

Ⅲ-328

TBMの純掘進速度とDRI (Drilling Rate Index) の相関性

(株)大林組 丹生屋純夫 鈴木健一郎
丸山 誠 藤原 紀夫

1. はじめに

TBM (Tunnel Boring Machine) 工法による施工を効率よく進めるには、切羽前方地山の性状を把握し、TBM掘進速度を的確に予測できるような掘削能率指標を確立することが重要となってくる。海外では脆性試験 (Brittleness test) とミニチュアドリル試験 (Siever's J-value Miniature test) を行うことによって求められるTBMドリリング指標 (DRI; Drilling Rate Index) が提案されており、硬岩におけるTBMの純掘進速度との間に良い相関性があることが報告されている^{1,2)}。しかし、日本国内ではTBMによるトンネル施工においてこのDRIが実際に適用されているケースはほとんどない。また、DRIを求めるための具体的な室内試験方法についても文献によってやや異なる。

この報告は、某トンネルTBM工事現場において掘削能率が予測できるかどうかの検討をするために、DRIを室内試験から求めてTBMの掘進速度との相関性を調べたものである。試験方法は、これまでの報告の試験方法を参考にしながら、独自の方法を考案した。

2. 室内岩石試験概要

2-1 試験試料

室内試験に使用した岩石試料はTBM施工箇所のうち、硬岩地域である約400m区間より、10~20m毎に22箇所て採取した。脆性試験用試料は、クラッシャー通過後、ベルトコンベアで輸送される粒状岩石を用い、ミニチュアドリル試験用試料はハンマー内の岩塊を採取し用いた。

2-2 脆性試験

写真-1に示すように、粒径約10~20mmの岩石試料0.5kgをモールドに詰め、14kgの錘を支棒を通じて高さ25cmより20回垂直落下させる。錘を落下させることによって、破碎した岩石試料を網目寸法9.5mmのあるいにかけ、通過重量百分率を求める。これが脆性値 (Brittleness value) であり、岩石試料の脆性度を評価するものである。

2-3 ミニチュアドリル試験

写真-2に示すように、拳大ほどの岩塊に20kgの力でドリル (材質: タングステンカーバイド) を押し当てながら200回転させ、1/10mm精度で貫入量を計測する。これがシーバーのJ値 (Siever's J-value) であり、岩石試料におけるドリルの切削度を評価するものである。しかし、今回の試験では200回転する前にビット全長 (20mm) が貫入してしまう試料があった。そこで、試験結果より単

位秒当たりの貫入量を割り出し、試験時間とドリル回転数の関係から200回転相当の貫入量を換算した。

2-4 DRIの算定

DRIは、文献³⁾に示すダイアグラムによって算定する。このダイアグラムは、脆性試験で得られた脆性値を横軸の値とし、ミニチュアドリル試験で得られたシーバーのJ値をパラメーターに、縦軸に設定したDRIを読み取るものである。DRIが大きい岩石ほど軟質であり、小さい岩石ほど硬質である。

3. 試験結果及び考察

3-1 室内岩石試験結果

TBM掘削位置に対して、脆性値とシーバーのJ値をプロットした結果を図-1に示す。この図より両者の値は、TBM掘削位置に対してほぼ同じ変化を示している。累積距離100mから200m付近までの区間は、脆性値とシーバーのJ値は大きい値を示している。これは、二つの指標の性質から、前後の区間と比べて軟

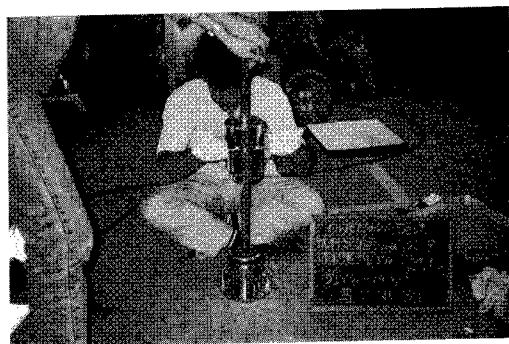


写真 1 脆性試験

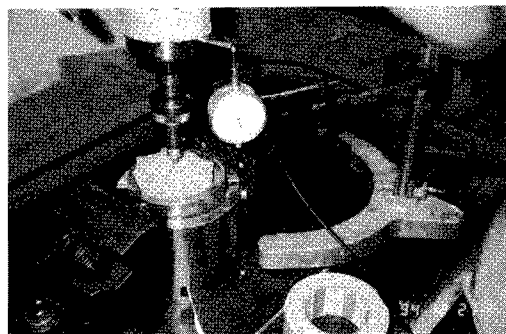


写真-2 ミニチュアドリル試験

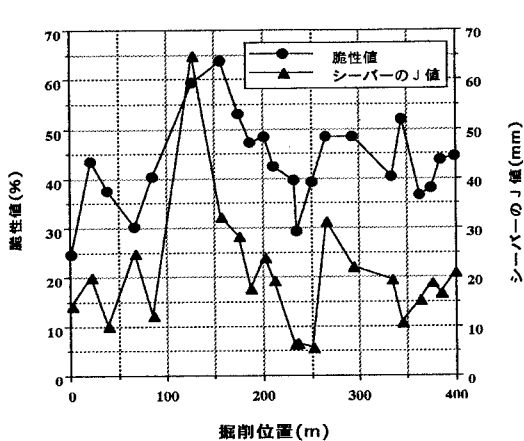


図-1 脆性試験結果とミニチュアリ試験結果

質な岩石が存在していると判断できる。250m付近においては逆のことが言える。

3-2 DRIとTBM純掘進速度

算定ダイヤグラムから得られたDRIを図-1と同様に掘削位置に対してプロットすると図-2となる。横軸にTBM掘削位置を、左縦軸にDRIを示している。同図に掘進約1m毎に自動計測されたTBM純掘進速度をプロットすると、DRIとTBM純掘進速度の間には十分な相関性がある。また、これらは玄武岩（一軸圧縮強度95MPa）や火山礫凝灰岩（一軸圧縮強度15MPa）という岩種による純掘進速度の変化にも対応していることがわかる。

以上より、DRIを用いることにより、岩種によるTBM純掘進速度の変化をある程度予測できることが示唆された。しかし、詳細に見ると、玄武岩でDRIも低い値を示しているにもかかわらず、掘進速度が速くなっていたり、逆に火山礫凝灰岩ではDRIが大きくなっている掘進速度は低くなっている箇所が見受けられる。このような食い違いが起きる原因の一つが、亀裂分布であると考えられる。DRIは岩石レベルの指標だが、実際のTBMは亀裂を含んだ岩盤内を掘削していく。TBM純掘進速度は亀裂の影響を多分に受けるはずである。そこで、DRIにその地点で計測した亀裂密度を掛け合わせた指標を考える。図-2のDRIを、この指標で置き換えたものを図-3に示す。その結果、DRIよりもさらに相関性の高いことが判明した。

4. おわりに

TBMの純掘進速度と岩石レベルの掘削性に関する一つの指標DRIとの関係を調べ、きわめて相関性のあることが判明した。さらに、亀裂を考慮した掘削性に関する指標についても算定を試みた。また、DRIを求めるために今回行った脆性試験とミニチュアリ試験の試験方法が妥当であることも確認できた。

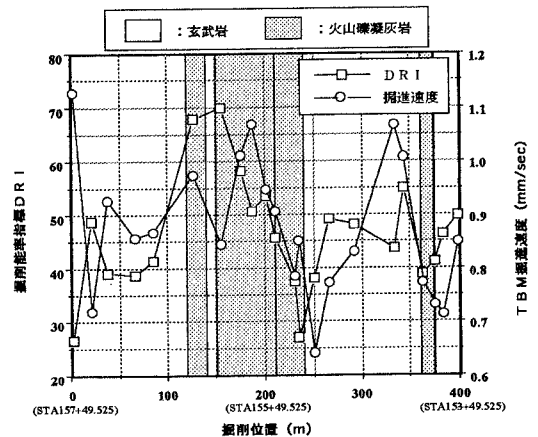


図-2 TBM掘削位置におけるDRIと純掘進速度

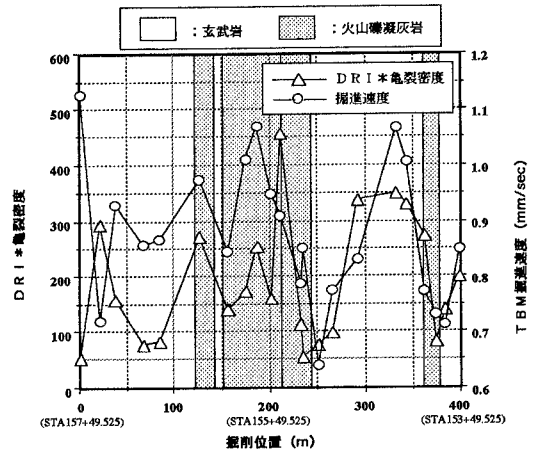


図-3 TBM掘削位置における新指標と純掘進速度

TBMドリリング指標DRIを実際のTBMによるトンネル工事において、設計段階における純掘進速度の予測に適用していくには、今後様々な岩種や強度別に試験データを収集し、亀裂密度とともに定量的に体系化する必要がある。

最後に、この報告の作成にあたり日本道路公団仙台建設局北上工事事務所ならびに（株）大林組・飛島建設（株）共同企業体の方々に御協力して頂いたことを申し添え、ここに深甚なる謝意を表します。（参考文献）

- 1) Bjorn Nilsen, Levent Ozdemir : Hard Rock Tunnel Boring Prediction and Field Performance, Rapid Excavation and Tunneling Conference, pp.833-852 (1993)
- 2) R. Selmer - Olsen, O. T. Blindheim : On the Drillability of Rock by Percussive Drilling, International Society for Rock Mechanics, Vol.3, pp.65-70 (1970)