

解説

厳しい条件への 泥水式の適用事例



こもり きょうじ
小森 恭司
機動建設工業(株)
土木本部長

1 はじめに

アルティミット工法は、長距離施工および急曲線施工に特化した工法で、泥水式と土圧式に施工が可能です。これまでに、施工件数において泥水式は土圧式の約6倍、また、施工延長においても土圧式の約7倍の施工実績があります（表-1）。

これらの施工実績は、推進工法における泥水式の長所が生かされていることを示しているものであると思いますが、以下に、泥水式推進工法の長所とアルティミット工法の特徴を生かした事例について紹介します。

表-1 アルティミット工法における泥水式土圧式施工実績

施工年度	泥水式		土圧式	
	件数	延長 (m)	件数	延長 (m)
1992～2000	153	42,942	50	12,162
2001～2010	421	136,769	43	10,905
2011～	201	70,238	38	10,785
合計	775	249,949	131	33,851

2 泥水式の長所を生かした 施工事例

2.1 泥水式の長所¹⁾

(1) 遠隔操作による長距離施工での安全性

泥水という流体で掘削と排土が循環回路としてシステム化されているため、遠隔集中操作が可能となることから掘進中、推進管内に作業員が立ち入る必要がなく、長距離施工においても作業員の安全性が確保される。

(2) 高水圧への対応

送泥および排泥ラインに還流ポンプが組み込まれており、その回転数を制御することにより圧力調整が可能であることから、高水圧や地下水圧の変化が激しい地盤においても切羽の安定を確実に制御することができる。

(3) 長距離施工での残土搬出

管路距離が比較的長い場合でも、送泥および排泥ラインに中継ポンプを組込むことで長距離輸送が可能となり、長距離施工に適している。

(4) 産業廃棄物の低減

掘削された土砂は一次処理機により土砂と泥水に分離され、分離された土砂は一般残土（建設発生土）、泥水は循環泥水として再利用されるため、産業廃棄物を低減させることができる。

以上が推進工法体系に示されている泥水式の長所ですが、これらの特徴を生かした施工事例について記述します。

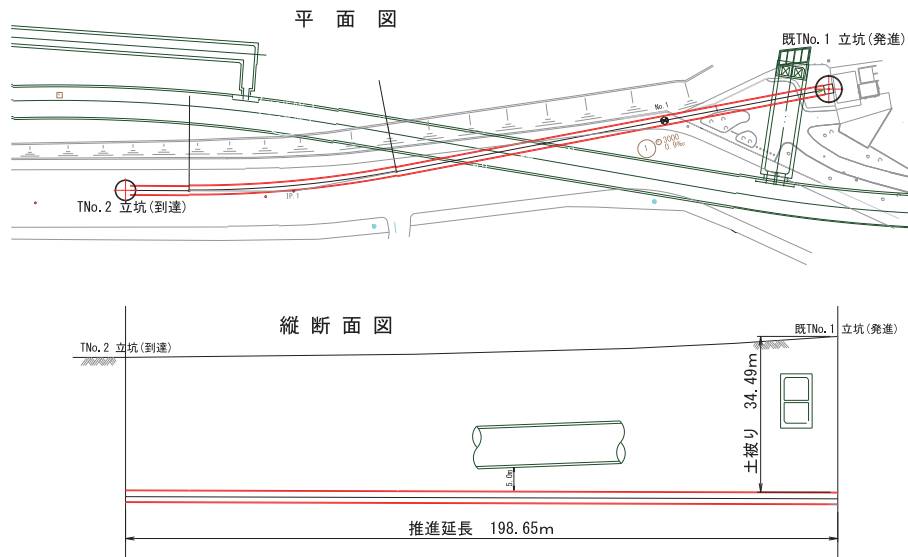


図-1 平面図、縦断面図

2.2 施工事例 1

高水圧下での大口径泥水式推進工法²⁾

呼び径：2800

推進延長：191m

土被り：34.5m

自然水圧：0.32MPa

対象土質：細砂 N=50超

泥水式推進工法は、隔壁（バルクヘッド）からの送排泥ラインを完全に循環回路として閉じていて推進管内に水圧や残土が放出されないことから、高水圧に安全に対応することができます。また、本工事では掘削対象土質が砂質土のため、一次処理で効率的に分離でき残土処理費用面で有利であること等の理由で泥水式推進工法が選択されました（図-1）。

当該推進工事に対応するための主な検討項目は以下のとおりです。

【推進管と掘進機】

選定において、継手は地下水圧以上の耐圧性能が必要となります。一般的な推進管であるJC規格推進管の継手性能は0.2MPa以下での対応であるため、継手部の耐水圧0.4MPa以上の止水性能と外圧から3種の強度を備えた管材として合成鋼管を選定しました（写真-1）。

掘進機については、推進工法用の泥水式掘進機の

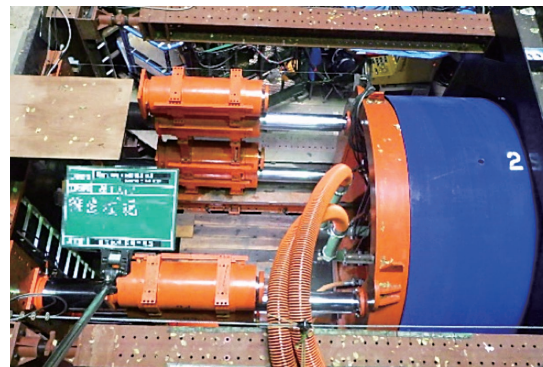


写真-1 合成鋼管推進

設計上の止水性能は、0.3MPa程度が一般的です。既往の一般的な泥水式掘進機では今回の水圧に対応できないことから、この工事専用0.4MPaに対応できる掘進機を用意しました。止水性能向上と方向制御用の中折れ部の偏芯を回避するために球面加工として、さらにシールパッキンを追加しました。また、回転部である掘進機カッタのシャフト回転部シールについても0.4MPa対応できるダブルシール（または油圧シール）の構造としました。

【発進坑口】

推進工法において、推進中は推進管の外面に発進坑口ゴムパッキンが密接することで地山からの地下水や土砂の立坑内流出を防止しています。管外面は推進中パッキンに接して動き続けており、本工事のように地下水

圧が高い場合はその隙間から地下水流出の恐れがあります。また、地下水圧によりゴムパッキンが押し出され立坑水没等の懸念もあります。これらの対策として、高水圧対応の二重構造のL型パッキンを使用し、止水性を確保しました。

【発進鏡部土留め材】

推進工法におけるトラブルの中で最も影響が大きいものは、発進鏡切断時の出水トラブルです。これを回避する対策として、鏡部の土留め材に切削型土留め材FFUを採用しました。このFFUを切削するため、掘進カッタに切削ビットを追加し、加えて微速（0.1～2mm/分）での推進を可能とする元押ジャッキユニットを使用しました。これらの対策によって、鏡部を開放することなく、流体輸送の循環回路を保ったまま発進でき高水圧での推進工の安全性を確保することができました（写真-2、3）。



写真-2 発進坑口部のFFU



写真-3 FFU切削排土の様子

【バックリング防止】

本工事での切羽の自然水圧は0.32MPaであり、カッ

タ面板（外径3.3m）にかかるバックリング力は、 $320\text{kN}/\text{m}^2 \times 3.3\text{m} \times 3.3\text{m} \times \pi/4 \approx 2,740\text{kN}$ となります。推進管周囲の摩擦抵抗力がこの2,740kNを超えるまでは、推進管接続作業などで元押ジャッキを引いたときにバックリングが発生することになります。

バックリングにより管列が戻ってしまうと、切羽圧力の保持ができず切羽面の崩壊現象が発生し、また発進坑口リングの破損や坑口ゴムパッキン反転による出水等の事故を引き起こすことになります。その対策として、通常は推進管にアンカを設置してバックリング防止金具を推進管に取付け、それを鋼製支持棒で支える手法が使われます。

本工事では、使用する推進管が合成鋼管であるため、鋼製支持棒に取付けた油圧ジャッキによって推進管を外側から押し付ける方法でバックリング対策を実施しました。このバックリング防止方法（ジャッキタイプ）は通常のコンクリートの推進管では適用できず、合成鋼管を使用したために可能となったものです。通常の施工方法では、あらかじめ必要な距離（本数）のアンカを設置しておくため、バックリングの発生延長が計画より長くなった場合の対応が難しくなりますが、ジャッキタイプではアンカの埋め込みが必要でないため計画より長くなっても対応できます。また、専用金具を取付ける手間がなくなり日進量の向上にもつながりました（写真-4）。

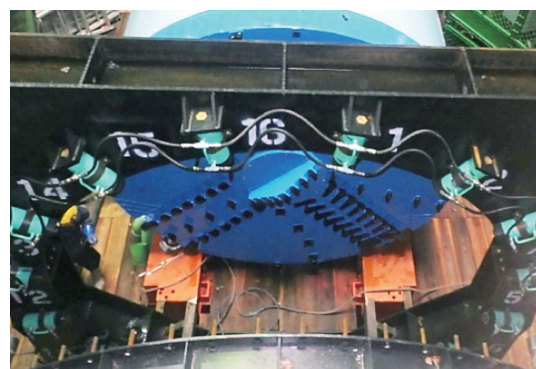


写真-4 バックリング防止装置（ジャッキタイプ）

【到達方法】

到達して掘進機を回収する時点での出水も、発進鏡切と同様によくあるトラブルとなります。具体的には、到達後の鏡切断後に掘進機が到達坑口ゴムパッキンを通り過ぎて止水されるまでの間の出水、また、掘進機全体を

押し出しゴムパッキン部分が推進管に置き換わったときの出水などがあります。

本工事では、到達鏡切後、坑口に到達回収筒を設置しその内部に地下水位と同等の水圧をかけた状態で、到達坑口ゴムパッキンにかかるまで掘進機を押し出すことにより、異常出水と土砂流入とその影響を防止することができました（写真-5）。

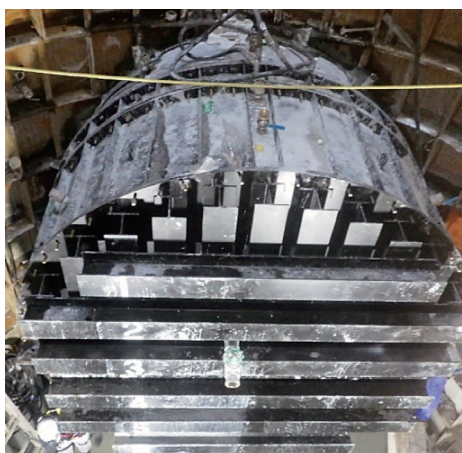


写真-5 到達回収筒設備

なお、掘進機全体を押し出すことも出水の原因になることが懸念されたため、到達坑口ゴムパッキンが十分効いているところで管路の移動を止め、掘進機は外筒残置にして内部機器のみを回収することとしました。これによりゴムパッキン部分が推進管に置き換わりその外径が小さくなった時点での出水トラブルを防止することができました。

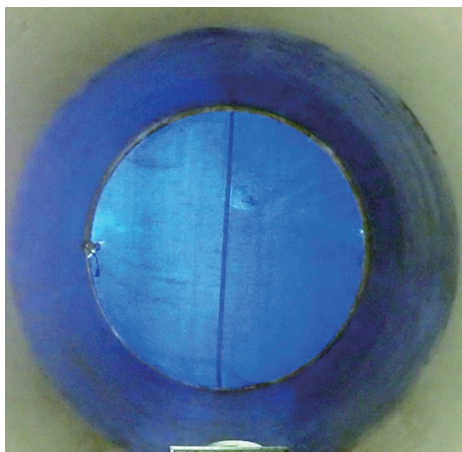


写真-6 吹き付け完了

掘進機内部機器回収後の仕上げについては、通常は内部に型枠を組みコンクリート仕上げとしますが、本工事では吹き付け工法としました。これにより仕上がりがきれいになり、型枠組立手間や剥離防止用鉄筋の削減等のメリットが生まれました（写真-6）。

【泥水式推進工法の適用結果】

本工事では、高水圧対応のために泥水式が選定され、切羽の保持や泥水による流体輸送は高水圧に対応できましたが、推進工法全般における推進管、掘進機、発進方法、坑口リングおよび到達方法等ほとんどの作業については特別の対策を用いることになりました。今後の高水圧の施工においても、単に泥水式推進工法を選択することだけでなく、推進工法の各工種について高水圧対策が必要になります。

2.3 施工事例2 急勾配かつ高低差が大きな施工

泥水式の掘削土は泥水と混合され排泥水として郊外へ流体輸送されます。泥水式では、適切に中継ポンプを配置することにより長距離推進や急勾配の施工にも対応できます。以下、図-2に示すとおり、縦断勾配が大きくかつ複数の土質を推進した例を紹介します。

呼び径：1200

推進延長：304.89m

高低差：52.8m

推進勾配：-23% -13°

縦断曲線：VR=300m CL=68.04m

土質延長：軟岩 N=95 51.8m

砂礫土 N=107 87.9m

固結砂質土 N=67 131.2m

粘性土シルト N=3 34.0m

(1) 急勾配での泥水還流計画

排泥側の中継ポンプは、通常はその揚程を配管1mあたり損失揚程で除した延長ごとに計画し配置されます。本工事では配管1m当り損失揚程に勾配による揚程を加えた損失揚程で配置間隔を算定しました。

中継ポンプは、配管径100A出力15kW揚程18mを4台使用する計画で、1台目は切羽から60mに配置し、2台目以降は74m間隔で配置することとしました。

【急勾配での泥水還流の課題点】

泥水還流計画では、掘進途中の泥水が流れていると

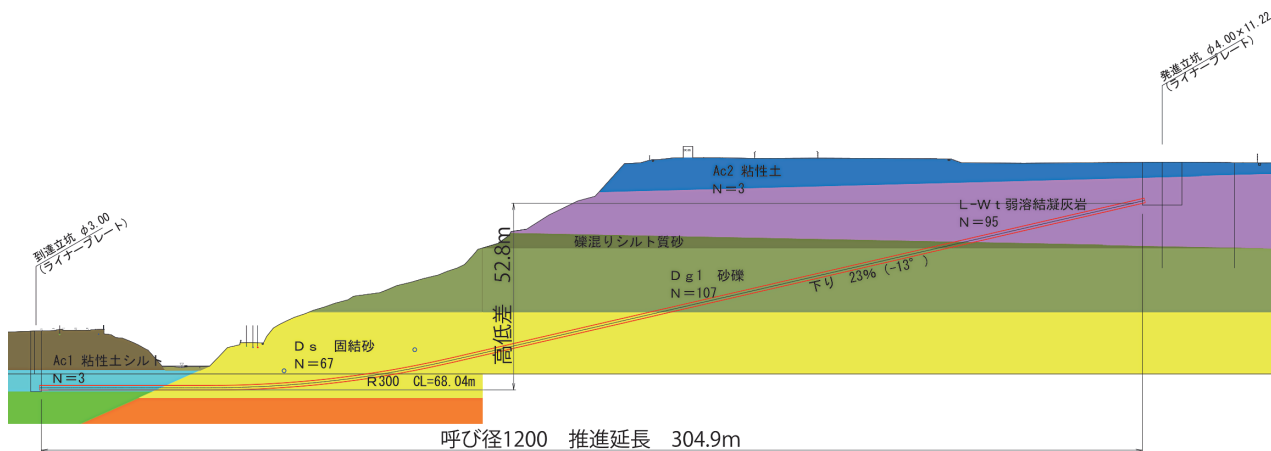


図-2 縦断面図(土質断面図)

きの状態で計画を行います。しかしながら、実施工においては、管接続時の切断継ぎ足し作業等で泥水が流れている状態から還流を止める必要が出てきます。勾配が大きい場合に特に問題となる現象が、「水撃作用」(ウォーターハンマ)です。これは水圧管内の水流を急に変化させたときに、水の慣性で管内に衝撃と高水圧が発生する現象です。ウォーターハンマが発生すると泥水ポンプや配管を破損する可能性があるため、本工事では流体切り替えは特に慎重に行いました。また、配管管路にアキュムレータを設置し、そのウォーターハンマの防止対策としました。

施工においては、中継ポンプに高水圧が作用したことによると思われる故障も発生し、予備のポンプと交換することにより対応しましたが、このような急勾配施工においてはポンプや配管材の予備をあらかじめ計画する必要

性があります。

また、泥水式掘進機故障トラブルの最もリスクが高いことに、掘進機の水没があります。特に急勾配で下りの場合、管内に漏れた泥水等は先端の掘進機のところにたまり電気機器の水没の危険性があります。また機内は狭く推進中の機器交換等は非常に困難な作業となります。

本工事ではその対策として、水没防止用の扉「セーフティバルクヘッド」を設置しました(写真-7)。配管破損等の緊急事態発生時にも、すぐには掘進機内部に水が入らないようにした防水隔壁で、掘進機内部の点検や測量用の窓を持った設備です。

(2) 急勾配における複数土質への対策

通常の土層は水平に堆積しているの、縦断方向に勾配を大きく取って推進すると複数の土層を推進することになります。本工事では、軟岩層から砂礫層から砂層最後にシルト層と4種類もの土層にわたって推進することになりました。

泥水式推進において、普通土用カッタヘッド(面板)の掘進機が砂礫層に遭遇した場合は掘進不能になることがあります。また、砂礫用カッタヘッドで岩盤に遭遇した場合も掘進不能になることがあります。岩盤用掘進機の場合でも、砂礫や砂層は掘削できますが、付着性が高い粘性土等ではカッタヘッド内での閉塞によって極端に掘進速度が低下する事例も少なからずあります。

泥水式推進工法において、一般に掘進速度が速いといわれているのは土質とカッタヘッドの条件が適合しているときです。すべての土質をオールマイティに対応でき



写真-7 掘進機水没防止用の隔壁設置

る泥水式掘進機のカッタヘッドは今のところないのが現状です。

今回は、砂礫土並びに軟岩部に合わせた掘進機カッタヘッドを使用しました（写真-8）。粘性土部分はN値も低くカッタヘッドの不適合による掘進不具合の発生が少ないと判断したためです。

施工においてはカッタヘッドでの閉塞等は発生せず推進完了しました。

3 おわりに

今回紹介しました施工事例のように、泥水式推進工法は、泥水による地下水圧への対抗や流体輸送により施工条件の難しい推進工事に適用されていくと思われます。このような難易度の高い工事では、単に泥水式推進工法を選定して設計しただけでは、安全に推進工事を施工することは困難となります。発進方法や到達方法を含め推進工法全体として、高水圧や諸条件への対応を設計段階から検討しておく必要があります。



写真-8 軟岩および砂礫土用カッタヘッド

この泥水式推進工法の説明が安全で確実な推進工法の設計及び施工につながることをなればと思います。

【参考文献】

- 1) 「推進工法体系I 推進工法技術編2019年版」3章 泥水式推進工法 (公社)日本推進技術協会
- 2) 「月刊推進技術」特集／土被り、VoL.36 No.10 (2022年10月)