

TBM 施工における二次破碎に起因するディスクカッタの摩耗

大阪大学大学院 学生員 ○小泉 悠 大阪大学大学院 正会員 谷本 親伯
 大阪大学大学院 学生員 津坂 仁和 大阪大学大学院 学生員 上野 宇顕
 鹿島建設株式会社 正会員 宮嶋 保幸

1. はじめに

近年, TBM を用いた山岳トンネルの施工件数が増加している. 谷本ら¹⁾は, TBM 施工を論じるに当たり, TBM がなす総仕事量を一次破碎仕事量と二次破碎仕事量の和とし, 総仕事量における一次破碎仕事量の割合を高めることが重要であると述べている. ここで, 一次破碎とはディスクカッタ(以下, カッタという)による岩盤の掘削を意味し, 二次破碎とは, 一次破碎により剥離した掘削ずりがスクレーパにより取り込まれるまでに切羽とカッタヘッドとの間で再破碎される現象を意味している. 本研究では, 摩耗量 1mm 当りの転動距離をカッタ取り付け位置ごとに比較することで, TBM 施工におけるカッタの摩耗要因を一次破碎および二次破碎の観点から考察した.

2. 対象トンネルとカッタの消費

対象とする A, B トンネルの地山条件と TBM およびカッタ諸元の一部を表に示す. 両トンネルともに, 地山の岩盤基質部は一軸圧縮強さが 100MPa を超える硬岩であった. A, B トンネルの TBM 掘削延長 3457m, 2590m に対し, カッタ消費個数はそれぞれ 323 個, 354 個であり, いずれも日本道路公団が定めるカッタ消費量の積算基準値²⁾を上回った.

3. カッタ取り付け位置ごとの摩耗量の比較

カッタヘッド中心からの取り付け半径は各カッタで異なり, 掘削面上での転動距離は, 両トンネルで用いられた TBM

表 対象トンネルの地山条件と TBM およびカッタ諸元

	項目	Aトンネル	Bトンネル
地山条件	岩種	花崗岩	砂岩・頁岩
	岩石の一軸圧縮強さ(MPa)	100~170	100~220
	石英含有率(%)	25~35	20~30
TBM およびカッタ諸元	型式	オープン型	改良オープン型
	掘削径(mm)	5,000	4,500
	カッタ個数(個)	35	32
	カッタ径(mm)	432	432
	カッタ材質	SNCM材 HD, ダイス鋼	SNCM材

において取り付け番号とともに増大する. これら転動距離の差異を考慮した上で, 各カッタの摩耗量を比較するために, A, B トンネルで TBM 施工がなされた全距離程を対象に摩耗量 1mm 当たりの転動距離をカッタ取り付け位置ごとに算出した(図-1, 図-2). 図-1 および図-2 より, A トンネルにおけるカッタ摩耗量 1mm 当りの転動距離は, B トンネルでのそれに比べ, 総じて大きい. これは A トンネルで消費された 323 個のカッタのうち 133 個のカッタ材質が, SNCM 材より耐摩耗性の高い HD またはダイス鋼であったことによるものと考えられる. 次に, 両図に示されるグラフの形状に着目すると, カッタ番号 1~15 で, カッタ番号とともに摩耗量 1mm 当りの転動距離が増大しているが, これはカッタに作用するねじりモーメントが, 回転半径が大きくなるにつれて小さくなるためと考えられる. 一方, カッタ番号 16 以降で, 摩耗量 1mm 当りの転動距離の値は, 図-2 において概ね等しいのに対し, 図-1 ではカッタ番号 16~18 でピークを示し, カッタ番号 25~35 ではピーク値の 50% 程度となっている. 各カッタが

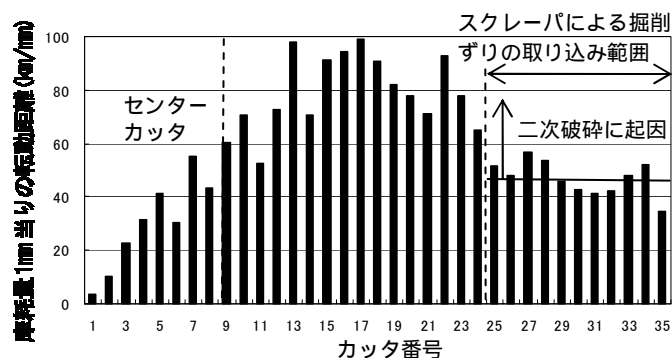


図-1 摩耗量 1mm 当りの転動距離 (A トンネル)

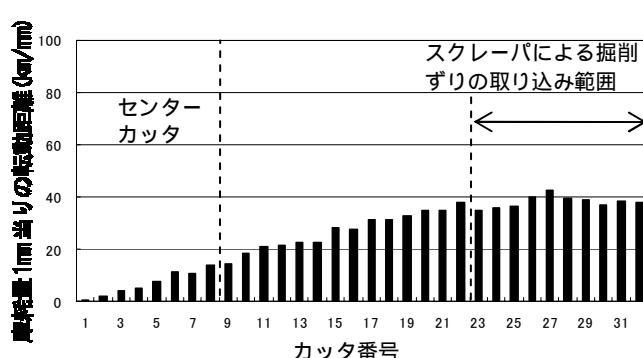


図-2 摩耗量 1mm 当りの転動距離 (B トンネル)

Key Words: TBM, ディスクカッタ, 摩耗, 転動距離, 二次破碎

連絡先: 〒565-0871 大阪府吹田市山田丘 2-1 大阪大学大学院工学研究科地球総合工学専攻 TEL 06-6879-7558

ほぼ同質の掘削面上を転動し岩盤を掘削すること、および、筆者らが行ったその他の事例解析の結果から、ねじりモーメントの作用が著しいセンターカッタを除き、摩耗量 1mm 当りの転動距離は、B トンネルで示される分布形状となるものと考えられる。これらの知見に対し、A トンネルにおいて、摩耗量 1mm 当りの転動距離がカッタ番号 25 以降で低減する原因として、二次破碎の発生に伴い、スクレーパによるずりの取り込み範囲内に位置する 25～35 番カッタで、一次破碎に加えて二次破碎に起因する摩耗が生じていたことが考えられる。一方、B トンネルでは、このような二次破碎がほとんど生じていなかったか、岩石の摩耗硬度において、花崗岩に対する砂岩のその値が約 0.1 倍³⁾であることから、二次破碎に伴うカッタの摩耗が小規模であったものと考えられる。

4. 二次破碎摩耗率の提案

二次破碎に起因する摩耗の程度を定量的に評価するため、掘削ずりの取り込み範囲内に位置するカッタと、範囲外に位置するカッタの摩耗量 1mm 当りの転動距離の平均値の比に着目することで、次式により「二次破碎摩耗率 CW_S (Cutter Wear Rate caused by Secondary Fragmentation)」を定義した。

$$CW_S = \left\{ 1 - \frac{\frac{\sum_{j=p}^q L_j}{W_j}}{q-p+1} \div \frac{\frac{\sum_{k=r}^s L_k}{W_k}}{s-r+1} \right\} \times 100 \quad \cdots \cdots \text{(式)}$$

ここで、 CW_S ：二次破碎摩耗率(%), $L_{j,k}$ ：j, k 番カッタの転動距離(km), $W_{j,k}$ ：j, k 番カッタの摩耗量(mm)
j：掘削ずりの取り込み範囲内に位置するカッタ番号, k：掘削ずりの取り込み範囲外に位置するカッタ番号である。

二次破碎に起因する摩耗が顕著であったと考えられる A トンネルにおいて、トンネル距離程に対し、50～100m おきに二次破碎摩耗率 CW_S を求め、図-3 によりその推移を示した。ただし、A トンネルにおける二次破碎摩耗率 CW_S を評価するに当り、j の範囲をゲージカッタである 35 番カッタを除く 25～34 とし、k は j と等しい個数となるよう 15～24 とした。図-3 より、二次破碎摩耗率 CW_S はほぼ全区間で少なくとも 15% 以上、T.D.2913～3638m では 50% を超過していた。すなわち、同区間で生じたカッタ番号 25～34 の総摩耗量のうち、二次破碎に起因する摩耗量は、一次破碎に起因する摩耗量を上回っていたと考えられる。

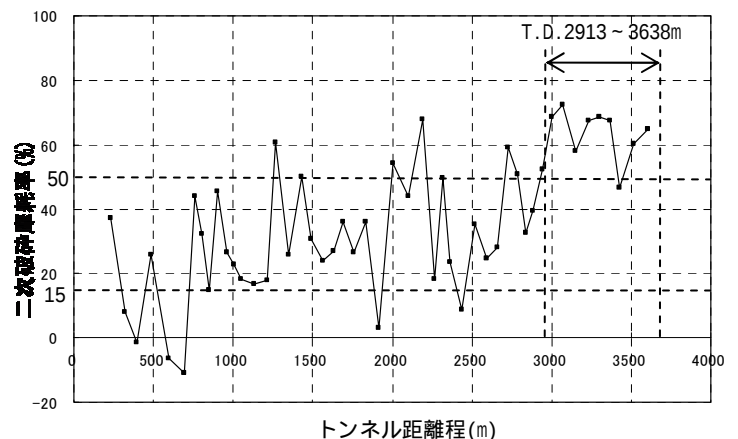


図-3 A トンネルにおける二次破碎摩耗率の推移

5. まとめ

これまでに、TBM 施工で生じるカッタの摩耗は、主として岩盤の掘削（一次破碎）のみによって生じるものと考えられてきた。しかし、地山および施工条件によっては二次破碎が大きな問題となり、それに起因する摩耗が顕著に生じることが考えられる。本研究では、二次破碎に起因する摩耗の程度を定量的に表す指標として、二次破碎摩耗率 CW_S を提案した。対象とした A トンネルにおける二次破碎摩耗率 CW_S は、全距離程で少なくとも 15% 以上、著しい場合には約 700m に渡って 50% を超過していた。このとき外周部のカッタでは、二次破碎に起因する摩耗量が一次破碎に起因する摩耗量を上回っていたと評価できる。これらのことから、TBM 施工において、二次破碎の発生を把握し、地山および施工条件に応じた適切な対策をなすことが重要であると考えられる。

参考文献

- 1) 谷本親伯，中根達人，津坂仁和，山仲俊一郎，平野實：TBM 掘削指数（TEI）による掘削効率および地山評価に関する研究，材料，Vol.55，No.8，pp.777-784，2006。
- 2) 日本道路公団：日本道路公団土木工事積算基準，2003。
- 3) 山口梅太郎，西松裕一：岩石力学入門，東京大学出版会，pp.170，1991。