

推進工法の可能性に挑戦するアルティミット工法

小土被り・長距離・曲線推進工事

かとう つねみち
加藤 常道

太宰府市
上下水道部施設課課長



かんにょ しげき
勘如 重樹

機動建設工業(株)
九州支店次長



のせ ひさよし
能勢 久誉

機動建設工業(株)
関西支店係長



1 はじめに

本工事は、太宰府市御笠川那珂川流域関連公共下水道事業太宰府排水区の花分区域における雨水計画で、土地の高度利用や市街地の拡大による雨水浸透量や貯留能力の減少による雨水流出量の増大に伴う浸水被害の解消を目的とした雨水管きよを築造するものである。

現場近くには、学問の神様として全国はもとより広く世の崇敬を集め、年間約700万人の参拝客で賑わう、菅原道真公が鎮座する太宰府天満宮があり、施工現場の道路はこの天満宮参拝への主要県道でもあり非常に交通量が多い。この道路下に呼び径1800（外径2,120mm）のヒューム管をアルティミット泥水式推進工法で敷設した。

本工事で特筆すべき事項は、発進立坑から約300mの区間に土被り厚さ1D以下（最小土被り/推進管外径＝1,650mm/2,120mm＝0.77D）、しかもR＝192mの曲線区間（CL＝211m）を含んでいるということにつきる。推進延長583.7mのうちほとんどが小土被り、曲線施工という厳しい施工条件である。このような施工条件ではあったが、工事関係者が一丸となっ

てリスクの抽出と最善の対策を協議し、好成績で推進工事を完了することができた。

以下に、本工事の特異性とリスク対策としてのアルティミット工法の施工技術を報告する。

2 アルティミット工法

アルティミット工法は、長距離・急曲線推進工事を円滑に施工するため、従来の泥水式、土圧式工法を基に、多くのシステムや装置から構成されている。さまざまな施工条件に合わせた最適なシステムを選択でき、安全確実で効率の良い推進施工を提供する。

2.1 適用管径

下水道推進用鉄筋コンクリート管の場合、

【泥水式】呼び径800～3000

【土圧式】呼び径1000～4000

2.2 主要システムおよび装置

アルティミット工法の主要技術は以下のとおりである。

(1) 長距離推進技術

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、カット直後の外殻に溝を切った特

殊拡幅リングを装着する。泥水式は、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、推進管周辺のクリアランスに均等に充填される。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・土圧式ともに、特殊拡幅リングと泥水（安定液）、添加材の働きにより第1段階の管外周摩擦抵抗の低減を行う。

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）による滑材注入は、注入量、注入圧力、注入位置を集中制御し、完全に自動化されている。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段階の管外周摩擦抵抗の低減を倍加するとともに、地山のゆるみを防止する（図-1）。

③ 推進工法用滑材

推進工法に使用する滑材には、次のような性能が求められる。

低摩擦係数：推進力の低減
 高粘性：性状の長期維持、圧縮強度
 低浸透性：テールボイド内での残存性
 低濾水性：滑材の保水性能
 低希釈性（耐イオン性）：地下水による劣化の防止

地中環境保全：地盤中に残置した場合の安全性（中性であること）

アルティミット工法は、これらの性能が満足できるように、施工条件、土質および水質に応じた推進工法用滑材を準備している。滑材は、高粘性滑材のアルティークと超高粘性滑材のアルティークレイがある。これらの滑材のpHは、中性であり安全性に優れてかつ地中環境を保全する。

(2) 急曲線推進技術

①急曲線対応掘進機

曲線施工では、曲線に見合う拡幅掘削量（余掘り）および曲線外側の側方地盤反力等の算出を行い、曲線造成の確保や管にかかる強度等の検証を行う。円滑な曲線施工を行うため、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、正確な曲線

軌道を造成する。

②リアルタイム計測システム

曲線施工における測量時間の短縮化と的確な方向制御を目的として、常時掘進機的位置・姿勢計測ができるリアルタイム計測システム（ジャイロコンパスおよび液圧差水レベル計）が装備され、効率の良い精度管理を可能とする。

③センブラカーブシステム

センブラカーブシステムは、管の継手部に低発泡の推進力伝達材（センブラリング）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。

センブラリングは、推進計画時に各継手部の推進力を算定し「センブラリング選定ソフト」を用いてその推進力による圧縮応力度が、推進管の許容応力度を下回るように形状、発泡倍率、厚さ等を変化させて検証する。

④目地開口制限装置

急曲線施工では、目地開口が推進管継手部拘束力の微妙な差異で部分的にばらつくことがあり、許容限界を超えて管目地が脱落し大きなトラブルになるこ

とが懸念される。そのため、アルティミット工法では継手部に開口制限装置を取付け、目地開口を均等にすることを可能とする。

(3) その他のシステム、機器

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により、リアルタイムに掘進機的位置・姿勢計測が可能となり、掘進機が集中制御できる。また、ULISや自動測量システムの選択により管内作業を大幅に軽減できる。

②自動測量システム

推進管内に自動追尾式トータルステーションを複数台配置し、互いの位置を自動計測して、そのデータをパソコンで演算することで、掘進機的位置を正確に把握する。アルティミット工法の測量システムでは、ジャイロコンパスとピッチング計のデータを組み合わせて、より精度の高い掘進機先端位置と姿勢をモニターで把握することができる。

③電磁誘導チェック測量装置

（モールキャッチャー）

電磁誘導現象を利用して、掘進機後方の推進管内に設置した発信器の位置を、地上の受信機で検知することで掘進機的位置を計測する。これまで、シールド工事や推進工事では行えなかった地上でのチェック測量を可能にする。

3 施工事例

3.1 工事概要

工事名：奥園雨水管渠第23-1工区
 築造工事
 発注者：太宰府市
 請負者：機動・宮原特定建設工事
 共同企業体
 工期：平成24年3月1日
 ～平成25年3月27日
 施工場所：福岡県太宰府市五条1丁目
 地内

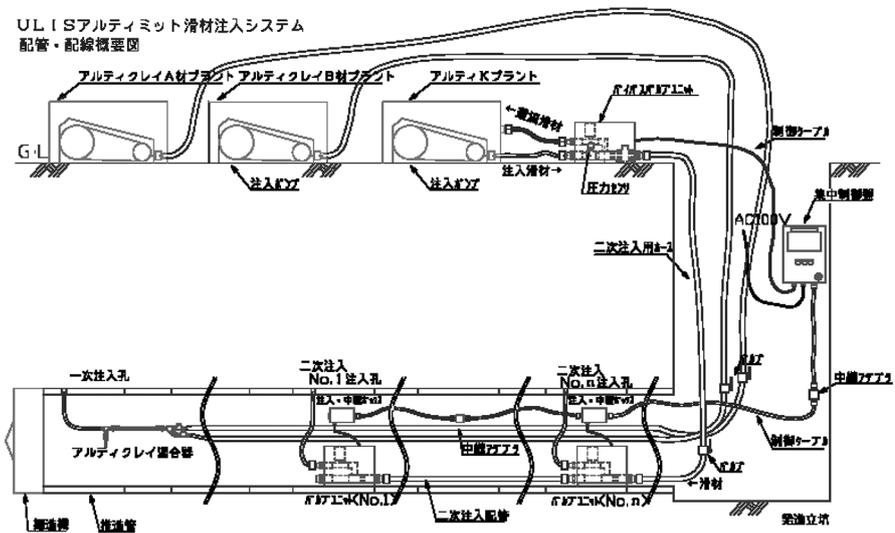


図-1 アルティミット滑材注入システム

工 法：アルティミット泥水式推進工
法

推進管径：呼び径 1800 ヒューム管

土 質：シルト混り砂礫層

施工延長：589.1m

推進延長：583.7m

曲 線：R = 192m

CL = 211m 1箇所

中押設備：1段

勾 配：+4.1%

泥水配管：6インチ

(図-2、3)

3.2 工事の特異性

本工事は、1D以下の小土被りと曲線
施工の他、作業ヤードが非常に狭小と
いう問題もあった。さらに、事前調査で

施工対象箇所に、ライナープレート立
坑が残置されていることが判明した。

(1) 小土被り推進

①小土被りの課題

本工事の対象地盤は地下水が無く、
地表面の沈下・陥没、泥水の噴出・噴
発が無いよう安全確実な推進施工を行
うことが最重要課題となった。そのため
に、施工前に綿密な事前検討を行った
(写真-1)。

②小土被りへの対応

推進中は、切羽水圧を上げないよう
送排泥水量・泥水圧力の微調整を繰り
返すことで、切羽の安定を図った。切
羽の安定化のために使用泥水は比重
1.3~1.4、粘性60sec以上とした。

使用した切羽圧力計は最小目盛りを
0.01MPaとし、また配管内閉塞等によ
る泥水の噴発を防止するために、掘進
機内バイパスには切羽圧力調整(解放)
装置を設置した。

これにより、路面の沈下・陥没、地



写真-1 小土被り推進



図-2 現場平面図

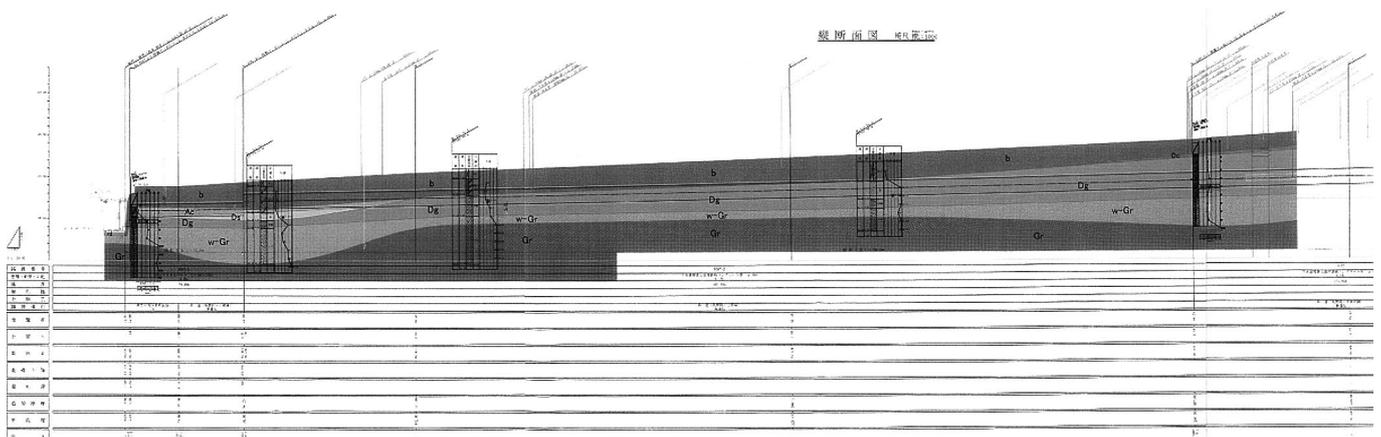


図-3 想定土質縦断面図

上への泥水の噴発、逸泥もなく安全に推進することができた。

また、小土被りのために推進反力となる支圧壁背面地山の支持力が不足する恐れがあることから、支圧壁後方を恒久グラウトで充填注入し補強した。

(2) 狭小な作業ヤード

①狭小な作業ヤードの課題

歩道を利用した作業ヤードも、泥水式推進工事にとっては極めて狭隘なスペースであり、推進管の吊り下ろし作業や各種資材の配置に苦慮した。

②狭小な作業ヤードへの対応

泥水プラント、滑材プラント等は2段

配置とし空間を有効利用することにより、狭小な作業ヤードに対処した（写真-2）。

(3) 長距離推進

①長距離推進の課題

施工箇所の幹線道路は太宰府天満宮参拝への主要県道であり、途中に中間立坑を設けることが困難という理由から1スパン推進延長583.7mの長距離推進となった。このような長距離推進の施工においては、滑材の散逸や劣化により推進管外周面と地盤との摩擦抵抗力の増大も懸念材料であった。

②長距離推進への対応

計画推進力が推進管の許容軸方向耐荷力より大きくなることから、中押装置を1段必要としたが、小土被りの長距離推進であり、万が一の不可抗力等による長期間の推進停止にも対応できるように、掘進機直後に推進力を得られるシールド筒を設けるとともに、中押装置を管路途中に設置する計画とした。

各装置の装備は、次のとおりである。

【シールド筒】

1,000kN×4台=4,000kN

【第1中押】

500kN×16台=8,000kN

しかしながら、安全で確実な推進施工を実施するためには推進抵抗力を低減させることが最も有効な対策となる。そこで、一次・二次注入を基本としたULISを採用することで推進抵抗力の低減を図ることにした。一次注入には充填性能と減摩性の両方に優れた超高粘性滑材（2液性）のアルティークレイを掘進機後方の推進管外周の空間部に充填し、テールボイドを維持した。二次注入には減摩性能が特に優れた高粘性滑材（1液性）のアルティークレイを、推進管とアルティークレイとの間に注入することで推進管外周地盤への散逸を防止するとともに大きな減摩効果を得ることができ大幅な周面抵抗力の低減が図れた。両滑材は、中性で安全性が高いため地中環境の保全でも優れている。最終的には、計画所要推進力13,700kN



写真-2 現場全景



写真-3 泥水掘進機



写真-4 泥水掘進機カッタフェイス



写真-5 泥水掘進機カッタフェイス

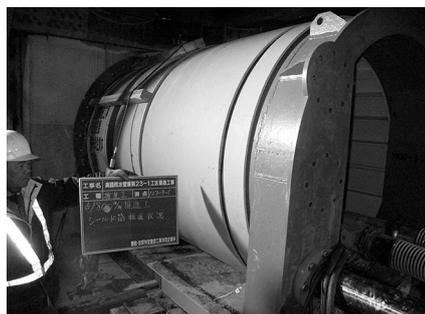


写真-6 掘進機（シールド筒）推進状況

に対し実績推進力は4,200kNと計画の約30%で到達でき、設置していたシールド筒や中押装置を使用することはなかった。また、前記したように、推進途中で中間立坑を構築しての掘進機のビット交換は不可能なため、当初ビットのまま到達できる対策としてカットフェイスを強化型シェルビットで補強した。無事到達した掘進機カットフェイスの摩耗状況を見ても、この補強は有効であったと考える（写真-3～5）。

(4) 曲線施工

①曲線施工の課題

曲線施工では推進力の曲線外側方向への分力による管外周面との摩擦抵抗力が付加される。本工事では、長距離で曲線推進のため、非常に大きな推進力の増加が想定された。このような推進力の増加は、トラブルの要因となり、推進管の破損や周辺地下構造物への悪影響が懸念された。

②曲線施工への対応

推進管列の曲線形成は、管の継手部に低発泡の推進力伝達材（センブラリング）を上下に設置するセンブラカーブシステムを採用した。センブラカーブシステムは、曲線部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、掘進機が造成した曲線に正確に推進管を追従させることができる。センブラリングの使用に際しては、計画時に各継手部の推進力を算定し「センブラリング選定ソフト」

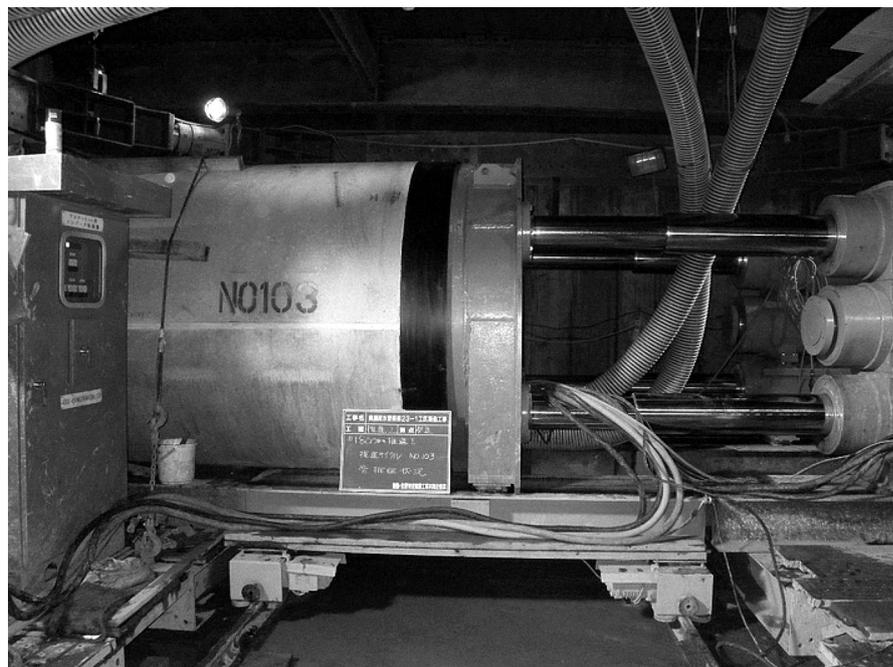


写真-7 ヒューム管推進状況

を用いてその推進力による圧縮応力度が、推進管の許容応力度を上回らないように形状、発泡倍率、厚さ等を変化させて検証する。本工事では、検証の結果、センブラリングを13通りのパターンで貼り付けることにより、管継手部の応力集中を抑制するとともに各継手部を均等に開口させ、正確な曲線を形成した。掘進機内には方位と高さを常時把握するためにリアルタイム計測システム（ジャイロコンパス、ピッチングセンサ、液圧差水レベル計）を装備し、的確な掘進中の方向制御が可能となった。また、推進管列の変位についても自動追尾式トータルステーションの採用により測量時間の短縮や推進管理者労力の削減が可能となり、前述のセンブラカーブシステムの効果とも相まって安定した推進線形精度管理ができた。

(5) 計画変更

①計画変更の課題

当初の計画路線部には、試掘の結果ライナープレート立坑が残置されていることが判明し、急遽推進法線を変更した。

②計画変更への対処

推進法線の変更により、推進は全て車道下となり推進設備・設備撤去工が車道片側を規制しての夜間作業となった。推進作業は昼夜間作業であったが、トラバーサを使用してのヒューム管横移動・据付作業が必要になり日進量低下の要因となった（写真-6、7）。

(6) NTT地下ケーブルとの離隔15cm

①離隔15cmの課題

本工事の線形は、地下埋設物が輻輳する県道内での計画となり、すでに埋設されている重要な地下埋設物NTT、水道管、ガス管、汚水幹線管（φ800mm）、雨水幹線（φ1,200mm）等の地下埋設物を平面および縦断的に避ける形で決定している。この中でNTT地下ケーブルは県道を横断しており、平面的に迂回することができないため、推進管とNTT地下ケーブルとの離隔が15cmしかない近接施工となる。

②離隔15cmへの対応

NTT地下ケーブルの防護は、H型鋼を2本使用しNTTケーブルと防護材が一体となるように防護し安全性を確保することとした。使用するH型鋼は、延長

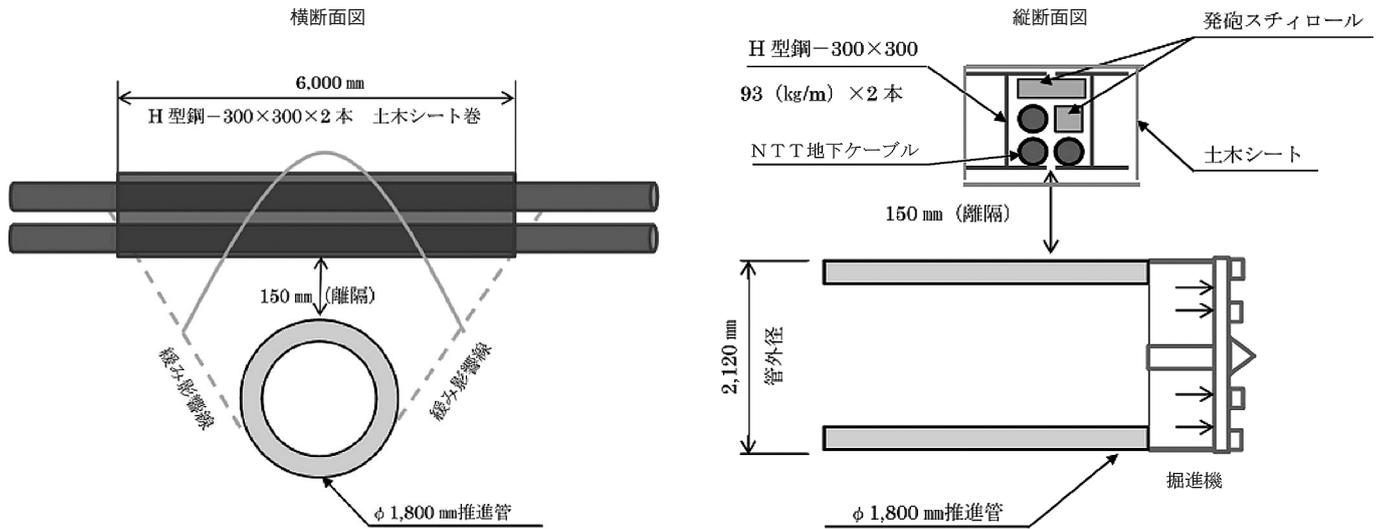


図-4 NTT地下ケーブル防護工図

6.0mでH型鋼を緩み範囲外に張り出すことにより、防護工が梁構造となるので、影響範囲内であっても沈下等の影響を与えない。この装備によってNTT地下ケーブルに影響を及ぼすことなく掘進機を通過させることができた（図-4）。

4 あとがき

本工事は小土被りという特殊な条件であったが、過去の経験を活かし計画の段階から綿密な検討を加えた。この

ことが実施工においても活かされ、安全に高精度に工事を完成させることができた大きな要因であると考えている。本工事を無事完成させるにあたり、関係者の皆様には大変お世話になった。誌面をお借りし厚く御礼を申し上げる次第である。

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る。また、本報文が少しでも皆様の参考になれば幸いである。

○お問い合わせ先

機動建設工業(株)

[技術本部]

〒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6階

Tel : 03-5289-4771

Fax : 03-5294-1281

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