

岩盤の掘削しやすさの試験方法

東京大学工学部 ○正員 西松裕一 ・ 秋山政雄
石炭技術研究所 鈴木 勝

1. 緒言

近年、建設産業の省力化・機械化に対する要求がますます高まると共に、トンネル掘進機に対する関心もまたますます高まりつつある。それに伴って多種多様の掘進機が、新幹線工事を始め各地の建設現場の多種多様な岩盤条件の下で使用されるようになった。しかし、周知の通りどのような岩盤条件の下でも、トンネル掘進機を使用し得るものではない。むしろ従来のさく岩発破工法と比較して、掘進機を適用できる岩盤条件は、かなり限定されているのが現状である。特に、いわゆる自由断面形の掘進機は、その構造上の理由から、経済的に掘削し得る岩盤の強度に上限がある。したがって、掘進機の使用の可否を判断する際には、その対象岩盤が掘進機で掘削し得る範囲のものであるか否か、また予想される掘削能率ほどの程度であるのかが、まず問題になる。

このような岩盤の掘削しやすさ、ないし掘進機の適用性を知るための指標とその測定方法については、従来から多くの提案がなされているが、いずれも一長一短があり、より正確な判断を下すための指標ないし試験方法の確立が要望されている。

本報では、このような観点から、まず従来使用されている岩盤の掘削しやすさの試験方法の長短を比較考察し、次に筆者らが開発試作した掘削性試験機の使用経験について報告したい。

2. 岩盤の掘削しやすさの指標と試験方法

岩盤の掘削しやすさを判定するための方法を試験場所ないし装置によって分類すると、試料を持ち帰って実験室で試験する方法と、現場で原位置の岩盤をそのまま試験する方法とがある。また測定量ないし試験の原理の面から分類すると、硬さ、弾性波速度など、他の力学的性質から推定する間接的方法と、圧入抵抗や切削抵抗を直接測定する方法とがある。従来使用されている各種の掘削しやすさの試験方法^(1~4)を、このような分類基準によって分類・整理してみると、第1表に示ようになる。

これらの試験方法のうち、実験室で間接的な指標を測定するもの(タイプ1-A)は、工事計画段階での調査結果がそのまま利用できること、専用の試験装置が不要であることなどで優れているが、岩盤の掘削しやすさとの相関が低いのは止むを得ない。これに対して、実験室で掘削抵抗を測定する方法(タイプ1-B)は、岩盤の割目の影響のない部分についての測定値を与えるので、掘削抵抗としては過大な値が得られ、したがって、掘削しやすさを過小に評価しがちである。

現位置の岩盤について測定した力学的性質から、掘削しやすさを推定する方法(タイプ2-A)は、大局的な判断をするために有力な方法であるが、掘削しやすさとの相関がやい近い。最後に、現位置の岩盤を直接に試験切削する方法(タイプ2-B)は、着工前の調査には利用し難いという欠点を持っているが、掘削しやすさとの相関が、他の方法よりも高い。

そのため、従来から作孔しやすさや鉱山における採掘し

第1表 岩盤の掘削しやすさの試験方法

原理 場所	A		B	
	間 接 法		直 接 法	
1 実 験 室	実 験	一軸圧縮強度	ミニコア作孔試験	
		衝撃破砕強度	くさびの圧入試験	
		Shore 硬さ	小形ピットによる切削試験	
2 現 位 置	現 位 置	弾性波速度	標準さく岩機による作孔試験	
		(き裂係数)	岩盤へのコーン圧入試験	
		R. Q. D. Schmidtハンマ	岩盤の切削試験	

やすさと関連して、多種多様のこのタイプに属する試験法が開発されて来た。筆者らが開発した掘削性試験機もまた、このタイプに属するが、このタイプに属する試験法が満足すべき条件として重要なのは、試験装置が簡便なこと、試験実施のために必要な人員・時間が少ないことなどである。

3. 新しい掘削性試験機の構造と試験方法

3.1. 構造

現位置の岩盤を実際に切削して、その掘削しやすさや掘進機使用の可否を判定しようとする試験機では、その試験切削の条件が、実際の掘進機の切削条件と近く、しかも再現性のあるものでなければならぬ。そのためには、切込深さを一定に保って切削を行なうのが望ましい。

第1図は、このような要求を満たすべく開発された掘削性試験機の構造説明図である。この試験機の開発経過については、すでに別に発表した⁵⁾のでこゝではおかない。

この試験機の基本構造は、ねじに沿って回転する円板に3本の切削ビットをとりつけたものであると言える。回転軸となるねじの先端は、普通のさく岩機で作孔されたボアホールにシエル形のロックボルトと同じ原理で固定されて、試験機本体（回転部）を支持する。

第1図で2はロックボルトであり、3は試験用切削ビット（すくい角 0° 、刃物幅10mm）1をとりつけた回転円

板を岩盤に向って、一定のビット（8mm）で前進させるためのねじである。人力で7のハンドル軸を回転させると、途中2段の減速歯車を経て、この円板が回転し、これにとりつけられた切削ビットが、一定の切込深さ（2.67mm）でボアホール周辺の岩盤に、リング状（直径150mm）の切削溝を切削して行く。

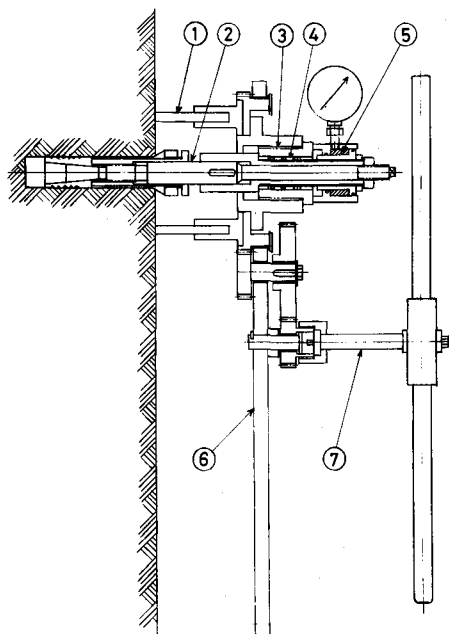
このような試験切削を行なう場合の切削抵抗の背分力は、ロックボルトとねじとの間に入れたスプライン4によって、油圧室5に伝えられる。この油圧室の圧力をブルドン管圧力計で測定して、岩盤の掘削しやすさの指標として用いる。なお6は試験機本体が自転するのを防ぐためのレバーである。

この試験機の総重量は、約34kgで、ロックボルト、本体、ハンドル、レバーの4部分に容易に分解することができる。

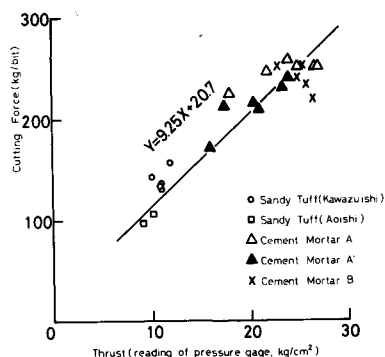
以上にのべた構造から直ちにわかるように、この試験機では岩盤の切削抵抗の背分力を測定している。しかし、トンネル掘進機の掘削成績に直接関係するのは、背分力ではなくむしろ主分力である。そこでこの試験機における直接の測定量であるブルドン管圧力計の示度の平均ピーク値と、特別にとりつけたダイナモメータで測定した切削抵抗の主分力の平均ピーク値との関係を、実験室実験によって求めてみた。結果は第2図に示す通りで、両者の間には

$$P = 9.25Q + 20.7 \quad (1)$$

で表わされる直線関係があり、その相関係数は0.95である。ただしこゝでPは切削抵抗の主分力(kg)、Qはブルドン管圧力計の



第1図 掘削性試験機の構造



第2図 切削抵抗の主分力と試験機圧力計の示度との関係

示度 (kg/cm^2) である。

第2表 掘削性試験機による測定所要時間

No.	測定操作	所要時間(分)
1	切削面の切りつけ	5~6
2	作孔	3~4
3	切削面の平滑化	2~3
4	ロックボルト固定	1~2
5	本体取付け・面付け切削	13~15
6	ビット交換・測定準備	4~5
7	試験切削	6~10
8	試験機のとりはずし	10~15
合 計		44~60

3.2. 現位置試験の手順

上記のような構造の掘削性試験機を用いて、現位置の岩盤の掘削しやすさを測定する手順は次の通りである。

(1) トンネル・坑道の掘進切羽 (あるいはその他の岩盤) の一部を、つるはし、エヤピックなどで切り付けて浮石を落し、凹凸をなす。

(2) さく岩機 (またはオーガ) で、直径 $42\sim 46\text{ mm}$ 、深さ $40\sim 60\text{ cm}$ のボルト孔を作孔する。

(3) ボルト孔口元付近の約 20 cm 四方を、たがねで平滑化する。

(4) ロックボルトをボルト孔に挿入、固定する。

(5) 試験用切削ビットの代りに、刃物幅 20 mm の面付けビットをとりつけた本体を、ロックボルトにとりつける。この面付けビットで予備切削を行ない、試験切削すべき岩盤表面を平滑にする。

(6) ロックボルトから試験機本体をとりはずし、面付けビットを試験用切削ビットに交換して、改めて本体をロックボルトにとりつける。

(7) 試験切削を行ない、本体が $1/3$ 回転するごとにブルドン管圧力計の示度の最高値を読みとる。原則として4回転まで試験切削を行なうが、最初の1回転はいわゆる「すて切り」とし、以後4回転までの間の測定値9個の平均を計算して、その岩盤の掘削しやすさの指標とする。

(8) 試験切削が終了すると、まず試験機本体をとりはずし、次にロックボルトを回収して、全測定操作を終了する。

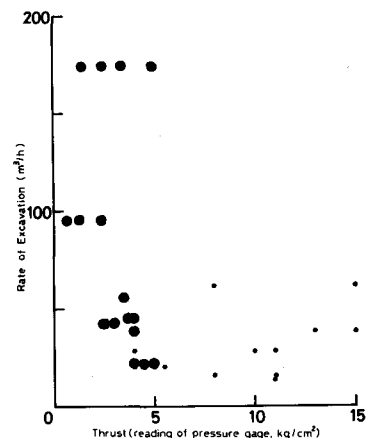
このような測定操作を3人で実施するのに必要な時間は、第2表に示す通りである。

4. 掘進機の掘削実績と岩盤の掘削しやすさ

以上のような試験方法で測定した岩盤の掘削しやすさの指標 (ブルドン管圧力計の示度の平均ピーク値) と、トンネル掘進機の掘削実績との間の相関関係を確かめるため、いくつかのトンネル工事現場や鉱山において、掘進切羽の岩盤の掘削しやすさの実測を行なうと同時に、掘進機の運転1時間あたりの地山掘削量 (純掘削能率) を調査した。

純掘削能率は原則として、切羽面に高さ $1.5\sim 2.0\text{ m}$ 、横幅 $2.0\sim 3.0\text{ m}$ の長方形を白ペンキで描き、この部分のみを一定の突進深度 ($40\sim 60\text{ cm}$) で掘削するに要する時間を、ストップウォッチで測定するという方法で求めた。第3図に、現在までに得られた岩盤の掘削しやすさと純掘削能率との関係を示す。ただし、掘削ヘッドの原動機出力によって、掘進機の標準能力は著しく異なるので、純掘削能率は掘削ヘッドの原動機出力に比例すると仮定して、原動機出力 100 kW あたりの純掘削能率に換算した値が示されている。また第3図に小円でプロットしたデータは種々の事情で掘進機の純掘削能率の実測が不可能で、作業日誌その他からこれを推算したものである。

第4図は、第3図に示したデータを両対数グラフに書き直してめたもので、これから純掘削能率 η と岩盤の掘



第3図 掘進機の純掘削能率と試験機油圧計の示度との関係 (その一)

削しやすさの指標 Q との間には

$$\eta \geq \frac{75}{Q} \quad (2)$$

という関係が成立すると言える。

なお掘削しやすさを測定する際採取した岩石試料について、一軸圧縮強度を測定した結果と純掘削能率との関係を、第5図に示す。

5. 結語

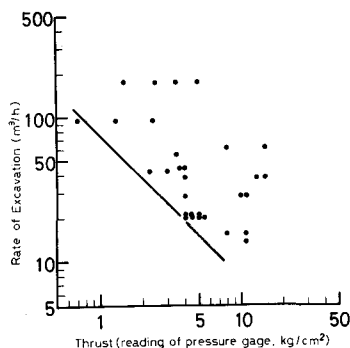
岩盤の掘削しやすさ、ないしトンネル掘進機の適用性を推定するために従来利用されている試験方法を4グループに分類したとき、最も証言力が大いと考えられるのは、現位置で直接に切削抵抗を測定する方法である。

このような現位置切削抵抗測定装置の一つとして、筆者らが開発した掘削性試験機の構造と使用経験とについてのべた。また、この試験機で測定した岩盤の掘削しやすさと掘進機の純掘削能率との間の関係を求めるため、多くのトンネル工事や鉱山の掘進切羽において測定を行ない、その結果をグラフにまとめて示した。現在までに得られた結果はかなりばらつき、掘削しやすさの指標の値から、グラフないし数式によって、トンネル掘進機の純掘削能率を推定するときの精度は、それほど高くない。しかし少なくとも一軸圧縮強度よりも適確、敏速に純掘削能率を推定し得るであろう。また今後とも現場実験を続行して、データを集積することによって、掘削しやすさの指標と純掘進能率との関係曲線をより明確にし得ると期待される。

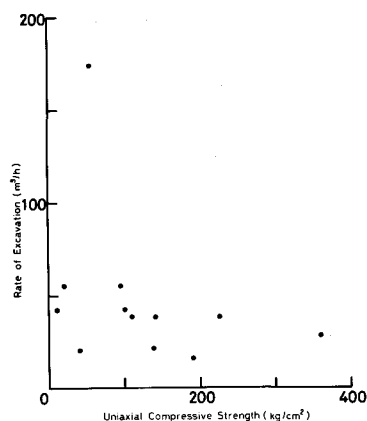
最後に現位置試験に御協力頂いた関係者各位に厚く感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 三沢清扶, 樫井孝, 高橋昭敬: オ7回岩盤力学シンポジウム講演概要(1972) p. 31/5
- 2) K. SPIES: Glückauf 日本版, 5 (1956) p. 588/99
- 3) Н. И. СИДОРЕНКО: 邦訳 УГОЛЬ, 31号(1963) p. 26/7
- 4) 山口梅太郎, 西松裕一: 岩石力学入門(1967) 第5章
- 5) 渡辺慶輝, 他4名: 日本鉱業会春季大会講演要旨集(1974) p. 287/8



第4図 掘進機の純掘進能率と試験機圧力計の示度との関係(その一)



第5図 掘進機の純掘進能率と岩石の一軸圧縮強度との関係

The Development of Rock Machinability Testing System for Tunnel Boring

by Yuichi Nishimatsu,
Masaru Suzuki, and
Masao Akiyama

In this paper, the authors give a short critical review of various rock machinability testing systems and report some experiences of in-situ tests of a new portable rock machinability tester.

The rock machinability testing systems are classified into the following four types:

- (1) Indirect methods by laboratory test which gives rock machinability index based on appropriate mechanical properties of rock.
- (2) Indirect methods by in-situ test which gives rock machinability index based on appropriate results of in-situ test of rock mass.
- (3) Direct methods by laboratory test which measures the cutting force of appropriate cutting tool with rock sample.
- (4) Direct methods by in-situ test which measures the cutting force of appropriate cutting tool with rock mass.

It is indicated that the most reliable testing system is the last type which includes a portable rock machinability tester developed by the authors.

The design of this tester is as follows:

The main part of this tester is set on the rock-bolt which is inserted and fixed into a borehole with depth of nearly 50cm. The rock wall is cut with 3 drag bits fixed on the frame disc which is manually rotated by means of reduction gears and ratchet handle, and advanced along a feed screw. The thrust component of cutting force is converted to hydraulic pressure to be detected with a Bourdon pressure gage. The indication of pressure gage is used as the index of rock machinability. The tester weighs about 34kg and a test in-situ takes only about 45-60 minutes by 3 persons.

The availability tests during two years shows that this tester has a good availability. The correlation diagram between the rate of excavation of rock tunnelling machines and the rock machinability index obtained with this tester is prepared.