

電力低減と高速施工を両立した省エネシールドの開発

(株)大林組 正会員 足立 邦靖 正会員 阪本 公明
 正会員 ○山本 裕三
 三菱重工メカトロシステムズ(株) 杉山 雅彦

1. はじめに

近年、地下構造物が輻輳する大都市圏では、高速道路（高規格道路）や鉄道の地下化による交通網の整備が計画されており、シールド工法のさらなる大断面化（直径 16m 級）や高速掘進のニーズが高まっている。その一方で、原発事故や環境問題でシールド機の動力源である電力の供給不足が問題となっている。

これらの相反する課題を解決するため、カッター駆動方式を従来の単一駆動方式に替えて二重カッター方式を採用することにより、大断面シールドの消費電力低減と高速施工の両立に成功した。本稿では、大林組と三菱重工メカトロシステムズが共同で開発した「省エネシールド」の概要について報告する。

2. 従来工法（単一駆動方式）と省エネシールド（二重カッター方式）の比較

2.1 従来工法（単一駆動方式）の問題点

単一駆動方式(図-1)は、シールド機前面のカッターヘッドをシールド機本体からシャフトなどで支持し、単一でカッターヘッドを回転させ掘削する方式である。本方式は、大断面シールドにおいて以下に示す問題があった。

- ① カッターヘッド内周部と外周部で極端な周速度（カッターの移動距離）の差が生じ、周速度が遅い内周部土砂の切削性や流動性が低下する。
- ② カッターヘッドのスポークは、カッターヘッド中心から放射状に配置されるため、内周部ではカッタースポークの間隔が狭くなる。そのため、内周部の開口率が 30% 程度に低下し、掘削土砂の取り込み効率が低下する。

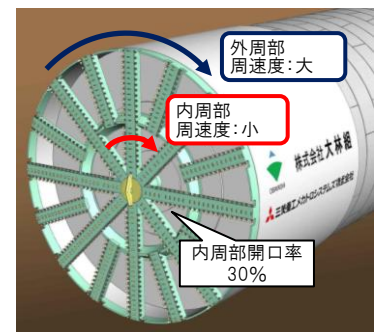


図-1 単一駆動方式

2.2 省エネシールド（二重カッター方式）の特長

二重カッター方式(図-2)は、シールド機前面のカッターヘッドを内周部と外周部に分割し、それぞれが独立して駆動することにより、カッターヘッドを回転させ掘削する方式である。省エネシールドの特長を以下に示す。

(1) 最適な周速度の設定による消費電力量の低減

内周部と外周部のカッターヘッドを独立駆動させることができるため、カッター周速度を最適化できる。これまで内周部の周速度から設定していた外周部の回転数が抑えられ、消費電力量の大幅な低減が可能となる。

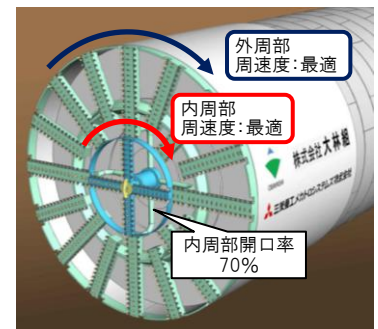


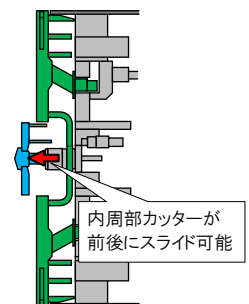
図-2 二重カッター方式

(2) ビットの切込み量減少および芯抜き効果による掘進速度の向上

内外周部の周速度をそれぞれ最適化することにより、内周部ビットの切込み量を減少でき、ビットにかかる負荷を低減できる。また、内周部カッターヘッドは、油圧ジャッキにより前後に可動する構造(図-3)で、掘進時は内周部の芯抜き効果により、カッタートルクが低減する。これらにより掘進速度が向上し、高速掘進が可能となる。

(3) 内周部の開口率向上および駆動部のトラブル防止による掘削稼働率の向上

カッターヘッド中心部の開口率を 70% 程度まで向上できるため、カッターヘッド中心部への土砂の付着を防止できる。また、内周部カッターを油圧制御することで、想定外の力による損傷のリスクを低減し、トラブルを回避できる。

図-3 内周部カッター
スライド機構

キーワード シールド, 大断面, 省エネルギー, 高速施工, 二重カッター, 流動化解析

連絡先 〒108-8502 東京都港区港南 2 丁目 1 5 番 2 号 (株)大林組 TEL 03-5769-1318

3. 内周部の掘削土砂流動性の検証

単一駆動方式では、大断面シールド機のカッター中心部は大型スポークの過密化により開口率が小さくなることに加え、中心部の周速度が遅いため、掘削土砂の取り込み効率や攪拌能力が不足していた。二重カッター方式の採用により、大きな開口率を確保するとともに、カッターヘッドの周速度を最適化することで、攪拌能力がより向上し、掘削土砂の流動性を高めることができる。

二重カッター方式は以前から考案されていたが、機構が複雑になることや、回転速度が異なるカッターにより切削および攪拌される掘削土砂の流動性を解明できなかったことから、これまで実現されていなかった。そこで本開発では、カッター駆動部の構造をコンパクト化するとともに、当社保有技術の「流動化解析技術」を用いて掘削土砂の流動状態を検証した。解析条件は、掘削外径φ16mのシールド掘削を想定し、単一駆動方式では外周部カッターの周速度を25m/分、二重カッター方式では内周部・外周部カッターの周速度をそれぞれ25m/分に設定した。

流動化解析は、チャンバー内土砂のずり速度（ひずみを与える時間的変化の大小を示す数値）を算出することで、チャンバー内土砂の塑性流動性を判断する技術である（図-4）。

図-5に単一駆動方式、図-6に二重カッター方式のチャンバー内の掘削土砂のずり速度結果を示す。外周部は、単一駆動方式と二重カッター方式でスポークの本数が同じであり、カッターの回転数も同じであるため、ずり速度の違いはあまりみられない。しかし、二重カッター方式により、内周部のずり速度が明らかに向上することが検証できた。

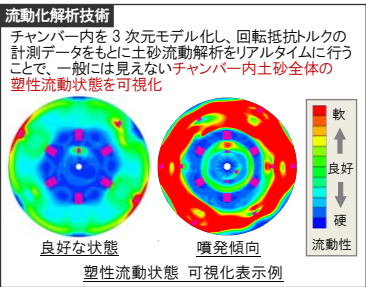


図-4 流動化解析技術概要

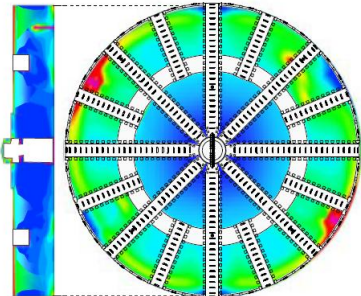


図-5 単一駆動方式の流動化解析

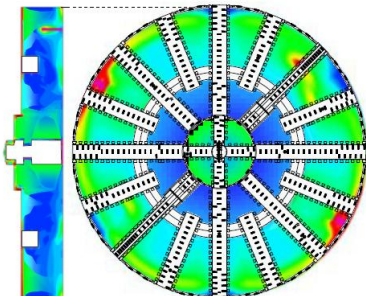


図-6 二重カッター方式の流動化解析

4. 消費電力量の試算例

従来工法（単一駆動方式）と省エネシールド（二重カッター方式）で掘削した場合の消費電力試算例を表-1に示す。

表-1 消費電力比較表(シールド外径φ16m 距離8kmで試算)

項目		単一駆動方式	省エネシールド	
掘進速度（比率）		30mm/min (1.00)	37.5mm/min (1.25)	25%向上
外周速度[切込み量]		30m/分[6.3mm(8pass)]	25m/分[9.5mm(8pass)]	
内周速度[切込み量]		7.5m/分[25.2mm(2pass)]	25m/分[9.4mm(2pass)]	
装備電力（比率）	カッター系	4,850kw (1.00)	3,870kw (0.80)	
	シールド機	6,460kw (1.00)	5,480kw (0.85)	
消費電力（比率）		21,169(千)kwh (1.00)	14,466(千)kwh (0.68)	30%低減

二重カッターによる最適な周速度での掘削および内周部カッタースライド機構による掘削時の芯抜き効果により、掘削速度は単一駆動方式の1.25倍となる。また、電気使用量は単一駆動方式の約0.7倍となり、大幅な消費電力の低減が可能となる。

5. おわりに

省エネシールドは、装備電力の低減や、掘進速度・掘削稼働率向上による電気使用期間の短縮により、消費電力量を約30%低減（一般家庭の約22,000世帯の月間消費電力量相当を節約）できる。

今後は本開発が、低炭素社会へ向けた取り組みの一環やコスト削減につながれば幸いである。

参考文献・中村哲：土木施工2014年1月号「省エネシールド—大断面シールドの消費電力低減と高速施工—」