

玉石砂礫層の長距離推進を機内ビット交換で施工した アルティミット工法施工報告

よしはま ひでのり
吉浜 秀昇

(株)センチュリー工業
瀬谷支線作業所現場代理人



なかむら こうしん
中村 光伸

機動建設工業(株)
関東支店課長



1 はじめに

横浜市の西部に位置する瀬谷区は、大雨時に隣接する境川が大雨で水位上昇した影響で、過去に度々浸水被害が発生しておりました。これを受け、横浜市環境創造局（現下水道河川局）は横浜市の浸水対策（下水道管路整備）として、先に施工完了した瀬谷飯田雨水幹線に接続するため、当工事では、厚木街道下において、高水圧や礫等に施工実績のある泥水式アルティミット工法を採用しました。

本稿は、その施工報告をします。

2 工事概要（図-1、2）

工 事 名：西部処理区瀬谷支線下水道整備工事
工事場所：神奈川県横浜市瀬谷区橋戸3丁目61
発 注 者：横浜市環境創造局（現下水道河川局）
施 工 者：センチュリー・加藤建設共同企業体
施工期間：2022年4月18日～2023年9月5日
工 法：泥水式推進工法（アルティミット工法）
呼 び 径：2000
管 種：推進工法用鉄筋コンクリート管
JIP-JD-51 推進管
EX-JB-51 推進管（中押管1本含む）

推進延長：543.962m

曲 線：平面曲線 R=250m×2箇所

勾 配：1.0‰

土 被 り：14.76～26.62m

土 質：玉石混り砂礫層

粒度構成：礫分68.8%、砂分19.0%

シルト・粘土分12.2%

最大礫径：550mm

N 値：50以上

礫 強 度：一軸圧縮強度 $A_{vr} 207.5 \text{ MN/m}^2$
(192.3～242.2 MN/m^2)

地下水位：GL-3.10～12.33m

発進立坑：鋼矢板立坑V型

L=10.0m B=5.5m H=18.4m

到達立坑：ケーシング立坑φ4.09m H32.4m

3 本工事の検討と対応

3.1 狭隘な発進ヤードでの施工

発進ヤードは、厚木街道の片側1車線と歩道の一部を占用し万能鋼板で仮囲いをした(L=57.6m B=7.3m)、呼び径2000の泥水式推進施工としては狭いヤードでした（写真-1）。推進泥水プラント・掘進機の組立をレッカー作業でするにはアウトリガーの配置も困難なため、施工は15t橋形クレーン（6.5m スパン・走行32m）の設置か



図-1 推進工事概要

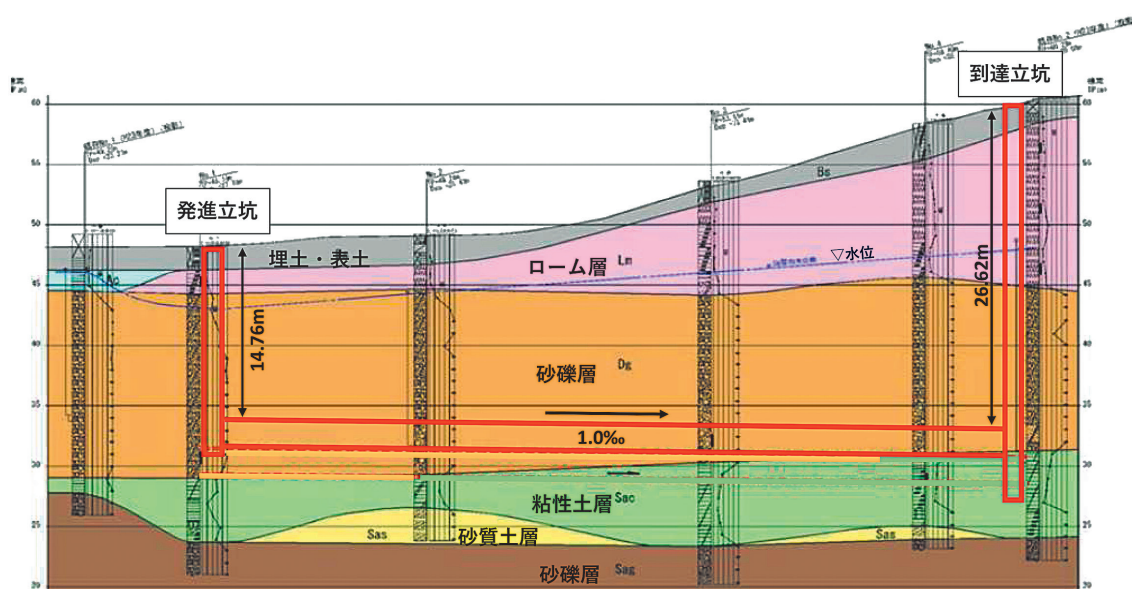


図-2 縦断面

ら着手しました。おおまかな機材の配置後は、発進立坑内に中段ステージ・立坑上の開口部にステージを設置



写真-1 狭い発進ヤード

し、配管材やケーブル等の資材置き場にしました。狭いながらもヤード内の安全通路は確保できましたが、人ひとりしか通れず、すれ違うときは譲り合いの気持ちで作業しました。

出入ゲートは2箇所設け、西側ゲートを推進管、資機材の荷受け、バキューム車による汚泥の搬出とし、東側ゲートを掘削残土の搬出とし推進施工サイクルに支障のないよう施工ができました。

また、発進ヤードは歩道を挟み店舗・住居が隣接しており、一次処理機は防振架台・防音シートで振動騒音対策をしましたが、夜間施工は避けて昼間8時間施工としました。

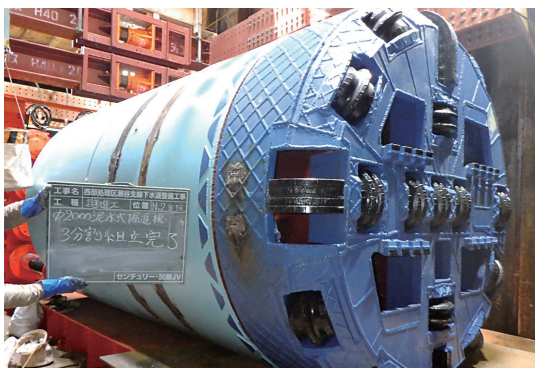
3.2 玉石の検討

(1) 機内からのビット交換

先に施工完了した西部処理区相沢第二雨水幹線下水道整備工事（土圧式シールド工事）において、以下の報告がありました。

- ・ リボンスクリュ閉塞や排土などの状況から確認される礫の大きさは、土質調査や詳細設計時の想定（ $\phi_{\max} = \phi 360\text{mm}$ 程度）を大きく上回る $\phi = 500 \sim 550\text{mm}$ 程度の垂円礫が複数存在することを確認。
- ・ シールド掘進時に採取した礫の岩石試験結果（平均値）は、湿潤密度： 2.907cm^3 、一軸圧縮強さ： $\text{Avr.}207.5\text{MN/m}^2$ であり、緻密で非常に硬質な礫の含有を確認。

最大礫径・礫強度は重要な要素で、掘進機の選定には、特殊面板・コーン破碎型の泥水式掘進機（写真－2）を採用しました。面板にはスクレーパビットの他に、玉石の一次破碎としてローラビットを正面に7個と外周面に8個取付けました。本路線推進部の土質は（工事概要参照）C1土質に分類されますが、礫の一軸圧縮強度（ $\text{MAX } 242.2\text{MN/m}^2$ ）が岩盤区分よりも大きいため、ビットの検討はC2土質を適用し、到達までに2回のビット交換を行いました（200m、400m 地点）。通常のビット交換は、中間立坑を設け面板側からビット交換をしますが、本推進路線上部には地中埋設管があることから、機内からのビット交換が可能な掘進機を採用しました。ビット交換部の地盤改良は事前にダブルパッカー工法で防護層を造成し、掘進機が所定位置に達したら、機内から薬液注入を4方向から行い、テールボイド側からの地下水・滑材の流入を防止しました。ビット交換するための



写真－2 泥水式掘進機

機内マンホールは $700 \times 490\text{mm}$ と狭く、人の出入りも困難でローラビット（80kg/個）の出し入れも慣れるまで大変でした（写真－3、4）。



写真－3 チャンバ内でのビット交換状況



写真－4 交換用ローラビットのチャンバ内への搬入状況

(2) 推進管の破損

玉石・礫混りの地盤では「くさび作用」により推進管上部で接触した石が推進管外周面で回転し推進管を破損させる事例があります。特に、推進管グラウト孔凹部で引っ掛かった石が回転し、カム回転のごとく推進管を破損させる恐れがあります。今回はこの対策として、推進管グラウト孔凹部にグラウトホールキャップを取付け、礫・粗石のくい込みを防止し推進管を破損させることなく施工できました。

グラウトホールキャップ（写真－5）を取付けることで、利点がもうひとつありました。通常、推進管グラウト孔が発進坑口を通過するときに発進坑口部に充填された滑材が断続的に流出しますが、付近の地山崩壊と推進力増加の恐れがあります。グラウトホールキャップを付けた効果で滑材の流出もなく施工できました。



写真-5 グラウトホールキャップ取付け状況

3.3 高水圧の対応

(1) 発進坑口

発進立坑の土被りは約15mで地下水压は0.10MPaと高水圧のため、推進施工中に発進坑口止水パッキンが反転し土砂と水が出水することがあります。対応策として発進坑口にL型止水パッキンを採用しました（写真-6）。L型パッキンの内側で地下水压を直に受けないよ

うに、L型硬質スポンジを取り付け水圧を分散させることで、懸念された坑口部からの出水・パッキンの反転もありませんでした（図-3）。

(2) バッキング防止

初期掘進時は推進管周面抵抗力が小さく、掘進機面板に掛かる土圧と地下水压により、次の推進管を据付ける際の元押ジャッキ引き戻し時に、掘進機ごと押切推進管のバッキングが懸念されました。バッキングが発生すると、推進管据付けスペースが確保できなくなるばかりでなく、地山が崩壊し、上部埋設物の沈下や場合によっては破損につながるとともに、甚大な交通災害も生じます。今回のバッキング防止は、推進管メーカーで管製造時に推進管外周面にインサートアンカーを埋め込んでもらい、現場でバッキング防止金具をボルト取付けし発進架台から反力をとることでバッキング防止対策を実施しました（写真-7）。

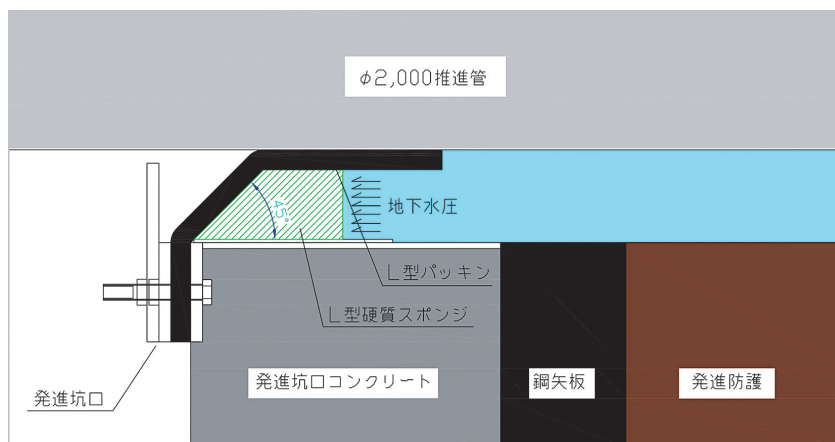


図-3 発進坑口L型硬質スポンジ設置



写真-6 発進坑口L型パッキン取付け状況



写真-7 バッキング防止金具取付け状況

3.4 長距離推進 (500m超)

(1) 推進力の低減

計画推進力を上回る推進力は、推進管を破損させるばかりか、掘進機が所定の到達立坑まで到達できなくなってしまう。本推進路線上部には埋設管路（污水管φ400や水道、ガス管等）が輻輳し、推進不能の場合の掘進機回収立坑築造もできないことから、計画推進力を下回る低推進力での施工が求められました。

計画推進力の検討の結果、中押設備は1段とし、対応策としてアルティミット工法（泥水式）の特殊拡幅リング、アルティミット滑材注入システム（ULIS）、滑材は1次注入にアルティークレイ、二次注入にアルティー Kを採用し、推進力の低減を図りました。特殊拡幅リングは、掘進機本体胴殻先端外周部に溝切プレートを装備し、掘進機外周面に泥水安定液の一部が充填され推進管からの一次滑材注入位置までのテールボイドを保護します。一次滑材のアルティークレイは流動性可塑性で本工事のように透水係数の高い砂礫地盤に効果があります。材料は地上プラントでクレイ A 材・B 材を別々に作液し、先頭



写真-8 自動滑材注入装置



写真-9 自動滑材注入装置



図-4 推進力管理表

の推進管注入孔に2系統を混合させて充填します。二次滑材のアルティー K は、高粘性滑材で経時劣化が少なく全地盤対応な滑材であり、注入方法はアルティミット滑材注入装置（写真－8）を使用し、管内50mピッチに配置した自動バルブ（写真－9）により推進管グラウト孔から、注入箇所、注入量、注入圧力、注入時間を自動制御しながら管内無人で効率的に滑材注入をしました。

これらの結果、掘進開始の60m 区間を除き、計画推進力（15,800kN）を上回ることなく30%（4,800kN）の低推進力で到達することができました（図－4）。

（2）測量時間の軽減

推進精度管理において、管内での測量は必須です。曲線区間（R=250m×2箇所）を含む長距離推進では、測量機器を人力坑内運搬し測量には1時間ほど要します。今回は自動測量システム（写真－10）を採用したことで、管内を無人化し10～15分程度に測量時間を短縮することができました。また、掘進機の姿勢はジャイロコンパスとピッチング計でリアルタイム計測することで、掘進機の位置をより正確に把握することができました。



写真－10 自動測量システム

また、推進精度に最も重要な発進立坑内の測量基準点は到達までに2回のジャイロ測量を実施し、到達立坑部での推進管は、管理基準値内（左右50mm・上下50mm）の右9mm・上1mmで収めることができました。

4 想定外の出来事と対応 （チャンバ内の粘土閉塞）

発進後15m 付近までは順調に掘進を進めていましたが、カットトルクが上昇し掘進速度が低下していきました。これは、排土の土砂状況や掘進状況から、それまでの玉石砂礫層と異なり、玉石・礫の減少と粘性土の増加により切羽切削能力の低下・面板開口部での取込み不良が発生したことが要因と考えられました。

当現場で採用した掘進機は、ローラビットとコーンクラッシャを装備し、礫はローラビットで一次破碎し、コーンクラッシャで二次破碎され管内排泥管内で沈降・閉塞することなく地上泥水プラントまで流体輸送されます。砂・粘性土が主体となると、本機のローラビット・コーンクラッシャはその機能を発揮せず、特に粘性土に対しては、切削能力の低下と面板およびコーン部の閉塞が起こります。コーン部（チャンバ部）の粘土閉塞は送泥水が面板切羽部まで還流できなくなり、チャンバ部のみの還流となり、切削能力のさらなる低下と掘削土の取込み不良を起こします。ローラビットに関しては取付箇所のビットケース部で粘土閉塞によりローラビットが回転しなくなり、片減り摩擦が生じたりします。

200m 地点での機内ビット交換時に機内マンホールを開けると、チャンバ内と面板開口部は粘土閉塞し、ローラビットのチップは健全でしたが母材が激しく摩耗していることが確認されました。

発注者と協議の結果、ビット交換時に粘性土対策として以下を実施しました。

（1）チャンバ内超高压喷射設備の設置 （写真－11、図－5）



写真－11 チャンバ内超高压喷射設備

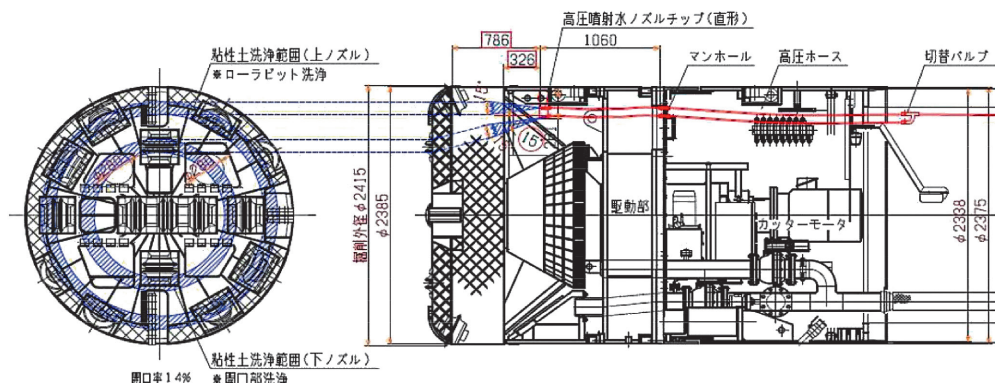


図-5 チャンバ内超高压喷射設備

- ・粘性土の面板背面部付着除去・付着防止し、掘削土を良好に取込む
 - ・面板開口部が確保できるため、送泥水が切羽還流し掘削能力も改善される
- (2) 切羽還流増流量ポンプの設置 (写真-12、図-6)
- ・チャンバ内の還流流量を増加させることで、面板開口部から取込んだ粘性土をチャンバ内で滞留付着

させることなく地上泥水プラントへ排泥できる
(2) は非常に効果を発揮しましたが、(1) はチャンバ内に取付けた超高压喷射ノズルの摩耗が激しく、400mでのビット交換時には、いつでもノズル交換できるロッドタイプに改良したことで、継続的に効果を発揮することができました。

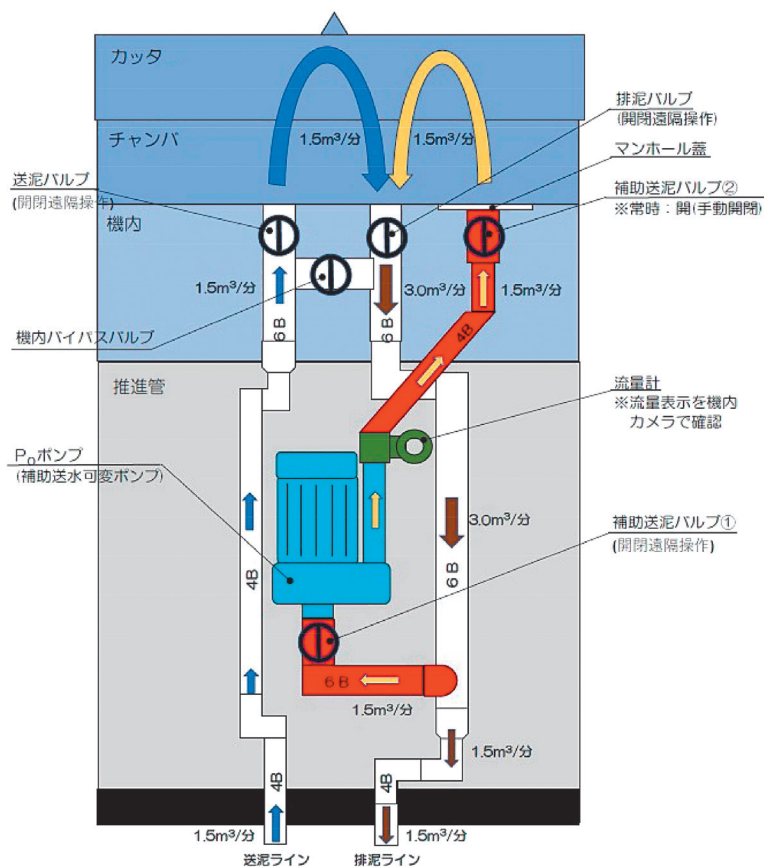


図-6 切羽還流増流量ポンプの設置

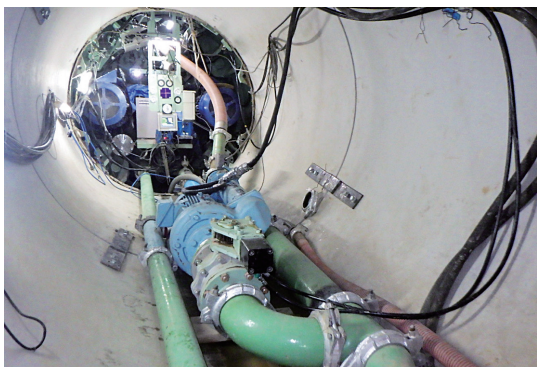


写真-12 切羽還流増流量ポンプ

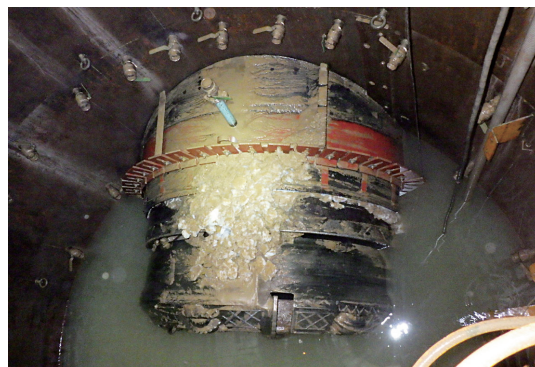


写真-13 水中到達状況

5 おわりに

無事に到達した掘進機は、到達立坑が土被り26.6m・地下水圧0.14MPだったことから、最も安全な水中到達での分割回収としました（写真-13、14）。到達立坑は交差点内であったため、夜間交通規制帯の中での作業でしたが最後まで無事故で工事を完了することができました（写真-15）。

本工事は、粘土閉塞による日進量低下が起り難施工でしたが、発注者の横浜市環境創造局（現下水道河川局）、施工者のセンチュリー・加藤建設JVとの迅速で良好なコミュニケーションのお陰でトラブル対応協議を実施していただく中で工事を完了できたことを、本誌をお借りして厚く御礼申し上げます。また、瀬谷区にお住まいの皆様におきましては、大雨時の冠水災害が1日も早くなくなることを願っております。

【参考文献】

- 1) 「横浜市の浸水対策（下水道管路整備）」黒羽根能生、月刊推進技術 Vol.35 No.7. (2021年7月)
- 2) 「アルティミット工法技術積算資料2022年版」アルティミット工法協会

○お問い合わせ先

機動建設工業㈱

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

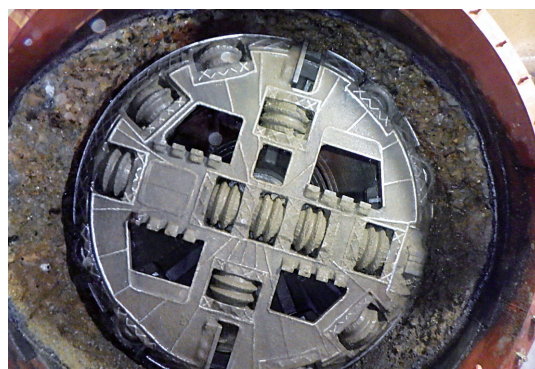


写真-14 掘進機到達



写真-15 掘進機分割回収

〔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6F

Tel : 03-5289-4771 Fax : 03-5294-1281

〔土木本部〕

〒553-0003 大阪市福島区福島4-6-31 機動ビル

Tel : 06-6458-6183 Fax : 06-6454-0274