

総論

地下水と歩む推進工法



なかの まさあき
中野 正明
 機動建設工業(株)
 代表取締役社長
 (本誌編集参与)

1 はじめに

1.1 地下水に挑んだ推進工法

わが国での推進工法の歴史は開放型の刃口式推進から始まり、当時は当然のことながら切羽の湧水、崩壊と戦いながらの施工でした。その後、今ではほとんど見受けられなくなっていますが、主に軟弱地盤を対象としたブラインド工法(図-1 圧密刃口)、また、圧気工法(図-2)やウェルポイント工法など地下水に挑む技術が開発されて、地下水位以下の帯水地盤でも推進工法が施工できるようになりました。その後、薬液注入工法の技術的な確立と普及に伴い、地盤改良によって切羽の自立を確保しながら施工できるようになりました。まさに地下水に挑んだ歴史という感があります。しかし、今では

このような施工方法は特殊なケースを除いて採用されていません。それは密閉型機械式推進工法の開発、普及、進歩によるところが大きいと思われます。

1.2 地下水の価値を守る

2014年7月には水循環基本法が制定され、地下水を含む水が「国民共有の財産であり、公共性の高いもの」と法的に位置づけられました。我が国の地下水や表流水(河川、湖沼)および海水を含む水環境・景観などは世界に誇る貴重な財産であり、近年はSDGsの意識啓発とともに水環境保全意識が高まっています(写真-1)。これを受けて、推進工法でも地下水の保全に配慮した技術の必要性を感じていますので、後段では地下水を守る推進技術についても解説します。

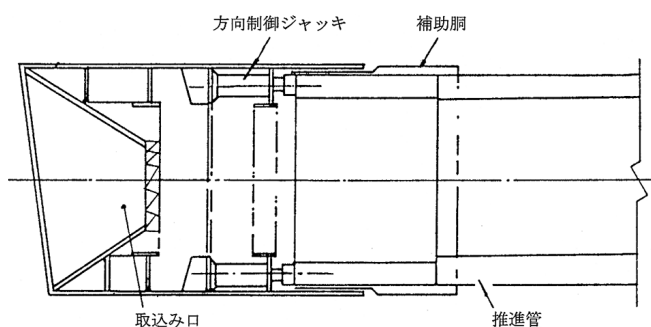


図-1 ブラインド刃口の断面

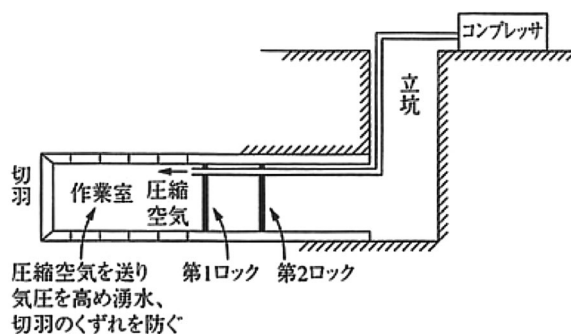


図-2 圧気工法(トンネル工事)の概略



写真-1 四万十川と沈下橋

2 地下水(圧)を制御する

2.1 工法および掘進機

現在使用されている推進工法で地下水を制御する技術は、当然密閉型機械式の各工法ですが、その工法毎にいろいろな工夫や開発がなされています。その主たる技術は掘進機に施された様々な工夫ですので、主にこれらに沿って以下に概説します。

(1) 泥水式

泥水式推進工法は、切羽の保持から排土の機構に至るまで、唯一の完全な機械式密閉型であることから、高水圧には適した工法と言えます(図-3)。通常推進工法で施工する高水圧とは0.2~0.4MPaまでで、掘進機そのものの隔壁や軸受、中折れ部のシールなどは相応の耐水性を確保していますので、掘進機の設計、製造、整備および使用方法を誤らなければ地下水に対して安全な工法です(ただし、0.6MPa以上の水圧に対しては事前の改造や試験が必要です)。むしろ問題になるとすれば地下水がない、あるいは透水

係数が大きいケース($k > 1 \times 10^{-4} \text{m/sec}$)で、泥水の環流ができない場合です。このような場合の掘進機の工夫としては面板の開口を小さくすることによって対応しますが、それより重要なのは施工時の泥水管理で、泥水の比重、粘性を上げたり逸泥防止材を使用したりします。それでも泥水の環流が確保できなければ、あらかじめ推進管路部を薬液注入などで地盤改良しなければなりません。

(2) 土圧式(泥土圧式)

土圧式推進工法は、チャンバ内への添加材の注入の有無により、土圧式と泥土圧式(添加材あり)に区別されます(図-4)。掘進機の練り混ぜ機構で掘削土の塑性流動化を図り、チャンバ内の土圧を保持しながら、

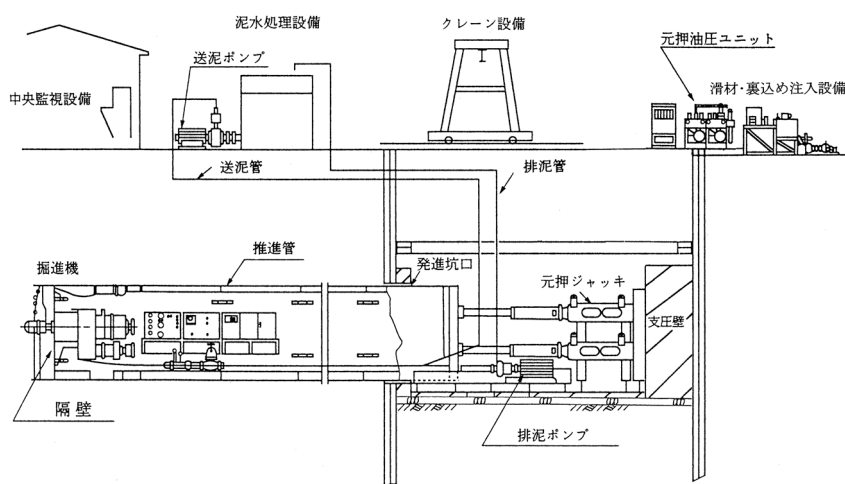


図-3 泥水式推進工法の概要

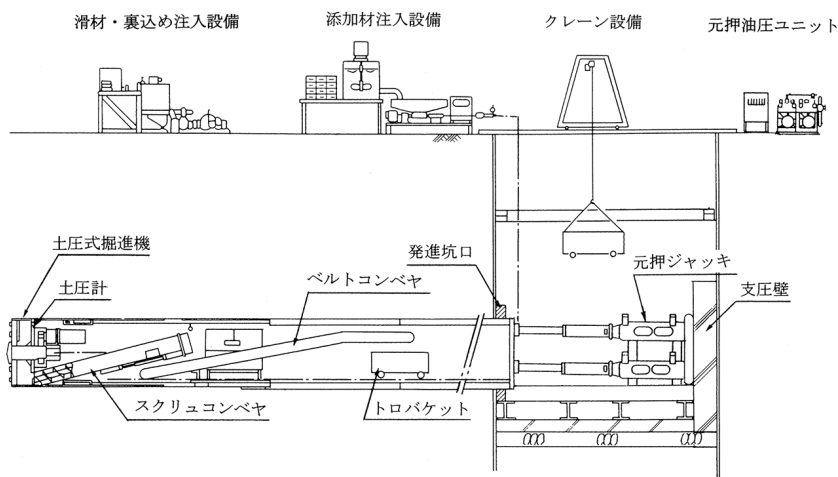


図-4 泥土圧式推進工法の概要

排土管から残土を連続的に排出する工法です。泥土圧式の場合の排土管はスクリュコンベヤで、チャンバ内の土圧保持や排土の制御はスクリュコンベヤの回転制御とゲートの開閉で行います。つまり強制的な制御が可能ですので比較的高水圧下でも施工が可能であり、また、切羽の保持と排土機構から、後述する泥濃式より大きな呼び径の推進工法に適用されます。

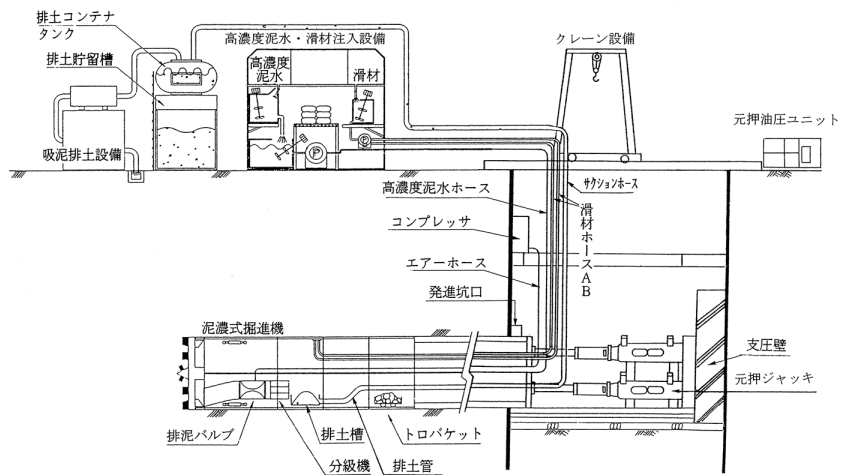


図-5 泥濃式推進工法の概要

シールド工法などでは一般的に泥水式と同じく地下水圧が0.2～0.4MPaまでです。高水圧施工に対する噴発防止策としては、プラグゾーンとしてスクリュコンベヤの長さを長くする、あるいは二次スクリュをゲートに直結することがあります。しかしながら切羽の安定と適正な排土管理に最も重要なのは掘削土の塑性流動化ですので、添加材の配合、注入量、注入位置の検討および掘進機の練り混ぜ性能の確保が必須です。

(3) 泥濃式

泥濃式推進工法は、添加材の注入と掘進機の混練機構で削土を塑性流動化させ、チャンバ内の土圧を確保しつつ間欠的に排土管から残土を排出する工法です(図-5)。チャンバ内の土圧の保持管理は排土管に設置したエアピンチバルブの開閉とジャッキの推進で行います。そのため地下水圧の高い地盤での施工には、掘進管理者や掘進機オペレータの技量が大切です。ここでポイントとなるのは掘進機の練り混ぜ性能とピンチバルブによる排出土の制御です。掘進機の練り混ぜ性能に関しては、一般的にスポークや攪拌翼を装備して、カット回転はトルクより回転数を大きくとっています。外周の回転速度は20m/min程度は確保します。また、ピンチバルブによる制御は操作する掘進機オペレータの技量が必要ですが、高水圧の場合は噴発防止のために2個のバルブの直列配置や、スクリュコンベヤを後続させるなどによって対応するケースもあります。

3 推進管

高水圧を制御できる推進管といえば、高水密性の鉄筋コンクリート管ですが、継手の止水性能の確保と管体自体の強度の確保が重要です。また、それ以外の管種では鋼管、ダクタイル管(写真-2)などがあり、これらはもともと高水圧に対応可能な推進管として提供されています。そのため本稿では鉄筋コンクリート管で地下水に挑む推進管を紹介いたします。



写真-2 推進用ダクタイル管

3.1 管体

高水圧に対応する推進管は当然のことながら、土圧と水圧に対して十分な外圧強度を確保していなければなりません。日本下水道協会規格(以下、JSWAS)では1種から3種まで外圧強度で区分されますが、それを超える場合でも鉄筋量の増加、ガラス繊維の付加あるいは

銅、コンクリート合成管などで対応することがあります（写真-3）。

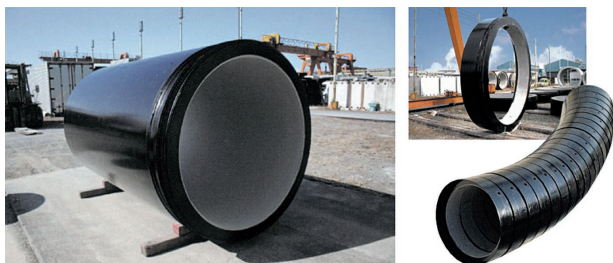


写真-3 鋼・コンクリート合成管（出典：ベルテクス㈱Webサイト）

3.2 継手

高水圧施工において、推進管に起因するトラブルの多くは継手からの漏水です。ヒューム管の継手は曲線施工の場合はもちろんですが、直線施工でも方向修正のために目地が開閉します。そのため鋼製カラーにスピゴッド部を挿入し、ゴムリングで止水します。JSWASではその許容開口長と止水性能別にJA、JB、JCの3種類の継手があり、止水性能はJAおよびJBは0.1MPaでJCは0.2MPaです。それを超える水圧に対しては特殊な継手が必要ですので、メーカー各社によってさまざまな高水密タイプの継手が開発されています（写真-4）。主なものとしては、鋼製カラーおよびスピゴッドの品質を確保したうえで、ゴムリングを二重、三重にし、また、ゴムリングの形状（リップ）に工夫を加え、あるいは水膨潤ゴムなどの特殊な材質のゴムリングを併用します。施工にあたっては当然のことながら、継手に装着したゴムリングの挿入を正常に行わなければなりませんので、ゴムの接着



写真-4 高水密推進管 Wジョイント管NAIA
（出典：藤村クレスト㈱Webサイト）

が確実に行われていることを確認して、慎重に装着しなければなりません。とりわけ掘進機直後の先頭管の挿入はより一層慎重な施工が必要です。

3.3 中押管

高水圧下の施工でもうひとつ問題になるのは、中押設備の稼働です。中押管の摺動は標準管の目地の開閉とは違って、その摺動量、回数が圧倒的に多く、ゴムリングの摩耗あるいは最悪の場合損傷、切断で漏水するケースがあります。また中押ジャッキのバランスの問題や蛇行、曲線施工などによって前後の管（S/T）の中心がずれて漏水するケースもあります。現状の中押管の規格における高水圧下の施工では、ゴムリングを劣化させない滑剤の補給注入や中心保持の工夫をしたうえで、直線区間での使用が無難です。今後の課題として高水圧下でも安全に稼働できる中押管の開発が望まれます（写真-5）。

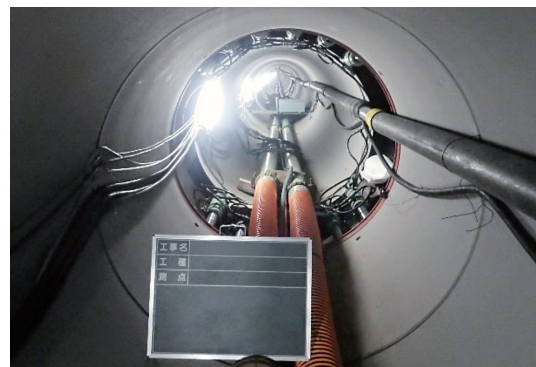


写真-5 中押管管内

4 補助工法

推進工法が地下水とともに歩むためには、地下水を制御する補助工法が不可欠です。前段に記述しましたが、推進工法の普及初期段階では地下水位を下げるウェルポイント工法や、地下水圧に対抗する気圧を作業室に確保する圧気工法がよく用いられました。現在のような密閉型機械式推進工法における発進、到達口の改良では、薬液注入や高圧噴射攪拌工法（ジェットグラウト工法）が一般的です。

4.1 薬液注入工法

薬液注入工法は、地盤の強化や透水性の減少（止

水)を目的として地盤内に薬液を注入する工法で、近年では様々な注入材や注入工法が開発されています。

現在使用されている薬液注入材料は、以下の種類があります(表-1)。

薬液注入工法には大きく分けて浸透注入と割裂注入の2種類があります。浸透注入には主に溶液型が用いられ、主な注入目的は地盤の透水性の減少(止水)です。割裂注入には主にセメント系材料が用いられ、主な注入目的は地盤の強化です。

推進工法で薬液注入を補助工法として用いるケースには、立坑築造時の地盤強化、発進到達鏡部の止水性確保および地盤強化、小土被り施工における上部地盤の強化、推進管路部の逸泥防止のための透水性の減少、互層境における方向制御確保のための地盤強化など様々ありますが、ケースバイケースで目的に合わせて注入材および注入工法を選定します。

また、近年では上記の注入材料や注入工法以外にもそれらを組み合わせにより、また、新しい技術が開発されたりしています。以下に主なものを列記します(表-2)。

【二重管ストレナーナ工法／単相式】

二重管ボーリングロッドを注入管として使用し、削孔から薬液注入までを一連の作業として行います。主に、瞬結型注入材を使用します。コストを抑えられ、環境的

表-1 薬液注入材料

分類	大分類	中分類	小分類
注入材料	懸濁型	セメント系	
		その他	
	溶液型	水ガラス系	アルカリ系 非アルカリ系
		高分子系	ウレタン系 その他

にも比較的安全とされています。

【二重管ストレナーナ工法／複相式】

二重管ボーリングロッドを注入管として使用する工法です。単相式との違いは、注入する際に瞬結型注入材と緩結型注入材の2つを交互に使用することです。瞬結型注入材は数秒で固結するため、緩結型を併用することで確実に地盤を改良できるとされています。幅広い土質に適用できることから、近年は複相式が主流といわれています。また近年では、瞬結型注入材と緩結型注入材の切り替え操作を行うことなく連続的に行う工法も開発されています。

【二重管ダブルパッカ工法】

削孔と注入を別工程で行います。注入外管をあらかじめ埋設し、その中に内管を挿入します。地盤変状が少なく粘土層・砂質土層など幅広い地盤に対応できるのが特徴です。また同一箇所でも、異なった種類の注入材を繰り返し注入できます。さらに、任意の深度に注

表-2 注入率例

二重管ストレナーナ工法

土質	N値	間隙率(%)	充填率(%)	注入率(%)	
砂・レキ	ゆるい～中位	0～50	40	90	36.0
	中位～締った	50以上	35	90	31.5
砂	ゆるい～中位	0～30	45	90	40.5
	中位～締った	30以上	35	90	31.5
粘性土	軟い～中位	0～4	70	40	28.0
	中位～硬い	4～8	60	40	24.0

- (注) 1. 注入率の決定にあたっては原則として間隙率から求める。
 2. 上表の間隙率は標準値であるので、土質調査の結果定めるものとする。
 3. 腐植土、埋め土、その他特殊土は別途考慮する。
 4. 複相方式における瞬結・緩結の注入比率は次のとおり。

土質	瞬結材	緩結材
粘性土	1	0
砂質土	1	2～1:4
レキ質土	1	2～2:1

ダブルパッカ工法

土質	N値	間隙率(%)	充填率(%)	注入率(%)	
砂・レキ	ゆるい～中位	0～50	40	90	36.0
	中位～締った	50以上	35	90	31.5
砂	ゆるい～中位	0～30	45	90	40.5
	中位～締った	30以上	35	90	31.5
粘性土	軟い～中位	0～4	70	40	28.0
	中位～硬い	4～8	60	40	24.0

- (注) 1. 注入率の決定にあたっては原則として間隙率から求める。
 2. 上表の間隙率は標準値であるので、土質調査の結果定めるものとする。
 3. 腐植土、埋め土、その他特殊土は別途考慮する。
 4. ダブルパッカ工法の一次・二次注入率の内訳は次のとおり。

土質	N値	一次注入材	二次注入材
粘性土	0～4	10%	18.0%
	4～8		14.0%
砂質土	0～30	5%	35.5%
	30以上		26.5%
レキ質土	0～50	10%	26.0%
	50以上		21.5%

(参考) (一財)建設物価調査会:令和4年度版 土木工事積算基準マニュアル, 2022.

表-3 改良体の設計基準強度 (JSG工法、コラムジェットグラウト工法)

硬化材	土質	一軸圧縮強度 (MN/m ²)	粘着力c (MN/m ²)	付着力f (MN/m ²)	曲げ引張強度 (MN/m ²)	変形係数E50 (MN/m ²)
JG-1号	砂質土	3.0	0.5	1/3c	2/3c	300
	粘性土	1.0	0.3			100
JG-2号	砂質土	2.0	0.4			200
JG-3号	砂質土	1.0	0.2			100
JG-4号	腐植土	0.3	0.1			30
JG-5号	粘性土	1.0	0.3			100

(参考) 日本ジェットグラウト協会：ジェットグラウト工法技術資料（第30版）、2022.

表-4 高圧噴射攪拌工法の噴射形態

工法	二重管工法	三重管工法
切削工法	超高压固化材+空気	超高压水+空気+固化材
使用ロッド	二重管ロッド	三重管ロッド
概要図		
代表的工法	JSG工法	コラムジェットグラウト工法

入管を設置できるため、一定の範囲に対し均一に注入可能です。そのため、大型工事で使用されることが多いようです。

計画設計にあたっては、事前の土質調査や地下水調査に基づいて注入目的、注入対象、施工条件などを検討して最適な注入材料および注入工法を選定しなければなりません。

4.2 高圧噴射攪拌工法

ジェットグラウト工法の基本は、硬化材そのものに超高压をかけて地盤を切削攪拌して円柱状の改良体を造成する「JSG工法」と、超高压水で地盤を切削すると同時に硬化材を充填して円柱状の改良体を造成するコラムジェットグラウト工法などがあります（表-3、4）。

薬液注入工法と同様に推進工法で高圧噴射攪拌工法を補助工法として使用するケースとしては、立坑築造

時の底版地盤強化、発進到達鏡部の止水性確保および地盤強化、小土被り施工における上部地盤の強化、互層境における方向制御確保のための地盤強化などがあります。特に地盤強化については薬液注入より信頼性が高く、大土被り（高水圧）施工における鏡部の自立確保などには欠かせない工法です。

高圧噴射攪拌工法分野でも近年様々な技術開発がなされていますので、その主なものを下記に列記します。

【MJS工法】

特殊な造成装置や多孔管を用いて、排泥を強制的に吸引することによって、水平や斜め方向の施工が可能な工法です。

【SUPERJET工法】

固化材の噴射圧および圧縮空気圧（風力）を高めることによって、従来工法より大口径（最大6m）の改良

が可能な工法です。

【V-JET工法】

噴射ノズルの改良および噴射圧力を高くすることによって、大口径の改良と高速施工が可能な工法です。

【JETCRETE工法】

噴射方式の改良によって改良径、改良形状（半円、扇型など）、改良強度を自由に選択でき、施工機械の小型化によって狭小な場所での施工が可能な工法です。

以上のようにいろいろな技術が開発されているため計画設計にあたっては、事前の土質調査や地下水調査に基づいて改良目的や施工条件などを検討して、最適な工法を選定しなければなりません。

4.3 ウェルポイント工法

推進工においては最近あまり見かけなくなりましたが地下水水位低下による湧水対策効果があり、古くから用いられてきました。ウェルポイント工法は排水工法の一つで、軟弱地盤内にウェルポイントと呼ばれる吸水管を配置して、強制排水して地盤の圧密促進を図る工法です（写真-6）。ウェルポイントとディープウェルの大きく分けて2種類の施工法があり、ウェルポイントは真空ポンプによる強制排水で、深さ7m以浅に適用され対象地盤にカーテン状に多数設置します。一方ディープウェルは重力排水方式で、深さ30m程度で深への採用実績があります。ウェルポイントは刃口式推進の時代には切羽の湧水を減少あるいは防止するためによく用いられました。現在でも開削工法の補助工法として施工され、また、ディープウェルは立坑築造工などの補助工法として活躍しています。

このほか、強制排水工法として、バキュームディープウェルポイント工法やスーパーウェルポイント工法などが用



写真-6 ウェルポイント施工状況

いられています。

地下水水位低下工法の採用にあたっては、施工に伴って周辺環境に影響を与える場合があり、周辺の事前調査や地盤、地下水に対する影響検討を行う必要があります。

4.4 圧気工法

圧気工法とは地下水圧に対抗するため圧縮空気を坑内に送入して気圧を上げ、湧水を抑えながらトンネルやケーソンを掘削する工法です。滞水軟弱層の地盤にトンネルを掘削する場合、切羽の近くに隔壁を設け圧縮空気を送入して、地下水圧と等しくなるまで坑内気圧を上げ、湧水を抑制するとともに切羽の崩落を防ぎます。現在では推進工法において圧気工法を採用することはめったにありません。それは、圧気工法の施工に伴う作業環境の悪化と酸欠の危険、周辺環境への影響、作業員の後遺症などのリスクを含んでいるからです。採用にあたっては事前の調査、届出、有資格者の配置、安全対策の徹底などが必要で、推進工においては機内ビット交換の補助工法などでまれに施工されています。

5 施工および設備（高水圧）

5.1 発進

高水圧下の施工で、まずはじめに気を使うのは鏡切りと発進です。以前は地盤改良が不完全で鏡切り工の途中で出水して立坑が水没してしまうようなケースがありましたが、現在では地盤改良技術が進歩して事前の確認（探り穴）をしっかりとっておけばそのような事態にはなりません。しかし高水圧下での長時間の開放は危険ですので、鏡切り完了後は速やかに掘進機を挿入する必要があります。

発進部に必要な特殊装備としては発進坑口リングがあります。標準積算に計上されている通常の坑口は0.1MPa以下程度と考えるべきで、それを超える場合はゴムリングに工夫が必要です。主な例としては、ゴムリングを二重に設置、エアチューブを使用、ヒンジ付きのフラップ方式のめくれ止め金具を使用するなどです（図-6）。どのタイプを使用するかは、費用も含めてケースバイケースで判断すべきです。

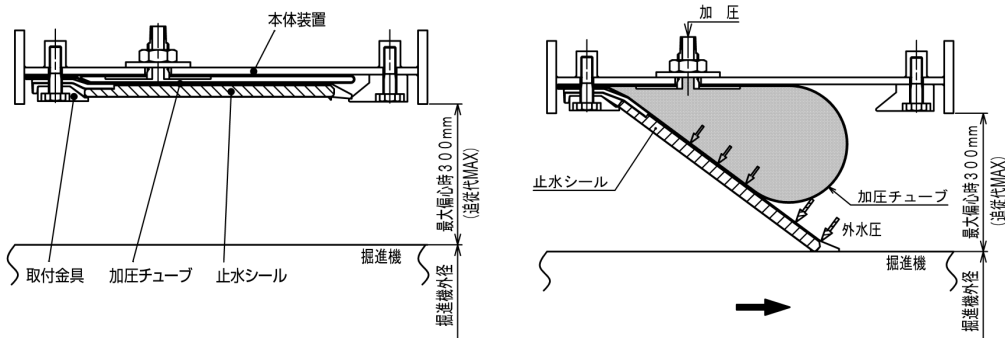


図-6 エアチューブ発進坑口図

5.2 バッキング

高水圧下の初期掘進では元押ジャッキを引き戻すときに、掘進機が前面の土圧や水圧に押されて戻る現象があります。バッキングと呼んでいるこの現象は、極端な場合は100m以上も継続することがあります。そのため事前にバッキング防止方法を検討して、金具などを設置しておかなければなりません。その方法にはいろいろあって特許も数件登録されていますが、大きく分けて推進管にアンカを事前に埋め込んだりグラウトホールを利用してストップ金具を取付けるタイプと、バンドやジャッキで推進管を締めこんで止めるタイプの2種類です(写真-7)。どちらも実績がありますので、使用する推進管の種類や水圧(バッキング力)によって選定します。

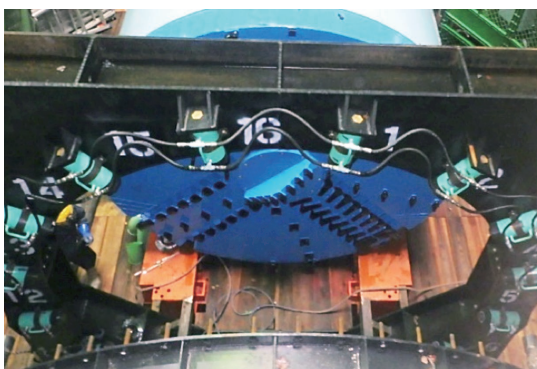


写真-7 締め付けジャッキによるバッキング防止装置

5.3 曲線施工

高水圧下の曲線施工で、もし目地の開口が大きくなるとゴムリングがカラーから逸脱すれば、最悪の場合人命にかかわる大変なトラブルになります。そのため事前の十分な検討と対策が必要です。曲線施工において極端

な方向修正を行わなくても、カラーとゴムリングの拘束力にはばらつきがあり、曲線部を通過する推進管の目地開きは一定にならず、1箇所に集中して大きく抜け出すことがあります。とりわけ急曲線においては、もともと計算上の目地開口が許容に限界に近い場合、その危険が懸念されます。そのため目地の開口を強制的に制限する「目地開口制限装置」を使用します(写真-8)。



写真-8 目地開口制限装置

5.4 到達

到達における地下水の問題はバッキングを除き発進における問題と同じで、まずは安全な鏡切り作業が保証される鏡面の地盤改良です。最近では高水圧の発進、到達では信頼性の高い高圧噴射攪拌工法などが採用されて、以前ほどトラブルは少なくなりましたが、大口径の場合や連壁立坑などで鏡切り作業に長時間を要する場合は注意が必要です。

次の留意事項としては到達坑口リングおよび掘進機の回収がありますが、坑口リングは発進と同じで、標準の坑口リングは0.1MPa以下程度と考えるべきで、それを

超える場合はゴムリングに工夫が必要です。到達の場合は掘進機回収後に追加注入で止水することが可能ですので、まず短時間での止水効果を考えてゴムリングの締め付け方法の工夫や、エアチューブ方式などが多く採用されつつあるようです。しかし、高水圧下の到達作業におけるトラブルの多くは、鏡切り完了後掘進機押し出しを開始して坑口リングを通過するまでの間に発生します。管列が移動するため管外周にゆるみが生じて、水や土砂が到達立坑内に噴出して掘進機の回収が困難になり、背面の地盤変状が生じることがあります。そのための方策としては鏡切り完了後に到達立坑に地下水水位以上の水を張り、また、特殊な掘進機回収用の鋼製筒を使用するケースもあります(写真-9)。「水張り方式」の場合は排水前に、「回収筒方式」の場合は筒解体前に補足の地盤改良が必要です。いずれの場合も中押しジャッキ撤去後、速やかに裏込注入を行わなければなりません。

なお、写真-10は潜水士により、直接海中から掘進機を回収した事例です。

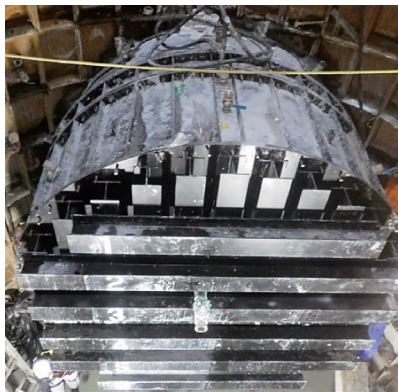


写真-9 回収筒



写真-10 掘進機水中回収状況

6 地下水を守る

6.1 泥水および添加材

推進工法に伴って地下水に影響を与える可能性のあるものとしては、泥水式における泥水の循環と泥土圧式、泥濃式における添加材注入があります。

(1) 材料

泥水式における泥水は基本的に環流するものですので、その全てが地中に残留することはありませんが、その一部が浸透し、また、被膜が残留するため、作泥剤は地下水に影響のないものでなければなりません。通常使用される作泥材は粘土、ベントナイト、CMCなどの自然由来のもの、ポリマなどの加工品ですが、いずれの材料もpHが中性に近くて毒性がないことが必要です。泥土圧式や泥濃式は添加材を掘削土と混練りして回収するものですが、泥水と同じく地中に残留することは確実ですので、作泥材と同じく無害なものでなければなりません。いずれの材料も製品規格表、成分分析表(試験表)、製品データ安全シート(MSDS)、魚類急性毒性試験などを第三者機関で行って安全を確認する必要があります。

(2) 逸泥

泥水材料や添加材料が安全なものであっても、地盤の変化や管理不足で逸泥させては、地下水への影響がないとはいえません。そのため泥水式においては、泥水の比重、粘性管理と流量、送排泥圧管理による切羽バランスの管理をしっかりと行う必要があります(写真-11)。砂礫地盤などで泥水が逸泥している場合は、作泥によって泥水の比重を1.3以上にしてファンネル粘性を60秒以上にするような場合もあります(写真-12)。泥土圧式や泥濃式の場合は、添加材の配合や注入量の管理と排土管理によって、掘削土の塑性流動を確実に行って切羽バランスをしっかりと管理しなければなりません。この方式で逸泥する場合、一般的には添加材の濃度を濃くして逸泥せずにチャンバ内が塑性流動化した削土で充填するようにしますが、地下水圧が非常に高く削土の塑性流動化が困難な場合は2液ショットタイプの添加材を用いることがあります。

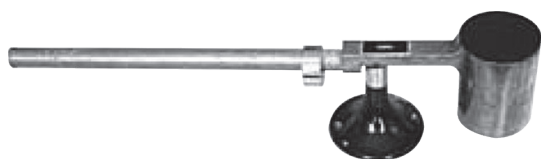


写真-11 比重計



写真-12 ファンネル粘性計

6.2 滑材注入

滑材注入は推進管の外周のわずかなボイドに注入して潤滑層を形成することから、安全な材料で適切な注入を行えば地下水への影響はほとんどありません。

(1) 材料

滑材の材料は大きく分けてベントナイトを主成分とした配合材料、高分子ポリマの単品あるいは配合材料、その他の化成品などがあります。添加材と同じくpHが中性に近くて毒性がないことが必要ですし、使用に当たっては製品規格表、成分分析表（試験表）、製品データ安全シート（MSDS）、第三者機関分析などで安全を確認する必要があります。

(2) 注入方法

滑材注入は掘進機直後の推進管から、外周のゆるみに相当する量を注入しますが、長距離推進では後続の管列から追加して繰り返しの二次注入を行うケースもあります。いずれにしても注入圧力の管理は必要で、むやみに圧力を上げて噴発させるなどはあってはならない行為です。二次注入はむしろ低圧で繰り返し注入する方が効果が上がります。

6.3 裏込め注入

推進工法に起因して地下水に影響を与える懸念が最も高いのは裏込め注入です。特に近接して使用中の井戸がある場合などは注意が必要です。注入材料そのものは安全なものを使用しても、裏込め注入は管外周のゆるみを充填して固化するものであり、注入時は流動性がありますが時間経過とともに固化して強度を発現します。そのため井戸のくみ上げなどによって地下水の流れがある場合には、裏込め材が地下の水みちを通過して拡散して、思わぬところで固化する場合があります。時には井戸に流入してポンプを故障させるケースもあります。そのため注入に当たっては注入圧および注入量の管理を厳格に行うことは当然ですが、リスクの高い場合は2液ショットで瞬結タイプの注入に変更するケースもあります。

6.4 補助工法

推進工法に伴って補助工法を併用する場合がありますが、その補助工法についても地下水への影響がないように配慮が必要です。

(1) 地盤改良

発進および到達鏡部や路線部を地盤改良することがありますが、一般的には薬液注入か高圧噴射攪拌工法が採用されます。いずれも使用材料の安全を事前に確認し、事前事後の地下水採取検査で影響がないことを確認しますので、最近では地下水汚染トラブルはほとんどありません。

(2) ウェルポイント、圧気工法

最近ではあまり見かけなくなりましたが、推進工法の補助工法として地下水位低下（ウェルポイント）工法や圧気工法を施工する場合には、施工に伴って周辺の地下水位が変化し、地盤の変状をきたして問題になるケースがあります。具体的には近隣の井戸が枯れて補償を要求されるケースや、施工後に地下水位が回復しないなどのトラブルです。地盤の透水系数が比較的小さい場合はその影響が広範囲にわたり、圧密沈下などの二次的な問題が起こるケースがあります。地下水位低下工法や圧気工法の採用に当たっては、周辺の事前調査や地盤、地下水に対する影響検討を入念に行う必要があります。

7 おわりに

冒頭に記述したように推進工法は、その開発初期においてはまさに「地下水に挑む」工法であり、技術の進歩は地下水との戦いを抜きにしては語れません。今日ではその挑む深度はさらに深く、高水圧になっていますが、技術の進歩は機械式密閉型という地下水と坑内を完全に遮断する素晴らしい工法を生み出しました。大深度地下使用法を活用した施工の普及などによって、これからさらに厳しい条件で地下水に挑むことが考えられますが、常に念頭に置かなければならないのは作業の安

全性と理論的に確立された根拠および新技術に挑む姿勢だと思えます。このことを踏まえて「地下水に挑む」から「地下水と歩む」技術を磨いていく必要があります。

また、地下水を含む自然水に対する価値認識が高まっており、これは推進技術にとってはある意味追い風だと思われまます。推進工法は環境に優しい工法であり、地下水に対してもしっかりと事前検討と施工管理を行えば、まさに「地下水を守る」技術です。

以上、地下水をキーワードに現状の技術を解説いたしました。今後さらに素晴らしい推進技術が普及、発展することを願っておわりの言葉といたします。