

Ⅲ－B41

TBM導坑掘削時の情報による拡幅時の地山等級推定方法

日本道路公団 田中 一 正会員 三谷 浩二
大成建設（株） 正会員 伊藤 文雄 正会員 谷 卓也

1. はじめに

現在、第二東名トンネルの一つである清水第三トンネルにおいて、TBM 先進導坑方式を採用して大断面トンネルの試験施工が行われている。大断面トンネルの施工において、事前に掘削した TBM 導坑の情報から掘削地山の地質を評価できれば、拡幅時に合理的な支保設計が可能となる。現在 TBM 導坑の効果を検証するために種々の検討が進められているが、その検討結果の一つとして、導坑施工時の TBM から取得した機械データにより、拡幅時に採用した支保パターンを十分推定できることが分かったので、ここに報告する。

2. 地山評価に採用した TBM 機械データ

本坑拡幅時の地山評価に採用した TBM 機械データは、岩盤強度と相関がある掘削体積比エネルギー（Specific Energy）と地山の变形係数に相当する MG 係数である。TBM 機械データから地山状況を推定する方法は、通常次に示す 3 つである。①機械データの各項目と地山データとの統計関係（単回帰、重回帰）を用いる方法¹⁾、②機械データの各項目の相互関係より実験式を導いて岩盤特性を求める方法²⁾、③掘削体積比エネルギーを用いる方法である³⁾⁴⁾。この中で③の掘削体積比エネルギーを採用した理由は、掘削体積で正規化したエネルギーであるため、オペレータによる掘進速度操作の影響が評価する値に影響しないこと、評価項目が少なく算定式が簡明で、精度の良いデータが得られ易いという利点があるからである。以下に掘削体積比エネルギーと MG 係数の定義と算定方法を説明する。

(1) 掘削体積比エネルギーの定義と算定方法

掘削体積比エネルギーは単位体積（1m³）掘削するのに要したエネルギーで定義される。掘削に要するトルクと推力から求めるエネルギーの和であるが、推力によるエネルギーはトルクによるものと比較して無視できるほど小さい²⁾。そのため、掘削体積比エネルギーはカッターヘッドを回転させるモーターの総消費電力量から近似的に求められる。カッターモーター消費電力を W、掘削時間を t、トンネルの断面積を A、掘進長を l とすれば、掘削体積比エネルギー E_s は、 $E_s = W \cdot t / A \cdot l$ で算出できる。

(2) MG 係数の定義と算定方法

MG 係数は、TBM 施工時にメイングリッパーを坑壁地山に拡張して押し付ける際の簡易的な坑内載荷試験から、荷重とグリッパー変位を計測して岩盤の变形係数に相当する値を評価するものである。MG 係数の算出には孔内載荷試験の式⁵⁾を用いる。

3. 機械データによる地山評価手法と地山等級判定結果

掘削体積比エネルギーと MG 係数の 2 つの機械データを用いて、地山状況を地山等級として判定する方法について、表-1 に示す判定基準とともに説明する。地山等級の判定には大きく 2 つの段階があり、第 1 段階では掘削体積比エネルギーによる地山等級決定し、第 2 段階では決定したランクを MG 係数により補正（ランク下げ）する。この判定基準は機械データと地山状況の関連性を分析して作成したもので、[基準 1] は岩盤の強度を、[基準 2] は岩盤の变形性を考慮したものである。地山等級の判定では、まず [基準 1] に示すように掘削体積比エネルギーを用いて地山等

表-1 TBM データによる地山等級判定基準

基準1		基準2		総合判定
掘削体積比エネルギー E_s		MG 係数が 10,000 [kgf/cm ²] 以下の値が 10m 以上連続する		※
E_s [MJ/m ³]	判定1	MG 係数条件	判定2	地山等級
20 < E_s	B	×	ランク変更なし	B
		○	1ランク下げ	C1
10 < E_s < 20	C1	×	ランク変更なし	C2
		○	1ランク下げ	
E_s < 10	C2	×	ランク変更なし	D
		○	1ランク下げ	

※ ひとつの岩盤等級区分間が 10m 以上連続しない場合には、安全側（地山悪）の評価とする

キーワード：TBM 導坑、TBM、機械データ、支保パターン、地山等級、導坑効果

連絡先：〒245-0051 横浜市戸塚区名瀬町 344-1 大成建設（株）技術研究所 Tel:045-814-7237 Fax:045-814-7257

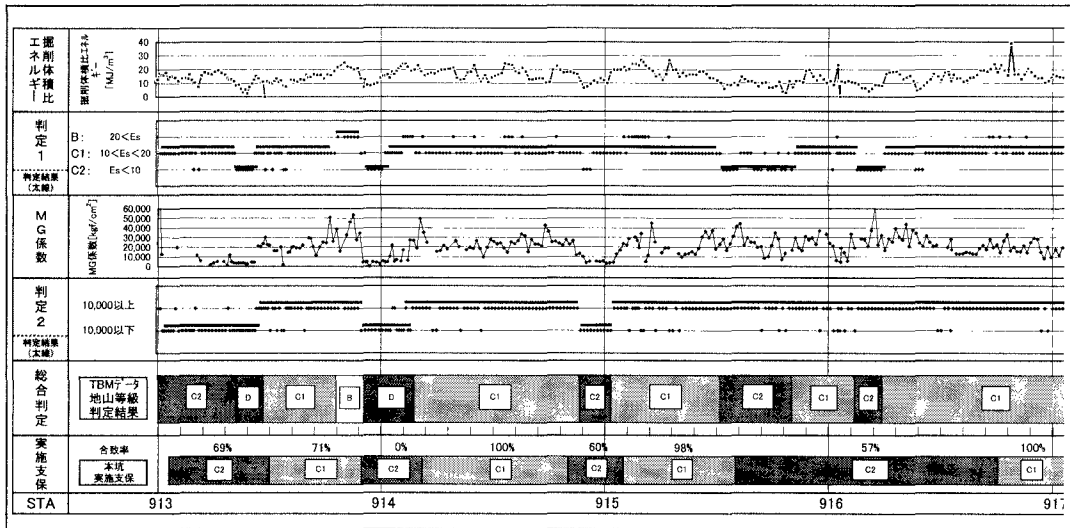


図-1 TBM機械データによる地山等級判定結果

級を B、C1、C2 の 3 段階に分ける。基準に用いた閾値は、岩盤強度との関連性を分析し、評価した結果が実施支保と合うように決定したものである。なお、清水第三 TBM の場合、掘削体積比エネルギーの 10、20 MJ/m³ は、岩盤の一軸強度の 47.7、80.3 MPa に相当する。〔基準 1〕の判定の次に、MG 係数を用いた〔基準 2〕の判定を行う。

〔基準 2〕では、MG 係数が閾値である 10,000 kgf/cm² を 10 m 以上連続して下回った場合、〔基準 1〕で求めた地山等級のランクを 1 つ下げる操作を行う。なお MG 係数は TBM 導坑の崩落の程度と相関性が高く、崩落個所では MG 係数が 10,000 kgf/cm² 以下であることから、この値を閾値とした。また、判定した地山等級が数メートルしか連続せず、他の等級と上下を繰り返すような場合、ひとつの地山等級区分の区間長が 10 m 以上連続するように、安全側（地山悪）の評価とする。例えば、地山等級 B と C1 が数メートルおきに繰り返し、連続して 10 m 以上にならない区間では、この区間の地山等級を全て C1 とする。

清水第三トンネル TBM の機械データを用いて、地山等級を判定した結果を図-1 に示す。ここでは、下り線 STA913+00～917+00 の処理結果について示している。〔基準 1〕と〔基準 2〕による判定結果の各図では、それぞれの基準に従って判定した結果を実線で示している。また、最下段の実施支保の上に示した数字は、実施支保と機械データによる判定が一致した割合を示す合致率で、判定が一致した区間長を実施支保区間長で除した値（パーセント）である。図示した約 400 m 区間における合致率は 72 %であり、TBM の機械データで判定した地山等級が本坑の実施支保と良く対応している。

5. まとめ

本坑の支保パターンを、導坑 TBM の機械データから予測できることが分かった。この手法を用いて TBM 導坑から地質の事前情報を得られれば、本坑拡張時の支保設計をさらに合理的に行える可能性があると考えられる。

参考文献

- 1) 日本トンネル技術協会(1995)：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
- 2) 福井，大久保 (1997)：TBM の掘削抵抗を利用した岩盤物性の把握，トンネルと地下，2 月号，pp. 35-43
- 3) Teale, R. (1965)：The Concept of Specific Energy in Rock Drilling, Int. J. Rock Mech. Min. Sci., Vol. 2, pp. 57-73
- 4) 青木，他 (1997)：硬岩自由断面掘削機による岩盤特性の推定，第 28 回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集，pp. 298-302
- 5) 土木学会編 (1991)：軟岩の調査・試験の指針（案），p.106