

解説

# 坑内作業の省力化と無人化による 高品質な長距離推進技術 —アルティミット工法—

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、都市土木の技術として周辺環境への影響が少なく、経済的な工法として評価を受けてきた。また推進工事初施工から今日までの72年間で、延長、土質、地下水圧、推進線形等の様々な要望に応え適用範囲を広げてきた。近年では都市部における工事の制約が厳しく、長距離推進や急曲線推進への対応が求められるようになってきた。

本稿では、坑内作業の省力化と無人化を図り、長距離・急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（以下、本工法）を紹介する。

## 2 アルティミット工法の長距離推進技術

本工法は、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年から施工を開始した。おもに大中口径管推進工法の泥水式と土圧式に採用され、令和元年度末までに270kmに及ぶ施工実績を積み重ね、現在の長距離・急曲線推進の先駆けといえる。

次に本工法を構成する技術の概要を記載する。

### 2.1 特殊拡幅リング

本工法に使用する掘進機は、カット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、特殊拡幅リングで地山と推進管にクリアランスを造成する（図-1）。

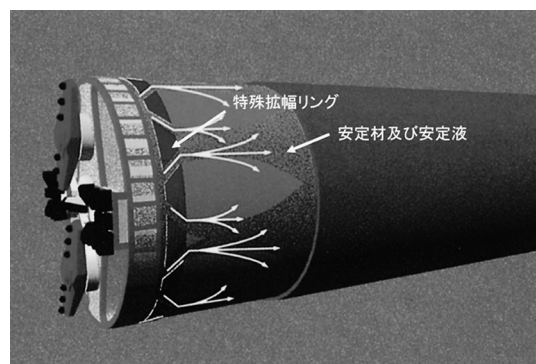


図-1 特殊拡幅リング

泥水式の場合、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、また土圧式の場合は、添加材の一部が特殊拡幅リングの溝を通り充填される。

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低減を行う。

### 2.2 アルティミット滑材注入システム (ULIS)

掘進機直後の推進管から拡幅掘削量の全量を一次滑材として注入しクリアランスを充填し、さらに二次注入で周辺地盤への逸失および希釈によって滑材効果が低下するのを防ぐために推進管外周全域に万遍なく高粘性滑材アルティー K を充填することで、第2段階の周面抵抗低減を倍加するとともに、地山の緩みも防止する。

二次注入は一次注入孔設置個所から後方50m間隔

に注入孔を設置し、そこから一次注入量の20%を均等に注入することを原則としている（図-2）。

これらの滑材注入作業は、ULISにより注入量、注入圧力および注入位置を集中制御することで自動化されている（写真-1）。

本工法では、このULISと元押設備にロングストロークジャッキを併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。

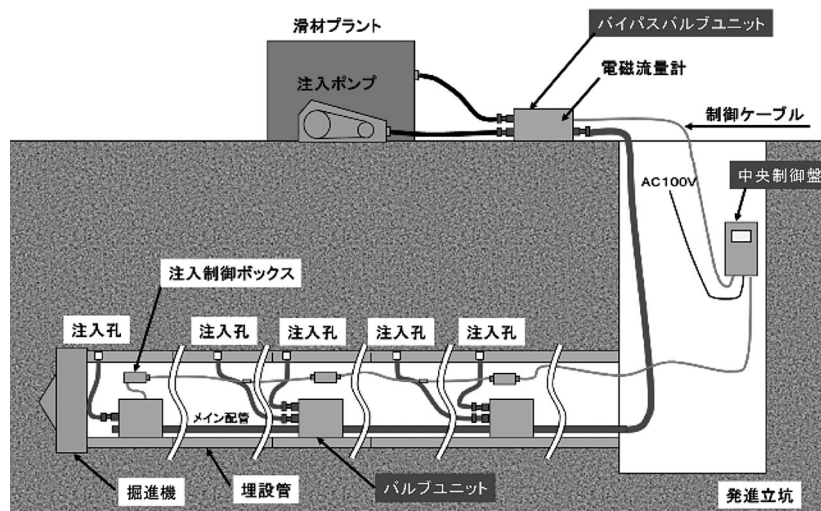


図-2 ULIS 概要図

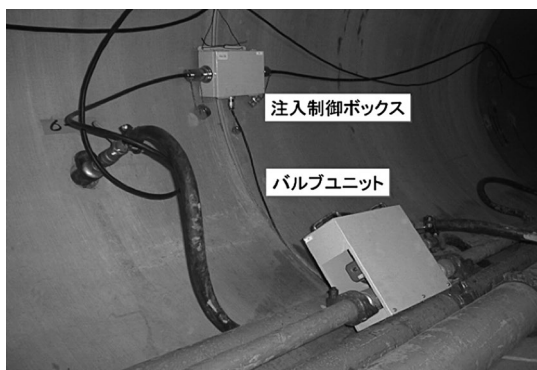


写真-1 ULIS二次注入 管内設備

#### (1) 耐塩性滑材アルティー K2

これまでの施工実績から地下水位に塩分等が含まれる土中では、従来使用していたアルティー K では経時的に劣化する現象が確認されていたため、このような土中でも性能を長時間維持することのできるアルティー K2を開発した。これまでの塩分対策は耐塩効果の高いアルティークレイや塩分による滑材の劣化を軽減するために濃度の高いアルティー K を使用するなどの手法で対応していた。今後は「一次注入および二次注入ともにアルティー K2を使用する一系統方式」と、「一次注入にアルティークレイ、二次注入にアルティー K2を使用する二系統方式」のふたつの手法を施工条件に応じて選択して塩分対策を実施することに変更した（写真-2、3）。

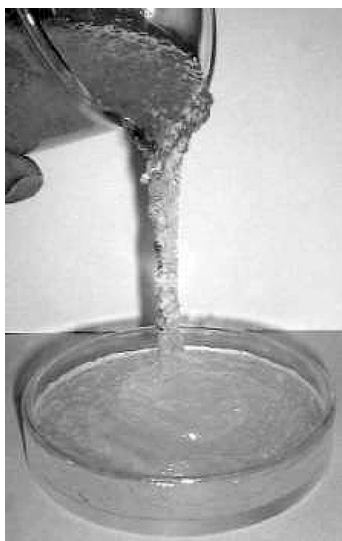


写真-2 アルティー K およびアルティー K2

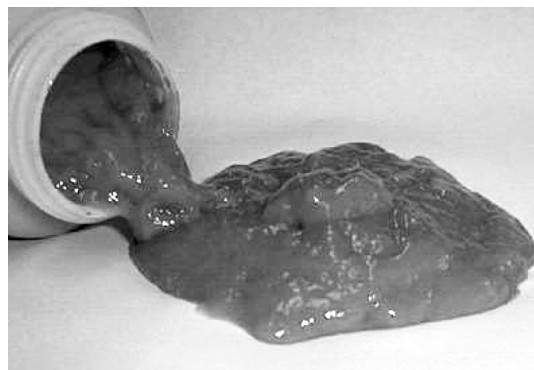


写真-3 アルティークレイ

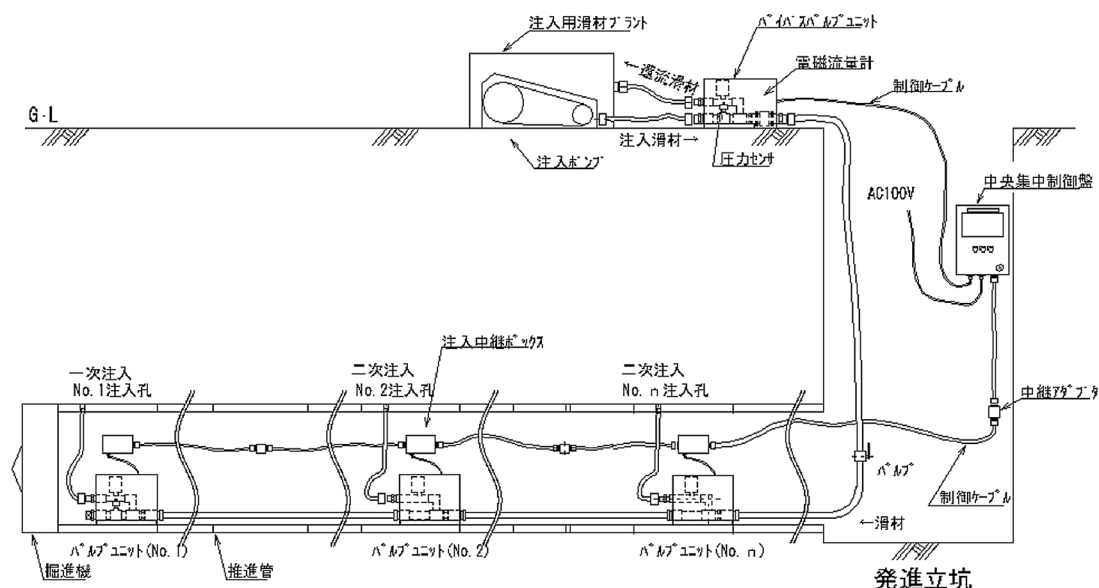


図-3 ULIS一系統概要図

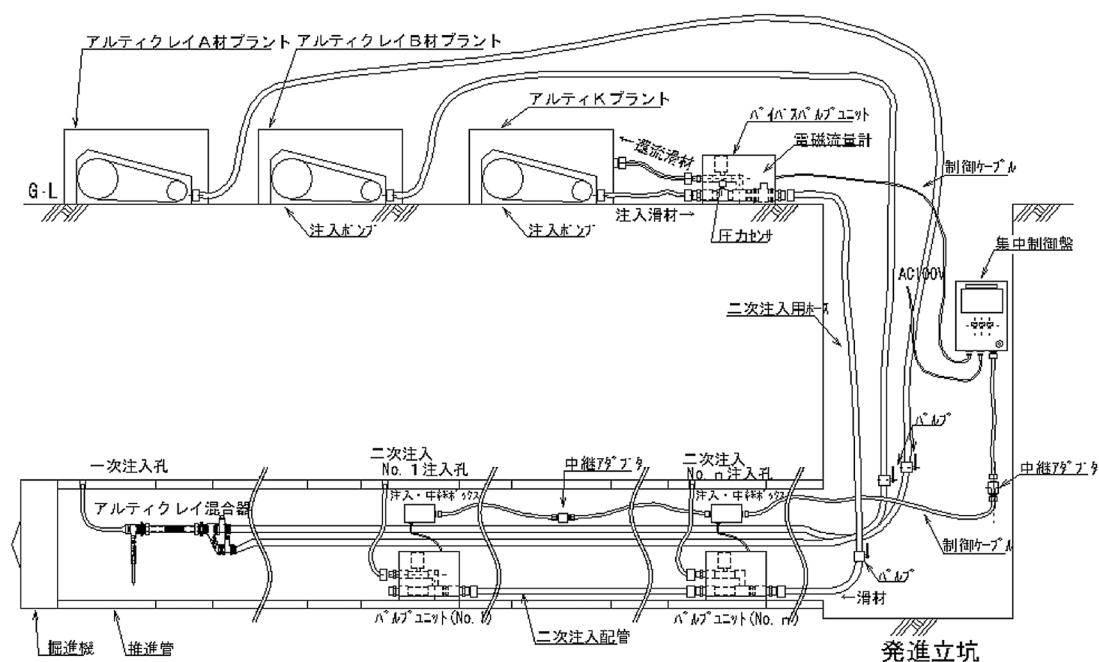


図-4 ULIS二系統方式図

## (2) ULIS一系統方式

注入材料はアルティー Kまたはアルティー K2を使用し、一系統の配管で適宜注入量を設定して推進管の進行にあわせて自動的に滑材注入を行う方式である（図-3）。

## (3) ULIS二系統方式

二系統の配管を使用し一次注入はアルティークレイ等の固形滑材を使用して管と地山の空隙分を注入、二次

注入はアルティー Kまたはアルティー K2の液性滑材を使用して適宜注入量を設定し、推進管の進行にあわせて自動的に滑材注入を行う方式である（図-4）。

## 2.3 アルティミット工法の周面抵抗算定の変遷

アルティミット工法協会（以下、当協会）は長距離推進をより確実に経済的な施工を目的とし、施工実績を基に土質条件を考慮し、ULIS、専用滑材およびロング

ストロークジャッキの使用を条件として、独自の周面抵抗算定式を提案している。

当協会が発行している技術積算資料で平成9年度、同13年度、同20年度、同30年度と順次推進力算定式の改訂を重ねてきた。これまでの周面抵抗算定式を以下に示す。

#### (1) 平成9年度周面抵抗算定式

$$f = 1/8 \cdot a \cdot B_c^{0.6} \cdot N^{0.2} \cdot g \cdot S + 0.2W$$

ここでa：礫による係数、 $B_c$ ：推進管外径（m）、N：N値、g：重力加速度（ $m/S^2$ ）、S：推進管外周長（m）、W：推進管単位重量（kN/m）とする。

#### (2) 平成12年度周面抵抗算定式

$$f = 1/8 \cdot a \cdot B_c^{0.5} \cdot N^{0.125} \cdot g \cdot S + 0.1W$$

$$a = 0.6 + \frac{R_g}{100}$$

ここで $R_g$ ：礫率（%）とする。

#### (3) 平成20年度周面抵抗算定式

$$f = 1/8 \cdot a \cdot B_c^{0.5} \cdot N^{0.125} \cdot g \cdot S \cdot \beta + 0.1W$$

$$a = 0.8 + \frac{R_g}{100}$$

#### (4) 平成30年度周面抵抗算定式

$$f = 1/8 \cdot a \cdot B_c^{0.2} \cdot g \cdot S \cdot \beta + 0.1W$$

$$a = 0.8 + \left( \frac{R_g}{100} \right)^{B_c} + 3.0 \times \frac{G_{\max}}{B_c}$$

#### (5) 周面抵抗計算値の変遷

参考例として、土質条件 $N=15$ 、 $R_g=5\%$ 、 $G_{\max}=0.05m$ とした場合と、土質条件 $N=40$ 、 $R_g=50\%$ 、 $G_{\max}=0.4m$ とした場合の単位面積あたりの周面抵抗値算出値を示す（図－5、6）。

### 3 長距離推進への要求と対策

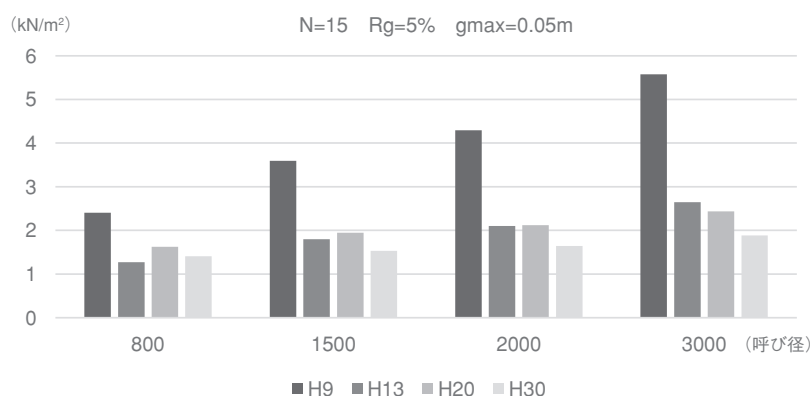
本工法は、前述のとおり長距離・急曲線推進に主眼を置いている。当協会への問い合わせで近年多く見受けられるのが縦断曲線を含んだ長距離推進である。その他には呼び径が小さな場合の長距離急曲線推進の検討依頼や、施工ヤード面積縮小の依頼等が多く見受けられる。

本工法が提案している立坑寸法や施工ヤードの広さは、推進工事を施工するうえで無理のない施工性や安全性を考慮したもので、作業環境の改善と作業効率向上を目指している。

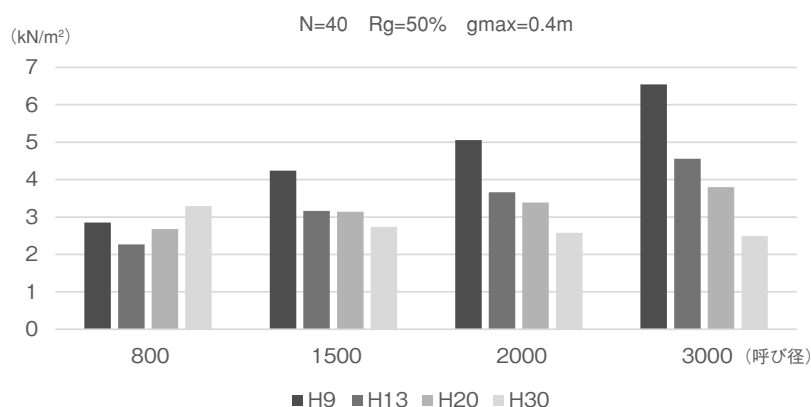
#### 3.1 長距離推進での

##### トラブルへの対応

長距離推進工事の施工において、途中で計画とは異なる土質に遭遇した場合に想定以上の推進力が発生してしまうことや、また、坑内が狭い場合は各設備の点検等で作業環境が悪化したり、縦断線形を含む場合は送排泥設備のトラブルなどで重大災害につながることも懸念される。



図－5 普通土における管呼び径と周面抵抗値算定値変更の変遷



図－6 礫質土における管呼び径と周面抵抗値算定値変更の変遷



### (1) 想定外の推進力への安全装置

当協会独自の推進力算定方法で推進力を算出しても、トラブル等により想定外の推進力が発生する可能性がある。そのため当協会では、推進延長が管呼び径の500倍以上の長距離推進となる条件では、計算結果に関係なく、切羽から100m以内に中押装置を1基追加する方針である。追加した中押装置は安全装置として配置されるため日進量の算定には反映させない。

しかしこの条件を適用すると、中押管の規定がない呼び径800および900では呼び径の500倍以上の施工はできないことになる。過去にこういった条件の施工事例はあるが、狭い管内作業の過酷さもあり、当協会としては呼び径800、900における推進延長を自主的に制限している。

### (2) 管内および管内設備点検

長距離推進において、管内作業の無人化のために自動測量システムやULISを導入した場合、管内設備の点検については別途実施する必要がある。そのため、掘進機直後や管内の要所にカメラを設置して地上からモニターを監視して集中管理する方法を採用している現場もある。写真-4に推進管内監視状況を示す。



写真-4 推進管内監視出力の例

## 3.2 アルティミット工法における 坑内作業の無人化技術

本工法では、長距離推進の坑内作業においてはできるだけ無人での推進を目指して作業環境改善に努めている。

### (1) 掘進機およびリアルタイム計測システム

本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。また、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-5）。

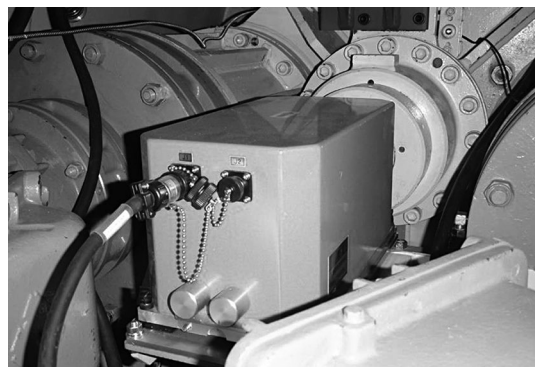


写真-5 ジャイロコンパス搭載した掘進機内

### (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によるシミュレーションを実施している。

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により、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施工速度が向上する。

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、すべての箇所で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。

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ことが必要になる。施工中に現地で計画時のデータを使用して再シミュレーションすることも可能である（図-7）。

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 90° 20mm2.0倍  
 最大応力 24.8N/mm<sup>2</sup> 最大目地開 36.6mm  
 最終区間 3 最終目地開 21.9mm

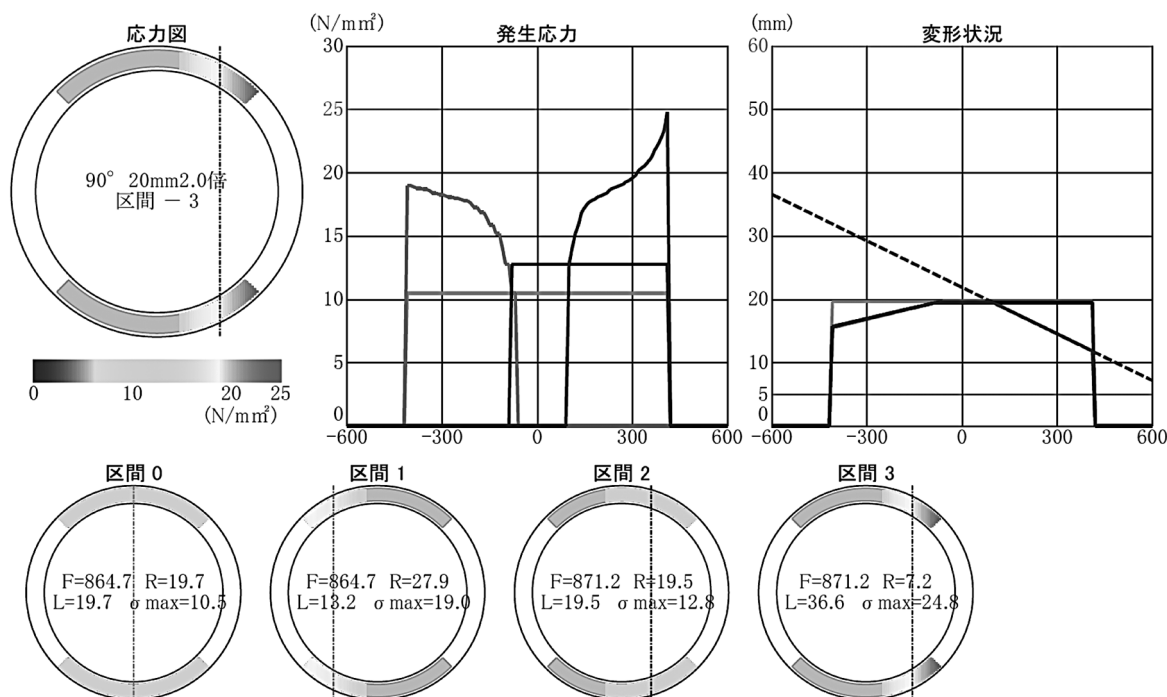


図-7 シミュレーション出力

### (3) 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。

### (4) 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。また、推進管内での測量作業を軽減できるとで管内作業の軽減にもつながる(写真-6、7)。

### (5) 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の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。長距離推進においては推進延長に比例して測量誤差が増えていくため、管内測量を軽減する意味でもチェックシステムとして活用している(写真-8)。



写真-6 管内自動測量機設置例



写真-7 自動測量管理画面の例



写真-8 モールキャッチャ

#### 4 おわりに

本稿では長距離推進工事を施工するうえでの本工法の技術概要と、実施工における問題点について記述した。当協会では、今後も安全で確実な長距離推進工事を施工するため、より坑内の無人化技術の開発に努め

ている。また、実施工での推進力を想定するため、過去の施工行例を参考に検討し、現実に応じた推進力が算出できる算定式の改訂に努めている。

#### ○お問い合わせ先

アルティミット工法協会

[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

大阪府大阪市福島区福島4-6-31 機動ビル

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

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