

シールド工法の調査

◆ 立地条件調査

ルート選定とシールド工法使用の可否決定、トンネル規模、内容の選定

- ・ 土地利用、権利関係
 - 市街地、農地、山林、河海など
 - 市街地の場合、用途地域や市街地の程度
 - 文化財の有無など
- ・ 将来計画
 - 都市計画など
- ・ 道路種別、路上交通状況
 - 特に立坑部の土砂搬出、資機材搬出入
 - 路面変状が生じた場合の影響
- ・ 用地確保の難易度
 - 立坑部の作業基地の選定 重要！
- ・ 河川、湖沼、海の状況
 - 十分な深度、離隔を取る
- ・ 電力、給排水施設
 - 工用電力、上水道、下水道の確保

◆ 支障物件調査

トンネル周辺施設の保全、およびシールド工法の安全性の確保

- ・ 地上、地下構造物
 - 構造形式、深さなどの調査
 - 構造物の利用状況、重要度の程度
- ・ 埋設物
 - ガス、上下水道、電力、通信など
 - 管理者の台帳図書確認
 - 試験掘りや地中探査による現地確認
- ・ 井戸、古井戸
 - 噴発、逸泥、酸欠空気の漏出
 - 特に圧気シールドの場合広範囲な調査
- ・ 構造物跡、仮設工事跡
 - 思わぬ障害の起きる可能性あり。出来る限り調査する
 - 残置物、埋戻し状態、土砂・地下水汚染状況

- ・ その他
 - 今後の計画の調査（相互の影響を小さく）
 - 不発弾の危険性がある地域での調査

◆ 地形、土質調査

予備調査 ~ 基本調査 ~ 詳細調査

予備調査：資料の収集、踏査など

基本調査：ボーリングを主体とした土質調査

200m間隔程度が一般的

詳細調査：問題部分の追加調査、その他特殊条件の調査

- ・ 地形
 - 地形は地下の地山条件を反映していることが多い
- ・ 地層構成
 - 資料収集による広い範囲の把握
 - ボーリングによる土質縦断図の作成
- ・ 土質
 - 粒度分布（礫の場合形状寸法、含有率、固さなど）
 - 透水係数（現場透水試験・粒度分布からの推定）
 - N 値・間隙比・一軸圧縮強さ・変形特性・圧密試験・含水比・粘着力・コンシステンシーなど
 - ...泥水シールド：粘性土でカッター、チャンバーへの付着、閉塞、緩い砂質土で泥膜が完全に生成できず切羽崩壊
 - 礫質土で礫による切羽崩壊、ビット磨耗、排泥管の磨耗
 - ...土圧シールド：礫質土対応 チャンバー内の流動化条件、ビットの材質、スリット形状、スクリーコンベアの設計
 - ...圧気シールド：緩い砂地盤、切羽下端より水が流入 上端の乾燥、粘着性の喪失、わずかな衝撃による流砂現象
 - ...N 値 1 ~ 2 以下の軟弱シルト、粘性土：切羽の自立困難、周辺地盤の変位増大
- ・ 地下水
 - 不透水層がある場合、各帯水層における間隙水圧
 - 季節、人工的变化が大きい場合があるので注意
 - 水圧が大きい場合、透水係数・流速、流向の調査
 - その他水質調査など
- ・ 酸欠空気、有害ガス
 - 地下水位が低下した砂層など：酸欠空気、有害ガスが間隙中に

含まれていることがある。

酸欠空気：土中有機物等による酸化が原因

その他、メタン：爆発の危険 硫化水素：覆工の防食
換気対策、防爆対策が必要

◆ 環境保全調査

- ・ 騒音、振動
 施工前、施工中
- ・ 地盤変状
 家屋調査など
- ・ 地下水
 井戸の利用状況、水位・水質調査
- ・ 酸欠空気、有害ガス
 圧気シールドの場合、有害ガスが井戸、地下室に漏出する恐れ
 ボーリングによるガス貯留の有無、坑内ガス濃度測定
- ・ 薬液注入
 水質の変化状況測定（観測井戸など）
- ・ 建設副産物
 発生の抑制、再資源化の促進
 運搬経路、最終処分地の調査
- ・ その他
 交通量調査
 環境影響評価の実施義務の有無（関連法令の熟知）

シールド工法の計画

◆ トンネル使用目的

- ・ 鉄道
 - 単線形、複線形
 - 軌道、保守退避通路、電車線、信号、照明設備等
 - 施工誤差を勘案（50mm～150mm程度）
- ・ 道路
 - 道路構造令による構造区分
 - 保守退避通路、換気、照明、防災、監視、標識施設等
 - 施工誤差を勘案（50mm～150mm程度）
 - 非常駐車帯の検討
- ・ 下水道
 - 二次覆工を原則（流量、流速を勘案）
 - 汚水、雨水の副断面構造とすることもある
- ・ 上水道、ガス
 - 圧力管路が大部分
 - 耐圧管をトンネル内に挿入するのが一般的
 - コンクリート充填方式・点検通路方式
- ・ 電力、通信
 - 洞道式・管路式
- ・ 併設使用（共同溝）
 - それぞれの用途に応じた必要スペースを確保
 - ガス導管は隔壁設置を原則とする（災害時を考慮）

◆ トンネル形状

- ・ 円形が標準
 - 外圧に対して強固
 - 施工上、シールド推進やセグメントの製作・組立に有利
 - ローリングに対し断面利用上支障が少ない
- ・ 特殊断面
 - 従来：半円形・矩形・馬てい形
 - 最近：複円形・楕円形
 - シールドやセグメントの強さや形状、施工上の問題点について十分検討しておかなければならない。

◆ トンネルの線形

- ・ なるべく直線、または緩やかな曲線
急曲線施工では検討が必要（中折れ装置、地盤改良など）
3 mで R=80m
5 ~ 9 mで R=100m 程度まで
- ・ なるべく安全な地層を通過するように計画
- ・ 併設トンネルの場合、離隔は一般的にトンネル外径以上

◆ トンネルの土被り

- ・ 浅いほうが施工上、維持管理上有利になる。
- ・ 最小土被りは 1.0D ~ 1.5D 程度

◆ トンネルの勾配

- ・ 勾配 2 %を超えると作業能率に影響が発生
- ・ 勾配 5 %を超える場合、通常の動力車が使用できない
（労働安全衛生規則 第 202 条）
- ・ 排水のため勾配を 0.2%以上確保
- ・ 下水道では定められた勾配で
- ・ 上水道では片勾配とする（管内排気・排水上）

シールド工法の選定

- ◆ 密閉型シールド 隔壁・チャンバーを有する
 - ・ 土圧式シールド 掘削土を泥土化
 - 土圧シールド 添加剤不使用
 - 泥土圧シールド 添加剤使用
 - ・ 泥水式シールド 泥水を使用、掘削土流体輸送
- ◆ 開放型シールド
 - ・ 全断面開放型シールド... 切羽の安定が原則
 - 手掘り式シールド... フード、山留めなどを使用
 - 半機械掘り式シールド 山留は困難
 - 機械掘り式シールド カッターヘッドである程度山留効果
 - ・ 部分開放型シールド
 - ブラインド式シールド 土砂取出し口から排土
- ◆ 土圧式シールド
 - ・ 切羽の安定、周辺地盤の影響小、補助工法不要
 - ・ 泥土圧シールドは最も適用範囲が広い
 - ・ 高水圧地盤ではスクリーコンベアより噴発の恐れあり
 - ・ 礫質土では排土困難の恐れあり
- ◆ 泥水式シールド
 - ・ 泥水圧、泥水性状の選定により切羽を安定
 - ・ 周辺地盤の影響小、補助工法不要
 - ・ 高水圧化でも適応する
 - ・ 切羽が完全に密閉。安全性高、環境良、
 - ・ 土質の適用範囲は広い
 - ・ 透水性の高い地盤、巨礫地盤で切羽の安定が困難になる場合がある
- ◆ 手掘り式シールド
 - ・ 圧気工法を併用
 - ・ 洪積の締まった砂、固結シルト、粘性土などに適する
 - ・ シールドの原点、昭和 50 年前半まで多用
- ◆ 半機械掘り式シールド
 - ・ シールド機に掘削機、土砂積込み機を装備したもの
- ◆ 機械掘り式シールド
 - ・ 面板タイプ：大断面での土留効果と巨礫、玉石対応
 - ・ スポークタイプ：小断面での巨礫、玉石対応

◆ ブラインド式シールド

- ・ ごく柔らかい沖積の砂混じりシルト層（土質が非常に限定）
- ・ 固い地盤では無理
- ・ 砂地盤だと圧縮、閉塞し推進不可能
- ・ 液性指数が高いと土砂を取り込みすぎる
- ・ 地盤の変状が比較的大きい
- ・ 近年採用されたケースはない

シールドマシンの設計

◆ シールドにかかる荷重

- ・ 土圧、水圧、自重、上載荷重
- ・ 変向荷重：曲線施工、方向修正時の荷重
受動土圧程度を片側から受ける程度
または、シールドジャッキの半数程度を片側に使用した時の地盤半力程度とする
- ・ 切羽前面圧
チャンバー土圧、泥水圧：隔壁やガーター部に作用する荷重

◆ シールドの構造設計

- ・ 原則として、シールドにかかる全荷重を、ガーター部で受ける
- ・ フード部は片持ちばりとする
- ・ テール部はリング構造、または片持ちとする
- ・ フード、テール部は補強材が配置できない、また損傷時補修が非常に困難であるので注意。

◆ シールドの重量

- ・ シールドの重量は輸送、吊り込み時最も重要な要素
- ・ 軟弱地盤中ではシールドの重量、重心位置が運転性能に影響

シールドマシン本体

◆ シールドの構成

・ スキンプレート

シールドの外径 = スキンプレートの外径

テールクリアランス： 曲線施工、蛇行修正時の余裕と、
セグメントの組立時の余裕を考慮

・ フード部

切羽の安定を保つ

・ ガーター部

シールドの全重量を受け持つ骨格となる

各機器の設置スペース、メンテナンス空間を確保

・ テール部

セグメント組立空間、およびテールシールの取付部

テールシール： 地下水、裏込め注入液の漏洩防止

密閉型シールドの圧力保持

幅は一定ではないので余裕を見込んで

複数段装備、油脂の補充できる構造

◆ 掘削機構

・ カッターヘッド

スポーク型、面板型

フィッシュテール（アローヘッド）有無

・ カッターヘッド支持方式

センター支持方式

中小口径

粘性土付着に有利

礫処理に難

中間支持方式

大口径

両者の中間

外周支持方式

小口径

粘性土付着に難

礫処理に有利

・ カッタースリット

礫の最大径に応じ定める

排土設備の能力により、ローラービットで礫破碎も検討

開口率

泥水式： 10 ~ 30 %

土圧式： 広い

粘性土付着： 開口率を大きくする

崩壊性地盤：土砂取り込み過ぎに注意
スリット開閉装置も考慮

- ・ カッタービット
 - 固結粘性土：すくい角、逃げ角を大きく
 - 礫質土：すくい角、逃げ角を小さく、また破損に注意取り付け方法は、交換が必要な場合に考慮
- ・ 余掘り装置
 - オーバーカッター、コピーカッター

◆ 推進機構

- ・ 総推力
 - 摩擦抵抗、貫入抵抗、切羽前面抵抗、牽引抵抗などの和
 - 通常 1,000 ~ 1,500kN/m²程度
- ・ シールドジャッキ
 - 一本当たり、小口径で 600 ~ 1,500kN/m²
 - 大口径で 2,000 ~ 4,000kN/m²程度
- ・ ジャッキストローク
 - セグメント幅 + 組立余裕 100 ~ 150 mm程度
- ・ ジャッキ速度
 - 50 ~ 100 mm/分程度（全ジャッキ使用時）
 - 戻り速度は極力早くする方向（施工能率向上のため）

◆ その他の機構

- ・ セグメント組立機構
 - エレクター（リング式、中空軸式）
- ・ 油圧、電気、制御機構
- ・ 姿勢制御装置
 - 余掘り装置：オーバーカッター、コピーカッター
 - スタビライザー：進行方向に沿った板（ローリング防止）
 - 抵抗板：進行方向に垂直な板（方向制御）
 - そり：自重による沈降防止、方向制御
 - グリッパー：トンネル壁面の反力により方向制御
- ・ 中折れ装置
 - 前胴押し機構、後胴押し機構
 - X 中折れ機構、V 中折れ機構
- ・ 測量装置

調節保持機能

- 掘削土輸送（送排泥）設備
 - 送泥ライン
 - 排泥ライン
 - 圧力保持ライン：停止時等に用いる
 - 切羽水圧保持ライン：停止中に切羽圧を制御
 - 循環ライン：管内流速を上げるため用いることがある
 - 限界沈殿速度：排泥時は管内に土粒子が沈殿することなく輸送できる流速を確保
 - 排泥管径はシールド外径、掘削土質等により決定
 - 閉塞に注意！粘性土の付着、礫・異物の引っかかり
 - 適切な管径選定をすること
 - 閉塞箇所が特定できるような配管対策
 - 管の磨耗対策：砂礫土など。曲がり部などに厚肉管使用
- 掘削土、泥水分離設備

覆 工

トンネル掘削後の地山を被覆すること。

また、その被覆そのものをいう。

◆ 覆工の役割

トンネルに作用する荷重に対して、十分安全に抵抗する。

トンネルの目的に合った機能を有する。(使用時)

トンネルの施工条件に合った構造を有する。(施工時)

◆ 覆工の種類

・ 一次覆工

セグメントを用いたプレハブ構造

施工中は推進反力として使用。

推進後は直ちに地山の荷重を受ける覆工体となる。

・ 二次覆工

一次覆工の防水、防食、補強、蛇行修正、その他の仕上げ工

・ 二次覆工を荷重分担させることは少ない。

一次覆工から二次覆工までの期間が長期にわたること

荷重分担の推定が困難であること、合成構造体としての挙動に

未解明な部分があること

・ 二次覆工を省略する場合、一次覆工の防水、防食に十分な配慮が必要

◆ セグメント

覆工を何ピースかに分割した、既製品の覆工部材のこと。

・ 材質による分類

鋼製セグメント

長所：材質が均一・強度が保証・優れた溶接性・加工が容易・

軽量で施工性が良い

短所：変形しやすく、座屈に対する検討が必要・防食に対する

検討が必要

コンクリート製セグメント

長所：耐久性・耐圧縮性(座屈の心配が少ない)・剛性が大きい・

水密性に優れる

短所：重量が大きい・引張強度が小さく端部が破損しやすい
ダクタイトセグメント

長所：延性・強度が高い・精度良好・防水性が高い

短所：高価

合成セグメント

鋼材＋鉄筋・無筋コンクリート

長所：コンクリート製セグメントに比べ、同断面であれば高い
耐力と剛性を付与できる セグメント高さを低減できる

短所：コンクリート製セグメントに比べ高価である

- ・ 形状による分類

- 箱形セグメント

- コンクリート製セグメントでは中子形とも呼ぶ

- 平板形セグメント

- ・ リングの形状による分類

- 普通セグメント

- テーパセグメント

- 片テーパ・両テーパ

- ・ セグメントリングの分割による分類

- A セグメント

- リングを構成する基本セグメント

- B セグメント

- K セグメントの隣接セグメント

- K セグメント

- セグメントリングを併合するセグメント

- 半径方向挿入型 K セグメント

- 軸方向挿入型 K セグメント

◆ 荷 重

・ 主荷重

鉛直土圧及び水平土圧

水の取り扱い

1) 土を水と分離して取り扱う考え方(土水分離): 砂質土

2) 水を土の一部として包容する考え方(土水一体): 粘性土

明確に区分できない場合は両者を検討し、安全側を取る

1)の場合、地下水位以上で $16 \sim 18 \text{ kN/m}^3$ 、水中荷重で $8 \sim 10 \text{ kN/m}^3$ 。2)の場合地下水位以下で $18 \sim 20 \text{ kN/m}^3$ 。

鉛直土圧

土被りが深い場合、土のアーチング効果を期待できる。

(Terzaghiの緩み土圧式を使用)

砂質土、硬い粘性土の場合 $1 \sim 2D$ 以上で緩み土圧を採用。

中位や柔らかい粘土の場合、トンネルの全土被り重量が土圧として作用した例もある。

水平土圧

鉛直土圧 \times 側方土圧係数 ($0.35 \sim 0.85$ 程度) と考えてよい。

水 圧

土水分離の場合に適用する。

完全に予測するのは困難。

施工中原水圧とかなり異なる挙動、地下水位の変動など

地下水位が高いほうが危険側となることも多い。

浮力に対する検討も必要。

自 重

上載荷重

地盤反力

慣用計算法、地盤ばねモデル法など

セグメントの自重に地盤反力を考慮できる場合もある。(早期裏込め注入など) 特に大口径の場合に有利。

・ 従荷重

内部荷重

通常、裏込め材が硬化しており、地盤で支持できると考えられるため省略するケースが多い。

施工時荷重

ジャッキ推力、裏込め注入圧、エレクター操作荷重など

地震の影響

通常、影響は小さいと考えられる。

(トンネルのほうが地盤より軽いため、慣性力は小さく、地震時は地山に追隨して振動するため)

しかし下記の場合は検討が必要である。

- ・覆工構造急変部・地盤条件急変部・急曲線部・
- ・軟弱地盤・液状化地盤

・ 特殊荷重

併設トンネルの影響

併設トンネル間隔が 1.0D 以内の場合、十分な検討が必要。

特に 0.5D 以内では詳細な検討が必要。

鉄道トンネルにて 30cm 程度の施工例がある。

近接施工の影響

地盤沈下の影響

その他

施 工

◆ 添加材

- ・ 砂層・礫層...添加剤を使用
 - 内部摩擦角が大きい：掘削土の流動性が不十分
 - 透水性が高い：地下水の流出阻止が困難
- ・ 添加材の目的、効果
 - 掘削土砂の塑性流動性を高める
 - 不透水性を高める
 - シールドへの付着防止
 - a) 磨耗の低減
 - b) カッター、スクリーコンベアのトルク低減
- ・ 添加剤に必要な性質
 - 1) 流動性を発揮
 - 2) 掘削土と混合しやすい
 - 3) 材料分離を起こさない
 - 4) 無公害
- ・ 添加材の種類
 - 鉱物系 ：粘土、ベントナイトを主成分
 - 長所：使用実績が豊富、幅広い土質に対応
 - 短所：設備が大規模（作泥プラント、貯泥タンク等）
 - 界面活性剤系 ：気泡材
 - 長所：掘削土の付着防止効果
 - 気泡の消泡による後処理のしやすさ
 - 短所：掘削土をポンプ圧送する場合注意
 - 高吸水性樹脂系 ：多量の地下水を吸収しゲル化
 - 長所：地下水による希釈劣化が少ない
 - 高水圧地盤での噴発防止効果
 - 短所：海水、金属イオンを多量に含む地盤、強酸性地盤、
 - 強アルカリ性地盤で吸水性が大きく低下
 - 水溶性高分子系 ：高分子化合物が主成分
 - 長所：粘性増大の効果、ポンプ圧送性に優れる
 - CMC（カルボキシメチルセルロース）が代表的
 - 近年さまざまなものが開発、実用化されている

◆ 裏込め注入工

- ・ 注入材に必要な性質
 - 材料分離への抵抗性
 - 流動性を失わない
 - 容積減少が少ない
 - 早期に地山の強度以上になる
 - 水密性
- ・ 注入材の種類
 - 一液型 : 安定した地盤
 - モルタル・セメントベントナイト・エアモルタルなど
 - 二液型 : 不安定な地盤・崩壊性地盤
 - 薬液注入材・急結モルタル・瞬結材など
- ・ 注入時期
 - 同時注入：シールド推進と同時に注入
 - シールドに同時注入装置が装備されることが多い
 - 即時注入：推進後すみやかに注入
- ・ 注入量、注入圧など
 - 注入圧：注入口で 100～300kN/m²程度
 - 注入量：計算空隙量の 150～200%程度
 - (浸透・圧入・余掘り・加圧脱水等の影響)
 - 圧力管理と量管理：両方で総合的に実施
- ・ 二次注入 : 特に止水に効果あり
 - 一次注入の未充填部の補充、体積減少分の補填・推力によるはく離への対応
- ・ 品質管理
 - 注入材の定期的な品質測定
 - 注入孔などからのコア抜き

併設トンネル

複数のトンネルの相互干渉による地盤の緩み
施工時荷重による影響

◆ 考慮すべき事項

- ・ トンネル相互の位置関係
 - 1 D以内の場合、十分な検討が必要
 - 0.5 D以内の場合、詳細な検討が必要
 - 上下併設の場合、荷重・除荷の影響が大きくなる
 - 特に後続トンネルが下の場合、上のトンネルへの影響大
(地盤の緩みによる鉛直荷重増加・不同沈下など)
- ・ 周辺地盤の性質
 - 鋭敏比の高い軟弱地盤、自立性の乏しい砂地盤は影響大
 - 離隔が小さいほど施工時荷重の影響増大
- ・ 各トンネルの外径
 - 後続トンネルの外径の影響が大きい。
- ・ 後続トンネルの施工時期
 - 先行トンネル施工後、地山の安定する前に施工する機会が多い
ので相互干渉の影響が大きくなる
- ・ シールドの形式
 - 水平方向に併設する場合
 - 密閉型シールド：推進中の推力が先行トンネルに過大な偏力として作用する。特に影響は大きい。
先行トンネルを押しやる
 - 開放型シールド：推力の影響は少なく、土圧開放により側方土圧や地盤反力が減少する
先行トンネルを引き込む
- ・ 施工時の荷重
 - 推力、裏込め注入圧、泥水圧や泥土圧の影響など
 - 推力は長期にわたって残留することもあり注意が必要

◆ 検討方法

明確に定量化された解析方法はない。

周辺地盤の緩みを、土圧係数の低減・地盤反力の低減・鉛直土圧割増しなどで評価することが多いが、必ずしも実情に即しているといえない。

FEM 解析検討など、さまざまな手法の研究が行われている。

過去の実績なども参考に、「安全性を基本」とした適切な評価とする。

◆ 併設シールドの施工

・ 施工時の影響

後続シールド推進による先行トンネル押し出され、引き込まれ
後続シールドテール通過による先行トンネル引き込まれ
後続シールド裏込め注入による先行トンネル押し出され
先行シールドによる地山の緩み 後続シールド引き込まれ

など。その結果、

セグメントの変形、ボルトの変形・破損、漏水、地表面沈下増大
などが懸念される。

・ 挙動の監視

挙動は予測値と一致しないことも多いので、常に監視する必要がある。
(沈下計・傾斜計・土圧計・水圧計・変位計など)

異常が起きた場合は直ちに中断、原因究明、対策に当たる。

◆ 特殊断面シールド

・ 複円形シールド、非円形シールド

複円形シールドは、円形の応力的な優位性を保ちながら、不要
空間を削除して使用目的を満足するものである。

併設シールドの代用として使用が考えられる。

推進中に二又分岐が可能な H&V シールド等もある

・ シールド

荷重の選定：偏向荷重をはじめ、細心の注意を払う。

細部構造：強度、剛性、変形、耐久性について十分検討。

方向制御：ローリングすると支障が大きくなる

セグメント組立：円形セグメントに比べ複雑

形状・寸法、組立順序、装置について検討

・ 覆 工

円形に比べ挙動が複雑 施工から完成後までを考慮し検討

荷重：偏分布を考慮、FEM 解析などの慎重な検討

地盤反力、施工時荷重などについても考慮

・ 施 工

工事実績が少なく、難易度も高い。

特性を把握し、慎重な施工を心がける

シールドの姿勢制御管理は厳密に（特にローリング）

止水性能（テールシールや発進坑口）低下を考慮

小土被り施工

一般に必要な最小土被りは $1.0D \sim 1.5D$
支障、使用条件でこれより浅い場合も多い。

◆ 切羽圧力管理

- ・ 切羽圧力の管理幅が狭い
 わずかな管理誤差で、切羽や地表面に大きな影響
 泥水や添加材の物性等の検討
 入念な切羽圧力管理
- ・ 裏込め注入
 テールボイドの影響がただちに地表面に影響
 十分な裏込め注入管理
 早期強度の高い裏込め注入材、同時注入の実施
- ・ 特殊条件下
 水底部：トンネルの浮き上がりに対する検討
 民家に近接：騒音、振動に配慮
- ・ 補助工法 ： 必要に応じ実施

大土被り施工

都市部で施工深度が深くなる傾向

「大深度地下の公共的使用に関する特別措置法」H13.4月より施行
(40m以深、または基礎地盤上面より10m以深)

技術的には100m程度まで可能と言われている

高水圧が一番の問題(水圧600kN/m²での実績あり)

◆ シールド

・ カッターシール

高水圧に耐えられるシール材、段数を増やす
発熱防止のクーリング装置

・ テールシール

高水圧に耐えられるシール材、段数を増やす
自動給脂装置、緊急止水装置等

・ 排土装置

送排泥ポンプの高水圧軸封シール

スクリーコンベアの排土圧力保持装置、緊急止水装置

・ 推進装置

推力増大対策に、大容量の油圧ジャッキ、油圧機構

◆ セグメント

・ 止水対策

・ 裏込め注入等の施工時荷重の影響

・ Kセグメントにおいて、軸方向挿入型の使用

◆ 立坑設備

・ 垂直搬送距離が長くなる：合理的、安全な設備計画

◆ その他

・ 裏込め注入工、地盤改良、通信設備、給排水設備、換気設備についても必要に応じ考慮

急曲線施工

一般に、解析上の推進可能曲線半径にくらべ、実施工でのほうが大きくなりがちである

十分に余裕をもった対策が必要

◆ シールド

- ・ シールドの長さはできるだけ短くする
- ・ 中折れ機構、コピーカッターの装備
- ・ 片押し推進に備え、推力・カッタートルクに十分な余裕を

◆ セグメント

- ・ テーパー量の大きなセグメントを使用
- ・ セグメント幅を小さくする
- ・ 偏心荷重に備え、リップ・スキンプレート・継手ボルトを補強
- ・ セグメント外径を小さくして、テールクリアランスを確保
テールからの湧水に注意

◆ 余掘り量

- ・ 余掘り量が大きいほど急曲線施工は容易
- ・ 反面、地山の緩み、裏込めの切羽への回りこみ、トンネルの変形等の問題も発生
地山の自立性を考慮し、必要な範囲で最小限におさえる。
(不測の事態にそなえ、余掘り能力は大きくしておく)

◆ 補助工法

- ・ 地山の自立性が乏しい場合
薬液注入、高圧噴射攪拌工法などの地盤改良について検討

◆ 裏込め注入

- ・ セグメントがただちに地山と一体となることが必要
(推進反力が十分とれず、セグメントの変形、移動の原因となる)
体積変化が小さく、早期強度型の注入材を使用
余掘り量を考慮し注入量も多くする

◆ 線形測量

- ・ 測量頻度を増やすなど、十分な線形管理を行う
- ・ トンネル移動に備え、定期的に坑内基準点測量を行う

急勾配施工

急勾配とは、通常の施工とは異なる、何らかの対応が必要となる場合の勾配をいう。

労働安全衛生規則 第 202 条「トンネル工事で用いる軌道は、バッテリー機関車などの動力車を使用する場合、5%勾配以下とすること」

- ◆ 切羽の安定
 - ・ 推進に伴い地山の土水圧が刻々変化 切羽圧も変化させる
 - ・ 下り勾配ではチャンバー内に土砂が滞留する恐れ
掘削土量の管理
- ◆ シールド
 - ・ マシンが前下がりになる傾向が強い
上り勾配の場合は下半部のジャッキ容量を大きく確保
 - ・ 後方台車の逸走防止対策、牽引方法の検討
- ◆ セグメント：エレクターへの供給が困難になる場合がある。
- ◆ 裏込め注入
 - ・ 体積変化が少なく、早期強度型の注入材
 - ・ 下り勾配の場合裏込め注入材が切羽へ回り込む可能性が高い
注入材料の選定や品質管理に注意
- ◆ 坑内搬送装置
 - ・ 通常の軌道によらない搬送設備
ラック&ピニオン方式（歯車式）
リンクチェーン方式
ゴムタイヤ方式
ウィンチ方式
ホイスト方式
 - ・ 動力車を使う場合、通常ブレーキ + 電磁ブレーキの併用など多重の安全装置の検討
- ◆ 発進・到達
 - ・ 発進架台上のシールドマシン逸走防止
 - ・ 上り到達時は、到達面上部の崩壊に注意
- ◆ 勾配変化点：必要に応じ上下中折れやテーパセグメントを使用
- ◆ 坑内排水：下り勾配ではシールド切羽の溜水対策
- ◆ 安全通路：必要に応じステップ（階段）の設置を検討

長距離施工

推進距離おおむね 1.5km を超えると、長距離施工の検討が必要

- ◆ 耐久性の検討
 - ・ カッターヘッド、カッタービット：磨耗対策
耐摩耗性の材料使用
ローラービットや段差ビットの採用
 - ・ 軸受シール、テールシール
発熱に強い材料、シールの多段配置、グリースの自動給脂など
 - ・ 送排泥輸送管：磨耗対策
曲管部直後の板圧を厚くするなど
- ◆ メンテナンス：各部適切に実施
 - ・ カッタービットの磨耗検知（最外周）
油圧式、電磁式、超音波式など
- ◆ 交換
 - ・ カッタービット：原則として中間立坑等で交換
交換が容易な構造とする（ピン止め・ボルト止めなど）
止むを得ずトンネル内から交換するときは、補助工法により切羽の安定を図って、安全確実に施工する
 - ・ テールシール
不測の事態に備え、最外面以外はシールド内から交換可能な構造としておく
- ◆ 施工設備
 - ・ 掘削土搬出がボトルネックとなる場合が多い
搬出能力について十分に検討
 - ・ 施工の自動化を図ることが多い
- ◆ 安全衛生
 - ・ 坑内にトイレ、洗面所などの安全衛生設備を設置
 - ・ 換気、通行、排水等にも長距離の配慮が必要

補助工法

◆ 薬液注入工法

地山の間隙、割れ目に注入材を強制的に注入し、地盤の強度増加や難透水化を図る。

- ・ 使用箇所
 - 発進、到達時の地山強度増加と止水対策
 - 近接施工時等の防護
 - 小土被りやビット交換時の地山補強
 - 急曲線施工の反力壁
 - 推進時の地山緩み防止など
- ・ 工法の種類
 - 二重管ストレーナ工法（単相・複相）
 - 二重管ダブルパッカー工法
 - 単管ロッド工法
- ・ 注入の種類
 - 浸透注入：
 - 土粒子の配列を変えないで、間隙に注入（砂質地盤）
 - 割裂注入：
 - 地盤を割裂、あるいは層境に割裂脈を形成（粘性土地盤）
- ・ 注入材
 - 一般に水ガラス系を使用（溶液型・懸濁型）
 - pH：アルカリ性・中性・酸性系
 - 反応材：無機系・有機系
- ・ 注入の方法
 - 地表面より施工：独立して施工可能
 - 坑内より施工：シールドを停止
 - パイロットトンネルより施工：パイロットトンネルを先行施工
- ・ 指針・通達
 - 「薬液注入工法による建設工事の施工に関する暫定指針」
（S49年7月10日 建設省次官通達）
 - 「薬液注入工事に係る施工管理について」
（H2年9月18日 建設省）

◆ 高圧噴射攪拌工法

高圧噴流を噴射して地山を切削、切削部分の土砂と硬化材を置換または混合攪拌し、計画範囲に円柱状の改良体を造成する工法

薬液注入より大きな改良強度や止水性が必要な場合に採用される。

・ 工法の種類

空気を使用しない工法（高圧水または硬化材のみ）

（CCP工法）

空気を併用する工法

二重管工法：空気を伴った硬化材で切削

（JSG工法）

三重管工法：空気＋水で切削、その後硬化材を高圧充填

（CJG工法）

その他多種の工法が実用化されている。

・ 留意事項

造成径：地盤とロッドの引上げ速度に支配される

互層地盤では改良体の造成径とロッド配置に注意

砂礫・硬質粘性土

杭体の造成が難しく、有効径が確保されない場合がある

スライムの排出

地盤隆起や埋設物へのスライム流出の恐れあり

造成速度とスライム排出状態を綿密に管理

アンダーピニング等

硬化材の硬化までは地盤応力が解放される

弊害や造成順序を検討

打ち止め部の管理

造成柱頭部にブリーディングによる未固結部分が残らないよう

打ち止め時の管理に留意

◆ 凍結工法

軟弱な地盤や地下水のある地盤を一時的に人工凍結し、工事終了後凍土を解凍させて地盤を元に戻す工法。

一般に、他の工法で対応しきれない場合に採用される。

・ 方式

ブライン方式（間接方式）：大規模

低温液化ガス方式（直接方式）：小規模

一般にシールド工事ではブライン方式を使用。

ブライン：塩化カルシウム水溶液の不凍液（氷点-30 以下）

・ 留意点

トンネル本体や、近接する構造物や埋設物に対し、防護対策の十分な検討が必要。

地盤の凍結状態の把握・確認

地中温度の測定、設備・凍土面の保冷措置

凍結管の折損等による、ブライン漏れに注意

凍結管布設後に耐圧試験を実施

凍結管周辺の掘削時注意

地下水に流動がある場合

流速 1 ~ 5m/日以上の場合、凍結の進行が阻害

透水性の高い地盤では注意

場合によっては薬液注入を併用

地中構造物と接する場合

熱源となり凍結が阻害。地中構造物の冷却措置等

河川下では離隔を綿密に検討

地山の含水比が小さい場合

含水比 10%以下の場合、凍結強度が期待できない。

土中の塩分含有量により強度に影響。海浜地域では注意

地盤の沈下、隆起

一般に砂・砂礫では小さく、粘性土では大きい。

解凍時に温水 + 薬液注入で沈下を抑制する、強制解凍方式もある。

◆ 地下水位低下工法

地山の透水性が大きく、切羽からの湧水によって切羽の崩壊が生ずる場合に採用

シルト質砂～砂礫層 透水係数 $10^{-1} \sim 10^{-4}$ cm/s 程度に適用

・ 工法の種類

ウェルポイント工法：真空ポンプによる強制排水

重力排水が有効でない砂質地盤における、数m程度の比較的
5～6m程度の小さな水位低下に適用。

ディープウェル工法：重力排水

15～20m程度の水位低下

・ 地上からの処理方法

土被り6～7m程度：ウェルポイント工法

土被り10m程度まで：配管トレンチを併用した路下式ウェル
ポイント工法

それ以深：ディープウェル工法

・ トンネル内からの処理方法：地上からの施工が困難な場合

トンネル内からの施工、水平ボーリング、パイロットトンネル
使用などによる施工

・ 留意点

地盤沈下や、井戸の水位低下等の原因となる

周辺への影響について十分検討

排水の検討：揚水量の調査、放流方法の検討