

解説

安全で安心な 推進工法であるための方策

かたやま たかし
片山 孝司
機動建設工業(株)
安全環境部長



1 はじめに

日本における推進工法は今から74年前にわが社が刃口式推進工法（開放切羽、人力掘削）で施工したのが始まりで、現在では機械式密閉型の工法が主流になっています。刃口式推進工法の時代は推進工法における重大災害といえば「切羽の崩壊」「突発的出水」「酸素欠乏を含む有害ガス」などでしたが、現在の推進工法に関わる災害といえば「排土口からの土砂流入」「高水圧下の推進管継手部からの漏水」などに加えて施工中あるいは施工後の路面陥没（推進工法での案件ではありません）などもここ数年話題になっています。このように推進工法に関わる災害はその時々の技術レベル、施工状況等によって変化しています。本稿においては現状の推進工法の施工と安全管理のマッチングなどを念頭に、本来の安全で安心な推進工法であるための施策を検討してみたいと思います。

2 建設工事共通の災害

建設工事についてその発生件数、重大性などで注目される3大災害は「墜落・転落災害」「建設機械・クレーン災害」「崩落・倒壊災害」ですが、推進工事においてこれらの災害が発生するのは推進仮設備の設置撤去時あるいは推進中の盛り替え時（推進管セット時）など

の掘進以外の作業時に多く発しています。これらの災害を防止するには三つのポイントがあると考えます。

まず、作業に関わる全員の安全に対する「意識」の啓発です。このような災害の原因を調査すると、まず作業に対する安全意識の不足あるいは欠如があげられます。どんなに良い設備があっても正しい知識を持っていても、ふとしたことで安全意識が希薄になればヒヤリ・ハット事象が発生し、30件積み重なれば軽微災害が発生し、300件積み重なれば重大災害が発生します。やはり意識が第一です。そのためには繰り返しの啓発活動しなく、現場におけるTBM、KYはもちろんのこと、企業全体の安全教育の実施や責任者による安全パトロール（写真-1）が重要だと考えます。



写真-1 安全パトロール

次に重要なのは「設備」の充実です。設備不良があれば災害につながりますから、施工計画時点で安全に配慮した設備の選定、配置を心掛けるとともに、日常的な設備の点検も重要です。またフルハーネス型墜落制止用器具（図-1）や工事用ヘルメットなどの安全器具に関する規定が変わってきていますので、そのような規定（法律）の改正に関しての情報を的確に把握して対応することも重要です。



図-1 フルハーネス型墜落制止用器具装着促進のイラスト

最後に施工に関する技術知識を保持することです。建設工事を管理するかぎり土木、機械、電気などの知識を持つことは当然ですが、仮設鋼材の強度やクレーンの吊荷重制限などの齟齬は重大災害になることがありますので、特に注意を要します。知識をもって現場に臨むためには、事前の施工検討を十分に行うとともに、企業としての技術研修会の開催や資格の取得促進なども効果があると思われます。

3 推進工法に関わる災害

3.1 刃口式推進

前述しましたが、刃口式推進の時代の推進工法に関わる災害と言えば、切羽の崩壊や出水で、それに対して様々な補助工法や刃口の形状、切羽作業員（先山）の技量などで対応しました（写真-2）。

しかし、我が社でも職員や数名の作業員が切羽崩壊（崩落）によって命を落とされた悲しい歴史がありました。これらのことを契機として切羽作業員は一人ではなく、切羽監視員もかねて複数人配置を講じましたが、中



写真-2 刃口式推進切羽作業状況

口径以下の作業ではなかなか徹底することができませんでした。やはり安全、安心を標榜するなら切羽の開放ではなく現在のよう密閉型が主流になるのが自然の流れだと思われます。また、切羽の開放と関連して酸欠や硫化水素などの有害ガスの噴出などが記憶にあります。酸欠や有害ガスは目に見えないため、検知が遅れて重大災害になることがありました。現在では遠隔監視型の検知装置がありますので、このような災害は格段に少なくなった印象です。

3.2 現状（機械式密閉型推進）

現在では機械式密閉型推進工法が殆どであり、災害リスク（要因）が以前とは変わってきています。

①長距離施工

長距離推進工における災害要因としては、推進抵抗の増大による推進管の破損や中押部などからの漏水、土砂流入などでの坑内作業員の脱出不可状況です。推進工法案件ではありませんが、昨年大阪府内の水道工事（非開削工法）で排土ゲートからの土砂流入によって後方台車付近が土砂で埋まり、切羽作業員が脱出できず48時間余り切羽に閉じ込められるという、一歩間違えば重大災害になる事象が発生しました。長距離施工においては特に万一の場合の坑内作業員の緊急避難路確保を考慮した掘進機、あるいは管内機器配置を心掛けるべきです。中口径以下の施工においてはできるなら、掘進中は坑内に作業員の配置を必要としない完全な遠隔操作が可能な工法を選択すべきです。また、測量作業や日常点検作業のために坑内に立ち入る場合は、事前に管内の安全を確認するために有害ガスの遠隔監視装置や坑内カメラの設置も必須と考えます。

②曲線施工

曲線施工による災害要因としては、推進管継手部の目地開きによって管端部に応力集中が生じて推進管端部が破損したり、許容目地開き量以上に抜け出すことによって継手部から漏水したりすることです。これらのリスクを防止するには、当然のことながら事前の推進抵抗計算、目地開き量計算などに基づく推進管および推進力伝達材の検討などが重要です。また、施工中の推進抵抗や目地開きの管理も重要であることも付け加えておきます。

③高水圧施工

高水圧施工による災害要因としては、泥土圧式や泥濃式での排土口（ゲート）からの噴発があります。排土管やスクリュコンベヤの中で削土が塑性流動状態で適切に制御されていれば、ピンチバルブやゲートを閉じることによって遮断することは可能ですが、噴発事故の大半は削土が塑性流動せず、なおかつ鉄筋などの異物が削土に交じって開閉の障害になるケースです。高水圧下でこのようなことが起こると重大災害につながりますので緊急遮断弁や完全密閉型の排土方式を検討すべきです。また掘進機や推進管継手部からの漏水および土砂の流入と発進到達時の坑口地山の崩壊があります。推進管はその継手の形状によって標準規格で0.2MPaまでの止水性能があり、特殊な継手では0.4MPaあるいは0.6MPa（鋼コンクリート合成管）までの止水性能がありますから、施工条件によって適切な継手形式を選択すれば安全な施工が可能で、おろそかになりがちなのは掘進機と先頭管の継手部と中押管の構造です。掘進機後端部の受け口と先頭管の構造との取り合いおよび中押管の構造も事前に検討する必要があります。発進到達坑口は最近では大深度の場合、噴射攪拌杭による置換工法が主流ですので以前ほどのリスクはないと思いますが、鏡切り工の前の改良効果確認は慎重に行わなければなりません。また、発進部における直接切削壁（FFUなど）も安全性の高い工法ですが、できればBackingなどの対応も含めて薬液注入などの地盤改良との併用が望まれます。

④その他の災害要因

推進工法に関わる特殊な災害要因を記述しましたが、実際に発生する災害としては坑内通行中に滑って転倒、

ストラットなどの機器に挟まれ、管内に残置されていたグラウトコックに激突、吊荷が滑って落下などほんの些細な不注意によるものが圧倒的に多く、推進工法においても「意識」と「設備」と「知識」が重要であることに変わりはありません。



図-2 吊り荷落下の危険啓発のイラスト

4 今後の推進工法の安全展望

推進工法は高度に機械化され、省力（少人数）作業になっていますので、災害の度数率、強度率ともに他の建設作業と比較して安全で安心な工法であることは間違いないのですが、より進歩した今後の推進工法を考えるとまだまだ考えなければならないことがあるようです。

まず管径と距離のことですが、小口径管推進（管内無人）と大口径管推進（管内有人許容）の現在の境目は呼び径800です。これは刃口式推進全盛期の昭和50年（1975）の労働省基発第204号下水道整備工事、電気通信施設建設工事等における労働災害の防止についての「人力掘削による推進工法においては酸素欠乏症防止規則、坑内労働規程等を遵守させるとともに、当面内径80cm以上のヒューム管やさや管等を使用するよう努めさせる」という記述が根拠になっています。しかし、現在では機械式密閉型工法によって長距離施工が可能になり、昭和50年には考えられなかった施工が多くなっています。また、作業員の体格なども大きくなっていきますし、平均年齢も少子高齢化を反映して年々高くなっています。このままでは働き方改革どころか危険で劣悪な職場になってしまいます。そこで、ヒュー

ム管業界の方などが提案されている管径統合の考え方（表-1）があり、さらに私見ではありますが小口径は呼び径1200未満として、呼び径1350以上を大中口径にしたかどうかという意見もありますでしょうか。小口径管は当然のことながら遠隔操作で、管内は基本無人での施工に規定します。中口径管も遠隔操作で管内は基本無人での掘進ですが、管内の点検や測量作業など掘進停止中の管内作業は可とします。大口径管は従来通りの規定で、大中口径管推進は様々な自動化機器を用いて長距離曲線施工などの技術困難な施工を可能にするべきです。

次にデジタル化、自動化の推進です。推進工法は他の建設工事と比較してデジタル化や自動化が進んで、安全安心な工法だと認識していますが、管理の全てを自動化した自動化施工には至っていません。自動測量、自動滑材注入、有害ガス遠隔監視、自動切羽保持、掘削土量遠隔監視などは実用

リアルタイムナビ工法

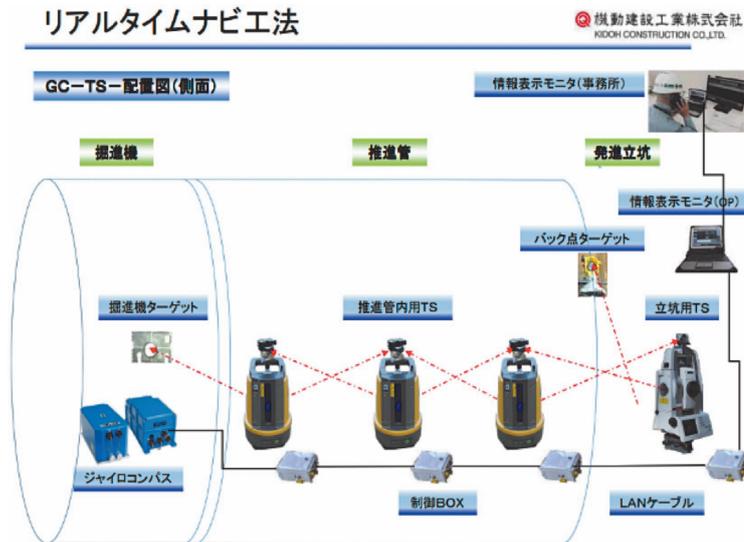


図-3 管内測量の自動化を進めたリアルタイムナビ工法のイメージ

化されて、シールド工法では一般的に行われています。推進工法でも今後は推進データの蒐集、蓄積、解析などを通じてさらに自動推進管理システム（図-3）を確立する必要があると思います。それができたならシールド工法やナトム工法で世間を騒がせたような災害を未然に防止して、またその疑いがかかっても施工途中における的確な管理状況が見える化することによって、より一層の安全に対する信頼を得ることができると考えます。

5 おわりに

先に述べたように現状でも推進工法は安全で安心な工法ですが、時代の流れによって進化しなければならないのも事実です。我が国の推進技術は世界に冠たるものですが、それは技術面で他の追随を許さず、施工困難な案件でも様々な技術開発によって乗り越えてきた結果です。しかし、今後は働き方改革やSDGs等の観点も取り入れて、持続可能な社会の継続に貢献する技術へと進化しなければならないと思います。そのためのキーワードはまさしく「安全で安心」だと思いますので、今後もこのような観点を忘れず日々の作業や技術開発に取り組んでいただければ幸いです。

本稿が安全・安心の一助となれば幸いです。

表-1 管径の統一案

現規格		提案	
分類	呼び径	分類	呼び径
小口径管	150	小口径管	150
	200		250
	250		350
	300		450
	350		600
	400		800
	450		1000
	500		1200
大中口径管	600	中口径管	1500
	700		1800
	800		2200
	900		2600
	1000		3000
	1100		
	1200	大口径管	2200
	1350		2600
	1500		3000
	1650		
	1800		
	2000		
2200			
2400			
2600			
2800			
3000			