

鉱物の硬度が花崗岩掘削に与える影響

香川大学 大学院工学研究科	学生会員	○荒木 裕行
香川大学 工学部	正会員	長谷川修一
株式会社 推研	非会員	蒲田 洋
株式会社 推研	非会員	野田 彰

1. 背景および目的

琵琶湖周辺から南部にかけの地域には、後期白亜紀から古第三期に形成されたとみられる花崗岩体が分布しており、滋賀県甲賀市信楽町で産出される信楽花崗岩もそのひとつである。同花崗岩は領家帯の新期花崗岩類に属し、アルカリ長石の斑状結晶を含む中粒から粗粒の黒雲母花崗岩として一般的には知られている¹⁾。また、同町周辺は長石鉱床が集中しており²⁾、全国有数の長石の産地でもある。信楽周辺の花崗岩類に関して、地質学的見地に立った研究はこれまでも行われているものの、その工学的性質についてはあまり検討されていない。

同町の道路地下約5mにおいて行われた管渠工事では、推進工法を用いて信楽花崗岩を掘削するにあたり、次のような問題が発生した。(1) 200MPa以上の硬岩を掘削可能なゲージカッターを用いても、所定の掘削速度が得られなかった。(2) ゲージカッターの中で最も応力が集中し易いチップ部の磨耗は少ないにもかかわらず、そのチップを支える母材部には顕著な磨耗が見られた(図-1)。(3) 推進工法では岩石を割裂させながら掘削を行うため、通常は数cm程度の鱗片状岩片が残土として排出されるが、当該箇所では0.75mm以下の細粒分含有率が89.5%のシルト質残土が発生した(図-2)。

そこで本研究では、上記現象の発生原因を把握するため、当該箇所付近で採取されたボーリングコア(図-3)を用いて信楽花崗岩の工学的性質に関する検討を行った。

2. 対象岩石とその検討方法

対象とする信楽花崗岩(粗粒黒雲母花崗岩)は白灰色を呈しており、土被り5m程度としては珍しく長さ3mにわたる連続コアが採取されている(図-3)。したがって、RQDはほぼ100%であり、さらに事前に行われた地質調査では一軸圧縮強度82.5MPaが得られていることから、通常は硬岩として分類される岩石である。しかしながら、硬岩用ゲージカッターを用いたにもかかわらず前述のような現象が発

生したことを考慮すると、通常確認される指標だけでは対象岩石の特徴を捉えることが難しい可能性がある。

本研究では、当該箇所周辺に鉱床が集中しており、さらに対象コア中にも多く含有されていると見られる長石に着目し、一般的な各種物理・力学・鉱物学的試験に加えて長石部分の硬度試験を実施することで信楽花崗岩の特性を探った。また、比較試料として香川県庵治町産と鹿児島県屋久島産の花崗岩を用いて検討を行った。

3. 物理・力学・鉱物学的性質

各花崗岩の物理・力学的性質を表-1に示す。信楽花崗岩は他の試料と比較して密度が小さく吸水率が大いこと、超音波伝播速度が遅いことから、密実ではないと推定される。また、点載荷試験においては、信楽花崗岩は庵治花崗

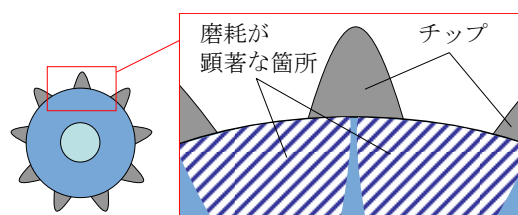


図-1 ゲージカッターの磨耗状況

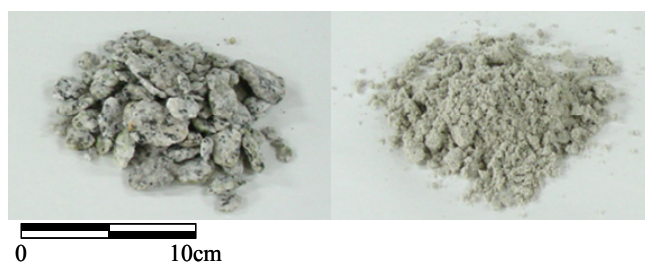


図-2 掘削残土の状況

(左：通常の鱗片状残土，右：当該箇所のシルト質残土)

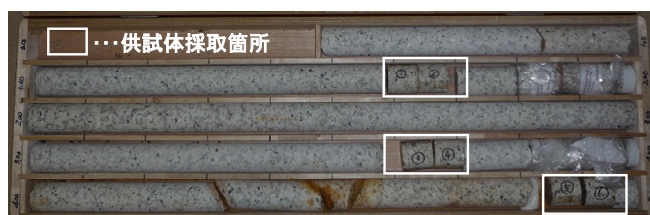


図-3 信楽花崗岩ボーリングコア

キーワード 花崗岩, 鉱物, 岩の工学的性質, 推進工法, 押込み硬度

連絡先 〒761-0396 香川県高松市林町 2217-20 香川大学工学部 長谷川研究室 TEL 087-864-2155

岩の約半分の荷重で破壊しており、極端に強度が大きいために掘削速度が低下したわけではないことは明らかである。

粉末 X 線回折では、信楽花崗岩と屋久島花崗岩に長石が多く含まれていたが、変質鉱物である粘土鉱物の存在はほとんど確認できなかった。さらに、偏光顕微鏡による薄片観察では、信楽花崗岩に含まれる長石には多くの微細クラックが確認されたが、屋久島・庵治産の花崗岩内の長石にはほとんど認められなかった。

以上の結果より、信楽花崗岩の性質に対して支配的に影響しているのは、微細クラックが多数生じた長石である可能性が高い。

4. 構成鉱物の硬度試験

前述の結果を踏まえ、比較的性質に近い信楽花崗岩と屋久島花崗岩を対象として、両者に多く含まれている長石の硬度試験を実施した。なお、花崗岩中にはアルカリ長石と斜長石が含まれているが、両者を目視で判断するのは困難であるため、ここでは区別していない。

本研究では、試料に圧子を押込んで硬度を計測する超微小硬度計を用い、負荷-除荷過程における荷重-押込み深さをリアルタイムで計測するとともに、押込み硬度 H を定量的に求めた。用いた圧子は対稜角 115° のダイヤモンド製三角錐圧子、最大押込み荷重は 196.0mN 、負荷および除荷速度は 19.6mN/sec 、最大荷重における荷重保持時間は 2.0sec とした。硬度 H は、最大押込み荷重 $P[\text{mN}]$ を最大押込み変位 $h_{\text{max}}[\mu\text{m}]$ に対する三角錐圧子の表面積 $A_s[\mu\text{m}^2]$ で除したものと定義され、式(1)にて求められる。

$$H = \frac{1}{9.81} \cdot \frac{P}{A_s} \quad (1)$$

長石の押込み荷重-変位曲線を図-4 に示す。どちらの花崗岩もばらつきが見られるが、これは計測した鉱物の厚さや微細クラックの分布状況等など、自然材料特有の不均一性に起因していると考えられる。長石の硬度の平均値を示すと、信楽花崗岩で 180 、屋久島花崗岩で 490 であり、信楽花崗岩中の長石は屋久島花崗岩中の長石に比べて硬度が半分以下である。勿論、信楽花崗岩については h_{max} の分布範囲が大きいことから、長石の種類による硬度の違いを考慮する必要があると考えられるが、全体的に見ても信楽花崗岩より屋久島花崗岩の方が h_{max} は小さく、ばらつきも小さいといった傾向は見取れる。

5. 検討結果

信楽花崗岩は、多数の微細クラックを伴った低硬度の長石を多量に含有している。そのため、掘削時に応力が集中

表-1 試験結果のまとめ

実施試験		信楽花崗岩	屋久島花崗岩	庵治花崗岩
密度試験	乾燥密度 $[\text{kg}/\text{cm}^3]$	2.58	2.63	2.63
	湿潤密度 $[\text{g}/\text{cm}^3]$	2.59	2.64	2.64
	吸水率 $[\%]$	0.42	0.24	0.18
超音波速度試験	P波速度(乾燥) $[\text{km}/\text{sec}]$	3.08	3.71	4.80
	P波速度(湿潤) $[\text{km}/\text{sec}]$	3.49	4.44	5.36
	S波速度(乾燥) $[\text{km}/\text{sec}]$	1.92	1.92	2.42
	S波速度(湿潤) $[\text{km}/\text{sec}]$	1.96	1.95	2.45
点載荷試験	点載荷強度 $[\text{MPa}]$	3.92	5.87	7.93
	換算一軸圧縮強度 $[\text{MPa}]$	95	147	198

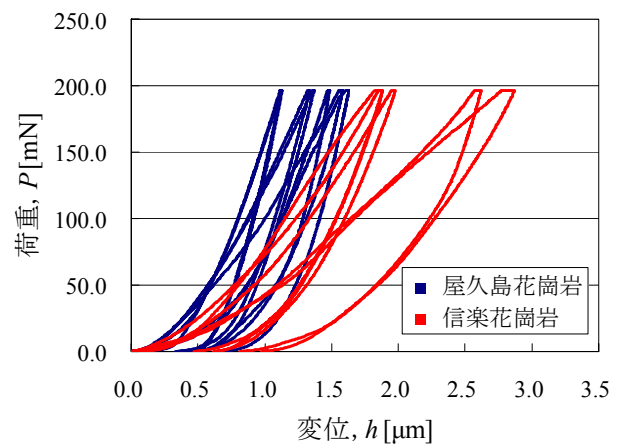


図-4 長石の押込み荷重-変位曲線

するチップ先端部においては、岩石の割裂以前にこの長石が破壊されることで砂・シルト質の残土が発生し、さらにこの残土に含まれる石英が押し付けられるために母材部の磨耗が著しくなったと考えられる。

一概に硬岩といえども、その構成鉱物に低硬度の鉱物が内在されていると、当該箇所のような現象が生じる可能性がある。一定の強度を持ちながらも、密度が小さく吸水率が大きいといった性質を示す場合には、一軸圧縮強度等の強度指標だけでなく構成鉱物の硬度試験を行うことで事前に特性を把握し、円滑な掘削につなげることができると考えられる。

参考文献

- 1) 日本の地質「近畿地方」編集委員会編：日本の地質 6 近畿地方，pp.40-47，共立出版，1987。
- 2) 須藤定久：滋賀県南郷～信楽地区の長石質資源-鉱床の分類とその地質・鉱床学的意味-，地質ニュース 559 号，pp.41-49，2001。