

Ⅲ - B49

崩落性地山におけるTBM掘削の推力・トルク変化と地山特性との関連性

大成建設 技術研究所 正会員 青木智幸
 大成建設 札幌支店 島屋 進
 大成建設 技術研究所 谷 卓也

北海道電力 滝里水力発電所建設所 白井和夫
 大成建設 機械部 内田正孝

1. はじめに

近年、TBMを用いたトンネルの急速施工が盛んであり、より大断面化するとともに、より軟質な岩盤にも適用範囲が広がられてきている。今回、滝里発電所導水路トンネルの施工には国内最大径の大型TBMを採用した。このトンネルの地質は、TBM工法区間2650mの内始めの約450mが新第三紀の砂岩泥岩互層で、軟質で亀裂に富み地山崩落の危険性が予想された。このような地盤では、掘削中の地山状況を的確に把握して支保や補助工法の選定に反映させることが重要である。本報では、この新第三紀層の450m区間を掘削した際のTBMの推力・トルクなどの機械データの変化と地山特性の関連性を分析した結果について述べる。

2. 機械データと地山特性の分析方法

今回採用したのは、Robbins製の直径8.3m、総重量830tonのダブルシールド型TBMである。掘削に当たっては、地山状況に応じて推力・トルクや掘削ズリの状態を見ながら、掘進速度を調節する。福井ら¹⁾は、既往の室内実験やTBMの掘削データをレビューして推力/純掘進速度(F/V)およびトルク/純掘進速度^{1.5}($T/V^{1.5}$)といったパラメータが岩盤強度と良好な比例関係を示すことを見出し、硬岩地山でのTBM掘削データに適用した。本報では、これらのパラメータの崩落性岩盤への適用について検討する。

本トンネルの当該区間は全線ライナーで支保したために、坑壁での調査を実施するのは困難であった。施工中に実施した調査・試験は、MG試験、丸棒載荷試験、および地山評価点である。MG試験²⁾は、メイングリッパを張り出したときの面圧力とグリッパ変位より岩盤の変形係数(MG係数)を求めるものである。丸棒載荷試験は、TBM前胴部のスプリングライン上の左右に一对取り付けられた油圧ジャッキで直径80mmの丸棒を載荷面応力で440kgf/cm²までの高応力で地山を載荷し変形係数を求める試験で、室内試験による既往の研究³⁾を応用したものである。地山評価点は、カッターヘッドの中のディスクカッターの隙間から切羽を観察し、切羽の安定性、亀裂の間隔・状態・形態、カッターの条痕、風化変質の6項目をそれぞれ5段階に評価し、地山の良否を0(不良)～100(良)点で評価した独自の基準によるものである。

3. 岩盤強度パラメータの相互相関関係並びに地山特性との関連性

図-1に、岩盤強度パラメータ F/V と $T/V^{1.5}$ の相関を示す。両パラメータは、硬岩地山では良好な相関関係を示すことが報告されている¹⁾。ところが、今回のような崩落性の岩盤では、岩盤の掘削抵抗以外の要因がこれらのパラメータに影響し、複雑な相関関係を示すことが分かった。これを概念的に表すと図-2のようになる。例えば、切羽が崩壊すると回転負荷が増加してトルクが大きくなる。また、天端の崩落によりシールドに上載荷重が作用して摩擦が増え、推力が大きくなる。さらに、曲線施工時は直線施工時に比べかなり大きな推力が必要となる。

図-2に示したように、 F/V 、 $T/V^{1.5}$ 、両パラメータともに大きいときは、岩盤強度が大きい場合と、逆に岩盤強度が小さくて崩落性地山の場合とが当てはまるので、これらを岩盤強度パラメータとして用いるためには掘削抵抗以外の要因を取り除かなければならない。後者の場合は、概して掘削を順調に行えない場合であるから、オペレータは通常掘進速度を遅くしている。そこで、純掘進速度が30mm/min以下のデータを除外し(本TBMの場合純掘進速度はズリの排出能力から最大70mm/min程度)、また、曲線施工区間のデータを除外してみると、図-1で $T/V^{1.5}$ が500を越えるデータおよび F/V が20を超えるデータは全て除外された。この操作をしてみると、

Keywords: TBM、不良地山、掘削抵抗、MG試験、丸棒載荷試験

連絡先: 〒245 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

この両パラメータにある程度の相関関係が見られるようになった。
以下、この操作を行った $T/V^{1.5}$ を他の計測データと比較検討する。

図-3 に、 $T/V^{1.5}$ と地山評価点、MG 係数、丸棒载荷による変形係数のトンネル進行に沿った変化を示す。 $T/V^{1.5}$ と地山評価点は概ね対応した変化を示している。 $T/V^{1.5}$ のデータが欠損しているところはカッターヘッドを低速回転（2.63 rpm、通常は 5.25 rpm）で掘削した部分である。低速回転は、切羽を痛めないように、また、切羽の崩落などに起因するメインモータの過負荷を防ぐために用いられるので、すなわち地山の悪い部分に対応している。MG 係数は $T/V^{1.5}$ が小さいあるいは地山評価点が高い部分では、10000 kgf/cm² 程度の小さい値を示している。丸棒载荷による変形係数は、左右の変形係数の両方が小さい値を示す部分と地山評価点などより地山が不良と判定される部分とが良く対応している。

4. まとめ

崩落性地山においては切羽や天端の崩落等により、岩盤強度パラメータが異常値を示すことがあるが、 F/V 、 $T/V^{1.5}$ 2つのパラメータの相関関係を検討することにより現在の切羽状況を把握できることがわかった。また異常値を除去することによって岩盤強度パラメータを評価できることも分かった。このようにして求めた岩盤強度パラメータは、地山評価点や丸棒载荷による変形係数と良好な対応を示した。

参考文献

- 1) 福井、他：資源と素材、Vol.112、No.5、pp.303-308、1996
- 2) 日本トンネル技術協会：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、1995
- 3) 松井、他：応用地質、Vol.30、No.4、pp.28-34、1989

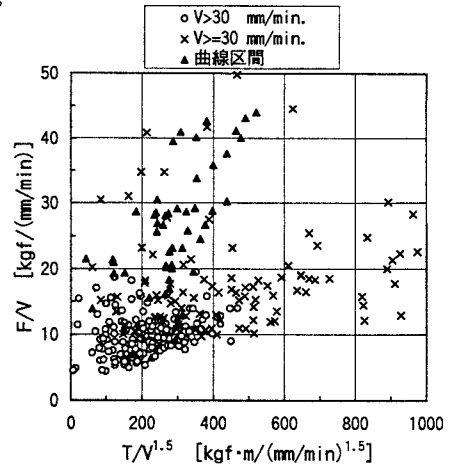


図-1 F/V と $T/V^{1.5}$ の相関

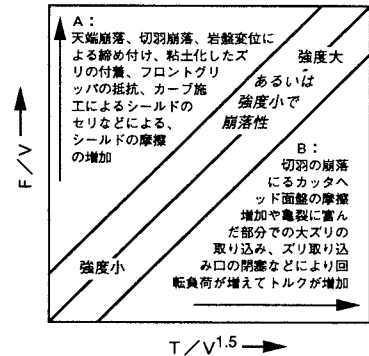


図-2 F/V と $T/V^{1.5}$ の相関関係の概念

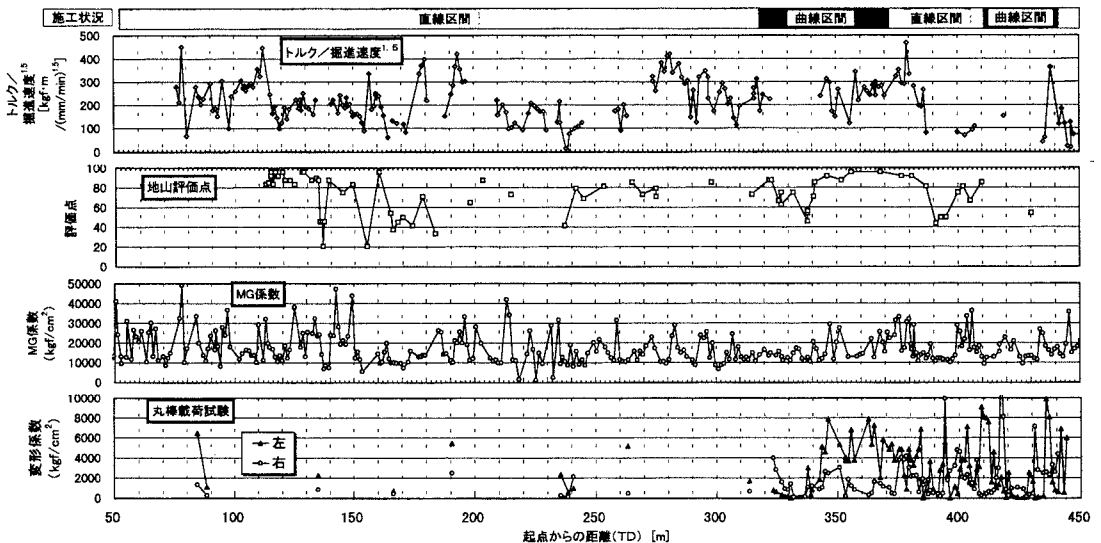


図-3 岩盤強度パラメータ $T/V^{1.5}$ と地山評価点、MG 係数および変形係数の比較