

解説

巨石砂礫層から砂層に変化する互層の推進事例

(想定外の土質にもチーム力で対応)



かわだ とも
河田 倫
サン・シール㈱
工事部副部長

1 はじめに

ラムサス工法はカッタヘッドにより礫・巨石や粗石を大割りにし、さらに掘進機のチャンバ内に搭載した二次破碎機構（コーンクラッシャ）にて排土管を通過できる粒径のφ100mm程度に破碎します。破碎された礫はピンチバルブ（土圧制御弁）を経て、掘進機内の排土タンクにいったんストックします。ストックした礫をサイズにより分級し、真空排土と機内台車にて坑外へ搬出します。本工法の利点としては、その破碎メカニズムにあります。カッタヘッドにてそれらを細かく破碎することなく、ある程度連続した掘進から排土までが可能となり、安定した掘削が期待できます。また、二次破碎機構を備えているため、カッタヘッドへのローラカッタの配置が少なく済むことが挙げられます。

2 事例紹介

本稿では、令和2年に愛知県一宮市内で施工した工事例を紹介します。「一宮市」という名前は、尾張国の一宮「真清田神社」があることに由来します（写真-1）。一宮市は濃尾平野の中央で、長野県を源流とし岐阜県、愛知県、三重県を経て伊勢湾に注ぐ「木曽川」の左岸に位置します。木曽川は暴れ川と称され過去に幾度となく氾濫を繰り返してきたため、流域は巨石・粗石・砂

礫層と砂層が混在しています。木曽川に近い現場のため高水圧であることに加え、推進の安定と排土管理に留意が必要な工事でした。

【工事概要】

- 工 法：泥濃式推進工法（ラムサス工法）（図-1）
- 呼 び 径：2200
- 推進延長：L=633.087m 1スパン
- 線 形：R=400mの曲線1箇所
- 立 坑：発進立坑 ライナープレート
5,300×9,225mm
到達立坑 鋼製ケーシング φ5,000mm
- 土 質：粗石混り砂礫土層
土質区分C-3、N値50以上
礫率63%、最大礫径φ300mm

※ 発進立坑掘削時に採取した最大礫径はφ500mm



写真-1 尾張国一の宮「真清田神社」

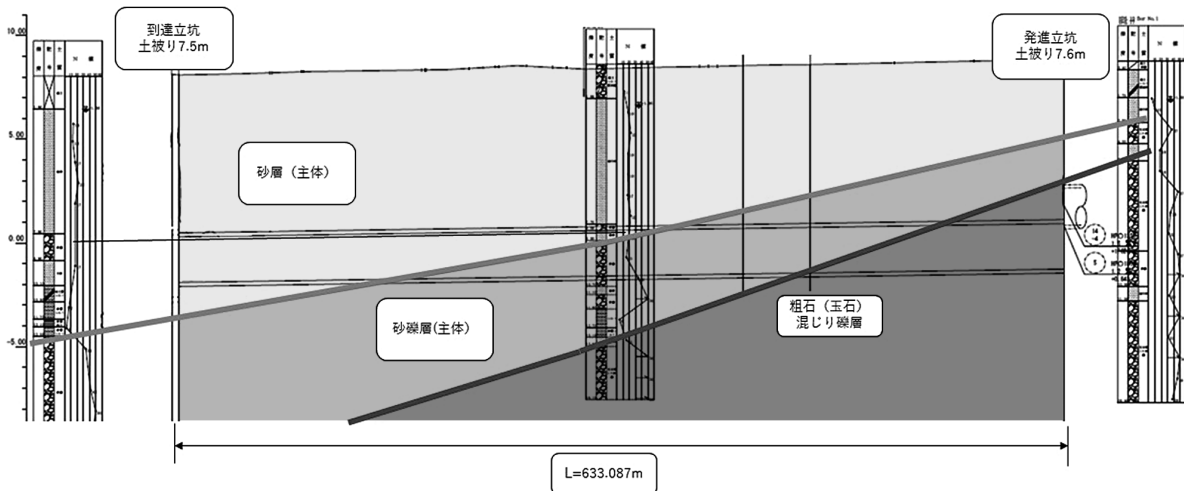


図-3 縦断面イメージ

ず複数のローラカッタを配置した「機内ビット交換型ヘッド」としました。ローラビットに著しい摩耗や破損が生じ、掘進速度や推進力など各数値に変化が現れた時点で、機内からビット交換する計画としました。

また、カッタヘッドにかかる抵抗力を増大させないために、カッタルクの上限が100%以下となる速度で施工することとしました。砂礫層では土粒子間の間隙が大きく透水性が高いため、高品質な目詰材と計画の1.5倍の粘土を使用して比重を上げ、添加材（高濃度泥水）の逸水や地下水による希釈を防ぎ、ローラカッタへのベアリング効果も期待しました。

②掘進機内での玉石の閉塞と土砂の奮発防止対策

呼び径2200ラムサス掘進機は、18インチ（φ450mm）のピンチバルブにて土圧制御を行います。本工事のような高水圧でかつ、粗石砂礫層などの崩壊性が高い地盤では、礫がピンチバルブに挟まる、礫が堆積して排土管内で閉塞が頻繁に起きます。そこから復旧する際、土砂の噴発や土砂を取り込み過ぎる恐れがあります。そのため、先述した添加材の配合や注入率を100%に上げる計画としました。

③土質が巨石砂礫層から砂層に変化する中での推進力の上昇防止対策

自動滑材注入装置（RBSシステム）を用い、50mピッチで注入圧力と注入量を管理する計画としました。使用する一液性滑材は、水で膨潤すると10～15mmの球状の弾性体となる吸水樹脂を混ぜ、その球状弾性体の



写真-2 銅棒ビットを装備した掘進機

ベアリング効果で推進管と地山の空隙の摩擦抵抗をより低減させる立案をしました。

4 現場での対応

4.1 掘進機内での巨石の閉塞と土砂の奮発

掘進機を投入し初期掘進がはじまった段階で計画を上回る巨石が頻繁に出土しました。地下水が多く流れも速いため、掘削添加材が思うように地山にマッチせず、チャンパ内に堆積した礫（一次破碎された巨石）の閉塞と、その解消作業において地下水の奮発が頻繁に起こり、これらの作業が1週間ほど続きました（地下水の奮発は、土砂の流出、切羽の崩壊、地表面への影響、推進の中断につながり大きなロスタイムにもなります）。こ

の作業を繰り返すことによる地表への影響が懸念されたため、土圧制御方式をスクリュ排土に変更し、チャンバ内に滞留した礫を半強制的に掻き出すこととしました。

互層を推進する際、軸付きスクリュでは礫が取り込めないため、リボンスクリュを使用しました。しかしリボンスクリュでは水を含んだ掘削土砂の密閉性が劣るため、その対策を講じました。まず、地下水の流入を抑えるために可塑剤の注入を行いましたが入注の間、掘進を停止することによるロスタイム、掘進開始と地下水の遮断を併用することが不可能でした。次に、チャンバ内からリボンスクリュ間の掘削土を凝集させることを検討しました。切羽注入口より、高分子系凝集剤を添加することにより切羽からリボンスクリュ内を通じ、ゲートまで遮水壁ゾーンを形成させました。

これは、掘削土中に含まれる粘土類やシルト類の表面に吸着、保護皮膜を形成しチャンバ内の止水効果と、掘削土の塑性流動性の向上が期待できます。なお、地盤への浸透性に優れ地下水にも希釈されず、掘削土砂の細粒分を吸着して土と水をまとめて凝集する性質を持っています。添加する高分子凝集剤の濃度や注入量の増減で、礫層と砂層のどちらの場合も、地下水が奮発することなく排土可能な状態を保つことができました(写真-3)。



写真-3 凝集された掘削土砂

4.2 掘削した土砂のスムーズな坑外搬出

掘削土砂の坑外への搬出は従来どおり真空排土方式(坑内は150mm排泥管を使用)を基本とし、真空で搬出できない粗石等は台車にて搬出しました。リボンスクリュから取り込んだ土砂を小型振動篩にかけ、凝集された土砂に含まれるφ100mm以上の粗石は、ベルトコンベヤを介してズリ鋼車に積み込み、小型バッテリーカーで牽引して搬出させる計画を立案しました。設備の段取り替え後、掘進を再開したところ、篩を通過した粒子の細かい土砂が排泥管内で沈降し、今度は排泥管内で閉塞が起き、その都度掘進を止めての復旧作業となりました。

対策として篩の下の排土タンクにスクリュフィーダを設け、そこで二次泥水を注入～攪拌し、流動性を向上させることで排泥管の閉塞を防ぎました。φ100mm以上の礫は、推進管1本あたり1tフレコンバッグに多い時で3袋と、礫径と礫率の大きさが改めてわかります(図-4、写真-4)。



写真-4 坑外へ搬出された土砂

5 施工結果とその評価

5.1 計画内に収まった推進力

推進力は計画の76%で到達できました。滑材の水分が砂層で吸収されることなく、吸水樹脂が土粒子の間

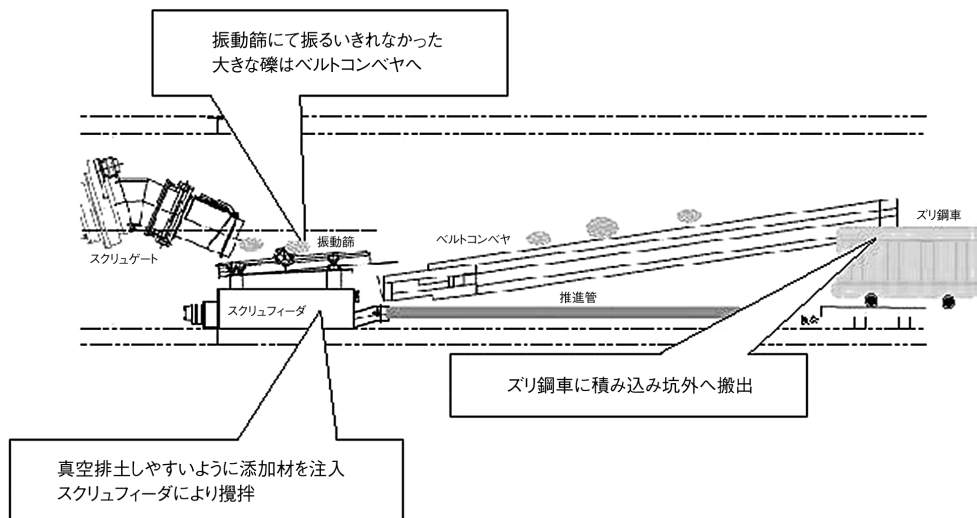


図-4 坑内の掘削土砂分級システム



写真-5 坑内の様子



写真-6 夜間作業での掘進機の回収状況

隙にとどまり滑材効果を十分に発揮した結果と判断しました(写真-6)。

5.2 カッタヘッドの評価

到達時に確認したカッタヘッドの状態は、ローラカッタ自体の破損や固定ビットのチップの折損、母材の摩耗や破損が見られました。事前検討や施工途中で計画の変更・対策を講じた際に予測した土質状態に概ね近く、カッタヘッドの形状は土質にマッチしていたと評価できます

(写真-7)。

5.3 安定した掘削サイクル

添加材等による①カッタヘッドのベアリング効果②礫層、砂層いずれの層においても機内へ地下水の奮発を起すことなく掘進③篩による掘削土砂の分級④排泥管内の閉塞防止。

いずれの効果も十分に発揮され、日進量は平均推進管2本(約4.8m)ペースで掘進することができました。

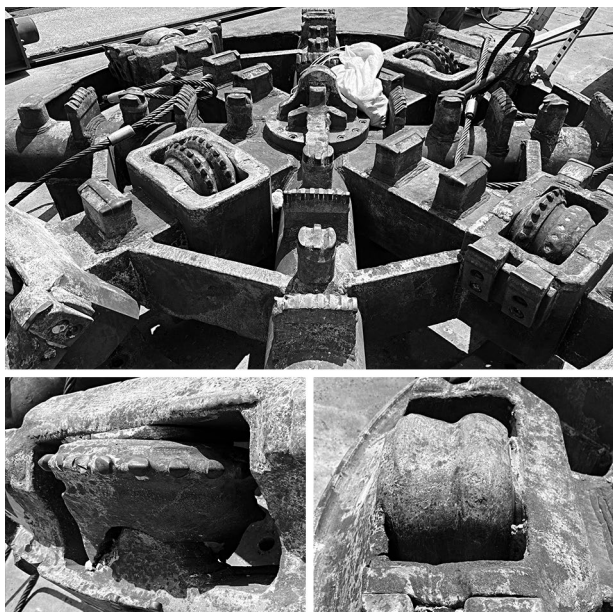


写真-7 カッタヘッドの摩耗検証

6 おわりに

私は平成12年の入社以来、一貫してラムサス工法を用いた推進工事の現場に従事してきました。

これまで私自身は「触って、見て、感じて、確かめて」という今まであたりまえとされていたスタイルで日々仕事をしてきました。

本工事で使用した掘進機は機内操作方式であり、オペレータと私自身が各圧力の変化と掘削土砂を「見て、手に取り」土質の変化を確認し対応しました。

昨今、高水圧下の施工に限らず安全性の面からも遠隔操作方式への変換が望まれています。

時代の変化に対応すべく、安全な場所でカッタールクや推進力、土圧など計器が表示する数値から土質の「現状」を判断し、適切な添加材や滑材の配合や選定をおこない施工することが望ましいと考えます。



写真-8 1年間一緒に仕事をしたサン・シールド(株)の直営チーム

現在、当社の開発部ではそれよりさらに先に行く、それらの判断をオペレータひとりに任せるのではなく、AIによるアシストシステムの実現化に向け実験を開始しました。

本工事を通じて、オペレータは掘進中にどのような「数値」をどのように「見て」、現在の土質状態を「イメージ」しているのか。オペレータは頭の中にあるどのような「知識や経験」を瞬時に引き出し「その時に最も的確な対応」をしているのか。「添加材注入設備や添加材料が玉石砂礫層と砂層のどちらにもスムーズに対応できる状態にあること」が改めて重要と感じました。ここに着目して私自身もデータの集積や自己研鑽に努めたいと思います。

最後になりますが、発注者および元請け会社の方々のご指導・ご協力をいただき、精度よく安全に施工ができましたことを大変感謝申し上げます。

○お問い合わせ先

サン・シールド(株)

〒444-1154 愛知県安城市桜井町城阿原28

Tel : 0566-99-6860 Fax : 0566-99-6861

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