

変化する岩盤層を急曲線で掘進

お ぜ き じゅん
小関 純

東田中・丸三建設工事共同企業体
現場代理人



ふじはら としゆき
藤原 敏之

国際エンジニアリング(株)
課長補佐



1 はじめに

本工事は、福岡市天神周辺地区における浸水対策を目的に、「天神周辺地区下水道総合浸水対策緊急事業」雨水整備レインボープラン天神の一環として、呼び径2200の雨水管きよを泥水式推進工法で築造するものである。

推進管路の対象となる土質は発進立坑から到達立坑までの区間が全て岩盤層であり、推進線形に曲線半径 $R=60\text{m}$ と $R=30\text{m}$ の急曲線区間が2箇所含まれ、管路上部には九州電力の既設管路 $\phi 3800\text{mm}$ （内径 $\phi 3,100\text{mm}$ 離隔 $1.0d=2.58\text{m}$ ）が隣接されており、推進工事が既設管に与える影響が懸念されていた。さらに曲線半径 $R=30\text{m}$ 区間では官民境界と推進管路の内側の離隔が近接している箇所があり、厳しい施工条件であった。さらに到達立坑が施工中マンホールであり、推進の到達管口箇所が箱抜き構造の計画であったため、高度な推進精度管理が求められた。

本稿では、変化する岩盤層における急曲線推進工事の課題と対策を中心に施工結果を報告する。

2 工事の概要

工 事 名：中部4号幹線築造工事

工事場所：福岡市中央区警固2丁目外地内

発 注 者：福岡市道路下水道局

建設部中部下水道課

施 工 者：東田中・丸三建設工事共同企業体

工 法：泥水式推進工法（アルティミット工法）

呼 び 径：2200

管 種：合成鋼管（ $L=0.6$ （JC53）、 1.2m （JC73））

下水道推進工法用鉄筋コンクリート管

（ $L=1.2$ （JC52）、 2.43m （JC51））

推進延長： $L=198.25\text{m}$

曲 線： $R=60\text{m}$ $CL=22.632\text{m}$

$R=30\text{m}$ $CL=55.201\text{m}$ 計2箇所

土 被 り： $H=18.63\sim 18.88\text{m}$

土 質：砂岩・礫岩～砂質頁岩（ $N\geq 50$ ）

一軸圧縮強度 $28\sim 40\text{MN/m}^2$

発進立坑：ライナープレート $\phi 8.5\text{m}$ $H=21.9\text{m}$

到達立坑：到達立坑 $\phi 13.0\text{m}$

施工中マンホール $\phi 10.0\text{m}$

※到達管口は、箱抜き構造

工 期：平成27年1月28日～平成28年8月31日

（推進工期間：平成27年11月20日～

平成28年6月30日）



図-1 施工平面図

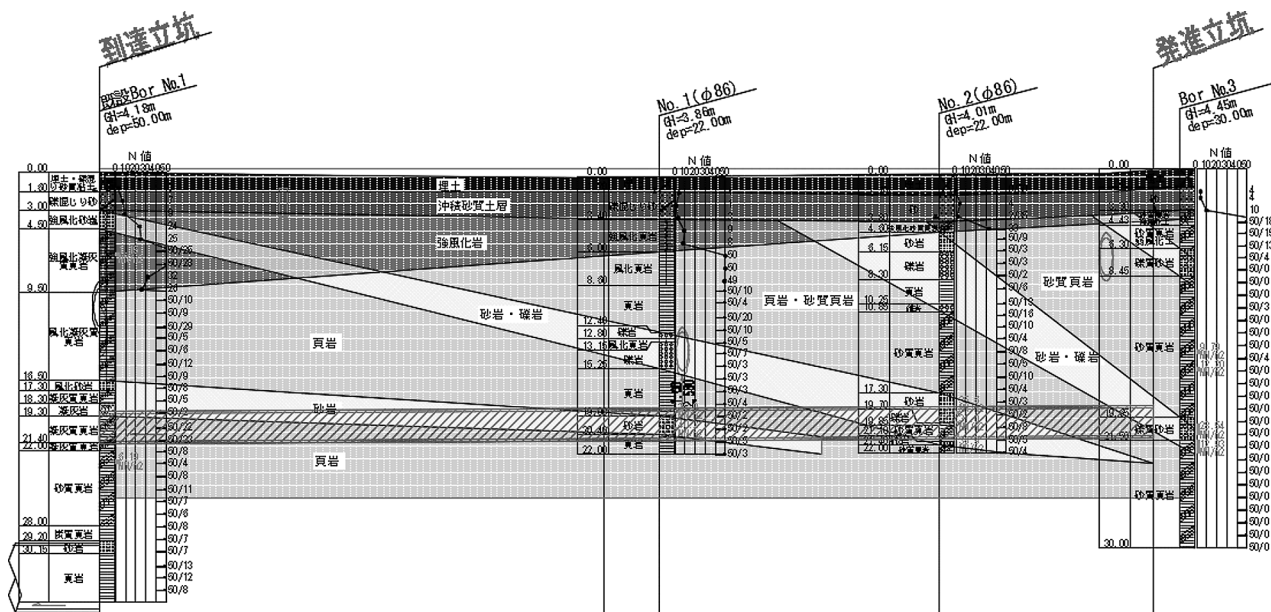


図-2 推進管路縦断面図

3 課題と対策および実施結果

本工事では、事前に考えられる課題を抽出し、入念な対策を検討した。以下にその内容を記す。

3.1 変化する岩盤層の掘進作業における課題と対策

【課題1】切削土砂の付着による面板閉塞

想定される掘削部の岩盤は、砂岩、砂質頁岩、礫岩等であった。過去の施工経験から砂質頁岩層を掘進した際は、切削ビットで切削した頁岩が泥土性状に変化することで面板開口部分に付着して、掘削土が取り込めなくなる現象が懸念された。

【対策1】面板洗浄ラインの設置

面板正面から補助的に循環泥水を送るための配管ラインを設けて、掘進中は通常の送泥ラインとは別系統で毎分0.2～0.5m³の泥水を吐出することで面板に泥土化した切削土砂が付着しないように洗浄しながら掘進作業を行った（写真-1）。

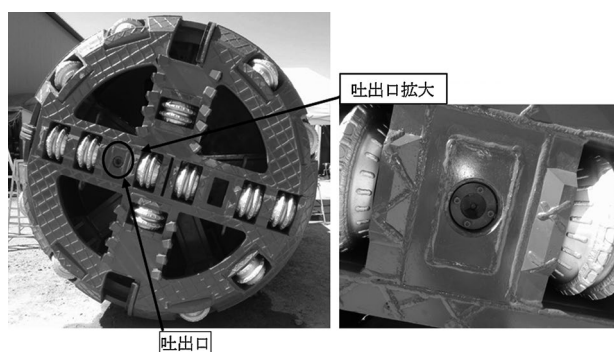


写真-1 補助的洗浄吐出口

【課題2】ビットの耐久性能不足による面板損傷

砂岩は掘進当初より比較的強度が高いことが想定されていた。そのためビットの耐久力不足による面板の損傷が懸念された。

【対策2】機内からビット交換が可能な特殊面板の製作

岩盤切削におけるビット配置の特徴は、掘削断面に対して岩盤の削り残しが無いようにビットの軌跡を全断面確保できるように設計される。そしてビットの摩耗量は、転動距離が長くなる最外周に配置したものが最も大きくなる。

本工事は、異なる岩盤層を掘進する互層岩盤の計画推進路線であった。計画段階では、ビットの耐久性

能が満たされていたので交換不要の検討結果であった。しかしながら、岩盤強度が調査結果と異なることによりビットが異常摩耗する場合や、異なる岩盤区間を掘進するために適したビット形状に交換することが必要となった場合のリスクを考慮して、掘進機内からビットの交換が可能な特殊面板を製作した。

製作した特殊面板には、軟岩切削時もローラが適切に回転するようにφ310mmのチップインサート埋込み型のローラビットを使用した。また、転動距離の最も長い最外周に配置するローラは二山タイプを使用した。面板開口率は、頁岩による面板閉塞が懸念されていたので比較的大きい構造とした。（面板開口率23%）

【課題3】切削トルクの急上昇によるカッターロック

面板へ直接溶接で取付ける固定ビットは、比較的強度の高い礫岩層や砂岩層を掘進する際に切削抵抗力を増大させる要因となる。切削抵抗力の急激な上昇は、掘進機のローリングやカッターロックを引き起こすことが懸念された。

【対策3】固定ビットの形状と配置の最適化

溶接で取付けた固定ビットは刃先が立った形状のものを採用した。また、この固定ビットは、ローラビットの切削高さに合わせてローラビットの谷側の軌跡を保護する配置で開口部周囲にのみ配置した。

【課題4】チャンバ内の排泥管口の閉塞

礫岩が岩塊状で破碎されて掘進機のチャンバ内に流入し、排泥管口を閉塞させることが懸念された。

【対策4】礫破碎機能の付加

一般的に岩盤や巨石地盤の推進工事は、チャンバ内に破碎機構を有しない掘進機を使用する場合では特殊面板の開口窓の寸法を排泥管口径より小さく設定して計画しなければならない。しかし、当該工事は砂質頁岩層で面板閉塞が懸念されていたので開口窓を比較的大きくとした面板を採用した。そのため岩塊処理の対策が必要となった。

チャンバ内に取り込んだ岩塊を破碎するために、ドーム面板を支えるアーム付近まで保護カバーを取付けて排泥管口を延長させた。さらにチャンバ内部の底面に鋼板を取付けて、アームと鋼板保護カバーで挟み込む形で排泥管の口径以下まで破碎できる構造とした。そして排

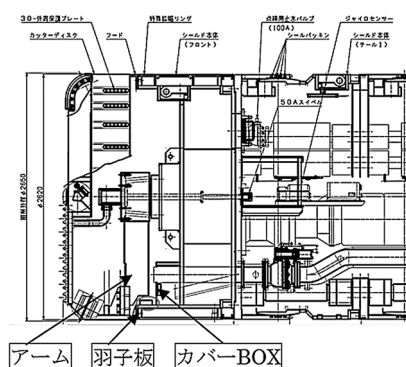


写真-2 岩塊破碎アーム



拡大写真



写真-3 偏芯破碎型ラインクラッシャ

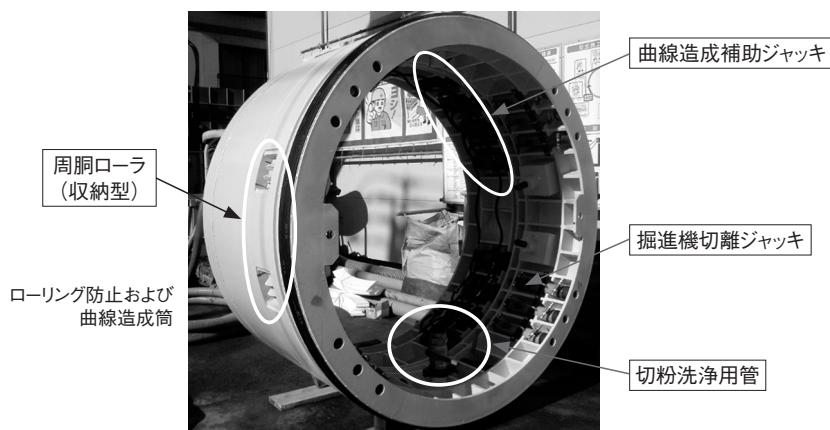


写真-4 補助設備筒（ローリング防止、曲線補助、切粉洗浄管）

泥管内に取り込まれた岩塊は、推進管内に設置したラインクラッシャで流体機器を通過できる大きさまで、細かく破碎して坑外へ搬出できるように計画した。

ラインクラッシャは泥土化した土砂による閉塞を防止するために偏芯破碎型を採用した。また、掘進機排泥管口からラインクラッシャまでの流体管口径は8インチの排泥管ラインとした（写真-2、3）。

【課題5】掘進機のローリング対策

岩盤用掘進機は、通常の掘進機よりも高い切削トルクを有していることから掘進中のローリングが懸念された。

【対策5】補助設備筒の装備

掘進機の切削抵抗反力が推進管路に直接的に影響を及ぼさないように、掘進機直後にローリング防止補助設備筒を設置した。ローリング防止補助設備筒は管周胴部にローラを4個配置した構造で、掘進機と設備筒はボルトで接合して一体化させた。

また、当該推進計画路線は2箇所の急曲線区間が

計画されており、急曲線区間を通過する際に推進管の目地が片開きすることが予測された。片開きすると、止水ゴムパッキンと推進管のカラーの摩擦抵抗力が著しく低下して目地部の水密性が低下することが懸念されたため、予備的にスライド型緊結鋼板を先頭から6m区間（推進管L=0.6m 10本分）に設置した（写真-4）。

3.2 推進力の低減に関する課題と対策

【課題1】切削した岩片による周面抵抗力の上昇

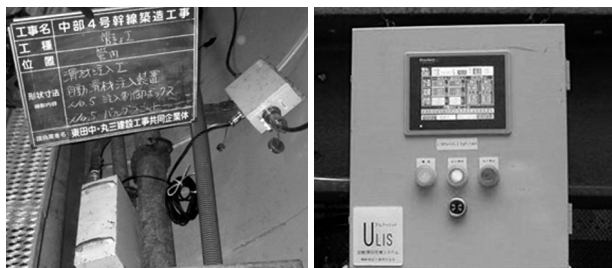
比較的岩盤強度の高い砂岩層等を掘進機で切削した際の岩片（切粉）が、推進管路のテールボイドに蓄積することにより、締め付け作用を発生させて周面抵抗力を上昇させることが懸念された。

【対策1】補助設備筒の設置とULISの使用

掘進機後方の補助設備筒には、岩片（切粉）の蓄積を防止するために、テールボイド洗浄用の流体用配管を上下に2箇所設置した。

また、推進力低減装置として、アルティミット滑材注入

システム（ULIS）を導入した。滑材は、一次、二次注入ともに高粘性滑材（1液型滑材：アルティール K）を使用した。ULISを使用することで掘進機のオペレータは、注入圧力、注入量、注入箇所等を中央制御室で一括集中管理できるので、テールボイドへの滑材充填がより確実なものとなった（写真－5）。



管内ULIS注入装置設置状況

ULIS中央制御盤

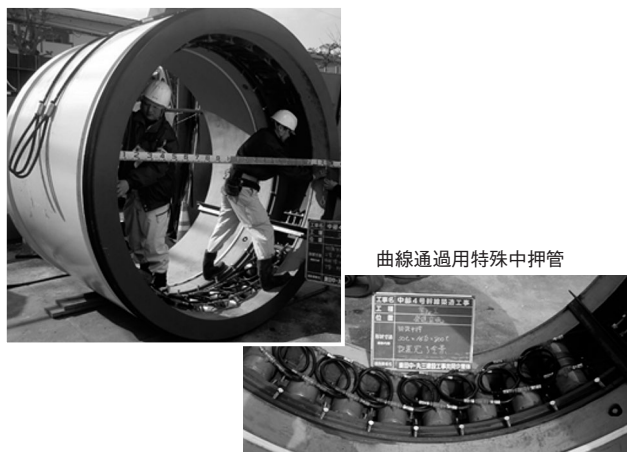
写真－5 アルティミット滑材低減装置（ULIS）

【課題2】岩盤急曲線区間における推進力の上昇

計画推進力では元押装置のみで施工できる検討結果であった。しかしながら岩盤層における急曲線施工の施工実績は少なく、予期せぬ推進力の上昇が懸念された。

【対策2】特殊中押管の設置

予期せぬ推進力の上昇が発生して元押推進力が掘進機に伝達出来なくなれば、実質的に推進不能となる。このような不測の事態に対処するために予備的に中押管を配置することにした。中押管には、急曲線区間（ $R=60m$ ）を通過するために特殊な中折れ機構を有した特殊中押管を採用した（写真－6）。



曲線通過用特殊中押管

写真－6 曲線通過用特殊中押管

3.3 急曲線を含む推進精度の確保における課題と対策

【課題1】掘進機の急曲線造成制御

一般的な急曲線対応の掘進機は、中折れの必要角度を確保するために「掘進機先端～中折れ」の長さが短くなるように設計される。しかしながら、特殊面板を必要とする岩盤用掘進機の場合は特殊面板の厚み分が長くなることや、ビット交換用掘進機の場合は、チャンバ内でビット交換作業を行う空間を確保することが必要となる。そのため「掘進機先端～中折れ」長さが長くなることにより、掘進機の曲線造成能力が低下することが懸念された。

【対策1】岩盤用急曲線対応掘進機の採用と補助設備筒の設置

急曲線区間で確実に曲線を造成するためには、掘進機の中折れ能力の確保が最優先となる。そのため掘進機は、岩盤用特殊面板構造を有した構造で、最小曲線半径（ $R=30m$ ）の曲線を造成する安全率が2.0倍程度の中折れ能力を有するアルティミット岩盤用急曲線対応機（2段折れ）を採用した。また、掘進機の中折れ構造は、高水圧下である現場条件を考慮して高い止水性能をもった球面加工の中折れ構造を採用した。

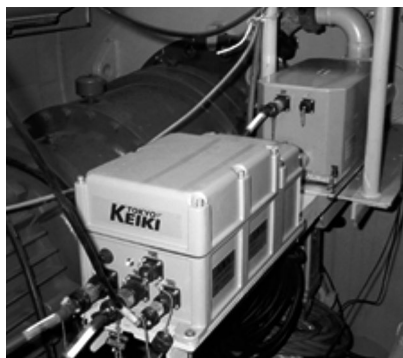
なお、切削抵抗の高い岩盤推進工事は掘進機の中折れ角度が後方の推進管の目地に吸収されることが懸念されたため、中折れ構造を有する曲線造成補助設備筒を掘進機後方に配置した（写真－7）。



2段中折れ構造のアルティミット専用掘進機

曲線補助設備筒

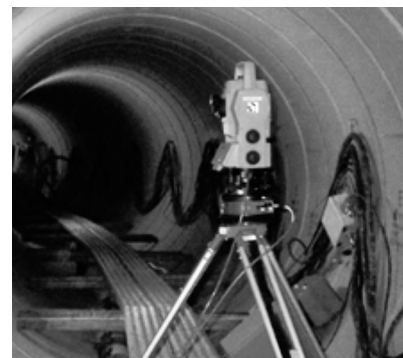
写真－7 岩盤急曲線用アルティミット掘進機、曲線補助設備筒



ジャイロコンパス搭載状況



ジャイロコンパス液圧表示計



管内自動測量設置状況

写真-8 推進精度管理機器各種

【課題2】高精度を確保するための推進管理

到達マンホールが $\phi 10.0\text{m}$ の特殊マンホール構造のため、推進管路の到達管口部分はマンホール壁面を箱抜きした構造であった。また、到達マンホールは急曲線区間（ $R=30\text{m}$ 、交角 $=105^\circ$ ）の通過直後に位置していたので、急曲線区間における精度維持も重要となり、高い精度の推進管理が必要であった。

【対策2】掘進機の姿勢をリアルタイムで把握

掘進機にジャイロコンパス方位検出機と液圧差レベル計測器を装備し、掘進機の姿勢をリアルタイムに把握することで掘進機の制御を行った。なお、今回使用した掘進機に搭載したジャイロコンパスは、岩盤切削時の振動対策として光ファイバジャイロコンパスを導入した。また、光学測量管理として自動測量システムを導入し、1サイクルの測量時間を短縮することで計画の日進量を確保しながら測量頻度を増やして高精度の推進管理を行った（写真-8）。

【課題3】岩盤区間における推進管列の追従性

推進管の目地開口長さを適正に管理することは、管路精度の確保だけではなく、推進管路の品質確保や周面抵抗力の低減において重要であった。

【対策3】センブラシミュレーションシステムの実施

推進管路の曲線形成は、計画段階でセンブラシミュレーションシステムを使用して適切な推進力伝達材の材質や貼付け形状を選定した。また、推進中も実施推進力に合わせて再検討を行い、推進力伝達材の材質や形状を見直した。

3.4 施工結果の報告と評価

今回の現場は、発進立坑専用基地が約 350m^2 と限られた作業ヤードの中で $\phi 2,200\text{mm}$ の泥水プラント基地を配置する計画であった。そのため、掘進機の立坑内への設置（搬入・吊降し）、プラント・資機材の設置場所や手順に対して事前に綿密な計画を立案した。掘進作業中も推進管のストックヤードが限られていたことや短尺管を立坑下で連結する手間などで掘進作業以外にも多くの時間を費やした。

到達立坑は内径が $\phi 10.0\text{m}$ の施工中のマンホールで、底盤部より 13.8m 上部が到達の管口であった。そのため掘進機の到達用受台の基礎となる架台をマンホールの最底盤部から組上げて作業床を確保した。

掘進作業中は、泥土化により閉塞が懸念されていた砂質頁岩層も、洗浄ラインが効果を発揮して閉塞することは無かった。硬質な砂岩層区間もカッタロックやローリングによるトラブルも無く安定した日進量が確保できた。また、礫岩層区間ではチャンバ内・流体管内で閉塞したことにより日進量が低下したが、計画当初の平均日進量を確保することができた。当初より懸念されていた推進力の上昇は、高精度の推進管理と滑材低減システム（ULIS）の効果もあり大幅に低減されて、到達時の推進力は計画推進力の約45%（ $4,530\text{kN}$ ）で到達した。

掘進機の到達精度は、曲線半径 $R=30\text{m}$ 区間の通過後に直線区間が短い条件であったが、導入した各種の測量システムを活用して、鉛直方向は下側 15mm ・水平方向は左側 2mm の高精度で到達することができた。

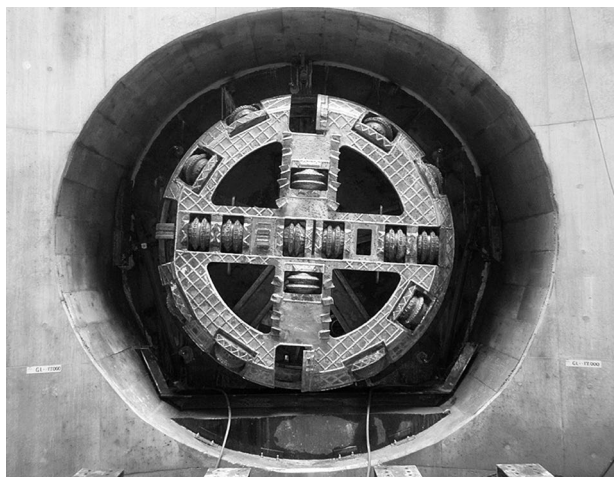


写真-9 マンホール壁面到達状況

4 おわりに

本稿では、岩盤急曲線施工の工事事例を紹介しました。互層岩盤層であったことなど厳しい施工条件でしたが、計画の段階から細部にわたって検討を繰り返して対策を試みたことや、細心の注意をはらい推進工事全体の施工管理をおこなえたことが、大きなトラブルもなく無事に工事を完成させることができた大きな要因であったと考えます。

工事完成にあたり、ご協力していただいた関係者の皆様には誌面をお借りしてお礼申し上げます。

本工事で得られた経験と結果をもとに、今後の推進工事に活用したいと考えます。