

III-563 運転記録を用いたトンネルボーリングマシン（TBM）のディスクカッター摩耗量推定

西松建設（株）技術研究所 正会員○平野 享、稲葉 力
 山口大学工学部 正会員 中川浩二、古川浩平

1. 緒言

TBMのディスクカッター交換の頻度は掘進速度に大きく影響すると考えられるので、最適な交換時期を掘進作業中に判定できることが望ましい。掘進中にカッターの損傷・摩耗状態を直接観察することは非常に困難であるが、カッターの状態はTBMのトルク、推力、掘進速度に間接的に反映されることが考えられる。そこで掘削中のTBMのトルク、推力、掘進速度を管理すれば、最適な交換時期を示すことが可能である。本研究ではTBMが履歴したトルク、推力、掘進速度に対する各カッターの推定摩耗量を示した。

2. 掘削現場の概要

調査したトンネルは香港島を南北に縦断する送電用のトンネルである。地質は細粒の新鮮かつ均質な花崗岩で、風化と湧水は数カ所の破碎帯に限られている。代表的な場所で採取した岩石の一軸圧縮強度は190(MPa)を示した。現場では掘進は速ければ速いほど望ましいとされており、TBMはトルクが許す限りの、能力いっぱいの推力を切羽に与えるように運転された。ディスクカッター交換は、およそゲージカッターで毎シフト、センターカッターで10シフト強ごとの頻度で行われた。通常の交換作業では技術者がカッターにゲージをあて、一定の高さまで摩耗したカッターを選別、交換した。

掘削中のトルク、推力はTBM機体に取り付けた記録計を用いて数秒毎にサンプリングした。TBMの諸元を表1に示す。カッター摩耗量は、交換時におけるカッター刃先の、元の寸法より減った高さとした。カッターが交換までに履歴した地質と推力、トルクなどの機体状態は一定でなく、かつ摩耗進行の履歴を知るのは困難と考えられる。そこで各カッターごとに、交換までに履歴した様々な地質と機体状態に対して、掘進距離の重みをつけて平均を求め、交換時の摩耗量との対応を見ることにした。

3. TBM運転記録の状況

図1に記録計から得た生データの一例を示す。データの分布は雲状にひろがり、これでは関係が明瞭でないが、1(m)程度の短い掘削延長を、様々に推力を変えて掘削するペネトレーション試験を行うと、図2のようにデータの関係が明らかとなる。図1のデータをIMS岩盤等級⁽¹⁾別に分類し、標準偏差で岩盤等級ごとの分布範囲を示すと図3のようになる。長い掘削延長について岩盤等級で分類しても、この図に示された程度の幅を地質条件の違いとして持っていると考えられる。

推力とトルクの関係は掘削径の差だけでも影響されるので、TBM機体が異なるデータ間で比較を行うには不都合である。しかし推力をカッター1個あたりの押付け力 F_t 、トルクを平均転走半径の位置における転走力 F_r に変換し、 $F_r/F_t = \mu$ から無次元化された変数 μ を得ると掘削径の影響が排除できると思われる。物理的に μ はカッターヘッドが切羽より受ける回転抵抗を示す変数と考えられる。

4. ヘッド回転抵抗とカッター摩耗量についての考察

μ を求めるために、前述の重みつき平均を地質と機体状態について求め、そのデータを岩盤等級別に分類し、各グループごとに平均値を算定し μ を求めた。図5のように μ と貫入速度とは対数関数的な関係を持ち、速度が大きくなると切羽より受ける回転抵抗も大きい。左側の点より順におよそIMS岩盤等級が1、1.5、2.5、3.5、4に対応している。図6は μ と一定時間あたりの摩耗速度 V_t との関係をあらわす。回転抵抗が小さいほどやや摩耗速度は高く、予想される速度のばらつきが指数関数的に大きくなる。カッター交換時の観察によれば、摩耗速度を大きくばらつかせるのはカッター刃の不連続な破損、いわゆるチップングと考えられている。図7は μ と一定掘削量あたりの摩耗速度 V_v との関係を示している。 V_v は V_t と異なり掘削径が計算過程で含まれるので、異なるTBMからのデータを比較するときは注意しなければならない。図7の基本的な特性は図6と同様である。

参考文献

(1) Ian McFeat-Smith, Charles haswell & Partners: Tunneling in Hong kong. 1986, TUNNELS & TUNNELING, JUNE, p.39-44.

謝辞

室蘭工業大学の佐藤一彦先生にはディスクカッター切削の理解について助言をいただき感謝いたします。

表1 TBMの緒元

掘削径	4.8 m
回転速度	* 12 r.p.m.
最大スラスト	10 MN
最大トルク	1530 kJ
カッター形式	ディスクカッター
カッター径	19 インチ
カッター数	32 個

*性能上は可変であるが運転で一定に保たれた

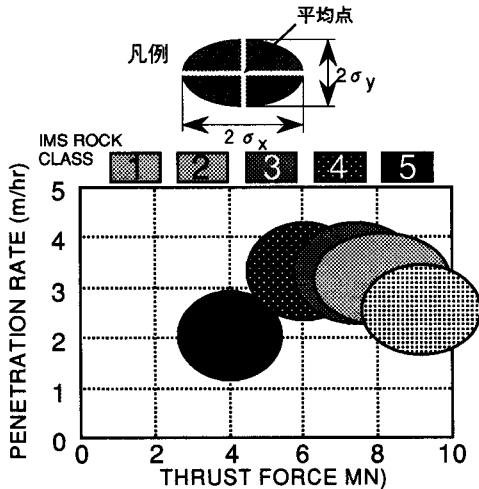


図3 岩盤等級別の分布

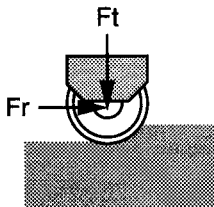


図4 FtとFr

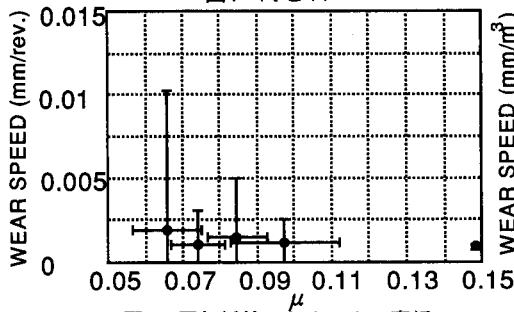


図6 回転抵抗 μ とカッター摩耗

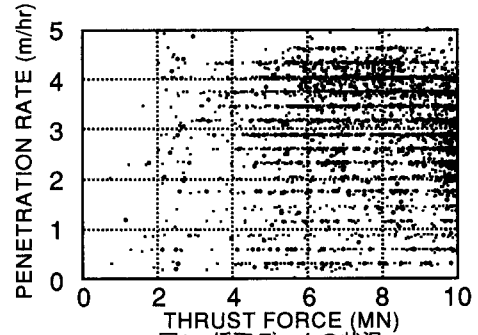


図1 採取データの状況

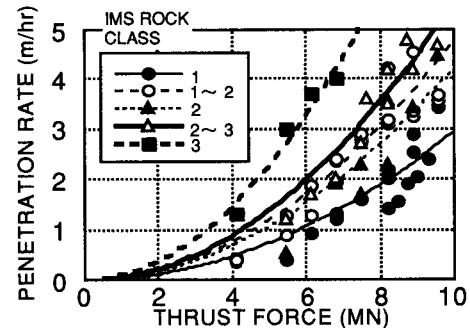


図2 ペネトレーション試験

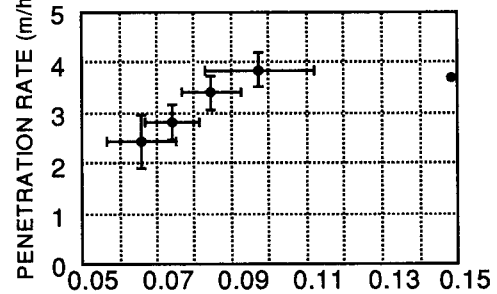


図5 回転抵抗 μ と貫入速度

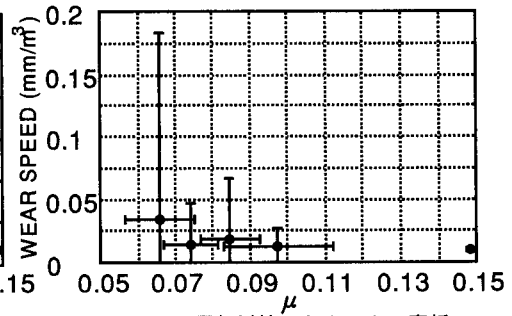


図7 回転抵抗 μ とカッター摩耗