

## アルティミット工法での 岩盤層から帯水砂層への対応

いずみ けいすけ  
**泉 恵介**  
機動建設工業(株)  
関東支店工事課課長



### 1 はじめに

東日本大震災が発生してから10年の月日が経過していますが、今でも震度5を超える地震が度々発生すると当時の状況が脳裏に浮かんできます。石巻市では復興も着実に進んでいて、今年3月に石巻市南浜津波復興記念公園が開園しました。当時の思い、記憶を伝える重要な憩いの場として利用されていると思います。

今回紹介する工事は、宮城県石巻市内で行われている下水道復興工事において、石巻市が委託した日本下水道事業団より発注された、工事名『石巻市石巻港排水ポンプ場他2施設復興建設工事その2』の中の呼び径2000の泥水式推進工事（4スパン）のうち、到達手前で日本製紙工場の貨物線を横断するL=443.0mのスパンです（写真-1）。当該スパンにおいては、当初



写真-1 路線全景

の計画は砂質土層の掘進でしたが、立坑位置の変更等で、最終的に発進部では礫岩層で途中から砂層に変化する互層地盤での施工となりました。この制約条件に対し、入念な検討を行い確実な対策を講じたことで、無事に施工完了できました。その概要を以下に報告いたします。

### 2 工事概要

#### 2.1 工事内容

- 石巻港排水ポンプ場 一式
- 呼び径2000 泥水式推進工法 L=1226.1m (4S)
  - × 2000 CMT工法 L=444.8m (1S)
  - × 1350 泥濃式推進工法 L=199.9m (1S)
- 人孔その他 一式
- 該当路線名：B701-2
- 工事場所：宮城県石巻市築山他地先



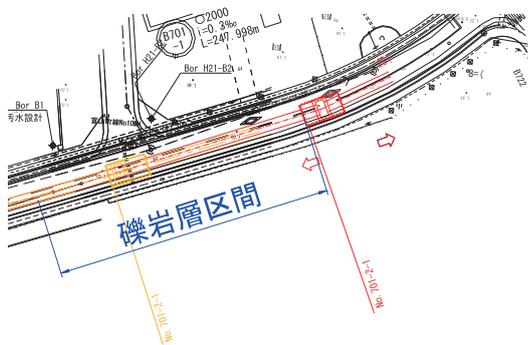
図-1 路線全体図（最終）

## 2.2 当初計画

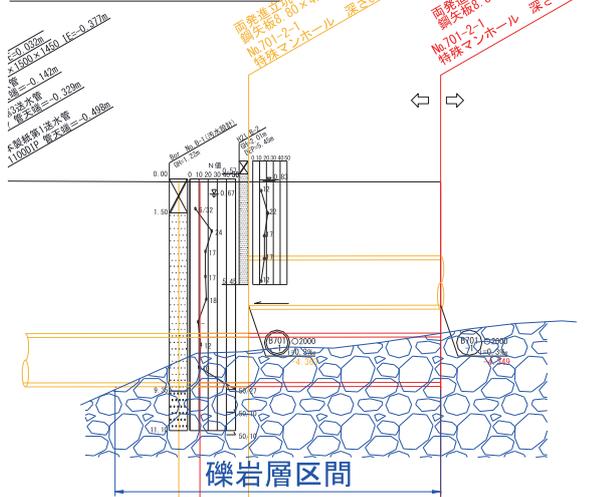
### (1) 対象土質(砂層)

当初設計の断面図では、上流側との管底差は3391mmあり、管底から岩盤までの離れが約20cmある想定で、岩盤に干渉しない計画になっていましたが、後述する立坑位置の移動および詳細な土質調査によって、図-2のように礫岩層を約61m推進することとなりました。

平面図 S=1:500



縦断面図 SV=1:100 SH=1:500



黄：当初計画 赤：変更

図-2 平面図、縦断面図

### (2) 掘進機

当初計画では、下流側のスパンに使用した掘進機を再整備し使用する予定でしたが、岩盤掘削の検討が必要になりました。

## 3 計画の再検討

### 3.1 発進立坑位置の変更

計画時の立坑の位置が計画道路の交差点と重なったため、立坑位置を東に44.8m移動させ、発進基地やプラント用地を確保できるように検討しました。また、新たな立坑位置での土質調査を行い土質の構成を確認したところ、推進路線では全断面が礫岩となる区間があることが分かり、掘進機、推進力、還流計算等の再検討を行いました(写真-2)。



写真-2 発進立坑内で出現した礫岩

### 3.2 ビット交換の必要性

掘削対象土質に全断面に表-1、2に示すような特徴を有する礫岩を含んでいますが、岩盤層から砂層に変化するため、異なる土質に対応できる掘進機を選定する必要がありました。

表-1 礫岩層の特徴 (O dg) ※土質調査資料より引用

礫岩層 (O dg)	
特徴	泥岩、砂岩、花崗閃緑岩主体の礫岩
	色調は「暗灰」、「灰」、「暗緑灰」
	全体に亀裂が多く、マトリクス部はハンマーで容易に崩せる
	N値は150～300程度

表-2 当現場での対象等級(硬質岩)

塊状岩盤等級分級基準	
硬質岩	新鮮なテストピースの一軸圧縮強度が80～100MN/m <sup>2</sup> 以上のものである。岩石ハンマーによる打撃では一般に金属音を発する
中硬質岩	新鮮なテストピースの一軸圧縮強度が20～80MN/m <sup>2</sup> のものである。
軟質岩	新鮮なテストピースの一軸圧縮強度が20MN/m <sup>2</sup> 以下のものである。

掘進機のカッタビットは、礫岩層では破碎機能を持つローラカッタを装備しますが、砂層では掻き込む機能を要したティースビット（切削用ビット）に換えなければなりません（図-3）。

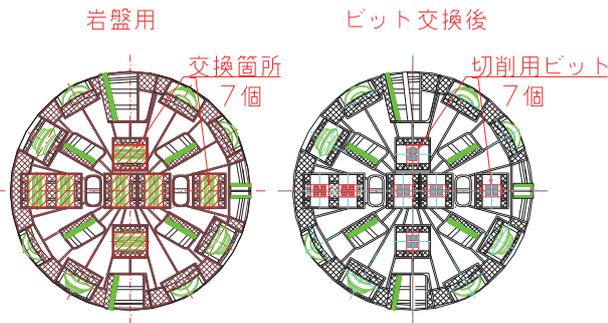


図-3 ビット交換部詳細図

本工事では、土質調査によって、礫岩が掘進断面からなくなる位置が発進から61mの地点であることが判明したので、この位置でビット交換を実施することとしました。

ビットの交換は、通常では土質の変異点に割り込み立坑を築造しビットを交換する方策がとられますが、割り込み立坑は、マンホール等の構築という目的がなければ必要のないものです。また、立坑位置によってはう回路が必要になる場合もあります。したがって、ビットを交換するための立坑の築造は、場合によっては施工費の高騰

を招くことになってしまいます。

本工事では、呼び径2000と比較的大きな断面であったことや掘進機機内から行えるビット交換可能な掘進機を採用することで、今回の土質変化に対応可能であると考えました。

なお、ビットの交換は、機内点検窓からチャンバ内部に入り面板の内側での作業となるため、安全に作業するために切羽の安定が必要となります。このため、掘進機前面に地盤改良を行い、帯水砂層でも安心したビット交換を行えるように地盤改良区間を設け、異常出水を防止するように計画しました。

表-3は、アルティミット工法の急曲線に対応した各地盤用掘進機（普通土用・岩盤用・岩盤用機内ビット交換型）の比較表で、この中から本工事に最も適した岩盤用機内ビット交換型掘進機を選定しました。

#### 4 施工報告

発進立坑の位置が44.8m移動したことで、う回路とプラントの用地を写真-3の状態確保しました。

##### 4.1 岩盤（礫岩）の掘進

今回採用した掘進機は、機内ビット交換可能なものとしたため、下流側スパンで使用した礫破碎機能（コー

表-3 アルティミット泥水式掘進機比較表

検討項目	アルティミット工法 普通土用急曲線掘進機	アルティミット工法 岩盤用急曲線機	アルティミット工法 岩盤用機内ビット交換型急曲線機
工法概要	粘性土、砂質土および最大礫径20mmまでの礫混り土を対象土質とした急曲線（R=25m）対応の泥水式掘進機	岩盤用面板およびビットを搭載した急曲線用（R=25m）泥水式掘進機	岩盤用面板およびビットを搭載し、機内よりビット交換可能な急曲線用（R=25m）泥水式掘進機
施工条件	土質：発進より61m・・・礫岩（一軸圧縮強度 168~176N/m <sup>2</sup> 、N値 150~300）、残り428.41m・・・砂質土		
礫岩および砂質土への対応	普通土用面板のため礫岩は掘削不可能	岩盤用の面板およびビットを装備しているが、礫岩の掘削は可能であるが、礫岩以降の砂質土層（428.41m）に対しては砂質土用の切削ビット面板でなく、岩盤用ローラービット面板での掘削には不安があり、実績もない。 ローラービットは地山を削り取るのではなく、回転しながら礫や岩盤をすりつぶす役割のビットである。砂層ではローラービットがスムーズに回転しないことが予想される。その場合は切羽土砂の取込みがスムーズに行えず、泥水工法の基本である切羽の泥糞保持のバランスを阻害し、場合によっては取込み過ぎ等による直上への影響が懸念される。	岩盤用の面板およびビットを装備しているが、礫岩の掘削可能である。また、礫岩以降の砂質土層（428.41m）に対しては、掘進機が機内からビット交換可能な構造となっているため、砂質土用ビットに交換して掘進をする。（ビット交換では、切羽崩壊を防止させるための地盤改良が必要）。 ビット交換することによりそれぞれの土層に対し、適切なビットは配置した面板で掘削可能である。
日進量	※施工不可だが比較のため全線砂質土として算出 砂質土：6.7m/8h 各種補正後： 6.0m/8h	礫岩：1.9m/8h（一軸：120MN/m <sup>2</sup> ） 砂層：6.7m/8h 曲線補正後： 4.5m/8h	礫岩：1.9m/8h（一軸：120MN/m <sup>2</sup> ） 砂層：6.7m/8h 曲線補正後： 4.5m/8h



写真-3 発進立坑上空写真 (全景)

ンクラッシャ、図-4) が装備できませんでした。通常、ローラカッタによる一次破碎では礫が大割れするため、還流設備の配管内や、排泥ポンプ等で閉塞を発生する可能性が懸念されました。その対策として、機内排泥ラインにクラッシャ機能を有したラインクラッシャ(写真-4、5)を設置することで、閉塞を防止することができました。

掘進機の組み立ては、重量を考慮し分割搬入とし、立坑内で前胴部と後続部(駆動部)の組み立て作業を行いました(写真-6、7)。

【岩盤掘削時掘進データ】

元押ジャッキ速度：

6～7mm/min

掘進機推進力：870kN

60m 付近推進力：1,730kN

排泥流量：1.4～1.5m<sup>3</sup>/min

自然水圧：0.07MPa

切羽圧：0.09～0.1MPa

泥水比重：1.1～1.3

泥水粘性：30～60秒

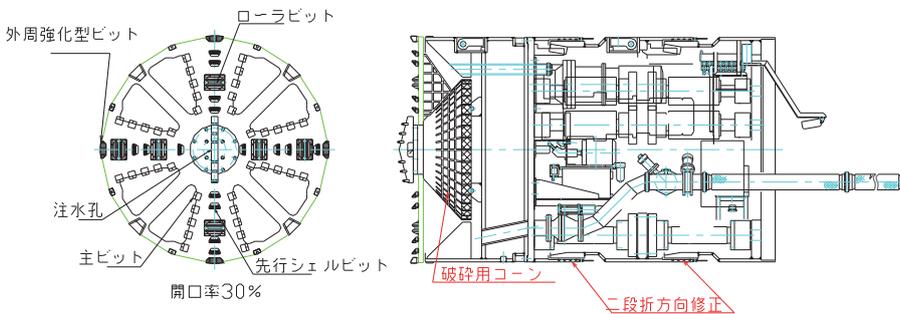


図-4 下流側スパンに使用した掘進機



写真-4 ラインクラッシャ (初期掘進時)



写真-6 掘進機前胴部



写真-5 ラインクラッシャ



写真-7 立坑内での掘進機組み立て

### 4.2 互層の掘進及びビット交換

発進部からビット交換位置までは土質が礫岩から徐々に上部が砂層に変化していきますが、礫岩が硬質であるため、砂層掘削に適するような速度で掘進することができません。このような層境（上層が砂質の互層）を掘進する場合、泥水式推進工法では、泥水還流すると切羽面のゆるみが生じ砂層の崩壊を助長し地盤沈下を招く懸念があります。本工事では対策として、上部の路線に地盤改良を行いました(図-5)。また、ビット交換位置での地盤改良は図-6のように実施しました。

地盤改良後に掘進機内からビット交換を実施しました。ビット交換は、掘進機内にある点検窓からチャンバ内に入り、ローラーカットからティースビットへの交換を行いました。

写真-8～11にビット交換作業、交換ビット、磨耗状況等を示します。

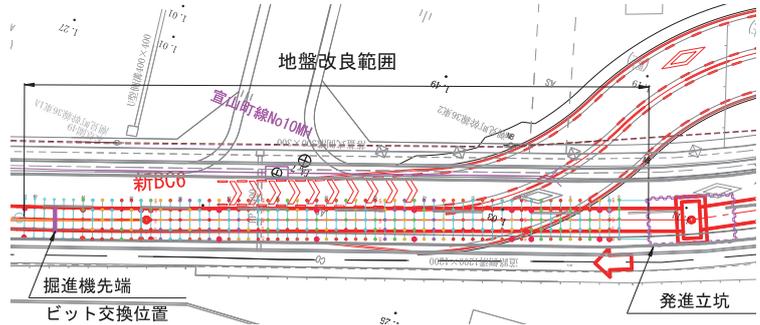


図-5 地盤改良平面図

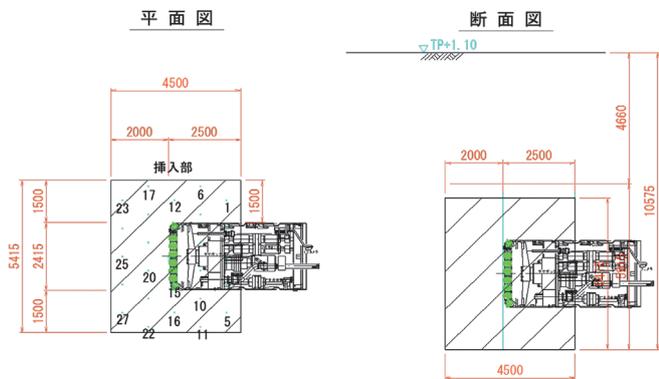


図-6 ビット交換部の地盤改良図



写真-8 交換したビットの移動



写真-9 ビット交換作業 (チャンバ内)



写真-10 交換用ビット (ティースビット)



写真-11 取り外したローラーカット



写真-12 作泥装置 (ジェットミキサ)



写真-13 作泥状況 (フレコンバッグから吸引)

崩壊性の高い帯水砂層地盤や均等係数が小さい土質の場合、粘性の低い泥水では逸泥が発生して安定した切羽の管理が行えず、掘削土砂の取り込み過ぎや切羽の崩壊が生じたりします。そのような現象を防止させるためには、適切な比重と粘性を持たせた泥水で、安定した掘進をしなければなりません。また、掘進中に希釈されないためにも早急に高濃度の泥水を補充しなければなりません。そこで、一定濃度の泥水による泥膜形成が損なわれないようにジェットミキサを使用した泥水管理を行うとともに、掘削土量の管理に努めました（写真-12、13）。

### 4.3 砂層の掘進

砂層の掘進では、下流側スパンの掘進と同様に、切羽の安定と掘削土量の管理ができました。

#### 【砂層掘削時掘進データ】

- 元押ジャッキ速度：30～40mm/min
- ビット交換後推進力：2,000KN
- 到達時推進力：5,000KN
- 排泥流量：1.2～1.3m<sup>3</sup>/min
- 自然水圧：0.07MPa
- 切羽圧：0.09～0.1 MPa
- 泥水比重：1.15～1.29
- 泥水粘性：25～35秒

### 4.4 施工結果(日進量、精度、推進力等)

日進量を図-7にグラフで示します。礫岩と礫岩・砂の互層での日進量の変化のほか、途中でフルローラカッタ（破碎型）からティースビット（切削型）に交換したことによる効果が日進量（結果）として歴然と現れています。

推進力は、ビット交換後は距離に比例することなく5,000kNほどで到達できました（図-8）。これは、アルティ

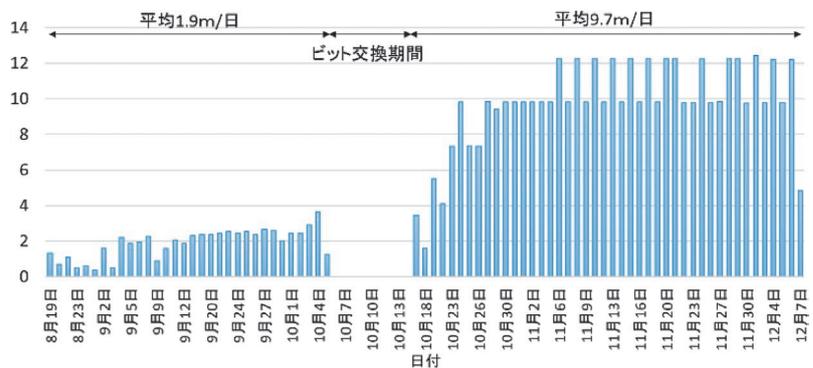


図-7 日進量

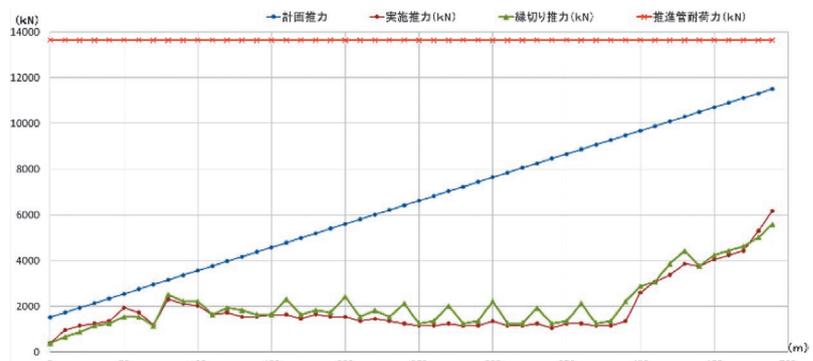


図-8 推進力



写真-14 滑材自動注入装置 (ULIS)



写真-15 自動測量機 (管内配置)



写真-16 光ファイバジャイロコンパス

ミット工法の滑材を一次滑材としてアルティクレイ、二次をポリマ系で25m毎に充填したことが推進力低減に寄与しています（写真-14は管内に設置した滑材自動注入装置の一つを示す）。

精度は、自動測量機（写真-15）および光ファイバジャイロコンパス（写真-16）を使用し精度管理を行い、図-9、10に示しますように、縦断方向、水平方向ともに管理基準値±50mm以内で完了いたしました。

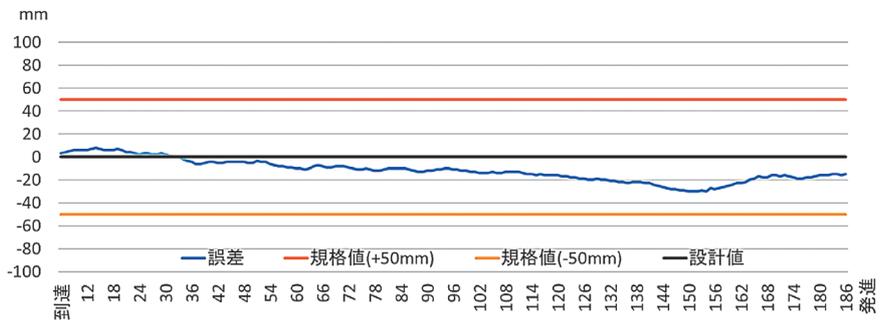


図-9 縦断方向出来形（管底高誤差）



図-10 水平方向出来形（水平誤差）



写真-17 掘進機到達



写真-18 掘進機の分割回収

## 5 おわりに

最初の下流側工区（呼び径2000 L=429.4m）が2019年6月初旬に完了し、引き続き、当該スパンの準備を始め、2020年2月に無事施工を完了することができました（写真-17、18）。

本工事は、元請けの飛島・東亜・日本製紙石巻テクノJVの職員の皆様をはじめ、飛島建設(株)東北支店並びに本社技術部の皆様のご指導をいただき一体となって課題の検討と最適な計画を行えたことで、トラブルを防止し、リスクを排除し、安全確実な施工が行えました。ここに深く感謝いたします。また、アルティミット工法では、さらなる探求心を持って、技術の発展に邁進していきますのでご指導のほどよろしくお願い申し上げます。

## ○問い合わせ先

機動建設工業(株) 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