

Ⅲ-B82

TBMのスキンプレートと地山間の摩擦力を考慮した掘削データによる地山評価

大成建設(株)	技術研究所	正会員	谷 卓也
大成建設(株)	技術開発第二部	正会員	青木智幸
大成建設(株)	札幌支店		高山正志
北海道電力(株)	滝里水力発電所建設所	正会員	工藤正彦

1. はじめに

TBMによる施工の増加に伴い、TBM掘削時のデータを利用して地山の強度特性を判定する研究が数多く行われてきている。著者らはこれまでシールド型TBMの掘削データを取得し、福井ら¹⁾が提唱する実験式を用いてトルクおよび推力による岩盤強度の推定方法を検討してきた。既報では²⁾、崩落性地山においてはこの2つから算定した岩盤強度パラメータの不一致が生ずることを示し、これが切羽および天端の崩落状況、地山とTBMのスキンプレートとの摩擦力に因るものと考え、それらを概念的に相関図にまとめた(図-1参照)。今回、推力に含まれる摩擦力をTBMのリトラクト(後胴引き寄せ)力から求め、岩盤強度の算定に用いる推力を摩擦力を除去したものに補正し、岩盤強度をより正確に評価できるかどうかを検討した。

2. 掘削データと地山特性(岩盤強度)の算定

掘削データは、北海道電力滝里発電所導水路トンネル(北海道芦別市)工事に採用したRobbins社製、直径8.3m、総重量830tonのダブルシールド型TBMから取得した。分析に用いたデータは砂岩および頁岩からなる白亜紀層のうち比較的崩落の少ない約1000m区間を掘削したときのトルク、推力、掘進速度、リトラクト(後胴引き寄せ)力である。

岩盤強度の推定には、福井ら¹⁾の提唱する[推力による岩盤強度 $S_{Fn} = a_1 \times [\text{推力 } F] / [\text{掘進速度 } V]$ 、および[トルクによる岩盤強度 $S_{Tr} = a_2 \times [\text{トルク } Tr] / [\text{掘進速度 } V]$]^{1,5)}を採用した。 a_1 、 a_2 はTBM機械に依存するパラメータで、後述するように坑壁で採取したコアの一軸圧縮強度やシュミットハンマー試験結果と相関をとって決定する。この式はトルクや推力を掘進速度で除した形となっているため、オペレータによる人為的な掘進速度の操作が、算定する岩盤強度に影響を及ぼさない。なお、補正した推力 F' は、補正前の推力を F 、リトラクト力を Fr 、係数を b とすると $F' = (F - b \cdot Fr)$ で算定した。リトラクト力は1ストローク中の最大値を用いたが、これはTBM後胴の引き寄せ開始直後の静止摩擦による値である。よって係数 b は動摩擦係数と静止摩擦係数の比、前胴と後胴の重量の違い、摩擦力を受ける面積の違いに依存する係数である。なお、補正した推力 F' で算定する岩盤強度は $S'_{Fn} = a_3 \cdot F' / V$ と表され、 a_3 は a_1 、 a_2 と同様に求める。

坑壁から採取した岩石サンプルの一軸圧縮強度 Sc と岩石サンプル採取位置での各種の推定岩盤強度(S_{Tr} 、 S_{Fn} 、 S'_{Fn})の関係を図-2に示す。係数 $a_1 \sim a_3$ は各図で回帰係数が1となるように最小二乗法で決定し、 T 、係数 b は一軸圧縮強度 Sc と岩盤強度 S'_{Fn} の相関が最も良くなるように決定した。図より、トルクから推定した岩盤強度 S_{Tr} は一軸圧縮強度 Sc と良い相関があり、 S_{Tr} は岩盤強度をよく評価できていることが分かる。一方、推力から推定した岩盤強度 S_{Fn} は一軸圧縮強度 Sc との相関が悪い。しかし、推力をリトラクト力で補正して求めた岩盤強度 S'_{Fn} は、一軸圧縮強度 Sc と良い相関がある。このことから、摩擦力を考慮して推力を補正することにより、推力から算定した岩盤強度の推定精度を向上できることが分かった。

3. リトラクト力の大きさ

図-3は各岩種区間でのリトラクト力を示したもので、岩種により値の分布範囲が異なっている。中でも亀裂の多い砂岩頁岩互層区間におけるリトラクト力の平均値が最も大きく、その値もばらついている。その理由として、亀裂からの湧水によって掘削ゾリの細粒分が泥土化し、TBMのスキンプレートに付着して摩擦力を増大させたこ

キーワード：TBM、掘削データ、摩擦力、リトラクト力、岩盤強度

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

と、天端の岩盤がゆるんでTBMの上部に岩塊が載り、TBMにかかる荷重が増大したことが考えられる。

4. 補正した推力で算定した岩盤強度とトルクで算定した岩盤強度の相関関係

3.で述べた亀裂の多い砂岩頁岩互層区間における補正しない推力 F による岩盤強度 S_{Fn} とトルク T_r による岩盤強度 S_{Tr} の相関関係を図-4.1 に、同様に補正した推力 F' を用いた場合の S'_{Fn} と S_{Tr} の相関図を図-4.2 に示す。岩盤強度の算定に用いた係数 $a_1 \sim a_3$ および b は図-2 で決定した値を用いた。図-4.1 では、プロットした点の分布が面状になっており、相関係数は 0.12 と低いが、図-4.2 では多少相関が良くなり（相関係数は 0.28 と約 2 倍）、岩盤強度の推定精度が向上していることが分かる。なお、図-4.2 で推力の補正後も分布がばらつく理由は、図-1 の相関図にあるように切羽の崩落やズリの取り込み口の閉塞でトルクが増大したこと、TBMの姿勢制御操作によって本体の一部が地山と接触し、後胴引き寄せ時のリトラクト力では補正できない掘進中の一時的な摩擦力が増大したことが考えられる。

5. まとめ

摩擦力で補正した推力を用いれば、推力から岩盤強度をより精度良く評価できることが分かった。補正はリトラクト力のばらつきが大きい地山でも有効であることから、推力の変動は岩盤の破碎に要するカッター押し付け力の変化だけではなく、TBMのスキンプレートと周辺岩盤間の摩擦力の変化にも影響されることが考えられる。今後は、更に多くのデータを分析して岩盤強度の推定精度を高めるとともに、掘削データを用いて推定岩盤強度の相関関係から地山状況を正確に判定する手法を開発していきたい。

参考文献

- 1) 福井,他：資源と素材,Vol.112,No.5,pp.303-308,1996
- 2) 青木,他：土木学会第52回年次学術講演会講演概要集,No.3-B,pp.98-99

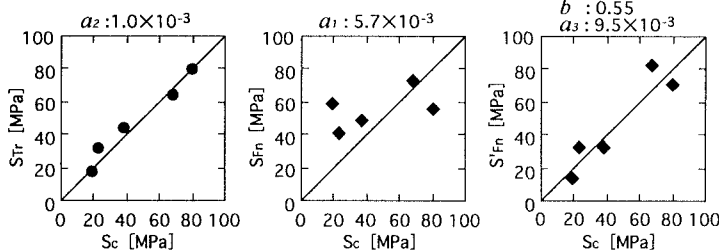


図-2 一軸圧縮強度(S_c)と推定岩盤強度(S_{Tr} , S_{Fn} , S'_{Fn})の相互相関 (相関図上の係数 $a_1 \sim a_3$, b は岩盤強度の算定に用いた値)

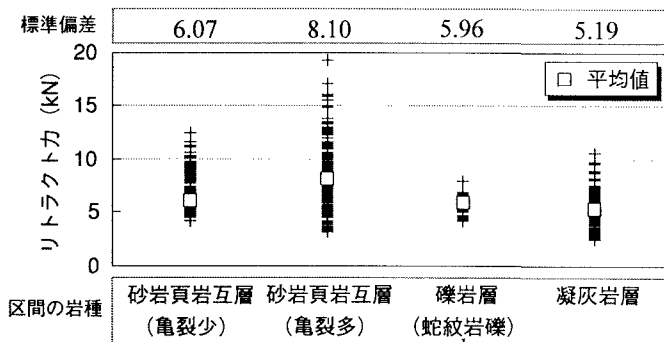


図-3 各岩種におけるリトラクト力の分布と標準偏差

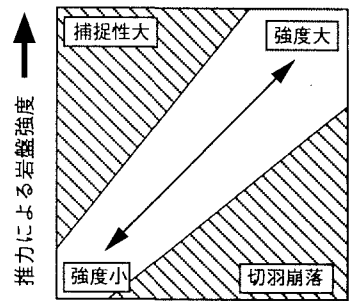


図-1 トルクと推力による推定岩盤強度の相関関係の概念

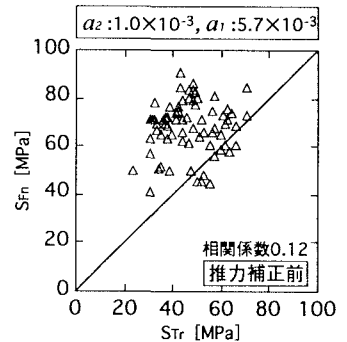


図-4.1 $S_{Tr} - S_{Fn}$ の相関関係

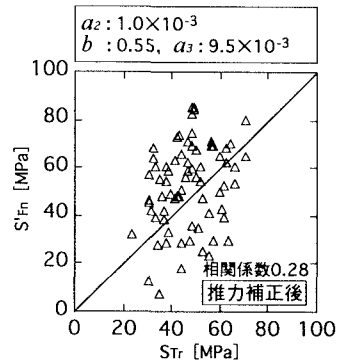


図-4.2 $S_{Tr} - S'_{Fn}$ の相関関係