

Ⅲ-17

岩石の異方性と形状のフラクタル次元に関する実験

日本大学工学部 正員 ○田野 久貴
有坂 和彦
田鎖 隆

1. まえがき

本文は、形状のフラクタル次元と岩石の異方性との関係を調べたものである。節理や断層あるいはクラックのフラクタル次元に関する報告は多いが、これは線構造の配置や向きに関する、配向のフラクタル次元に注目したものである。一方、不規則な図形集合においてこれらの図形の周長と面積より得られるフラクタル次元¹⁾を筆者らの一人は“形状のフラクタル次元”と称して破壊過程²⁾や地質分布^{3), 4)}に適用してきた。ここでは、花崗岩の造岩鉱物にこの次元を用い、その弾性波の異方性との相関を検討したものである。

2. 花崗岩の異方性

2.1 石目

火成岩のなかでも花崗岩は一般に異方性が顕著である。力学的異方性といえば強度や変形性のそれが考えられるが、本文ではP波速度の異方性に注目した。石材職人は古くから割り易さの指標、すなわちいわゆる“石目”として、一番、二番および三番として現場における花崗岩の方向を把握していることは周知のことである。そこで、ここではこれらの方向に沿った立方試験片（6X6X6cm）100本を石材店より購入しP波速度測定に供した。なお、ここではこれらの石目を第1面、第2面及び第3面と呼ぶこととする。

2.2 P波速度の測定結果

前述の立方試験片100本の各方向のP波速度を超音波バルス透過法で測定した。振動子は50kHzを用いた。その測定結果を図1に示す。各面の速度とは、その面に直交方向の伝播速度である。図1より、方向によって伝播速度の相違が明瞭に認められ、第1面（いわゆる“一番”）に直交する方向の速度が最も小さくなっている。前述したように、花崗岩の石目は“割り易さ”に関する一種の異方性を表す言葉として知られているが、同図はこれを裏付けるものと言えよう。

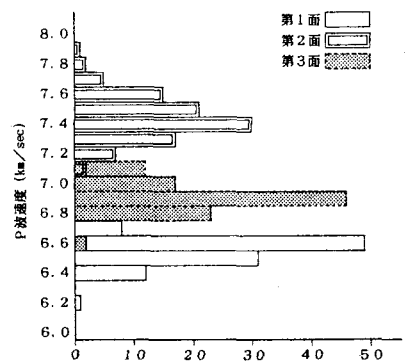


図1 P波速度と石目の関係



図2 岩石薄片のスケッチ例

3. フラクタル次元の求め方

3.1 岩石薄片による造岩鉱物粒のスケッチ

3.5cm角の立方体より各面に平行に、それぞれ10枚、合計30枚の薄片を作製した。花崗岩の造岩鉱物のうち、黒雲母と石英に注目しそれぞれの粒子形状のスケッチを作製した。これは偏光投影装置の投影板上にトレース用紙を用いることで直接鉱物粒境界のトレースが可能である。図2にその例を示す。

3.2 フラクタル解析

形状のフラクタル次元は、不規則図形集合の周長 L の常用対数 $\log L$ を横軸に、またその面積 A のそれ $\log A$ を縦軸とする $\log L - \log A$ 座標において、各図形のデータをプロットしたときこれらの各点が直線上にあればフラクタル的であるとされる。このとき、この直線の傾きを a とすると形状の次元 D_s は、 $D_s = 2/a$ より得られる。前述の方法によって得られたトレース図形は、スキャナによって画像解析装置に取り込まれ周長と面積データとしてフロッピーに記録後、マイクロコンピュータによって解析される。

4. 解析結果および考察

4.1 フラクタル性

図3はCRTのハードコピー画面である。フラクタル性の程度はこれらのプロット点の直線性で評価可能である。すなわち、その相関係数の値を見ればよい。図3の例でもわかるように、相関係数は0.9より大きく、

十分フラクタル的と見なせよう。
表1に示すように黒雲母及び石英ともに相関係数は0.9以上でありその形状はフラクタル的である。

4.2 鉱物による比較

フラクタル次元 D_s を比較すると両者ともに1より大きく、また、石英より黒雲母の方が大きい。 D_s が1より大きいことの意味はすでに報告しているが、大きい図形(鉱物粒)ほど偏平あるいは境界線に凹凸のあることを示している。

すなわち、黒雲母の方がより複雑な形状をしていることを意味している。

4.3 D_s の異方性および石目との関係

各面の次元を比較すると明かに面によって D_s の値が異なっていることがわかる(表1)。したがって、フラクタル次元においても異方性が認められる。そして、黒雲母より石英の方がより顕著である。図4はP波速度との関係を調べたものであるが、石英では明かにその速度と D_s は負の強い相関が認められる。一方、黒雲母ではそれほど明瞭ではない。弾性波速度の異方性は一般に潜在するマイクロクラックによると考えられている。すなわち、P波速度の最も小さな第1面については、この面の方向にはほぼ平行なクラックが卓越するため、第1面に直交した方向には弾性波が攪乱されて速度が低下すると解釈される。この第1面におけるフラクタル次元は最も大きいから、石英の断面形状は弾性波速度の最も大きい第2面より複雑あるいは偏平であることを示している。

花崗岩のマイクロクラックは石英中に発達しやすいことが報告されているが、石英の D_s の異方性とクラックの方向の異方性に相関があることはこの事実と関係しているかも知れない。ここではP波速度の異方性をマイクロクラックの方向のみでとらえたが、密度分布との関係の議論も必要である。また、これらのクラックの配向フラクタル次元との関係も興味ある問題であり現在検討を行っている。

5. まとめ

1) 石英および黒雲母の形状分布は石目によらずフラクタル的であり、フラクタル次元 D_s はともに1より大きい。2) 黒雲母の次元は石英のそれより大きい。3) フラクタル次元は石目によって異なり異方性が認められる。4) P波速度とフラクタル次元の異方性との間には負の相関がある。

1) Lovejoy, S. (1982): Area-Perimeter Relation for Rain and Cloud Areas, Science, 216, 9, pp. 185-186. 2) Iano, H. & Satake, M. (1993): Fractal analysis of crack distribution, Proc. 2nd APCOM., pp. 689-694. 3) 田野(1992): 地質構造のフラクタルについて, 日本応用地質学会東北支部第一回研究発表会講演論文集, pp. 1-6. 4) 田野他(1993): 宮城県の地質分布のフラクタル次元について, 同上第二回研究発表会, pp. 23-29.

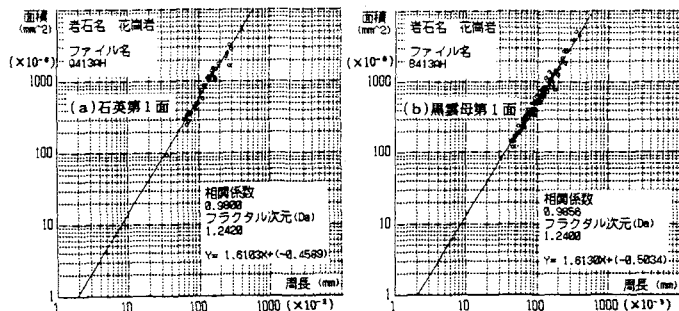


図3 形状のフラクタル解析の例

形状のフラクタル次元							相関係数						
D _s	石			黒雲母			R _s	石			黒雲母		
	第1面	第2面	第3面	第1面	第2面	第3面		第1面	第2面	第3面	第1面	第2面	第3面
No. 1	1.313	1.224	1.214	1.384	1.340	1.288	No. 1	0.985	0.989	0.989	0.985	0.985	0.987
No. 2	1.230	1.183	1.200	1.300	1.321	1.263	No. 2	0.988	0.993	0.993	0.988	0.984	0.991
No. 3	1.207	1.163	1.170	1.268	1.306	1.276	No. 3	0.991	0.990	0.990	0.988	0.987	0.985
No. 4	1.169	1.194	1.220	1.207	1.276	1.226	No. 4	0.989	0.990	0.987	0.991	0.983	0.989
No. 5	1.230	1.213	1.205	1.237	1.215	1.243	No. 5	0.993	0.992	0.993	0.990	0.988	0.989
No. 6	1.279	1.229	1.334	1.359	1.321	1.267	No. 6	0.982	0.982	0.983	0.970	0.982	0.991
No. 7	1.284	1.235	1.272	1.381	1.329	1.288	No. 7	0.980	0.973	0.977	0.973	0.974	0.985
No. 8	1.350	1.236	1.296	1.322	1.336	1.291	No. 8	0.986	0.979	0.972	0.988	0.978	0.982
No. 9	1.242	1.321	1.265	1.240	1.334	1.399	No. 9	0.980	0.972	0.984	0.986	0.980	0.970
No. 10	1.332	1.326	1.244	1.347	1.315	1.397	No. 10	0.981	0.987	0.987	0.986	0.986	0.967
平均	1.264	1.233	1.242	1.305	1.309	1.294	平均	0.986	0.985	0.986	0.984	0.981	0.984
標準偏差	0.055	0.051	0.047	0.061	0.036	0.056	標準偏差	0.004	0.007	0.006	0.007	0.006	0.008

表1 石英と黒雲母のフラクタル次元とフラクタル性(相関係数)

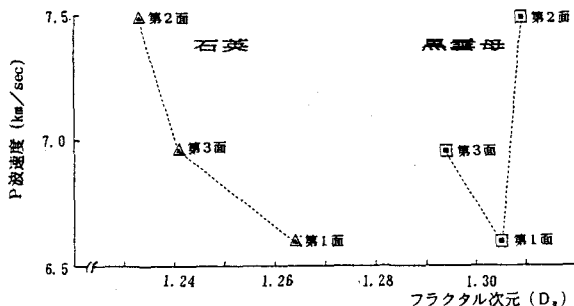


図4 P波速度の異方性と D_s の相関