

23. 泥土圧シールドにおける掘削土の泥水輸送の有効性と 高速施工設備について

清水建設株式会社

○ 吉澤 尚志
西川 泰司

1. はじめに

通常、小断面シールド工事における排土設備は軌条設備による排土方法を主としており、軌条設備の排土運搬サイクルにより 1 リング当たりの施工時間に大きく影響を与える。そのため現場全体の工程に大きく影響を与える事に加え、軌条設備による事故のリスクにも多大な影響を与える。そこで高速施工及び安全性の向上を目指し、シールド掘削土の搬出方法に加水泥水輸送方式を採用した事例を報告する。

2. 現場概要および特徴

施工場所である 1 級河川の下流地域は、古来より米作を中心とした一大穀倉地帯を形成している。この農業を支える基幹的用水路は老朽化が進んでいるため、現在、開水路のパイプライン化が進められている。

本工事は、深さ 30m の発進立坑から 2 工区同時にシールド掘進を行い、全長 4.8km のトンネルを築造した後、農業用水管路を布設するものである（図-1）

本シールド工事は以下の技術的特徴を有する。

- ① 小断面（トンネル外径 2,450mm）かつ長距離（上流工区 2,825m、下流工区 2,026m）のシールド工事である。
- ② 両工区とも河川横断箇所があり、横断時には渇水期での施工が求められ、工程上の制約がある。
- ③ 上記制約により、月進 450m の高速施工が必要となる。

これらの現場の特徴から長距離での確実な高速施工を可能とするため、泥土圧式シールド工法を採用しながらも、泥水式シールド工法と同様に掘削

残土を流体輸送で搬出する方式である加水泥水輸送方式を採用した。

3. 排土方法の変更経緯

当初設計の排土方法は泥土圧式シールドでの軌条設備によるずり鋼車による排土となっていた。それに対し当社は技術提案にて圧送ポンプによる排土方法を提案し、採用された。

しかしながら、河川横断部は渇水期施工を求められおり、施工開始時期から算定すると渇水時期中に河川横断部まで到達する高速掘進が課題となった。また、詳細施工検討を行い、圧送対象となる地層や、圧送ポンプによる排土にて考えられる配管閉塞による工程遅延及び安全性低下のリスクが予想された。

その解決策として、圧送ポンプによる排土方法から加水泥水輸送による排土方法の提案を発注者に行い、協議を繰り返した結果、承認された。

加水泥水輸送方式は泥水処理設備を設置するため、泥土圧シールドより設備用地が大きく必要である。

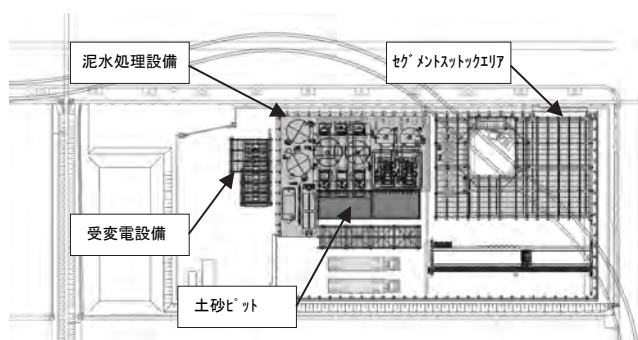


図-2 発進基地平面図

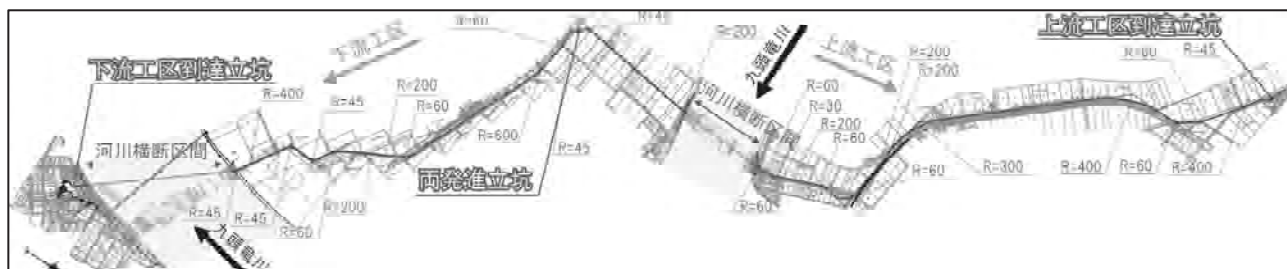


図-1 路面線形図

しかし、当現場では泥水処理設備を設置する用地がなかったため、設備を立体的に配置する事で泥水処理設備を設置することが可能となった。

発進基地ヤードの設備配置図を図－2に示す。

4. 加水泥水輸送方式の有効性について

加水泥水輸送方式の有効性について当初設計のずり鋼車による排土方式及び技術提案にて提案していた圧送ポンプによる圧送方式と比較して次項から示す。

4.1 工期短縮

当初設計のずり鋼車による排土方式では、掘進速度は 30mm/min で設計されていた。

しかし、ずり鋼車による排土方式ではずり鋼車の入れ替えがサイクルタイムに影響する。また、立坑でのずり鋼車とセグメント等の資機材の揚重が重なり、排土に時間がかかることが予想された。

それに対し、加水泥水方式での排土方法では、ずり鋼車がないため、バッテリーロコによる搬送がセグメントや資機材の少量となり搬送回数の低減及び揚重回数の低減に繋がる。

その結果、両工区の連続掘進ができると判断した。

また、加水泥水方式では坑内に設置可能な流体輸送のポンプサイズから掘進速度 60mm/min の高速掘削が可能であると考えられた。よって、他の設備計画は可能掘進速度である 60mm/min を元に計画を行った。

圧送ポンプによる圧送方式の場合、配管閉塞トラブルが想定された。現象として一番考えられたのは配管閉塞である。ボーリングデータから液体分だけが先行して配管内を走り、砂分だけが配管内に残ってしまう砂締めという現象が起こると想定された。

その場合、配管全体が閉塞する恐れもあり、工程に与える影響が多大であると考えられた。

一方加水泥水輸送方式では、事象が異なり礫等の固形物が配管接続部等だけに残留し、閉塞する事が考えられた。その際は配管接続箇所だけの閉塞物だけを取り除けばよく、工程に与える影響は少ないと判断した。

掘削実績としては1リング 1,000mm のセグメント幅で 15min/R での掘削を平均とし、最大で 100mm/min の掘進を行った。最も重要であった河川横断時には 515m/月 の高速掘進を記録した。

上流工区及び下流工区の施工実績を表－1に示す。

4.2 安全性

当初設計での排土方法はずり鋼車を用いた計画であったが、立坑下からずり鋼車を吊り上げるため揚重回数が多い。それに対し、加水泥水輸送方式の排土方法であれば資機材（セグメント、軌条

材、配管等）に限定されるため回数を少なく出来る。これにより吊荷落下による事故リスクの低減を図った。

またトンネル坑内を走行するバッテリーロコの搬送回数も低減出来るため安全性は飛躍的に向上する。

さらに、圧送方式による配管閉塞の場合は、配管内全体にて閉塞が起こっているため、閉塞解除を狭隘なトンネル坑内で配管交換をしなければならない。そのため、狭隘なトンネル内で重量かつ長尺物を扱う事による事故のリスクが増大すると考えられた。

これら上記理由から加水泥水輸送方式のほうがより安全性が高いと判断した。

4.3 環境負荷低減

ずり鋼車方式及び圧送ポンプ方式による排土方式での残土処分について、福井市では 100%産業廃棄物（汚泥）による処分であった。それに対し、加水泥水輸送方式では、砂分と粘土分を泥水処理設備により分級できる。その結果、当現場の想定地層図から一次処理土（一般残土）と二次処理土（産業廃棄物）に分けられることで、約半分が再利用可能となった。

また、二次処理土に関しては、フィルタープレスでの処理により脱水減容化することで、下記的环境負荷低減に繋がった。

- ① 減容化により総排土量が減り、搬出車両であるダンプの総台数が減る。これにより二酸化炭素の排出軽減効果が見込める。
- ② ダンプの走行台数が減る事により周辺道路等における周辺環境負荷低減に繋がる。
- ③ 脱水した水分については流体輸送に再利用ができる。また、現場ヤードの清掃にも再利用可能とする設備とした。

5. 高速掘進対応設備について

高速掘進かつ安全性を向上させた設備とするため下記の設備を計画段階で検討した。

5.1 加水泥水輸送設備

加水泥水輸送設備は掘進速度 60mm/min を目標とし、その速度を必達できる設備を計画した。

また、泥水処理設備については高速掘進かつ 2 工区同時施工を想定して設備を計画した。

主要な仕様について表－2に示す。

5.2 軌条設備

高速施工に対応するため、坑内走行速度を 10km/h と設定し、セグメント等の資機材を搬送する計画とした。狭隘な空間での高速運転となるため、安全性向上の観点から、新たな人検知システムを搭載したバッテリーロコを採用した。

この人検知システムは、RFID を坑内歩行者全員

に携帯させ、その RFID の信号を読み取り自動的にバッテリーロコ警報・減速を行うシステムである。

また、バッテリーロコの追加の安全対策として赤外線検知によりさらに減速し、最終的に接触バンパーにより停止するシステムとした。

これらのシステムにより安全運行システムを確立した。

人検知システムの概要を図-3に示す。



図-3 人検知システム概要図

表-1 全体掘進実績

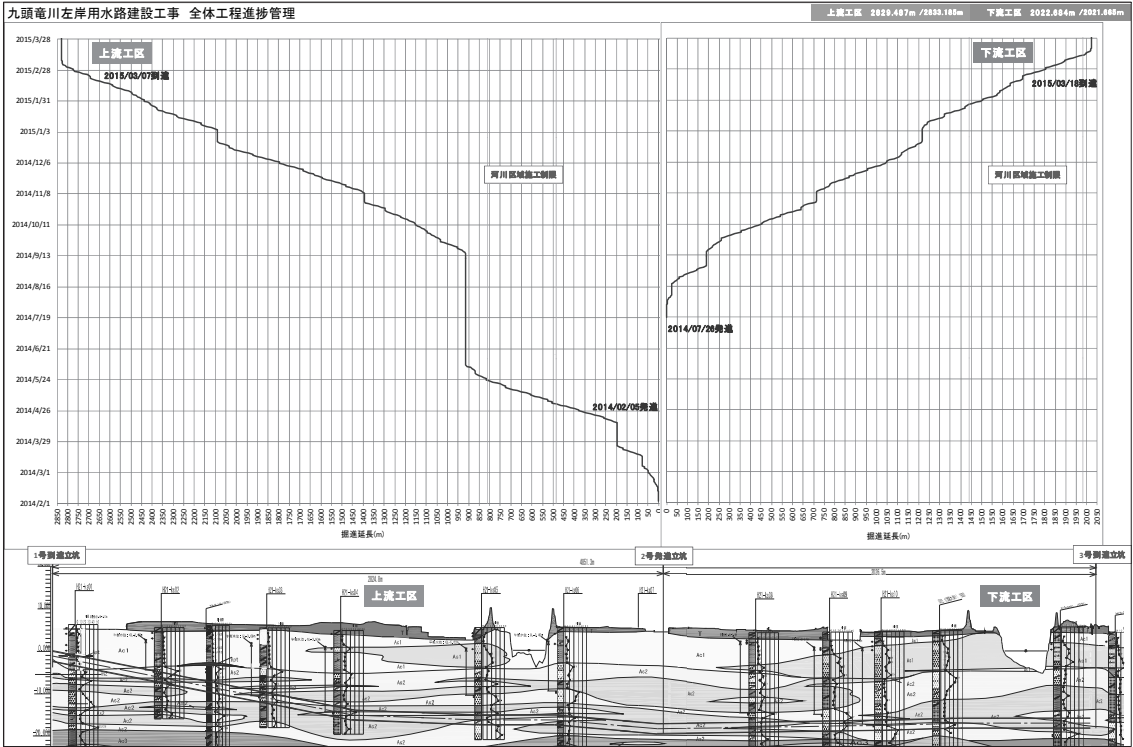


表-2 加水泥水輸送設備仕様

使用場所	区 分	数量	仕 様
上 流	送泥ポンプ台数	2台	圧力制御 100～230kPa、合流管圧力伝送器0～500kPa
	排泥ポンプ台数	10台	流量制御 1.5m ³ /min、P2ポンプ揚程39m
	最大掘進速度		6cm/min対応、掘削流量0.179m ³ /min
	排土管理	一式	電磁流量計・γ線密度計、電磁流量計0～2m ³ /min 密度計1.0～1.5t/m ³
	中央監視操作システムPC	3台	MMI・EWS(Windows7)、流体自動操作・土量管理
下 流	送泥ポンプ台数	2台	圧力制御 100～230kPa、合流管圧力伝送器0～500kPa
	排泥ポンプ台数	8台	流量制御 1.5m ³ /min、P2ポンプ揚程39m
	最大掘進速度		6cm/min対応、掘削流量0.179m ³ /min
	排土管理	一式	電磁流量計・γ線密度計、電磁流量計0～2m ³ /min 密度計1.0～1.5t/m ³
	中央監視操作システムPC	3台	MMI・EWS(Windows7)、流体自動操作・土量管理
地上 泥水処理設備	一次処理装置	一式	乾砂重量:50t、処理水量3.4? /min
	二次処理装置	一式	ケーキ排出量:7.3? /回、スラリーフィード圧力:0.59MPa、圧搾圧力:0.64MPa

5.3 揚重設備

揚重設備については搬入車両の積荷を降ろす揚重機と立坑内へ資機材を揚重するクレーンが同一ではサイクルタイムに影響するため、それぞれ別とした。

また、立坑内にも揚重機を設置し、立坑上と立坑下にそれぞれストックエリアを設け、各々の揚重機が独立して動けるように工夫した。

揚重機についてはスパン 30m×4.8t の異形門型クレーン及び 30m×2.8t 異形門型クレーンの2基を立坑上に設置した。立坑内には6.3m×5.7mの架台を製作し、そこにテルハクレーンとして設置した。

5.4 セグメントストック設備

通常はバッテリーロコでのセグメント供給とセ

グメントの組立は同時に行う。その場合、バッテリーロコでのセグメント運搬に時間がかかると組立に待ちが生じ、組立時間も長くなる。

長距離のシールドトンネルでは、組立待ちがおきないようにバッテリーロコを複数台に増やしてセグメントの供給待ちが生じないようにする。

しかし、バッテリーロコを複数台にした場合は、退避離合する複線区間が必要であるが、当現場では小断面のため複線区間を設けることができなかった。

そこで、後続台車にセグメントストック装置を設け一回の運搬で大量のセグメントを供給することで供給待ちが生じないようにした。

これによりバッテリーロコは自由に入坑・退坑ができ、尚且つ坑内の単線化が図られ高速掘進が可能となった。

セグメントストック装置を写真－１に示す。



写真-1 セグメントストック装置

7. 施工状況

発進基地の状況について写真－２に示す。

掘進速度としては最大 100mm/min で高速掘進を行うことができた。

その要因として、合流管の送泥・排泥ラインの取付角度を直線から切羽→坑口のように流れやすくしたことにより、想定した地質での合流管での閉塞を防止したことであった（写真－３）。

しかし、礫優勢土層や硬質シルト層の掘進時において上流工区・下流工区ともに数回ではあるが写真－４のような塊が排土され合流管部で閉塞した。

その際は出来るだけ合流管部での作業を避けるため、流体輸送の流量や圧力調整をしながら閉塞解除を行った。それでも解除できない場合は、合流管部を解体して閉塞解除を行った。

閉塞をさけるため、合流管部での圧力が高くなり閉塞が起こる可能性が高いと予想される時は、合流管部の圧力低下を行った。

しかし、合流管部の圧力が低下しすぎると流体輸送の圧力も減少し、切羽土圧も安定しないため、適度な圧力管理が必要であった。

また、掘削する対象地質が変わる毎に圧力も変

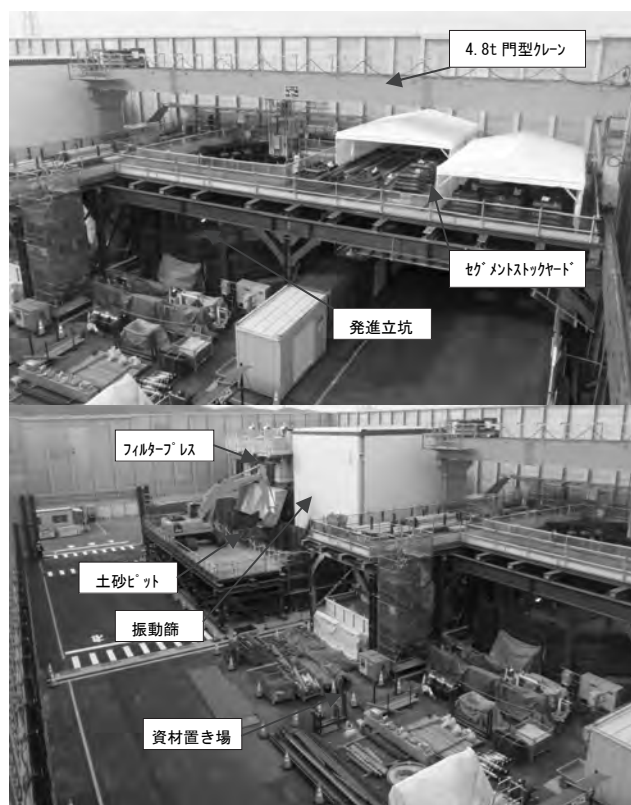


写真-2 発進基地状況

化するため、圧力管理には心労を費やした。

当現場では指示土圧に対し 10～20kpa 程度上乗せして圧力を管理し、閉塞もなく切羽土圧も安定して施工できた。

シールド工事において上流工区については平成 27 年 3 月 7 日、下流工区については平成 27 年 3 月 17 日にそれぞれ無事に到達した。上流側の最大月進 516m/月、下流側の最大月進 421m/月をそれぞれ達成した。



写真-3 合流管



写真-4 閉塞物

8. おわりに

本報告にあるように計画から施工まで無事掘進が完了した。御指導下さった発注者の方々、及び毎日現場にて必死に作業を進めてくれた関係各社の方々にこの場を借りて感謝の意を述べたい。これから工事は二次覆工に取り掛かる。今後も大きなトラブルなく施工を進める所存である。