

浸水対策事業における推進工事

岩盤、粘土、巨石、砂礫層が混在する

地盤での施工報告 —アルティミット工法—

にし ともふみ
西 智史

機動建設工業(株)
関西支店係長



1 はじめに

近年、全国的に多発している線状降水帯の発生やゲリラ豪雨等による浸水被害が後を絶たない状況となっております。以前より浸水被害に見舞われていた地域では根本的な対策事業を検討し、開削工法や非開削工法にて雨水貯留管の敷設が進められ、被害の軽減を図っていると思います。

本稿では、浸水対策事業の一環として泥水式推進工法による雨水貯留管敷設の施工について、報告させていただきます。

2 工事の概要

工事名：八頭町竹ノ下雨水幹線建設工事
 工事場所：鳥取県八頭郡八頭町郡家地区内
 事業主：八頭町
 発注者：日本下水道事業団
 施工者：機動・竹内特定建設共同企業体
 契約工期：2020年12月12日～2022年3月18日
 工事内容：立坑築造工
 鋼矢板Ⅳ型立坑 2箇所
 ライナープレート式立坑 1箇所
 地盤改良工 1式
 吐口構造物築造工 1箇所

泥水式推進工 ISP
 工法：泥水式推進工法（アルティミット工法）
 呼び径：1500
 管種：推進工法用鉄筋コンクリート管
 50N 2種 L=2.43m
 内水圧：0.4MPa
 外水圧：0.1MPa、0.2MPa
 推進延長：276.06m
 曲線：平面 R=100m CL=44.788m
 平面 R=100m CL=5.443m
 土被り：5.35（最大）～2.67m（最小）（図-1）
 土質：火山碎屑岩、粘土質砂礫
 巨石混り砂礫（互層地盤）
 最大礫径：450mm
 N値：6～50
 礫率：58%（事前調査結果、最大値）
 礫強度：碎屑岩一軸圧縮強度 10.1MN/m²（追加調査結果）
 玉石一軸圧縮強度 258.8MN/m²（追加調査結果）
 発進立坑：鋼矢板立坑 Ⅳ型
 L：8.0m B：6.0m H：7.8m
 到達立坑：ライナープレート式立坑
 φ3,500mm H：6.8m
 施工期間：2021年6月1日～2022年3月5日
 （推進工休止期間含む）

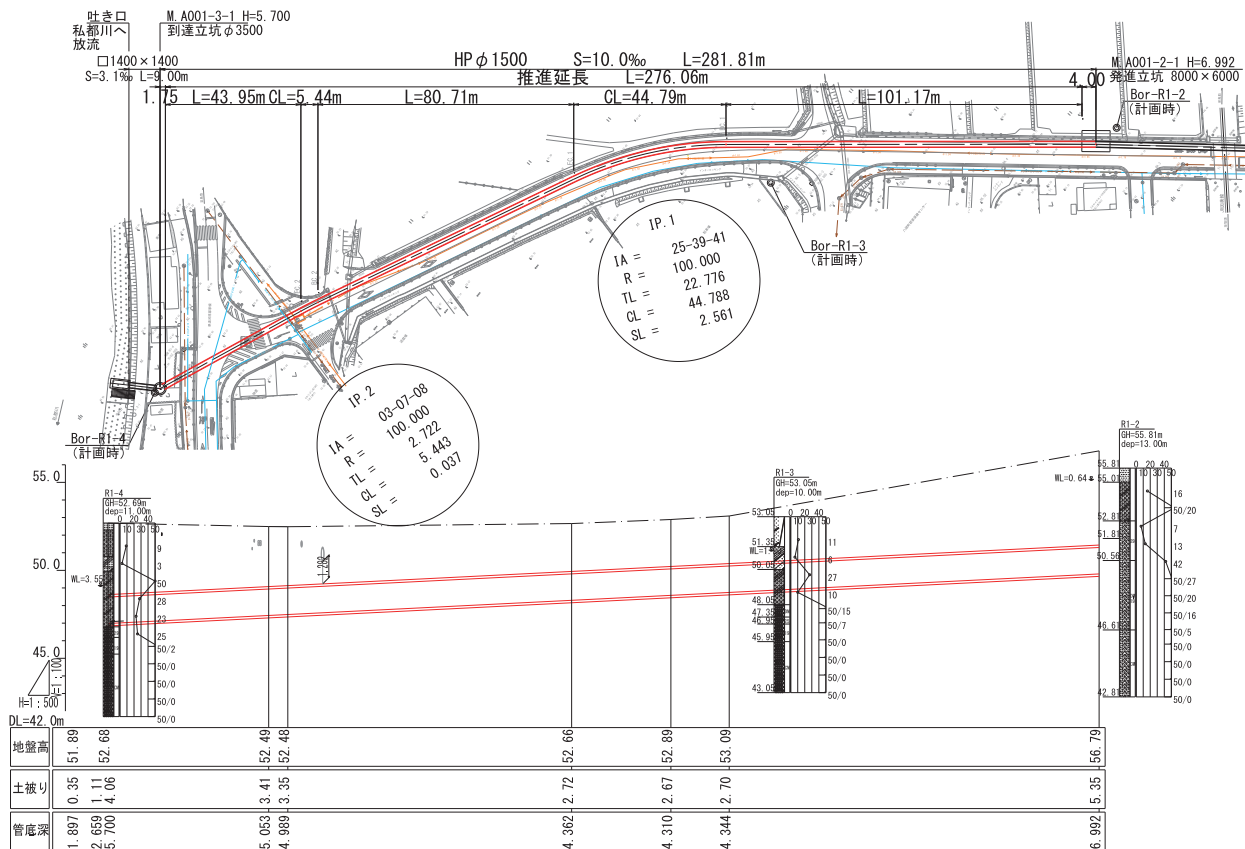


図-1 平面縦断面

3 本工事での検討事項

推進工事の計画において重要なポイントとして、推進管路部の土質の把握、推進工法の選定、対象土質や推進線形に対応可能な掘進機の選定、周辺地域での推進工事实績の確認等があげられます。本工事においても、同様に課題の抽出と対応策について検討を行いました。

その内容を記述します。

3.1 岩盤、巨石の一軸圧縮強度の確認

施工計画段階から火山砕屑岩への鋼矢板圧入（硬質地盤クリア工法にて）や、推進工施工に対して計画日進量を確保するための対策を検討するため、一軸圧縮強度の確認が必須であると判断し、追加調査を実施しました。岩盤層ではボーリング調査にてコア採取を実施し、巨石については、立坑掘削時に採取した巨石から供試体を作成し、一軸圧縮強度試験を行いました（写真-1）。



写真-1 巨石強度試験

試験の結果、推進管路部の岩盤強度は 10.1MN/m^2 のため軟岩であると判明しました（表-1）。また、玉石では 258MN/m^2 と硬質であることが確認されました（表-2）。

表-1 岩盤強度試験結果

推進管路部			
供試体深度 (m)	8.55-8.75	10.15-10.50	11.00-11.15
供試体状態	自然	自然	自然
寸法	直径D (cm)	4.91	4.95
	断面積As (cm ²)	18.93	19.24
	長さL (cm)	10.25	10.02
体積V (cm ³)	194.03	192.78	192.78
質量m (g)	476.63	481.94	472.24
密度ρ (g/cm ³)	2.456	2.500	2.4500
破壊荷重Pc (kN)	19.2	39.5	107.5
圧縮強度σc (MN/m ²)	10.1	20.5	55.9

表-2 巨石強度試験結果

供試体深度 (m)		
供試体状態	自然	
寸法	直径D (cm)	4.92
	断面積As (cm ²)	19.01
	長さL (cm)	10.35
体積V (cm ³)	197.32	
質量m (g)	526.37	
密度ρ (g/cm ³)	2.668	
破壊荷重Pc (kN)	492	
圧縮強度σc (MN/m ²)	258.8	

3.2 推進工法及び掘進機の選定

設計土質資料より、最大礫径は450mm（コア長径の3倍想定による算定結果）、透水係数 1.33×10^{-4} m/s、最大礫率58%を確認しました。土質条件に対応可能な掘進機および推進工法を選定するため、下記の課題に対して検討を行いました。

検討課題① 互層地盤への対応

推進施工で対象となる土質は、軟岩、粘土、巨石混り砂礫層と多様であり土質の変化に柔軟に対応が可能な工法や、機種を選定するため、特に対応が困難である巨石破碎に視点を置き検討を行いました。

検討課題② 巨石破碎について

玉石の一軸圧縮強度の試験結果で確認したとおり硬質な巨石であるため、巨石破碎の過程で面板や、切削ビットが損傷するあるいは、破損といった重大トラブルを懸念しました。

これらについて検討の結果、掘進機は、面板損傷の

リスクを低減させるため、面板による破碎に加えチャンバ内部でも破碎が可能な機種を選定しました。また、掘進時の切羽管理や、巨石破碎後の排土方法、推進管路部周囲へ与える影響を考慮し、泥水式推進工法を採用しました（写真-2、図-2）。



写真-2 泥水式掘進機（当初予定）

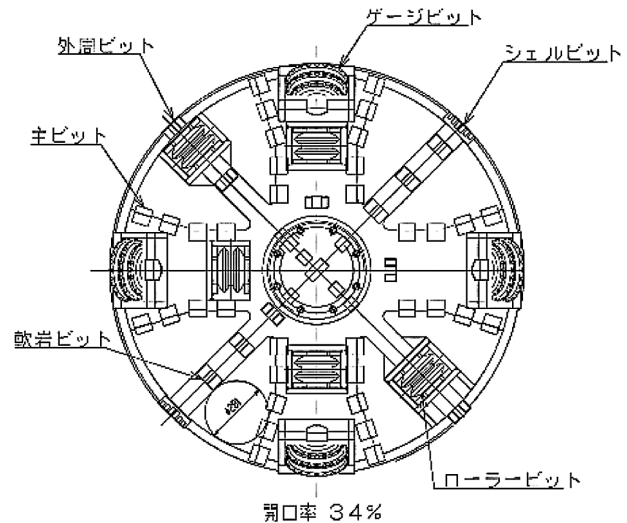


図-2 掘進機面板

3.3 掘進機適用範囲を超える巨石を確認

発進立坑の築造が完了し、推進仮設備工と到達立坑築造を同時に着手し順調に施工していましたが、到達立坑掘削時に推進管路部にて800mmを超える巨石を確認しました（写真-3）。

到達立坑の想定土質は、巨石混り砂礫層から岩盤層へ変化する土質となっていました。しかしながら、砂岩層を苦労しながら掘削したところ、想定より大きい巨石の存在を確認しました。

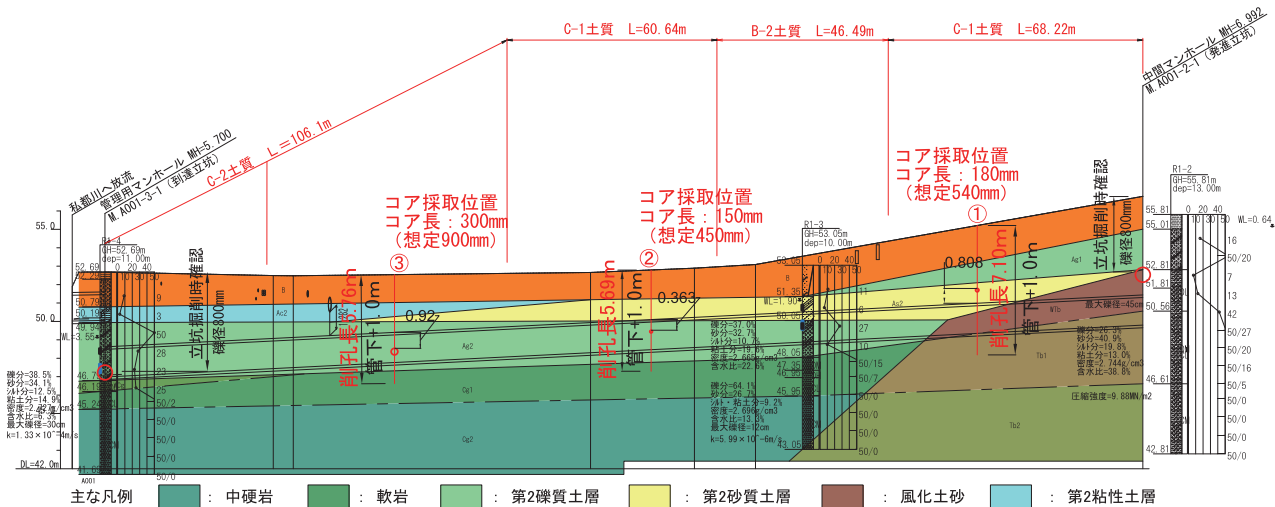


図-3 土質想定図



写真-3 回収した巨石

発注者へ第一報の連絡を行い、確認された巨石の大きさおよび、回収した深さ等の情報整理と、計画掘進機での施工可否の確認を含めた資料整理を行うと同時に、推進仮設備工の施工を一時中断する判断としました。推進工の工程では、掘進機の搬入および据付が完了し、近日中に鏡切りを行い、発進を予定していましたが、計画で定めるアルティミット工法の巨石に対する適用範囲は、C1土質区分では（掘進機外径の50%未満かつ600mm以下礫率80%未満）と定められているため、確認された巨石は適用範囲外とし、再度適用土質の見直しを行いました。

3.4 掘進機の再検討および追加調査の実施

巨石の出現に伴い推進管路に点在する巨石を含む土質区間の範囲を把握するため、追加ボーリング調査を3箇所で行いました。

その結果、発進立坑より40m地点でコア長径180mm、130m地点で長径150mm、210m地点でコア長径300mmを確認しました。3倍換算をした場合、450～900mmの巨石が点在することが想定されます。そこで、設計土質区分と合わせ当初条件の最大礫径600mmを超える土質区間を、到達立坑より約100mの区間とし掘進機の再選定を実施しました（図-3）。

掘進機の再選定では、実際に確認された巨石800mmに対応するため、アルティミット工法C2土質区分の基準（掘進機外径の80%未満かつ2000mm以下、礫率80%未満）を基に検討しました。また、巨石破碎時に生じるビットの摩耗、損傷に対応するため、機内ビット交換が可能な機体を選定することになりました（以下、再選定した掘進機を2号機と称す）。

2号機掘進機面板の形状およびビット配置では、巨石破碎時、掘進機面板の大部分で切削することが想定されるため、板型面板からセドーム型特殊面板へ変更し、ローラビットによる切削軌跡を全断面で確保する計画としました（図-4、5、写真-4）。

4 施工報告

本工事は、土質条件の変更協議および、掘進機の変更整備のため約4箇月間の施工中断期間を経て施工を再開しました。掘進機の入れ替え作業や、推進設備の

一部撤去再設置等追加の作業が発生しましたが、初期掘進から到達まで掘進不能といった重大なトラブルが発生することなく施工を終えることができました。

その中で特に印象に残っている事項について、以下にその内容を記述します。

4.1 ローリング現象

推進管路の土質は発進立坑から火山碎屑岩層、粘土質砂礫層、巨石混り砂礫層へと変化する地層となっていました。ローリング現象の発生は、掘進中に回転運動する掘進機面板が硬質なものを切削又は、切削時にビットが噛み込んだ際に回転していた面板が負荷により回転できない状態となった時に発生します。そのため、巨石が想定される推進路線の後半では特にカットトルクの変化に注視することを管理項目としていました。また、ローリング対策として、掘進機と推進管をプレートにて内側から緊結固定する方法を採用しました。

実施工でカットトルクが著しく上昇した区間は、碎屑岩層と粘土混り砂礫層の層境で、モータ電流値が定格の60%を頻繁に超える状態にあったため、掘進速度を抑えるようにしました。しかしながら、一次処理機より粘土が排出されていたことや、掘削時の取り込み土量も極端に減少していたため、粘土が面板に付着し推進力に影響すると判断し、立坑管口にて送水ラインと排泥ラインを入れ替え面板洗浄、閉塞解除作業を繰り返しながら慎重に掘進を行っている中で、突然ローリングが発生しました。

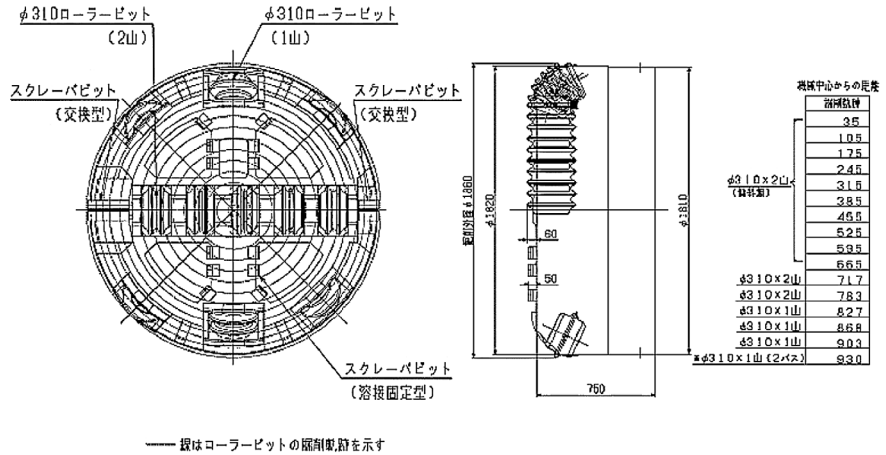


図-4 切削軌跡図

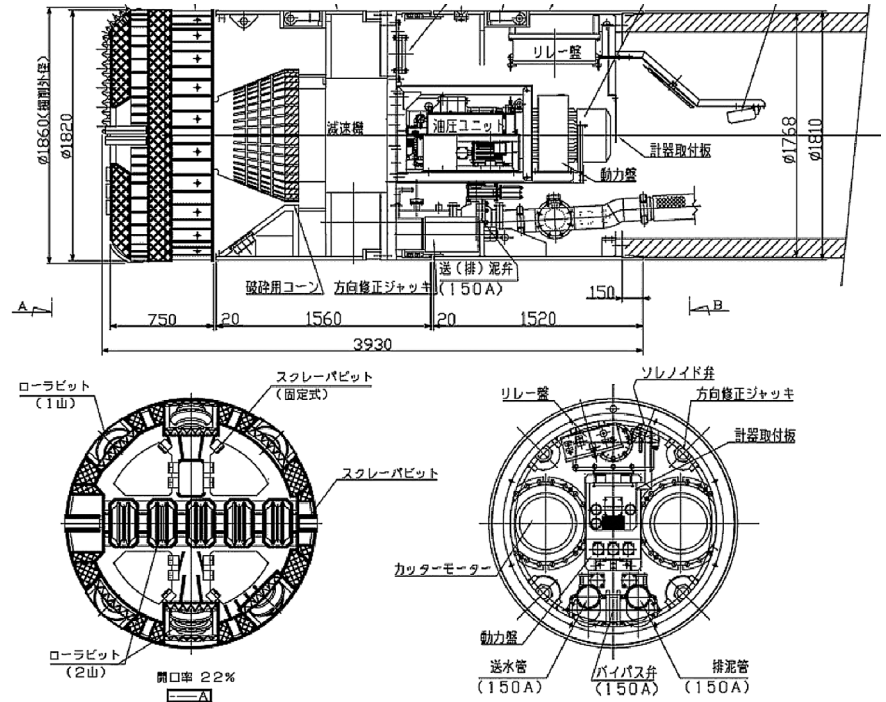


図-5 掘進機全体図



写真-4 掘進機2号機

掘進機のローリング状況を確認すると、掘進機の緊結固定に使用していたボルトが破断し、固定能力が著しく低下している状況を確認しました。対応策として、内バンドを作成し、掘進機と推進管の接続部に被せるように設置し、あと施工アンカボルトにて固定を実施しました。その結果、巨石破碎時に掘進機が振動している状態にあってもローリングが発生することはありませんでした（写真-5、図-6）。

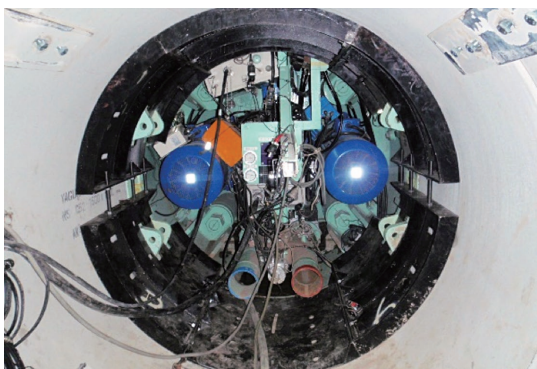


写真-5 内バンドによる緊結

4.2 推進施工時の管理について

上述のとおり、推進管路部は互層地盤であるとともに、土被りも最大5.35mから最小2.67mと変化するため、掘削対象土質に応じた泥水管理、自然水圧や切羽圧力の変化に注視する必要があります。また、巨石が点在している区間の掘進では、カットトルクの上昇や推進力の上昇などで掘進状態が不安定となるため、推進速度を落とし慎重に掘進する必要があります。施工時のリスクとしては、巨石周囲の土砂を過剰に取り込んでしまう場合や巨石破碎時の振動等により地表面が沈下、あるいは、陥没といったトラブルが懸念されます。

(1) 施工時の泥水管理

泥水管理は、「推進工法体系2019年版」（(公社)日本推進技術協会）を参考に、粗砂や礫の破砕片が泥水処理機より排出される場合は泥水濃度を高濃度化して切羽の安定、崩壊防止を図る計画とし施工を行いました（表-3、写真-6）。

また、掘進完了時に残土量の計測、泥水量の変位を測定し、計画掘削土量に対して比較を行い切羽圧力

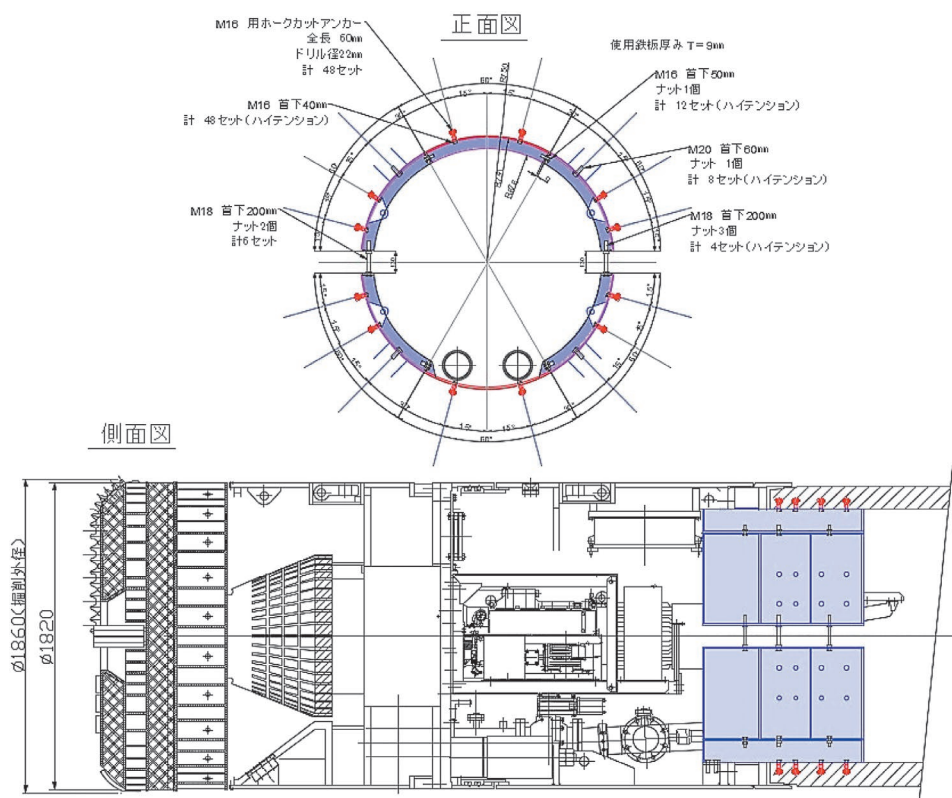


図-6 内バンド設置計画図

表-3 泥水管理基準値

土質	比重	参考値		計画値	
		適当な粘性の値 (S) [500/500CC]		比重	粘性
		地下水の影響の少ない場合	地下水の影響の多い場合		
シルト・細砂	1.05～1.10	23～27	28～35	1.05～1.10	28～35
細砂・砂	1.10～1.20	28～35	33～40	1.10～1.20	33～40
砂礫	1.20～1.30	30～45	50～65	1.20～1.30	50～90

「推進工法体系2019年版」に一部加筆



写真-6 排出された礫片

(2) 掘進時の推進力低減対策

推進力低減対策は、泥水管理と同様に土質に応じてテールボイドに対する滑材注入率を変更しながら推進力の変化を監視することが重要であると考えます。本工事においては、滑材注入方法としてアルティミット滑材注入システム (ULIS) を採用し、高粘性滑材「アルティー K」(一液性) の注入を行いました。到達立坑より100m 区間では、巨石混り砂礫層が掘削対象地盤であるため、固結型滑材「クリーンFDⅡ」(二液性) を注入する計画を行い、テールボイドを保持し、推進力上昇の抑制を図りました(写真-9～11)。

や泥水品質の妥当性を確認し施工を行いました(写真-7、写真-8)。

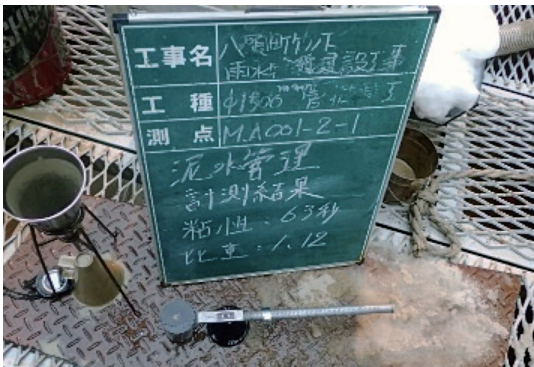


写真-7 泥水管理



写真-9 ULISによる注入状況



写真-8 作泥状況

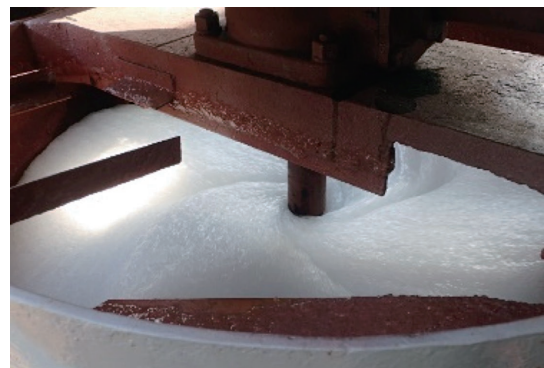


写真-10 滑材アルティー K

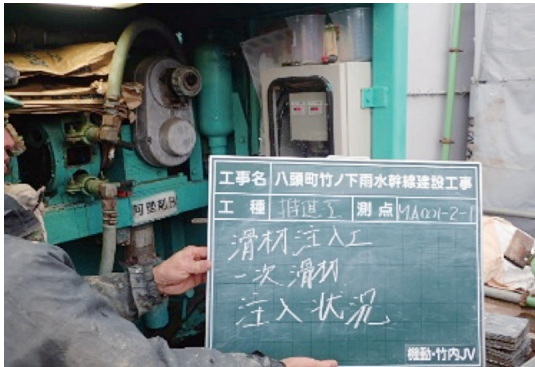


写真-11 固結型滑材注入



写真-12 管内測量

(3) 推進路線の路面沈下管理

路面の沈下管理は、基線中心に1点と左右各1点、計3点を発進立坑から到達立坑までの間に約20mピッチで測点を設けオートレベルにて計測管理を行いました。計測の結果、最大で3mmの沈下を確認したため、施工後の裏込め注入時に路面変位の測定結果を反映させ施工を行いました。

(4) 推進精度の管理

推進精度管理は、定められた基準値内に収めるよう管理基準値を設け品質確保に努めました。土質条件の変更に伴い、特殊面板仕様の掘進機となったことから通常の掘進機よりも先導部機長が長くなったこと、掘進機と推進管の接続部をバンド固定したことにより、掘進機姿勢に対して推進管の追従（目地開き）が遅れ、精度不良に陥ることが懸念されました。対応策として、ジャイロコンパス、液圧差レベル計によるリアルタイム計測と、管内手動計測にて掘進機前胴部、後方、推進管の姿勢を確認する計画としました。

その結果、管理基準値（上下左右±50mm）に対して下3mm、左35mmに収めることができました（写真-12、13）。



写真-13 掘進機到達

が、現場で実施した対応により掘進を早期に再開することができました。また、推進力では、計画推進力6,117kNに対して到達前初動推進力3,224kN（計画比53%）、到達前最終推進力3,998kN（計画比65%）の結果となりました（図-7）。

日進量では、計画日進量2.7mを上回る平均日進量3.9mを確保することができました。

施工管理では、計画段階から細心の注意をはらい、また、予期できなかった土質変更協議、掘進機の変更への迅速な対応、そしてなにより、推進工事全体の管理を綿密に行ったことが、大きなトラブルもなく工事を完成させることができた要因であると考えます。

工事完成にあたり、ご協力を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。一人の技術者として今回の工事で得た経験を今後の施工に生かし、より高品質で安全安心な施工を実現できるよう精進いたします。

5 おわりに

今回施工を行った現場は、互層地盤と巨石の出現や土被りが比較的浅い区間の通過等、厳しい条件での施工となりました。懸念していたローリングは発生しました

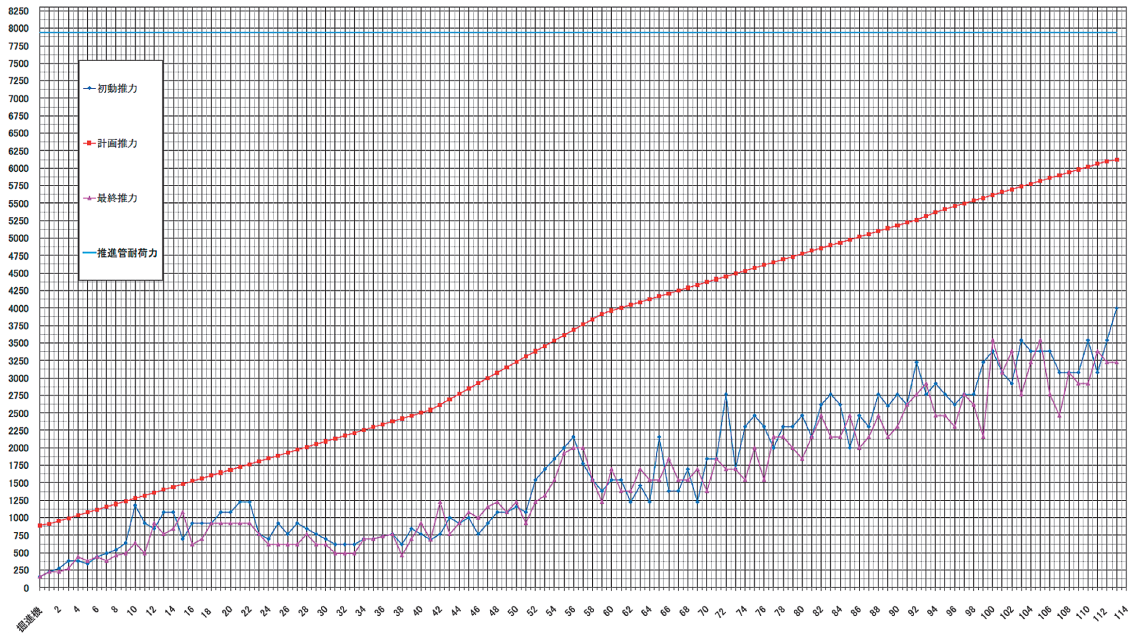


図-7 推進力管理表

○お問い合わせ先

[機動建設工業(株)関西支店]
 〒553-0003 大阪市福島区福島4-6-31
 Tel : 06-6458-3861 Fax : 06-6452-2653
 [機動建設工業(株)土木本部]
 〒553-0003 大阪市福島区福島4-6-31
 Tel : 06-6458-6183 Fax : 06-6454-0274

【参考文献】

1) 「推進工法体系2019年版」(公社)日本推進技術協会