

総論 きほんのき

「きほんのき」の本質



なかの まさあき
中野 正明

機動建設工業㈱代表取締役
(本誌編集委員)

今月号のテーマは「推進技術きほんのき」としましたが、その内容やイメージについてもう少し考えてみたいと思います。まず、そのイメージについて文字表現から連想してみるならば、「きほんのき」の《き》にはいろいろな漢字が当てはまり、それぞれに込める意味合いがあると思われます。例えば最も一般的な『基』の場合は文字通り基本となる「もとい」であり、推進技術の基礎、基盤、基準という意味合いで、設計、施工を行なうために必要な理念、理論、基準です。これらを再認識することは、安全で確実な推進工法のためには欠かせないものであり、ともすると経験のみに頼ってしまう傾向のあるベテラン技術者には特に、肝に銘じておきたい事柄です。『樹』あるいは『木』という漢字を当てはめると、しっかりと根を張った樹木が想定されて、枝には新緑の葉っぱや色とりどりの花が咲くイメージです。推進工法の基本理念の上に様々な創意と工夫がなされて、すばらしい技術となっています。特に若い技術者には基礎知識を身につけた上で、将来に向かって様々な技術開発に取り組んでいただきたいものです。『機』という文字を考えると、推進工法にお

いて重要な役割を担う機械設備を想定します。近年の推進技術の進歩は機械設備および計装などの進歩改良と、それを制御する技術の開発によってなされた部分が多くあり、その歴史などを振り返りながらもう一度きほんに立ち返ることは意義あることと思われま。『軌』という漢字を当てはめると、「みち」あるいは「わだち」とも読めるため、推進技術の軌跡、歴史などが想定されます。冒頭にも申しましたが推進工法の基本は刃口推進に始まります。そのシンプルな考え方や発想を今一度思い返して、推進工事の現場に臨む場合の基本姿勢を再認識することが望まれます。また『規』という漢字を当てはめると規準、規則が想定され、推進工法の設計や施工において守らねばならない約束事を再認識するための記述が期待されます。最後に『毅』という漢字を当てはめると、強い意志で毅然とした技術者の姿が想定されます。推進工法は土や水などの自然物を対象とし土木技術ですから、人間の思いだけではなかなか思い通りに行かない場面が多く、むしろ日々刻々の現場状況を判断しながら工事を進めるような工法です。そのため推進技術の基本を十分に理解

した上で、判断しなければならない場面では現象を十分に把握し熟考して毅然とした態度で判断、指示をしてほしいと考えます。

以上のようなイメージばかりでなく、個人個人でいろいろな思いがあるでしょうし、推進工法へのかかわり方や工法別に「きほんのき」があると思われます。それらのキーワードを考えることによって、もう少し掘り下げてみます。

特集テーマのキーワード

1 刃口式推進の原理も含めた推進工法の成り立ちと基礎について

【キーワード1】

推進工法の基本は刃口式推進（砂質土における関西流、粘性土にける関東流）

推進工法の「きほん」は刃口式推進工法であり、その施工法は大きく分けて2種類有ったように記憶します。つまり、主に砂質土を対象とする「関西流」と粘性土を対象とする「関東流」ですが、どちらの流派もその対象とする「土」とのかね合いで確立されたものです。

【キーワード2】

切羽の目視判断

（開放された切羽は何時かは崩れる）

刃口式推進の基本は切羽の目視判断につきると思われまふ。崩れやすい切羽を崩壊させないために刃口の先を地山に貫入させて、刃口内の土砂を取り除きながらこまめに元押ジャッキで押し込んでいくのが「関西流」。自立した地山に対して切羽を先掘りして、切羽抵抗を少なくするとともに掘り方によって方向制御をしながら掘進するのが「関東流」です。どちらにしても切羽の状況を的確に把握して、掘削方法や方向制御およびジャッキ作動のタイミングを調整する必要があります。特に、切羽からの湧水や崩壊の前兆である肌落ちなどが有れば、施工管理者は自身の目で見て判断するのが基本です。

【キーワード3】

測量と管目地観察

推進管路を正確に施工する基本は精度測量ですが、先導体の位置だけを測量するのでは正確な判断はできません。推進管列は全体が移動するためその「向き」が重要です。少なくとも先頭から数本の管列の向きを把握して方向修正を判断しなければなりません。また、この管列の向きを簡単に素早く判断する手段として目地開きの観察があります。極論すれば上下左右の目地開きを測定すれば、トランシットやレベルの測量などは無くても先導体の位置や向きが把握できるほどです。

【キーワード4】

方向修正の基本

(1 本先を想像して急激な修正はNO)

測量結果に基づいて方向修正を判断しますが、刃口式推進以外は先導体の先端を測量することは不可能です。先導体の向きや方向制御ジャッキのストロークなどを勘案して先端位置を想定します。また当然のことながら、方向修正は既に推進した管の位置を修正するのではなく、これから推進する一本先の先導体の位置を制御する行為である

ことを忘れてはなりません。また、あせって急激に先導体を基線位置に戻すような修正は厳禁です。基線との交角があまり大きくならないうちにこまめに修正していくのが基本です。

2 掘進管理の基本 泥水式推進工法

【キーワード1】

初期推進時(改良体から出るとき)が重要

切羽の安定、方向制御、噴発、ローリング、バックングなど泥水式推進工法の重要な課題が集中するのが初期推進です。そのため、一般的には鏡面から数メートルは地盤改良を行なって、そのような課題に対処しやすい状況を作ります。改良体内の推進で安定した状況を作った上で地山に行くのが基本ですが、往々にして地山に入るときに切羽バランスの崩壊、蛇行、大きな改良体の取り込みによる閉塞などが発生します。泥水式推進工法の基本の第一歩はこの改良体から地山にはいるときだと言うことを認識して、慎重な施工心がける必要があります。

【キーワード2】

土質変化時は一旦止めて冷静に

泥水式推進に限りませんが安定した土質の中での施工は、一旦適切な制御数値(切羽圧、ジャッキスピード、送排泥流量など)を掴めば、ほとんど成り行きで施工できますが、土質が変化する場合は変化した土質にあわせた掘進方法を掴むためにこまめな制御が必要です。泥水式推進工法の場合は切羽に泥水が環流しているためバランスが崩れれば瞬時に土砂の取り込み過ぎや閉塞に繋がります。そのため、慌てて操作すると却って悪い結果になるため、冷静な判断をするためには一旦掘進をストップして落ち着いて判断することが重要です。

【キーワード3】

泥水管理、観察が最も重要(プラントを管理すれば推進状況が全て見える)

泥水式推進工法の基本の一つに泥水管理があり、比重、粘性などを常に適正な状態に保つ必要があります。特に、礫、砂層においてはこれが最も重要な管理ポイントになります。また、掘進状況の俯瞰的な監視のためには処理プラントの状況を見ることも重要です。プラントで排出される土砂の性状を見たり排出量を観察したりすれば、掘進状況が把握できて、テレビモニタの細かなデジタル数値や遠隔監視システムのグラフを見入るよりある意味間違いのない判断ができます。

【キーワード4】

掘削土量の把握(観察)はリアルタイムに

路面や周辺構造物に影響を与えない施工のためには何らかの方法で掘削土量を管理する必要があります。しかし、泥水式推進工法の場合は掘削土砂が泥水に混じって(溶けて)搬送されるため、計測することが困難です。送排泥水の流量と比重を測定して乾砂土量管理する方法などがありますが、地山の性状を予め入力したり統計的な処理を施したりするため、ある幅を持った管理手法です。そのためあくまでも管理の一部であって、これのみに頼ることなく切羽圧の厳格な管理や上記のようなプラント管理と併用すべきです。

3 掘進管理の基本 土圧式推進工法

【キーワード1】

排土ゲート、スクリュコンベヤの調整は補助手段(塑性流動する残土が基本)

オペレータが操作して掘進を制御する手段としては排土ゲートの開度調整、スクリュコンベヤの回転制御などがありますが、これらは言わば補助手段で、あくまでも掘削土の塑性流動化が基本

です。掘削土が流動化せず閉塞や噴発の危険を孕みながら、ゲートの調整やスクリュコンベヤの制御に頼って掘進するのは何時トラブルが起こっても不思議ではない状況です。このような状態であれば添加材の材質や注入量を変更したり、萬やむを得ない場合は補助工法を検討したりする必要があります。

【キーワード2】

発進時はチャンバ内を充填してから

発進時に掘進を開始する際にはチャンバ内に泥土を充填させて、初期掘進の最初から良好な掘進状態を確保することも重要です。一般的には鏡面は改良されて自立が確保されているため、そのような対応は必要ないように思われます。しかし、改良体掘進中に適切な掘進諸元（添加材注入量、ジャッキスピード、スクリュコンベヤ回転数など）を掴まなければならないので、改良体の中だからといって疎かな掘進は厳禁で、最初から基本に忠実な施工が必要です。

【キーワード3】

土質変化時や削土の状態が悪ければ、止めてチャンバ内、スクリュコンベヤ内の状況を改善してから再掘進

各工法に共通して言えることですが、問題のある状態（トラブルの芽）を抱えたまま掘進を継続すると状況はますます悪くなります。その内土質が良くなって問題が解決するなどと言う楽観的な考えは大げかのもとです。問題点を把握して対応策をいち早く検討して実行するのが掘進工法に携わる技術者の使命です。先を急ぐあまりこの基本を忘れて、あるいは外部からの圧力で嫌々ながら前へ進めることは、技術者としてあってはならないことです。

4 掘進管理の基本 泥濃式推進工法

【キーワード1】

削土の塑性流動化が全ての基本

泥濃式推進工法の基本は掘削土の塑性流動化で、常にチャンバや排土管内を良好な状態に保たねばなりません。土圧式推進工法と違ってスクリュコンベヤが無い場合、強制的な排土機構がなく、掘削土はチャンバ内土圧によって排土管内を押されて移動します。そのため、流動性が確保できなければ、たちまち閉塞したり噴発したりします。流動性の確保のためには高濃度泥水の適切な注入と攪拌および排泥バルブの適切な操作が必要です。

【キーワード2】

掘削土の状態が悪ければ、止めてチャンバ内の状況を改善してから再掘進

土質変化や高水圧などで掘削土が塑性流動化せずスムーズな排土が困難な場合は、掘進を一旦停止してチャンバ内の削土の性状を改善する必要があります。掘進を停止して対策を講じている限りはそれ以上悪い状況にはなりません。焦って排土しながら対策を講じれば、噴発を繰り返したり最悪の場合は大量の土砂を取り込んだりで大惨事になりかねません。

【キーワード3】

排土状況管理が最も重要 (オペレータの技量、経験が必要)

掘進制御のためには排土状況を常に監視して、排泥バルブを的確に操作する必要があります。そのような技術は理論的な根拠に基づく知識より、経験や熟練による技能というべきもので、そういう意味ではオペレータの優れた技能が必要です。

5 掘進管理の基本 小口径管

【キーワード1】

礫、帯水層には添加材注入

小口径管推進工法で技術的に難しいのは礫や帯水砂層での施工で、トルクが小さくチャンバの容量が小さいため、

大中口径の施工よりよほど技術的に難しい施工です。そのような施工に際しては土圧式、泥濃式の場合は添加材の注入が必須で、泥水式の場合は作泥による泥水管理が必要です。また、そのような対策を講じて掘進状況が良くない場合は、地盤改良などの補助工法が必要な場合があります。そのような対策を躊躇して、推進管の破損や蛇行が発生すれば基本的に施工する側の責任になることを肝に銘じるべきです。

【キーワード2】

速やかでこまめな方向修正 (大中口径より繊細に)

小口径管推進工法における方向制御は大中口径より繊細に行わなければなりません。細長比（口径と長さの比）が大中口径に比べて大きいため、修正の効果が現れるのに時間差があり、急激な修正は管の破損（リングクラック）の原因になります。そのため、小口径管における方向制御は早め早めを心がけて、数mm単位で行なう必要があります。

【キーワード3】

トラブルがあれば引き抜く覚悟

小口径管推進工法において管の破損や蛇行などのトラブルに対して、地上からの対応が不可能な場合は引抜きに至るケースが多くあります。反対の言い方をすれば小口径管推進においては引き抜けない状況までトラブルを引きずってはいけないということです。できる対策は講じた上で、早めの決断が必要です。

6 測定の基本

【キーワード1】

基線のチェックは何回も (立坑内の引照点は動く)

掘進工法における測定の長所は、管列全体が移動するため管内に定点を設けることができないことです。そのため

発進立坑内の定点から先導体まで毎回計測しなければなりません。発進立坑の長さは通常数m（10m以内）で、その前後の測点から数百m先まで開放トラバース測量を行ないます。発進立坑に設ける測点（定点）の正確さがまさしく命で、これに誤差があったり施工中に動いたりすれば測量そのものが成り立ちません。そのため、基線のチェックは施工中にも何回でも行なって、測点の動きがないかどうか、当初の設定に間違いがないかどうかを確かめなければなりません。このような地道な作業を怠るようでは推進工法に携わる資格はありません。

【キーワード2】

測量結果を自分で考察 （目地開きとの整合性）

測量して結果が出ればそれを検討して方向修正量などを決定しなければなりません。その考察は掘進機オペレータなどの意見は参考にすることも、必ず自分で行なうべきです。また、測量結果に疑いがあるようなら何回でもやり直すなり、先頭管付近の目地開きや先導体の方向修正折れ角との整合性を確認すべきです。そうして納得した上で自信を持って方向制御の指示をしたいと思えます。

【キーワード3】

測量機器は精密機械

推進工法で使用する測量機器はレベル、トランシット、光波距離計、ジャイロスコープ、自動測量システムなどいろいろなものがありますが、どれも精密な機械で搬入（使用）前の点検整備や使用中の手入れが必要なことは当然です。最近ではISO規格などで搬入前に点検整備しないで使用することはあり得ないと思えますが、使用中の取り扱いはずんざいな場面が見られます。測量機器は他の電動機器や通信機器とは比べものにならないくらいデリケートなもので、

その取り扱いは独自の取り扱い規準があります。前述しましたが、推進工法においては測量が命ですから、危機の取り扱いやチェックには、慎重の上にも慎重に行なってください。

7 方向制御・曲線施工の基本

【キーワード1】

1本先、2本先を予測してジャッキストローク差を設定

曲線施工の第一歩は掘進機の方向修正ジャッキを使用した折れ角の造成ですが、その場合掘進機先端の位置と向きを意識した操作が必要です。造成する折れ角の基本は設計曲線の必要折れ角ですが、大切なことは1本推進した時に先端部が行き着く位置と向きが想定した通りになることです。先頭管の位置で判断すれば方向制御が後手になり、後追いの管理しかできなくなります。また、直線施工の方向制御も全く同じことで、先頭管に修正の効果が出てきたときは、掘進機先端はその倍以上に修正されているため、切り替えが遅れがちになります。

【キーワード2】

掘進機 ⇄ 先頭管 ⇄ 2本目管の目地が重要

掘進機の折れ角が造成できれば次の問題は推進管の追従です。掘進機が折れ曲がっていても後続の管が追従しなければ、曲線推進にはなりません。掘進機は一般的に後方部より前方部の方が長く重量も遙かに重くできています。方向修正ジャッキの操作によって先端部が曲線内側に入るより、後方部が曲線外側へ出て行く動きをします。その折れ角を持った形状で前へ進めて、少し曲線外側へ寄ってから内側へ曲線形を描きます。そのため少なくとも先頭2本目くらいまで、所定の折れ角（目地開き）が形成できなければ安定した

曲線推進になりません。BC点付近での施工には方向修正ジャッキの操作だけではなく、目地の開口状態の観察も行って慎重な施工をしなければなりません。

【キーワード3】

平面誤差より基線との交角が重要 （蛇行図で確認）

方向制御の基本として絶対的な誤差数値より基線との交角の方が重要です。もちろん許容誤差を超えることは厳禁ですが、管列全体が移動する推進工法では、誤差が生じたからといってすぐに修正できるものではありません。基線との交角が無ければ基線と平行に管列が進む状態であり、基線との交角が大きければ急激に誤差が変化することです。あくまでもこの交角が大きくなるように制御するのが、推進工法における方向制御の基本です。

【キーワード4】

限界を超える前にストップして検討

推進工法においては一旦生じた誤差を後から修正することは、一般的には不可能です。引抜きや注入による方法があるにはありますが、リスクとコストが大きな事態で極力避けなければなりません。そのため、方向制御に限ったことではありませんが、限界を超える前に施工をストップする決断が必要です。一旦止めて冷静に検討することを基本としなければなりません。

8 進力管理の基本

【キーワード1】

推進力の算定結果を実施が超える場合はトラブル

推進力の算定方法は下水道協会式をはじめとして各方法別にいろいろな計算式がありますが、全て理論式ではなく経験式であることは周知のことと思います。しかし、それぞれの推進力算定

結果に基づいて、推進管の仕様や元押、中押設備などを決定しますので、算定結果より実施の推進抵抗がオーバーすることはあってはならないと考えます。もちろん、想定外の大きな土質変化や蛇行、滑材注入不足などの施工トラブルまでも包含する必要はありませんが、通常の施工においては算定結果以内に到達できることが前提で、そうでなければ何のための計算か分かりません。反対に言えば、推進施工中に推進管耐荷力やジャッキ装備に余裕があっても、算定結果の距離別グラフを実施が超えるようであればトラブルの芽が出ているという認識を持つべきです。

【キーワード2】

初動に大きな推進力がかかれば「締め付け」のSOS

施工中の推進力には初動時の推進力と掘進中の推進力があり、通常でも掘進中推進力より初動時推進力の方がいくらか大きいのは当然です。この差が一定範囲内であれば問題はありますが、推進力の絶対値が小さくてもこの差が突然大きくなればSOSです。このような場合は管外周の滑材層が何らかの理由で消滅したり、土圧の締め付けが生じたりしていることが想定されます。

【キーワード3】

異常時はその原因の調査、考察が第1

突然の推進力上昇などの異常時には必ず何らかの原因があるため、まずその原因の調査究明と考察が第1です。まだ推進できる範囲内だからといってそのままの施工を継続したり、その内よくなるだろうなどという甘い考えを持ってはいけません。その原因には滑材の逸出や希釈、脱水による変質など滑材に関するもの、上載土のゆるみ範囲の増大や礫の咬み込みなどの周辺土質に関するもの、切羽バランスの崩壊による土砂の取り込みの過不足に起因するもの、蛇行や管内への漏水、カラーの捲

れなど様々ですが、いずれにしても何らかの原因はあります。原因さえわかれば対策は自ずと出てくるものです。

9 推進管破損防止

【キーワード1】

推進管の破損は応力集中が原因

最近の推進管とくにヒューム管の性能は以前と比べて非常に優れたものになっていますが、その反面推進管が施工中に破損するケースが多くなっているような気がします。その原因は大土被り、小土被り、長距離、急曲線施工や礫玉石地盤など過酷な条件での施工が増えたことによるものです。過酷な条件の施工にはそれに見合った性能の推進管の選定が大前提ですが、その上で慎重な施工が必要です。ヒューム管はコンクリートでできていますので、推進抵抗が許容耐荷力以内であっても部分的に応力が集中すると破損する恐れがあります。このことを念頭に推進管継手部の目地開きや緩衝材、推進力伝達材の設置を検討しなければなりません。また、コンクリートは引張応力には非常に弱いので、外圧による変形が生じないように施工も必要です。つまり、急激な方向修正や滑材の注入不足などは、推進管が直接地山に押しつけられて変形する原因になりますので注意しなければなりません。

【キーワード2】

継手性能に余裕はない

(カラー変形、ゴムはがれ等は論外)

推進管に関するトラブルで多いのは継手の抜け出しや漏水があります。設計段階における目地開き計算では継手部の抜け出し限界に対して2倍の安全率を考慮していますが、現実の施工では継手毎に開き量が増え、抜け出しや漏水が発生することがあります。曲線施工において基線通りの施工を行なっ

ても、継手部の拘束力の違いや掘削範囲内の推進管の移動などで目地開きにバラツキが生じます。また、JCタイプの継手の場合は2本のゴムリングが装着されていますが、その内の1本でもカラーから抜け出せば極端に止水性が低下して、漏水が発生することも頭に入れておく必要があります。

10 推進機器(掘進機)取り扱いの基本

【キーワード1】

現場搬入時は自分の目で外観、作動を確認

推進用機器の中で発進後に不具合が分かってもほとんど手の打ちようがないのは掘進機です。工場で適切な整備検査を行なうのは当然ですが、掘進機を搬入したときには施工する技術者がその外観、作動を確認すべきです。土の中へ入れてしまってからでは機内からの作業しかできませんから、特に面板形状とカッタの回転および土圧計などのチャンバ内に付いている機器は目視や試運転などで正常を確認すべきです。発進後に不具合に気づいて後の祭りにならないようにしたいものです。

【キーワード2】

油圧ジャッキは推進方向に正確に固定

元押の油圧ジャッキは数百トンの大きな力を発生させるため、ほんの少しの設置誤差でも有害な分力が発生して推進管やジャッキ本体が施工中に移動する危険があります。また、施工中にも支圧壁の変位や押輪、押角の変形などでずれることがあるため、最初の設置を正確に行なった上で、施工中にも十分注意を払う必要があります。

【キーワード3】

異常な作動、音、振動などはまずストップして原因究明

推進用の機器は過酷な使用条件を考慮して比較的堅固に作られています、

適切な事前整備点検をして現場に投入しても、施工中に故障することがゼロではありません。特に最近は施工量の減少によって、新規の機械を導入することが少なく、古い機器を整備しながら使用するため、そのような機器に起因するトラブルが散見されます。異常な作動、音、振動などが生じたらまずストップして原因究明して交換するなどの対策を

早めに講じる必要があります。極論すれば故障しやすい機器や礫、岩盤層などの過酷な施工に対しては、事前から日常的な部品を現場に備えておくことも考えなければなりません。

以上が私の考える「きほんのき」ですが、ベテランの技術者には当たり前すぎて物足りなさを感じるでしょう。しかし技術者たるもの完全自動化など次

への飛躍を期するためには初心に戻ることも必要と思います。これからの推進技術の将来を担う初心者には今後の成長のために、少々躓がたったベテランには日頃のマンネリを打破してさらなる成長と後輩の教育訓練のために役立てていただきたいと思って特集企画を提案させていただきました。