

VI-223

シールドマシンのカッタービット摩耗要因分析についての一考察

東京電力 地中線建設所 正会員 米田 治
同 上 桑原 弘昌
同 上 梅崎 邦男
同 上 大澤 浩昭

表-1 施工条件及びカッタービット条件

	2工区	3工区	4工区	5-1工区	5-2工区	7工区	8工区
施工場所	船橋市豊原町	船橋市神保町	船橋市三栄	船橋市東二区	船橋市東二区	船橋市高砂町	船橋市更紗橋
→先行掘進時期	1991.5～ 1992.6	1992.3～ 1993.10	1992.5～ 1993.7	1991.12～ 1992.6	1992.8～ 1993.5	1992.10～ 1993.6	1992.5～ 1993.2
→カッター形状	φ4450mm L=6400mm	φ4450mm L=6500mm	φ4450mm L=7340mm	φ4340mm L=6300mm	φ3730mm L=6000mm	φ4150mm L=6872mm	φ3540mm L=6000mm
→カッターメーカー	1H1	三菱重工	三菱重工	NKK	三菱重工	川崎重工	1H1
掘進距離 (m)	2280	1652	1721	867	1303	2902	1917
土質	洪積細砂層 N=20～50以上	洪積細砂層 N=3～23	洪積細砂層 N=15～20	洪積細砂層 N=30～50	洪積細砂層 N=30～50	洪積細砂層 N=30～50	洪積細砂層 N=30～50以上
土質	軟弱 (n) 1.6～2.4	約9	約10 6.7～8.33	1.0～1.1 8.4～8.3	1.0～1.1 8.4～8.0	1.6～4.2 1.4～8.4	8～2.6 1.7～8.2
ビット条件	1H1 先行付	2.4	2.4	1.5, 2.3	2.4	2.4	1.2, 4
→カッター	1	2	2	1	1	—	1
→カッター	5.0 (5.0)	5.2 (5.2)	4.9 (5.2)	3.8 (3.8)	1.2 (4.8)	1 (5.6)	4.3 (4.4)
→カッター	8 (8)	8 (8)	1 (8)	6 (6)	2 (8)	6 (6)	7 (6)
→カッター	2.1 (3.7)	5.2 (5.2)	4.4 (5.5)	5.7 (6.0)	1.2 (4.8)	1 (5.6)	2.4 (2.4)
(1) は全数	1.3 (1.3)	1.4 (1.4)	1.2 (1.2)	1.1 (1.1)	0 (1.1)	—	8 (1.1)

メインビット 先行ビット

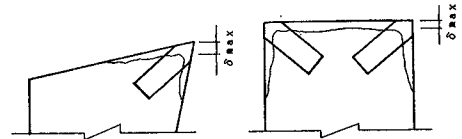


図-1 摩耗量計測方法

1. はじめに

本報告は、将来の高速化、長距離化の方向性を踏まえ、洪積細砂層で掘進が完了した7機の泥水式シールドマシンのカッタービット摩耗実績の評価分析を行ったものであり、1)ビットの摩耗量については、メインビットに比較して先行ビットは摩耗量が大きく、先行ビットの保護効果が顕著である、2)ビットの摩耗に対するパス数の影響は、掘進速度を考慮した上での切込み深さによる評価が統計上有為性が高い、という結果が得られた。

2. 工事及びカッタービット設計概要

工事及びカッタービット設計概要を表-1に示す。主な掘進対象土層は、N値30～40程度の洪積世成田砂層である。

3. ビット摩耗要因分析

3-1 摩耗量計測方法

分析対象とした摩耗量は、メインビット、先行ビットそれぞれ図-1に示す位置の設計形状からの差分とした。また摺動距離については、各面盤の総回転数に対応する距離を用いた。なおメインビットのシャンク部及び2次ビットの摩耗データについては、摩耗環境が異なるものと判断し、以降の分析からは除外した。

3-2 摩耗量分析

メインビットの摩耗量実績は、図-2に、先行ビットの摩耗量実績は、図-3に示すとおりである。メインビットについては、最大で約5mmであり、延長1.5～2kmの掘進摩耗量としては、設計摩耗量15～20mmに対し、1/3～1/15の値であった。一方先行ビットは、最大16mmを示しておりメインビットに比較して大きな摩耗量を示すデータが多く、平均でメインビットの約2～3倍程度となった。このことは、地盤を最初に切削する先行ビットにより切羽面がはぐされることにより、メインビットの負荷が大幅に軽減されているためであり、全工区を通じてこのような先行ビットの保護効果が十分に発揮されたものと考えられる。

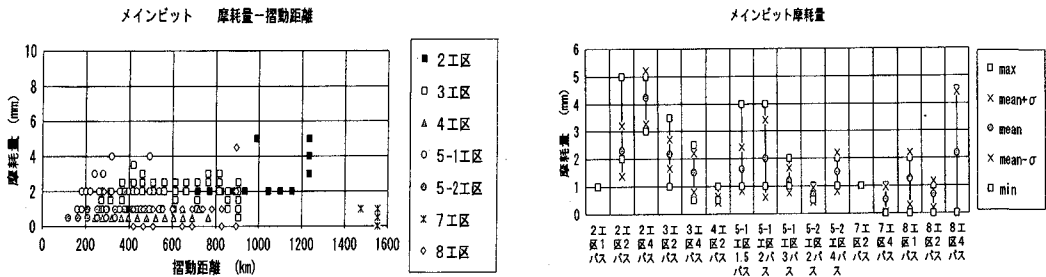


図-2 メインビット摩耗量実績

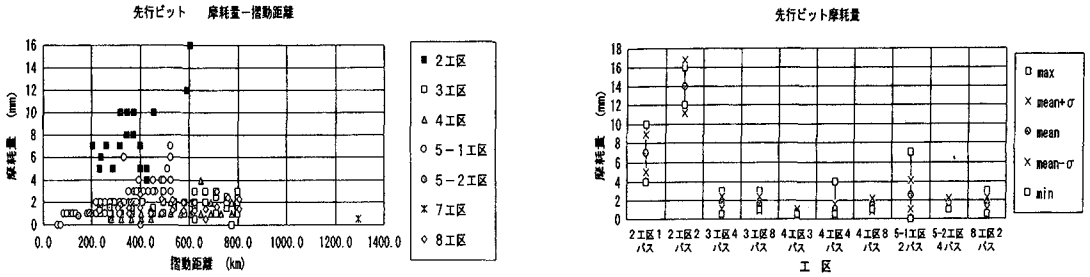


図-3 先行ビット摩耗量実績

3-3 摩耗要因の分析

メインビットは先行ビットの保護効果により直接的な摩耗環境にないと考えられることから、先行ビットのデータについて、切削抵抗に関係すると思われる掘進時の施工管理データとの相関分析を行った。結果は表-2に示すとおり、平均摩耗量と平均掘動距離や面盤開口率が負相関であったが、面盤回転数や平均掘進速度と平均摩耗量との相関が良くないにもかかわらず、これから計算される切り込み深さは摩耗量と高い相関を示した。また、先行ビット全データについて、摩耗量に関係する変数を掘動距離、切り込み深さ、ビットパス数に絞り込み、これらの相関分析を行った。結果は表-3に示すように、切り込み深さとビットパス数は高い負の相関を示した。さらに、掘動距離と切り込み深さの2変数によって、先行ビット摩耗量を回帰した結果、摩耗量に対する単相関が負であった掘動距離の回帰係数が正となり、掘動距離のみで摩耗量を推定する際のノイズとなっていた各マシン固有の掘進時の摩耗環境の違いが、切り込み深さを回帰変数に取り入れることによりかなり説明されうることが判明した。

表-2 摩耗量及び施工管理データの相関分析

	摩耗量 (mm)	パス数	掘動距離 (km)	取付半径 (m)	面盤回転数 (rpm)	掘進速度 (mm/min)	平均推力 (t)	平均トルク (t·m)	開口率 (%)	平均N値	切削速度 (m/min)	切り込み深さ (mm)
摩耗量 (mm)	1.0000											
パス数	-0.7593	1.0000										
掘動距離 (km)	-0.7561	0.6282	1.0000									
取付半径 (m)	-0.6484	0.9503	0.6290	1.0000								
面盤回転数 (rpm)	0.1256	-0.4096	0.2417	-0.5114	1.0000							
掘進速度 (mm/min)	0.0683	0.1220	-0.2855	-0.1350	0.2155	1.0000						
平均推力 (t)	0.0280	-0.6462	-0.6775	-0.4203	-0.2766	-0.4131	1.0000					
平均トルク (t·m)	-0.1708	-0.2895	0.5630	-0.2520	0.7414	-0.4510	-0.1882	1.0000				
開口率 (%)	-0.5637	0.8793	0.2345	0.8636	-0.7784	0.0927	-0.3307	-0.6429	1.0000			
平均N値	0.6264	-0.0188	-0.4177	0.1783	-0.4651	-0.0747	0.6864	-0.5516	0.2042	1.0000		
切削速度 (m/min)	-0.3150	0.2188	0.7032	0.1177	0.7912	0.2183	-0.6462	0.6357	-0.2670	-0.4116	1.0000	
切り込み深さ (mm)	0.9696	-0.8725	-0.8302	-0.7771	0.1216	0.0077	-0.1171	-0.6353	0.4762	-0.4144	1.0000	1.0000

$$\text{※切り込み深さ} = \frac{1}{\text{面盤回転数}} \times \frac{\text{切削速度}}{\text{パス数}} \quad (\text{mm})$$

表-3 摩耗量回帰分析結果

	摩耗量 (mm)	掘動距離 (km)	切り込み深さ (mm)	パス数
摩耗量 (mm)	1.0000			
掘動距離 (km)	-0.0302	1.0000		
切り込み深さ (mm)	0.6611	-0.4231	1.0000	
パス数	-0.4437	0.4549	-0.8131	1.0000

回帰統計

単相関 R	0.7161
複決定 R ²	0.5128
修正 R ²	0.5083
標準誤差	1.5449
観測値	219

$$(\text{推定摩耗量}) = 0.04 \times (\text{掘動距離}) + 0.257 \times (\text{切り込み深さ}) - 2.597$$

※回帰条件: N値30~40程度の細砂地盤, 先行ビット, 掘進距離 1.5~2.0km

分散分析表

	自由度	2 乗和	平均 2 乗	F	有意 F
回帰	2	542.47	271.23	113.68	0.00
残差	216	515.53	2.39		
合計	218	1058.20			

	係数	標準誤差	t 統計	P 値	下限 95%	上限 95%
切片	-2.597	0.437	-5.947	0.000	-3.457	-1.736
掘動距離 (km)	0.004	0.001	5.798	0.000	0.002	0.005
切り込み深さ (mm)	0.257	0.017	15.065	0.000	0.224	0.291

4 おわりに

今回の分析結果から少なくとも砂質地盤を1.5~2.0 km程度掘進する場合、単に掘動距離に比例する摩耗量だけでなく、切り込み深さに起因する摩耗量を評価することが設計段階での摩耗量の推定精度を向上させることが確認された。また、切り込み深さの重要性は、今後シールド掘進の高速化、長距離化に伴い、掘進速度が増大してゆく中でより一層顕著な傾向になるものと考えられる。

しかしながら、実施工におけるビットの精度の高い摩耗計測は、掘進完了時のみに限られる場合が多く、このことが力学的な分析の大きな壁となっているのが現状であり、摩耗量計測方法の規格化、体系化及び施工途中の摩耗量計測機器の改良・開発の一層の推進を図りたい考えである。