

解説

アルティミット工法を支える周辺技術

—アルティミット滑材注入システム (ULIS) と センプラカーブシミュレーション (CPS)—

す どう ひろし
須藤 洋

アルティミット工法協会



1 はじめに

我が国における推進工法は、1948年（昭和23）5月にガス管のさや管として軌道下を最初に施工してから既に75年が経過しています。この間の推進工法技術の進歩は目覚ましく、様々な工法が確立され、その適用土質範囲は広く、また既設構造物を対象とした発進や到達、地中に残置された障害物の直接切削等の特殊な条件にも対応可能となっています。

その中でアルティミット工法（以下、当工法）は、長距離・急曲線推進を高品質に施工できる工法として開発され、1992年（平成4）に第1号工事を施工しました。当工法は様々な施工条件に対応するため、多種多様なシステムを持ち合わせており、施工条件に応じてシステムの選択が可能です。

本稿では、当工法の開発テーマでもある長距離施工における周面抵抗力を低減するアルティミット滑材注入システムと、急曲線施工における効果的な推進力伝達方法を検討するセンプラカーブシミュレーションの2つの技術について紹介します。

2 アルティミット滑材注入システム (ULIS)

2.1 システムの開発経緯

アルティミット滑材注入システムの名称は、Ultimate

Lubricant Injection Systemの頭文字からULIS（ユーリス）としています。長距離施工では推進管外周面と地盤との摩擦抵抗である周面抵抗力が推進延長とともに大きくなることで、大きな推進力が必要となります。その対応策として主に元押設備の増強、中押設備の併用、高耐荷力管の使用等の方策がとられていました。しかし、経済性と品質確保の観点から、滑材注入により周面抵抗力を低減することが最も有効な手段と考え、システムの開発に着手しました。

2.2 システムの概要

システムに求められる要素として、次の項目が挙げられました。

①地中環境の保全

管周面の地山の緩みを抑制し、地盤沈下を防止する。

②管路品質の向上

推進力を低減することで、推進管の破損や損傷を防止する。

③コストダウン

推進力を低減することで、管材料費を抑える。

④安全性の向上

管内に入坑しての滑材注入作業をなくすことで、作業環境を改善する。

これらを満足するよう、推進管内に複数のバルブユニットを配置して中央集中制御盤で注入箇所、1サイクルの注入量、1孔当りの注入時間、掘進速度、上限圧を設



写真-1 中央集中制御盤

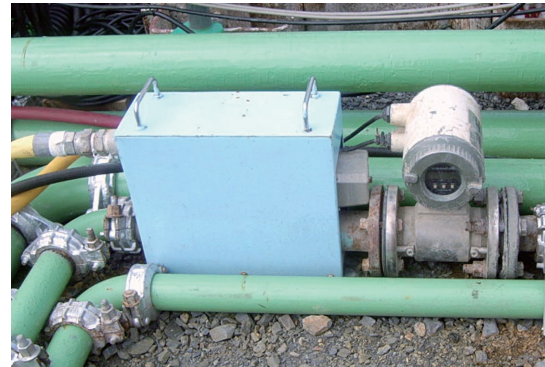


写真-3 バイパスバルブユニット



写真-2 中央集中制御盤モニタ

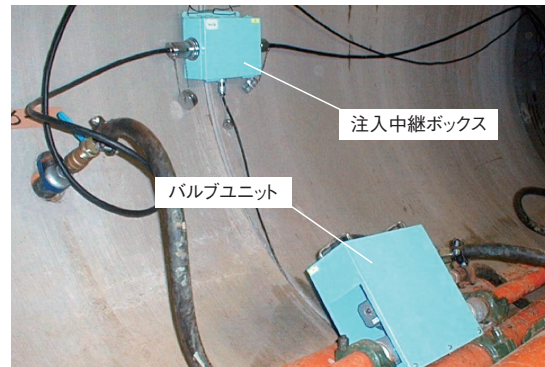


写真-4 注入中継ボックス、バルブユニット

定することによって掘進速度に合わせて自動で滑材注入ができるULISを開発しました。ULISの設備は、掘進機操作室に「中央集中制御盤」(写真-1、2)、滑材プラント部に「バイパスバルブユニット(電磁流量計付き)」(写真-3)、推進管内の各注入孔に「注入中継ボックス」と滑材配管に「バルブユニット」(写真-4)を配置します。

ULISの注入方式には、一系統方式と二系統方式の二つの注入方式があります。

(1) 一系統方式

一系統の配管で一次と二次注入ともに同じ一液性

滑材を注入します。一次と二次注入それぞれの計画注入量、二次注入箇所、1孔当りの注入時間、二次から一次へ戻る際のブロック数(二次注入孔を何箇所経由するか)を設定します(図-1)。

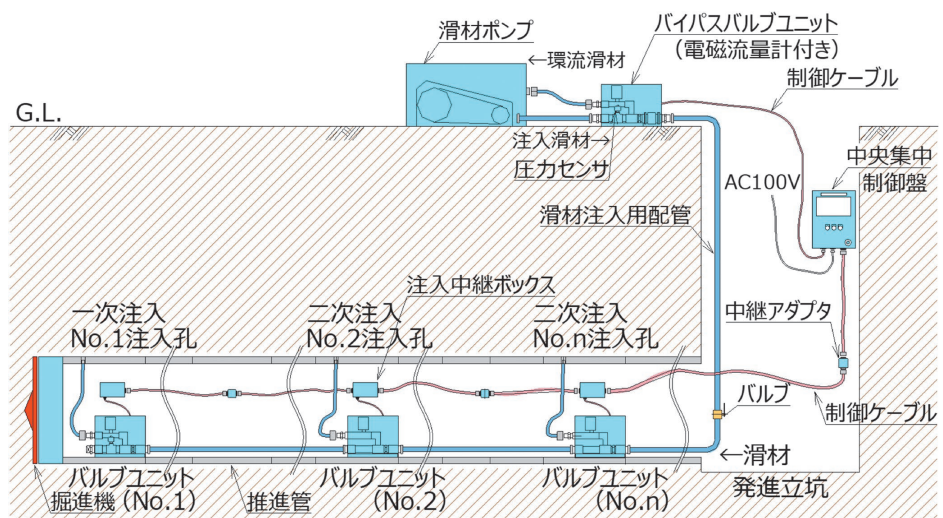


図-1 ULIS概要図(一系統方式)

(2) 二系統方式

一次と二次注入の滑材が異なる場合に選択し、ULISで制御するのは二次注入となります。二次注入の計画注入量、注入箇所および1孔当りの注入時間を設定します(図-2)。

また、特定の注入孔へスポット的に滑材注入をする場合の対応として、マニュアル注入方式があります。この方式は、一系統方式と二系統方式の両方に対応可能です。

初期のULISでは流量計の装備がなく、注入時間(5段階)による制御でした。注入孔は10箇所の対応が限度でしたが、バージョンアップを繰り返し現在の最新設備では40箇所まで対応可能になっています。また、注入箇所の増加に合わせて流量計等種々のセンサを装備し注入時間の設定等、掘進状況に合致した細かい選択が可能になっています。参考までに初代の中央集中制御盤を紹介します。トグルスイッチや押しボタンがメインとなっています(写真-5)。



写真-5 初代制御盤

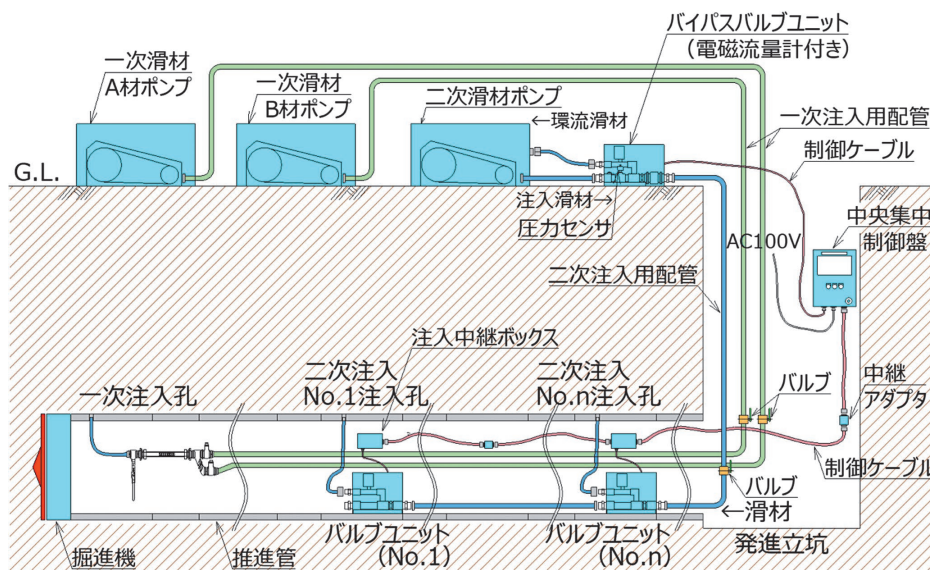


図-2 ULIS概要図(二系統方式)

2.3 ULISの優位性

ULISを使用するメリットについては、次のように考えます。

① テールボイドを良好な状態での保持が可能

一次注入と二次注入を計画的に、かつ状況に応じて任意の位置に注入することでテールボイドを良好な状態で保持することが可能となり、周面抵抗力の低減と地中環境の保全につながる。

② 注入量と注入圧力の確実な管理

流量計を装備しているため流量と累計注入量を把握することができる。また、吐出圧と注入圧の上限値の設定が可能であり、上限値を超えた場合は警報が作動し自動で次の注入孔に切り替わる。

③ 中央集中制御盤による注入作業の軽減

滑材注入に関する全ての設定が中央集中制御盤で可能であり、また注入箇所を中央集中制御盤で選択できるため推進管内作業の軽減につながる。

筆者が施工に従事し始めた頃は、ULISが開発されて間もなく、その存在を知らないため、二次滑材の注入については作業員とともに管内でホースを引っ張ってグラウト孔につないでいました。しばらくして他の施工現場でULISを知ることとなり「なんて便利な機械(システム)なんだ」と感嘆した記憶があります。ただし、この時は「楽ができる」程度の認識で、ULISを使用するメリットの全

てを理解していませんでしたが、様々な事例や事象を経験し、今ではULIS抜きでは長距離施工の計画も施工も考えられません。

余談ですが、掘進機工場検査で発注者や設計者の方と話す機会があり、その際に「アルティミット工法の低推進力の要因は滑材のアルティー Kにあるのか?」と尋ねられたことがあります。筆者は、ULISの概要・特長を説明し「ULISがあるからこそアルティミット工法は低推進力での施工が可能となる」と申し添えました。

3 センブラカーブシミュレーション

3.1 センブラカーブ推進システム

現在の曲線推進施工ではセンブラカーブ推進システムが広く採用されています。センブラカーブ推進システムは、発泡ポリスチレンで作られた推進力伝達材であるFJリングを推進管継手部の上下（縦断曲線では左右）に配置することにより、管端面の広い範囲で推進力を伝達し、曲線区間でも推進力の作用点を管中央へ近づけることで、掘進機の造成した曲線に推進管を正確に追従させるものです（図-3）。



図-3 センブラカーブ推進システムイメージ

センブラカーブ推進システムは1994年（平成6）にNo-Dig Award（ISTT：国際非開削技術協会、本部：ロンドン）を受賞しました。No-Dig 94 Award受賞に前後し、より安全で確実な曲線施工方法の普及と発展を目的として研究会設立の準備を進め、1992年（平成4）7月に、32の発起人会社、66社による設立総会を経て、「セ

ンブラカーブ推進研究会」を発足。研究会活動の中で、100社以上の会員にセンブラカーブ推進システムの特許技術が無償開放するとともに、他の工法協会と共同あるいは単独で毎年技術説明会等を開催し工法の普及を図りました。

センブラカーブ推進システムの理論は、現在の曲線施工における最も効果的な推進力伝達方法として、普遍的に活用されています。

3.2 センブラカーブシミュレーションの概要

センブラカーブ推進研究会は2006年（平成18）に発展的に解散し、その活動を終えましたが、センブラシミュレーションプログラム等の中核技術は当工法に引き継がれ、日々改良が図られています。当工法でさらに改良したセンブラカーブシミュレーション（以下、CPS）は、センブラカーブ推進システムの理論に基づき、全ての管継手部に配置する推進力伝達材と曲線区間の推進管継手性能および管種等について、最適な組み合わせを自動的に設定するシミュレーションソフトです。ソフトに入力する条件を大別すると、次のとおりです。

- ①基本条件（施工条件、推進力条件等）
- ②推進管（使用する推進管の条件）
- ③推進力伝達材（配置角度、厚み、種類）
- ④線形（発進～到達まで）
- ⑤中押設備（必要に応じて）

③を除く条件は概ね設計内容や計画時に算出される数値を適用することになりますが、③の推進力伝達材についてはソフト使用者本人が複数のパターンで指定できるようになっています。近年の施工条件は平面曲線だけではなく縦断曲線もあり、さらに管路用途によっては平面曲線と縦断曲線が重複している曲線条件も散見されます。CPSでは複雑な曲線条件でも色々なパターンでシミュレーションが可能となっています。

CPSを使用すれば長距離においても、また、急曲線で短尺管を使用するためにどれだけ管継手箇所が多くても、条件を入力しシミュレーションを実行すればスピーディに組み合わせを選定し、結果として各推進管の最終区間および各区間における目地開き長や発生する最大応力等の詳細がアウトプットされます。もちろん、指定した条件ではNGとなることもありますが、結果と詳細を

目地番号	9	計算番号	11	適用延長	21.467m
選択HP	JC51-2.43	選択CP		選択CP	90° 20mm2.0倍
最大応力	24.8N/mm ²	最大目地開		最大目地開	36.6mm
最終区間	3	最終目地開	21.9mm		

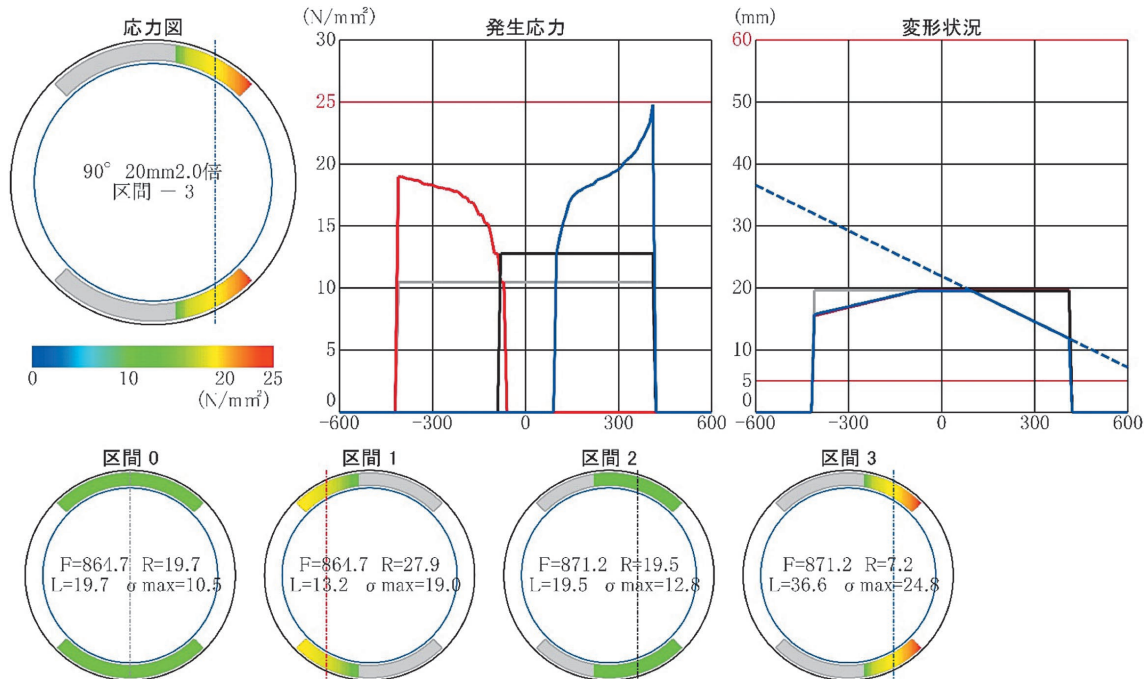


図-4 CPS解析画面

確認し条件を変更して再シミュレーションが可能です。

CPSの解析画面の一部を示します (図-4)。

3.3 CPSの優位性

初期のCPSは当工法協会の当時の設計担当者が、推進力伝達材の選定に要する時間を短縮するために独自で作成したソフトで本人のみが使用していました。筆者が推進力伝達材について検討するようになったのもこの頃で、現状のようなソフトではなく管継手箇所1箇所毎に推進力伝達材を選定するソフトでした。その後引き継がれ、推進線形の複雑化や曲線条件の変更による対応、また計画推進力と施工推進力に差異が生じた場合に施工現場での再シミュレーションができるように全面的な改良が実施されました。現在では、長距離の曲線施工や曲線区間が多いような施工条件においては、最終の目地開き長や推進力伝達材の縮み量により急曲線対応でない推進管のその区間への誤進入や、必要となる推進管本数の算出に影響がでることから、全ての管継手箇所について最終の目地開き長まで算出するようになりました。そのため、必要となる推進管の種類と数量の

算出や、管割付図の作成が容易になりました。

その結果、上述したように管継手箇所がどれだけ多くてもスピーディにシミュレーションが可能のため、施工現場での再シミュレーションに要する時間も飛躍的に短くなっています。

4 おわりに

ここまで、長年にわたり当工法を支えている代表的な周辺技術について紹介させていただきました。その他として、当工法での近年の特殊条件下による施工では、海底到達において海中で掘進機を管路から切り離す「切離し設備筒」、地中に残置された支障物を掘進機で直接切削する際に切削速度を1mm/minでの定速制御を可能とする「微速設備筒」といった、必要に応じて掘進機後方に接続することで対応可能となる補助設備筒や、推進管のJC継手性能を上回るような高水圧条件における高水圧対応抗口等の特殊設備もあります。

また、推進工法には欠かせない滑材や泥水材および

添加材等の材料関係、急曲線施工に必要な短尺の推進管材、測量技術では自動測量システムもありその種類は多岐にわたります。ただ、どの周辺技術も扱う際に重要となるのは、それぞれの特長や使用方法、原理を理解したうえで使用することだと考えます。ULISであればまずは滑材の注入計画を立案してULISの設定を行います。システムの内容を理解していないと施工中に異常やエラーが発生した場合の対応が難しくなります。また、CPSではアウトプットされるデータを把握しておくことが重要です。推進力伝達材の変化点、最大応力の発生区間、曲線区間通過時の最大および最小目地開き等となります。これらの数値は施工中の曲線管理、推進力管理、また再シミュレーションにおいて重要な情報となります。

各種の周辺技術は推進工法を施工するうえで重要なものとなります。しかし、必要な対策を怠り、便利だからとシステムの内容を理解しないまま使用すると、思いがけない事態に陥ることが懸念されます。周辺技術を扱うのは施工現場に従事する人間です。周辺技術の開発も大事なことだとは思いますが、同時に複雑化するシステムの内容を完全とは言わないまでもある程度理解したうえで使用することも重要だと考えます。そして、使用し

た周辺技術についてフィードバックと必要な改善を行い、トライアンドエラーを重ねることでさらなる周辺技術の進歩につながればと思います。

【参考文献】

- 1) 「アルティミット工法協会のあゆみ」 佐野哲雄、月刊推進技術 Vol.24 No.2 (2010年2月)
- 2) 「No-Dig Award 1994受賞 センプラカーブ推進システム」 西田広治、No-Dig Today No.100 (2017 Jul)

○お問い合わせ先

アルティミット工法協会

<https://www.ultimate-method.jp>

E-mail : info.ult@ultimate-method.jp

[東京事務局]

〒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 : 03-5289-4774 Fax : 03-5294-1281

[大阪事務局]

〒553-0003 大阪市福島区福島4-6-31 機動ビル

Tel : 06-6458-7087 Fax : 06-6454-0274