

国鉄 鉄道技術研究所
フジ工業(株) 技術開発センター
同上

正員 〇杉井 孝
金子完朗
正員 吉野耕一

1. まえがき

トンネルの急速施工という点とで、近年トンネル掘さくの機械化の開発が進められ、施工の実績が集積されつつある。本文は、東北新幹線・岡トンネルにおいて、硬岩用トンネル掘進機(掘さく径5.03m, カッタ個数56, スラスト能力750t以下RTMと呼ぶ)を使用し、いくつかの実績をえたので、これらの実績をもとに地質に対するRTMの掘さく性について述べ、掘さく性に対する岩盤の適切表現法を見つけたので報告する。

2. 地質概要

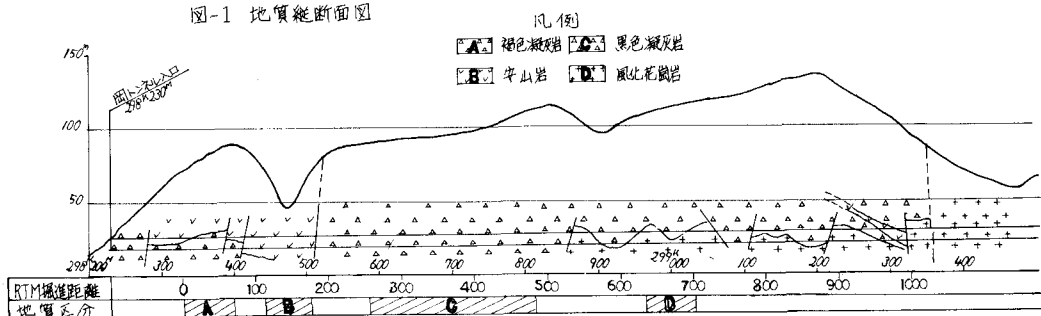
岡トンネル(延長1740m)は阿武隈川支流白石川の北方に位置し、標高50~100m程度の丘陵地帯を貫くものである。白石川周辺では中生代の花崗岩を基盤とし、新第三紀中新世の東北地方を中心にした火山活動を伴う造山運動により、安山岩の噴出岩、凝灰岩、凝灰角レキ岩、砂岩、泥岩はどんな不整合で堆積している。

岡トンネルの地質は、ちようどトンネルの中央付近で地質が分けられ、東京方面新第三紀高館層、盛岡方面花崗岩と推定された(図-1)。新第三紀高館層は岡トンネルにおいては火山起源のもので占められており、大略は坑口から順に安山岩、軟質の凝灰角レキ岩、凝灰岩となっている。火山弾性波速度は2.0%から3.0%と岩の硬さに応じて速度が増しているが、安山岩は一部断理が発達し、けい質粘土などの変質作用を受けている。安山岩は全般に硬質である。トンネル中央部から花崗岩に変わるが、この花崗岩は過去に地表を形成していたもので、しかも現在かなり浅く、相当に風化が進行しているものもある。

3. 地質の分類

岡トンネルの導坑掘さくでは、種々な地質をRTMによって掘さくした。そこで、どの程度の掘さく効率を得られたのかを地質別に分類し、平均化して考察してみる。ここでは図-1にあるように、地質をA~Dの4つに区分してみた。A:褐色凝灰岩(一部角レキを含み集塊岩)、 $\sigma_c=101\text{kg/cm}^2$, B:安山岩、 $\sigma_c=1940\text{kg/cm}^2$, C:黒色凝灰岩、 $\sigma_c=127\text{kg/cm}^2$, D:風化花崗岩、 $\sigma_c=195\text{kg/cm}^2$, また地質特性は以下に示す通りである。地質Aについては、地質Cより強度は小さいが、質的には同じものと考えられる。しかし地質の悪いDよりも掘さく速度が遅い。Bについては、き裂間隔が1m程度の塊状安山岩で、その圧縮強さは1900 kg/cm^2 を超えている。ここではタングステンカーバイトのインサートチップ型カッタを威力を発揮し、0.7%の掘さく速度を得ることができた。地質Cは岡トンネルの中で最良の地質であり、掘さく速度も平均日進約16m、2.0%を得た。ただし、Cと同じ地質

図-1 地質縦断面図



区間である900m付近の掘さくでは、掘さく速度2.76%/h(1の方では3.08%/日進40.5m)を記録しているので、適性スラストで掘さくした場合に、この地質では2.5%程度までは掘さく可能であろう。Dは全区間1.5mピッチで支保工を建込みながら掘さくした区間で、地質も風化花崗岩、マサ、凝灰岩と目まぐるしく変化し、マサ区間では湧水もあった。ここでは、爆破工法では矢板送りが必要と思われるような箇所でも、RTMにより地山を乱さず掘さくすることができ、崩落は少なく、かけ矢板で施工された。また支保工建込みやRTMの作業に十分慣れてきたこともあって、このような地質不良箇所でも日進平均約8mを得ることができた。「掘さく速度」は同じ地質を掘さくする場合でも、スラスト、回転数、カット摩耗状態によって変化するもので、はにをもつて掘さく速度とするかは問題がある。今回は対象地質を掘さくした約10日間の実掘さく時間の総計で、その掘さく延長を除いたものとし、表-1の岩石試験結果の中に示した。

4. RTMの掘さく性と関係

トンネルをRTMによって掘さくする場合、そのトンネルはRTMで掘さく可能であるか否かは、その地質状態によって決まり、RTMを投入する場合にこれは知ることが事前調査の最大の目的となるが、この報告ではその可否とは触れない。一方地質によって、どのような掘さく速度が得られるかを知ることが、重要なことであり、できればRTM投入前の調査段階で判明できるようにしたいものである。しかるに「RTMで掘さく」に対応する「地質の状態」を何によって表現するかについては以前からいろいろ議論がなされている。例えば地質の状態を表現するための岩石試験法として、1. 圧縮強度(または引張強度) 2. き裂係数と圧縮強度(準地山強度) 3. 室内貫入試験などが考えられている。これらの他に、今回ショア-硬度試験、シュミットハンマー試験によって地質状態を表現できないかと考えて実際にRTMで掘さくした地山および地山から採取した供試体で試験をしてみた。この試験法は両方とも岩石の反発度を知るもので、規定値の物理的意味は不明であるが、ともかく岩石の強度、風化、き裂状態、組織、内部構造をよく表現している試験法と考えられる。因トンネルの場合、掘さくした岩石は、先にあげた4種に大別されるので、その4種類について試験を行なった。

4-1. シュミットハンマー試験

RTMの掘さく壁面には、盛り替えで方向修正する時に、スクレーパーで壁面を平滑に削ることがある。その平滑は中10m程度の壁面を利用してシュミットハンマー試験を行なった。試験は、一岩石あたり、2~4箇所で行ない一箇所では20測点をとリ、水平方向に行なった。今回の岩石では中硬岩に属する岩石が抜けているが、測定結果を図示すると掘さく速度との間により対比が見られる。

4-2. ショア-硬度試験

4種の岩石についてショア-硬度試験を行なった。試験片は、地山から採取したものを、カット及び表面研磨装置(薄片整形用)によって整形した。大きさは大体5cm四方で厚さ3cmのものである。試験は、一試験片について、無作為に20~36点で測定し、表面上のき裂に測点があったもの(読値0)以外は全ての値を採用し、その平均値 $\bar{a}_v$ と標準偏差値 σ を求めた。そして $\bar{a}_v$ 及び $(\bar{a}_v - \frac{\sigma}{2})$ と掘さく速度との関係を図示すると $(\bar{a}_v - \frac{\sigma}{2})$ との間により対比が見られる。

表-1 岩石試験結果

測定項目 岩の区分	圧縮強度	圧裂強度	ヤング率	ショア-硬度	破壊ショア-硬度	シュミット試験 (水平方向)	掘さく速度
褐色凝灰岩	101 ^{kgf/cm²}	12.8 ^{kgf/cm²}	4.3×10 ⁴	24.2 ^{kgf/cm²}	21.9	32.7	1.36%/h
安山岩	1940	196	7.3×10 ⁵	72.2	69.5	58.4	0.70
黒色凝灰岩	127	17.0	2.5×10 ⁴	15.6	14.7	22.1	2.05
風化花崗岩	195	14.0	—	24.0	17.4	30.9	1.55

4-3. 考 察

一般に岩石が破壊する時には岩石内部の弱線によって破壊する。それ故、健全な試験片の圧縮強度は地山の状態を表現してはいないと考えられる。即ち、ある試験の供試体は地山のうちのどのような状態を表現しているかを知らなければならない。RTMの掘さく速度を考えた時、問題にしなければならない地山の大きさはカッタが地山の掘さく面にあたる場所の大きさを代表される。カッタの間隔は5cm程度なので、それに対する「地山」も供試体として5cm角程度までの大きさの力学的挙動が知れるようなものを選ぶべきと考えられる。シュミットハンマー試験は測定のせいぜい5cm程度の岩石の状態によって測定値が得られるのでその事やえに合致しているといえるのではないだろうか。ショアー硬度試験では測定点の影響範囲は3cm程度のもの、RTMのカッタを対象とするには小さいものである。また岩石の組織の違いにより、かなりのバラツキを示すものである。例えば風化した花崗岩では結晶粒子が岩石内に固定されている状態、及び結晶の種類によって測定結果にばらつきを示す。また岩石が破壊される時には弱線に沿って破壊されることを想定すれば「地山」の状態を表現するにはショアー硬度の試験値の平均値をもつてするより、平均値より弱いところの値をもつて表現すべきと考えられる。今回の標準偏差値の1/2を平均値から減じたものを「破壊ショアー硬度」と名付けて掘さく速度との対比を試みたところ図のように高い相関性が得られた。シュミットハンマー試験の場合には測定点の影響範囲がカッタの間隔にほぼ一致し、また測定値のばらつきもレキ岩のようなものを除けば小さいので、平均値そのもので対比したものである。(図-2)

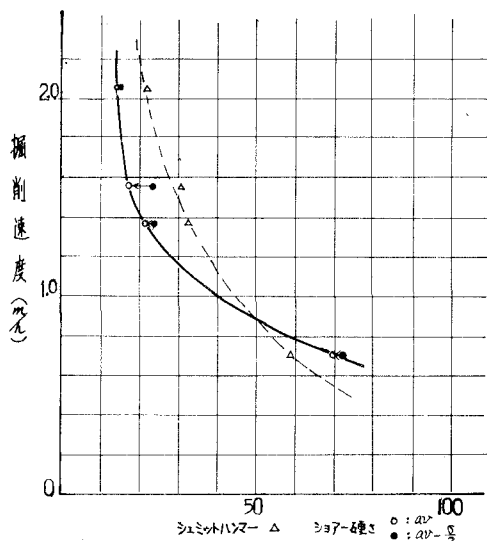


図-2 硬度試験と掘さく速度

4-4 事前調査法

シュミットハンマー試験では、供試体の大きさが30cm角程度のものを必要とするのに対し、ショアー硬度試験ではボーリングコアから供試体を作成することのできるため掘さく速度を知るための事前調査法として有効であると考えられる。ただし、これにはRTMの採用の適否、カッタ摩耗量などは関係は無くこれらについては別の調査法によって求めなければならない。

5. ま と め

岡トンネルで行われたRTMによる掘さくの結果から次のようなことが得られた。

1. シュミットハンマー試験と掘さく速度とは相関性が大きい。
2. ショアー硬度試験において、その平均値から標準偏差値の1/2を減じた値は掘さく速度との相関性が大きい。
3. ショアー硬度試験はRTMの掘さく速度を知るための事前調査法として有効なものである。

参考文献

- 1) 三沢清扶, 高橋昭敏, 桜井寿「RTMに関する岩石・岩盤調査法」鉄道技術研究所速報(1972・6)
- 2) 佐野茂雄, 金子完朗「東北新幹線・岡トンネルの施工概要」建設の機械化(1974・1)
- 3) 桜井 寿「機械掘さくによる東北新幹線・岡トンネル」トンネルと地下(1974・3)
- 4) 斎藤徳美, 阿部司「シュミットハンマーによる風化火成岩の反発度について」物理探査Vol.26, No.1, 1973