

解説

アルティミット工法

坑内作業の省力化と無人化による 高品質な長距離・曲線技術

こもり きょうじ
小森 恭司

アルティミット工法協会



1 はじめに

推進工法は、都市土木技術として工事による影響が少なく、経済的な工法として評価を受けてきた。また推進工法は、国内初の施工開始から70年間で、延長、土質、地下水压、推進線形等について様々な要望に応えるように適用範囲を広げてきた。近年は都市部における工事への制約が厳しくなり、長距離推進と曲線推進が求められるようになってきた。

今回は、求められる長距離・曲線推進を高品質に施工する工法として、アルティミット工法を紹介する。

2 アルティミット工法

アルティミット工法は、長距離・急曲線推進を高精度に推進する技術として開発され、平成3年に施工を開始した。主に大中口径管推進工法の泥水式および土圧式に採用され、250kmに及ぶ施工実績を積み重ね、現在の長距離・曲線推進の需要の先駆けとなった工法といえる。

次にアルティミット工法を構成する技術の概要を記載する。

2.1 長距離推進の技術

(1) 特殊拡幅リング

アルティミット工法に使用する掘進機は、カッタ直後の

外殻に溝を切った特殊拡幅リングを装備しており、地山と推進管にクリアランスを造成する（図-1）。

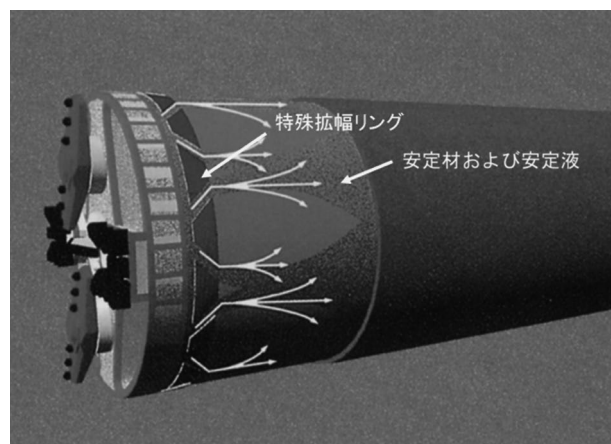


図-1 特殊拡幅リング

泥水式では、掘進機前面から泥水安定液の一部が特殊拡幅リングの溝を通して推進管周辺のクリアランスに充填される。

土圧式では、掘進機前面に注入した添加材の一部が特殊拡幅リングの溝を通して推進管周辺のクリアランスに充填される。

このように泥水式・土圧式ともに、特殊拡幅リングと泥水（安定液）や添加材の働きにより第一段階の周面抵抗力の低減を行う。

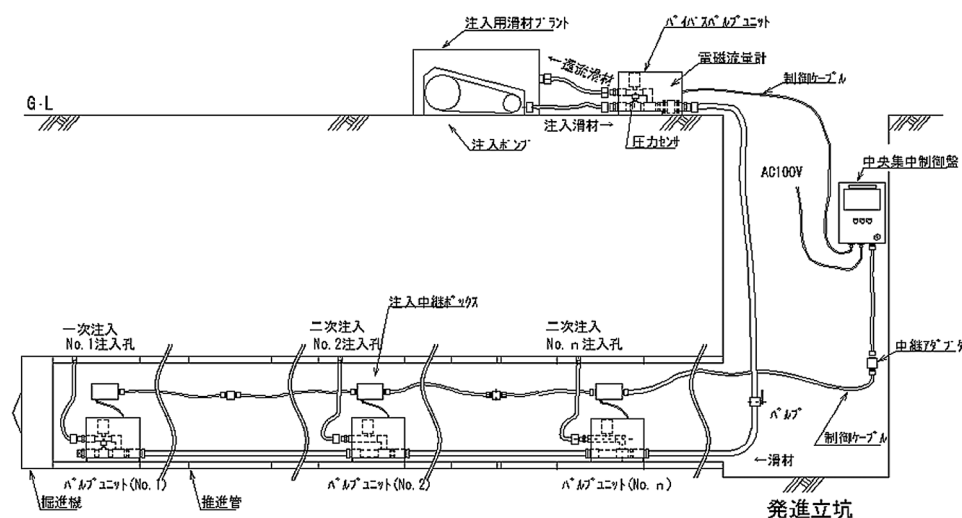


図-2 ULIS概要図（一系統方式）

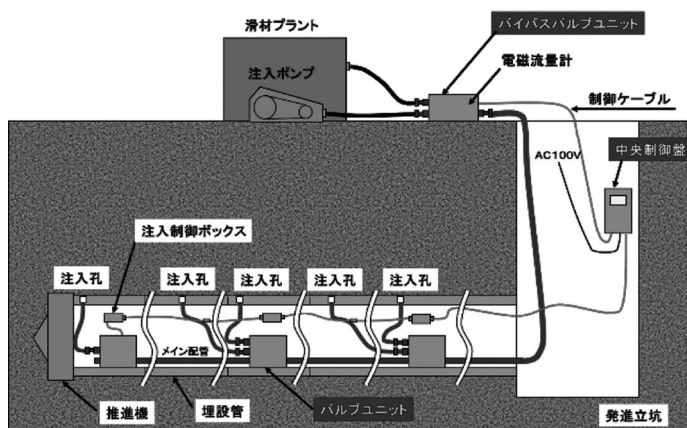


図-3 ULIS概要図

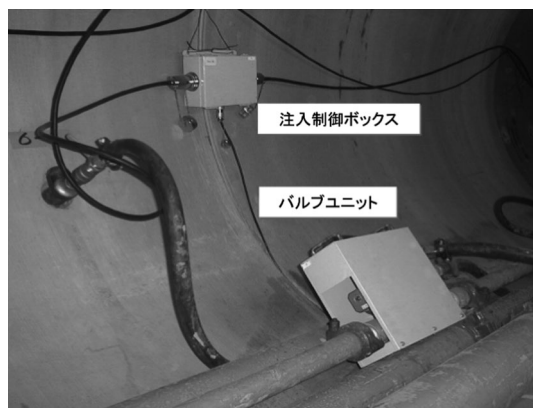


写真-1 ULIS二次注入 管内設備

(2) アルティミット滑材注入システム (ULIS)

アルティミット滑材注入システム（以下、ULIS）とは、掘進機直後の推進管から拡幅掘削量の全量を一次注入してクリアランスを再充填し、さらに二次注入で、推進管外周全域に万遍なく高粘性滑材アルティー K を充填することにより、第2段階の周面抵抗低減を倍加するとともに、地山の緩みを防止するものである。

二次注入は、周辺地盤への逸失および希釈により滑材の効果が低下するのを防ぐ目的でアルティー K 使用の場合、一次注入孔設置個所より後方50m毎に注入孔を設置し、50m間で一次注入量の20%を各注入孔へ均等に注入することを原則としている。

これらの滑材注入は、ULISにより注入量、注入圧力

および注入位置を集中制御し、完全に自動化されている。

アルティミット工法では、このULISを使用することを条件として、独自の推進力算定式を提案している（図-2、3、写真-1）。

2.2 曲線施工の技術

(1) 掘進機およびリアルタイム計測システム

アルティミット工法の急曲線対応掘進機は、従来の方向制御ジャッキに加えて曲線造成補助ジャッキを設置した多段方向制御方式を採用している。

掘進機の位置と姿勢を常時計測するリアルタイム測量システム（ジャイロコンパス、液圧差レベル計等）を搭載することにより、常時精度管理を行い、正確な曲線推進を行う（写真-2）。

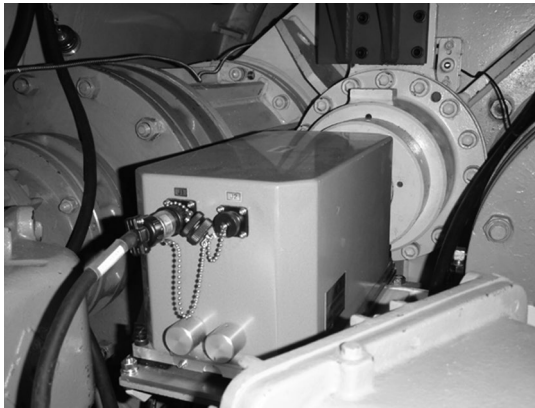


写真-2 ジャイロコンパス搭載した掘進機機内

(2) センプラカーブシステム

推進管列の追従性確保と管端面の破損防止には、センプラカーブシステムを採用している。

センプラカーブシステムは、管の継手部に低発泡ポリスチレンによる推進力伝達材（FJリング、センプラリング等）を上下に設置することにより、広い範囲で推進力を伝達し曲線区間でも伝達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正確に推進管を追従させるものである。このシステムは、曲線推進に

おける汎用的な推進力伝達システムとして現在の曲線施工を支える基本技術である。また、センプラカーブシステムは目地開口保持の特別な作業が不要なため曲線部の作業能率が向上する。

(3) センプラカーブシミュレーション

センプラカーブシステムにおいては、継手に設置する推進力伝達材と曲線部の推進管の継手および管種等を、すべての箇所の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により検証している（図-4）。

計画段階においては、安全で経済的な管と推進力伝達材の組み合わせを短時間で選定することができる。また、推進力伝達材に発生している応力の分布と推進力伝達合力位置を図示することにより、推進力伝達材の本来の適用目的である応力分散および推進力の作用点を管中央へ近づけるということがなされているか判断することができる。

施工時には、計画段階との推進力の差が生じている場合があるため、実際の推進力を用いた推進力伝達材の適用性の検討や再設定を行うが必要になる。施工時に現地においても計画時のデータを使用して再シミュレーション可能としている。

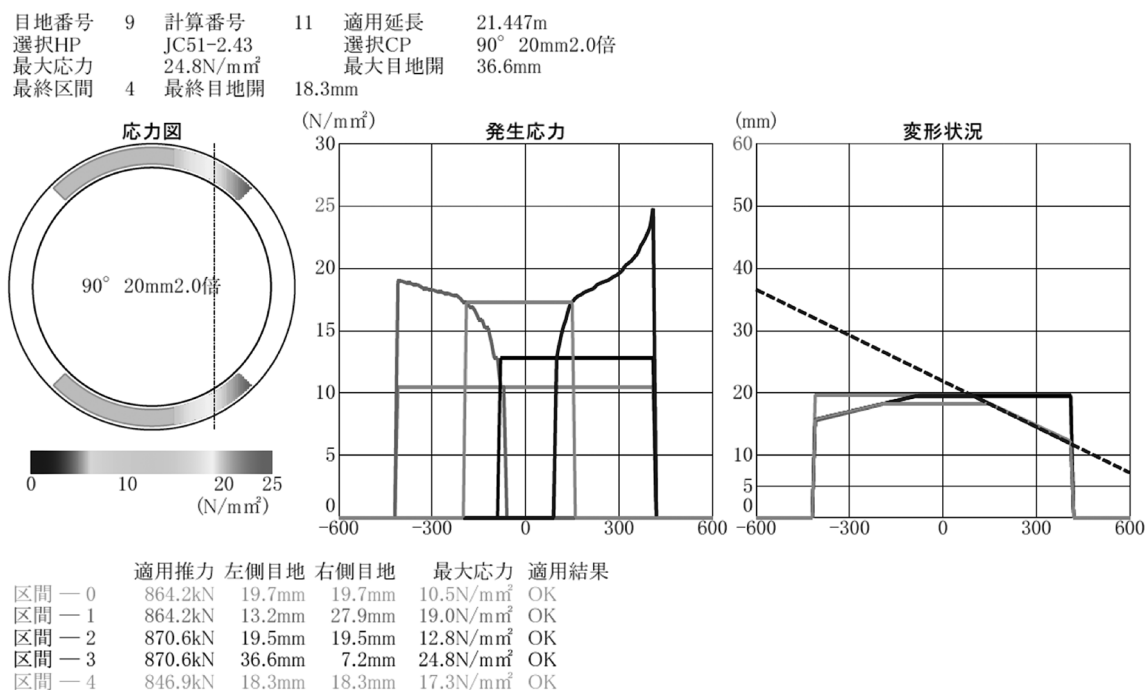


図-4 シミュレーション出力

(4) 急曲線推進用特殊継手

急曲線推進用特殊継手とは、推進管の有効長が管継手部分と同程度の非常に短い推進管構造で、推進管列に急曲線推進用特殊継手を推進管と交互に配置することで、継手1箇所当りの折れ角を小さくすることができるため通常の推進工法用鉄筋コンクリート管でも曲線適用範囲が広がる。高価な合成鋼管（鋼・コンクリート合成管）の短尺管を使用しなくても推進工法用鉄筋コンクリート管と急曲線推進用特殊継手の組み合わせで経済的に施工ができる（図-5）。

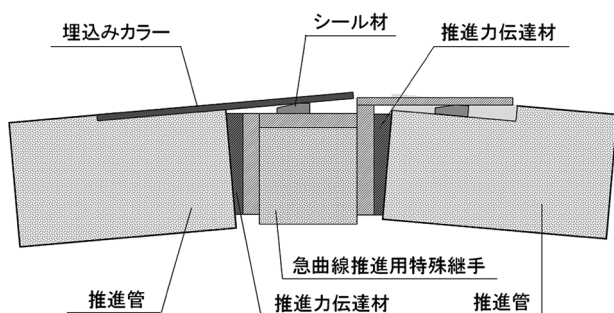


図-5 急曲線推進用特殊継手



写真-3 管内自動測量機設置例

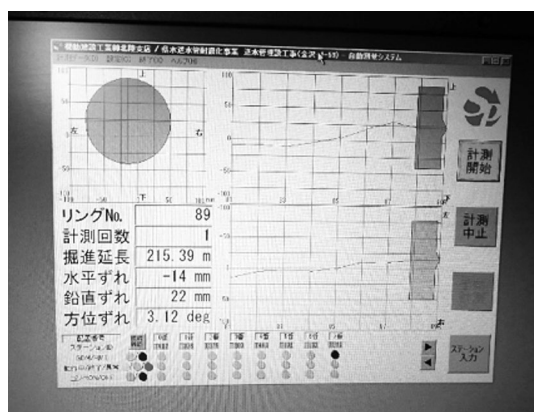


写真-4 自動測量管理画面の例

2.3 省力化と確実な施工を支える技術

(1) 中央集中管理システム

掘進機の遠隔操作方式とリアルタイム計測システム、ULIS、元押多段ジャッキシステム等により、掘進作業を集中制御する。

(2) 自動測量

推進管内に自動追尾式トータルステーションを複数配置しての自動計測とリアルタイム計測の組み合わせにより計測時間を短縮し、より精度の高い曲線施工を行うことができる（写真-3、4）。

(3) 電磁誘導チェックシステム（モールキャッチャ）

掘進機後方の推進管内に設置した発信器から発信した電磁波を地上の受信機で検知することでチェック測量を行うことができる。

(4) アルティミット泥水式簡易掘削管理システム

泥水式推進工法において、送泥と排泥の流量差を演算することによって掘進機の掘削土量を管理する。

(5) テールボイド測定器

弾性逆止弁とテールボイド測定器により、推進施工中

に、推進管外周のクリアランスに充填された滑材のサンプリング採取やクリアランス幅の測定ができる。このデータを使用し滑材の充填状況などの管理を行い、推進抵抗の低減効果を高めることができる。

3 施工事例

3.1 工事概要

工 法：泥水式アルティミット推進工法

施工場所：大阪府内

推進管径：呼び径 1500

推進延長：L=572.495m

曲 線：縦断 R=350m CL=25.827m

水平 R=70m CL=38.879m

縦断 R=350m CL=25.827m

水平 R=60m CL=67.637m

水平 R=400m CL=40.4m

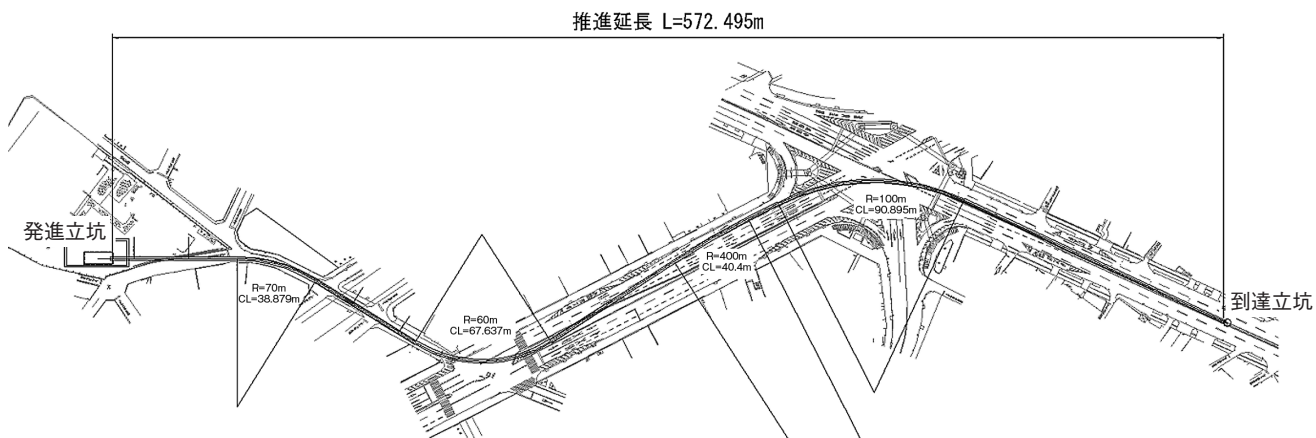


図-6 平面図

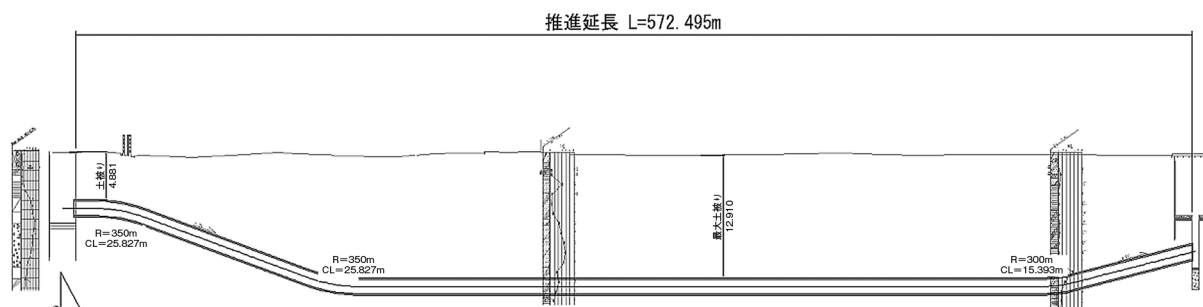


図-7 断面図

水平 $R=100\text{m}$ $CL=90.895\text{m}$
 縦断 $R=300\text{m}$ $CL=15.393\text{m}$
 使用管材：JC53 $L=0.8\text{m}$ 5（本）
 JC71 $L=1.2\text{m}$ 71 本
 JC51 $L=2.43\text{m}$ 20 本
 JC51 $L=1.2\text{m}+\text{特殊継手}0.4\text{m}$ 38 組
 JC71 $L=1.2\text{m}+\text{特殊継手}0.4\text{m}$ 214 組
 特殊中押+特殊継手 0.4m 3 組

50倍未満の急曲線対応掘進機が必要となる。また、土質は発進立坑付近では砂礫土、中間部分では砂質土、粘性土から砂礫層の互層となっている。そのため掘進機は2箇所方向制御ジャッキを持つ礫用掘進機（DHK-1500）を選定した（図-8、写真-5、6）。

3.2 工事の留意点

- ・長距離急曲線推進工事であること
- ・土質が複雑で、礫質土から砂質土・粘性土となっている
- ・縦断曲線を含み、地下水压が変化する
- ・発進立坑部分は住宅地で、騒音に配慮する必要がある

3.3 設備の概要

(1) 掘進機

最小曲線半径は $R=60\text{m}$ であるので、管呼び径の



写真-5 発進立坑に掘進機を設置

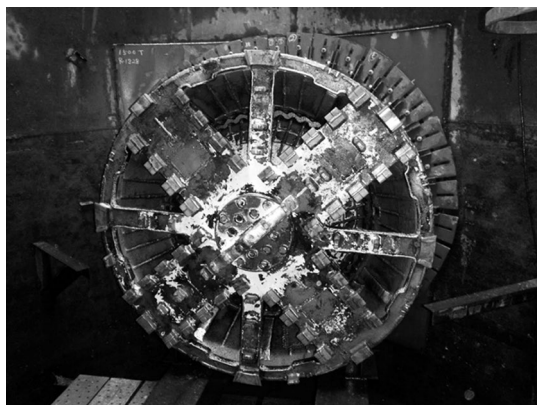


写真-6 掘進機到達時のカタ状態

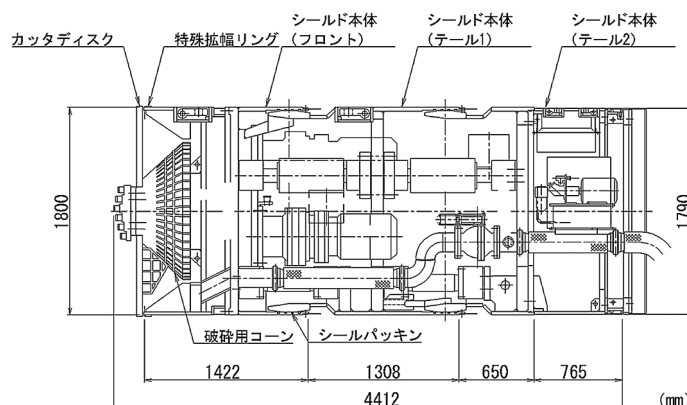


図-8 掘進機 DHK-1500 図面

(2) アルティミット滑材注入システム

滑材注入システムは、ULIS二系統注入方式を採用した(図-9)。二系統配管で一次注入はアルティークレイ(写真-7)を使用し、管と地山の間隙分を注入、二次注入はアルティークレイ K(写真-8)を使用し、注入上限圧と注入時間を設定し自動的に注入する方法である。主に砂礫土や滞水砂層主体の場合に適用する。発達立坑よりしばらくの部分が砂礫土であるとの判断と、急曲線長距離推進であることを考慮して選択した。

(3) 急曲線推進用特殊継手の適用

センブラカーブシステムのシミュレーションにより、R=60mの曲線区間を通過する推進管長は0.8mである必要が示された。しかし、推進管長0.8mの管は通常合

成鋼管(鋼・コンクリート合成管)とする必要があるので、管材料費が高額となる問題が発生した。そこで、急曲線推進用特殊継手 $L=0.4m$ と下水道推進工法用鉄筋コンクリート管 $L=1.2m$ を組み合わせ推進管長0.8mと同等な継手条件となるよう計画した。通常急曲線用特殊継手は、管継手部分だけの長さとなるので有効長0.2m程度で使用するのが一般的であるが比較検討の結果、今回は合成鋼管 $L=0.4m$ を特殊継手として採用し特殊継手の数を減らし最も経済的な計画にした。

掘進機直後の部分については、掘進機の設定した曲線を推進管が確実に追従できるように0.8m管を5本計画した。また、シミュレーションによる推進力伝達材に発生する最大応力を考慮して、急曲線推進用特殊継手と

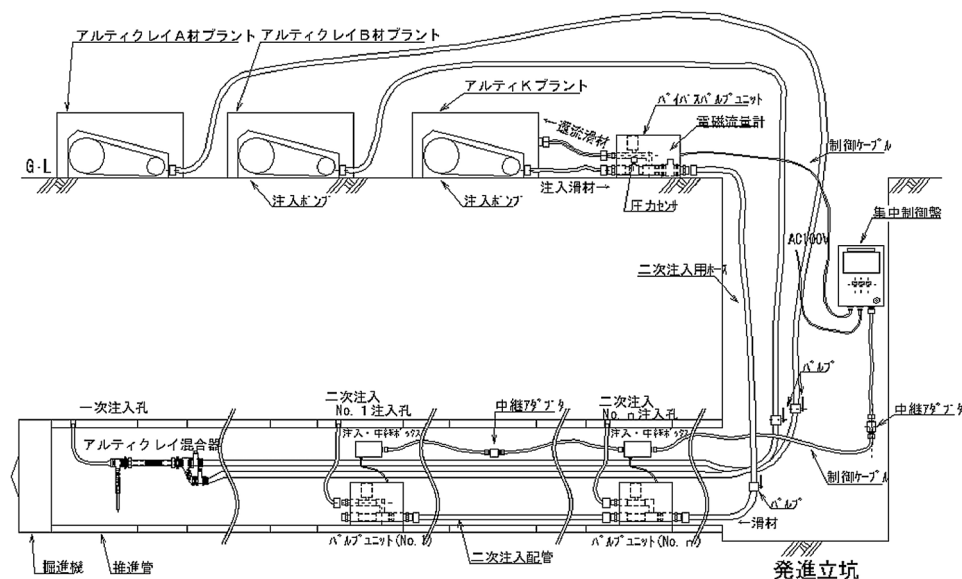


図-9 ULIS二系統注入方式図

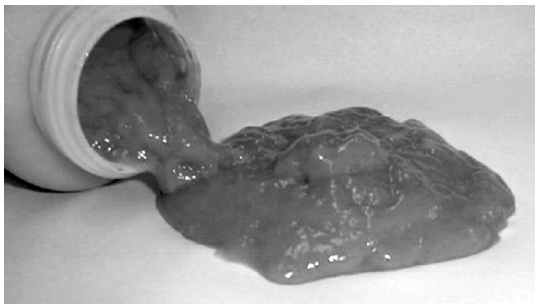


写真-7 アルティークレイ

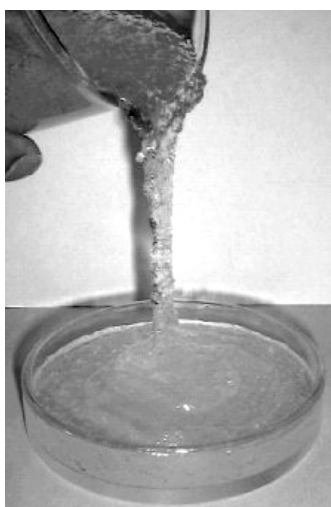


写真-8 アルティーク

JC51、JC71の組み合わせに決定した。

急曲線推進用特殊継手は長さが短いため、立坑下で接続すると作業効率が悪いと、地上において急曲線推進用特殊継手と推進管半管の接続を行ってから、一体で立坑内に据えつけ、0.4+1.2mを1サイクルとして推進を行った（写真-9）。

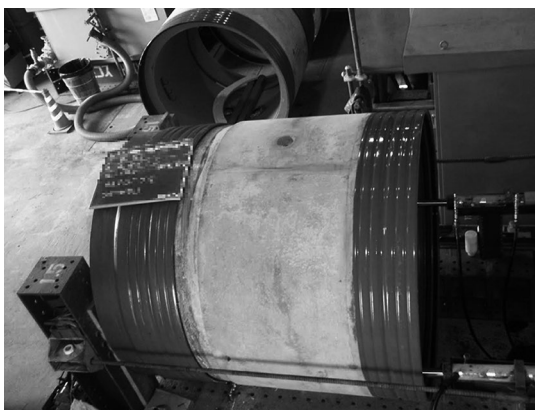


写真-9 急曲線用特殊継手0.4+1.2m管の接続

急曲線施工においては、推進管の目地開きがばらつくことがあるが、今回の急曲線特殊継手と推進管半管との組み合わせでは、目地のばらつきはなく均等に開口した（写真-10、11）。特に管内での目地調整作業は不要で、作業の省力化と日進量増加につながった。

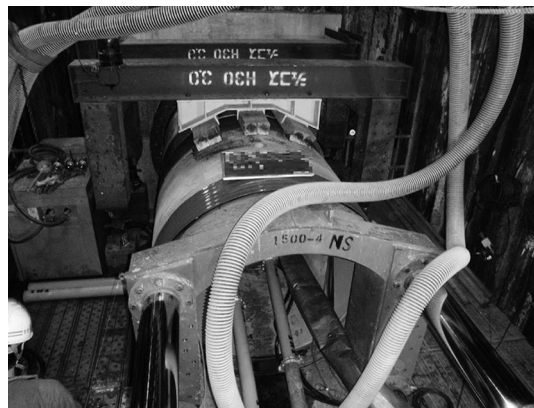


写真-10 立坑内推進状況 急曲線推進用特殊継手0.4+1.2m管



写真-11 管内状況 急曲線用特殊継手と推進管半管の区間

(4) 泥水処理設備

今回は住宅地の中での施工であるが、昼夜間の2交代の施工として計画されていた。そのため騒音対策として、発進立坑および泥水プラントを防音ハウスに入れることになった。防音ハウス内の設備面積は限られるため、プラント設備をコンパクトに配置する必要がある。その対策として発進立坑を覆工して、その覆工板の上にも泥水プラント等を配置した。また、重量の軽い設備（滑材注入プラント等）は水槽上に作業台を設置しその上に配置することによりプラントヤード面積を節約した（写真-12）。

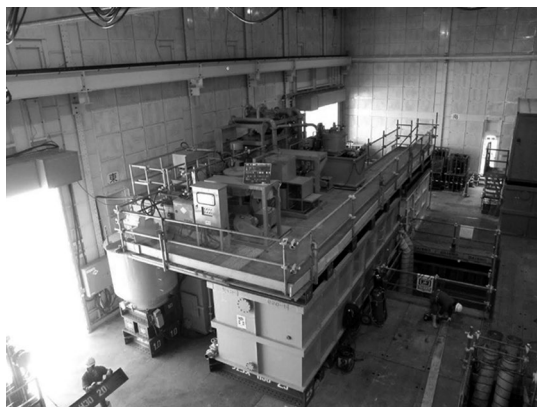


写真-12 防音ハウス内に設置した泥水プラント全景

3.4 実施推進力

この推進工事は、礫質土から砂質土、粘性土と幅広い土質を推進する長距離急曲線工事であるため、設計では中押が必要となった。しかし、中押は曲線区間での作動はトラブルのもとになることが判明しており、施工能率も低下する。実施計画においては極力中押を作動させないようにしたかったため、推進抵抗力の低減に特に努める必要があった。推進力低減のためアルティミット滑材注入システム（ULIS）の2系統方式を使用した。

アルティミット工法の計画推進力算定は、施工実績に

基づき設定した工法協会独自の算定式を使用している。工法協会独自算定の先端抵抗と周面抵抗を使用し、一般的な曲線推進力算定式により各BC、EC点通過時の推進力を当初計画時の推進力検討結果として、実際の施工時の推進力データとともに図-10に示す。

計画推進力-先端抵抗	678kN
〃 -周面抵抗	11.66kN/m
元押設備能力	8,000kN
50N 推進管軸方向耐荷力	7,939kN

(1) テールボイド保持

計画推進力と実施推進力を比べると、先端抵抗力については計画と実施の差はなく、また発進から100m区間においては、計画と実施に特別の差はみられない。しかし、総推進力について比較すると計画推進力の約50%程度で施工できたことになる。アルティミット工法の長距離推進では、切羽の安定が図られてテールボイドを滑材により保持した確実な施工ができた場合、計画推進力より低い推進力で施工できた事例がある。今回もこの推進力データより、切羽保持とテールボイド確保ができたと考えられる。→【テールボイド保持に成功】

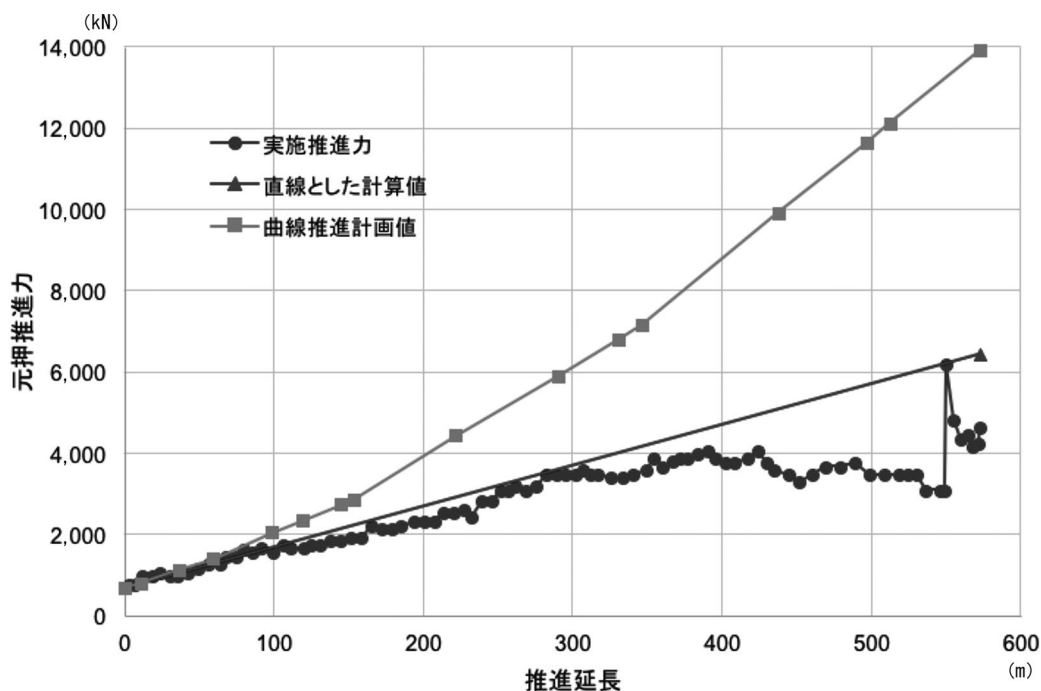


図-10 計画推進力と実施推進力

(2) センプラカーブシステム

曲線部に入ってから、計画推進力と実施推進力の差が開いてきている。参考に提示した図-10の直線のみとして計算した周面抵抗を記載しているが、全体的に直線のみの場合と同じ程度の推進抵抗となっている。しかし、工法協会独自の計算により周面抵抗を算定しているがこれが特に実施にあっていないとは考えていない。このことは、推進力伝達材を使用して推進力伝達位置を管継手中央部に近づけるセンプラカーブシステムを使用しているため、想定より曲線部での推進力上昇が少なかった一因ではないのかと考えられる。→【センプラカーブシステムの成功】

(3) 推進方向に土質が変化

土質条件的に、発進立坑側は砂礫土であるが中間以降は砂質土、粘性土が優位となっているため加重平均して求めた土質定数により算定される周面抵抗より、中間部以降の周面抵抗が少なかったとも考えられる。このように土質が途中から変化することは、長距離推進では非常に多い。今回は後半のほうに周面抵抗が少ない地盤と考えられるが、これが逆になると推進力急上昇の原因となると考えられる。→【土質条件が有利に働いた】

4 おわりに

今回の長距離の曲線推進工事としてのアルティミット工法と、実施推進力と計画推進力を示して、計画と実施工の差について考察した。実施推進力が計画より小さいことは、推進工事の管理が順調に行われたと認識しており、特別に実施計画が過大であったとは考えていない。

しかし、推進工事は土質条件と推進線形条件等が様々でひとつの例のみで判断することはできない。アルティミット工法協会では、過去の施工例を検討し現実に即した推進力算定式の開発に努めている。

○お問い合わせ先

アルティミット工法協会

<http://www.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6階

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