

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)

泥水式シールドは 17 事例、泥土圧シールドは 23 事例のアンケート結果が得られた。

(1) 泥水式シールド工事【17 事例】

事例区分	事例の概要
礫等による排泥管閉塞	<ul style="list-style-type: none"> ・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。(事例 1-2) ・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。(事例 1-5) ・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ヘッドの補修等により対応。(事例 1-11) ・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。(事例 1-12) ・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。(事例 1-13) ・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、クラッシャー配備)して対応。(事例 1-14) ・想定以上の礫による排泥管の閉塞に対し、礫をの除去、入念な裏込め注入管理、地表面計測を強化により異常なく掘進。(事例 1-15) ・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。(事例 1-17)
土被り変化部での切羽圧管理	<ul style="list-style-type: none"> ・土被り変化部で泥水の流出に伴い各種計測を強化。(事例 1-4)
泥膜形成や泥水品質管理	<ul style="list-style-type: none"> ・海水による泥水劣化に対し、泥水の改良等により対応。(事例 1-1) ・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。(事例 1-3)
残存物などでの排泥管閉塞	<ul style="list-style-type: none"> ・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。(事例 1-6) ・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。(事例 1-7)
残存物などとの接触	<ul style="list-style-type: none"> ・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)。(事例 1-8) ・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。(事例 1-9)
到達部での土砂取込み	<ul style="list-style-type: none"> ・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。(事例 1-16)
その他	<ul style="list-style-type: none"> ・地山の緩み空洞に対し、裏込め注入により対応。(事例 1-10)

(2) 泥土圧シールド工事【23 事例】

事例区分	事例の概要
スクリーコンベア ・チャンバー等閉塞	<p>・チャンバー内の異物閉塞解除のためチャンバ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。(事例 2-4)</p> <p>・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。(事例 2-5)</p> <p>・硬質な風化花崗岩によるビット摩耗、チャンバ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。(事例 2-14)</p> <p>・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。(事例 2-15)</p> <p>・メタンガス対応のための圧送管の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。(事例 2-16)</p> <p>・メタンガス対応のための圧送管の細粒分の急激減少による閉塞に対し、加泥材を変更し、その後閉塞することなく掘進完了。(事例 2-18)</p>
計器・マシンの損傷	<p>・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。(事例 2-2)</p> <p>・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。(事例 2-16)</p>
硬質地盤等での切羽圧管理	<p>・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。(事例 2-1)</p> <p>・泥岩に対する排土管径不適合による圧力上昇に対し、加泥材の変更、添加材投入ルートの新設により対応。(事例 2-7)</p> <p>・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。(事例 2-17)</p>
土砂取込み過多	<p>・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。(事例 2-6)</p>
残存物などとの接触	<p>・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。(事例 2-10)</p> <p>・グラ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。(事例 2-11)</p> <p>・凶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。(事例 2-12)</p> <p>・鋼矢板との接触に対し、別トンネルを築造。(事例 2-13)</p>

事例区分	事例の概要
残存物などを通じた気泡等漏出	<ul style="list-style-type: none"> ・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。(事例 2-3) ・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。(事例 2-19) ・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。(事例 2-20) ・地中の空洞による気泡漏出に対し、気泡から鉱物系添加材への変更により対応。(事例 2-21)
残存物などでの切羽圧管理	<ul style="list-style-type: none"> ・鋼管接触による切羽力低下に伴う地表面沈下(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。(事例 2-8) ・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。(事例 2-9)
騒音・振動	<ul style="list-style-type: none"> ・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。(事例 2-22)
その他	<ul style="list-style-type: none"> ・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。(事例 2-23)

4-2. 工夫事例

工夫事例については 26 社から回答を得た。アンケート調査の結果から、有益と思われる工夫事例を抽出して整理した。

① 切羽圧管理・泥水の比重管理の工夫

1) 装備・事前対応

- 攪拌固定翼に添加材注入孔を装備(B社)
- 地層に傾斜がある時は追加ボーリングを実施(I社)
- 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)

2) 施工管理

- 土圧計の数を増やしてチャンバー内の切羽管理を可視化(G社)
- 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、O社)

3) 大断面对応

- 大口径シールドでは、中央部にアジテーターを装備(B社)
- 断面の大きいシールドにおいては、切羽の圧力計を標準より増設(D社)
- 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、ベントナイト加泥材を供給(I社)

4) 緊急時準備

- シールド機停電による噴発に対して、排土口閉鎖のためのアキュムレーターを装備(J社)
- 不足の事態(コンピューターエラー等)に備え緊急圧抜き弁を設置(N社)

② 地盤に適した泥水や添加材の調整、想定外地盤に対する工夫

1) 調査、試験

- 同種地盤における施工実績の調査、確認(B社)
- ボーリング採取土による添加材の配合試験練り(B社、H社、O社、R社、S社)
- 掘削土を用いた添加材の配合試験練り(C社、D社)
- 立坑掘削土による添加材の配合試験練り(B社、J社、L社、T社)
- 加圧下での気泡配合試験の実施(S社)

2) 泥水・添加材選定

- 機能の異なる複数種類の添加材の使い分け(B社)
- 粘性の高い硬質粘性土に粘性低下材の使用(L社)
- 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)

3) 変更対応

- 余剰泥水層に高濃度泥水をストック(K社)
- 添加材の配合を即座に変更出来るよう、添加材設備を坑内後続台車に設置(T社)

③ 排出土量管理の工夫

1) リアルタイムでの排土量、重量管理

- 排土重量をベルトスケール、排土体積をレーザースキャンで計測(C社、G社、J社、S社、U社、X社)
- 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)
- 泥水式シールドで、流体データ(密度、流量)および掘削地盤の土粒子真比重、間隙比により排土量を常時演算(H社)

2) 精度向上

- 機械誤差をなくすため計測機を複数台設置(N社)
- 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)
- 2種類以上の排土量管理方法を用いる(P社)

3) 性状確認、切羽安定

- 排土の比重や含水比も定期的に測定(Q社)
- 地山探査装置により取込み過多による地山崩壊を探査(H社)

④ 掘進停止中・再開時の工夫、カッター一回転不能時の対処

1) 事前対応

- シールド設計段階での回転抵抗低減(I社)
- マシン停止時は事前に地盤改良(U社)

2) 停止時の保全対応

- 掘進停止中、定期的にカッターを回転させてチャンバー内の掘削土砂を攪拌し、分離、沈降を防止(B社、C社、N社、O社、T社、V社、X社)
- 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、D社、Q社、S社)
- 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する。(B社)
- 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、G社、I社、Q社、R社、X社)
- 切羽圧が作用するようにジャッキを張り直す(F社)
- シールド機の締め付け防止対策として、高分子材等を胴体注入(I社、S社、U社、V社)
- 微小な保全掘進(K社、Z社)

3) 掘進再開時対応

- 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、L社、P社)

⑤ 市街地直下での騒音や振動対応の工夫

1) 夜間停止や制限

- 夜間の掘進を制限(B社、E社、G社、R社)
- 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、S社、T社、U社、Z社)

2) カッター部

- カッター回転速度、掘進速度の低下(I社、P社、S社)

3) シールド胴体部締め付け

- シールド機周辺に縁切りの可塑状充填材等の注入(D社、H社、I社、L社、S社、U社、X社)
- シールド機の方向制御において蛇行修正を最小化(I社)

⑥ 施工の安全性向上や周辺環境対策のため導入した新技術

1) 可視化

- チャンバー内塑性流動性、切羽管理の可視化(B社、G社、S社、X社)
- 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、F社、I社)

2) 調査・探査・測量

- シールド機からの近接する廃坑に対する弾性波探査(B社)
- 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)
- 超音波式・電磁波レーダー・貫入式等の地山崩壊探査(I社、X社)
- カッタービット振動計内蔵支障物判定システム(I社)
- 前方探査(Q社)
- リアルタイム路面沈下管理(Y社)
- 電磁波地中レーダーによる路面下空洞調査(O社)

3) 施工安全性向上

- 添加材開発(I社、M社、P社、U社)
- 機械式ビット交換(I社)
- ICT 監視・管理(K社、O社、S社)

4) 周辺環境対策

- 振動低減アクティブ制振技術(C社)

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