

泥濃式破碎型推進工法の 巨石・岩盤への適用性

松元 文彦^{1*}・森田 智²・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

下水道などの管路の構築に用いられる推進工事は、都市部をはじめとして多く採用されてきた。特に、掘削に伴う地盤の緩みや周辺摩擦力が小さい泥濃式推進工法は、その適用性の良さから多くの実績を有している。しかしながら、今日のインフラ整備は、厳しい土質への対応が中心となり、長距離・急曲線化はもとより巨石・岩盤への適用が今後の推進工法の課題となっている。

そこで、本報告では、推進工法に必要とされる周辺摩擦力の低減に関し、泥濃式破碎型掘進機を用いた巨石・岩盤層を施工した事例を紹介し、そこで懸念される課題とその対応策について述べる。

Key Words : Pipe-jacking method, long distance, excavator with crushing cutter face, big cobble layer, rock mass

1. はじめに

泥濃式推進工法は、掘削面と推進管の余掘り部（以下、テールボイド部と称す）に高粘性・高比重の高濃度泥水材や固結型滑材を加圧注入することで管外周囲の摩擦力の低減を図り、長距離・急曲線推進施工を可能としてきた。近年、推進工事の対象土質は巨石層や岩盤層などへ移行しており、破碎機能を有した掘進機の開発や施工法を求められているが、砂、シルト層など（以下、標準土質と称す）とは異なり、多くの課題を抱えている。

本報告では、泥濃式破碎型掘進機を使用し、巨石・岩盤層を施工した事例を紹介し、そこで懸念される課題とその対応策などについて述べる。

2. 本現場の特徴

本現場は、長崎県佐世保市中心部から北西に位置し、相浦港に面した推進工事であった。西彼杵半島は、いたるところに山岳、丘陵が起伏した地形で形成されていることから地盤は非常に複雑であると想定された。掘進対象地盤の土質は、標準土質、玉石砂礫層、岩盤層の複合地盤でかつ長距離推進であったため、次項に示す検討を行い、対応策を講じて施工を行った。本現場の土質状況図を図-1に工事概要を以下に示す。

- ・発注者：佐世保市下水道局
- ・工事箇所：長崎県佐世保市相浦地内
- ・管径：φ900mm（鉄筋コンクリート管）
- ・推進延長：413.30m
- ・土質条件：玉石砂礫層、巨石層、岩盤層
- ・最大礫率：70%
- ・一軸圧縮強さ：44.5MPa（事前調査時）

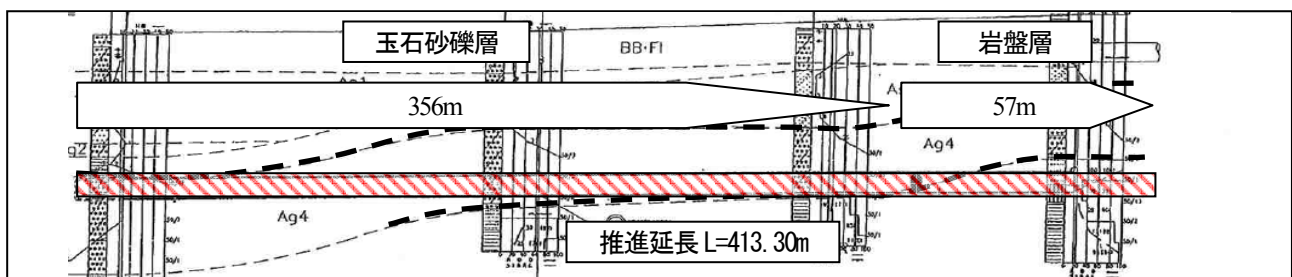


図-1 土質状況図

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) 巨石・岩盤対応掘進機
- (2) カッタービットライフと掘進速度
- (3) 推進力の低減措置

4. 課題に対する対応策

- (1) 巨石・岩盤対応掘進機

対象土質については、到達立坑掘削時に最大径750mmの巨石が確認された。写真-1に到達立坑構築時の土質確認状況を示す。

掘進機の選定にあたっては、このような巨石や岩盤層を含む複合地盤であり、かつ長距離推進であるため、掘進機の掘削能力とともに、十分な耐久性が必要とされた。ビットの保護の観点からは、ビット突出部が少ない面盤タイプの掘進機が有効であると判断されるが、開口率に制約を受けやすいことから巨石、岩盤等をカッター前面で全て破碎しなければならず、ビット磨耗が激しくなることが考えられる。ビットライフの向上を図るためには、極力面盤の開口率を大きくし、閉塞現象を防止しつつ巨石、岩盤片を細片化することなく掘削、排土できる機構が必要であると考えた。写真-2、図-2に使用した破碎型掘進機を示す。



写真-1 到達立坑構築時の土質確認状況 (巨石750mm)



写真-2 φ900mm破碎型掘進機 (面盤タイプ)

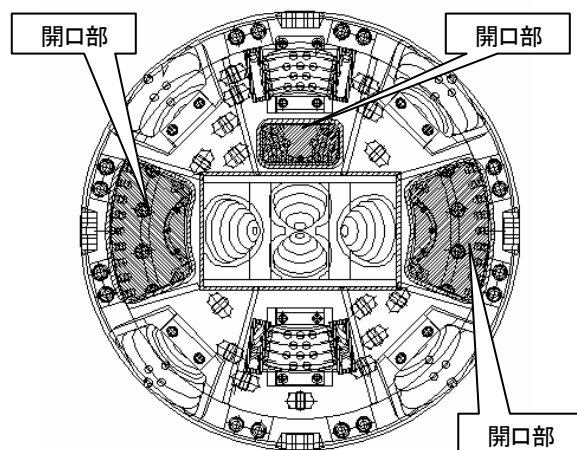


図-2 φ900mm破碎型掘進機 (面盤タイプ)

- (2) カッタービットライフと掘進速度

昨今、硬質地盤の施工事例が急増していることから、ローラカッターの耐久度の算定式が公表¹⁾されており、一般的に転送距離は350km程度と推定されている。しかしながら、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ため、工法の特性や機構を十分に考慮した転送距離の設定が必要となる。本現場においては、過去の事例から転送距離を平均的な350kmと設定して検討を行った。以下に検討結果を示す。

また、ビット交換が必要な掘進時間の算式は、表-1に示す式により求められる。

したがって、施工延長 413.30m をビット交換せず施工するためには、平均掘進速度 18mm/min を確保する必要がある。

ここで、掘進速度と玉石径や岩盤強度との関係においては、①掘進機の能力や構造、②カッターフェイスの構造と開口率、③岩の特性や一軸圧縮強さ、④石英、長石の混入率、⑤カッター1回転あたりの切り込み量の設定、⑥カッタートルクの管理等が基本となる。本工法における過去の実態調査から得た掘進速度と玉石径の関係を図-3 に掘進速度と岩盤の一軸圧縮強さの関係を図-4 に示す²⁾。

これらの実績から、玉石層区間の掘進速度は20～25mm/min以上、岩盤層区間の掘進速度は5mm/min以上の確保が可能であると判断でき、設計土質区分から加重平均すると平均掘進速度は20mm/min以上となるため、施工可能であると判断した。

表-1 ビットライフ算定式

算定式	掘進時間＝転送距離／（掘削外径× π ×回転数）	
	掘進速度＝推進延長／掘進時間	
算定結果	転送距離	350km
	掘削外径	1.14m
	回転数	43r.p.m
	推進延長	413.30m
	掘進時間	22,727min
	掘進速度	18.185mm/min

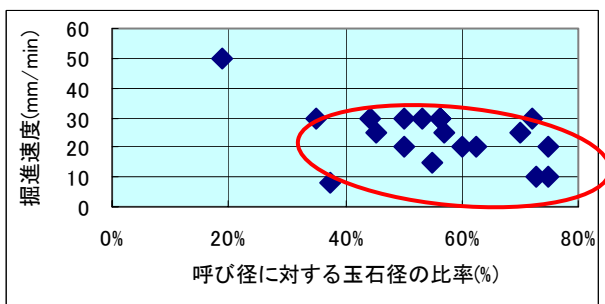


図-3 掘進速度と玉石径の関係グラフ

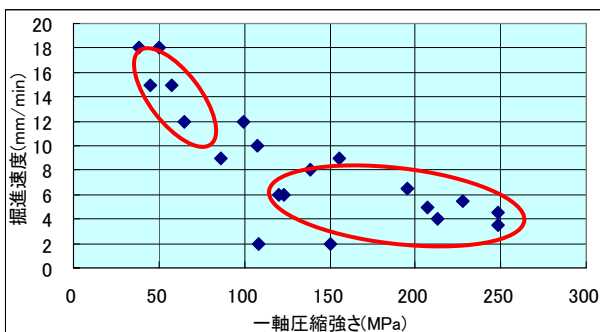


図-4 掘進速度と岩盤の一軸圧縮強さの関係グラフ

(3) 周辺摩擦力の低減措置と元押推進力の検討

a) 周辺摩擦力の低減措置

図-5に巨石、岩盤片などの回転メカニズム³⁾を示す。この図に示すとおり、標準土質の推進時には見られない現象、すなわち、テールボイド部に掘削破砕片等が楔状に残置し、管外周面の摩擦力の増大や集中荷重を引き起こし、推進力の急激な上昇や推進管の亀裂および破損などが生じる恐れがある。また、掘削面においては、巨石・岩盤層への押付け力や衝撃破砕に伴う切羽抵抗力が作用するため、標準土質よりも前面抵抗力が2～3倍程度大きくなる。特に本現場においては、長距離推進施工であるため、推進力を抑えた施工管理が必要となる。したがって、その対応策として、掘削最外周ビットにはシェルビットを装着し、機械的に全

周方向に渡り拡幅可能なTRS^④（テールボイド拡幅再構築装置）装置を装着した。写真-3に掘進機最外周シェルビットを写真-4に掘進機に取付けられたTRS装置を図-6にTRS原理図を示す。

その他、推進力の低減措置としては、①高濃度切羽泥水材や外周テールボイド材の適切な配合および注入量、②高強度な二液性固結型滑材の使用、③掘削破砕片の混入を考慮した適切なオーバーカット量、④掘進時の極端な方向修正の抑止などが挙げられる。

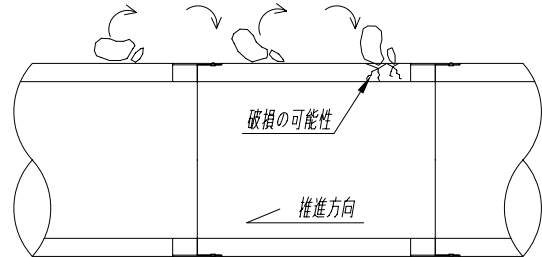


図-5 巨石、岩盤片などの回転メカニズム

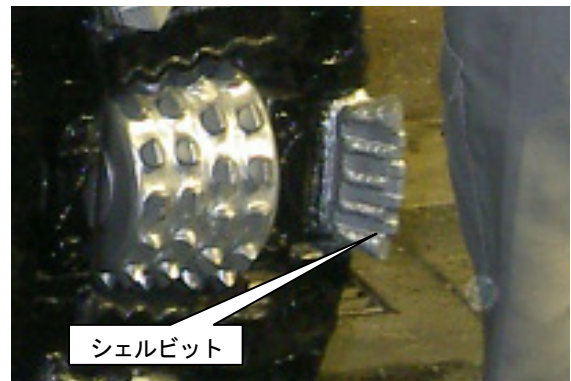


写真-3 掘進機最外周シェルビット



写真-4 TRS装置（掘進機取付）

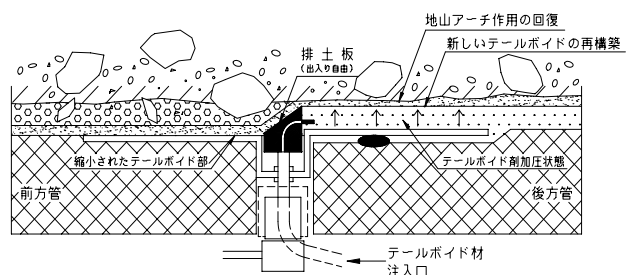


図-6 TRS原理図

b) 元押推進力の検討

前述の周辺摩擦力の低減措置を加味して、元押推進力の検討を行った。

本工法では、過去の施工事例から土質別の周辺摩擦力を設定し、算定を行っている⁹⁾。表-2に本現場における元押推進力の算定を示す。

この結果、元押総推進力2,572.38kNに対して管耐力(2,986kN)以下であることから施工可能と判断された。

表-2 元押推進力の算定式（破砕型掘進機でTRS使用の場合）

算定式	総推進力=カッター破砕抵抗値+ (管外周面抵抗値×管外周長×延長) カッター破砕抵抗値=破砕における抵抗値 ×掘削断面積	
	カッター破砕抵抗値	250kN/m ²
	管外周面抵抗値（砂礫層～岩盤層）	1.4～1.8kN/m ²
	管外周長	3.39m
	延長	413.30m
算定結果	カッター前面抵抗値	255.176kN/m ²
	総推進力	2,572.38kN

5. 施工結果および考察

表-3に事前調査と施工結果から想定される推進対象土質と掘進速度の比較を、図-7に元押推進力グラフおよび施工結果などから想定される実際の推進対象土質を示す。これらの図表に示すとおり、初期掘進から50m付近までは、当初想定のとおり砂礫層であったため、掘進速度は30mm/min以上を確保することができた。しかしながらそれ以降については、推進力が400kNから900kNへ上昇し、掘進速度は2mm～5mm/minと極端に低下した。それらは、想定以上の強度をもった巨石層、砂岩層、頁岩層と見られる硬質地盤に遭遇したことで、前面抵抗力が急増し、管外周面においても巨石等によ

り部分的な抵抗力が増加したことが起因すると考えられる。

最大元押推進力は、このような想定外の土質に遭遇したものの、計画推進力の72%の1,862kNに抑えることができた。このことは、高濃度泥水材やテールボイド材の適正な配合を早期に見直した結果であると考えられる。

一方で日進量については、計画掘進速度を確保することができなかった。これは、想定以上の大きさを有する巨石であったため、玉石破砕時に期待される玉石同士の衝突破砕が困難となり、切羽前面による衝撃破砕のみの掘進管理を行う必要があった。摘出された巨石の一軸圧縮強さは、200MPa以上であり、当協会（超流バランスセミシールド協会）の設計基準⁹⁾を超えるものであった。写真-5に中間貫通立坑構築時の巨石摘出状況を写真-6に掘進中に掘削破砕された巨石片を示す。

そのため、掘進速度については、カッタービット磨耗の抑制のために、カッタートルク管理限界値を無負荷時の1.5～2.0倍程度とし高濃度泥水材の配合の調整を行いビットの延命に努めたが、それ以降も硬質地盤であったため、十分な日進量を確保することができなかった。そのため、ビット転送距離の増加に伴う、途中ビット交換が必要と判断された。

表-3 事前調査と施工結果から想定される推進対象土質と掘進速度の比較

事前調査によるボーリング結果				
推進区間 (m)	356			57
土質条件	玉石砂礫層			岩盤層
計画掘進速度(mm/min)	20～25			5
施工結果				
推進区間 (total,m)	50	99	248	15
土質条件	砂礫層	玉石層	巨石・玉石層	岩盤層
実績掘進速度(mm/min)	30	2～5	3	5

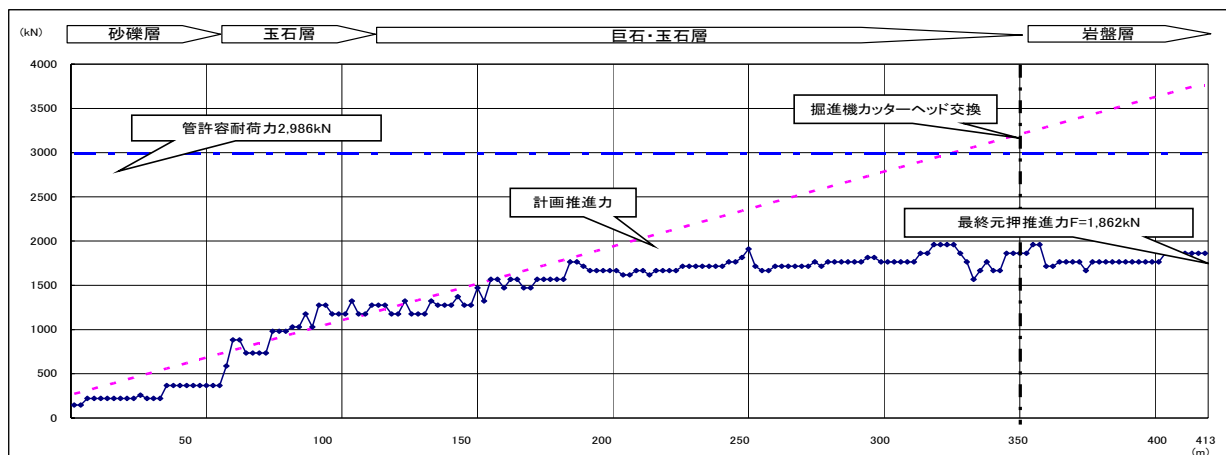


図-7 元押推進力グラフ



写真-5 中間貫通立坑構築時に摘出された巨石



写真-7 中間貫通立坑におけるカッタービット磨耗状況



写真-6 掘進中に掘削破碎された巨石片



写真-8 中間貫通立坑におけるカッタービット磨耗状況



写真-9 中間貫通立坑におけるカッタービット磨耗状況

表-4にビットライフの算定式を示す。この式に示すとおり平均掘進速度3.9mm/minで推進延長350mを掘進できたことから、従来の3倍以上の転送距離1,382kmが確保できたことを意味している。写真-7～9に発進から350m地点に設けられた中間貫通立坑におけるビット磨耗状況を示す。これらの写真に示す通り、想定以上の土質であったため、カッタービットの磨耗は著しく、一部ビットの欠損も確認された。そのため、カッターヘッドを交換し、掘進を再開し到達することができた。

表-4 ビットライフ算定式

算定式	転送距離＝掘進時間×（掘削外径× π ×回転数）	
	掘進時間＝推進延長／掘進速度	
	推進延長	350.00m
	掘削外周径	1.14m
	回転数	4.3rpm
	平均掘進速度	3.9mm/min
算定結果	掘進時間	89,743min
	転送距離	1,382km

6. まとめ

本報告では、昨今、推進工事に要求されつつある硬質地盤の施工について事例を紹介し検討を行った。推進工事の要である推進力の低減措置については、本工法の掘進機構や高濃度泥水注入システムなどにより十分な対応が可能であることが分かった。しかしながら、推進工法は、限られた事前のボーリング調査だけを頼りに施工検討しなければならず、本工事のような想定外の土質に遭遇する可能性が非常に高いため、余裕を持ったビットラ

イフの検討や掘進機の選定が必要となることが分かった。そのため、今後も施工計画の妥当性の確認と検討を十分に行っていく必要がある。

謝辞：今回の施工事例に関係する発注者、元請各社をはじめ、関係者の皆様方に多大な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する。

参考文献

- 1) 推進工法用設計積算要領「泥濃式推進工法編」 pp.217-229, 社団法人日本下水道管渠推進技術協会, 2006.
- 2) 松元文彦, 森田智, 島田英樹: 第 31 回「最近の推進工事にみる厳しさへの対応」 pp.28~39, 日本プロジェクトリサーチ, 2007.
- 3) 酒井栄治, 島田英樹: 第 27 回「推進工事の難条件下を克服した新技術とその施工実績」 pp.59~92, 日本プロジェクトリサーチ, 2003.
- 4) 時枝直人: 月刊推進技術「長距離・曲線推進を可能にする推力低減システムの動向 Part-1」 pp.17~25, 社団法人日本下水道管渠推進技術協会, 2005.
- 5) 泥濃式推進工法「超流バランスセミシールド工法」設計指針積算要領 平成 18 年度改訂版 超流セミシールド協会, 2006.

APPLICABILITY OF THE DEYNO-CRUSHING-PIPE-JACKING MACHINE FOR THE BIG COBBLE AND ROCK LAYER

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

DEINO-pipe-jacking method has superiority for low frictional force compared with other pipe-jacking method, so there are many construction sites adopted in this method. However these days, there are many cases that need to correspond severe soil conditions, so application to the big cobble and rock mass becomes large problems for the pipe-jacking method.

From the viewpoint of this situation, in this report, the actual conditions of the pipe-jacking in the big cobble and rock layer with DEINO-pipe-jacking machine were investigated and examined.