

## 53. 岩石組織が及ぼす TBM 摩耗への影響と、その定量的比較

Influence of Petrologic Texture upon the Wear of Tunnel Boring Machines, and those quantitative measuring

○戸邊勇人, 山本拓治, 佐藤一成, 大畑俊輔 (鹿島建設技術研究所)

Hayato Tobe, Takuji Yamamoto, Issei Sato, Shunsuke Ohata

## 1. はじめに

トンネルの掘削法には、開削工法・NATM・TBM など多くの施工法がある。これらのうち、TBM による掘削工事において、合理的かつ経済的に施工を進めるためには、ディスクカッタ（以下、カッタ）の摩耗量・貫入量の正確な見積りが重要である。

カッタの摩耗の見積りに一般的に用いられている指標には、一軸圧縮強度のほか、石英含有率が挙げられる<sup>1)</sup>。石英は、主要な造岩鉱物の中で、最も高い硬度（モース硬度・ビッカース硬度）を示すだけでなく、圧子の押込みに対する抵抗（マイクロインデンテーション試験）でも高い値を示す（表 1）。TBM は、切羽の表面にカッタを押し付けつつ、転動することによって掘削を行う。そのため、岩石中に高い硬度と押込み抵抗値をもつ石英が多く含まれている場合には、カッタの摩耗も大きくなると考えられる。

表-1 花崗岩の主要造岩鉱物の性質<sup>2)3)</sup>

	マイクロインデンテーション試験		モース硬度
	最大荷重(mN)	HTL	
石英	981	461	7.0
カリ長石	981	370	6.0~6.5
斜長石	981	233	6.0~6.5
黒雲母	98	9	2.5~3.0

花崗岩や花崗閃緑岩などの花崗岩類は、石英・カリ長石・斜長石・黒雲母・角閃石を主成分としており、体積比で 25~40%の石英を多く含んでいる。そのため、花崗岩類の TBM 掘削では、石英の解析が重要である。

## 2. 調査地の地質

本研究は、中部地方のトンネル掘削現場を対象とした。研究地に分布する岩種は、領家花崗岩に属する花崗岩類であり、粗粒黒雲母花崗岩（以下 A 種）、中粗粒角閃石黒雲母花崗閃緑岩（B 種）、および中粗粒黒雲

母花崗岩（C 種）の 3 種に区分される。

3 種の花崗岩類から石英だけを取り出してみると、A 種の石英粒子が孤立しているのに対し、B 種、C 種の石英粒子は連結しあっている（図-1）。

## 3. 岩種間での摩耗量と石英含有率・形状の比較

研究地において、TBM のカッタ摩耗量を岩種間で比較した結果、掘削体積あたりの摩耗量の比と、石英含有率の比との間には、大きな差が認められた（表-2）。とくに A 種と C 種は、類似した岩種（ともに花崗岩）であるにもかかわらず、石英含有率の比に対して、掘削体積あたりの摩耗量の比が大きな値を示した。なお、岩種間において、風化程度や亀裂の存在には大きな差がなく、一軸圧縮強さにも差が認められなかった。

表-2 TBM 掘削時の摩耗の結果

岩種	掘削体積あたりのビット摩耗量		一軸圧縮強さ		石英含有率	
	(mm <sup>3</sup> )	Aとの比	(MN/m <sup>2</sup> )	Aとの比	(%)	Aとの比
A	0.038	1.0	130.5	1.0	31.1	1.0
B	0.039	1.0	127.0	1.0	37.8	1.2
C	0.092	2.4	135.2	1.0	39.5	1.3

岩種、風化程度、および石英含有率に大きな差を示さない岩種間において、カッタの摩耗に大きな差が生じた原因は、含有率以外の石英の性質の差に起因すると考えられる。前述のように、A,C 種で石英の形状を比較すると、A 種に比べて C 種の石英粒子は互いに連結しあっている（図-1）。このことから、花崗岩類では、石英粒子の形状が、摩耗に影響を及ぼす要因の一つになっていると予想される。

石英をはじめとした鉱物の形状を定量化する試みは、岩石学の分野で研究されているが<sup>4)</sup>、鉱物粒子の連結性を直接定量化する研究はこれまであまり行われてこなかったようである。筆者らは、かつて風化に影響を及ぼす岩石組織の定量化法を開発しており<sup>5)</sup>、本

研究ではその測定法を石英粒子の分析に応用した。ここではその分析法を示すとともに、結果についても簡単な考察を記す。

## 4. 石英粒子の連結率と定量化法

石英粒子の連結率は、以下の手順で測定した。

(1)岩石の画像化：岩石を約 3.5cm 程度

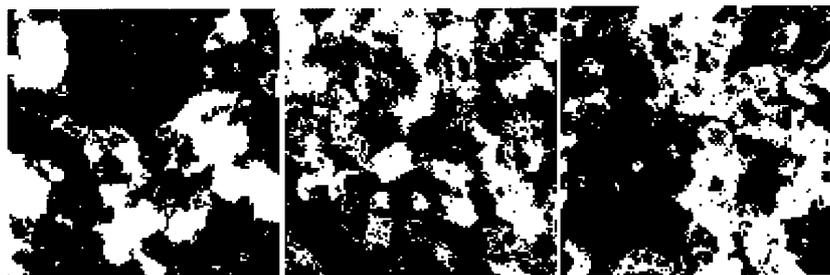


図-1. 各岩種の石英の形状（左 A 種、中 B 種、右 C 種 一辺約 3cm）

のチップに切断し、切断面を研磨する。研磨面をスキャナで PC に取り込む。

(2)石英粒子の抽出：同種の鉱物は類似色を示す性質をもつ。そのため、画像処理ソフトの近似色の選択機能を利用すると、石英の分布範囲が選択できる。この方法で石英が過不足なく選択されたら、石英部分を白色に塗りつぶし、その他の部分を黒色に塗りつぶす。

(3)石英連結率の算出：画像処理で得られた画像全体では、上端から下端まで連結した石英粒子の塊（クラスタ）は存在しない。画像全体を小さい領域に分割していくと、一部の分割領域に、上端から下端まで連結したクラスタ（無限クラスタ）が生じる。この無限クラスタの存在割合をそのサイズの連結率とする。すなわち図-2を例にすれば、16個の分割領域のうち、3つに無限クラスタが存在するため、画像全体の1/4サイズでは $3/16=0.1875$ の割合で石英粒子が連結しているとみなせる。これを「石英連結率」と定義する。

(4)数式化：分割サイズを変えながら石英連結率を複数回測定した後、 $y$ を石英連結率、 $x$ を分割サイズとしてグラフにプロットし、 $y=f(x)$ の式で近似する。これにより任意のサイズにおける石英連結率が求められる。

なお、この測定は、PCを使用して、自動的に実行した（測定時間は1分/回程度）。使用した機材・ソフトウェアは以下の通りである：

スキャナ：FUJIXEROX 社製 ApeosPortIV

解像度：400dpi (1pixel=0.0635mm)

PC：Lenovo 社製 Think Centre

(CPU:Core2Duo 2.93GHz,メモリ 2GB)

画像処理ソフト：GimPhoto ver1.4.3

解析プログラム開発言語：十進 BASIC

(文教大学白石和夫氏作)

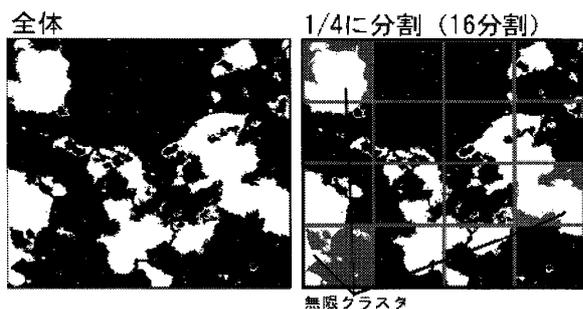


図-2 石英連結率の定量化法

## 5. 結果と考察

同一岩種の A,C 種を比較すると、7.5mm サイズにおける石英の連結率が、掘削体積当たりの摩耗量とよい相関を示していた（表-3）。なお、B 種は花崗閃緑岩であるため、花崗岩の A,C 種と同列での比較ができないと考えられるため、比較から除外した。

A,C 種の掘削において、摩耗に差が生じた原因は、以下のように、石英粒子の連結性の差によるものと考えられる。石英は、押し込みに対して強い抵抗力をもつ

ため、カッタの押し込みによって変形しにくい。一方、長石類や有色鉱物は石英に比べると変形しやすいため、カッタの通過によって内部に微小な亀裂が発現する。石英粒子が孤立している A 種では、繰り返しのカッタが通過することにより微小亀裂が拡大しやすいため、切羽の表面が剥離しやすく（図 3 上）、掘削量に比してカッタの摩耗が小さくなったと考えられる。その一方、C 種では、石英粒子が骨格をなしているため、長石類や有色鉱物の微小亀裂が発現・拡大しにくい。そのためカッタの転動によっても岩石表面が剥離しにくく、カッタが摩耗しやすいと考えられる（図 3 下）。

以上のことから、花崗岩類の掘削では、石英含有率だけでなく石英粒子の形状、とくに粒子間の連結性もあわせて考えると、摩耗量の見積もりの精度が、より向上すると考えられる。

表-3 摩耗量と石英連結率の比較

岩種	掘削体積当たりの摩耗量		石英連結率			
			分割サイズ=7.5mm		分割サイズ=10mm	
	(mm/m <sup>3</sup> )	Aとの比	(%)	Aとの比	(%)	Aとの比
A	0.038	1.0	19.2	1.0	15.5	1.0
C	0.092	2.4	48.5	2.5	49.6	3.2

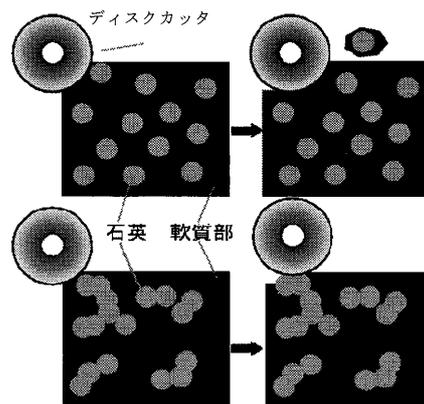


図-3 岩石の剥離のイメージ

## 文献

- 1) 谷本親伯ほか(2006):TBM 施工におけるディスクカッタの摩耗と岩石の物性に関する研究, 材料, Vol.55,No.1,pp.29-36
- 2) 荒木裕行・長谷川修一(2000):造岩鉱物の押し込み変形挙動,日本応用地質学会中国四国支部平成 20 年度研究発表会発表論文集,pp.13-18
- 3) 地盤工学会(2000):岩の調査と試験,pp.485-490
- 4) e.g. Heilbronner, R.and Keulen, N(2006): Grain size and grain shape analysis of fault rocks, Tectonophysics 427, pp.199-216
- 5) Tobe H. and Chigira M. (2006): Causes of shallow landslides of weathered granitic rocks - from the view point of weathering styles and petrologic textures -, Disaster Mitigation of Debris Flows Slope Failures and Landslides(Edited by Marui,H.et al.), UNIVERSAL ACADEMY PRESS, INC., pp.493-501