

2. 古第三紀花崗岩の変質と強度に関する一考察

Relationship between alteration characteristics and strength in granite

磯野陽子 石黒靖彦 木村隆行

(株)エイト日本技術開発

1. はじめに

2 種類の花崗岩類の岩石試験を実施したところ、一軸圧縮試験結果で倍以上の強度差が生じた。その原因を検討するため、試料の肉眼鑑定、岩石薄片の顕微鏡観察、含有鉱物種による風化・変質度合いの相違等の確認を行ったが、それらのデータからは、明瞭な強度差を示す結果が得られなかった。しかし、強度の低い方の花崗岩では、黄鉄鉱が肉眼でも容易に観察できたので、過酸化水素水 pH 試験ならびに CNS 元素分析を実施した。その結果、強度低下の原因として、黄鉄鉱を生成する熱水変質作用の可能性が示唆されたので、ここで報告する。

表-1 岩石試験結果一覧表

2. 岩石試験結果

岩石試験の結果を表-1 に示す。2 種類の花崗岩を A 花崗岩および B 花崗岩とし、D は A 花崗岩に貫入するデイサイトとする。圧縮強度に注目すると A 花崗岩の強度が 45 ~ 60 MN/m² である

試料名	単位体積重量 (g/cm ³)	圧縮強度 (MN/m ²)	P波速度 (km/S)	S波速度 (km/S)	地山の弾性波速度 Vp(km/s)	圧縮強度 /P ²	圧縮強度 /S ²	準岩盤強度 (MN/m ²)
A-1	2.53	59.4	3.91	2.14	3.20	3.89	12.97	39.79
A-2	2.54	45	4.72	2.21	3.20	2.02	9.21	20.68
A-3	2.57	47.8	5.28	2.87	4.00	1.71	5.80	27.43
D-1	2.59	16.8	4.14	2.26	3.20	0.98	3.29	10.04
D-2	2.65	91.9	5.14	2.84	4.00	3.48	11.39	55.66
B-1	2.57	113.3	5.3	3.09	3.60	4.03	11.87	52.27
B-2	2.56	104.4	4.72	2.42	3.60	4.69	17.83	60.73
B-3	2.58	116.5	5.17	3.04	4.60	4.36	12.61	92.23

のに対し、B 花崗岩は 100 MN/m² 以上を示す。また本来、硬質緻密であることが多い、デイサイト貫入岩の強度は 17 ~ 90 MN/m² と不均質であった。

岩盤劣化特性（主に風化・亀裂状況）の影響を圧縮強度値から補正するために、PS 波速度の 2 乗で除した（正規化強度指数）あるいは、（地山の弾性波速度/P 波速度）の 2 乗をかけた（準岩盤強度）を算定した。その結果を、図-1 に示す。補正の結果、岩盤強度の差は小さくなったものの、A 花崗岩に対し B 花崗岩の正規化強度指数や準岩盤強度は、平均で 1.5 倍程度を示した。

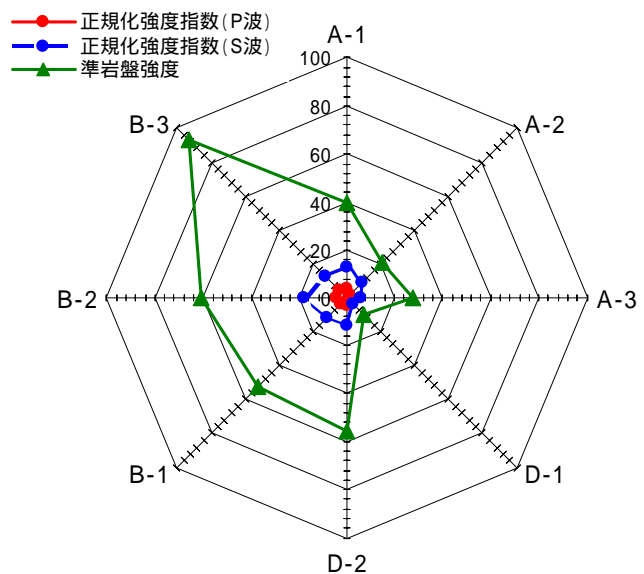


図-1 強度補正比較図

3. 肉眼鑑定および偏光顕微鏡観察結果

両花崗岩のカット面や偏光顕微鏡写真を写真-1 および 2 に示す。これによると、A 花崗岩

は比較的中粒均質な黒雲母花崗岩であり，鏡下観察によると，黒雲母のほとんどが緑泥石化していた．

B 花崗岩は斜長石やカリ長石の斑晶が目立つやや細粒な黒雲母花崗岩である．黒雲母は緑泥石化しており，斑晶状の長石類の多くは微細な二次鉱物に置換されていた．

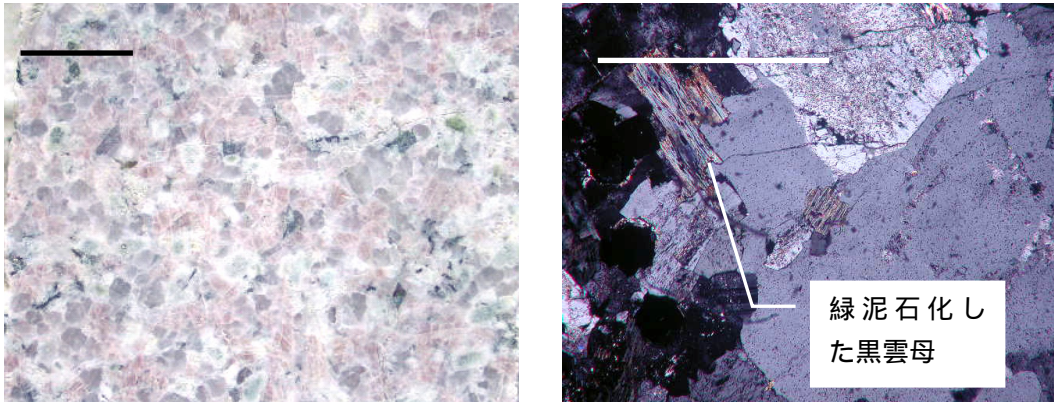


写真-1 A 花崗岩 左：カット面（バー1cm）右：クロスニコル（バー1mm）

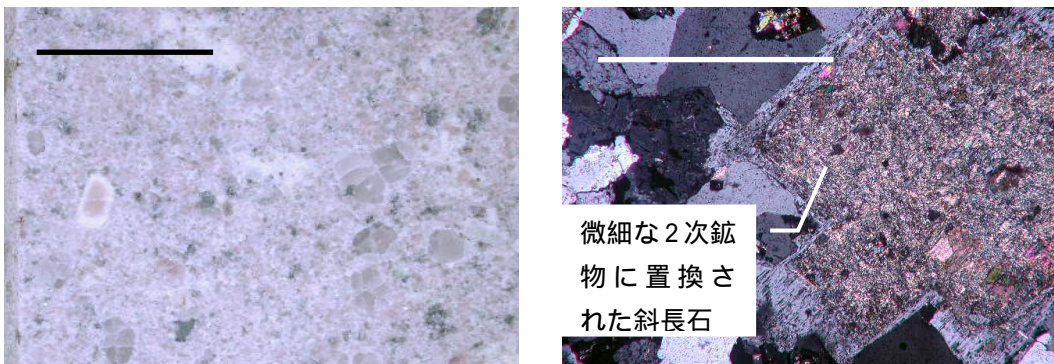


写真-2 B 花崗岩 左：カット面（バー1cm）右：クロスニコル（バー1mm）

4. X線回折結果

X線回折定方位法分析を行い，含有鉱物種から，各花崗岩の鉱物学的な変質度合いを検討した．結果を表-2 に示す．

表-2 X線回折定方位法分析結果

これによると，A・B 両花崗岩ともから，熱水変質で生成されるスメクタイト（M）と緑泥石（Ch）の回折線が普遍的に確認された．従って，含有変質鉱物種に基づく，両花崗岩の変質特性の相違を明瞭に表現することはできなかった．

次に不定方位法分析を行い，斜長石-カリ長石-石英の割合から，両花崗岩のIUGC による分類を試みた．結果を図-2 に示す．

これによると，A 花崗岩（ ）も B 花崗岩（ ）も花崗岩～花崗閃緑岩の

試料名	X線回折結果(定方位法)					
	M	Ch	Se	Pl	Kfs	Q
A-1						
A-2			×			
A-3						
D-1			×		×	
D-2			×		×	
B-1						
B-2						
B-3			×			

変質鉱物 M:スメクタイト Ch:緑泥石 Se:セリサイト

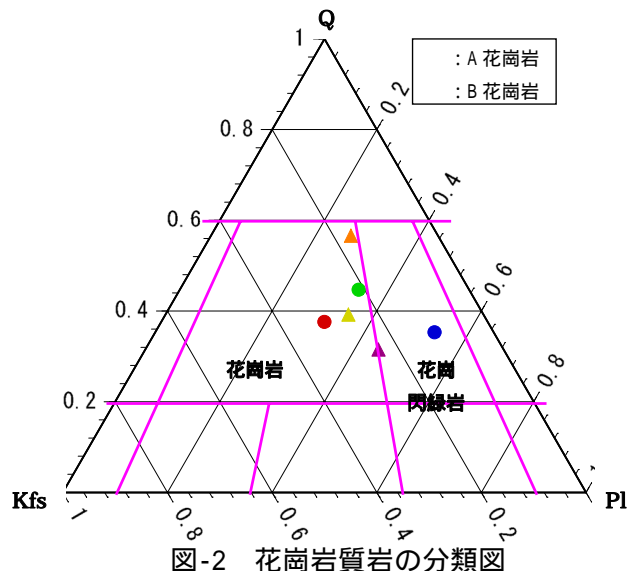
造岩鉱物 Pl:斜長石 Kfs:カリ長石 Q:石英

○:回折線が明瞭に確認される □:回折線が確認される

△:回折線が1cm未満 ×:回折線が認められない

領域に分布した。両花崗岩には、造岩鉱物組成上も大きな相違は認められなかった。

図-3 は一軸圧縮強度値と3成分(斜長石-カリ長石-石英)の相対的な存在比を示したものである。一般に、風化作用が進行すると長石類の分解・交代が進行し、相対的に石英存在比が増加する。図-3によると、圧縮強度の高いB花崗岩と低いA花崗岩とに、3成分存在比に大きな相違は認められない。また圧縮強度と石英存在比との間にも関連性がなく、各試料の3成分の存在比は、風化作用の影響によるものではなく、試料の総化学組成に基づいたものと判断できる。



5. 色彩測定結果

一般に花崗岩は、風化が進行するとその色彩は赤褐色化する。そのため強度と試料の色彩の関係を検討した。色彩は岩片状の自然乾燥試料を、ミノルタ製CR-300で測定した。表色はL*a*b*座標系を用いる。一般に風化作用の進行に伴い、花崗岩のa*b*は高い値を、L*は低い値を示す傾向がある。結果を図-4に示す。

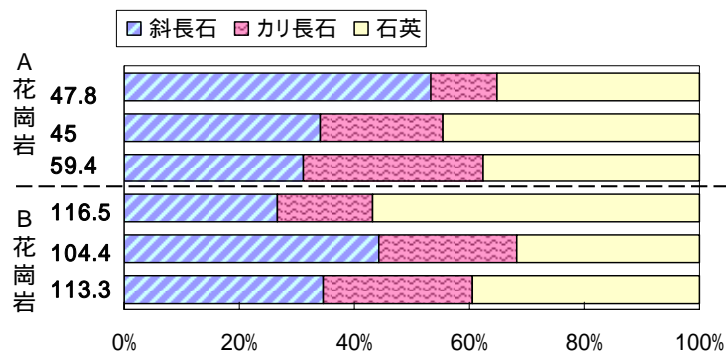


図-3 圧縮強度と3成分存在比

これによると、強度の高いB花崗岩はA花崗岩と比較すると、a*がやや高く、b*がやや低く、L*がやや低い結果が得られ、強度と風化指標としての色彩傾向には、関連性が認められないことが示された。

以上より前述した検討方法では、A・B両花崗岩の強度の相違の原因を、特定することは困難であった。そこで、A花崗岩の破壊された一軸圧縮強度試験供試体の割れ目に注目した。

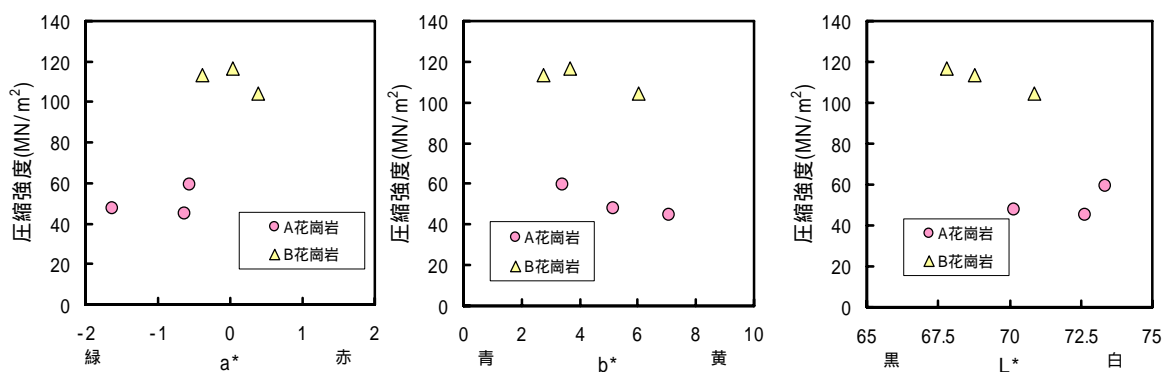


図-4 圧縮強度と色彩値の関係図

6. 過酸化水素水 pH 試験および CNS 元素分析結果

A 花崗岩の破壊供試体の割れ目には、黄鉄鉱が認められた。そこで両花崗岩の黄鉄鉱含有の有無を検討するため、過酸化水素を用い、黄鉄鉱を強制酸化させ硫酸発生の様子を確認した。結果を表-3 に示す。

これによると、A花崗岩の全ておよびD-1 試料のpH(H₂O₂)は 3 以下を示し、黄鉄鉱からの硫酸の発生が確認された。

そこで試料中の黄鉄鉱含有量を見積もるために、炭素-窒素-硫黄の含有量測定(CNS 元素分析)を行った。岩石中の硫黄(TS)は、黄鉄鉱起源と考えられる。方解石に代表される無機炭素(TC-TOC)は、酸性化に対する pH 調整材となる。結果を表-3 に示す。

これによると、硫酸を発生させた試料の硫黄含有量は TS=0.1~0.3%であるのに対し、B 花崗岩中には硫黄がほとんど含有していなかった。また A 花崗岩には pH 調整材となる無機炭素もほとんど確認されていない。

表-3 pH(H₂O₂)試験とCNS元素分析結果

試料名	pH (H ₂ O ₂)	C.N.S元素分析結果(%)			
		TOC	TC-TOC	TN	TS
A-1	2.66	0.02	0	0.01	0.14
A-2	2.53	0.03	0	0	0.08
A-3	2.60	0.03	0.06	0.01	0.24
D-1	2.34	0.03	0	0.01	0.29
D-2	8.69	0.03	0.49	0.01	0.03
B-1	9.88	0.09	0.01	0	0.00
B-2	8.90	0.03	0	0.01	0.00
B-3	10.09	0.02	0.05	0.01	0.01

7. 硫黄含有量と正規化強度指数・準岩盤強度の関係

硫黄含有量(TS)と正規化強度指数および準岩盤強度の関係を図-5 に示す。

これによると、硫黄含有量が多いほど指数ならびに強度は小さい値を示し、黄鉄鉱の存在が強度に影響を与えていることが示唆された。

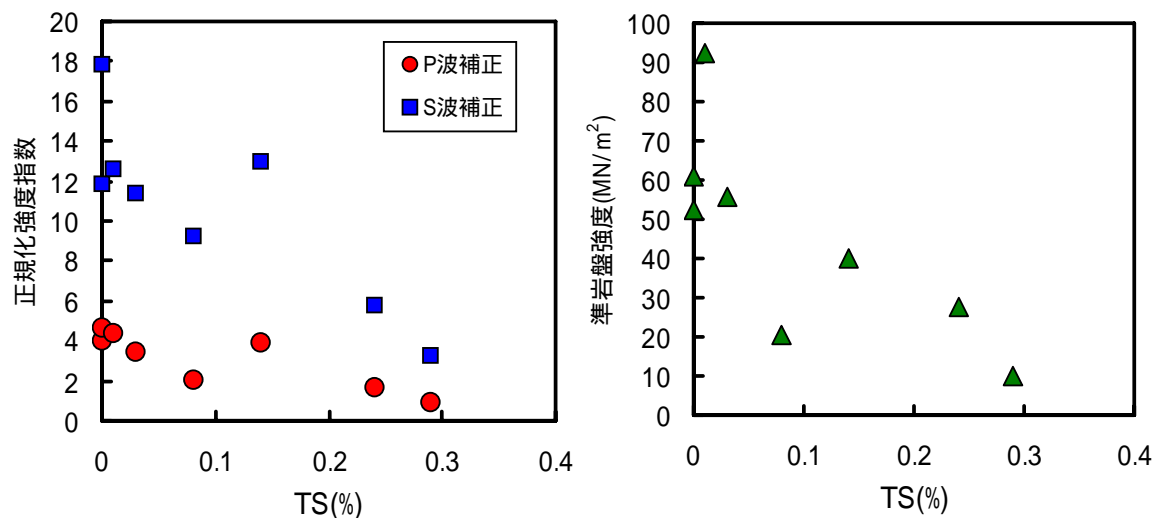


図-5 正規化強度指数・準岩盤強度と TS 間系図

8. おわりに

A・B 両花崗岩は、同じようにスメクタイトが生成する熱水変質作用を被っている。それに加え A 花崗岩は、黄鉄鉱を生成する変質の影響も強く受けており、今回のケースは、その変質が岩盤強度に影響を与えていると想定される。

基盤岩の D 級クラスへの軟質化や粘土化といった変質の場合、スメクタイト等の粘土鉱物の有無が強度に影響を与えると思われる。しかし、今回のような比較的硬質な基盤岩の変質は、必ずしも粘土鉱物で特徴付けられるとは限らない。そのため、変質特性の把握も多角的に工夫する必要があると考える。