

小断面 TBM 工法におけるマシン拘束とその対応について

前田建設工業(株) 正会員 ○笠松 晃次 佐藤 芳宣 田邊 茂

1. はじめに

広島水道用水供給事業二期トンネル整備工事（海田～矢野工区）（以下、本工事とする）は、新設導水トンネルによる、呉市方面への送水ルート之二条化が目的である。本工事の特徴は、小断面 TBM(掘削径 ϕ 2.70m) による硬質な広島花崗岩を対象とした施工である。本稿では、2021 年 9 月に発生した地山によるマシン拘束、およびその対応について述べる。

2. 工事概要

施工場所：広島県安芸郡海田町東海田
～広島市安芸区矢野町

工事延長：4,492m（掘削径 ϕ 2700mm）

工法：TBM[Tunnel Boring Machine]工法

線形：縦断勾配：0.052%，最小曲率半径：R=200m

発進立坑(内径 ϕ 11m)：H=63.2m

地質：硬質の広島花崗岩質岩

ディスクカッター：ダイス鋼，15.5 インチ，N=19

カッターヘッド回転速度（最高）：12rpm

スラストジャッキ：推進ストローク（最長）1500mm，
総推力 4.704kN（1.176kN×4 組）

3. TBM 工法における掘削方法

TBM 工法による掘削は以下の手順にて行う

- ①後胴のグリッパジャッキ（以下、G）を張出して掘削後の坑壁側壁部に反力を取り、スラストジャッキ（以下、SJ）を伸ばすことで前胴を掘進させる
- ②前胴のフロントサイドサポート（以下、F）を張出して G と同様に反力を取り、SJ を縮めることで後胴を前進させる（以降、①、②）を繰り返す）

4. 地山によるマシン拘束

2021 年 9 月 1 日、掘削延長 3606.8m 地点にて、F を張出して SJ を縮めた際に前胴が後退（バックリング）する、あるいは SJ を縮められない状態となり、マシンを前進させることができなくなった（マシン拘束）。この時、マシン後方から坑壁の状態を観察したところ、5～11 時方向が CH～B 級、11～5 時方向が CL 級の地質（図 3 を参照）で大きく剥落し、剥落後の土砂がマシン胴体外側の 3～5 時方向に堆積していることが確認された。このことから、マシンが拘束さ

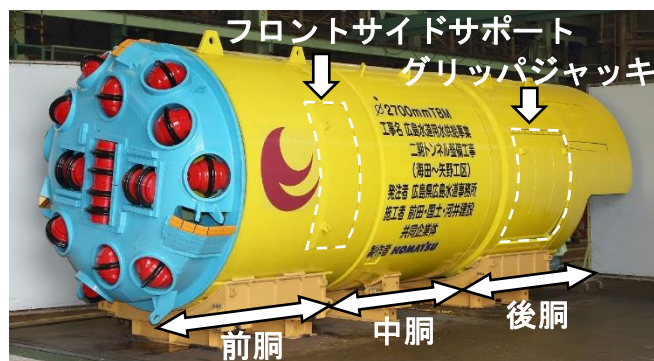


図 1 TBM 外観

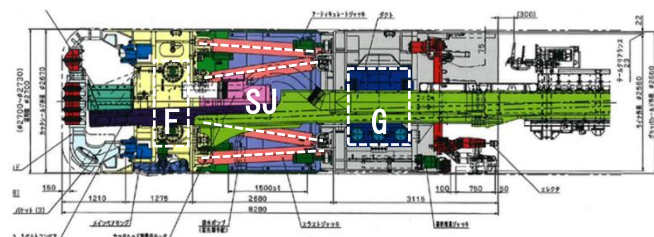


図 2 TBM 側面図

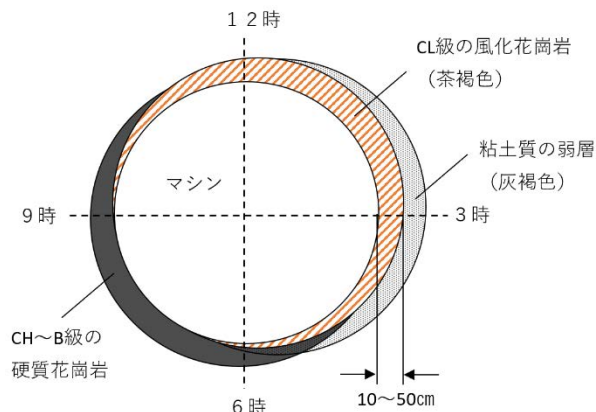


図 3 坑壁地質概略図（断面図）

れた原因として以下のことが挙げられる。

- ①堆積した土砂がマシン胴体の接続部に挟まり、SJ を縮める際の妨げになっている。
- ②堆積した土砂により後胴が 10～11 方向に押されることで前胴との折れが生じ、SJ に負荷を与えている。

キーワード TBM, 硬質花崗岩, 小断面, マシン拘束, バックリング, 反力

連絡先 〒730-0045 広島県安芸郡海田町東海田 前田・国土・河井共同企業体 TEL:082-562-2030

③11～5時方向の剥落が前胴まで続いており、Fの反力が十分に確保できない。

5. 実施した対策と結果

前述のマシン拘束の原因を考慮し、実施した対策とその結果を以下に示す。

①滑剤注入

マシンに設置されている注入口6か所（前胴・中胴・後胴で各2か所）より滑剤を200ℓずつ注入し、SJを縮めることを試みるも、明確な効果は見られなかった。

②Fの接地位置変更によるSJの全縮

前述の通り、マシン前胴と後胴との間に折れが生じている状態では、SJ伸縮時の負荷が大きくなるため、F（接地幅600mm）の反力をとる位置を変えることでSJの全縮を試みた。しかしながら11～5時方向の剥落箇所が連続しており、SJの全縮はできなかった。（SJ残ストローク：1200mm→700mm）

③補助推進シールドジャッキによる後胴の引込補助

マシン後胴にある補助推進シールドジャッキ（以下、A）全周6本のうち下側2本を使用し、SJを縮める際の補助にしたところ数百mm単位の引込効果が得られた。しかしながら、Aは本来セグメントから反力をとる想定のものであることから、ジャッキ速度を微調整できないことから、反力不足（反力にした枕木の座屈・レールの浮上がり）が著しく、継続使用を断念した。

④マシン前方（切羽側）からの右側面堆積土砂の除去

SJの全縮を試行するために前胴を下げたことで、切羽とマシン先端に1.2mの離隔ができていた。そこで、マシン先端からGの前端までにおける2～5時方向の土砂を除去し、マシンと地山の離隔を確保することでマシン胴体部の可動域を増やしSJの全縮を試みた。しかしながら、マシン底面の堆積土砂により全縮はできなかった（SJ残ストローク：600mm）

⑤マシン後退による堆積土砂の除去とSJの全縮

④において、堆積土砂がマシン底面部に残っていることが確認されたため、マシンを機体分以上後退し土砂を除去しながらSJの全縮を試みた。後退当初（2021/9/15～18）は200mm/方で、9/20以降は600～1000mm/方でマシンを後退し、9/23に切羽から10.2m後退しマシン底面の堆積土砂のほとんどを除去し、SJの全縮を完了した。マシン後退後、マシン前方の



図4 右側面堆積土砂の除去（切羽より撮影）

坑壁を確認したところ、切羽から4～5m後方の9～10時方向にL=600mm程の突起域（厚さ数十mm）が確認された。この突起域は掘削時および後退当初において、マシン胴体部に干渉していたと考えられる。

⑥マシン前進および再掘削

マシン前進は、以下の項目にしたがって実施した。

- 1) マシン底面の堆積土砂を取り込みながら前進する。
 - 2) Fの反力を確保するため、マシン前方から3～5時方向にファイバーモルタル吹付けを実施する。（反力不足の場合は重ね吹きを実施する）
 - 3) SJのストロークは300mmを上限値とし、全縮を確認する。
 - 4) 自動追尾測量によるマシン線形の確認、およびマシン前方からマシンと地山との離隔を確認する。
- 9/30に切羽の位置まで前進し、10/1より掘削を再開した。

6. 結論と今後の対応

今回のマシン拘束に至った主な原因を列挙する。

- ①坑壁の剥落箇所から発生した土砂がマシン底面および側面に堆積し、坑壁とマシンの離隔がなくなっていた。
- ②前胴と後胴との間に折れが生じていた（SJのストロークが長く伸びていた）。
- ③CL級の坑壁によりFの反力が確保できなかった。したがって、まずはCL級以下の坑壁（特に不均質な坑壁）の出現を予測するため、マシンデータおよび掘削ズリの観察を入念に行い、CL級以下の坑壁の出現が予想される場合には、SJのストローク上限値（500mm以内）を具体的に指示し、前胴と後胴の折れを抑制することで、SJの負荷を最小限に抑えることが重要である。

参考文献

- 1) 「TBMハンドブック」社団法人 日本トンネル技術協会 2000年2月