

帝都高速度交通営団 正会員 大塚 努
同 上 正会員 倉澤 勇雄

1. はじめに

営団地下鉄半蔵門線延伸工事は、現在営業中の渋谷～水天宮前間を北東部へ延伸するものである。工事区間のうち、全ての駅間トンネルには、シールド工法を採用している。このうち、泥水式シールド(φ9900：単軸式)を施工するA工区、泥土圧シールド(φ9600：偏心多軸式)を施工するB工区のシールド発進部土留壁にはNOMST壁を採用し、シールド機で土留壁を直接切削して発進した。

本稿は、形式の異なる大断面シールド2機がNOMST壁を切削した状況について報告するものである。

2. 各シールド機の特徴

A工区とB工区のシールド機の主な仕様等について表-1に示す。また、その特徴を以下にまとめる。

表-1 シールド機の主な仕様

工 区 名	A工区	B工区
トンネル種別	複線トンネル	複線トンネル
施工延長	1,285m	907m
掘進土層	沖積粘性土・洪積砂礫層	沖積粘性土層
シールド形式	泥水式シールド	泥土圧シールド
外径/機長	φ9,900/10.06m	φ9,600/8.16m
シールドジャッキ	総推力 84,000kN 3,000kN×28本	総推力 70,000kN 上半 2,000kN×14本 下半 3,000kN×14本
カッター回転方式	単軸式	偏心多軸式
カッター回転	常用 9,512kN・m 最大13,966kN・m	常用 3,283kN・m 最大 3,940kN・m
カッター回転数	0.518rpm	0.2～1.0rpm

(1)A工区

- ・NOMST壁切削時のカッタービットへの負担を軽減する目的で、大型の先行ビットを取り付けた。先行ビットとの高低差は、NOMST芯材径も考慮して35mmとした。
- ・カッタービット摩耗時の対応として、バルクヘッド内側からチャンバー内泥水圧を低下させることなくビットが交換できるリレービットを採用した。

(2)B工区

- ・4つの駆動軸に、カッターフレームを偏心させて取付け回転させる偏心多軸式機構を採用し、1ユニットあたりの駆動部装置の小型化、出力レベルの低減を計った。
- ・カッター支持方式は、NOMST壁切削時の支持部の強度を確保するため、回転ドラム式とした。
- ・回転半径は、シールド外周部をビットが必ず通過すること、余掘量を少なくすることから、0.5mとし、同時裏込め注入装置部の突起部分を切削するビットも併せて配置した。
- ・常用とNOMST壁切削用の2系統のシールドジャッキパワーユニットを装備して、NOMST壁切削時の振動・騒音防止対策。

3. NOMST壁切削時の掘進管理値の考え方

NOMST壁に使用した炭素繊維(CFRPロッド)は、主筋としてロッド式φ30とφ25を使用している。また、コンクリートは、カッタービットでの切削性を考慮し粗骨材に石灰碎石を用いた($\sigma_{sk}=70\text{N}/\text{mm}^2$)。

切削時のジャッキスピードは、NOMST壁の確実な切削と振動・騒音防止、切削ガラのおお割れによる閉塞防止のため、A工区で0.5～1.0mm/min、B工区で0.4mm/minとした。掘進速度は、カッタートルクを監視しながら調整することとした。

ジャッキ推力は、仮組セグメント(推力の反力受け)の欠損防止等の制限を考慮しても、30,000kN程度までは許容範囲内であるが、ジャッキスピードを抑えているため小さくなることが想定される。

カッタートルクは、過大なトルクによるマシンへの過負荷を避けるため、A工区では、常用トルクの50%
キーワード：シールド工事、NOMST壁、掘進管理

連絡先：〒130-0022 東京都墨田区江東橋4-1-3 TEL 03-3634-2650 FAX 03-3634-2767

を管理値とした(計画トルク4,600kN・m)。B工区では、偏心多軸式によるNOMST壁切削時のマシン首振りが懸念されたため、マシンぶれ止め用鋼材を設置し、マシンの動きと鋼材に発生するひずみを計測しながら切削することにした。また、ぶれ止め用鋼材は立坑構築に反力をとるため、構築への影響を考慮してトルクの管理値を1,300(kN・m)に制限して切削を開始することにした(計画トルク2,800kN・m)。

4. NOMST壁の切削施工結果

2機のシールドがNOMST壁を切削した時の、掘進速度、カッター回転数、カッタートルク等について、表-2にまとめる。A工区、B工区とも順調にNOMST壁を切削することができた。

NOMST壁の切削ガラは、土砂圧送管閉塞防止のために設けたスリット部の排泥圧を監視しながら、適宜、除去した。除去作業は、NOMST壁切削開始後2日程度から切削終了後2日程度まで、1日平均5～7回程度であった。除去された切削ガラを図-2に示す。

A工区では、掘進速度1.0mm/minで切削を開始したが、多少の振動・騒音が発生したため、3日目より掘進速度を0.5mm/minに下げ、振動・騒音を抑止した。

NOMST壁切削時平均カッタートルクは、単軸式で4,400kN・m、偏心多軸式で2,700kN・mであり、ほぼ計画トルクに等しい値で切削できた。また、この時の消費電力は、単軸式で220kw(電動駆動方式)、偏心多軸式で270kw(油圧駆動方式)と偏心多軸式の方が大きかった。これは、モーターの出力が回転速度に比例する要因によるものと考えられる。

現在掘進中の中積粘性土層でのカッタートルクは、単軸式で1,600～2,000kN・m、偏心多軸式で800～1,400kN・mであり、トルク比率はNOMST壁切削時とほぼ同様の傾向を示している。偏心多軸式で最初に設定した1,300kN・mでは、トルク不足による回転停止が多く発生したが、懸念されていたマシンの首振りは確認されなかったので、段階的にカッタートルクをあげてゆき、2,736kN・mにおける切削では、回転停止は発生しなかった。このときのマシンの動きは、ぶれ止め用鋼材設置の効果もあり、左右方向で15mm、上下方向で2mm程度と微量な動きであった。カッター位置の動きとマシンの動きの関係についてグラフ化したものを図-3に示す。

また、単軸式シールドのカッタートルク係数 α は、トルク T とシールド外径 D の3乗比で表される。これに対して、偏心多軸式シールドのカッタートルク T は、 $T=\beta\cdot r\cdot D^2$ で表すことができる。ここで、 β ：偏心多軸シールド機のトルク係数、 r ：カッター回転半径(m)、 T ：カッタートルク(tf・m)、 D ：シールド外径(m)。今回のNOMST壁切削実績から算定すると、単軸式で $\alpha=4.5$ 、偏心多軸式で $\beta=59$ である。参考までに、これまでの施工事例を調査すると、単軸式 $\alpha=3\sim5$ 、偏心多軸式 $\beta=50\sim70$ であり、本実績もこれらに準ずる結果となっている。

5. おわりに

2機のシールドは、現在、地山を掘進中である。単軸式では先行ビットの取付によるNOMST壁切削性向上の効果、偏心多軸式では、ぶれ止め防止鋼材の設置および計測管理を併用により、順調にNOMST壁を切削することができた。

表-2 NOMST切削に関するデータ

工 区 名	A工区	B工区
掘進速度	0.5～1.0mm/min	0.4mm/min
切削日数	4日	7日
ジャッキ推力	13,000～24,000kN	6,800～16,000kN
カッタートルク	2,600～4,460kN・m	1,300～2,736kN・m
カッター回転数	0.5rpm	1.0～1.4rpm

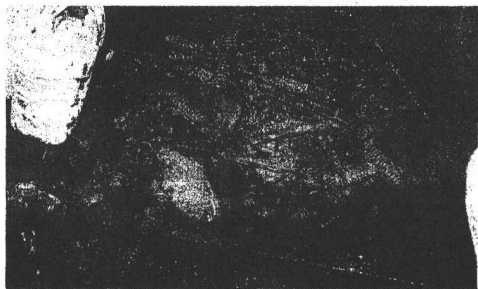


図-2 除去されたNOMST壁切削ガラ写真

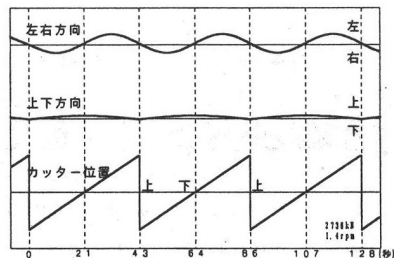


図-3 カッター位置とマシンの動き

おける切削では、回転停止は発生しなかった。このときのマシンの動きは、ぶれ止め用鋼材設置の効果もあり、左右方向で15mm、上下方向で2mm程度と微量な動きであった。カッター位置の動きとマシンの動きの関係についてグラフ化したものを図-3に示す。

また、単軸式シールドのカッタートルク係数 α は、トルク T とシールド外径 D の3乗比で表される。これに対して、偏心多軸式シールドのカッタートルク T は、 $T=\beta\cdot r\cdot D^2$ で表すことができる。ここで、 β ：偏心多軸シールド機のトルク係数、 r ：カッター回転半径(m)、 T ：カッタートルク(tf・m)、 D ：シールド外径(m)。今回のNOMST壁切削実績から算定すると、単軸式で $\alpha=4.5$ 、偏心多軸式で $\beta=59$ である。参考までに、これまでの施工事例を調査すると、単軸式 $\alpha=3\sim5$ 、偏心多軸式 $\beta=50\sim70$ であり、本実績もこれらに準ずる結果となっている。

5. おわりに

2機のシールドは、現在、地山を掘進中である。単軸式では先行ビットの取付によるNOMST壁切削性向上の効果、偏心多軸式では、ぶれ止め防止鋼材の設置および計測管理を併用により、順調にNOMST壁を切削することができた。