

## 推進工法の可能性に挑戦するアルティミット工法

### 可燃性ガスを含む地盤での長距離急曲線推進工事

わかばやし さとし  
**若林 哲**  
(株)昭建  
工事本部工事長



きど まこと  
**城戸 誠**  
機動建設工業(株)  
関西支店係長



#### 1 はじめに

おぼろ池川雨水幹線は、市街地内(住宅地)を流れる水路であり、家屋等が近接しているため、現水路を拡幅することが困難である。本工事は、現水路および道路の下にバイパス管きよを築造し、浸水区域の解消を図るもので、呼び径1650の推進管を590.65mに亘り泥水式推進工法で敷設した。

推進路線には5箇所の曲線区間を含んでおり、内1箇所は、曲線半径が23m(管呼び径の約14倍)、曲線長が46m(交角114度)という急曲線区間である。しかもこの急曲線区間を通過した後、約80mの推進区間がある。また、現場地盤のボーリング調査時に管路部に可燃性ガス(メタンガス)が検出されその対策が必要になった。このような厳しい制約条件下での推進施工について報告する。

#### 2 アルティミット工法

アルティミット工法は、長距離推進・曲線推進をより確実に施工するために、推進工法の歴史の中で培われてきた様々な技術を集約した推進システムで

ある。主に大中口径管泥水式推進工法および土圧式推進工法に採用されており、220kmを超える施工実績を有している。

次にアルティミット工法を構成する技術の概要を記す。

##### 2.1 長距離施工を支える技術

###### (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、シールド本体先端に溝を切った特殊拡幅リングを装着している。特殊拡幅リングは、次の機能により、第1段階の管外周摩擦抵抗力を低減する働きをする。

- ①泥水式では、地山と推進管にクリアランスを造成し、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、推進管周囲のクリアランスに均等に充填される。
- ②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囲のクリアランスに充填される。

###### (2) ULIS

###### (アルティミット滑材注入システム)

ULISは、滑材の一次・二次注入における注入量、注入圧力、注入位置等の制御を完全自動化したシステムで、

第2段階の管外周摩擦抵抗力を飛躍的に低減する。ULISに用いられるアルティミット K およびアルティミットクレイは、低摩擦係数、低浸透性、低濾水性、低希釈性(耐イオン性)といった推進工法用滑材に求められる基本的な機能に加え、高粘性滑材であることから地山の緩みを防止する機能を持っている。さらに、中性であるという地中環境保全面(地盤中に残置した場合の安全性)での優れた性質も有している。

##### 2.2 曲線施工を支える技術

###### (1) 掘進機とリアルタイム計測システム

アルティミット工法に使用する急曲線対応掘進機は、従来の方向制御ジャッキに加え、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できるリアルタイム計測システム(ジャイロコンパス、液圧差水レベル計等)を搭載することにより、効率の良い精度管理を行い、正確な曲線軌道を造成する。

###### (2) センプラカーブシステム

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センプラリング(推進力伝達材)を上下に設置することにより、曲線区間でも推進合

力の作用点を管の中央に近づけるとともに、広い範囲で推進力を伝達し掘進機の造成した曲線に正確に推進管を追随させるものである。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になっている。

一般に、曲線施工ではBC点(曲線開始点)での応力を検討する方法が用いられているが、アルティミット工法の「センシング選定ソフト」は、推進力伝達材の形状、発泡倍率、厚さ等を変化させたシミュレーションを推進管1本ごとにスピーディに検証できるため、推進管の安全性をより高めることができる。

### 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

掘進機の遠隔操作とリアルタイム計測、ULIS、泥水管理、推進制御(元押多段ジャッキシステム)等により推進作業の軽減・省力化と効率的な施工ができる。

#### (2) 自動測量システム

推進管内に設置した自動追尾式トータルステーションとリアルタイム計測の組み合わせにより、計測時間を短縮するとともに、より精度の高い曲線施工を行うことができる。

#### (3) 電磁誘導チェック測量装置

##### (モールキャッチャ)

推進管内に設置した発信器位置を受信機で検知することで地上でのチェック測量を可能にする。

#### (4) 目地開口制限装置

急曲線施工でも、目地の開口長を許容値内に制限すると共に、開口長を均等化することができる。

#### (5) テールボイド測定装置

弾性逆止弁とテールボイド測定装置により、テールボイドへの滑材の充填状況の確認やサンプリング採取ができる。これらのデータをULISにフィードバックすることにより、推進抵抗力の低減効果をさらに高めることができる。

## 3 施工事例

### 3.1 工事概要

工事名：おぼろ池川雨水幹線管渠築造工事

施工場所：大津市蓮池町ほか

発注者：大津市企業局

請負者：(株)昭建

工法：アルティミット泥水式推進工法

推進管径：呼び径1650

推進延長：L=590.65m

曲線 R=150m CL=78.5m

R=200m CL=24.3m

R=200m CL=6.7m

R=23m CL=46.0m

R=200m CL=42.4m

使用管材：MAX管L=600mm215本

JC-72管L=2.43m187本

特殊中押管2箇所

(図-1、2)

### 3.2 工事の留意点

施工に際し特に留意した事項を記す。

- ①ボーリング調査により管路対象(3D区間)に可燃性ガス(メタンガス)が検出された
- ②曲線半径が、管呼び径の14倍(R=23m)という急曲線区間の精度管理
- ③交角114度の急曲線(R=23m)通過後も約80mの推進区間がある
- ④発進立坑が河川に近接しており、降雨時に水没のおそれがある

前記留意事項についてのそれぞれの対策を記す。

#### ①可燃性ガス(メタンガス)対策

トンネル工事における可燃性ガスの対策としては、防爆エアカーテン装置により危険場所、非危険場所を区分した防爆対策が一般的に推奨されている。エアカーテンは、もともとエアコンの熱源保持のために、室内外の空気を遮断する目的で用いられたものをトンネル工事に応用したものである。シール

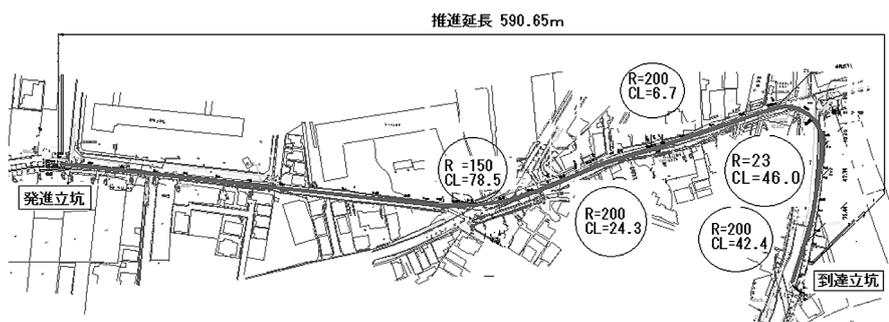


図-1 現場平面図

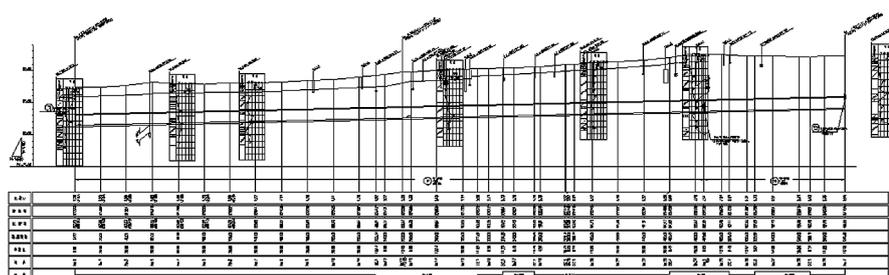


図-2 現場縦断面図

ド工事では、シールド機後方の適当な位置に防爆エアカーテンを設置し、防爆エアカーテンから切羽側は危険場所として防爆仕様とするが、防爆エアカーテンから坑口側は非危険場所として扱い、非常用の坑内電話、照明、警報ベルとその電源のみを防爆仕様とする。

しかしながら、推進工法は、推進管の接続作業が発生することから、防爆カーテン方式の連続換気を実施するためには、送・排気管を圧気工法のように二系統設置しなければならない。シールド工法に比べると口径の小さい推進工法（一般的には内径2m以下の場合）では、このような送・排気管の設置は現実的には困難であるため、必然的に全面防爆での対応が要求されていた。このような課題に対応したのがアルティミット防爆推進工法である。アルティミット防爆推進工法は、「坑道内（掘進機や推進管内）に可燃性ガスが侵入するのを抑制する」を基本として防爆対策を行っている。具体的には、掘進機中折れ部、推進管継手部、中押管摺動部等から侵入する可燃性ガスをTSシールの塗布により遮断すること、および、泥水式の環流輸送（循環回路）により可燃性ガスの坑内への発散を回避することで、これにより、全坑道区間を「非危険区域」として防爆対策を実施している。なお、自動制御システム（ULIS、全自動測量等）の構築等により管内作業の無人化を図り、想定外トラブル（人的ミス、機械トラブル、想定外の土質条件等）が発生し坑道内にガスが侵入してきた場合も、決して事故を起こさない安全作業の確立を最重要事項として実施している。

アルティミット工法の防爆対策として、本工事で実施した主な事項を以下に記す。

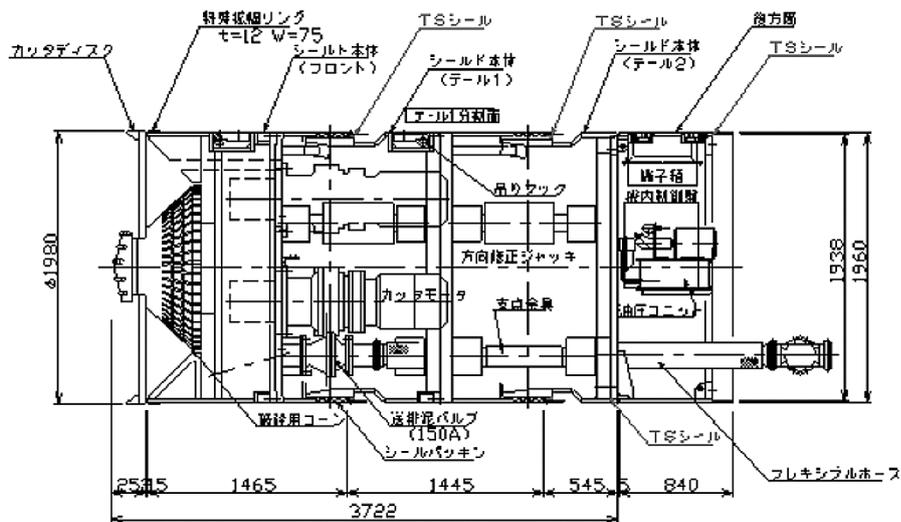


図-3 掘進機の防爆対策



写真-1 泥水式掘進機（アルティミット工法）全景

- ヒューム管ジョイント部  
シール材 (TSシールド) 施工により管内への可燃性ガスの侵入を防止する。
  - 掘進機の防爆対策  
掘進機の接合部および修正部に TSシールド (継手密封シール材・弾性特殊ゴム) を塗布し、可燃性ガスの管内への侵入を防止する。
  - 監視装置 (定置型検知器警報機) の設置  
掘進機内、推進管内および立坑暗所部にメタンガス濃度、酸素濃度の定置式自動計測器・警報機を設置し、24時間監視できる体制とする。
  - 防爆使用の非常灯の設置  
警報装置の作動により電源を自動遮断させる。作動時の対策として防爆用の非常灯を設置する
  - 管内の換気  
アルティミットの防爆対策を実施しており、非危険区域として0.3m/sの坑内風速を確保した換気を行う。
- (図-3、写真-1)
- ②急曲線 (R = 23m) 掘進時の精度管理  
急曲線部の精度管理として、次の機器等を採用した。
- 掘進機の姿勢計測としてジャイロコンパスとピッチング計を装備する。



への送電遮断できる装置を設置した。具体的には、定置式検知器集中管理室において、①メタンガス爆発限界濃度(5%VOL)の0.25%VOL(5ppm)で第一次警報による作業所内の周知、②0.5%VOL(10ppm)で第二次警報による作業の中止と坑外退避、③1.5%VOL(30ppm)で自動送電遮断システムによる送電中止とした。また、定置式自動計測器・警報機は、常に正常運転を保つ必要があるため、予備電源で使用した。

防爆用の非常灯は、掘進機部に1箇所、管路部は50mごと1箇所の計11箇所設置した。立坑部には、非常時の救急用空気呼吸器を設置した。坑内作業は無人を基本としているが、坑内に立ち入らなければならない場合の安全対策として、緊急用避難器具(呼吸用保護具、携帯用照明器具、消火器)を、掘進機、中間地点、立坑に員数分設置した。また、新規入場時や避難訓練実施時には、これらの器具の使用方法を確認した(写真-6、7)。

#### 4.4 WEBカメラの設置

発進立坑が河川に近接しており、降雨時の水没対策として、WEBカメラを設置し、いつでも立坑の状況を確認できるようにした。また、立坑内には水位監視装置を設置し、万が一、立坑に水が進入し一定以上の水位になった場合には、電話で連絡が入るシステムを採用した(写真-8~11)。

#### 4.5 推進作業

##### (1) 精度の管理(方向制御)

掘進機の姿勢制御には前述のジャイロコンパス等を用い計画方位を算出、方向制御の目安とした。また、自動追尾式トータルステーションを用いた自動測量システムは、通常は推進1本完了ごとに実施するが、急曲線区間では測量頻度を1本当たり2~3回に増やし、変位する計画方位角に対して掘進機の姿勢をこまめに補正した(写真-12)。

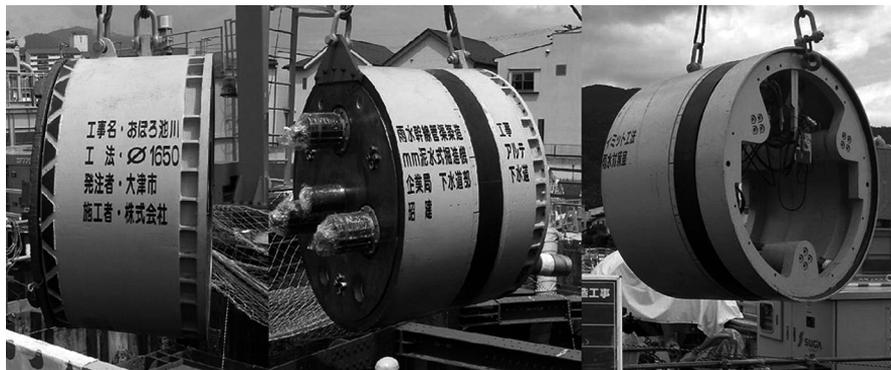


写真-5 掘進機の三分割搬入

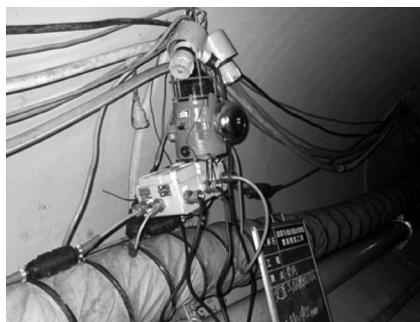


写真-6 定置式自動計測器(メタン、酸素)

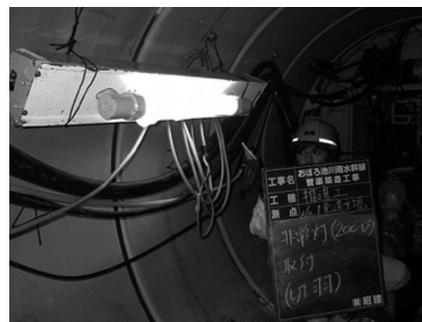


写真-7 耐圧防爆用非常灯



写真-8 立坑上のWEBカメラ



写真-9 立坑内監視モニター画面



写真-10 水位センサ



写真-11 自動連絡システム

##### (2) 推進力の管理

長距離であり急曲線区間通過後も約80mの推進があるため、通常よりも推

進抵抗力の低減に努めた。一次注入は、推進力の推移から早期にテールボイドを安定させる必要があると判断し、

2液性固結滑材を充填した。二次注入には高粘性滑材（アルティール K）を使用した。推進力の推移を管理する中で特殊中押の使用を回避できる可能性が出てきたため、注入位置の増設と選択、注入圧力および注入量の微調整等、自動滑材自動滑材システム（ULIS）の自動管理機能をフルに活用し推進抵抗力の低減を図った。この結果、計画数量を大きく超える二次注入を実施することになったが、結果的に計画推力約 12,000kN を大幅に下回る推進力で到達することができた（写真-13、14、図-6）。

5 おわりに

本工事は、計画段階のボーリング調査で可燃性ガス（メタンガス）が確認されたこと、5箇所曲線区間の中に曲線半径23m（呼び径の14倍）、交角114度という急曲線区間があり、この区間を通過後さらに約80m掘進するという難易度の高い工事でした。また、水路を利用した発進立坑ということもあり支圧壁反力（背面地山の支持力）にも制約がありましたが、計画の段階から綿密な検討を加え、考え得る適切な対策を講じたことにより安全かつ高精度に工事を完成させることができました。

当工事の完成にあたり、関係者の皆様には大変お世話になりました。本紙をお借りし厚く御礼を申し上げます。また、本工事で得られた種々の課題に対する対応策を、今後の推進工事に活用していきたいと考えています。また、本報文が少しでも皆様の参考になれば幸いです。

【参考文献】

- 1) トンネル工事における可燃性ガス対策技術基準、大阪市建設局発行
- 2) 労働安全衛生法「ずい道等建設工事における換気技術指針」、建設業労働災害防止協会発行

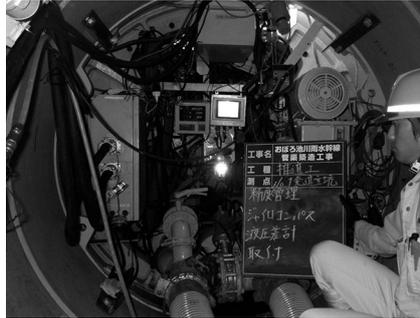


写真-12 掘進機内の設備



写真-13 推進管内状況



写真-14 急曲線 (R=23m) 区間の竣工写真

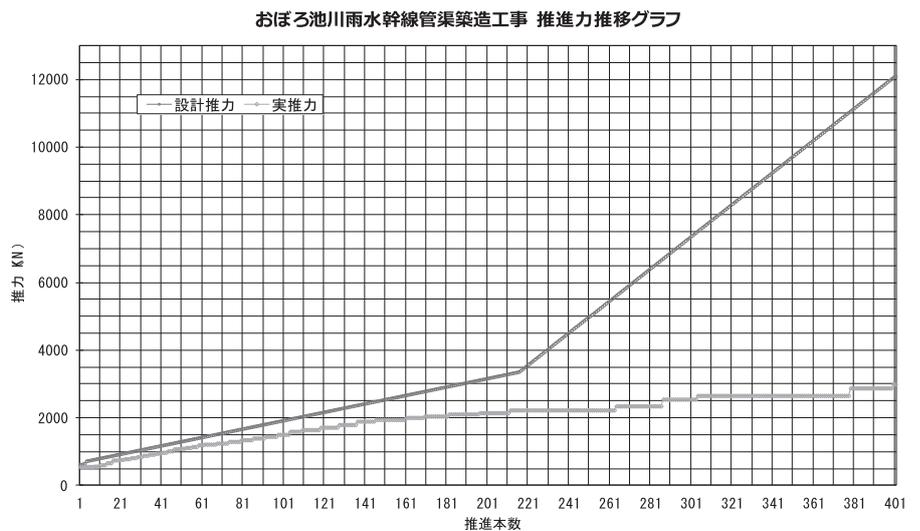


図-6 推進力グラフ