

解説 長距離推進

アルティミット工法・長距離推進のこれまでの道のりと今後の課題



和田 浩治
機動建設工業(株)
関東支店長

1 はじめに

推進工法の利点を生かす手段の一つとして「長距離化」があり、従来からこの課題に取り組むことによって推進工法が大きく発展してきました。現状では1スパン1000m以上の施工実績も数件報告され、さらなる長距離化も夢ではなくなりつつあります。

そのような流れの中で我々推進施工業者は従来技術を改良したり新しく開発したシステムを付加したりすること

によって対処して、着実に成果を上げています。しかし、このような従来技術の延長での取り組みで適応範囲を拡大することは自ずと限界があるとともに、限界に近づくにつれてリスクが大きくなります。また、苦勞しながらの適応範囲の拡大に伴ってさまざまな問題点が明らかになってきています。

本文では、これまでの「長距離化」の道のりを振り返るとともに、その中から今後の課題について考えてみたいと思います。

2 これまでの道のり

2.1 第1期

推進工法の始まりは刃口推進工法であり、その初期段階は道路・鉄道・水路などの伏越し部のみを短距離で推進するものでした。しかし社会情勢の変化による道路交通量の増加や既設埋設物の輻輳などの問題で、立坑を省略して長距離施工するような要望が多くなり、長距離推進への動きが開始されました。

表-1 刃口推進長距離実績表

契約工事名	着工年月日	竣工年月日	企業者	都道府県	管径(m/m)	延長(m)	中押段数	カーブ径(m)	N値	土被(m)	地下水位(m)	土質
金洗沢第1号雨水幹線築造工事1	H08.01/24	H08.05/31	仙台市	宮城	1000	316.53	2	70	50	7		硬岩
泉大沢土地区画整理事業平成8年度造成工事その1	H10.07/10	H11.02/26	仙台市	宮城	2400	218.03	1	0	50	8		軟岩中
工第下3001号那珂珂懸流域関連日立市公共下水道事業管渠築造工事	S60.07/25	S61.04/09	日立市	茨城	1350	239.7	1	0	80	0		軟岩中
利根川上流流域下水道(泉央処理区)玉村伊香保幹線(5-9工区)	S58.08/22	S59.02/05	群馬県	群馬	1650	251.28	4	160	30	0		粘土
60広-第497号南入曾工区送水管布設工事	S60.08/27	S61.03/20	埼玉県	埼玉	1650	274.1	1	0	30	0		砂礫
60広-第497号南入曾工区送水管布設工事	S60.08/27	S61.03/20	埼玉県	埼玉	1350	258.7	1	80	30	0		砂礫
端穂町長岡2号幹線工事	S62.09/20	S63.03/30	西多摩郡瑞穂町	東京	3000	209	5	200	50	0		砂礫
白金局加入者線路設備工事	H01.08/15	H01.12/15	NTT	東京	1200	289	4	400	5	0		砂質粘土
カヤバ工業内排水切回し工事	H02.04/16	H02.07/31	カヤバ工業(株)	神奈川	1350	222.61	4	0	10	0		砂質粘土
上原2丁目付近管路新設工事(推進工事)	H10.08/10	H11.04/20	東京電力(株)	東京	1500	257.3	2	160	3	7	8	粘土
大作幹線・藤崎4、5丁目下水道工事	H13.03/01	H13.07/31	習志野市	千葉	1350	289.3	2	0	30	10	17	砂質シルト
大作幹線・藤崎4、5丁目下水道工事	H13.03/01	H13.07/31	習志野市	千葉	1200	219.1	1	0	30	10	17	砂質シルト
北総中央農業水利事業2号送水路その36工事	H05.05/01	H05.12/20	関東農政局	千葉	1500	226.61	3	0	20	6.5		砂
北総中央農業水利事業2号送水路その37建設工事	H06.02/14	H06.11/18	関東農政局	千葉	1500	254	3	0	10	6	10	砂
大井川広域水道事業	S59.02/26	S59.06/09	静岡県	静岡	1500	300	4	0	30	0		砂礫
東海大学湘南校舎尾外電気管路築造工事	H07.08/21	H07.10/01	東海大学	神奈川	1800	213.33	1	0	10	4		砂礫
公共下水道事業上ヶ西1号汚水幹線豊田市本新町地内築造工事(第3工)	S63.10/04	H01.04/01	豊田市	愛知	1000	217.48	3	0	20	0		砂礫
室堂20-2号線管布設工事	S63.10/11	H01.08/31	和泉市	大阪	1800	220	2	100	10	0		粘土
本四公団舞子トンネル北工事	H05.10/15	H06.02/15	本四連絡橋公団	兵庫	2000	246	3	0	30	4.5	5	砂
8号配水管布設工事(その3)	H03.03/09	H03.06/15	宇部市	山口	1650	217.3	3	210	50	0		軟岩中
吉野本町6丁目下水管渠築造工事	H05.02/05	H05.10/29	徳島市	徳島	1200	259.33	3	0	8	2.5	1.5	砂質シルト
吉野本町6丁目下水管渠築造工事	H05.02/05	H05.10/29	徳島市	徳島	1200	259.33	3	0	8	2.5	1.5	砂質シルト

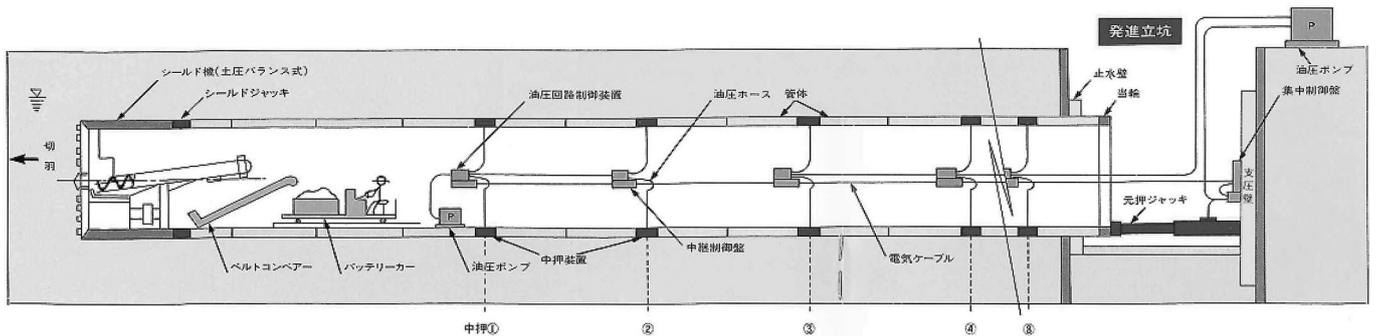


図-1 連動中押し図

当時は刃口推進全盛期であり機械推進もそろそろ導入される時代ですが、管外周の滑材層を確実に形成して保持する技術はまだ開発されておらず、特に刃口推進の場合は全面が解放されているためテールボイドの保持は困難でした。そのため、長距離化の手段としては中押し装置の開発であり、複数の中押し装置を連動して操作する自動連動中押し装置なども開発されました。

中押し装置の使用は現在では補助的であったり万一の推進力増大の場合の最終手段であったりするような位置づけですが、当時は連動して使用することを前提とした主要装置でした。それは、刃口推進工法などの場合は日進量が限られているため、中押し装置の使用による日進量の低減があっても全体工程や工事費に大きな影響がないためと代替え手段がないためと思われます。また、自立した地山が前提の工法であるため、管外周に地下水がなく、中押し装置の繰り返し使用による漏水などの問題が大きなトラブルにならないこともその要因と考えられます。

また、刃口推進工の長距離の問題点としては掘削残土の管内搬送もあります。従来のずりトロ（ウインチ）搬送では推進距離が200m程度を超えると効率が極端に低下して、日進量に大きく影響します。そのため、長距離の管内搬送にはバッテリーカーが使用され

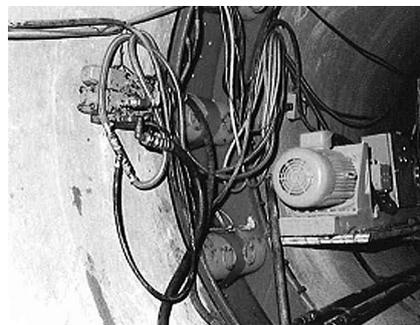


写真-1 連動中押し装置



写真-2 バッテリーカー

専用の軽量レールと小型バッテリーカーなどが開発されました。

そのような背景で刃口推進工における長距離施工は1スパン200～300m程度で、中押し工法を併用して行われていました。

2.2 第2期

推進工法の長距離化の第2期は機械推進の普及です。刃口推進に比べて機械推進は様々な面で長距離推進に適した工法で、その主な優位点としては下記のものがあります。

(1) 滑材層の保持

切羽密閉型の工法であるため切羽と掘進機・推進管外周に圧力を保持することができ、管外周に地下水圧に対抗できる滑材層が形成できます。そのため、その滑材層を継続保持できれば孔壁の崩壊を防止して推進管をトンネルの中で浮かしたような状態で移動させることが可能です。このことによって低推進力での長距離施工が可能にな

り、同時に中押しの削減によって日進量の低下を少なくすることが可能になりました。

(2) 連続排土

長距離推進に限らず推進工法全般で重要なポイントは「時間」です。推進工法は到達するまで管列全体が移動するため、時間が経過すれば推進抵抗の増大（土圧による締め付け）や周辺構造物への影響などが懸念されます。そのため、発進から到達までの「時間」は短縮できればできるだけ良好で安全な施工が可能になります。

そのような面でも機械推進は泥水流体輸送・土砂圧送・空気スラリー輸送などの連続排土が可能で日進量が多いため、時間の短縮が可能で長距離施工に適しています。また、連続排土方式の場合は排土距離が長くなることによる効率の低下がないことも長距離施工に適する要因です。

機械推進が推進工法の主流になるに

(2) 当工事の特異性と事前検討

本工事は帝国石油株式会社の入間ライン建設工事の中で、1級河川の荒川を横断する部分について推進工法にてさや管を埋設する工事です。

1スパンの推進距離は1,265.03mになり、地上部はゴルフ場・河川（荒川および和田吉野川）・多目的グランドなどになっているため、万一の場合でも地上部を掘削することは到底不可能な条件です。

推進部の土質は砂および砂礫土と想定されますが、過去の荒川の氾濫の歴史などを考えると巨礫や粘性土・流木などの存在も考慮しなければなりません。

また、推進完了後にパイプライン本管（鋼管）を水平に押し込むため、推進精度は全路線にわたってセンターおよびレベル保持が要求されます。

以上のような特異性を考慮して当工事においては二重管推進工法を採用するとともに下記の項目について事前検討を行ない、従来工法より各段の低推力で安全・確実な施工を目指しました。

鋼管外径	φ1300mm
鋼管内径	φ1262mm (厚さ t = 19mm)
内管との隙間	31mm

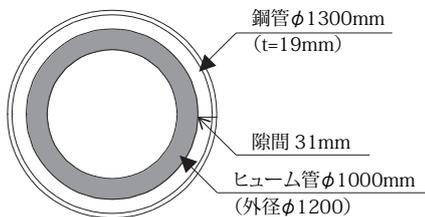


図-4 推進管断面図

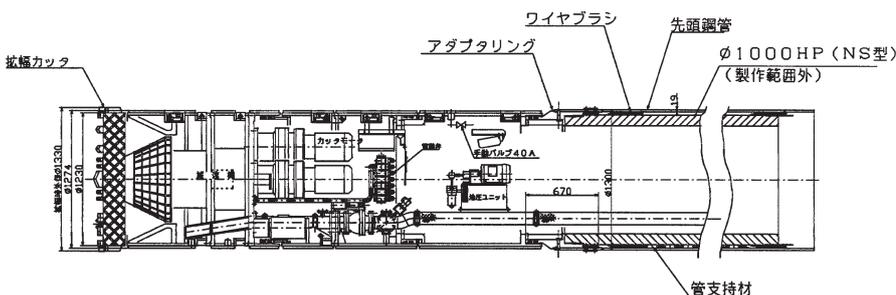


図-5 掘進機



写真-3 施工位置

①推進管

当工事に使用する推進管のうち、内管はさや管としての機能と経済性を考慮してφ1000mmヒューム管（外径1200mm）として、外管は掘削外径の差を極力少なくするため鋼管を採用します。

鋼管径および管厚は外圧荷重（土圧・水圧）による歪・推進抵抗を受けるための必要断面積・内管挿入のクリアランスなどを考慮した必要最小値とします。

②掘進機

推進部の土質は砂および砂礫層であ

り地下水圧は2.0Mpa以上になることも予想されるため、推進工法としては泥水推進工法を採用し掘進機前面での礫破碎機構を装備する。

外管推進時と内管推進時の掘削外径の差については外周部に3個のコピーカッタを装備し、内管押し出し時にはコピーカッタを縮めるとともに機内より鋼管アダプターの固定ボルトを取り外して離脱します。

カッタビットの長距離施工に伴う摩耗については、想定摩耗量に対して余裕のある刃先チップを備え、礫との衝突による欠損を生じない形状を選択します。

③精度確保

推進管の精度を確保するため、掘進中の姿勢制御と推進管1本毎の精度測量結果による方向制御を併用します。

掘進中の姿勢制御は、掘進機に装備したジャイロコンパスによって方位（ヨーイング）と傾斜（ピッチング）を常時テレビモニターで監視し、誤差を常時修正します。



写真-4 外管から内管の抜け出し作動



写真-5 掘進機

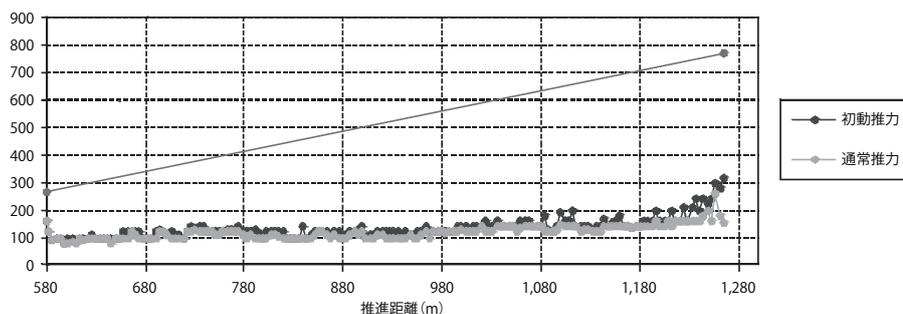


図-6 推進力 (HP 推進時)



写真-6 到達状況

推進管1本毎の精度測量は人的過誤を防止するためと測量時間を短縮するため、自動測量システム(自動追尾トータルステーション)にて行ないます。

また、現地は堤防・河川・グラウンドなどによって見通しのきかない状況のため、発進時の基線設定には特段の精度を確保するとともに掘進途中においても光学的チェック測量を複数回実施する。

(3) 施工状況と実績

推進工施工前に品質および実証試験として、推進管(ヒューム管・鋼管)の材料検査および掘進機の工場試験を行なって性能確認しました。

特に、二重管推進の特長である外管からの内管の抜け出し作動については地中での挙動を推定するため、掘進機およびアダプターリングの実機を使用

して地上にて実証確認しました。

推進抵抗の実績は予想をはるかに下回る低推力(初動推力320T・通常推力152T)で到達し、到達精度についても良好な結果となりました。

3.2 長距離アルティミット工法

【工事概要】

管 径：φ2200mm

延 長：L=1,165.8m

曲線 R=400、1,000m

土 被り：H=19～31m

土質 シルト・粘土

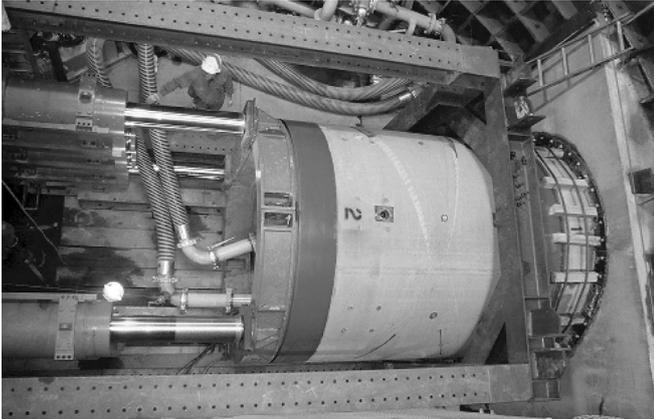
推 進 管：高水密Wジョイント管

工 法：泥水推進工法

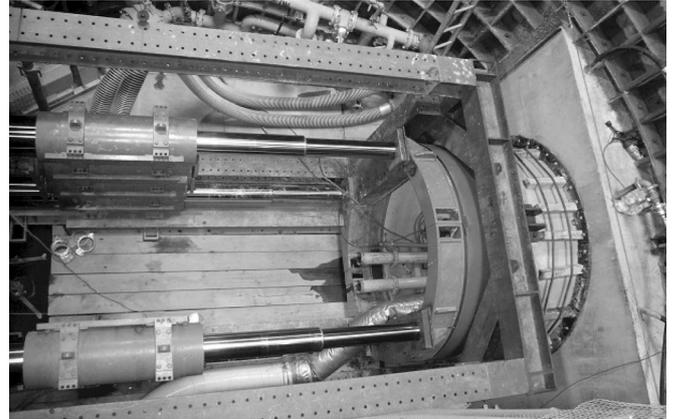
当工事は神奈川県内の運河を横断してφ2200mmのヒューム管を1スパンL=1,165.8mのアルティミット工法にて施工したものです。施工にあ

たっての問題点としては大口径の長距離推進工であるため推進抵抗の軽減と、高水圧下でのVHカーブの施工であるため推進管継ぎ手部の止水性が考えられました。

推進抵抗はアルティミット工法協会の算定ではF=18,000KNで、中押し装置は計算上2段必要ですが予備も含めて3段の装備としました。さらに現場は路線のほとんどが主要な運河や重要構造物の直下であるため、想定外の推力増大などに対して上部(地上)



写真一七 推進施工状況①



写真一八 推進施工状況②



写真一九 シールド設備筒

からの対応は全く不可能であるためその対応を検討する必要がありました。その結果、万一の推力増大→推進不能に対しては、掘進機直後にエレクターを装備したシールド筒を連結装備して、シールド工法にても掘進が可能な設備としました。

また、高水圧対策としては掘進機のシールドは0.6Mpaを確保するとともに、推進管は0.4Mpaの止水性が確保できる高水密Wジョイント管を使用しました。

4 今後の課題（長距離推進の設計・施工において留意すべき事柄）

4.1 推進工法の選定

長距離施工においては、管内通行の困難性・切羽作業環境の悪化・長距離化に伴う施工効率の低下などを考慮して、呼び径φ2000mm以下の施工で

は刃口推進工法の選定は避けるべきです。また、泥水式・土圧式・泥濃式の各機械推進工法においても、呼び径φ2000mm以下の施工においては、坑内作業の安全確保・災害時の避難の困難性を考慮して、少なくとも掘進中は切羽（先導体内）での作業の必要の無い施工方法（掘進機の遠隔操作等）を選定する必要があります。

4.2 推進力の低減

長距離施工においては通常の施工方法では推進力が大きくなるため、推進力を低減する必要があるのは当然ですが、推進力の低減方法を分類すると次のようになり、施工条件等を考慮して選定する必要があります。

(1) 滑材の自動注入

滑材の注入位置は通常の施工においては先頭推進管に設けた1カ所のみであるが、長距離施工においては後続の推進管の通過・注入後の時間の経過・地下水による希釈・変質などによってその効果が減少する。そのため、掘進機の切削による孔壁を保持して滑材効果を持続させるために、後方の推進管からも注入することが効果的であり、適当な間隔で注入孔を設けて追加注入を行ないます。長距離施工においては注入孔の数が多くなるため、1カ所当りの注入量・注入時間・注入圧を選択

して、切り替えを自動的に行なう自動制御方式を用います。

(2) 滑材混合層

（地山と滑材を混合した層）の形成

滑材混合層の形成は、先頭部分から推進速度に合わせて同一円周上に一定量の滑材を順次注入方法で、かつ、注入孔工法の攪拌ピンにより地山と滑材を混合して滑材混合層を形成させ、長時間滑材効果を保持できるテールボイドを形成します。同時にこの層で推進管を覆うことにより推進力の低減を図る方法です。

(3) 推進管外周部に縁切り層の形成

縁切り層の形成は、掘進機の外径を一次滑材層の厚さが確保できるように制御管より大きくし、掘進に伴って発生するテールボイドに強度と止水効果がある固結型滑材の一次滑材を注入します。さらに、その後方から一次滑材層と推進管の間隔に液状型の二次滑材を同時注入し、推進管の周囲に二層の滑材層を形成し、これにより一次固結滑材層が二次滑材の地山への逸散や地下水との希釈を防止して、液状型滑材の効果を十分に発揮させ、推進力の低減を図る方法です。

4.3 推進力の算定

長距離施工における推進力の算定は、推力低減方法によって異なるため

選定した低減方法に基づく推力算定式にて算出しますが、算定結果にはある一定の余裕（安全率）が必要です。

推進工法の実施工現場では土質・地下水の状況・掘進スピードなどは時々刻々変化し、許容範囲内の蛇行や外的要因による施工時間の変更および機械トラブルなどによる一時中断時間などもある意味必然のものであります。それらの不確定要素を内在しつつも、推進力算定結果に基づいた推進管の選定・配置がなされて推進設備（支圧壁・元押し・中押しジャッキ）が装備されれば、必ず施工完了（到達）出来るものでなければならないからです。いわんや、設計価格をカットするために推進力の算定式を何の根拠もなく意図的に改訂するなどはもっての外です。

4.4 推進管

推進工法にもっとも多く使用されるヒューム管の性能で長距離推進に関連するのは軸方向耐荷力（許容圧縮応力度）で、一般的には50N/mm²と70N/mm²があり、最近では長距離用として90N/mm²のヒューム管も製作されています。

また、長距離施工に不可欠な中押し管も上記の規格に応じて製作されていますが、継ぎ手摺動部のゴムリングの摩耗や管体および緩衝材の弾性変形領域の戻りによる中押しジャッキの有効ストロークの減少（消滅）などの長距離推進に特有の問題点もあります。今後は長距離推進の過酷な実施に耐えられる中押し管の開発が望まれます。

4.5 土砂搬出

長距離施工においては、掘削土砂の坑内搬送距離が長いこと、推進距離に応じて土砂搬出方法や搬出装置の能力などを、推進工法ごとに検討する必要があります。

(1) 泥水式推進工法

泥水式推進工法における土砂搬出は

泥水の還流による流体輸送であり、還流する泥水の輸送管路が長くなると、管内の流体抵抗が大きくなり、流量の確保が出来なかつたり切羽の圧力制御が困難になったりする場合があります。この対策としては、推進管内の適当な距離に中継ポンプを設置して、送排泥の流量を確保するとともに切羽の圧力制御を可能にする必要がありますが、中継ポンプの設置においては管内測量の視準および管内通路の確保を考慮して、ポンプの大きさと推進管径との関係を検討しなければなりません。また、礫地盤における長距離施工においては排泥側ポンプのインペラやケーシングの摩耗が激しく施工中に交換する必要が生じるため、その準備と予算計上が必要であり、設計にも反映されることが望まれます。

(2) 土圧式推進工法

土圧式推進工法における土砂搬出方法には、トロバケット方式とポンプ圧送方式がありますが、トロバケット方式では、搬出時間が推進距離とともに長くなり、長距離施工においては施工能率が著しく低下するため、バッテリーカーの使用などによって搬送速度を速くするなどの対応を検討する必要があります。圧送ポンプ方式では、掘進機の後部に圧送ポンプを設置するため、測量の視準および掘進機内への出入を考慮して、圧送ポンプの大きさと推進管径の関係を検討する必要があります。また、長距離施工においては圧送管路が長くなり、管内の圧送抵抗が大きくなるため、ポンプの圧送能力の検討を行なって、必要に応じて中継ポンプの設置や添加材の追加による削土の性状改善を行なう必要もあります。推進管径が比較的小さい場合は、管内スペースが制約されるため、真空ポンプ方式等で土砂搬出をする場合があります。

(3) 泥濃式推進工

泥濃式推進工法における土砂搬出方法には、真空搬送方式及びトロバケット方式があり、礫を含む土質以外の場合は主に真空搬送式が用いられています。真空搬送では、掘削と土砂搬出が連続した並行作業となるため、推進速度と搬送能力が調和した稼働状態を維持する必要があります。礫などを含む場合は、掘進機内の排土槽で分別してトロバケットで搬出します。

4.6 測量

測量方法については、長距離施工においてもトランシット・レベルなどの測量器械を用いる方法が基本ですが、測量器械の可能視準距離には限度があり、それ以上の距離になれば坑内に測量器械を据え付けて、盛り替えながら測量します。長距離施工においては、坑内での測量器械の盛り替え回数が多くなり、測量時間が長くなることによる作業能率（日進量）の低下が問題になるため、長距離施工における測量方法として、測距・測角・演算機能をもつトータルステーションを用いる方法が効率的です。これに自動整準・自動追尾などの自動測量機能を備えた装置を用いれば、更に測量時間を短縮することが可能です。水管式計測方法は検出が容易であり、計測結果の信頼性が高く計測距離の制約が少ないため、特に小口径の長距離施工における水準測量に適しています。長距離推進の場合はこのような自動化された測量方法が基本装備となって、正当な金額が設計に計上されることが望まれます。

4.7 安全対策

推進工法における安全衛生管理は重要なポイントですが、特に長距離施工においては作業環境整備と災害防止のために必要な措置・対策を講じなければなりません。

(1) 換気

長距離施工においては十分な自然換気は期待できず、酸欠空気・可燃性ガス有毒ガス等の発生が予測されるため、切羽および管内の酸素濃度・可燃性ガス・有毒ガス（二酸化炭素・硫化水素・メタン等）の有無を監視し、作業に必要な換気を行わなければなりません。管内（切羽）にセンサーのみを設置して、坑外で管内の監視が出来る遠隔監視装置は、入坑前に管内状況が確認できるため、長距離施工の安全管理に適しています。換気は管内の作業状況（人員・作業内容）に応じた風量を確保するとともに、換気管内の損失抵抗を考慮した風圧を確保する必要があります。

(2) 照明

管内の通行および測量作業などの管内作業の安全を確保するために管内照明を行ない、作業場所あるいは通路としての必要な照明を確保しなければなりません。長距離施工においては配線延長が長くなるため、電圧低下による照度低下・点灯不良が懸念されるため、配線径および電圧などを検討する必要があります。

(3) 通信・連絡

通常の推進施工においても切羽と立坑および地上基地との連絡のため通信設備を設ける場合がありますが、長距離

施工においては作業指示や緊急時の連絡のため必ず装備する必要があります。

(4) 排水

地下水位以下の推進工事において上り勾配以外（下り・水平）の場合は、切羽（先導体内）にポンプを設置して水替えを行わなければなりません。長距離施工においては特に、配管長・揚程などを考慮して、適切な水替えポンプおよび排水管を選定しなければなりません。

5 おわりに

推進工法のメリットを生かす手段として長距離化は、コストカットなどの社会のニーズを背景として多くの技術者の努力によってある程度達成されています。今後も長距離化を目指した技術開発が行われると思われませんが、品質向上・工程短縮・安全確保などを前提とした開発が望まれます。長距離化によって品質が低下したり作業の安全が確保されなくなったりするような事態は絶対に避けなければなりません。そのためには、施工方法を担う技術だけでなく、長距離推進に適した滑材の開発、長距離施工用の推進管や測量などの品質確保のための技術および換気・管内通行・排水などの安全確保のための諸設備開発など多くの分野と連

携した技術開発が必要です。

また、設計段階において急曲線で長距離などの技術困難な案件に対しては必要な材料や装備を計上することはもちろんですが、施工のリスクによって品質や耐久性を損なう可能性がある場合は施工不可と判断することも必要だと考えます。

つまり、現状の技術を正しく評価し、今後の開発の目的をしっかりと認識してこれからの長距離推進技術の発展に寄与していきたいと考えておりますので、関係各位には今後とも協力をお願い申し上げます。

〇お問い合わせ先

機動建設工業(株)

技術本部

〒553-0003

大阪市福島区福島4-6-31 機動ビル

Tel：06-6458-6183

Fax：06-6545-0274

関東支店

〒114-0004

東京都北区堀船2-19-19

パレ・ドール王子ビル5階

Tel：03-5959-2281

Fax：03-5959-2287

URL：http://www.kidoh.co.jp

