

解説

アルティミット 滑材充填システムにより 長距離推進を実現

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

長距離推進の定義は「一区間の推進延長が呼び径の250倍を超えた場合または500mを超えた場合」とされています。

私が入社したのは16年前になりますが、当時私が従事した工事は推進延長200m前後というのがほとんどでした。

そのような状況で推進延長500mという数字を見たときに非常に驚いたのを記憶しています。

現在は、技術力の向上により、推進延長1kmを超えるような工事目にするようになりました。

当社の主力工法であるアルティミット工法の推進延長500m以上の長距離推進について調べてみたところ、現在施工中の工事を除いて121スパンの実績がありました。

工法別に分類すると、泥水式が112スパン、土圧式が9スパンでした(図-1)。

また、推進延長を100mごとに区分すると図-2の

ようになり、最も多い延長区分は500～600mとなり1km以上は4スパン確認できました。

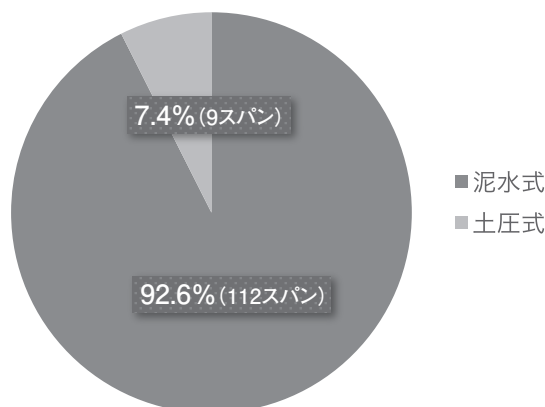


図-1 工法割合 (121スパン)

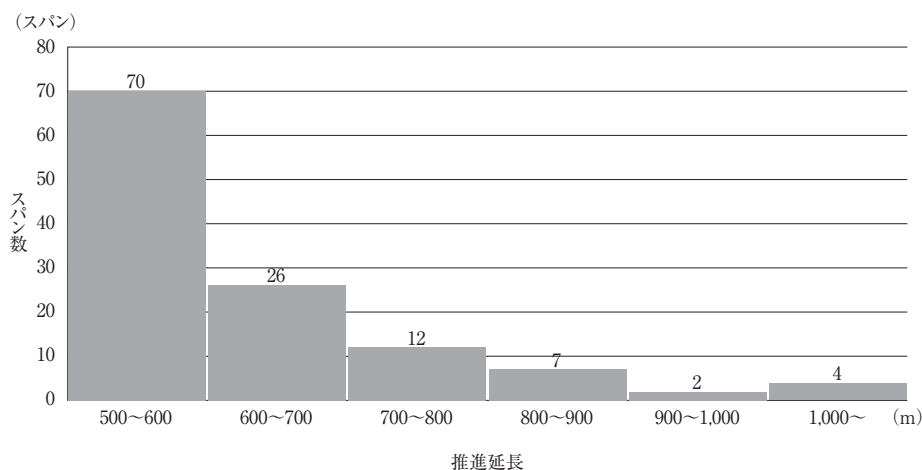


図-2 推進延長区分ごとのスパン数

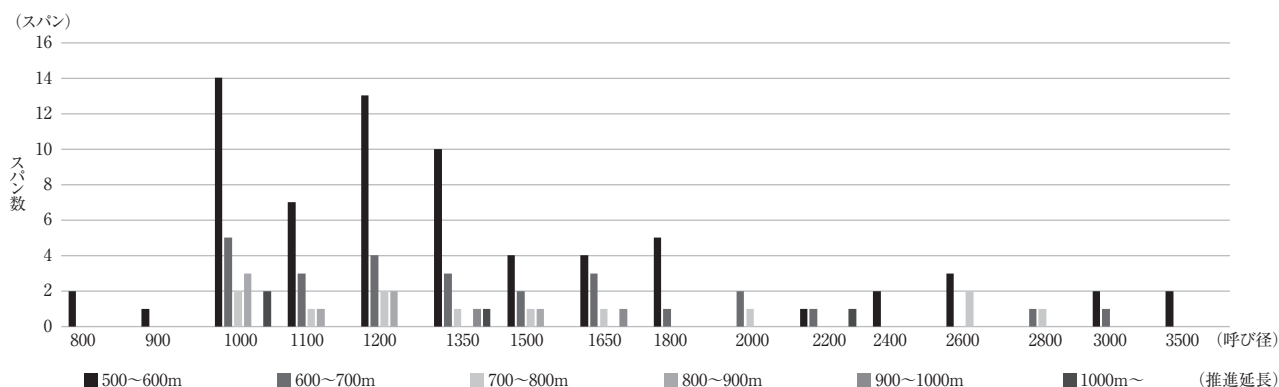


図-3 推進管の呼び径区分ごとの推進延長とスパン数

次に推進管の呼び径ごとに区分すると図-3のようになり、最も多いのが呼び径1000であり、最高延長1,274.6mの施工も呼び径1000となっています。

この1スパン1,274.6mの工事は今から11年前に施工されています。

そう考えると、当時は「どんどん長距離化されるのでは」という考えもあったと思うのですが、現在においても1kmを超える推進施工というのはそうあるものではありません。

その理由としては、やはり長距離推進には施工面と安全面で問題があるからだと考えます。

本稿では、その長距離推進の問題点についての当社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 周面抵抗低減への取り組み

2.1 特殊拡幅リング

推進工事を施工するうえで重要になるのは、地山と推進管の隙間、すなわちテールボイドの存在です。

テールボイドは掘進機カッタの回転によって造成されます。

掘進機は元押ジャッキにより前進しながら掘進機カッタが等速で回転するので、その形状は螺旋状となります。

その螺旋状に掘削された孔壁を整形するのが特殊拡幅リングです。

アルティミット工法の特殊拡幅リングは一定間隔で溝を切った形状になっており、切羽面に送られた泥水がその溝を通して掘進機や推進管の周囲に安定材として充填され、周面抵抗力を低減させます（図-4）。

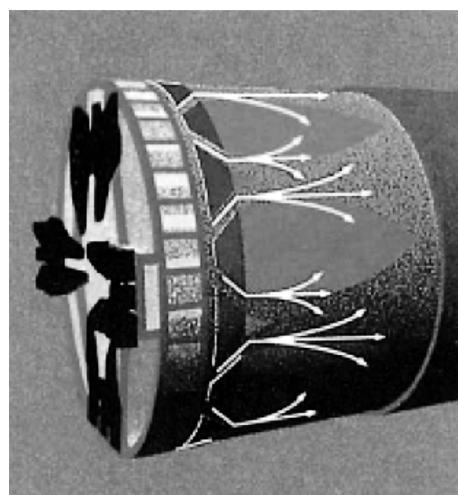


図-4 特殊拡幅リング

2.2 アルティミット滑材充填システム（ULIS）

推進工事は推進管列全体が動くため、周面抵抗力を低減させるためにはテールボイドを劣化させることなく良質な状態で保持することが重要となります。

テールボイドに注入された滑材は地山の隙間への浸透や、地下水の影響により希釈されることが想定されます。

滑材が劣化するとテールボイドが保持できなくなり、推進力の上昇に直結します。

長距離推進の場合、施工期間も長くなるため全区間において良質なテールボイドの保持が長期間にわたって必要となります。

アルティミット滑材充填システム（以下、^{ユーリス}ULIS）は推進管内に設置された複数の滑材注入孔にバルブユニットを接続し集中制御盤で「注入箇所」「1孔当りの注入時間」「掘進速度」「上限圧」を設定することによって

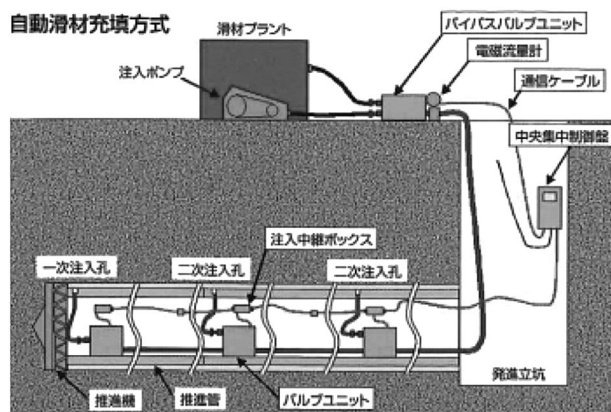


図-5 ULIS 概要図



写真-2 ULIS 制御盤モニタ画面

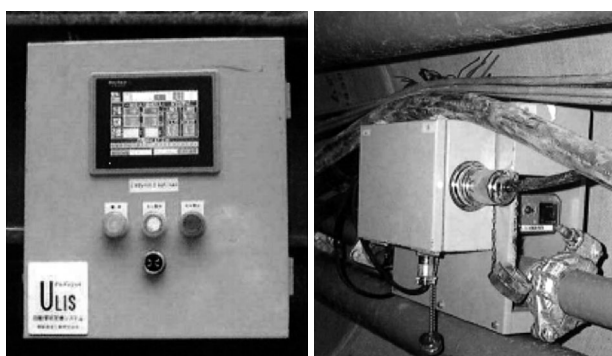


写真-1 ULIS 制御盤とバルブユニット

掘進速度に合わせて自動で追加注入ができるシステムです（図-5）。

また、注入箇所を任意にすることができるので局所的な注入圧力の上昇にも対応することが可能です。

このように、ULISは長期間におよぶ長距離推進においても、良質なテールボイドを保持することができるシステムです。

二次注入は通常50mごとに注入孔を設け、一次注入量の20%を全ての二次注入孔に均等に注入することとしています。長距離推進の場合はその間隔を25mとする等の個別検討も行います。

二次注入孔を25mごととした場合、推進管1本当りの掘進時間に対して注入箇所が単純に倍となるため、各孔への注入時間が短くなり十分な注入ができなくなるおそれがあります。

そのため、ULISを2セット使用することで注入時間を確保する対策をとっています。

当然、滑材配管および滑材プラントも2セット必要にな

りますが、滑材の作液やプラント設備の負荷、注入速度上昇による注入圧力の上昇といったことを考慮すると、コストはかかっても有用な対策となります。

ULISは開発当初から改良を重ねており、現在はバルブユニット30個までの増設、つまり推進延長1,500mまで対応することが可能です。

2.3 推進工用滑材

滑材に求められる性能は周面抵抗力低減のための高潤滑性、良質なテールボイドを保持するための耐浸透性・耐希釈性・流動性があげられます。

それらの性能を満たす滑材として、当社では独自に高粘性滑材アルティー Kと流動性可塑剤アルティークレイの開発を行いました。

アルティー Kは静止状態で流動しにくく、逆にポンプ等により外的圧力が加わると流動性を有する液体に変化する特性を持っています。

また高吸水性樹脂を含有しており、透水係数の高い地盤でも逸散することなく滑材効果を維持することができます。

アルティークレイは超高粘性を長時間維持でき、地盤からかかる圧力に対しても高い強度で対抗するため地下水の多い礫地盤でも確実にテールボイドを維持することができます。

2.4 確実なテールボイドの造成と保持

これまでも記述しましたが、推進力の上昇を極力抑えるためには確実なテールボイドの造成と良質な状態での保持が必要になります。

では、確実なテールボイドの造成に必要なのはなにか、

それは適正な掘進速度による推進だと考えます。

掘進速度が速すぎると当然カットトルクが高くなり推進力も上昇しますが、計器類に変化があるので大抵の場合はこの状態を回避することができます。

しかし、軟弱なシルト粘土地盤の場合はカットトルクが無負荷に近い状態で掘進ができることがあります。

このような場合、カットトルクが低いからと過剰に掘進速度を上げてしまうと取込み不足による圧密状態での掘進となってしまう、後に地山による締め付けで推進力が急激に上昇するといった事象が発生することがあります。

このような状態に陥ってしまった場合、後から滑材の追加注入を実施しようとしてもテールボイドが確実に造成されていないため、滑材注入圧力も高くなり思うように注入することができません。

かといって無理に注入すると管路上部への噴発ということも考えられます。

このようなリバウンド的な推進力の上昇を防止するためには、前述したように適正な掘進速度による推進が重要であり、また造成されたテールボイドを良質な状態で保持することが重要です。

テールボイドを良質な状態で保持するためには、掘進速度に見合った滑材の二次注入が重要となります。

私としては、滑材注入は周面抵抗力を低減させるという目的のほかに、推進力を上昇させないために行うという考えを持っています。

「推進力が上昇してきたから滑材注入を行う」「推進力が上昇してきたから滑材注入量を増やす」というのではなく「推進力を上昇させないために計画的に滑材注入を行う」「土質条件や掘進延長によって二次注入量の見直しを行う」といったことが重要だと考えます。

そのためには、アルティミット工法ではULISは非常に重要なシステムであり、ULISがあるからこそアルティミット工法における長距離推進の低推進力での施工が可能になっていると考えています。

3 推進管内作業の軽減への取り組み

3.1 管内測定の自動化

推進工事において管内測定は必要不可欠な作業です。

しかし、推進延長が長くなるのに比例してその作業は過酷なものとなり、同時に測量作業に要する時間も長くなります。

当社では長距離推進の場合は自動測量システムを使用します。

自動測量システムを使用することにより、測量作業にかかる労力の軽減、測量時間の短縮による日進量の確保が可能になります。

日進量が確保できれば掘進停止時間が短くなり、当然推進力の上昇防止にもつながります。

3.2 推進管内計測システム

測量以外にも推進管内での作業を軽減するために、下記に示す設備およびシステムを使用します。

- ・ジャイロコンパス
- ・液圧差レベル計測システム
- ・定置式自動ガス検知システム
- ・推進管内監視カメラ

上記の設備およびシステムは管内測量作業の軽減や日々の安全管理の補助といった面で、推進管内の作業を軽減することにつながります。

前述のULISも当然管内作業の軽減に対して大きな役割を果たしています。

また、推進管内に人が入坑することで大なり小なり通信ケーブル等に影響をおよぼすことがあります。

すぐに気づくようなトラブルの場合は、対処も比較的速やかに行うことができますが、小さな影響の積み重ねでトラブルが起こってしまった場合、例えばケーブルの通信エラーによって掘進もしくは計測不可能な状態に陥ってしまった場合、その対処はまずエラー箇所の搜索からはじまります。

そしてエラー箇所が判明してからの対処作業となるので、時間と労力を要します。

掘進延長が長いほど、また推進管の呼び径が小さいほどその作業にかかる時間と労力は大変なものになります。

私はそんな小さな影響の積み重ねを防止するために、掘進作業中は極力推進管内に人が入坑するべきではないと考えています。

当然、好き好んで推進管内に入坑する人はそんなにいないと思いますが、入坑する必要性を少なくすること

が大事だと考えます。

そのため、長距離推進における掘進機は遠隔操作が大前提となります。

3.3 推進管内有効スペースの確保

しかし、推進工事の施工において推進管内に入坑することが全くないということはまずありません。当然必要な局面は多々あります。

自動測量システムを使用するといっても、計測機器の盛替えや推進精度確認のためのダブルチェック測量で管内に入る必要はあります。

その場合でも、推進管内での移動に要する労力と時間を軽減させるための工夫が必要となります。

推進管内で歩行可能な大きさであればさほど問題はありますが、そうでなければ当然移動手段として台車を使用することになります。

呼び径800や900といった小さい推進管においても、還流配管・滑材配管・各種ケーブル・風管といった管内設備の配置を工夫して台車が通ることのできるスペースを確保することは、安全面から考えても非常に重要なことだと考えます。

これは、実際に掘進がはじまってから是正しようとするとは非常に時間と労力を要する面倒な作業となりますが、計画段階でしっかりと立案しておけば、少々の変更点が発生してもそんなに面倒な作業にはなりません。

3.4 中押設備の改良

アルティミット工法では推進延長が500D以上あるいは500mを超える場合は、推進力計算の結果によらず切羽から100m以内に中押設備を1段設置することとしています。

ただし、中押設備を使用した場合日進量が減少しますので、当然工期や工費といった面で大きく影響します。

その原因となる中押設備の留意事項を以下に記します。

- ・S管とT管の構造から油圧ジャッキ長さストロークが制限される
- ・中押設備を作動しても推進管目地にストロークを吸収されてしまうため、1サイクルにおける有効推進量が少なくなる
- ・推進管1本のサイクルにおいて中押作動→元押作動を繰り返すため時間を要する

- ・断続的な掘進となるため推進力の上昇が想定される
- ・基本的に推進管内での作業となる

中押設備についてはジャッキストロークを確保できる構造、遠隔操作可能な可変型油圧設備を搭載した中押設備の使用が可能になれば急曲線を含む長距離推進やさらなる長距離化の一助になると考えます。

4 施工事例

当社の長距離推進施工事例を簡単に紹介します。

推進管：呼び径1350

推進延長：1,051.3m

対象土質：砂礫、シルト、砂

作業形態：夜間作業のみ（昼間は道路開放）

対象土質が砂礫であったため推進力が高くなることが予想されましたが、300mを超えたあたりからシルト混り砂礫へと変化しました。

施工中はところどころ逸泥するルーズな箇所がありましたが、土質データより透水係数が高いことは把握していたので適切な泥水管理を行うことができました。

また、長距離推進の砂礫地盤であったので、577m地点で中間立坑でのビット交換作業を伴ったことや年末年始が重なったことで15日間の掘進停止期間が生じました。

掘進再開後に推進力が一時上昇しましたが、徐々に低下し停止期間前の推進力に戻すことができました。

最終的には計画推進力をはるかに下回る推進力で到達させることができました。

5 おわりに

私だけに限ったことではないと思いますが、入社当時に「工事は計画7割、施工3割」ということをよく言われましたが、経験年数を重ねるにつれその意味が理解できるようになりました。

推進工事というのは目に見えない地中における施工なので、事前調査および計画というのは非常に重要なものと言えます。

立坑掘削時の管路部土質の確認や近接地での施工情報の収集、問題点の抽出および対策の検討、図面

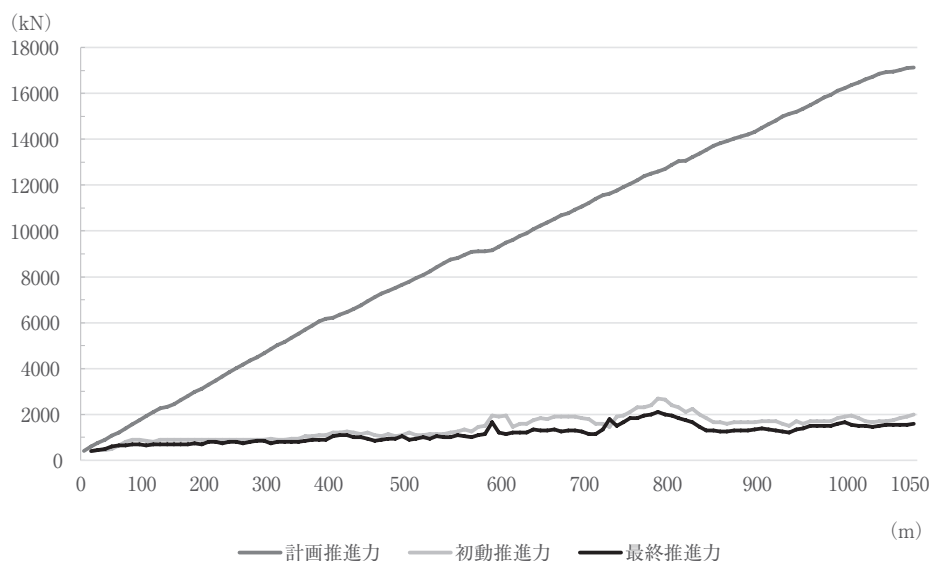


図-6 施工事例推進力

上での機械設備の配置や作業順序の検討等すべきことは多岐にわたります。

それが長距離推進となると、考えられるリスクの抽出、各種動力ケーブルの電圧降下の検討および対策、各種機械設備の能力の検討、日進量確保のための施工の工夫、管内作業の軽減等長距離推進に特化した施工検討も必要になります。

しかし、どれだけ事前検討を行っても施工現場というのは「生き物」なので、事前検討項目以外の問題や予期せぬトラブルが発生することは当然あります。

その際は日々現場を管理している専門者の監督や実際に作業を行う職人が今までの経験を活かしながら、色々な面から状況を分析し原因を突き止めて対策を施すことが重要となります。

これまで当社だけでなく他社におかれましても、長距離推進を成功させておりますが、それは技術力の向上によるものだけではなく上述したような事前検討、施工現場における従事者全員の日々の努力の積み重ねがあったことだと思います。

極端にいってしまえば、機械設備というのは1kmを超える推進工事を成功させた時代からさほど大きな進歩はないと思います。

それでも土質等施工条件が全く異なる状況で長距離推進を成功させているのは、施工に従事する方々の様々

な努力があったからであり、その努力こそが長距離推進を成功させるための技であり、その技の積み重ねこそが技術の進歩であると感じます。

また、私にも経験がありますが、予期せぬトラブルに見舞われ様々な努力を積み重ねてもどうしても解決できなかったこともあります。

結果的には施工が成功事例にならなかったとしても、その努力と経験は決して無駄ではなく、それもまた自分自身の成長と推進技術の進歩につながるはずです。

今後も推進工事に携わるたくさんの方々の努力により、さらなる推進技術の発展がなされるものと考えています。

○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4-6-31 機動ビル

Tel : 06-6458-6183 Fax : 06-6545-0274

[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

<http://www.kidoh.co.jp/>