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結果（その３）

(株)大林組　正会員　○真鍋　晃一　正会員　日野　義嗣
正会員　上田　潤　正会員　山下　健司

１．はじめに

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(省エネシールド)を開発した．既往の切削実験[1)]では，粘性土に対する二重カッター方式の効率的なカッター回転速度を検証した．本稿は，砂質土に対する効率的なカッター回転速度と単一駆動方式に対する二重カッター方式の効果を検証するために実施した切削実験結果を報告する．

２．実験概要

実験機は，外周部カッター径：φ2,000㎜，内周部カッター径：φ500㎜とし，内周部カッターと外周部カッターは段差配置（内周部カッターを突出）とした(**図-1**)．実験機の切込み量を大断面シールド(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**)．地盤は硬質な砂質土を想定し，流動化処理土（設定強度2.0N/mm^2）により模擬した．

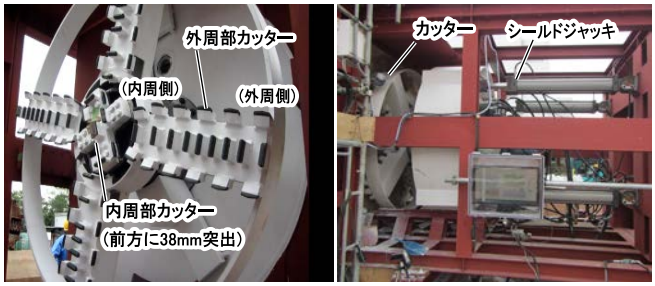

図-1　実験装置

表-1　実験ケース

カッター駆動方式			二重									単一※3	
実験ケース番号	粘性土地盤※2		N①	N②	N③	N④	N⑤	N⑥	N⑦	N⑧	N⑨	－	－
	砂質土地盤		S①	S②	S③	S④	S⑤	S⑥	S⑦	S⑧	S⑨	S⑩	S⑪
スライド機構(段差)			あり									なし	
切込み量※1 (mm)	外周部カッター	外周側	8.6			6.5			4.3			6.5	2.9
		内周側	17.1			13.0			8.6			13.0	5.9
	内周部カッター	外周側	7.0	5.9	4.7	7.0	5.9	4.7	7.0	5.9	4.7	13.0	5.9
		内周側	14.0	11.8	9.4	14.0	11.8	9.4	14.0	11.8	9.4	26.1	11.8
回転速度 (rpm)	外周部		0.35			0.46			0.70			0.46	1.02
	内周部		0.86	1.02	1.28	0.86	1.02	1.28	0.86	1.02	1.28	0.46	1.02

※1: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個のビットが地山に切り込む深さ
※2:既往の実験ケース　※3:内周・外周カッターを接続して，単一駆動を再現

３．実験結果

粘性土の切削実験では，内周部カッターの回転速度の違いによるカッタートルク，推力，消費電力量への影響は少なかった．そして，砂質土の実験結果については，外周部カッターの回転速度が同じケースで，カッタートルク，推力，および消費電力量を平均化して考察する(**図-2～図-4**)．

（１）砂質土地盤の結果

カッタートルクは，粘性土と同様に，カッター回転速度が速いほど小さい．また，どのケースでもカッタートルクは砂質土の方が小さく，村山・畠の実験式[2)]で算出した切削抵抗によるカッタートルクと同様の傾向であった．

消費電力量は，粘性土と同様にケース⑦～⑨の外周部カッター回転速度が最速のケースが最大であり，ケース④～⑥が最小である．これは，カッター回転速度の増加により切削抵抗が低減されても油圧ポンプの稼働が増加し，消費電力量が増加したためと考えられる．つまり，適切な切込み量で掘削することが，消費電力量を低減するために重要

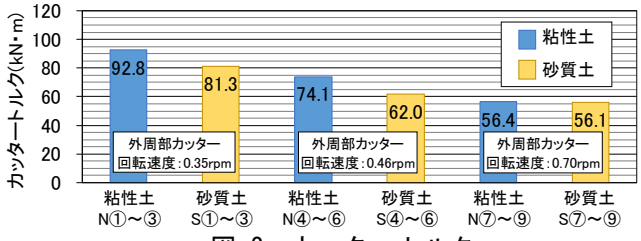

図-2　カッタートルク

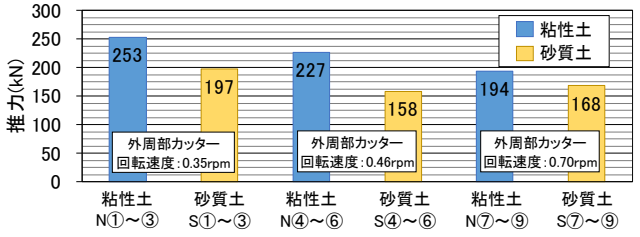

図-3　推力

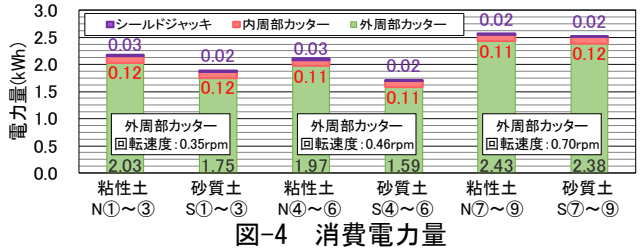

図-4　消費電力量

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　㈱大林組　TEL：03-5769-1318

と考える．ケース④～⑥にて，平均消費電力量が最小であったため，地盤の違いによらず外周部・内周部カッターの回転速度は，それぞれ切込み量が概ね10mm程度となる組み合せが効率的であった（表-2）．

（２）単一駆動方式と二重カッター方式の比較

平均切込み量が10mm程度となる二重カッター方式のケースS⑤を基準に，単一駆動方式で外周部の回転速度を合わせた場合のケースS⑩と内周部回転速度を合わせた場合のケースS⑪をそれぞれ比較し，二重カッター方式の効果を検証する．

a) 外周部のカッター回転速度を合わせたケース

カッタートルクと推力の結果を図-5に示す．二重カッター方式では，カッタートルクは28%，推力は33%低減されている．これは，二重カッター方式では単一駆動方式よりも内周部カッターの回転が速く，機械負荷が低減したためと考えられる．単一駆動方式の内周部カッター平均切込み量23.1mmに対して二重カッター方式は10.5mmと小さく，約1/2倍であった．

消費電力量の結果を表-3に示す．消費電力量は，二重カッター方式の方が小さく，単一駆動方式の70.5%であった．これは，単一駆動方式の内周部カッターの回転速度が必要以上に遅く，切込み量が大きくなったことで機械負荷が増大し，消費電力量が増加したと考えられる．

b) 内周部のカッター回転速度を合わせたケース

カッタートルクと推力の結果を図-6に示す．単一駆動方式の方がカッタートルク，推力は小さい．これは，内周部が最適となる回転速度をもとに単一駆動方式の回転速度を設定すると，単一駆動方式の外周部カッターの回転速度が必要以上に早くなり，機械負荷が低減されたためと考えられる．二重カッター方式の外周部カッター平均切込み量10.6mmに対して単一駆動方式は4.2mmと小さく，約1/2倍であった．

消費電力量の結果を表-4に示す．消費電力量は，二重カッター方式が小さく，単一駆動方式の73.3%であった．これは，単一駆動方式の外周部カッターの回転速度が必要以上に早く，油圧ポンプの稼働が増大し，消費電力量が増加したと考えられる．

以上より，二重カッター方式により，外周部および内周部の回転速度を適切に設定できるため，消費電力量を低減できることが確認できた．

表-2　平均切込み量と消費電力量

粘性土地盤	N①	N②	N③	N④	N⑤	N⑥	N⑦	N⑧	N⑨
平均切込み量（外周）(mm)	12.6	13.6	12.3	9.8	11.1	10.6	6.6	6.4	6.4
平均切込み量（内周）(mm)	11.9	10.0	8.0	12.6	11.1	8.4	12.5	10.4	8.3
平均消費電力量(kWh)	2.18			2.11			2.57		
比率※1	0.85			0.82			1.00		
砂質土地盤	S①	S②	S③	S④	S⑤	S⑥	S⑦	S⑧	S⑨
平均切込み量（外周）(mm)	13.0	12.7	13.4	11.8	10.6	10.4	6.5	6.1	6.8
平均切込み量（内周）(mm)	11.9	10.0	7.9	13.9	10.5	8.3	12.5	10.4	8.7
平均消費電力量(kWh)	1.90			1.71			2.53		
比率※1	0.75			0.68			1.00		

※1　消費電力量が最も多いケース⑦～⑨を1とした場合の比率

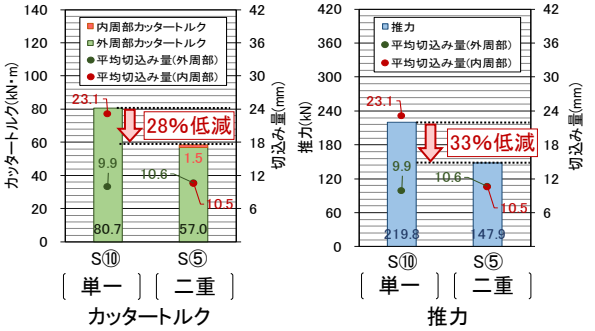

図-5　カッタートルク，推力(外周部回転速度合わせ)

表-3　消費電力量(外周部回転速度合わせ)

		S⑩(単一)	S⑤(二重)
カッター回転速度 (rpm)	外周部	0.46	0.46
	内周部	0.46	1.02
消費電力量 (kWh)	合計	**2.356**	**1.662**
	比率	**100.0%**	**70.5%**

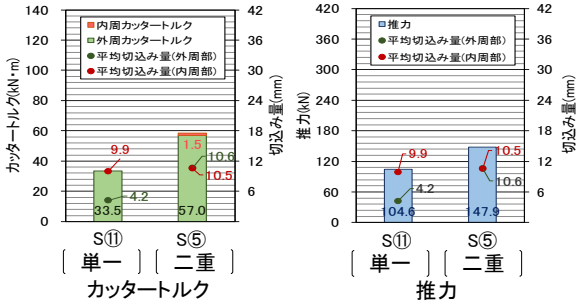

図-6　カッタートルク，推力(内周部回転速度合わせ)

表-4　消費電力量(内周部回転速度合わせ)

		S⑪(単一)	S⑤(二重)
カッター回転速度 (rpm)	外周部	1.02	0.46
	内周部	1.02	1.02
消費電力量 (kWh)	合計	**2.268**	**1.662**
	比率	**100.0%**	**73.3%**

４．おわりに

今回の砂質土の結果より，砂質土でも適切な切込み量で掘削することで，消費電力量を小さくできることが分かった．また，単一駆動方式との比較により二重カッター方式の効果を検証できた．今後は，実工事にて，地盤の切削抵抗とチャンバー内の土砂攪伴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検証する予定である．

【参考文献】

1) 日野・上田・山下・金，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)，土木学会第72回年術講演会，VI-330，pp. 659-660，2017年9月

2) 村山・畠，土の切削抵抗について，土木学会誌 40巻 第3号，pp. 10-16，1955年3月