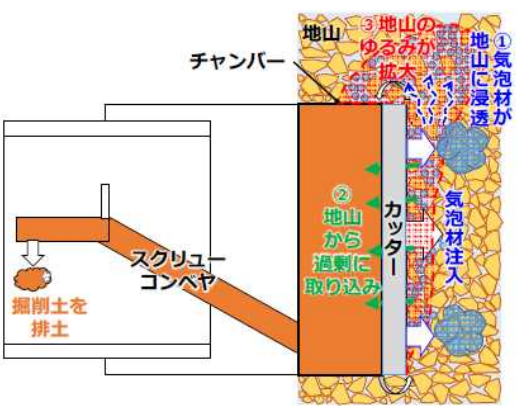
具体的には、閉塞に起因して、

- ・その解除を目的とした特別な作業を行う過程で、地山から土砂がシールドマシンに流入
- ・閉塞を解除した後の掘進時に、一部の気泡材が回収できず、掘削土量が過小に評価されていた

等により、掘削土を想定より過剰に取り込んでいたこと等が陥没・空洞の要因と推定され、施工に課題があった。





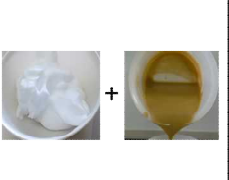


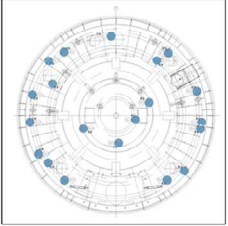
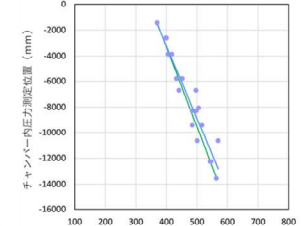
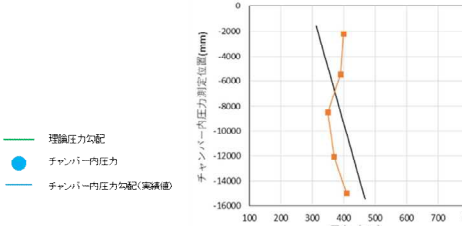


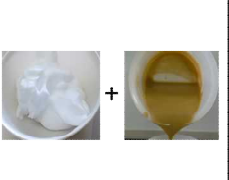




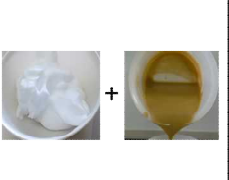


閉塞および閉塞を解除するための作業



閉塞解除後の掘進

## ヒアリング結果③ 第2回検討会（令和3年10月25日）

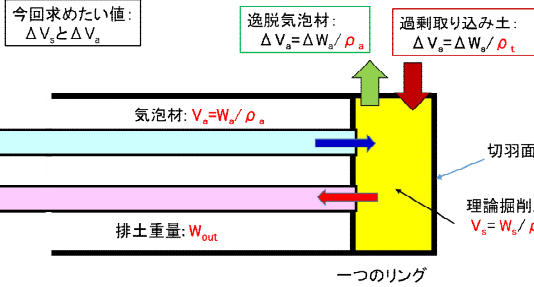
### ■東京外かく環状道路 具体的な再発防止対策の検討状況（東日本高速道路(株)）

項目	内容																				
シールド概要	ヒアリング結果①と同じ																				
再発防止対策	<p>■掘削土砂を分離・沈降させない、閉塞させない対応</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>一定時間にわたり掘削土砂の塑性流動性・止水性を確保</li> </ul> <p>■過剰な土砂取込みを生じさせない対応</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>切羽を緩めない対応</li> <li>添加材の未回収傾向を把握</li> <li>排土量管理の強化</li> </ul> <p>① シールド掘進地盤に適した添加材の選定等</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>細粒分が少なく均等係数が小さいなどの注意が必要な地盤については必要に応じて追加ボーリングを実施</li> <li>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</li> </ul> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>CASE-1</th> <th>CASE-2</th> <th>CASE-3</th> <th>CASE-4</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>添加材種別</td> <td>気泡材(標準配合)</td> <td>気泡材(高濃度配合)</td> <td>気泡材+鉱物系 (気泡材の助材として使用)</td> <td>鉱物系 (単体で使用)</td> </tr> <tr> <td>外観</td> <td></td> <td></td> <td> + </td> <td></td> </tr> <tr> <td>特徴</td> <td>標準的に使用を予定している気泡材</td> <td>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</td> <td>気泡材(高濃度配合)の添加と同時に、助材として鉱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</td> <td>鉱物系を主材として添加</td> </tr> </tbody> </table> <p>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</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>チャンバー内圧力勾配などをリアルタイムに監視</li> </ul> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>圧力計位置(参考例)</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>チャンバー内圧力勾配の確認</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>チャンバー内圧力勾配の直線性の確認</p> </div> </div> <ul style="list-style-type: none"> <li>手触・目視に加え、ミニスランプ試験や粒度分布などにより排土性状を確認</li> <li>適正なチャンバー内圧力の設定</li> </ul> <p>③ 排土量管理の強化</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>これまでの方法による排土量管理に加えて、より厳しい管理基準値の設定、および新しい管理項目として未回収気泡材を考慮した排土率の算定。             <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ リング毎の排土率によって掘削土量の理論値と実績値を比較する新たな指標を追加</li> <li>➤ 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</li> <li>➤ 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</li> </ul> </li> </ul>		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+鉱物系 (気泡材の助材として使用)	鉱物系 (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、助材として鉱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	鉱物系を主材として添加
	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+鉱物系 (気泡材の助材として使用)	鉱物系 (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、助材として鉱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	鉱物系を主材として添加																	

・掘削土量、排土率が管理基準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

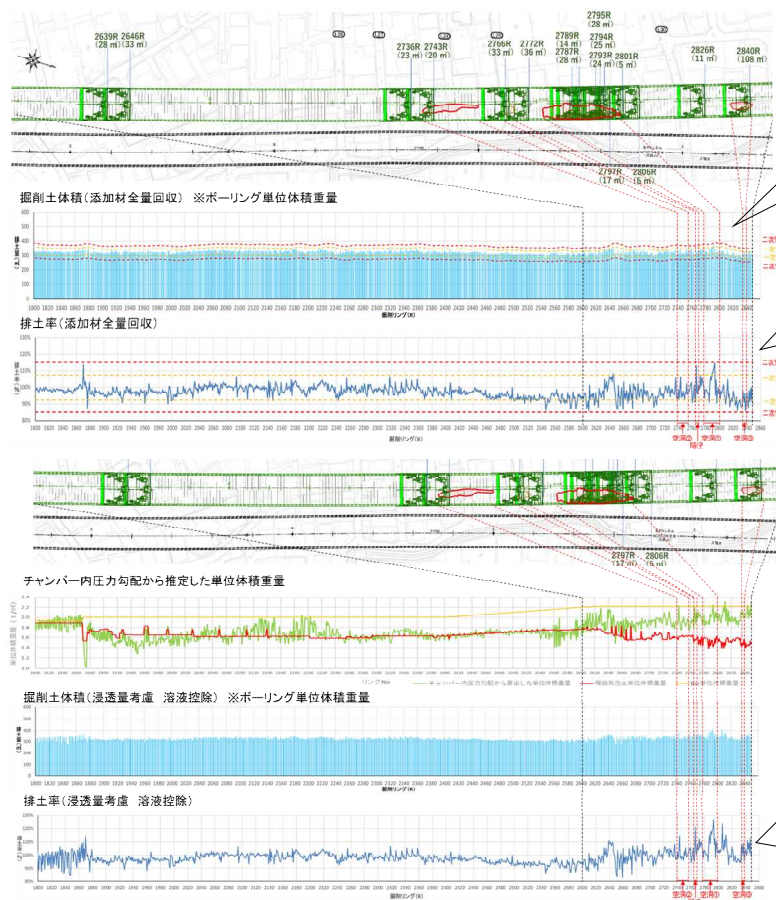
【チャンバー内圧力勾配による添加材の回収状況の推定例】

測定値、既知量は：  
 $V_a, W_a$ : 注入気泡材の体積と重量  
 $\rho_a$ : 気泡材密度  
 $V_s, W_s$ : 一リング内の土の体積と重量  
 $\rho_t$ : 地質調査による土密度  
 $\rho_{tc}$ : 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



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

$\Delta V_a$ : 気泡材浸透量,  $V_a$ : 気泡材注入量,  $W_{out}$ : ベルトスケール重量,  $W_s$ : 理論排土重量  
 $\rho_t$ : ボーリング単位体積重量,  $\rho_{tc}$ : チャンバ内圧力勾配による単位体積重量,  $\rho_a$ : 気泡材単位体積重量



当初の管理項目と管理値では異常の兆候を確認できなかった

新たに設定した管理項目 (排土率) と管理値では異常の兆候が確認可能

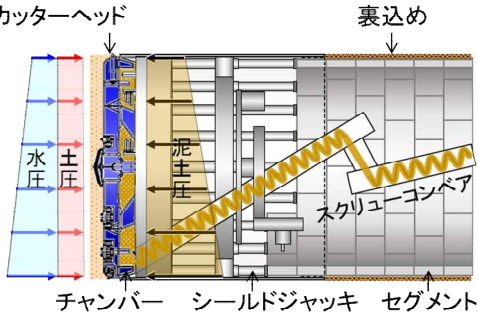
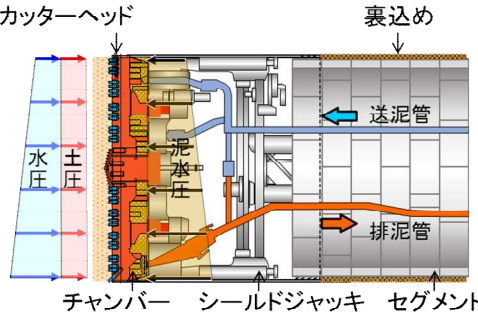
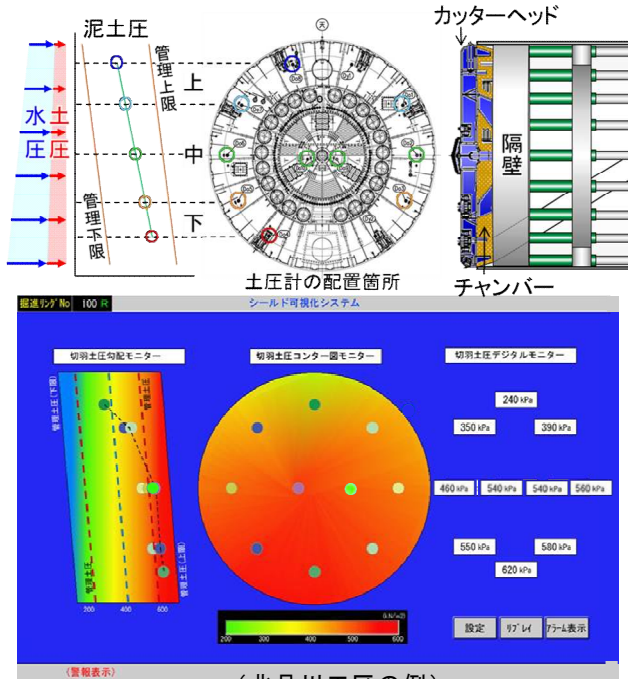
新たな管理項目 (排土率) にさらに添加材の回収状況を推定することにより、異常の兆候をより早期に確認できる可能性がある

	<ul style="list-style-type: none"> <li>■カッター回転不能（閉塞）時の対応</li> <li>・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</li> <li>・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</li> </ul>
<p>周辺の生活環境への配慮</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■振動・騒音対策</li> <li>・振動・騒音の緩和</li> <li>・振動・騒音のモニタリングの強化</li> <li>・一時滞在先の提供</li> <li>■地表面変状の確認</li> <li>・地表面変状の把握</li> <li>・掘進完了区間における巡回監視の強化</li> <li>■地域住民の方への情報提供</li> <li>・自治体と連携した路面下空洞調査の実施</li> <li>・シールドトンネル工事の掘進状況、モニタリング情報の提供</li> <li>■シールドマシン停止に伴う保全措置</li> <li>■「トンネル工事の安全・安心確保の取組み」の見直し</li> </ul>



ヒアリング結果④ 第2回検討会（令和3年10月25日）

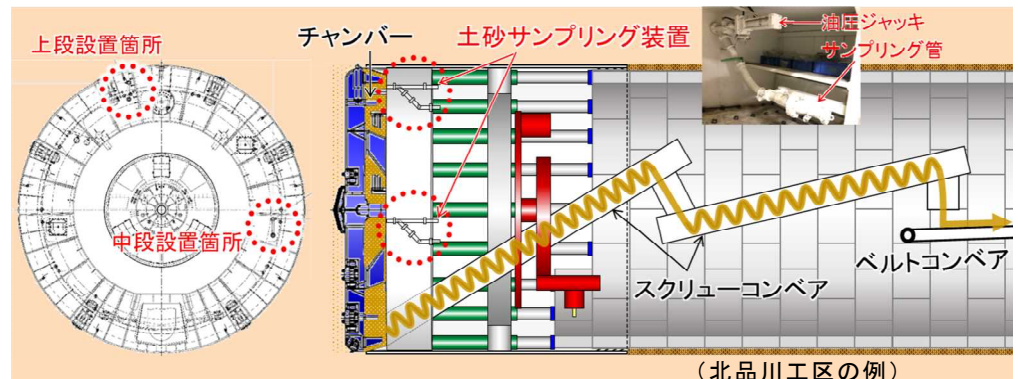
■中央新幹線シールドトンネルにおける安全・安心等の取組み（東海旅客鉄道（株））

項目	内容
<p>シールド概要</p>	<p>泥土圧シールド、泥水式シールド                      シールド径：約φ14m                      土被り：41m以上（大深度地下使用）</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>泥土圧シールド</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>泥水式シールド</p> </div> </div>
<p>工事をより安全に実施するための取組み</p>	<p>1. 泥土圧シールド掘進前)</p> <p>■添加材の適合性の確認</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・実物の土砂を用いて試験し添加材の種類や添加量等をより慎重に選定</li> <li>・配合は各工区の非常口の掘削土での調整に加えて、その他の非常口の土砂でも試験を実施し地盤への適合性を確認</li> <li>・一部の工区では追加ボーリングによる採取土での試験実施の場合も有り</li> </ul> <p>掘進中)</p> <p>■泥土圧の管理</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・チャンバー内の泥土圧を大断面による上部と下部の圧力の差や勾配にも着目し適正に管理することを徹底</li> </ul> <div style="text-align: center;">  <p>（北品川工区の例）</p> </div>



■ 泥土の性状の確認

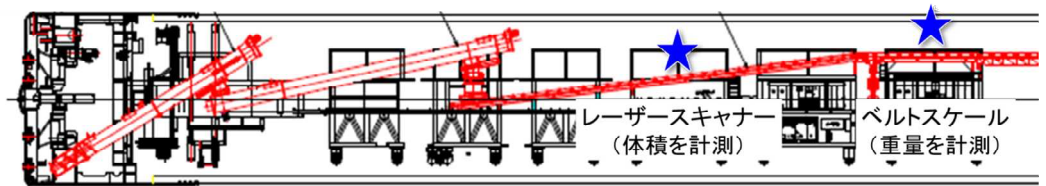
- ・ チャンバー内から泥土を採取しその性状を確認
- ・ 各工区のシールドに、チャンバーから泥土を直接採り出すことができる土砂サンプリング装置を搭載



泥土の性状の確認

■ 取込み量の管理の強化

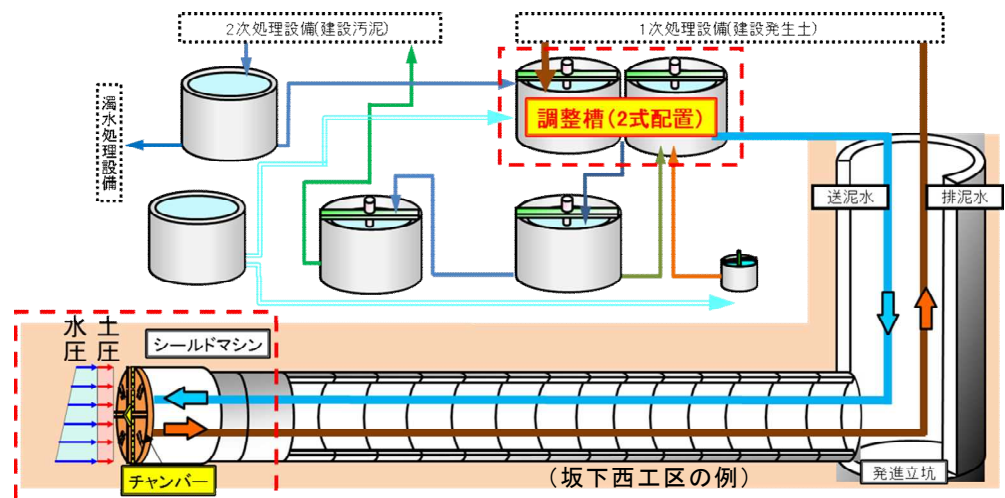
- ・ 掘削土の取り込み過剰の兆候をいち早く把握するために、設計上の掘削土量と実績との差を管理する基準値をより厳しく設定



2. 泥水式シールド

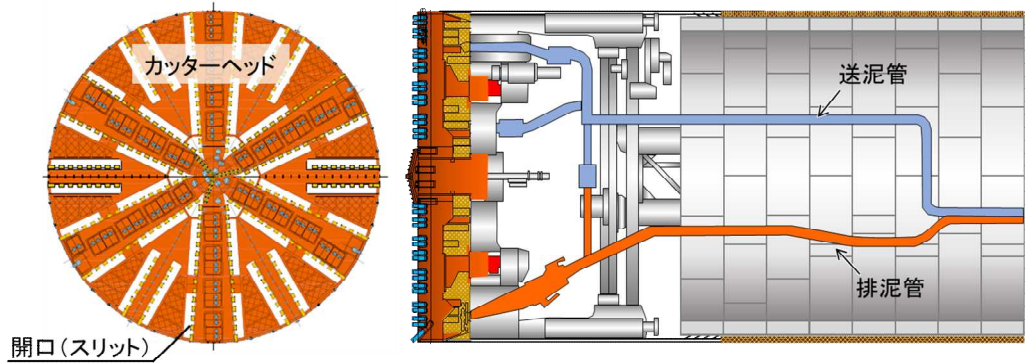
■ 切羽の安定確保

- ・ 調整槽を通常より多く（2式）配置し、品質調整された泥水を安定供給することにより切羽の安定を確保
- ・ シールドの長期停止時にチャンバー内の泥水を高濃度泥水などで充填することにより切羽の安定を確保



■ 排泥管の閉塞防止

- ・カッターヘッドの開口（スリット）の大きさと排泥管の径を適切に設定し、閉塞を防止



■ 掘削土の取込み量の管理

- ・取込み量をリアルタイムに複数の管理指標で管理することにより掘削土の過剰取込みを防止
- ・取込み量の管理基準値を厳しく設定

周辺の生活環境への配慮

■ 工事の安全を確認する取組み

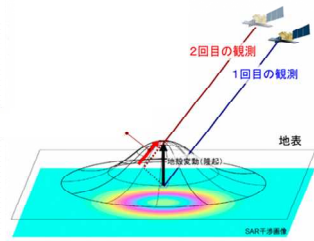
- ・地表面の高さの変化を計測
- ・周辺を巡回して監視



水準測量



巡回監視



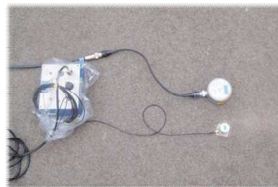
人工衛星による地表面変位計測

■ 生活環境の保全に関する取組み

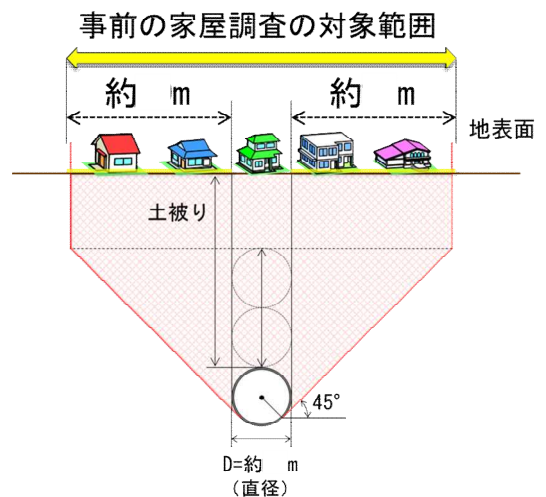
- ・振動・騒音への対策の実施
- ・事前の家屋調査の実施



振動測定(イメージ)



振動計の拡大図



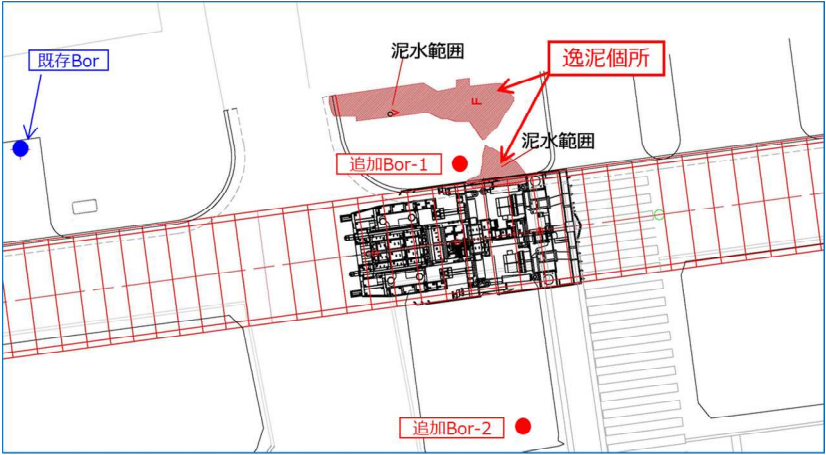
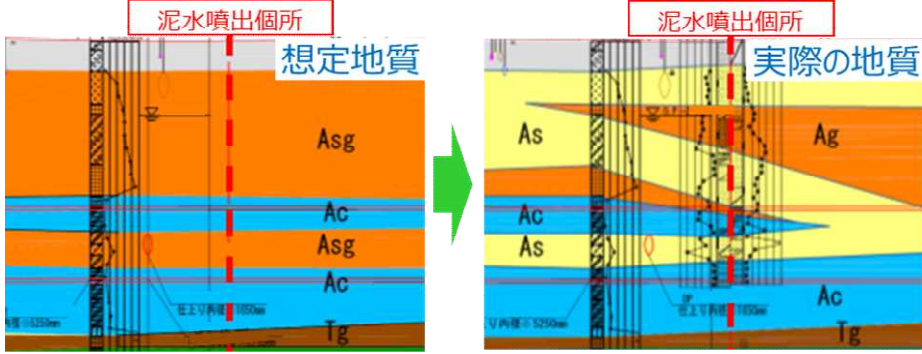
■ 工事情報を適時お知らせする取組み

- ・説明会や工事事務所での説明に加え、地元で説明する場を設定
- ・工事のお知らせチラシの配布
- ・工事の進捗状況を HP に掲載

## ヒアリング結果⑤ 第3回検討会（令和3年11月9日）

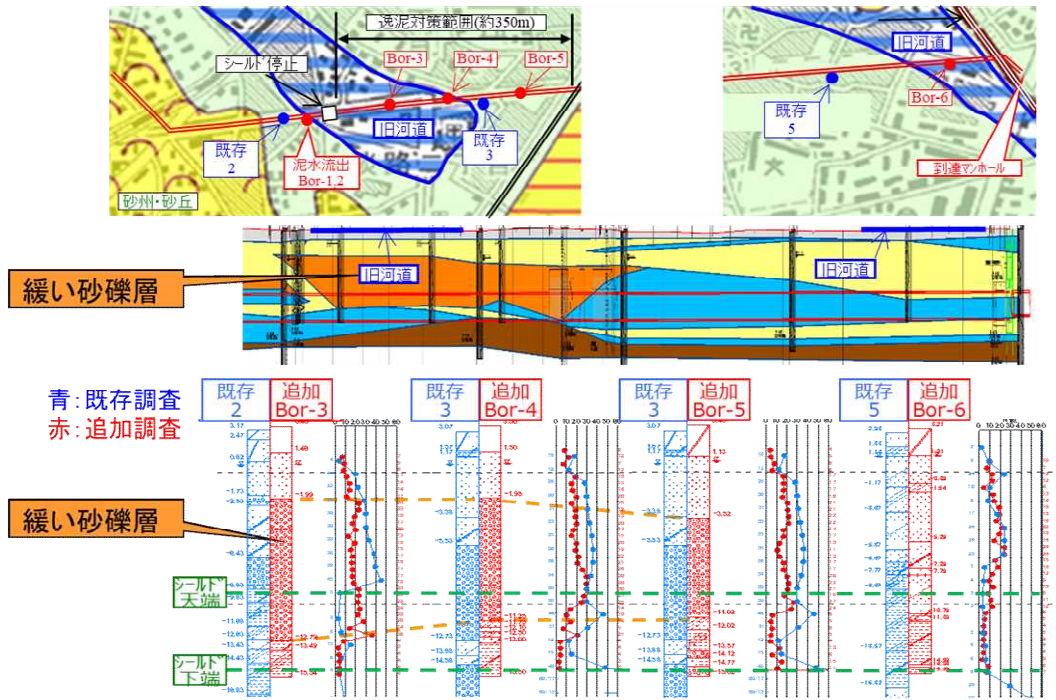
### ■建設会社へのヒアリング①

#### 事例1-3（切羽圧管理、掘進停止再開に関する事例）

項目	内容
シールド概要	泥水式シールド シールド径：φ5～10m 土被り：12.8m 地下水位：GL-4.8m 地質概要：（シールド断面）N値3～29の沖積砂質シルト層 （シールド上部）N値30～45の沖積砂礫層が介在 地表部の土地利用：道路
地表部への予期せぬ影響	歩道部での泥水流出、地表面沈下 ■地表面への泥水の噴出 
トラブル発生状況	<ul style="list-style-type: none"> <li>・2018年8月、距離程2,895m地点において、地上歩道部で泥水が流出するトラブルが発生。</li> <li>・トラブル停止約2ヶ月後の再発進以降、2,900m付近で地表面沈下の累計量が一次管理値である10mmに達し、その後、一時再開したものの管理値に達する測点が多数発生し、10月、作業時に距離程2,950m、2,955mのシールド中心地点で地表面沈下の累計が14mmに達しシールド掘進を停止。</li> </ul>
トラブル対応 ・工夫事例	■地盤の再調査 ・トラブル個所以前において切羽管理、泥水管理に特段の不具合がなかったため、泥水流出、地表面沈下増大の原因として、地盤の緩みを想定し、追加の地盤調査を実施。着目点は、地盤強度（N値）、土質構成、粒度分布、透水性、文献調査（地歴調査）。 



- ・シールド上部でN値が小さい砂層の存在が発覚



地歴調査、ボーリング調査による旧河道の存在確認

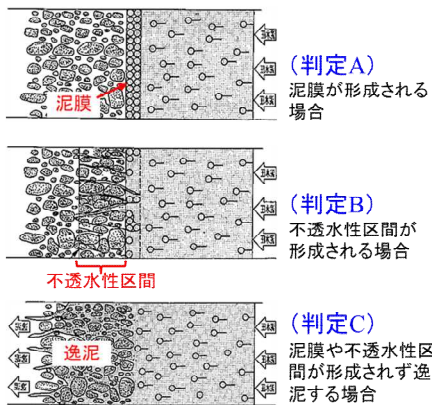
### ■ 泥水品質の改良

・地盤調査より、当初想定よりも全体的に緩い地盤であることが判明したため、原因を泥膜形成の不具合、逸泥増大による地盤の緩みの誘発と推定。その対策として、泥水品質の改良とモニタリングを実施した。また、泥水品質維持のため、地上泥水プラントや、坑内泥水輸送設備を増強した。

- ・泥水浸透試験により泥水品質を確認

#### ◆ 地山への泥水の浸透の考え方

特に緩い砂層や砂礫層では逸泥に注意



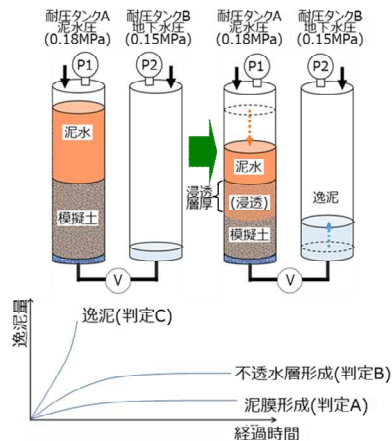
#### ◆ 泥水浸透試験により泥水品質を確認

目的：比重、粘性の向上

(ただし、泥水輸送設備の負担を考慮)

材料・配合：

増粘剤、ゲル化材、粘土系鉱物  
これらの組合せ



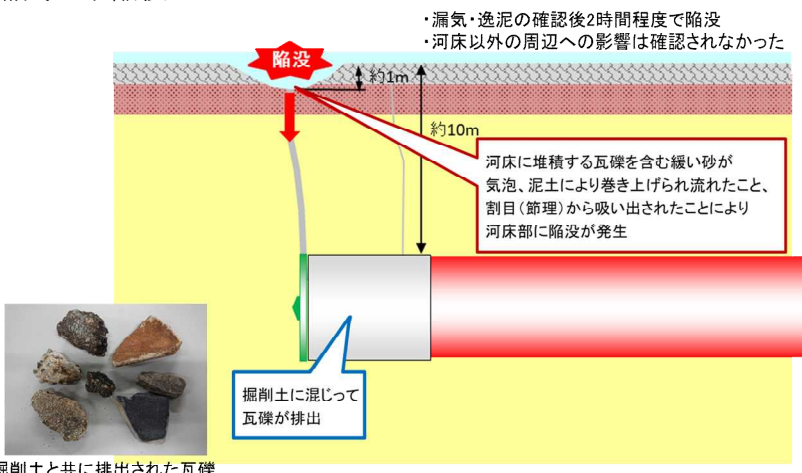
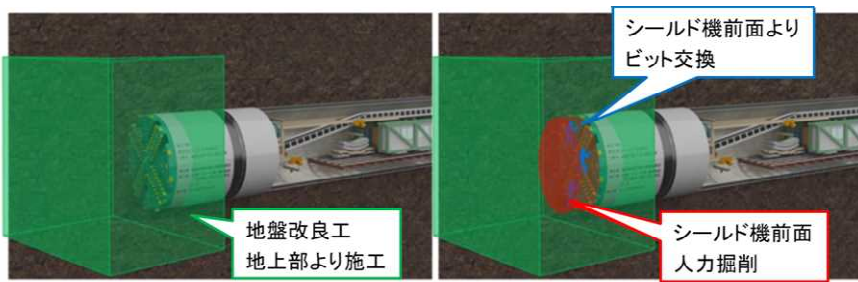
No.1(Bor-3,4) 判定B 浸透層厚12mm



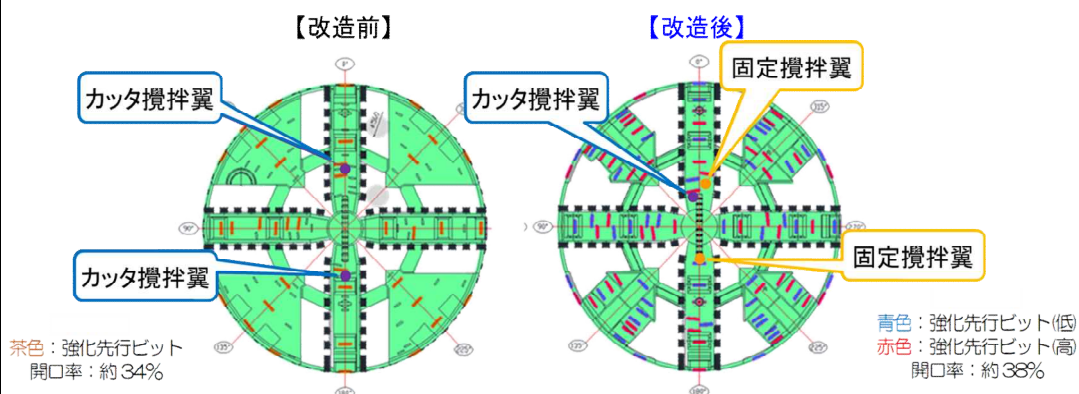
No.19(Bor-5) 判定C 逸泥

- |  |   |
|--|---|
|  | <ul style="list-style-type: none"><li>■ シールド通過時の可塑状充填材による地山保持と裏込め注入の増加<ul style="list-style-type: none"><li>・ シールドのオーバーカットによる通過中の地盤沈下を防止するため、地山とシールドとの空隙に可塑状充填材を注入した。注入はシールド前胴に装備している外周部への注入管から実施した。</li></ul></li><br/><li>■ 地表面変状観測の強化（頻度増大と人員態勢）<ul style="list-style-type: none"><li>・ 道路上にて地表面沈下測量の頻度を大きくし、掘進と地表面沈下の相関をリアルタイムで把握した。</li></ul></li><br/><li>■ 施工上の対策と結果<ul style="list-style-type: none"><li>・ 概ね 10mm 以内でシールド掘進を完了。一部で局所的な地表面沈下が発生したが、泥水比重の増加、裏込め 200%、坑内から薬液注入の実施により対応。</li></ul></li></ul> |
|--|---|

事例 2-14 (掘進停止再開に関する事例)

項目	内容
シールド概要	泥土圧シールド シールド径：φ5～10m 土被り：9.3～14.4m 地下水位：GL-4.8m 地質概要：シールド断面は概ね N 値 50～300 を示す DH 級の風化花崗岩が分布し、一部区間で掘削断面下半に CL 級風化花崗岩を想定 地表部の土地利用：河川
地表部への 予期せぬ影響	河川での漏気と小陥没  <ul style="list-style-type: none"> <li>・漏気・逸泥の確認後2時間程度で陥没</li> <li>・河床以外の周辺への影響は確認されなかった</li> </ul> <p>河床に堆積する瓦礫を含む緩い砂が気泡、泥土により巻き上げられ流れたこと、割目(節理)から吸い出されたことにより河床部に陥没が発生</p> <p>掘削土に混じって瓦礫が排出</p> <p>掘削土と共に排出された瓦礫</p>
トラブル発生状況	<ul style="list-style-type: none"> <li>・当初計画では、風化花崗岩を硬質な土砂相当と評価していた。そのため、シールド掘進は、強化型先行ビットによる切削を主体とし、路線内でのビット交換は不要と判断していた。しかし、シールド発進後に約 60m 掘進後、カッタートルクの増大および掘進速度の低下に陥った。これにより、ビットの早期摩耗および面板、チャンバーの閉塞が推定された。</li> <li>・また、当初計画では、添加材として気泡材を選定していたが、風化花崗岩の方状節理(割れ目)を通じて、河床への漏気と小陥没が観察されたため、添加材を見直した。</li> <li>・シュミットロックハンマーによる原位置地山の調査結果では、事前調査を上回圧縮強度(平均 16MPa)を確認。風化岩においては、ホーリングによるコアサンプリングでは強度低下が生じ、事前調査時点で正確なデータが得られなかったと推察される。</li> </ul>
トラブル対応 ・工夫事例	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ トラブル対応策</li> <li>・計画的に 2 カ所でのビット交換を行う計画へ変更</li> </ul> <p>第1回:掘進延長136m地点(ビット改造, 面板改造等含む)                      第2回:掘進延長542m地点(残り約500mをビット交換なし)</p>  <p>ビット交換イメージ</p>

- ・強化先行ビットの増設とビットの高低差配置によるビットの長寿命化
- ・面板の改造（開口率のアップ 34%→38%）
- ・カッター中心付近への攪拌翼の追加



面板の改造と攪拌翼の追加

- ・高分子系とベントナイトを併用した添加材へ変更

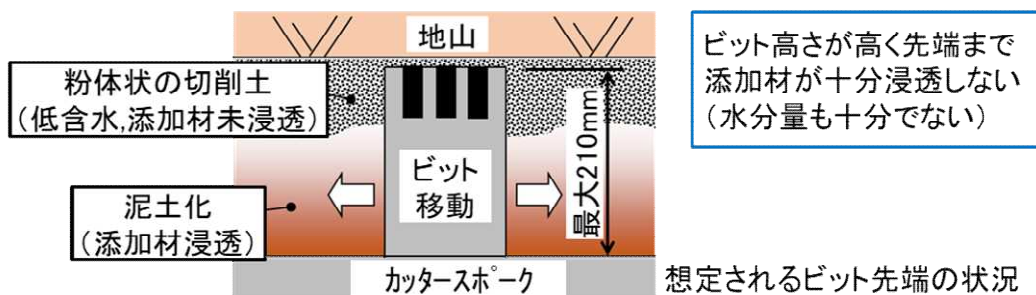
■対応後の状況

・結果としてカッタートルクの増大傾向は解消されなかったが、添加材の変更により河床への漏気や小陥没は抑制できた。また、ビット交換計画および長寿命化により変更計画どおり、シールド掘進を完了した。

■今後の課題

・ビット交換時に実施した、原位置試験では事前の調査結果を大きく上回る強度が確認された。このことから、風化花崗岩や軟質泥岩において、ボーリングによるコアサンプリングでは強度低下が発生し、正確なデータが得られない可能性が懸念される。

・泥土圧シールド工法で「切羽付近だけ」の塑性流動性が十分でない場合であっても、密閉かつ加圧された空間であるため、ダイレイタンシーによる切削土のせん断抵抗の増加（それに伴うカッタートルク増大）が生じる可能性がある。



・上記の状態は、含水比の小さい軟岩、砂・砂礫の硬質地盤において、特に長距離施工向けにビット高さが大きい泥土圧シールドの場合、生じやすい。

・対策としては、切羽近傍でも塑性流動性を得るため、添加材注入孔を切羽に近づける等の配慮、工夫が必要。



## 今後のシールド工事に向けた改善点

項目	内容
(大断面) 泥水式シールドでの改善	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 事前調査               <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 土質急変部のボーリング等の追加調査</li> <li>・ 周辺工事等のトラブル事例調査</li> <li>・ リスクが大きい土質の泥水配合・品質の確認試験</li> </ul> </li> <li>■ 切羽圧，排土量管理への対応               <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 乾砂量算出において、従来型と新横浜方式を併用</li> <li>・ 掘進停止時の土量測定・積算を実施</li> <li>・ 土質情報を3次元CIMに登録、リアルタイムに利用 (切羽の土質構成や理論乾砂量の計算区間を細分化)</li> </ul> </li> <li>■ 泥水品質の管理               <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 土質変化や泥水の品質低下に対応した地上プラント設備の増設（調整槽の二槽化等）、増強（増粘剤，目詰り材等への対応）</li> <li>・ 長距離では、地上プラントと切羽で泥水の品質確認</li> <li>・ カッター面に添加材注入口を装備し、切羽に直接添加材（増粘剤等）を注入</li> </ul> </li> <li>■ 閉塞防止・除去対策               <ul style="list-style-type: none"> <li>・ チャンバー排泥口付近へのアジテータの装備、硬質地盤におけるクラッシャーの装備</li> <li>・ バルクヘッドへの高圧洗浄用バルブの装備</li> </ul> </li> </ul>
(大断面) 泥土圧シールドでの改善	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 事前調査               <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 土質急変部のボーリング等による追加調査</li> <li>・ 周辺工事等のトラブル事例調査</li> <li>・ リスクが大きい土質の添加材配合の確認試験</li> </ul> </li> <li>■ 塑性流動性確保への対応               <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 破泡した時の対応（気泡以外の添加材の準備）</li> <li>・ 低含水比の硬質地盤に対する事前試験の実施，適切な添加材・配合と注水量の選定（含水比30%以上）</li> <li>・ 圧力変動（上下の圧力差と泥土の攪拌に起因する変動）や経時に対する気泡の強度と耐久性の確保</li> <li>・ 土質変化に対応して、鉱物系、高分子系、分散、水等の複数の添加材ラインの準備</li> <li>・ 切削面への直接の添加材注入，注入孔数の増加</li> <li>・ チャンバー中央部へのアジテータの装備</li> </ul> </li> <li>■ 切羽圧，排土量管理への対応               <ul style="list-style-type: none"> <li>・ チャンバー内土圧と鉛直方向の土圧分布を把握し、塑性流動管理や土圧制御に反映、土量（体積）管理の指標に利用</li> <li>・ 複数手法の土量計測（ベルトスケール、レーザースキャナー、圧送時は電磁流量計）により排土量を把握</li> <li>・ チャンバー内掘削土（チャンバー土砂サンプリング装置）、スクリーコンベヤー排土の性状確認、記録</li> <li>・ 排土量と理論掘削土量の比較と統計処理（添加材が地山に逃げることを想定）</li> <li>・ 土質情報を3次元CIMに登録し、リアルタイムに利用</li> </ul> </li> </ul>



## ヒアリング結果⑥ 第3回検討会（令和3年11月9日）

### ■建設会社へのヒアリング②

#### 事例2-6（排出土量管理に関する事例）

項目	内容
シールド概要	<p>泥土圧シールド</p> <p>シールド径：～φ5m</p> <p>土被り：6.8～11.4m</p> <p>地下水位：GL-1.0～3.0m</p> <p>地質概要：沖積砂礫層、N値 32～50 以上、礫分 43～73%、 細粒分 5～10%、想定最大礫径 400mm、 透水係数 <math>1 \times 10^{-4} \sim 1 \times 10^{-2} \text{m/sec}</math>、地下水流速 7.23～14.35m/h</p> <p>地表部の土地利用： 道路、住宅、 商業施設等</p>
地表部への 予期せぬ影響	無
トラブル 発生状況	<ul style="list-style-type: none"> <li>・排土量計測において取込み過多の傾向が見られた。</li> </ul>
トラブル対応 ・工夫事例	<ul style="list-style-type: none"> <li>・シールド機の天端に装備した地山崩壊探査装置により空洞の有無を確認するとともに、路面下空洞探査車により道路下の空洞を探査し、空洞箇所を充填することにより道路陥没を未然に防いだ。</li> <li>・掘削の対象となる砂礫層は細粒分の含有率が低く、透水性が高いため、切羽圧力の不均衡が生じやすい地盤である。このため、地山の緩みや排土量過多を原因とする地盤変状の防止を目的として、従来方式である超音波センサーによる鋼車容量計測に併用してリアルタイム鋼車重量管理システムを採用した。</li> <li>・リアルタイム鋼車重量計測とは台車の4点にロードセルを取り付け、鋼車に積み込む掘削土砂の重量を1台毎に計測するものである。</li> </ul> <p>計測データは台車に設置した無線送信機によりシールド運転席に伝送し、排土量と掘進長の関係をディスプレイにリアルタイム表示する。計測装置と無線装置に使用する電源は、台車に搭載したバッテリーにて供給する。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・超音波センサーによる容量計測では、鋼車に積載された土砂の荷姿や添加材に気泡を採用したことから、計測値のばらつきが大きかったため、重量計測値を正、容量計測値を副とした管理を行った。</li> <li>・また、重量計測値から体積換算する際には掘削土砂の比重設定が重要となるため、立坑下にて鋼車積載土量の体積を人為計測し、見掛け比重設定値の更新を行った。</li> <li>・添加材に気泡と可塑状充填材を併用したため排土量のフケ率が不明確であった。そのため、気泡注入率を加味しない場合の排土量管理も行うことで傾向をつかみ、路面変状計測結果と併せて管理した。</li> <li>・ズリ鋼車で坑内運搬した土砂を立坑下で定期的に採取し、ある程度気泡が消泡した状態の土砂の比重とスランプを計測。重量計測値から体積換算する際の見掛け比重設定値の更新を行った。</li> </ul>

#### その他の事例における工夫

項目	内容
泥水式シールドでの改善	<p>■管理体制の強化【事例1-15】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・泥水式シールドの工事において、排泥ラインに礫が閉塞するトラブルが生じた。閉塞解除に要した4日間は数cm/日の掘進が続いたため、トラブル対応中の掘削土量、掘削乾砂量の管理を入念に行った。また、トラブル発生箇所の裏込注入量・注入圧の管理や地表面沈下計測も厳格に行った。</li> </ul>

泥土圧シー ルドでの改 善	<p>■掘進時の土砂の性状に合わせた添加材の変更【事例 2-15】</p> <ul style="list-style-type: none"><li>・発進立坑掘削時に採取した原位置土を用い、配合試験を実施して添加材を選定していたが、玉石を含み細粒分が少ない、透水性の高い砂礫層を掘進していた際、掘進当初から排土性状が液状となり、掘削土砂の噴発、推力上昇、カッタートルク上昇、掘進速度低下が生じた。適正な排土性状を得るまで、以下のように添加材の変更を続け、良好な排土性状を得ることができた。</li></ul> <p>高吸水性樹脂 → 水溶性高分子 → ベントナイト + 高分子凝集材 → 可塑状充填材（鋳物系添加材 + ケイ酸） → 可塑状充填材（鋳物系添加材 + ケイ酸） + 気泡</p>
---------------------	--

ヒアリング結果⑦ 第3回検討会（令和3年11月9日）

■建設会社へのヒアリング③

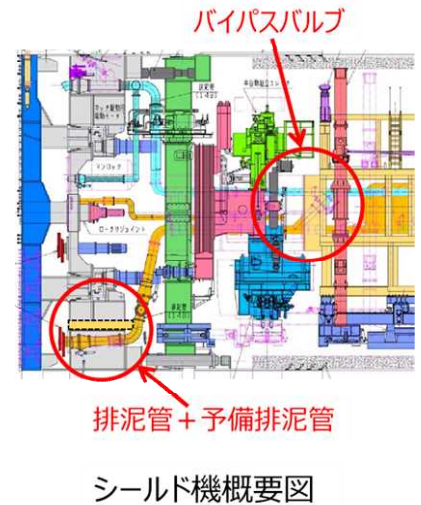
事例1-7・1-10（掘進停止再開、支障物対応に関する事例）

項目	内容
シールド概要	泥水式シールド シールド径：φ10m～ 土被り：13.7～34.1m 地下水位：GL-6.0m～12.0m 地質概要：砂質土・粘性土・礫層 地表部の土地利用：道路
地表部への 予期せぬ影響	無
トラブル 発生状況	<p>【事例1-7】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>シールド掘進に先行して平行して存在していた既設とう道（φ3m）が撤去されていたが、その外周に薬液注入用の鋼管（φ40mm程度）が残置されており、シールド掘進中にこの支障物を取り込み、排泥管の閉塞を繰り返した。</li> <li>注入管が出現した区間：約500m</li> <li>掘進一時停止：約200回</li> </ul> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  <p>シールド断面概要図</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>排泥ポンプ閉塞状況</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>回収された支障物（注入用鋼管）</p> </div> </div> <p>【事例1-10】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>シールドが地下鉄函体に近接して下部を横断するに当たり、地下鉄函体の側部に注入用の深礎立坑（φ5m）を設置して水平方向に防護薬液注入が施工されていた。この立坑は本シールドの直上に位置していたため、シールド通過前に流動化処理土で埋め戻されていたが、シールドがこの部分を通過するときから装備していた地山崩壊探査装置（油圧式）が伸びるようになり、地山の緩みまたは空洞があるものと予想された。</li> </ul> <div style="text-align: center;">  <p>シールド縦断図（地下鉄交差部）</p> </div>

トラブル対応  
・工夫事例

【事例 1-7】

- ・排泥管への注入管の閉塞に伴い、一時的な切羽水圧の上昇が見られ、地上部への泥水噴出、切羽崩壊等の懸念があったため、以下の対策を実施した。
- ・掘進中に送排泥ポンプ圧力を監視し、切羽水圧に急激な変動が生じないように、予備排泥管バルブの開放、送排泥バイパスバルブ開放の操作を行い切羽水圧の安定を図った。泥水比重及び粘性を高め周辺地盤への逸水防止を図った。
- ・ポンプ圧力変動の上下限値を定め、早期に排泥管や排泥ポンプに閉塞する支障物（注入管）を除去し急激な閉塞を防止した。
- ・支障物が存在していた区間の裏込め注入工については圧力管理（切羽水圧+100kPa）を徹底した。
- ・支障物の影響区間の測量、監視を強化し、裏込め注入管理を確実に実施したことで、地盤変状、管理値を超える沈下は発生しなかった。



【事例 1-10】

- ・対策として、地山探査装置のストロークよりシールド上部の緩み（空洞）範囲を想定し、通常の裏込め注入量にこの体積を加えてリングごとの目標注入量を設定し、裏込め注入を行った。泥水比重及び粘性を高め周辺地盤への逸水防止を図った。
- ・結果として、地山探査装置が伸びた範囲と裏込め注入率が大きくなった範囲がほぼ一致し、緩み（空洞）範囲を充填できたものと考えられた。また、シールド掘進前後の計測においても、地下鉄函体、地表面に大きな変状は見られなかった。

シールドトラブル防止のための改善策

項目	内容
泥水式・泥土圧シールド【共通】での改善	<p>■切羽圧リアルタイムモニタリングによる切羽安定（圧力制御）</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・複数の切羽圧力計のデータを可視化して、理論圧力の上下限値以内であることや切羽圧勾配の直線性をリアルタイムで管理する。</li> </ul> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>切羽圧勾配グラフの例</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>管理モニターの例</p> </div> </div>
泥水式シールドでの改善	<p>■複合式シールドにより切羽安定（閉塞防止、逸水防止）</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・泥水式シールド工法で逸水や崩壊が懸念される地盤で、泥水式から泥土圧に変換できるシールド方式（スクリーコンベヤ装備）を適用する。</li> </ul> <div style="text-align: center;"> <p>複合式泥水式シールドの例</p> </div>



泥水式・泥土圧シールド【共通】での改善

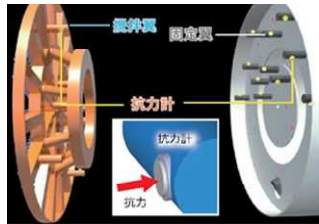
■カッター閉塞制御板による切羽安定（閉塞防止）  
 ・巨礫や硬質粘土塊による閉塞が懸念される地盤において、カッターのスリット部に制御板（仕切り板）を設置することで取り込みを制御し、排泥管等の閉塞を防止する。



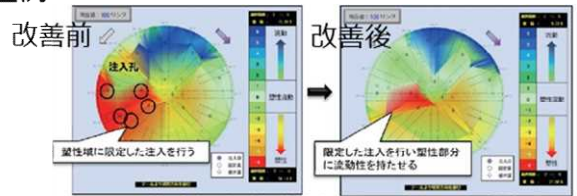
閉塞制御板の例

泥水式シールドでの改善

■塑性流動性モニタリング（抗力計）による切羽安定（圧力制御、塑性流動）  
 ・チャンバー内の攪拌翼、固定翼に抗力計を配置することで、チャンバー内の土砂の硬軟＝塑性流動性をリアルタイムで判定し改善状態を確認する。



塑性流動化モニタリング  
抗力計の配置例



塑性流動化管理モニターの例

泥水式シールドでの改善

■特殊起泡剤による切羽安定（圧力制御、塑性流動）  
 ・緻密化した気泡で砂礫地盤や高水圧にも適用できる特殊起泡剤を適用する。



特殊起泡剤



起泡剤なし

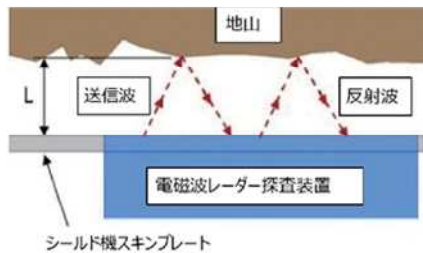


特殊起泡剤混合

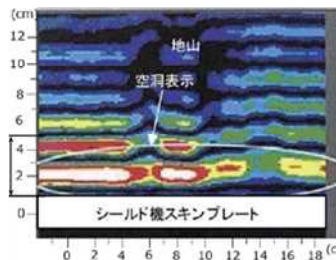
礫質土の起泡剤混合の例

泥水式・泥土圧シールド【共通】での改善

■電磁波レーダー地山探査装置による切羽安定（崩壊探査）  
 ・電磁波レーダーでマシン外周部の余掘・空洞の大きさを測定し、裏込め注入管理に反映する。



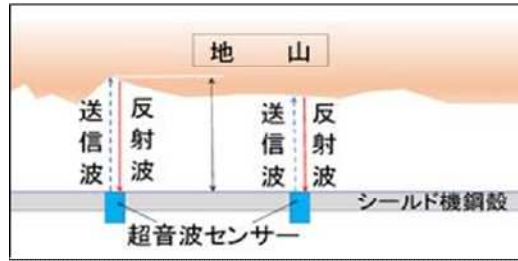
電磁波レーダー  
地山探査装置  
の概要



計測結果の例

泥水式・泥土圧シールド【共通】での改善

■ 超音波式地山探査装置による切羽安定（崩壊探査）  
 ・超音波式計器でマシン外周部の余掘・空洞の大きさを測定し、裏込め注入管理に反映する。



超音波地山探査装置の概要



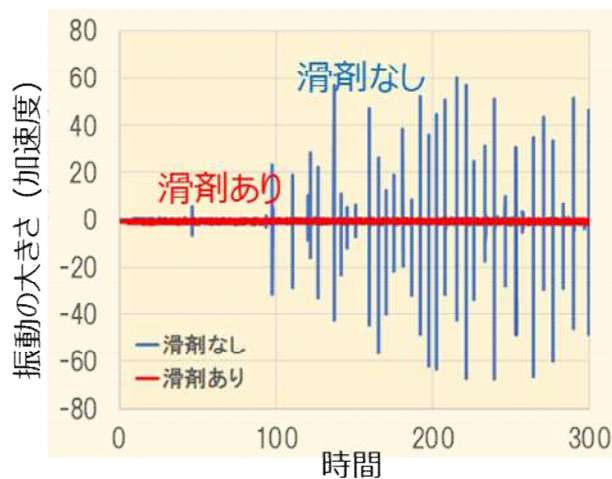
計測機器の例

泥水式シールドでの改善

■ 胴体注入によるシールド掘進時の振動防止（周辺環境の振動抑制）  
 ・シールド機胴部よりベントナイト溶液や高分子剤等の滑剤を連続的に注入充填することで、シールド掘進時に発生する摩擦による振動発生を抑制する。



シールド機胴体注入の概念図



滑剤の摩擦抵抗低減効果の室内試験（例）



# シールド工事を行う建設会社へのアンケート調査の概要について

## 1. 調査の目的

全国のシールド工事現場でのトラブル等の事例やその対応、日頃から実施している工夫事例や新技術の活用事例などをもとに、シールドトンネルの設計・施工技術等における留意すべき有用な技術的知見を抽出し、今後の改善点の検討に資するものである。

## 2. 調査方法

一般社団法人日本建設業連合会を通じてシールドトンネルを施工する建設会社に対して、シールド工法の実際の設計・施工等におけるトラブル事例とその対応、また、日頃から実施している工夫事例や新技術の活用事例など、幅広く自由記述によるアンケートを実施した。

## 3. アンケート項目

第1回検討会での議論を踏まえ、別添のとおりアンケート項目を設定した。

## 4. 調査結果

### 4-1. トラブル事例とその対応

トラブル事例とその対応については 37 工事(40 事例)のアンケート結果が得られた。内訳を下表に示す。

	① トラブル事例の回答があった工事数(工事契約単位で集計)		
		② ①のうち地表部に予期せぬ影響のあった工事件数	
			③ ②のうち完了した工事件数
2010 年度～ (全工事件数※ に対する割合)	26 工事 (約 5%)	14 工事 (約 3%)	14 工事 (約 3%)
～2009 年度	11 工事	4 工事	4 工事

※2010～2019 年度のシールド工事契約件数 496 件(シールド工法技術協会調べ)

## アンケート項目

※下線部が質問事項

アンケートの質問は①～⑥です。

このうち①③④については、質問への回答に加え、トラブルのあったシールド工事がある場合、シールドの種類(泥土圧、泥水等)、シールド径、土被り、地下水位、土質概要、トラブル発生状況、地表部の土地利用について、様式に記入いただくことにより、概要をお教えてください。

トラブルとは、「切羽圧が管理値を逸脱」、「排土量が管理値を逸脱」、「排泥管の詰まり」、「管理値を超過した沈下」、「地表面に添加剤等が漏出」、「マシンが支障物に接触」等を想定しています。

1. 近年発生した事故事例では、切羽の安定確保と排土量の管理がポイントとして指摘されています。

①切羽圧の管理として、どのような工夫を行っていますか。泥水式の場合、泥水の比重管理にどのような工夫を行っていますか。それぞれについて、特にトラブルが発生した際にはどのような対処を行っていますか。

②地盤に適した添加材をどのように選定していますか。発生土の性状が想定と違った場合などに、工夫を行った例はありませんか。

③排土量の管理として、どのような工夫を行っていますか。特にトラブルが発生した際にはどのような対処を行っていますか。

2. 事故に至る前に、地盤の特殊性等から掘進の停止・再開を繰り返している事例が見受けられます。

④掘進停止中または掘進再開時にどのような工夫を行っていますか。カッターが回転不能になった場合、どのような対処を行いましたか。

3. 地域から安全・安心の確保を求められる事例が見受けられます。また、ICT 技術など新技術の開発も進んでいます。

⑤市街地直下での施工にあたり、掘進に伴って発生する地上部での騒音や振動に対してどのような工夫を行っていますか。

⑥施工管理における安全性向上や周辺環境対策の観点から導入した新技術を紹介して下さい。(直近 10 年程度)

トラブルの概要 様式での質問事項:

該当する質問の番号(①③④)、シールドの種類、シールド径(m)、土被り(m)、地下水位(m)、土質概要、地表部の土地利用、トラブル発生状況、備考