

(VI-2) シールドカッタビットの実績調査に基づく耐久性の評価

東京電力株式会社 正会員 大野 弘城

1. はじめに

都市におけるシールドトンネル工法では、施工を長距離化することにより工事費を大幅に低減できる。シールド工事を長距離化する上で問題となるのがシールドマシンの耐久性であり、特に地山を切削するカッタビットの耐久性が重要である。そこで本稿ではカッタビットの地山への切り込み深さを考慮したカッタビットの耐久性評価手法を新たに提案し、現在のカッタビットの耐久性を当社工事実績に基づき評価した。

2. 調査対象

対象とした工事は6件名(A～F)であり、施工距離が1.7～3.2km、掘削外径3.6～7.2mの泥水式シールドマシンのカッタビットについて調査を行った。ビットには耐摩耗性と耐損耗性が要求されるが、対象工事を洪積の砂質土と粘性土主体で礫が非常に少ない地盤に絞り、耐摩耗性に焦点をあてた調査を行った。

3. 評価手法

ビットの摩耗に関する内的要因にはビットの材質・形状・取付方法、外的要因には地盤性状(粒度分布、土粒子の硬度等)・式(1)で定義されるビットの撹動距離 L (km)・ビットの地山に対する切り込み深さ h (mm)等がある。

$$L = 2\pi r \cdot n \cdot 10^{-6} \quad (1)$$

ただし、ビットの取付半径 r (mm)、カッタ累積回転数 n

ビットの耐久性を評価する従来の手法では、ビットの材質・形状・地盤性状・パス数 P (同一回転半径上のビットの個数)によりデータを層別した上で、ビットの摩耗量 δ (mm)がビットの撹動距離 L に比例するとの仮定から、式(2)により摩耗係数 K (mm/km)を算出して、耐久性を評価していた。

$$K = \delta / L \quad (2)$$

切り込み深さ h ではなくパス数 P による層別を行っていた理由として、切り込み深さ h を詳細に考慮したデータ整理が煩雑であり、切り込み深さ h とパス数 P に負の相関関係があるのでパス数による層別でも十分であると考えていたことが推察される。しかし式(3)で示すように、シールド掘進速度 V (mm/min)やカッタ回転速度 R (rpm)によってもビットの地山への切り込み深さ h は異なるので、パス数 P による層別だけでは切り込み深さ h の影響を完全に消去することはできない。

$$h = V / R / P \quad (3)$$

さらに図-1から、高低差ビット(切羽全面に向かって突き出し量に差がある同じパス上のビット)の有無によっても切り込み深さが異なってくることがわかる。図-2, 3でビットの材質別に示すようにビットの摩耗係数は地山への切り込み深さに比例すると考えらることから、新たに切り込み深さをパラメータとした

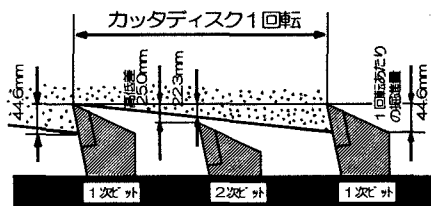


図-1. 高低差ビットと切り込み深さの関係
(B工事2パスビット)

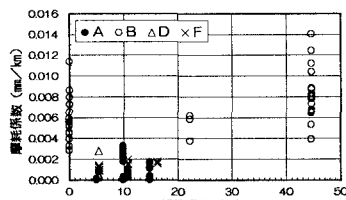


図-2. 切り込み深さと摩耗係数の関係
(E3種メインビット)

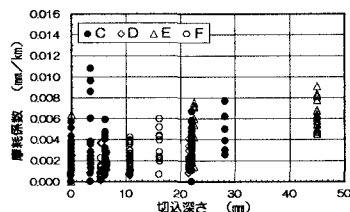


図-3. 切り込み深さと摩耗係数の関係
(E5種メインビット)

連絡先：〒108-0023 港区芝浦4丁目19-1, tel：03-4434-4517, fax：03-4434-4529

新摩耗係数 K' (mm/km/mm) を式 (4) で定義した。ただし、ビットの取付方向と逆向きに回転している場合の切り込み深さ h は非常に小さいので、摺動距離 L は逆回転時の摺動距離を無視した片摺動距離とする。

$$K' = \delta / (L \times h) \dots\dots\dots (4)$$

4. 耐久性評価

調査したメインビットの片摺動距離×切り込み深さと摩耗量の関係を図-4.5に、新摩耗係数 K' のヒストグラムを図-6.7にそれぞれ示す。E3種とE5種のヒストグラムを見比べると、E3種の方がE5種よりも新摩耗係数が若干小さい階級域に分布しており、分布幅も狭くなっている。

また、チップ材質別に新摩耗係数平均値 μ ・標準偏差 σ ・95%信頼新摩耗係数 $K'_{0.95}$ をそれぞれ図-6.7の中に示した。この95%信頼新摩耗係数は新摩耗係数の分布を対数正規分布と仮定し、摩耗係数の95%信頼区間上限値をとったものである。この95%信頼新摩耗係数を用い、式(5)に従って切り込み深さを考慮したカッタービットの限界掘進距離 L_{max} (km)を試算した結果を表-1に示す。ただし、各パラメータは許容摩耗量 δ_{Lim} (mm)・ビット取付半径 r (mm)である。試算条件は近年の実績から、 $r=1,800\text{mm}$ (掘削外径3,600mm)・ $V=36\text{mm/min}$ ・ $R=1.2\text{rpm}$ ・ $K'=K'_{0.95}$ (95%信頼新摩耗係数推定値)・ $\delta_{Lim}=20\text{mm}$ ・ $h=V/R/P=36/1.2/4=7.5\text{mm}$ (最外周部4パス)とした。

$$L_{max} = \delta_{Lim} \cdot V / (2 \pi r \cdot K' \cdot h \cdot R / 2) \dots (5)$$

摺動距離のみを考慮した従来の手法により算出した限界掘進距離を表-1に参考として示している。図-1に示したようなケースでは高低差ビットの摩耗量が極端に多いため、従来の手法で高低差ビットを含めたデータ整理を行うと摩耗係数が非常に大きくなり、限界掘進距離がかなり短く算出されてしまう。そのため、切り込み深さを考慮した手法では高低差ビットのデータを除外して限界掘進距離を算出した。切り込み深さを考慮した場合では高低差ビットを含めてデータ処理をしても、高低差ビットを除外した従来の手法による算出結果とほぼ同じ限界掘進距離を示している。これは、切り込み深さを考慮する新しいビット評価手法と摺動距離のみを考慮する従来のビット評価手法の限界掘進距離の算出結果に差異がなく、かつ新しい評価手法は高低差ビットやビットのパス数などにより層別することなく、それらを包含して耐久性の評価ができることを示している。

5. おわりに

既往のシールドマシンの施工実績を調査して得られた新しい手法では、カッタービットの切込深さを考慮することによって、切込深さだけではなく、ビットのパス数やビットの高低差までを含めて、ビットの耐久性を評価することができるようになった。しかし、摺動距離と切込深さだけでは摩耗量との相関が十分とはいえないので、さらにシールドマシン推力や地盤の粒度等に注目してより精度の高い分析を行う必要があると考える。

参考文献：秋葉、竹内、大野：シールドカッターの実績調査に基づく耐久性の評価、トンネルと地下、p47～54、vol.30、no.3、1999。

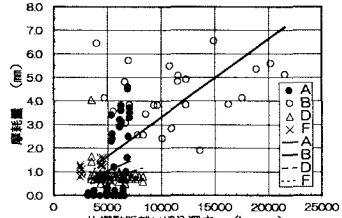


図-4.片摺動距離×切り込み深さと摩耗量の関係(E3種)

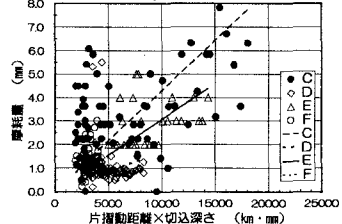


図-5.片摺動距離×切り込み深さと摩耗量の関係(E5種)

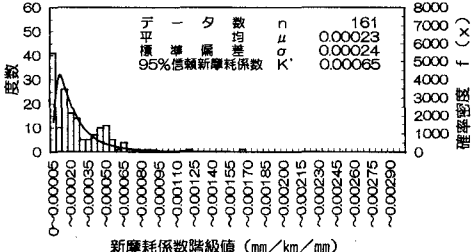


図-6.新摩耗係数の分布(E3種)

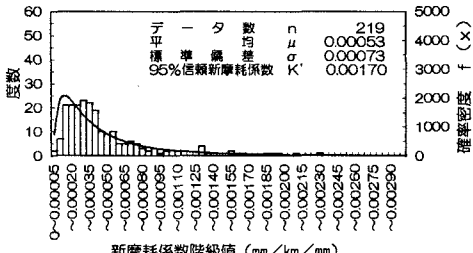


図-7.新摩耗係数の分布(E5種)

表-1.限界掘進距離

	限界掘進距離 L_{max} (km)	
	E3種	E5種
摺動距離のみ考慮した場合	21.9	7.6
切込深さを考慮した場合	21.7	8.3