

Ⅲ - B53

TBM掘進データによる地山判定手法について

佐藤工業	正会員	中村 創
同	正会員	今岡 彦三
同	フェロ-会員	山本 松生
同	正会員	鈴木 仁志

1. はじめに

近年、山岳トンネルの掘削において、TBM 工法が見直され、急速に普及している。それに応じて、TBMデータに関する研究では、ディスクカッターを用いた室内試験や、それをもとにした検討¹⁾およびスラスト推力、カッター力、スラスト速度等の個々のマシンデータと地山状況との比較およびマシンデータ間それぞれの関連性の検討²⁾などが行われている。

しかしながら、室内試験の結果を用いた検討では、切羽全体の情報は得られないため、その部分については別な調査が必要になる。また、個々のマシンデータと地山状況の比較では、相関性が低く、相関性があつた場合でも、岩種が変わるたびにキャリブレーションをしなければならないなどの問題点がある。これについては、マシンデータ相互の関係についても同じ事が言える。

本報告では、Aトンネルにおける掘進データを用いて、マシンデータから地山を掘削するエネルギーを算出し、地山等級や評価点との関係性を求め、マシンデータによる地山判定手法を提案する。

2. 地山判定手法の概要

TBM 工法ではカッターヘッドで切羽全面を切削するため、掘削時のマシンにかかる抵抗には岩石の強度のみならず、亀裂等の情報もすべて含まれているものと考えられる。そこで、地山の掘削に要するエネルギーをマシンデータから求めることにより、地山の強度を表す指標として用いることが可能であると思われる。

1ストロークあたりの平均値として以下のように掘削エネルギーを計算する。

$$E = ((F - F_0) \times L + 2\pi \times (T - T_0) \times N) / V \quad \text{..... (1)}$$

$$N = n \times L / v \quad \text{..... (2)}$$

ただし、Eは単位体積あたりの掘削に要するエネルギー (tf/m²)、Fはスラスト推力 (tf)、F₀はスラスト推力の機械内部の摩擦に相当する値 (tf)、Lは1ストローク長 (m)、Tはカッター力 (tfm)、T₀はカッター力のうち機械内部の摩擦に相当する値 (tfm)、Nは回転数、nは1分あたりの回転数 (rpm)、vはスラスト速度 (m/min)、Vは1ストロークの掘削体積 (m³) とする。

ここで、カッターヘッドを回転する機構が油圧の場合は直接トルクの値が計測されるが、電動モーターの場合は電流値または電力量が計測される。そのため、これらの値を直接用いた検討も行われているが、同じ電流値を与えた場合でも、TBMマシンによって出力特性が変わるはずなので、このような場合には、出力特性曲線から実際発生するトルクを用いる必要がある。

実施対象のAトンネルはΦ3.5m延長約4.3kmの導水路トンネルで、地質は丹沢層群に属する火山砕屑岩類、同層岩類、および貫入岩類からなり、一軸圧縮強度も50kg/cm²～2000 kg/cm²程度と変化に富んだ地質状

TBM、掘進データ、エネルギー、地山等級、判別分析

佐藤工業(株) 東京都中央区日本橋本町 4-12-20・TEL. 03-3661-4794・FAX. 03-3668-9484

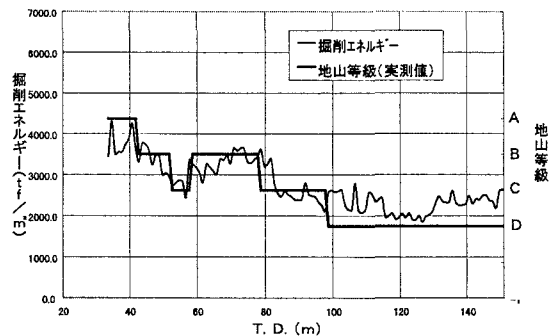


図-1 掘削エネルギーと地山等級の比較

況であった。ここで、図-1にAトンネルにおける坑口から150m間の水平掘削の結果から求めた地山等級と掘削エネルギーを示すが、これらは同様の傾向を示していることが分かる。

この結果より、各地山等級でのエネルギー値の分布状況を調べるための累積度数分布を図-2に示す。ここで、エネルギー値によるそれぞれの地山等級の判別の基準点を求めるために、累積度数分布を右から書いたものと左から書いたものをならべて、これらの交点を求める³⁾。Aトンネルでの基準点と的中率を表-1に示す。

地山等級Aは支保の実績として1度も用いなかったため割愛する。図-2からわかるとおり、地山等級Cの分布があまり良くないが、この原因としては、データ数が少なかったことと、もともと地山等級Cの判別が、BやDに比べて難しいことがあげられる。これらは、データ数を増やし、

地山の確認の精度を上げることで改善できるものと思われる。判別の基準点が得られた時点からマシンetaによる地山の判定が可能となるわけだが、掘進が進むにつれ、土被りの増加やカッターの摩耗が発生するため、同じエネルギーを与えても掘削効率に変化していることが考えられる。そのため、実施工での適用においては、ある程度の距離毎に基準点の見直しが必要だと思われる。

3. 判別結果

AトンネルにおけるT.D. 150m～T.D. 2150m間の掘削エネルギーにより判別した地山等級と実績の地山等級の比較を図-3に示す。正解率を調べてみると、地山等級Bが43%、Cが37%、Dが89%となった。地山等級BとCでは、あまり良い正解率ではないが、実際の支保では地山の判定とあわせて湧水状況や長期的な崩落の危険性等他の要素も含めて総合的に判断されるためであるものと思われる。また、地山等級Dで非常に正解率が高いことや図-3から分かるとおり、エネルギーの変化と地山等級の変化は良く似た傾向を示しており、掘削エネルギーは地山の強度を良く表していると言える。

4. おわりに

本報告では、TBMのマシンetaから地山を判定する手法を提案し、実際の現場への適用例を示した。今回は掘削エネルギーと比較する対象が支保etaとしての地山等級であったため、純粋に地山の強度のみを表したものでなかったため、結果が明快ではなかったが、地山判定結果を用いることにより改善が可能であるものと思われる。また、地山の評点等の定量的な値を用いることによって回帰分析などの検討も可能になり、より判定の精度も向上するものと思われるので、今後の研究の課題としたい。

参考文献

- 1) 堀井 勝則、大久保 誠介：トンネルと地下 PP35～PP43, 1997, 2
- 2) 秋田自動車道湯田第二トンネルTBM施工に関する調査検討（その2）報告書 日本トンネル技術協会, 1996, 3
- 3) 水野 欽司：多変量eta解析講義, 朝倉書店, PP94

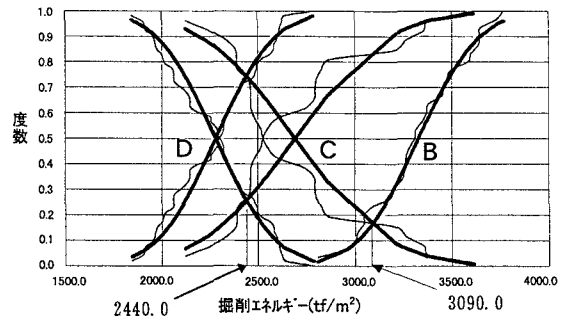


図-2 掘削エネルギーの判別

表-1 掘削エネルギーの判別の基準点

地山等級	E (基準点)	的中率
BとC	3090.0	約 80%
CとD	2440.0	約 70%

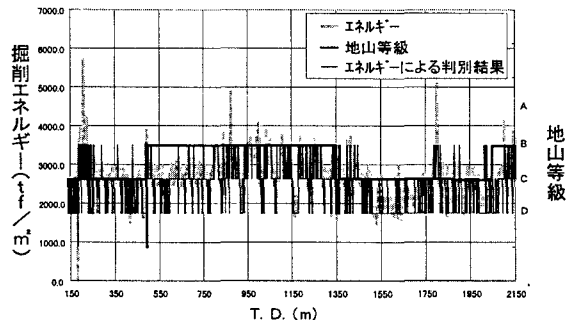


図-3 判別結果