

36. 小口径・長距離シールドトンネルにおける 同一立坑からの2方向同時施工

株式会社 奥村組
株式会社 奥村組
株式会社 奥村組

○ 犬飼 貴
辻 和宏
木下 茂樹

1. はじめに

河合春近用水路は、十郷大堰の下流約 3km ほどにある坪内水閘から取水し、森田、河合、春江など 42 の村、約 1,300ha を潤す大用水として、宝暦 3 年（1753 年）頃に開削で施工されている。本工事は、国営九頭竜川下流農業水利事業計画に基づき、老朽化した河合春近用水路をパイプライン化する事業のうち、延長 7.1km をシールド工法で施工するものである。工事の特徴として、発進立坑から上流工区は泥土圧シールドで 2,775m、下流工区は泥水式シールドで 4,314m を 2 方向同時に掘進することや、φ600 を超える巨礫を含む地山を外径 2.5m の小口径のシールド機で掘削することが挙げられる。

本稿では、小口径、2 方向同時および長距離施工となるシールド工事において、安全に施工するための工夫について報告する。

2. 工事施工概要

2.1 工事概要

工事名称：九頭竜川下流（二期）農業水利事業河合春近用水路建設工事

工事場所：福井県坂井市丸岡町四郎丸、福井市漆原町及び川合鷲塚町地内

工 期：2010 年 3 月 19 日～2015 年 3 月

工事内容：農業水路シールド工事

- ①上流工区 泥土圧シールドφ2,480mm
延長 L=2,775.1m
一次覆工 鋼製セグメント（内径 2,100mm）
二次覆工 FRPM管 呼び径 1,800mm
- ②下流工区 泥水式シールドφ2,480mm
延長 L=4,314.6m
一次覆工 鋼製セグメント（内径 2,100mm）
二次覆工 FRPM管 呼び径 1,800mm
- ③立坑工 7ヶ所
- ④付帯施設 分水工 3 箇所、制水弁室工 2 箇所、排泥工 3 箇所
他一式

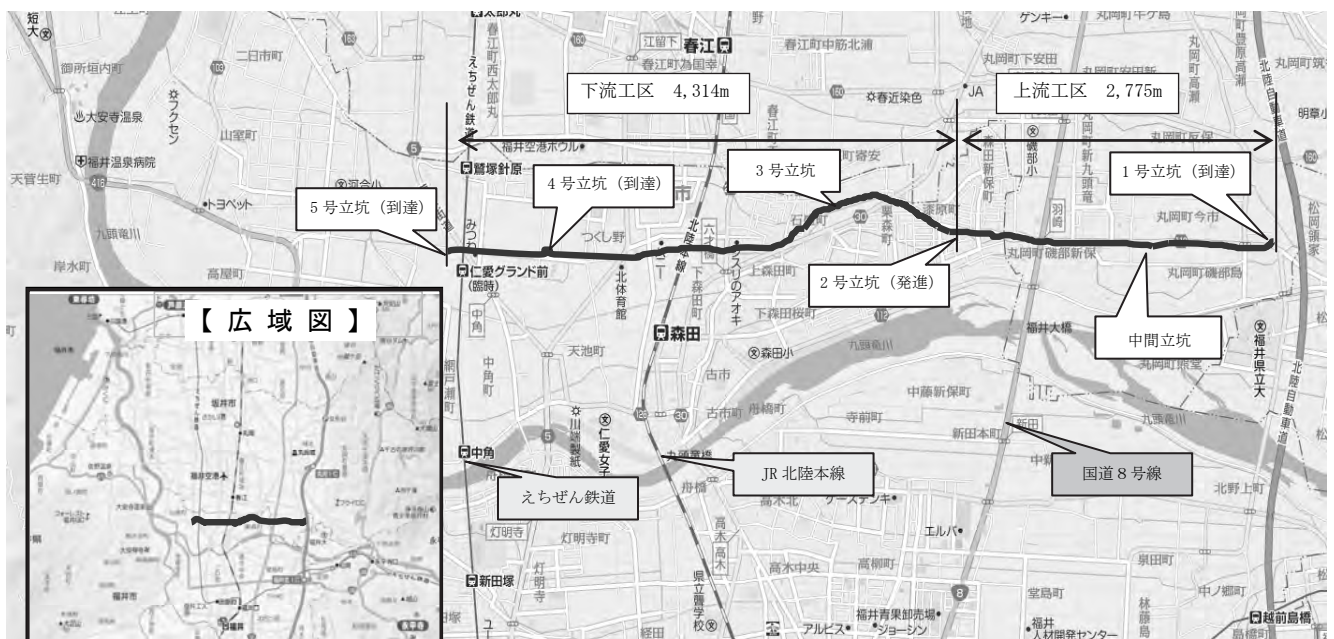


図-1 工事平面図

2.2 地質条件

地質縦断図を以下に示す。

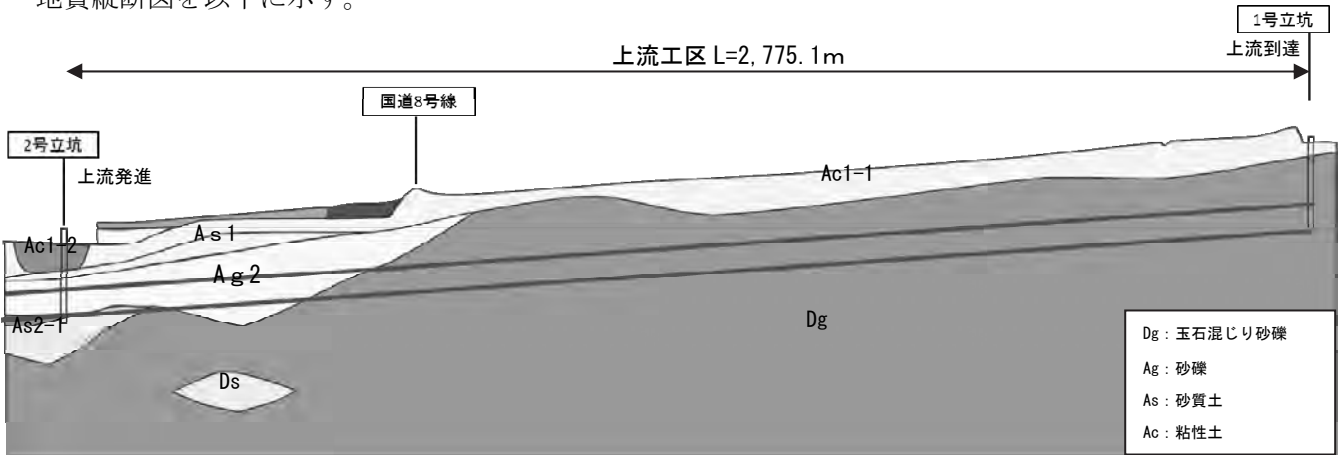


図-2 上流工区地質縦断図

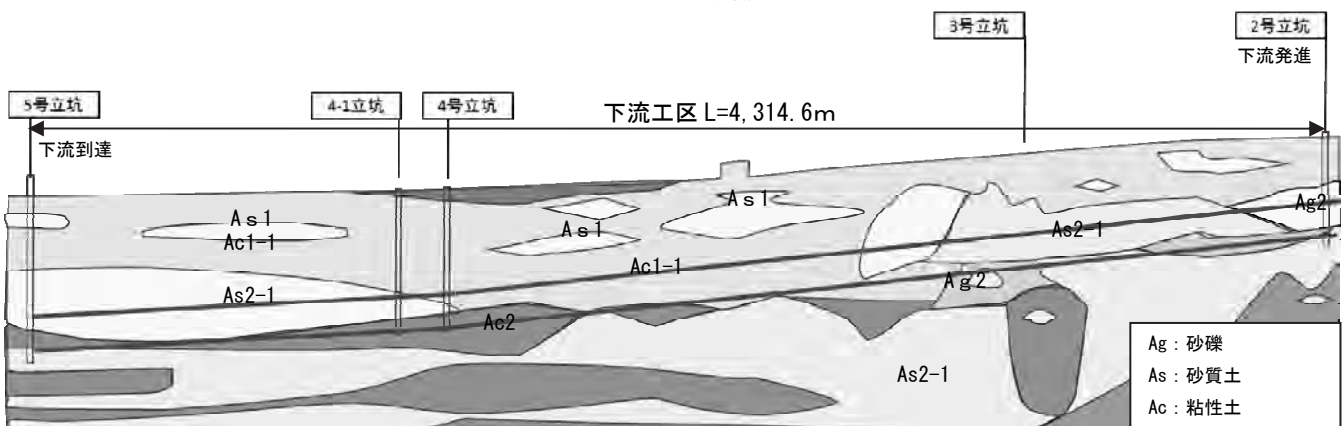


図-3 下流工区地質縦断図

3. 工事の特徴

3.1 上・下流同時掘進

発進基地は土地区画整理地内の公園予定地に位置し、民家に囲まれていることから周辺環境に配慮し発進基地における工事の騒音・振動を低減するために防音ハウス内での作業とした。

さらに、搬入出車両の通行時間帯は9時～17時にすることが周辺住民との取り決めであった。

また、上流工区は泥土圧シールドで掘進するのに対して、下流工区は泥水式シールドで掘進する。トンネルを工期内に竣工するためには、上・下流工区を2つの異なった工法で同時に掘進する必要があり、立坑及び地上設備が複雑になることが予想された。

3.2 小口径・長距離掘進

掘進延長が7.1km（上流工区約2.8km、下流工区約4.3km）であり、特に下流工区は4kmを超える長距離施工であること、カーブが46か所（上流工区15か所、下流工区31箇所、最小半径R=60m）と多いこと、掘削断面がφ2.5m（セグメント有効断面φ2.1m）と小口径であることが特徴であった。

3.3 上流工区では巨礫が確認

上流工区の地質は、上記の様にほぼ全線が砂礫層であった。事前のボーリング結果では、発進立坑から約600mはN値30前後の砂礫層（Ag2層）が主体で粗砂に2～30mm程度の小礫が混入し、残りの約2,200mは非常に締まった状態（N値50以上）の玉石混じりの砂礫層（Dg層）で、玉石の最大礫径200mmとなっていた。

しかし、発進立坑の掘削時に100～150mmの玉石が出てきたことや周辺の開削現場の聞き取り調査により、中間立坑から到達立坑の間ではΦ600mmを超える巨礫の出現の可能性が高かった（写真-1参照）。小口径のシールド機で巨礫を含む地山を掘削するため、シールドマシンの設計と掘削土砂の搬出に留意が必要であった。

以上のことから、限られた条件の中で安全に施工するために、

- ① 発進基地の防音ハウス内のシールド設備に関する工夫
 - ② 坑内作業の安全確保を考慮した坑内設備
 - ③ 巨礫対応の設備
- が課題であった。



①2号発進立坑掘削時

②1号到達立坑掘削時

③中間立坑付近開削現場

写真-1 各所での玉石確認状況

4. 防音ハウス内のシールド設備に関する工夫

4.1 排土機構に泥水循環方式を採用

1つの発進立坑から泥土圧シールドと泥水式シールドの2つの異なる工法で上・下流の掘進を同時に行うため、立坑上に「泥土圧の掘削土砂搬出設備」と「泥水の処理設備」を設置する必要があった。泥土圧の掘削土砂搬出設備としては、土砂ピット、ズリ鋼車の転倒設備、バックホウの作業架台等が必要になる。また、泥水の処理設備としては、泥水の処理設備（一次ふるい・二次処理）、泥水を貯留するための泥水槽（調整槽・貯泥槽・余剰泥水槽・スラリー槽）等が必要になる。

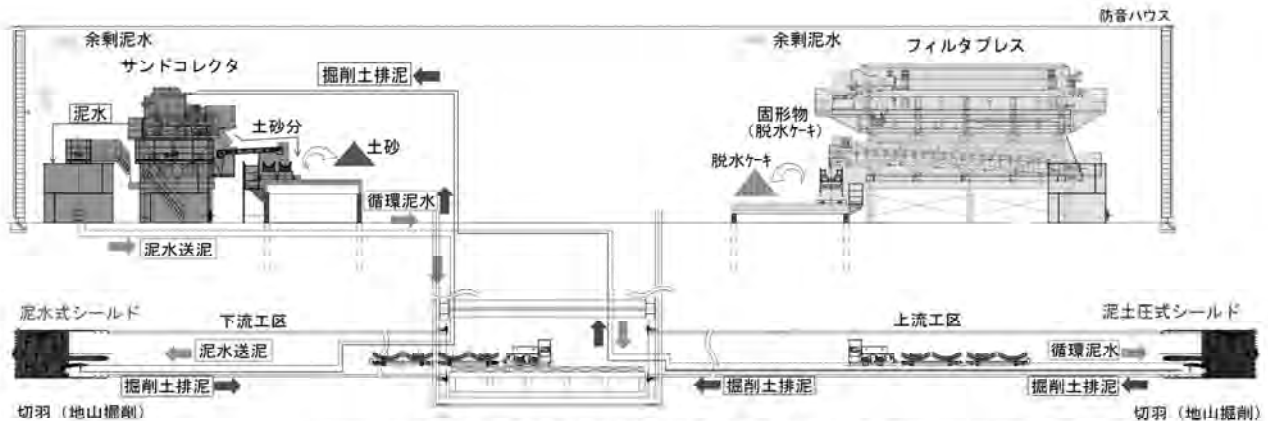
限られたスペースに全ての設備を設置すると場内が繁雑になり、セグメント等の資材置き場が不足し、安全な施工に支障をきたす恐れがあ

った。そこで、泥土圧シールドの排土機構に泥水循環方式を採用した。

泥水循環方式は、排泥ポンプを用いて地上の泥水処理設備に掘削土砂を送る方式であり、通常、泥水式シールドの場合に用いられ、泥土圧シールドでの適用は少ない。

その理由として、掘削土の塑性流動化が難しくなることや、当工事のように巨礫を含む地山を掘削する場合、配管の閉塞など土砂搬出が困難となることが挙げられる。

そこで当工事では、巨礫に対応したシールドマシンを採用することと、機内に巨礫を破碎するためのクラッシャ設備を設置する（6.1参照）ことで泥土圧シールドでの流体輸送を実現した。



一般的にはズリ鋼車により掘削土の輸送を行うが、本工程においては、泥水循環方式を採用して掘削土を流体輸送している。

図-4 泥水循環状況図

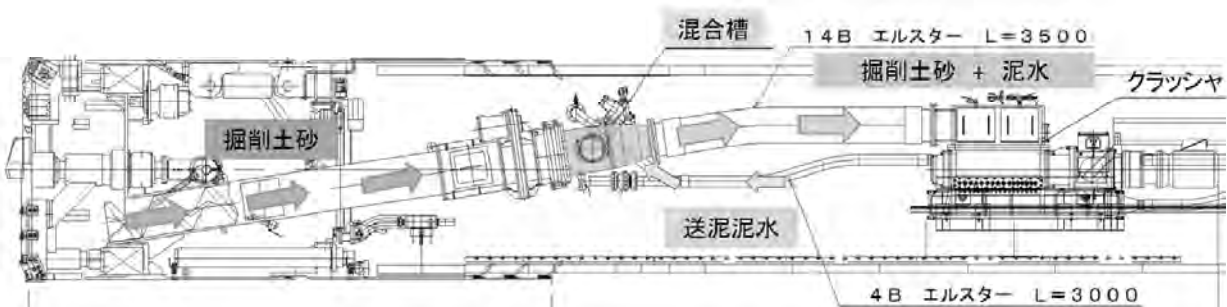


図-5 泥水循環概要図

4.2 上・下流の天井クレーン設備に距離設定反射型ビームセンサーを設置

上・下流同時に掘進作業を行う上で、上・下流にそれぞれ天井クレーン設備を配置した。1つの立坑で2台の天井クレーンを使用することから、天井クレーンの接触防止対策として、距離設定反射型ビームセンサーを設置し、クレーン同士の距離が1.5m以内になると自動停止する設備とした。

5. 小口径・長距離施工における対策

5.1 排土機構に泥水循環方式を採用

ハウス内のシールド設備に記載した様に、排土機構に泥水循環方式を採用した。泥水循環方式を採用することで、掘削土砂を運搬するブリトロが坑内を走行する必要がなくなり、坑内の安全性が大幅に向上した。

5.2 段差枕木の採用

1次覆工の仕上がり内径が約2.1mと小口径のため、通常のトンネル現場で使用するH鋼枕木を使用すると下図のように屈む必要があり、通常の歩行は困難であった。そこで、使用する枕木を段差枕木として、坑内で屈まずに歩行できるようにし、坑内での移動の安全性を確保し、作業環境を確保した。

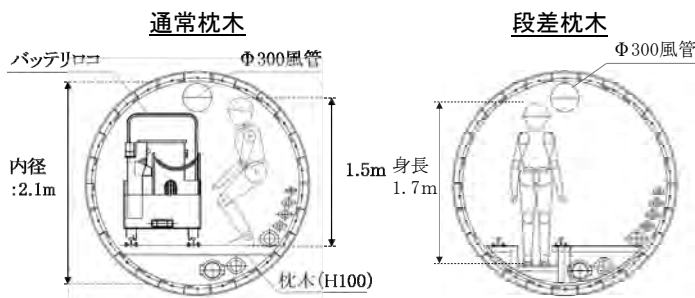


図-6 坑内断面

5.3 接近センサーの採用

セグメント内径2.1mと小断面のため、軌条と安全通路を分離できない。入坑者の安全確保を目的に、入坑者は発信機を常時携帯することとし、電車に設置した受信機（接近センサー）で入坑者の接近を事前に確認できるようにした。また坑内には、100m毎に待避所を設置し、電車と人が安全に離合できるようにした。

5.4 LED照明の採用

坑内照明設備に使用電力が少なく、耐久性に優れたLED照明を採用した。これにより、坑内低圧幹線のサイズダウンが出来るため、配線・撤去作業時の作業性・安全性が向上する。さらに、長期に及ぶ使用でも照明の球切れが無いので、交換作業が不要である。

6. 巨礫地山における対策

6.1 クラッシャー設備の採用

上流工区および下流工区の切羽直後で礫を破碎するインラインのクラッシャー設備を設置した。

下流工区では、礫区間を通過後にクラッシャーを撤去する計画であったが、以後の掘進におけるリスク対策として坑内に残置した。その後、砂地盤内において流体閉塞の原因となる木片（昔の九頭竜川氾濫時の流木と思われる）が出現したが、クラッシャー設備の活用で流体管路の閉塞を防止することができ、施工の安全性向上が図れた。



写真-2 使用したクラッシャー

7. おわりに

本工事は着手段階から、上述した以外にも様々な課題が予想され、安全な施工のため、入念な施工計画を立案することが重要であった。特に、小口径、長距離のシールド坑内をバッテリーロコが10往復/日で走行するため、坑内災害防止に細心の注意を払い無事に施工を完了できた。施工は本掘進の平均月進量で上流工区150m/月（ビット交換5回含む）、下流工区240m/月となっている。なお下流工区では、事業計画の見直しにより約6ヶ月の掘進停止期間があったが、その後の再掘進でも順調な掘進速度を維持し、855mを3ヶ月で掘進完了できた。

本報告が今後の小口径・長距離シールドにおける施工計画および施工の一助となれば幸いである。

参考文献

- 1) トンネル標準示方書、シールド工法・同解説、pp.211、2006年制定
- 2) トンネルと地下第46巻第1号、pp.23-29、2015年