

巨礫・岩盤層における密閉型推進工法事例

—Φ1,650mm 巨礫破碎型掘進機（リターン回収型）—

森田智^{1*}・松元文彦¹・酒井栄治¹・島田英樹²・笹岡孝司²・松井紀久男²

¹株式会社アルファシビルエンジニアリング 技術開発部（〒812-0015 福岡県福岡市博多区山王 1-1-18）

²九州大学大学院 工学研究院地球資源システム工学部門（〒819-0395 福岡県福岡市西区元岡 744）

*E-mail: arfa@oregano.ocn.ne.jp

推進工事は都市部を中心に下水道工事を含めた管路のインフラ整備に数多く採用されてきた。そのため、推進技術の進歩も発展の一途をたどってはいるが、土質条件については従来の沖積層から日本の国土特有の複合地盤や玉石層、岩盤層等へ移行し、施工環境においてもその対応の厳しさが増大している。そのような中、掘進地盤の確認がリアルタイムで可能であり、掘進後の地盤の安定性や掘進時の元押推進力の低減に優れている泥濃式推進工法のシェアは平成 17 年度の調査で約 50%を占めている¹⁾。

本報告では、砂礫層～巨礫層～岩盤層の複合地盤下を低土被り（1.2D₀）条件で施工した密閉型泥濃式破碎型掘進機の推進工事例について述べる。

Key Words: ipe-jacking method, excavator with crushing cutter face, big gravel layer, rock layer, Return-recovery type excavator

1. はじめに

近年、推進工事の対象土質は都市部における沖積層から、山間部の洪積層すなわち岩盤層や巨礫混じり砂礫層へ移行してきている。そのような状況に対応するため、破碎型掘進機の適用範囲が拡大している。しかしながら、そのほとんどは現場経験に頼った施工管理が行われており、工学的な見地からの検証が行われていない。

本報告では、破碎型掘進機を使用した洪積層（岩盤層・巨礫層）を推進工事により施工した事例を紹介し、その実態について述べる。

本現場は、N市内の観光地に程近く、住宅が密集する地域での施工であり、周辺環境への影響による制約、難易度の高い現場施工条件が数多く存在したため、次項に示す検討を行い、対策を講じた上で施工を行った。

本現場の概略図を図-1に、工事概要を以下に示す。

- ・発注者：N市下水道局
- ・工事箇所：N県N市内
- ・管 径：Φ1,650mm（鉄筋コンクリート管）
- ・推進延長：237.70m
- ・曲線半径：R=195m
- ・縦断勾配：4.3‰

2. 本現場の特徴

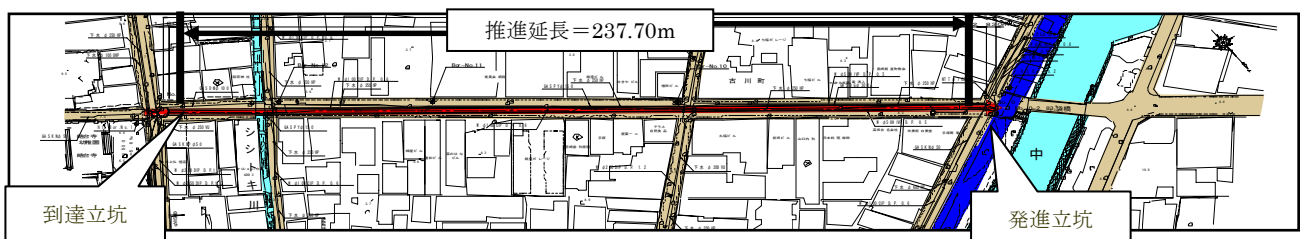


図-1 施工平面図

- ・土質条件：巨礫層,玉石砂礫層,岩盤層
(最大想定礫径：1,200mm)
- ・礫 率：最大礫率=72%
- ・土 被 り：2.29m～4.26m (1.2～2.2D₀)
- ・地下水位：GL-1.50m
- ・発進立坑：既設ボックスカルバート内

3. 本現場における検討課題

本現場における技術的な検討課題を以下に示す。

- (1) 巨礫・岩盤対応掘進機
- (2) カッタービットライフについて
- (3) 掘進機の発進側への回収機構
- (4) 立坑位置に伴う仮設工
- (5) 推進力(反力壁への影響)
- (6) 周辺環境(景観・騒音)への配慮

4. 課題に対する対応策

(1) 巨礫・岩盤対応掘進機

本現場の最大の特徴である洪積層(巨礫(最大想定礫径：1,200mm),岩盤層)に対応するため,掘進機構造の再検討を行った。まずカッタービットについて,破碎効果を十分に期待するため,最外周部に最大Φ425mm ローラービットを装着するとともに,破碎された岩片をスムーズに排土するために,掘進機内の排土口の大口径化(Φ400mm)を図った。写真-1に掘進機全景を示す。

また,この大排土口径によって,巨礫および岩盤片を再細片化することなく排土が可能となるため,ビットライフの向上を図ることができると考えた。



写真-1 Φ1,650mm 破碎型掘進機全景

(2) カッタービットライフについて

岩盤掘削時のローラービットの寿命(ビット交換距離)に関係する要素としては,チップ強度,チップ形

状,チップ埋込み数,ビット配置,ビット数,岩盤強度,岩盤の節理・亀裂状況,注入材の選定,掘進機回転数,掘進機カッターフェイスの形状等が考えられる²⁾。

そのような諸条件から,ローラーカッターの持つ固有の転送距離(転動距離)やそれぞれのチップの摩耗度が判定される。一般的に転送距離は 350km 程度と推定されているが,その距離は過去の数多くの実績から 150km～450km と大きく変動すると報告されている。そのため,今回の条件においては,転動距離を平均的な 350km として検討を行った。以下に検討結果を示す。

ビット交換が必要な掘進時間の算式は次式により求められる。

$$\text{掘進時間} = \text{転動距離} / (\text{掘削外径} \times \pi \times \text{回転数})$$

今回の条件を当てはめると,

$$\text{掘削時間} = 350,000 / (1.85 \times \pi \times 3.72) = 16,196 \text{ min}$$

$$\text{掘進速度} = 237,700 / 16,196 = 14.676 \text{ mm/分}$$

したがって,施工延長 237.70m を満足するためには,掘進速度 15mm/分を確保する必要がある。この数値から従来の施工実績と比較して,巨礫群掘進時の掘進速度 5mm/分以上,砂礫層掘進時は 15～20mm/分程度が確保でき,施工可能であると判断した。

(3) 掘進機の発進側への回収方法について

本現場は先述のとおり,住宅密集箇所での施工であったため,到達立坑に掘進機回収用のクレーン(35t)が進入できず,通常の到達立坑からの回収方法では対応が不可能であった。

そのため,立坑到達後,掘進機の駆動部と外郭とを分離可能な分離・回収型構造とした。この施工法により,駆動部を発進立坑まで引き戻し,掘進機外郭のみを到達立坑より一般的には小さい 10t クレーンにより回収を行い,掘進機の回収作業を完了した。図-2に掘進機図面を示す。

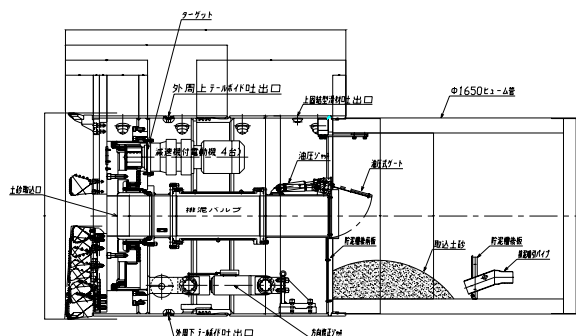
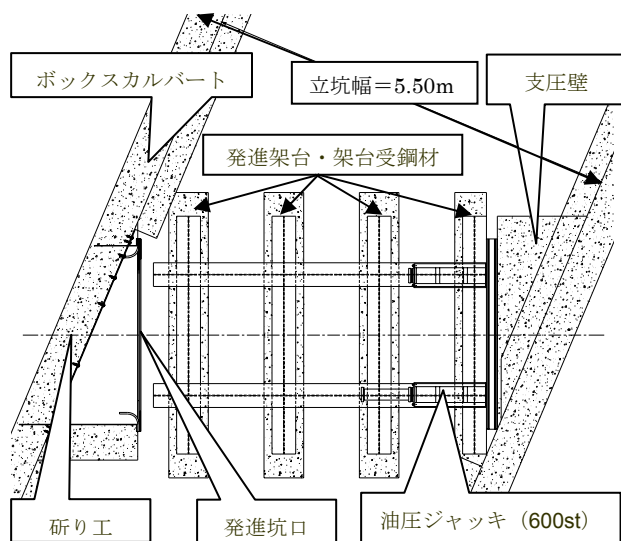


図-2 Φ1,650mm 破碎型掘進機

(4) 立坑形状について

本現場における発進立坑は図－３に示すように既設ボックスカルバート内であり、その長さは通常の発進立坑寸法と比較しても非常に小さく、また推進法線は斜角であった。そのため、特殊な推進設備の配置計画を行った。図－３に立坑内設備配置図を、写真－１に推進状況図を示す。

また、反力壁が既設のボックスカルバートとなるため、それらの影響を考慮して、許容推進力には限界があり、元押推力の低減対策が必要であった。



図－３ 立坑内設備状況



写真－２ 推進状況

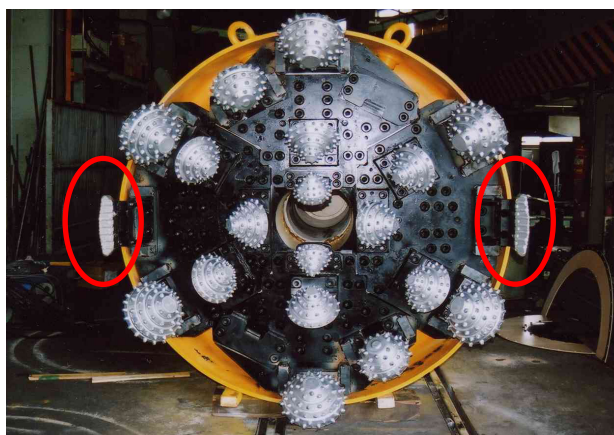
(5) 推進力について

推進力の増大に繋がる大きな要因の一つに余掘り部（以下、テールボイド部と称す）に注入される充填材の連続性やその性状の不均一性が挙げられる。

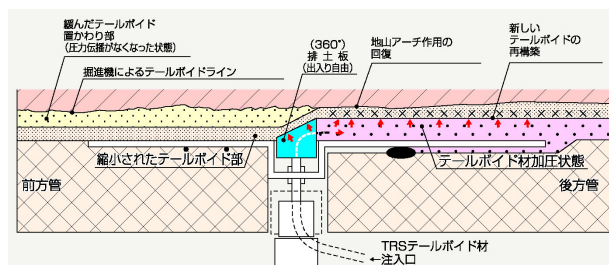
特に巨礫層・岩盤層推進時には破砕片等がテールボイド部に楔状に残置し、推進力の増大を招き、推進管に亀裂や破損などの影響を与える恐れがある。また、テールボイド部における加圧状態の一時的な

開放により、地山土粒子がテールボイド内に侵入し、地山と推進管が接触し、周辺摩擦力が上昇して推進力の増大を招くと考えられる。

そのため、写真－４に示すように、切羽においてはカッタービットの最外周にシェルビットを装備し、破砕片のテールボイドへの侵入を防止するほか、後方においては推力低減装置として図－４および写真－４に示すTRS装置（テールボイド拡幅再構築装置）を設置し、推進中にテールボイド部に侵入した地山土粒子を外周方向に押し出し、そのクリアランスに充填材を注入することで、地山のアーチ作用を再構築し、推進力の低減を図った。



写真－３ カッタービット全景



図－４ テールボイドとTRS装置概念図



写真－４ TRS装置（回収型）

（６） 周辺環境（景観・騒音）について

本現場は、住宅密集地および観光地近くでの施工であったため、周辺環境への影響や景観を損なわない状況下での施工が求められた。そのため、騒音を発生するプラント設備等については覆工板下のボックスカルバート内に設置することで、可能な限り騒音の低減を図った。推進設備配置状況を写真－５および写真－６に示す。

以上のような検討とそれらの対応策を行って施工を開始した。次項に施工結果と考察を示す。



写真－５ 推進設備設置状況（地上）



写真－６ 推進設備設置状況（ボックスカルバート内）

５． 施工結果および考察

（１） 施工結果

当初の計画においては、計画推進日数が 62 日であったのに対し、実施推進日数は 87 日と超過する結果となった。その背景としては、予想以上に巨礫群が多かった事、および施工周辺環境の問題から、施工時間帯に制約をうけ、一日 6 時間の作業しかできなかった事が挙げられる。これは、実施工での掘進速度が 5～25mm/分（巨礫層～砂礫層）と想定していた速度とほぼ同じ結果が得られている点からも判断できる。

また、ピットの耐摩耗性を影響を与える高濃度泥水量および配合を表－１ および表－２に示す。表－

１より、計画の泥水量に対して約 30%使用量が多かったことが分かる。これは高濃度泥水の配合とはいえ、掘削地山の透水性が高く、逸泥現象により計画以上の高濃度泥水が必要となったことが考えられる。写真－７および写真－８に本現場において摘出された巨礫状況を示す。

この結果より、巨礫層や岩盤層掘進時には地山の粗粒子の状況により逸泥現象が発生し、送泥量が増加する傾向が高いことが分かる。

表－１ 高濃度泥水使用量

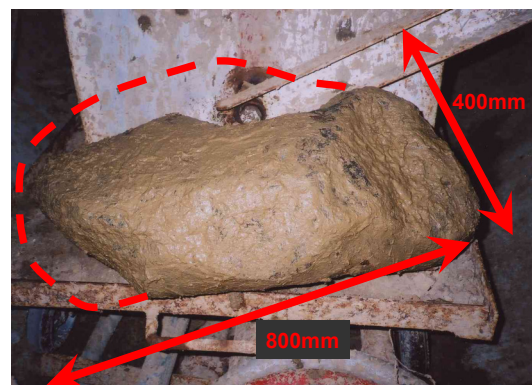
計画数量	実施数量	増減
531,140 リットル	690,482 リットル	約 30%増

表－２ 高濃度泥水配合（1m³ 当たり）

材料名	切羽高濃度泥水	テールボイド充填
粉末粘土	300.0 kg	300.0 kg
増粘材	0.4 kg	0.4 kg
目詰材	8.0 kg	8.0 kg
ケミカル泥水材	0.4 kg	0.8 kg



写真－７ 推進中の摘出礫群



写真－８ 摘出した最大の巨礫

(2) カッタービット

到達時のカッタービット状況を写真－9に示す。ローラービットのうち、数個はチップの欠損が発生していたが、ほとんどのビット摩耗は通常の 50%以下と判断できた。ビットライフの検討結果について再検討を行うと、実績の掘進機運転時間としては、平均日進量 2.73m（最大日進量 7.29m）より、掘進機稼働率（作業時間のうち、測量時間、段取替え時間など、掘進機停止時間を控除した掘進機運転時間）を 70% とすると平均掘進速度 10.83mm/分となることから、 $237.70\text{m} \div 10.83\text{mm/分} = 21,948$ 分となる。よって、転送距離としては、

$$21,948 \text{ 分} \times (1.85 \times \pi \times 3.72) = 474.53\text{km}$$

となり、一般的なビット転送距離 350km をはるかに超えて良好な施工管理が行われたと判断できる。



写真－9 到達時ビット状況

(3) 元押推進力および施工精度

元押推進力および施工精度の結果を図－5に示す。最終到達精度は高低誤差が－20mm、方向誤差が右 19mm であり、推進途中箇所の最大推進精度については高低誤差が－28mm、方向誤差が右 45mm の結果であり、管呼び径の 3%未満と良好な精度で施工を完了した。通常、巨礫層の推進において、巨礫の破碎が不十分であった場合には、残置した礫片上に掘進機が乗り上げ、精度不良を起こすことが考えられるが、本工事においては、掘進機外周に配置したローラービットの良好な破碎効果により、またシェルビットによる破砕片の除去が効果的に行われ、良好な精度を確保できたと考えられる。

また、実施元押最終推進力は、 $F=3,465\text{kN}$ であった。この推進力は計画元押推進力 $F=3,423\text{kN}$ とほぼ同じ推進力であり、不測の事態に伴う推進力の急上昇

が無かったことによると考えられる。TRS装置（テールボイド拡幅再構築装置）による地山アーチ作用の再構築効果によるものと考えられる。

(4) 到達回収作業

到達立坑には、掘進機回収用の大型クレーンが進入できないため、駆動部を外郭と切り離し、分割された外郭のみを到達立坑より搬出する方法を採用した。この方法における到達後の作業としては、ビットの取り外し、掘進機解体、固定リング取り外し、掘進機駆動部回収（推進管空押し、掘進機外郭回収、駆動部の発進側へのリターン回収、発進立坑より駆動部撤去という作業が必要となる。本現場においては、回収工程を5日間かけて終了した。また、掘進機外郭の搬出には、一般的には小さい 10t ホイールクレーンを、駆動部の搬出には立坑上に設置した橋型クレーン（15t）を使用した。掘進機駆動部の回収状況を写真－10および写真－11に示す。

この作業により、住宅密集地などにおける狭路部の到達立坑においても、大型クレーンの進入が不可能な箇所での施工が可能となる実績となった。

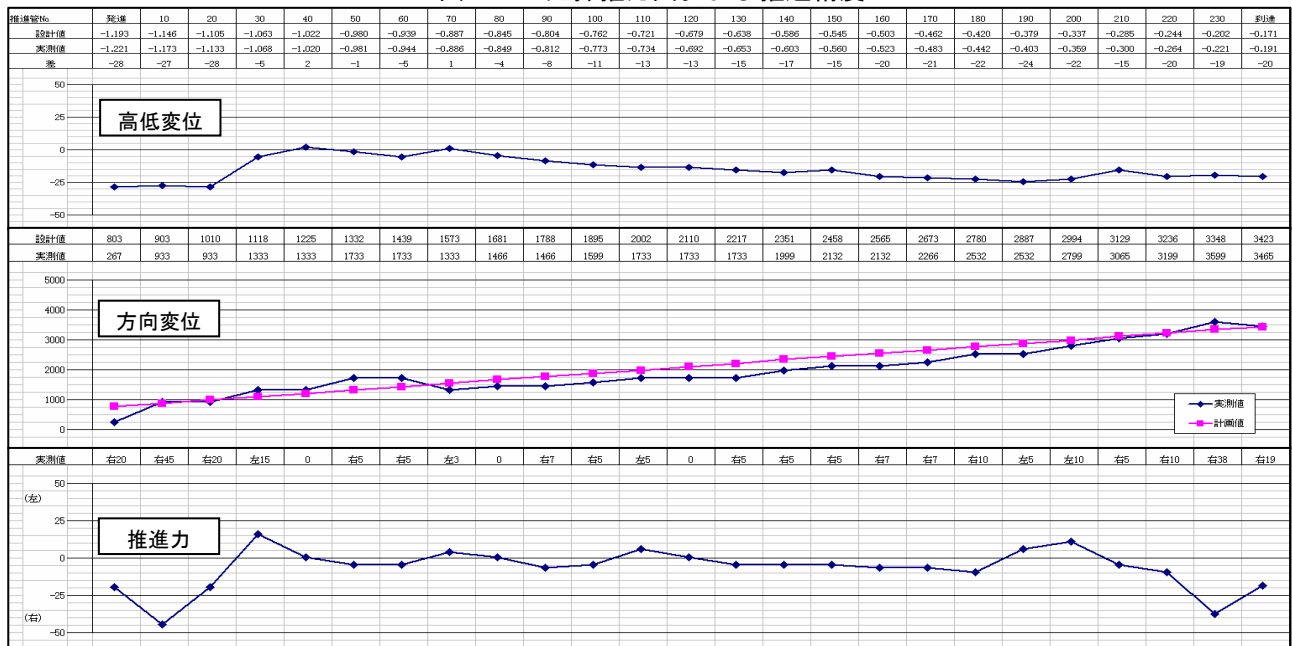


写真－10 掘進機駆動部リターン回収状況



写真－11 掘進機駆動部搬出状況

図－５ 元押推力図および推進精度



3. まとめ

本現場の懸念事項であった、①巨礫・岩盤層対応②ビットライフ、③掘進機回収機構、④立坑（ボックスカルバート内）仮設備対策工、⑤推進力管理など、様々な対策を講じ、無事に完工できたことは、掘進機や推進設備および現場施工技術などの総合的な技術の結集であると考えている。今後も、今まで以上の様々な地盤に対応可能な掘進機等の開発や周辺環境に対して十分対応可能な施工法の検討を行い、経済性、推進工事の確実性、工期短縮等を図っていく所存である。

謝辞： 今回の施工事例に関係する発注者各位、元請各社をはじめ、関係者各位の皆様にご多大のご指導やご協力を頂いたことを、誌面を借りて心から感謝いたします。

参考文献

- 1) 日本下水道管渠推進技術協会の調査より
- 2) 松元文彦・酒井栄治・島田英樹：第29回「推進工法最新技術」pp.22～41, 日本プロジェクトリサーチ, 2005

AN APPLICATION OF USING CUTTER FACE PRESSURE CONTROL TYPE EXCAVATOR IN THE BIG GRAVEL AND ROCK LAYER PIPE-JACKING

- φ 1,650mm EXCAVATOR WITH CRUSHING CUTTER FACE -

Tomo MORITA, Fumihiko MATSUMOTO, Eiji SAKAI
Hideki SHIMADA, Takashi SASAOKA, Kikuo MATSUI

For the DEINO-pipe-jacking method has the feature of low frictional forces of pipes, it has dominated in the sharp curved and long-distance works for pipeline. Therefore the request has been expanding on working surroundings in Japan. In present, this method has been applied for the big gravel or rock layer through the various pipelines. However we have little organized data on such ground, cutter-bits and so on. As a result, those achievements have been subjected by the experience of operator or slurry materials.

This report shows the actual conditions of the structure of the machine, cutter bit life and frictional force in pipe-jacking big gravel and rock layer with low overburden.