

消費電力を低減する二重カッター方式を採用したシールド機の模擬実験 (2)

(株)大林組 正会員 ○日野 義嗣 正会員 上田 潤
正会員 山下 健司 正会員 金 淨晃

1. はじめに

大断面シールド工事では、シールド機の稼働に膨大な電力が必要であり、その70%がカッター駆動に要する。そこで、カッターヘッドの外周部と内周部が独立して駆動する二重カッター方式により、それぞれのカッター回転速度の最適化を図ることで省電力化を実現するシールド工法(以下、省エネシールド)を開発した。本稿では、二重カッター方式の最も効率的なカッター回転速度の組み合わせについて検証するために、模擬実験機を用いて実施した切削試験のうち、硬質粘性土を想定した実験結果について報告する。

2. 実験概要

実験機は、外周部カッター径：φ2,000mm、内周部カッター径：φ500mmとし、内周部カッターと外周部カッターは段差配置(38mm)とした(図-1)。実験機でのカッター切削時の切込み量(シールド機が掘進し、カッターヘッドが1回転する間に、1個のカッタービットが地山に切り込む深さ)を大断面シールド工事(φ16m相当)と同等とし、想定した切込み量の中から3種類(最大値、最小値およびその中間値)を選定し、それらをもとに実験機のカッター回転速度を決定した(表-1)。地盤は、硬質粘性土(強度：2.0N/mm²)を想定し、空洞充填材にて模擬した。

表-1 実験ケース

No.	掘進速度 (mm/分)	カッター回転速度(rpm)		切込み量(mm)			
		外周部	内周部	外周部		内周部	
				外周側	内周側	外周側	内周側
①	12	0.35	0.86	8.6	17.1	7.0	14.0
②	12	0.35	1.02	8.6	17.1	5.9	11.8
③	12	0.35	1.28	8.6	17.1	4.7	9.4
④	12	0.46	0.86	6.5	13.0	7.0	14.0
⑤	12	0.46	1.02	6.5	13.0	5.9	11.8
⑥	12	0.46	1.28	6.5	13.0	4.7	9.4
⑦	12	0.70	0.86	4.3	8.6	7.0	14.0
⑧	12	0.70	1.02	4.3	8.6	5.9	11.8
⑨	12	0.70	1.28	4.3	8.6	4.7	9.4

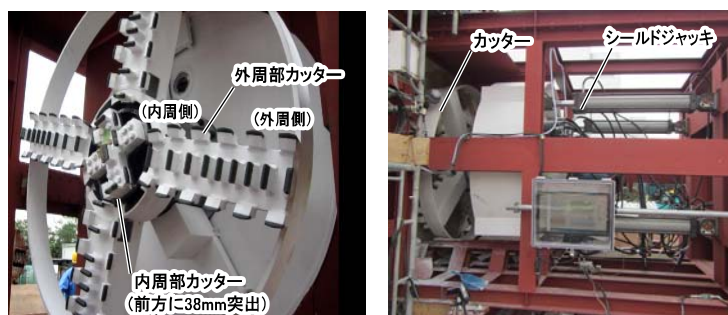


図-1 実験装置

3. 実験結果

外周部カッター切削開始後から切削完了までの区間長450mmの掘進データについて考察する。切削完了後の模擬地盤を図-2に示す。

(1) カッタートルク

実掘進速度および実カッター回転速度から算出した実切込み量を表-2に示す。また、外周部カッターおよび内周部カッターについて、カッタートルクと実切込み量の関係を図-3に示す。外周部カッターの切込み量が最も大きいグループであるケース①～③が最もカッタートルクが

表-2 実切込み量

		①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	
実カッター回 転速度 (rpm)	外周部	0.35	0.32	0.36	0.47	0.44	0.44	0.69	0.71	0.71	
	内周部	0.85	1.02	1.28	0.85	1.02	1.28	0.85	1.02	1.28	
実掘進速度(mm/分)		11.6	11.6	11.7	12.3	12.9	12.4	12.2	12.1	12.2	
実切込み量 (mm)	外周部	外周側	8.4	9.1	8.2	6.5	7.4	7.0	4.4	4.2	4.3
		内周側	16.8	18.1	16.4	13.1	14.8	14.1	8.8	8.5	8.5
	内周部	外周側	6.8	5.7	4.6	7.2	6.3	4.8	7.1	6.0	4.7
		内周側	13.6	11.4	9.1	14.4	12.7	9.7	14.3	11.9	9.5



図-2 切削完了後の模擬地盤

キーワード 省エネシールド, 二重カッター方式, 大断面シールド, 切込み量

連絡先 〒108-8502 東京都港区港南 2-15-2 品川インターシティ B 棟 (株)大林組 TEL : 03-5769-1318

大きい。なお、この時の切込み量は外周部カッターの内周側が最も大きく、18mm 程度であった。また、内周部カッターについては、外周部カッターほどカッタートルクに顕著な差は出ていないものの、切込み量が小さいほど、カッタートルクも小さくなる傾向が確認できる。なお、内周部カッターの切込み量の違いによる外周部カッタートルクへの影響は確認されなかった。

(2) 推力

推力と実切込み量のグラフを図-4 に示す。外周部カッターの切込み量が小さいほど、推力も小さくなり、外周部カッターの切込み量が最も小さいケース⑦～⑨のグループの推力が最も小さい。なお、内周部カッターの切込み量の違いによる推力への影響は、明確に確認できなかった。

(3) 消費電力量

外周部カッター、内周部カッター、およびシールドジャッキに関して、カッター回転速度、掘進速度、および各種パワーユニットのポンプ圧力をもとに算出した消費電力量と実切込み量のグラフを図-5 に示す。消費電力のうち、外周部カッターによるものが 90%以上であり、大部分を占めていた。

ケース⑦～⑨は、外周部カッターの切込み量が最も小さいケースであり、カッタートルク、推力ともに最も小さいグループであったが、消費電力量は最も大きい結果となった。これは、切削抵抗や推進時の負荷低減にともない地盤の切削やシールド機の推進に必要な電力量は低減されるものの、カッター回転速度の増加にともない、油圧ポンプの稼働が増大し、電力量が増加したことが要因と考える。今回の実験では、最も消費電力が小さいケースに比べ、約 2 割の差が生じた(表-3)。

以上より、回転速度が小さく、切込み量が多い場合、カッタートルクや推力により機械負荷が増加し、反対に、回転速度が大きく、切込み量が少ない場合は、油圧ポンプの稼働増大により消費電力が増加することから、適切な切込み量で掘削することが機械負荷や消費電力を低減するために重要であると考えられる。外周部カッターおよび内周部カッターの回転速度について、それぞれ外周側・内周側とも切込み量が概ね 10mm 程度となる回転速度の組み合わせが効率的であると考えられる。

4. おわりに

硬質粘性土を模擬した地盤での切削実験において、適切な切込み量で掘削することにより、消費電力が小さくなることが分かった。今後、硬質砂質土を想定した地盤にて実験を行い、土質の違いによる影響の有無についても検証する予定である。また、実工事において、切羽圧力やチャンバー内土砂の攪拌抵抗が作用する状況下での省エネシールドの有用性についても検証する予定である。

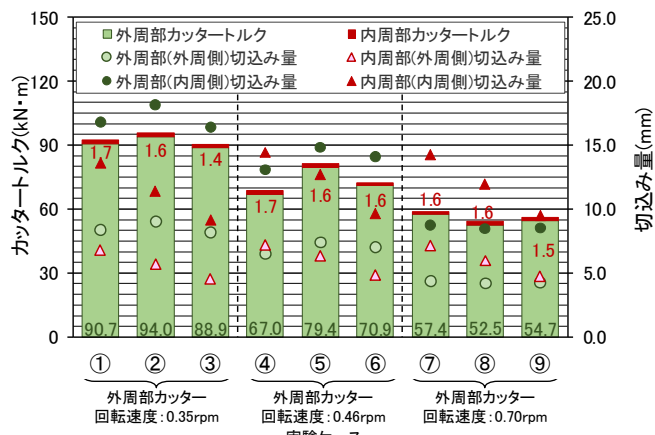


図-3 カッタートルクと実切込み量

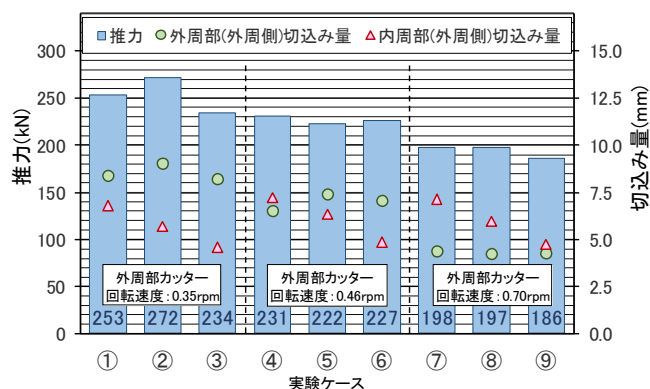


図-4 推力と実切込み量

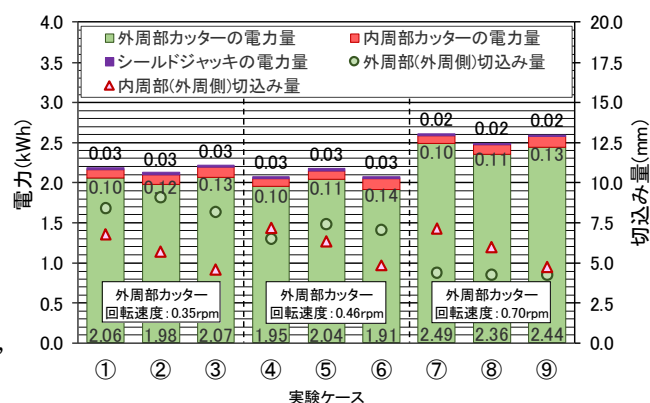


図-5 消費電力量と実切込み量

表-3 消費電力量の比較

	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
外周部カッターの平均切込み量(mm)	12.9	13.9	12.6	10.0	11.4	10.8	6.7	6.5	6.5
消費電力量の合計(kWh)	2.19	2.13	2.23	2.08	2.18	2.08	2.61	2.50	2.59
比率※1	0.84	0.81	0.85	0.80	0.83	0.80	1.00	0.96	0.99

※1 消費電力が最も多いケース⑦を1とした場合の比率