

総論

高水圧下における推進施工の設計上の留意点と対策事例

す どう ひろし
須藤 洋
機動建設工業(株)
土木本部技術課



1 はじめに

一般的に「大土被り」という語句で思いつくのは、大深度法の深さの基準である「地下40m以深」ですが、大深度法は地下空間有効活用のための法令であるため、施工条件とは切り離すべきであると考えます。また、大土被りの条件においても推進工法とシールド工法は区分すべきだと考えます。

推進工法は掘進機から発進立坑に据付けた推進管まで管列全体が動くのに対し、シールド工法はセグメントによる覆工完了後は裏込め注入を行い、セグメントを反力としてシールド機が進むため管列全体が動くことはありません。

推進管据付け時のバックリング現象など切羽面に作用する高水圧の影響を受けやすいのが推進工法です。

また、管路の止水性能についても推進工法とシールド工法における大土被りの基準というのは違った条件になると考えます。日本下水道協会規格では、推進管の継手性能の耐水圧は、昨年(2018年)に改正されるまではJC継手の0.2MPaとされていました。そのため、推進管継手部に0.2MPa以上の自然水圧がかかる条件について大土被り、高水圧とする考え方もあるようです。

しかしながら、当社における過去の施工事例より、バックリング現象が発生する場合は、通常の施工範囲を超えると考え、0.1MPa以上の自然水圧がかかる条件につい

ては高水圧推進施工として取り組んでいます。

本稿では、当社が高水圧推進施工指針を定めている0.1MPa以上の自然水圧が作用する場合の問題点について、その取り組みや施工技術について記述させていただきます。

2 高水圧推進施工における課題と対策

2.1 掘進機、推進管の水密性

【課題】

掘進機についてはカット駆動部および中折れ部のシール、推進管については継手性能が想定される自然水圧に十分耐えうる性能を有していること、また中押管を配置する場合は当然中押管の摺動部および継手性能についても検討が必要となります。

【対策】

当社掘進機の耐水圧は0.3MPaとしており、稼働履歴を確認し必要であれば各部シール材の交換を行います。

推進管はJC継手性能を超える水圧が想定される場合は、高水圧に対応した特殊な推進管を選定する必要があります。また、中押管の漏水の多くはS管とT管の偏芯による止水ゴムの浮きが原因と想定されるため、偏芯対策を施すことが重要となります。

さらに、予期せぬ出水が発生した場合を想定して各継手には止水用注入孔を設けることと、止水材について

事前に検討しておく必要があります。

掘進機および推進管の水密性が損なわれた場合は致命的な事象につながる容易に想定されることから、慎重な検討が必要となります。

2.2 発進坑口の水密性

【課題】

地盤改良区間では自然水圧がそのままかかることはまず考えにくいですが、改良区間を抜けた際にはいきなり高水圧がかかることがあり、その際懸念されるのが止水ゴムの捲れ（反転）です。止水ゴムが捲れるようなことがあれば土砂流入等の大変な事態になり、高水圧下でその捲れた止水ゴムをもとに戻すことは容易ではありません。また、止水ゴムによる水密性が高くても坑口コンクリート壁から泥水や地下水が噴出・漏出することもあります。その原因として考えられるのは、立坑土留め壁と坑口コンクリート壁の剥離もしくは坑口コンクリート壁の痘痕等による空隙です。

よって、発進坑口設備は通常よりも高い水密性と剛性を有する、止水ゴムが捲れることがない構造、坑口コンクリート壁についても立坑土留め壁と剥離しない構造が必要となります。

【対策】

当社では高水圧推進施工指針で発進坑口設備の条件を次のように定めています。

①ドッグレッグパッキンの使用

- ・原則として厚み20mm以上の耐摩耗性ゴムのドッグレッグパッキンとする。

ドッグレッグパッキンは、ストレート型に比べ推進管外面接地面が広いことにより水密性に優れ、またその形状から捲れにくくなっている（写真-1）。

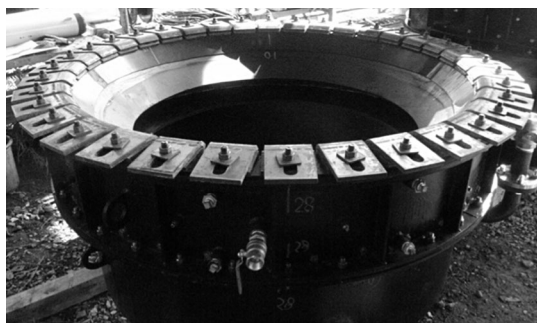


写真-1 ドッグレッグパッキン発進坑口

②スライド金具の構造

- ・締付ボルトが1本の単体構造ではなく、締付ボルトが複数となる構造とする
- ・単体で製作する場合は補強リブを入れて隣りあうスライド金具同士を緊結できる構造とする
- ・スライド金具の隙間は降ろしきった状態で10～15mm程度とし、スライド金具を動かす際に止水ゴムの締付の緩みを防止するためにダブルナット構造とする

③剥離防止対策

- ・坑口コンクリート壁の型枠材として薄鉄板を使用し溶接接合で組み立て、推進完了まで型枠を残しておく
- ・前項が難しい場合は坑口金物に孔を設けた補強リブプレートを取付ける
- ・また、L型に加工した異径棒鋼を立坑土留め壁に溶接しアンカとする方法もある

④補足注入孔の設置

- ・坑口内部に薬液注入のための1インチ注入孔を複数箇所設置しておく

推進工法では管列全体が動くことから、発進坑口設備は到達するまで過酷な条件にさらされることとなるため、より慎重な検討と施工が求められます。

2.3 発進鏡切断作業

【課題】

大土被りの場合は鏡防護の地盤改良として高圧噴射攪拌工法が多く用いられますが、大土被りであるがゆえにその施工精度に誤差が生じる可能性が高くなります。地上でのわずかな傾きが改良部深さでは大きなズレとなり、その結果改良体のアンラップ部が生じることとなり、そこから地下水が浸入してくることが想定されます。

大土被りおよび高水圧下では改良体アンラップ部の止水作業は容易ではなく、かなりの時間を要することが考えられます。

【対策】

すでにセメント系の改良体ができていること等を考慮すると、止水方法は鏡部前面からの水平注入が考えられますが、注意しなければならないのは鏡面だけの止水は行ってもその背面では水圧がかかっている場合があ

るということです。この場合、無事鏡切断が完了しても地盤改良区間内掘進中に高水圧が作用することとなり、土質によっては地山の取り込み過多が発生することも考えられます。

大土被りでの鏡切断作業を回避する手段としては、鏡部を掘進機により直接切削できるFFUやNOMSTといった土留め壁を使用する工法がありますが、直接切削のために面板形状に制約を受けます。また土留め壁背面は初期掘進のために地盤改良が必要であり、地盤改良施工精度に懸念があることは通常の鏡切断作業の場合と変わりはありません。

2.4 初期掘進作業

【課題】

高水圧下の施工では、泥水式推進工法が有利になりますが、地盤改良区間の掘進で問題となるのが改良体切削片による排泥ラインの閉塞です。

改良区間で閉塞が発生した場合、送泥水の圧力により止水ゴムが捲れたり発進坑口設備を損傷させる恐れがあります。また、高圧噴射攪拌工法の場合改良体は平面的には円形状であるため、改良区間の終端ではどうしても掘削面の一部が地山となってしまう、地山の取り込み過多という状況に陥りやすく、またそのタイミングで閉塞が頻繁に発生した場合は管路上部の陥没を引き起こすことも考えられます。

【対策】

改良体の切削片による閉塞防止対策として、ラインクラッシャの導入またはコーン破砕機構付き掘進機の使用を検討する必要があります。また、高圧噴射攪拌工法の場合は終端に取り込み過多を防ぐために溶液による地盤改良区間を設けたほうがよいと考えます。

2.5 バッキング対策

【課題】

バッキングが発生することによって止水ゴムの捲れ、切羽の崩壊等を引き起こす恐れがあり、いずれにおいても非常に重大な事象につながる事が考えられ、当社では高水圧下では必ずバッキングするものとして施工計画を立案することとしています。

【対策】

バッキング防止対策としては、次の方法が挙げられます。

①インサートアンカ方式

推進管にインサートを設けてボルトで反力金具を取付ける方法（写真-2）



写真-2 バッキング防止インサートアンカ方式

②グラウトホール方式

推進管グラウトホールを利用して反力金具を取付ける方法

③油圧ジャッキ押付け方式

油圧ジャッキ先端に滑り止め金具を取付けて押付けることで推進管と一体化させて反力とする方法（写真-3）※外殻鋼管付きコンクリート管を対象



写真-3 バッキング防止油圧ジャッキ押付け方式

④油圧ジャッキ締付方式

上下（左右）に分割した反力金具を推進管に油圧ジャッキで締め付けて定着させて反力とする方法

バッキング反力架台については、高水圧下ではバッキング力が非常に大きくなるため支圧壁から直接反力をとる方法を標準としています（写真-4）。

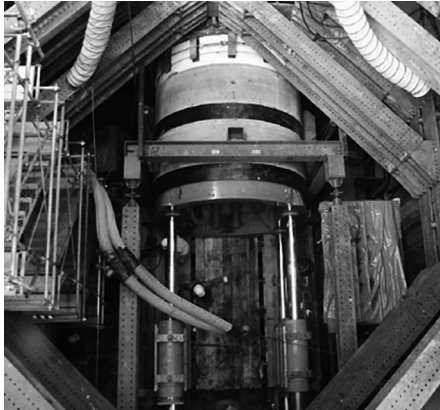


写真-4 バッキング防止反力架台

2.6 到達方法

【課題】

一連の到達作業で重要となるのは発進作業と同様に到達坑口の水密性の確保、到達鏡切断時の地盤の安定確保、そして掘進機押し出しとなります。

【対策】

当社では高水圧推進施工の到達作業について、次の方法を検討することとしています。

①到達作業

掘進機押し出し時は中折れ等の段差もあり一時的に止水ゴムが効かない状態となり、大量出水や土砂を引っ張る恐れがあります。これらを考慮すると鏡切断から掘進機押し出しまでを潜水士による水中到達作業とすることが最も安全な作業方法です。

なお、事情により水中到達作業が難しい場合は回収筒方式について検討します。

②到達坑口

発進坑口と同様に高い水密性を有した止水ゴムを用い、高い剛性を有した構造とします。

しかしながら、止水ゴムは発進坑口とは逆にゴム端が押し出された状態となるため地山側から高い圧力が作用した際には簡単に浮いてしまうことがあります。したがって止水ゴムの締付方法については、次の方式より坑口および立坑形状にあわせて選択します。

- 1) ワイヤ締付け方式
- 2) エアチューブ方式
- 3) スライド金具締付け方式

③到達鏡切断作業

- ・鏡切断作業時に出水や地山崩壊が予見された場合は、速やかに水没処置ができる設備を設けておく
- ・水没処置が困難な場合は、到達坑口に蓋ができる構造について検討する。この際、蓋を取付けるのに手間と時間を有する構造は有効ではなく、速やかに蓋を取付けることができる構造が重要となる

3 施工事例

以下に2件の高水圧施工事例を紹介します。

施工事例①

工 法：泥水式推進工法

推 進 管：呼び径1500

推進延長：112.84m

対象土質：砂質土、N値60/19

自然水圧：最大0.17MPa

発進鏡防護はダブルバック工法、到達鏡防護は二重管複相式でした。

発進作業から到達まで順調に進みましたが、到達鏡部の地盤改良効果を探っていたときに地下水と砂が噴出しました。補足注入を行いました但止水することは難しいと判断し、潜水士による水中鏡切断と掘進機頭部の押し出しを行いました(写真-5)。排水後さらに掘進機を押し出した際に、スライド金具で打ち付けていた止水ゴムが、シートが風にあおられたようにバタバタとはためいて地下水と砂が噴出している状況を見て自分の目を疑いました。あっという間に地下水が膝のあたりまでつかって



写真-5 潜水作業状況

しまい、これ以上の作業は危険と判断し退避し立坑を水没させました。

その後は推進管先端部まで水中押出しとすることで、無事掘進機を回収することができました。

施工事例②

工 法：泥水式推進工法

推 進 管：呼び径2600

推進延長：163.70m

対象土質：シルト質砂、N値22

自然水圧：最大0.21MPa

発進は土被り5.4mでしたが約7.0°の下り勾配であったため到達での土被りが20mを超えることとなり、到達作業についての検討を行った結果、鏡切断から掘進機の押出しまでをすべて潜水土による水中到達作業で行うこととなりました。また、到達坑口にはエアチューブ方式の坑口を使用しました。水中到達作業を行ったことで無事掘進機を回収することができました。

4 おわりに

現在では推進工法はその技術力の高さから多くの分野で採用されており、また都市部の輻輳した埋設物の状況より新設管路の埋設高さは深くなる傾向があります。

また、浸水対策としてシールド工法で築造された雨水貯留管きよへの支線築造工事などの需要が高まっていることから、大土被りや高水圧推進施工が多くなっていく

ことが考えられます。

本稿の執筆時にも大土被り、高水圧、長距離施工という厳しい条件が重なった工事を施工中で、現在は無事に初期掘進を終えて順調に本掘進作業を行っておりますので、次の機会に紹介したいと考えています。

大土被りでは高水圧への対応という課題については避けては通れない道であり、その事前検討において誤った選択をすれば致命的なトラブルを引き起こすこともあり、また施工においても確実な施工管理が求められます。今後増えるであろう大土被りや高水圧という施工条件について、当社としてもこれまでの施工により得た経験と知識、全社一丸による事前検討および施工管理を行うことでその技術力を向上させる所存であり、それが日本の推進技術のさらなる発展につながればと思います。

○お問い合わせ先

機動建設工業(株)

[土木本部]

〒553-0003

大阪市福島区福島4丁目6-31 機動ビル

Tel：06-6458-6183 Fax：06-6454-0274

[関東支店]

〒101-0035

東京都千代田区神田紺屋町38 エスポワールビル6F

Tel：03-3289-4771 Fax：03-5294-1281

