

密閉型ボックス掘進機の巨礫層への 適用性について

森田 智^{1*}・島田 英樹¹・笹岡 孝司¹・松井 紀久男¹・松元 文彦²・酒井 栄治²

¹九州大学大学院 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)

²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)

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

最近の地下非開削技術の進歩はめざましく、シールド工事においては、円形トンネルのみならず矩形を含む異型断面トンネルを構築することが可能となっている。一方で、小規模トンネル工事においては経済的な推進工法が主流となっているが、その推進工法においても矩形断面を掘削可能な工法が完成している。一方で推進工事を取り巻く現状は、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対応の厳しさが増大している。

本稿では、密閉型ボックス掘進機を使用して、巨礫を含む礫層を推進した際の推進状況および円形掘進機による推進との比較を行うことで、密閉型ボックス掘進機の適用性について検討を行った。

Key Words: pipe jacking method, rectangular pipe jacking machine, big cobble layer, machine mechanism

1. はじめに

最近では、地下鉄路線や共同溝などの構築において、矩形断面でのトンネル工事が増加する傾向となっており、それらに対応したシールド掘進機の開発が行われている。一方で、それらに比べて必要断面積の少ない雨水渠・水路等においては、比較的小規模なものが多く、シールド工法では不経済となる傾向があるため、推進工事にて対応されることが多くなっている。

現在では推進工法においても矩形断面の掘削を行い、ボックスカルバートの布設を行う工法の開発が行われ、実施工においても実績を挙げている。そのような中、円形推進における推進対象土質の変遷を見ると、施工箇所が地方都市や山間部へ移行するに従い、巨石層・岩盤層を対象とする推進工事が多くなってきており、今後は同様の傾向が矩形管列構築においても想定される。

本報では、密閉型ボックス掘進機を使用して巨礫を含む礫層を推進した実証実験の結果およびその適用性について検討を行った結果について報告する。

2. 推進工法について

推進工法のうち、密閉型推進工法は推進管の先端に切

羽圧力の制御機能や方向修正装置を装備した密閉型掘進機を先導体とし、操作性を保持しつつ、発進立坑に設置された元押しジャッキにより、推進力を順次推進管に伝達させながら掘進を行う工法である¹⁾。大中口径推進工法の分類を図-1に示す。

推進工法における最大の課題は推進力の低減すなわち管外周と地山との摩擦力の低減にある。推進工法では掘進機にて余掘りを行い、その部分に切羽添加材と地山を攪拌・混合したものおよび滑材を充満させることで、管渠と地山との接触を避け、摩擦を低減させている。

また、元押しジャッキの他に、推進管列の途中に中押しジャッキを予め設置し、これらを交互に作動させ推進力を分担させることで、推進距離を長くすることも可能である²⁾。図-2に推進工法概要図を示す。

3. 矩形推進工法について

(1) 掘削メカニズム

矩形推進の場合、隅角部を有するために、円形管のような放射状に泥水圧がバランスするのに対し、不均一なバランスとなり、安定性に欠ける問題がある。また、円形掘進の場合は、センター軸を中心に円運動しながら全断面を掘削することが可能であるが、矩形掘進の場合は、

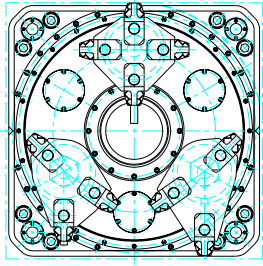


図-3 掘進機前面図

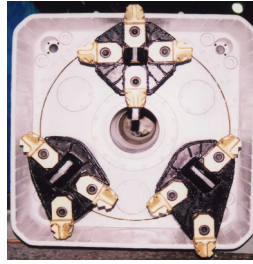


写真-1 掘進機前面写真

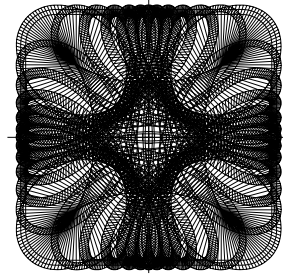


図-4 カッター軌跡図

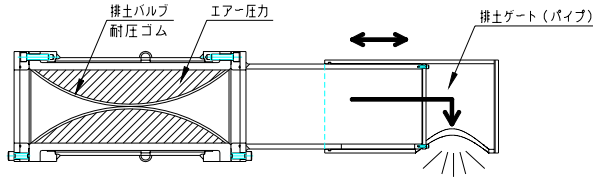


図-5 排土制御バルブおよびゲート図



写真-2 排土エアバルブ

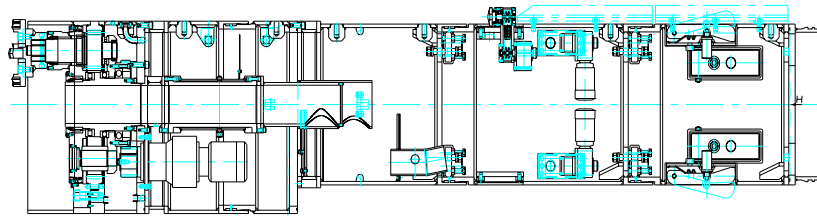


図-6 ボックス掘進機構造図

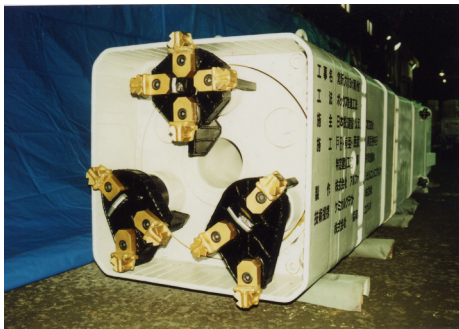
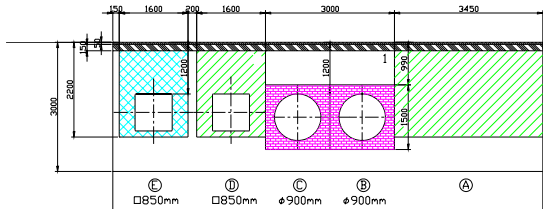


写真-3 ボックス掘進機全景



- A: 砂質土 (砂分90%) -----
- B, C: コンクリート (強度: 180kg/cm²) + 岩石 (花こう岩) ---
- B, C: コンクリート (強度: 500kg/cm²) ---
- D: 砂質土 (砂分90%) -----
- E: 砂質土 + スリ砕石 (粒径: φ400mm以下) --

図-7 実験施工断面図



写真-4 実験場全景



写真-5 密閉式小口径ボックス掘進機

(2) 実験内容

図-7 に示したような掘削実験地山（礫質土+ズリ 碎石（最大礫径=400mm））を構築し、密閉式小口径ボックス掘進機を用いて推進を行った。実験は、推進延長 L=24m、土被り H=1.2m（管外形×1.5）の低土かぶり条件で行い、施工に伴う地表面および地中変位量やテールボイド状況、掘進速度などの計測を行った。

(3) 実験結果

a) 地表面沈下量について⁴⁾

表-1 に地表面変位の記録を示す。地中変位は推進位置 5.0m 地点の巨礫掘削箇所において、-5mm と最大値を示した。その他、地表面変位や地中変位においては円形掘進機より変位量は少なく±0mm がほとんどで最大値は-3mm であった。また、切羽前方の加圧により生じる隆起は+2mm~+3mm であった。

推進工法では、図-8 に示すように、掘削機の前方には切羽圧による隆起が、掘進機通過直後には、切羽沈下~テールボイド~後続管~圧密沈下などが連続的に発生し、これらの挙動が重なり合うことによって地山の変位

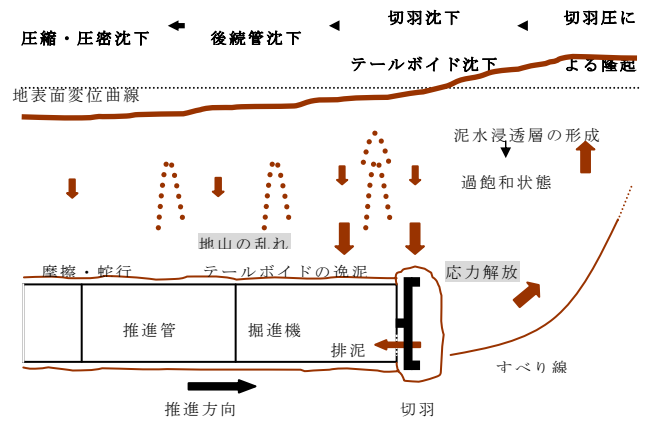


図-8 推進工法における地山の挙動³⁾

が生じるとされている。今回の試験においては、テールボイド沈下は、一時的な切羽前方の加圧が消滅した結果、収束して±0mm が多くなるという好結果が得られた。

b) テールボイド状況について

推進完了後、地表から推進管頂部まで開削を行い、テールボイド状況および泥水影響範囲について確認を行った。その状況について、写真6~写真9に示す。

この状況より、地山側の掘削断面は礫の影響により、砂層と比較して凹凸を持った形状となっていたが、テールボイドの性状は良好であり、低推進力の維持が保持可能な状況であった。この事から、多軸構造の掘進機カッターにより、高濃度泥水と地山との混合・攪拌が良好に行われている事を裏付ける結果となった。

一方で、泥水浸透影響範囲については、12~15cm となり、円形における 30cm の影響範囲と比較して大きな減少が見られた。これは、高濃度泥水の注入位置の違いもあるが、掘削機構として、早期に掘削外周部の泥膜形成が可能で、泥水成分の地山への浸透が抑制されたためと考えられる。

表-1 ボックス掘進機による地表変位量

測点	掘進長	3.0m	3.8m	4.8m	6.0m	7.0m	8.0m	9.0m	10.0m	10.9m	11.9m	12.8m	13.8m	14.8m	15.7m	16.2m	16.7m	20.1m
3	3.0m	1	2	0	2	2	2	2	3	3	2	2	1	0	1	0	2	-
4	4.0m	-1	-1	1	3	2	2	2	2	3	4	3	2	1	1	0	1	-
F'-1	5.0m	-	-	-	0	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-2	-1	-4	-3	-4	-4	-5
F-1 右	6.5m	0	0	0	2	1	1	1	2	2	1	0	0	-1	0	-1	0	-1
F-1 中		1	1	0	2	2	1	1	2	2	2	1	0	0	0	0	0	1
F-1 左	6.5m	0	-1	-1	2	2	2	2	1	1	1	1	1	-1	-1	0	0	0
F-2 右	8.5m	-	1	0	3	2	1	2	3	3	2	1	0	0	-1	0	0	0
F-2 中		-	1	0	2	1	1	1	2	2	1	0	-1	0	0	0	1	-1
F-2 左		-	1	1	3	2	2	4	3	3	2	1	1	0	1	1	1	0
F'-2	10.0m	-	-	-	0	-1	-1	-1	-1	0	-1	-2	-2	-3	-2	-1	-1	-3
F-3 右	11.5m	-	-	0	2	2	1	2	2	3	3	1	0	1	1	2	2	-1
F-3 中		-	-	0	3	2	1	2	2	3	3	2	0	2	1	1	1	0
F-3 左		-	-	0	2	1	1	1	2	1	1	2	1	1	1	1	0	0
F-4 右	13.5m	-	-	-	-	-	1	3	3	2	2	0	0	0	0	1	1	-
F-4 中		-	-	-	-	-	2	3	2	2	2	1	0	1	0	0	-1	-
F-4 左		-	-	-	-	-	2	4	3	3	2	1	0	2	2	3	3	-
F'-3	15.0m	-	-	-	-	-	-	-	0	1	1	-1	0	-1	-1	-1	-1	-2
F-5 右	16.5m	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	0	0	0	0	-1	0

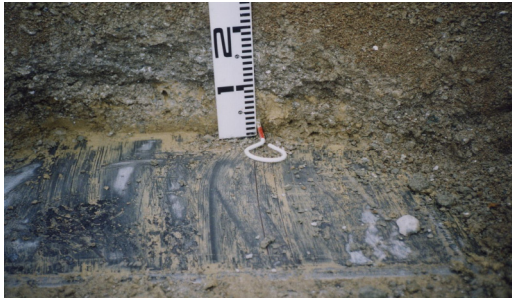


写真-6 テールボイド状況①



写真-7 テールボイド状況②



写真-8 泥水浸透範囲① : 12cm



写真-9 泥水浸透範囲② : 15cm

c) 掘進速度について

砂礫層掘進時のボックス掘進機と円形掘進機の掘進速度はそれぞれ 50~80mm/min, 30~50mm/min であり、平均すると 20%程度ボックス掘進機のほうが速くなった。これは、掘進機カッター構造の違いにより攪拌能力が向上したことで、掘削から排土までの時間が短くなることによるような結果につながったと考えられる。

5. おわりに

密閉型ボックス掘進機の巨礫への適用性を確認するために、実証実験工事を行い、結果として円形推進時あるいは砂層推進時と比較しても遜色無い結果を得ることができた。

しかし、今回の推進対象土質はあくまで人工の埋め戻し土による結果であり、実際の現場においては土質の性状・透水性・地下水位等の影響で今回のような状況とは異なることも十分考えられる。また、岩盤層などの硬質な土質に対してもその適用性を確認する必要があると考える。

先にも述べたとおり、今後は、施工箇所の方角・山間部への移行に伴い、上記のような土質への対応性が求められることが予想されている。これらの土質に対しても十分対応可能な掘進機構造を検討することが、今後の課題と考えている。

参考文献

- 1) 大中口径推進部会技術委員：「泥濃式推進工法編(案)」, 日推協, 1996.
- 2) 四本純一, 川合孝, 島田英樹, 松井紀久男：資源・素材 2003(宇部), 企画発表・一般発表 (A) (B)資料, pp.267-270, 2003
- 3) 吉田辰洋, 島田英樹, 森田智, 松元文彦, 酒井栄治：第15回非開削技術研究発表会論文集, pp.17-22, 2004.
- 4) 酒井栄治, 森田智, 島田英樹, 松井紀久男：JSTT・日本非開削技術協会「第14回非開削技術研究発表会 論文集」, pp.167-178, 2003.

APPLICABILITY OF RECTANGULAR PIPE JACKING MACHINE FOR BIG COBBLE LAYER

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

The progress of recent no-dig technology is remarkable and, not only the shield method but also pipe jacking method can construct the rectangular pipe line. On the other hand, the present soil conditions in pipe jacking construction is shifting from weak soil layer to the Japanese country special composition ground such as big cobble and rock layer.

This report shows the applicability of rectangular pipe jacking machine for big cobble layer which examined through the examination.